

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING

Cilt:8

Sayı:2

Ağustos 2023

**e-ISSN: 2528-8733**



### **Baş Editör**

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

### **Editörler**

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Fatih TÜYSÜZ, Northumbria University, UK

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Dr. Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ, Harran Üniversitesi

### **Mizanpaj Editörü**

Arş. Gör. Latif Doğan DİNSEVER, Harran Üniversitesi

### **Dil Editörü**

Öğr. Gör. Umut KURAN, Harran Üniversitesi

### **Alan Editörleri**

Prof.Dr. Bülent YEŞİLATA, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Prof.Dr. Ahmet ALTUNCU, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Halit YAZICI, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Kasım YENİGÜN, Kastamonu Üniversitesi

Prof. Dr. Nermin ŞARLAK, Konya Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Yeliz PEKBAY, Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf ARMAN, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. A. Alper ÖNER, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. M. Sami AKÖZ, Çukurova Üniversitesi

Prof.Dr. Sinan UYANIK, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ali YILDIRIM, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ÖZEN, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Deniz UÇAR, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Eyüp KARAOĞUL, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Fatih TÜYSÜZ, Northumbria University, UK

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ULUKAVAK, Harran Üniversitesi

Dr. Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ, Harran Üniversitesi

Dr. Mehmet Emin TENKEKİ, Harran Üniversitesi

Dr. Serkan KAYA, Harran Üniversitesi

Dr. Kerim KARADAĞ, Harran Üniversitesi

Dr. N. Göksu SOYDAN OKSAL, Mersin Üniversitesi

Dr. Yunus EROĞLU, Iskenderun Teknik Üniversitesi

### **Alan Editörleri (Cilt 8, Sayı 1)**

Doç. Dr. Ali YILDIRIM, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Dr. Kerim KARADAĞ, Harran Üniversitesi

Dr. Yusuf İŞİKER, Harran Üniversitesi

Dr. Mehmet Emin TENKEKİ, Harran Üniversitesi

Dr. Serkan KAYA, Harran Üniversitesi

### **İletişim:**

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Osmanbey Kampüsü Haliliye, Şanlıurfa

Telefon: +90 414 318 3476

e-mail: [muhendislik@harran.edu.tr](mailto:muhendislik@harran.edu.tr)

web: <https://dergipark.org.tr/humder>

e-ISSN: 2528-8733

Yayın Aralığı: 4 ay

## HAKEM LİSTESİ / Reviewers List

8.Cilt 2.sayımızda yayınlanan makaleleri değerli zamanlarını ayırarak değerlendiren kıymetli hocalarımıza teşekkür ederiz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Harran University Journal of Engineering.

Akın ÖZDEMİR  
Emir Hüseyin ÖZDER  
Hatice Kübra KAYNAK  
Ahmet YILMAZ  
Cihan ŞAHİN  
Ali ERDUMAN  
Nesrin İLGİN BEYAZİT  
Refet KARADAĞ  
Mehmet Bilal ER  
Serdar ÇİFTÇİ  
Ali KIRÇAY  
Taner İNCE  
Mehmet Azmi AKTACİR  
Manolya Eser ÖNER  
Mustafa BAYRAM

---

*Araştırma Makaleleri (Research Articles)*

---

Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi Soil Moisture Sensor Powered by Solar Panel and Super Capacitor <b>İlyas ERDOĞAN, Murat KISA, Mustafa ÖZEN, Gökhan DEMİRCAN, Ali İhsan KAYA</b>	78
Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi Effect of Recycled Concrete Aggregate on The Performance of Self-Compacting Concrete <b>Ahmad ALGHADER, Ali SARIŞIK, Songül CAN</b>	91
Swin Tabanlı Dönüştürülmüş Görüntülerin Sınıflandırılması Classification of Swin-based Transformed Images <b>Serdar ÇİFTÇİ</b>	108
Li-Fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı Wireless Communication System Design Using Li-Fi Technology <b>Kaan Duran KURT, Fatih Ahmet ŞENEL</b>	116
Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı Thermal Furnace Design and Manufacturing in a Flow-Controlled System <b>Hüseyin KARASU, Cengiz DOĞAN</b>	122
Parkinson Hastalığının Tespitinde Ses Sinyalleri Üzerinden Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması Comparison of Machine Learning Algorithms Using Sound Signals in Detection of Parkinson's Disease <b>İbrahim Halil GÖKÇİN</b>	130
KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık ve Olgunluk Seviyelerinin Belirlenmesi: Şanlıurfa İmalat Sanayisinde Örnek Bir Uygulama Determining Industry 4.0 Readiness and Maturity Levels of SMEs: An Example Application in Şanlıurfa Manufacturing Industry <b>Muhammed AŞUT, Sercan DEMİR</b>	141
C++ Programlama Dili için Yerel Nesne-İlişkisel Haritalama Yaklaşımı Biyoaktif Peptitler ve Bazı Süt Türlerindeki Varlıkları <b>Abdullatif KALLA, Mehmet Emin TENKEKİ</b>	151

---

*Derleme Makaleleri (Review Articles)*

---

Bioactive Peptides and Their Presence in Some Milk Species Using hybrid biogeography-based optimization algorithm to solve scheduling problems <b>Büşra PALABIÇAK, M. Serdar AKIN, M. Buket AKIN, Aslı ÇELİKEL GÜNGÖR</b>	159
---	-----



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

## Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi

*Investigation of Dynamic Behavior of Glass Fiber Reinforced Epoxy Nanocomposites (GRP)*

**Yazar(lar) (Author(s)):** İlyas ERDOĞAN<sup>1</sup>, Murat KISA<sup>2</sup>, Mustafa ÖZEN<sup>3</sup>, Gökhan DEMİRCAN<sup>4</sup>, Ali İhsan KAYA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0003-0754-9939

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0001-7015-2198

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0002-0282-9387

<sup>4</sup> ORCID ID: 0000-0002-9579-6878

<sup>5</sup> ORCID ID: 0000-0002-3040-5389

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Erdoğan İ., Kısa M., Özen, M., Demircan G., Kaya, A.İ., “Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 78-90 (2023).

DOI: 10.46578/humder.1161116



## Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi

İlyas ERDOĞAN<sup>1\*</sup>, Murat KISA<sup>2</sup>, Mustafa ÖZEN<sup>2</sup>, Gökhan DEMİRCAN<sup>2</sup>, Ali İhsan KAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>VİMSA Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Spiral Kaynaklı Çelik Boru Fab., Genel Müdür, 63200, Eyyübiye/Şanlıurfa

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63000, Haliliye/Şanlıurfa

<sup>3</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 02040, Altınşehir/Adıyaman

### Öz

Günümüzde teknolojinin hızlı şekilde ilerlemesiyle yenilenebilir enerji, havacılık, denizcilik, uzay, otomotiv, savunma sanayi alanlarında ve diğer alanlarda kullanılmak üzere hafif ve aynı zamanda üstün mekanik ve dinamik davranış özelliklerine sahip yeni malzemelere ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu alanlarda kullanılan malzemeler, korozyon, yorulma, titreşim, yüksek sıcaklık, sürtünme ve yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla araştırmacılar ve bilim adamları bu ihtiyaçlara cevap veren ekonomik, daha yüksek mukavemetli, dinamik davranış özellikleri daha iyi olan ve daha hafif malzemelerin elde edilmesi için yapılan çalışmalara yoğunlaşmışlardır. Nanokompozit malzemelerin dinamik davranışlarının incelenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada nanopartikül katkısız (saf), nanokil ve nanosilika katkılı olmak üzere üç farklı cam elyaf takviyeli kompozit/nanokompozit malzeme vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilmiş ve bu malzemelerin dinamik davranış özellikleri (Serbest titreşim doğal frekansları) deneysel olarak incelenmiştir. %3 nanokil ve %1 nanosilika katkılı kompozit malzemenin dinamik davranış özelliklerinin saf kompozit malzemeye göre söz konusu katkının malzemenin dinamik davranış özelliklerini ne oranda iyileştirdiği deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre %3 oranında nanokil katkısının birinci ve ikinci doğal frekanslar üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı, daha sonraki doğal frekanslarda hatırı sayılır oranda bir azalmaya sebebiyet verdiği gözlenmiştir. %1 nanosilika katkısının ilk üç doğal frekans üzerinde minör de olsa bir artışa etkisi görülmüştür ancak, daha sonraki doğal frekanslar üzerinde ise azalışa neden olduğu görülmüştür.

### Investigation of Dynamic Behavior of Glass Fiber Reinforced Epoxy Nanocomposites (GRP)

#### Abstract

Today, with the rapid progress of technology, the need for new materials with light weight as well as superior mechanical and dynamic behavior properties for use in renewable energy, aviation, maritime, space, automotive, defense industry fields and other fields is increasing rapidly. The materials used in these areas are exposed to corrosion, fatigue, vibration, high temperature, friction and high stresses. Therefore, researchers and scientists focused on studies to obtain economical, high strength, better dynamic behavior and lighter materials that meet these needs. Examining the dynamic behavior of nanocomposite materials is of great importance. In this study, three different glass fiber reinforced composite/nanocomposite materials, undoped with nanoparticles (pure), nanoclay and nano-silica added, were produced by vacuum assisted resin infusion method and the dynamic behavior properties (free vibration natural frequencies) of these materials were experimentally investigated. It was experimentally investigated to what extent the dynamic behavior properties of 3% nanoclay and 1% nanosilica added composite material improved the dynamic behavior properties of the material compared to the pure composite material. According to the results of the study, it was observed that the 3% nanoclay additive did not have a significant effect on the first and second natural frequencies, causing a considerable decrease in the later natural frequencies. It was observed that 1% nanosilica additive had a slight increase in the first three natural frequencies, but it caused a decrease in the later natural frequencies.

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 12/08/2022

Yayın: 31/08/2023

#### Anahtar Kelimeler

Kompozit malzeme  
Nanokompozit malzeme  
Dinamik davranış özellikleri  
Doğal frekans  
Sonlu elemanlar analizi

#### Keywords

Composite material  
Nanocomposite material  
Dynamic behavior properties  
Natural frequency  
Finite element analysis

\*İletişim yazarı, e-mail: İlyas.erdogan@outlook.com.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal frekans bir cismin sadece rijitliğine ve kütesine bağlı olan ve cismin o frekansta uyarılırsa yüksek genlikle ve sürekli olarak titreşeceği frekansa denir. Doğal frekans, her cismin kendine özgü bir karakteristiği olup, cisim kendi doğal frekanslarında bir kere uyarılmasından sonra uyarı kesilse dahi titreşmeye devam etmektedir. Ayrıca cisim doğal frekansında uyarıldığında uyarının şiddetine değil, sadece sistemde mevcut sönümlenmeye bağlı olarak çok yüksek genliklerde titreşir. Bir cismin doğal frekansıyla çakışan bir frekansla uyarılması sonucunda ortaya çıkan fiziksel olaya rezonans denmektedir. Rezonansa girmiş bir cisim, çok yüksek genliklerde titreşim yapar. Çünkü bu frekansta o cisim üzerine etki eden atalet kuvvetiyle cismin rijitliğinden kaynaklanan yay kuvveti birbirine eşit; fakat ters işaretli olduğundan birbirini götürür. Geriye sadece sönümleme kuvveti kalır. Bu kuvvet de sönümleme katsayısına bağlı olarak cismin hangi genlikle titreşeceğini belirler [1].

Malzemenin doğal titreşim frekansı, serbest titreşim deneylerinde elde edilen ivme-zaman grafikleri kullanılarak elde edilebilmektedir. Bunun için ivme-zaman grafiğinin Fourier dönüşümlerinden yararlanılır. Bu yöntem ile doğal titreşim frekansının belirlenmesi için ilk olarak yapı sistemine ön deplasman verilir ve sistemin serbest titreşim yapması sağlanır. Serbest titreşim deneyinden elde edilen zamana bağlı ivme değişimi Fourier dönüşümü ile frekansa bağlı fonksiyona dönüştürülerek oluşturulan grafikteki maksimum değerlerden sistemin doğal titreşim frekansları belirlenir. Fourier dönüşümü için literatürde çok farklı programlar bulunmaktadır [2].

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan matris malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için nano parçacıkların dolgu ve katkı malzemesi olarak kullanılması günümüz araştırmacılarının ilgisini çekmektedir. Nanometre ( $10^{-9}$  m) boyutundaki bu parçacıkların yüzey alanları  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a kadar çıkmaktadır. Bu büyük yüzey alanları dolayısı ile yükün matristen nano parçacığa transferi kolaylaşarak, matrisin mekanik özelliklerini artırmaktadırlar [3]. Ayrıca nano partiküller, genel olarak ana kompozit malzemenin elektrik ve ısı iletkenliğini kayda değer oranda artırmaktadır. Nano malzeme katkı oranı ağırlıkça %0.5-%5 oranlarında kullanılır, bunun sebebi bu malzeme parçacıklarının oldukça yüksek yüzey alanı/birim hacim oranına sahip olmalarıdır [4].

Kompozit malzemelere nanopartikül malzeme ilave edilerek elde edilen nanokompozit malzemenin dinamik davranış özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda birçok çalışma yapılmış olup, bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Bu çalışmalarda ancak belirli bir kısım nanopartikül malzemenin, kompozit malzemenin dinamik davranışını iyileştirdiği, katkı oranının da belirli oranlarda olması halinde bu iyileşmenin maksimum oranda olduğu, ancak bu orandan daha az ya da daha çok katkı olması halinde ise bu iyileşmenin düştüğü deneysel olarak görülmüştür [5-7].

Literatürde cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeye sırasıyla saf, %0.5, % 1 ve % 1.5 oranında ağırlıkça nano-silika malzeme katıldığında, bu nano malzemenin cam elyaf takviyeli CTP/Epoksi kompozit malzemenin dinamik davranışlarını değiştirdiği bilinmektedir [8]. Yapılan bu çalışmada CTP malzeme, sürekli sarım yöntemi ile boru olarak üretilmiş ve numuneler bu borulardan kesilmiştir. Malzemenin dinamik davranışının iyileştiği, titreşim doğal frekansının kayda değer oranlarda arttığı görülmüştür [8].

Cam elyaf örgü kumaş ve tek yönlü cam elyaf kumaş malzeme takviyeli epoksi kompozit malzemelerin, modal analiz yöntemi kullanılarak doğal frekansları, genlikleri ve titreşim sönümleme oranları teorik ve deneysel olarak incelenmiştir [9]. Yapılan çalışmada tek yönlü cam elyaf malzeme takviyeli epoksi kompozit malzemelere ait doğal frekansların, örgü kumaş cam elyaf malzemedan oluşan kompozit malzemeye göre kayda değer oranda yüksek olduğu deneysel olarak görülmüştür.

Hindistan cevizi kabuğu elyaflı polyester matrisli kompozit malzemeye nanokil ilave edilerek elde edilen nanokompozit malzemenin dinamik davranış özellikleri incelenmiştir. Nanokil katkılı nanokompozit malzemenin doğal frekansı deneysel olarak ölçülmüş, malzemenin birinci doğal frekansının %3 katkı ile %33'lük bir artış ile maksimum değere ulaştığı, daha az ve daha üstü oranlardaki katkının ise bu malzemenin doğal frekansını kayda değer şekilde değiştirmedeği deneysel olarak gözlemlenmiştir [10].

Bir diğer çalışmada CTP kompozit malzemeden lama şeklinde üretilen test numunesi, 25 mm üst üste binme payı ve sırasıyla araya 0.1 mm saf epoksi, %1, %2, %3 ve %5 oranında nanokil parçacık katkılı epoksi kullanılarak yapıştırılmış ve bu yapışmanın kesme mukavemeti incelenmiştir [11]. Bu çalışmada ayrıca CTP kompozit malzemenin yapışma yöntemi ile birleştirilmesinin havacılık, denizcilik ve otomotiv gibi birçok endüstri sektöründe istenen; hafiflik, ekonomik olma, sızdırmazlık, eşit yük dağılımı ve aşınma direnci gibi özelliklerde kayda değer iyileşmeler sağladığı deneysel olarak görülmüştür. Çalışmada nanokil katkısının yapışma mukavemetini %2 katkıya kadar önemli ölçüde arttırdığı, bu katkı oranı aşıldığında ise tekrar düşmeye başladığı ve en çok artışın da %2 katkı durumunda saf epoksi malzemeye göre %91 daha fazla olduğu görülmüştür.

Epoksi matris reçine malzemeye sırasıyla saf, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranında ağırlıkça MMT/nanokil malzeme katılmış ve bu nano malzemenin cam elyaf örgü takviyeli epoksi kompozit malzemenin dinamik davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir [12]. CTP malzeme 3, 5 ve 8 kat cam elyaf malzeme kullanılarak plaka olarak üretilmiş ve numuneler bu plakalardan kesilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda malzemenin dinamik davranışının iyileştiği, titreşim doğal frekansının arttığı görülmüştür. Nanokil katılmış CTP kompozit malzemenin, sade/katkısız olana göre doğal frekansının yüksek olması dolayısı ile aynı titreşim ve darbe yüküne maruz kalmasına karşın, delaminasyon hasarlı alanının yaklaşık 4 kat daha az olduğu görülmüştür.

Epoksi matris reçine malzemeye sırasıyla saf, %3, %5, %7 oranında ağırlıkça nano kil katılmış ve CTP malzeme yaklaşık 0.4, 1 ve 4 mm et kalınlıkta olarak üretilmiştir [13]. Bu nano malzeme katkısının kompozit malzemenin dinamik davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada malzemenin sadece titreşim doğal frekansları ölçümü testleri yapılmış ve testler sonucunda malzemenin dinamik davranışının iyileştiği, titreşim doğal frekansının kayda değer oranda arttığı görülmüştür.

Dokunmuş aramid ve karbon elyaf takviyeli Epoksi matris malzemeden üretilen kompozit kırımların seçilen doğal çevresel koşullarda (suda, güneşte ve toprakta) 1 yıl süre ile yaşlandırılarak dinamik davranış özelliklerindeki değişimler incelenmiştir [14]. Yapılan çalışmada 12 ay süre ile yaşlandırılan dokunmuş aramid ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin doğal frekansında yaklaşık %3-4 oranında azalmaya, buna karşın titreşim sönümlenme oranında ise %2-3 civarında yükselmeye sebebiyet verdiği deneysel olarak görülmüştür.

Kompozit malzemelere nanopartikül ilave edilmesi ile elde edilen nanokompozit malzemelerin daha iyi mekanik ve dinamik davranış özelliklere sahip olduğu konusunda araştırmalar mevcuttur [15,16]. Kompozit malzemelerin doğal frekanslarındaki değişimleri incelemek oldukça önemli bir konudur. Literatürde nanopartikül katkılı kompozitlerin doğal frekansları üzerine çalışma olmasına rağmen, bu kompozitlerin yaşlandırmaya maruz kaldıklarında doğal frekanslarının nasıl değiştiğiyle ilgilenen çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozitlerin doğal frekans değişimleri, farklı nanomateryal katkılı malzemelerin farklı oranlardaki içeriğine göre incelenmiştir. Kompozit numuneler, Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği (VDRİT) ile plakalar şeklinde üretilerek ASTM D3039 standardına uygun ölçülerde olacak şekilde sulu testere yardımıyla elde edildikten sonra öncelikle titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise aynı numuneler, çekme testine tabi tutulmuştur. Titreşim test sonuçlarının nümerik karşılaştırılması ANSYS programında yapılmış ve test ile nümerik sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre %3 oranında nanokil katılmasının doğal frekans üzerinde belirgin değişime sebep olmadığı görülürken %1 oranında nanosilika katılmasının ise doğal frekansını yaklaşık olarak %3.35 oranında artırdığı görülmüştür.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Numunelerin Üretilmesi

Üretim sırasında öncelikle, nanomateryal içermeyen cam elyaf takviyeli kompozitler, daha sonra da nanomateryal katkılı kompozit plakalar üretilmiştir. Bu plakaların ebatları 625 mm x 600 mm x 3 mm



olacak şekilde hazırlanmıştır. Plaka üretiminde; Cam elyaf örgü kumaş (E-Camı, woven roving/bidirectional/biaxial woven fabric), 200 gr. m<sup>-2</sup>, LR 160 epoksi reçine, MGS LH 160 sertleştirici, %3 epoksi ağırlığınca nanokil (nanoclay) ve %1 epoksi ağırlığınca nano-SiO<sub>2</sub> (Silicon Dioxide) ham maddeler kullanılmıştır.

Kompozit ve nanokompozit test plakası üretimi Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında bulunan Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği ile yapılmıştır (Şekil 1). Üretim sırasında öncelikle tezgâh temizliği gerçekleştirilmiş ve hava vakum sızdırmazlığı sağlayacak şekilde tezgâha kalıp ayırıcı film kumaş serilmiştir. Daha sonra 22 kat 625 mm x 600 mm ebatlı cam elyaf örgü kumaşlar kalıp ayırıcı üzerine yerleştirilmiştir. Bu kumaşların üzerine de ebatları kumaşlardan daha büyük soyma kumaşı yerleştirilmiştir. Üretim için diğer teknik adımlar da tamamlandıktan sonra elyaf kumaş sisteminin vakum altında sızdırmaz olduğu anlaşılıncaya kadar denemeler gerçekleştirilmiştir. Öte yandan epoksi reçineye nano partikül ilave edilerek bu karışım, el ile tahta karıştırıcı kullanılarak homojen bir yapı elde edilinceye kadar yaklaşık 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Nano partikül katkılı bu karışım, manyetik/ultrasonik karıştırıcıda 200 devirde (rpm), %70 genlikte, 2 s (saniye) açık ve 3 s kapalı modda, buz banyosu ile soğutma şartlarında nano partikül malzemenin epoksi reçine içinde topaklaşmasının önlenmesi ve homojen bir şekilde nano seviyede dağılmasını sağlama amacıyla karışım sıcaklığının yaklaşık 45 °C geçmeyecek şekilde yaklaşık 2 saat karıştırılmıştır. Bu nano katkılı epoksi karışım, vakum torbası içinde yer alan ve sızdırmaz durumdaki cam elyaf sistemine vakum altında emdirilmiştir. Emdirme işlemi tamamlandıktan sonra vakum torbası içindeki tabakalı yapı 24 saat boyunca 80 °C'de bekletilmiştir. Daha sonra sıcaklık devre dışı bırakılarak vakum altındaki tabakalı yapı üstünde kürleşmeye bırakılmıştır.



**Şekil 1.** Nanokompozit katkılı CTP kompozit plakanın VDRİT yöntemi ile üretilmesi.

VDRİT ile üretilen her biri 625 mm x 600 mm x 3 mm ebatlı kompozit ve nanokompozit malzeme içerikli kompozit plakalar tezgâhtan çıkartıldıktan sonra ilgili standartlara göre kesimi gerçekleştirilmiştir. Numuneler, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında mevcut olan RUBI marka DX-350 tablalı tepsilerde kesim makinası kullanılarak elde edilmiştir. Her bir plakadan 35 adet 250 mm x 25 mm x 3 mm ebatlı numuneler ASTM D3039 standardına göre çekme testleri ve dinamik testler için kesilmiş ve kenarları zımparalanarak temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 2'de

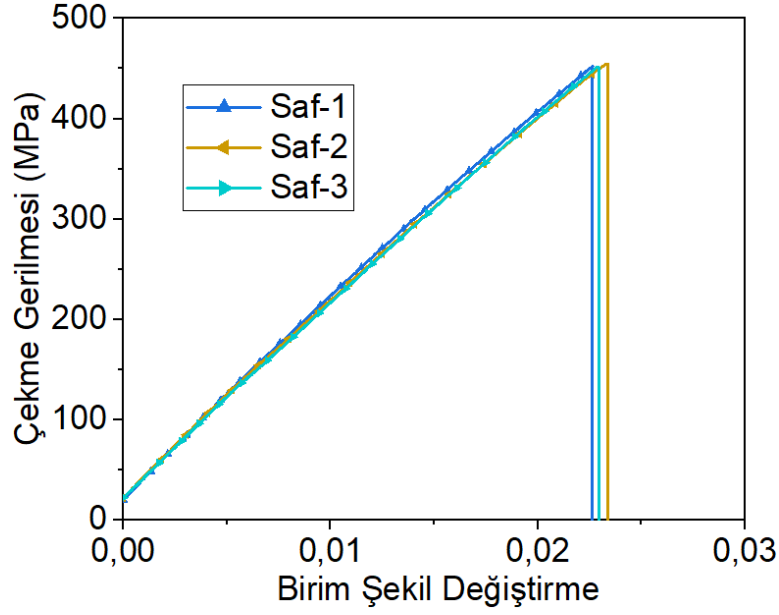
verilmiştir. Bu numunelerin yoğunluğu, karışım kuralından hesaplanmış ve  $1.912 \text{ kg.m}^{-3}$  olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Ankastre kiriş serbest titreşim test numuneleri.

## 2.2. Çekme Testleri

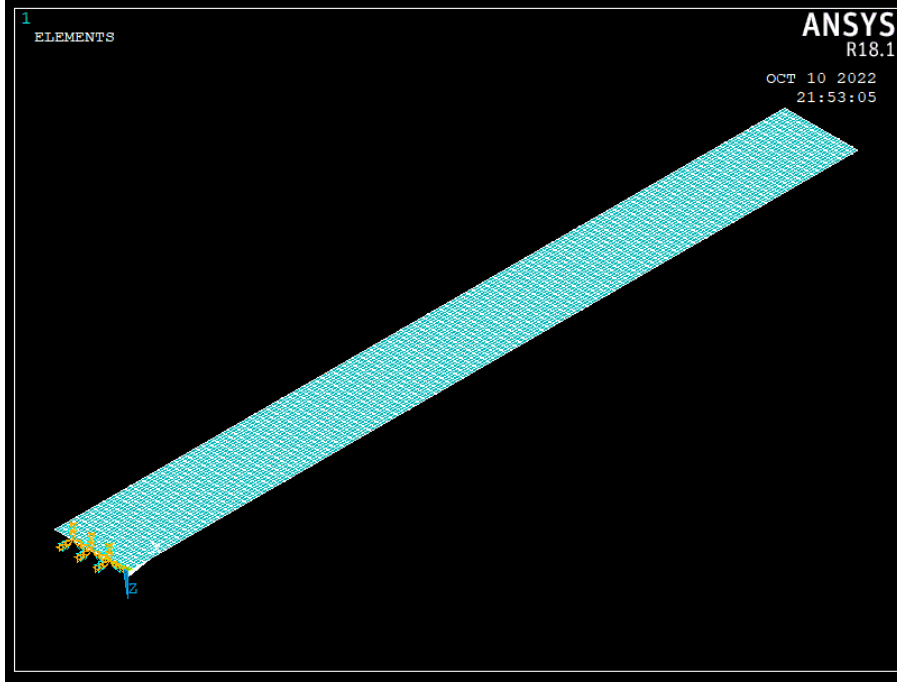
Kompozit test numunesinin doğal frekansının teorik olarak hesaplanması için ASTM 3039 standardına göre çekme testi yapılmıştır. Testler oda sıcaklığında ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), %30 nem oranında,  $2 \text{ mm/dk}$  çekme hızında,  $100 \text{ kN}$  kapasiteli Shimadzu AGS-X Plus Universal çekme cihazında yapılmıştır. Yapılan çekme testi sonucunda saf kompozit test numunesinin Elastisite modülünün(E) ortalamasının  $20.1635 \text{ GPa}$  olduğu deneysel olarak belirlenmiştir. Ortalama çekme gerilmesi  $452.12 \text{ MPa}$ , birim şekil değiştirme ise  $0.0224$  olarak tespit edilmiş ve grafik Şekil 3'te gösterilmiştir.



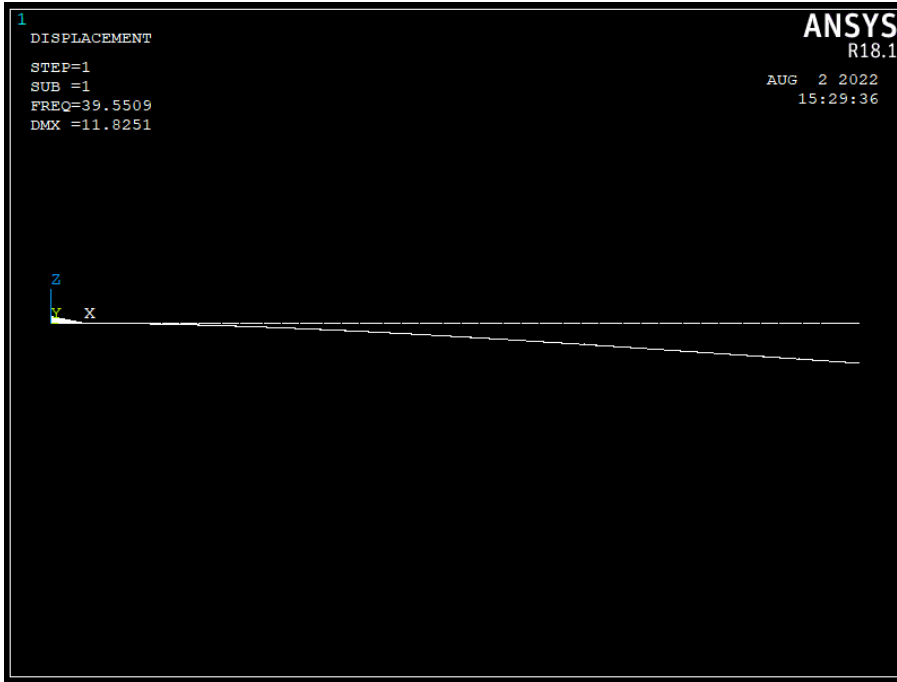
Şekil 3. Gerilme-Birim şekil değiştirme grafiği

### 2.3. ANSYS Modelleme

Kompozit kirişlerin ANSYS çözümü, öncelikle geometrinin oluşturulması, malzeme özelliklerinin girilmesi, mesh elemanının seçilmesi ve meshleme işlemi, sınır koşullarının tanımlanması, yüklerin girilmesi ve Block Lancsoz algoritma seçimi adımları takip edilerek gerçekleştirilmiştir [17]. Mesh elemanı, kabuklu yapıların çözümünü kolaylıkla gerçekleştirebilen ve her bir düğümde altı serbestlik dereceli dört düğümünden oluşan Shell 181 elemanı seçilmiştir. Her bir tabakada 1441 element ve 1587 düğüm olacak şekilde modelleme gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar çözümünde kullanılan modelin mesh yapısı, sınır koşulları ve yüklemeleri Şekil 4'ten görülebilir. Burada, deneysel çalışmada olduğu gibi sonlu elemanlar modeli de bir tarafı ankastre diğer tarafı ise serbest olacak bir kiriş şeklinde modellenmiştir. Yoğunluk değeri bahsedildiği gibi karışım kuralından hesaplanmış ve Elastisite modülü ise çekme testi sonucundan elde edilerek nümerik modele girilmiştir. Elde edilen ilk üç doğal frekans sonuçları ve modları Şekil 5'te verilmiştir.



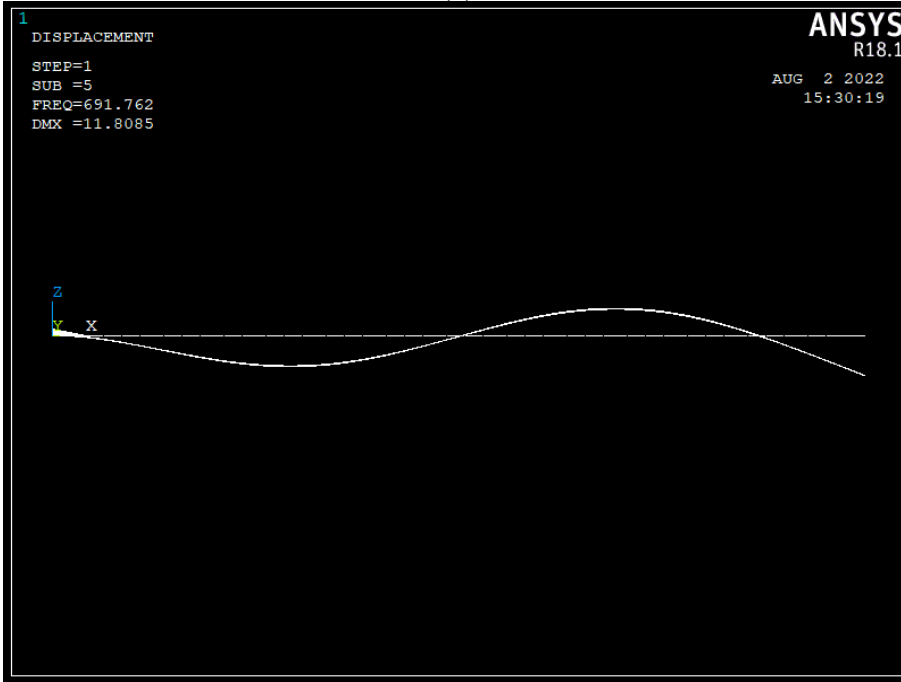
Şekil 4. Sonlu elemanlar çözümünde kullanılan modelin mesh yapısı, sınır koşulları ve yüklemeleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Ansys'te modellenen kompozitin a) ilk, b) ikinci ve c) üçüncü doğal frekans ve modları

### 2.3. Analitik Hesaplama

Saf kompozit malzemeden elde edilmiş 3x25x250 mm ebatlı ankastre kirişin serbest titreşimli doğal frekansı (Analitik hesabı) Denklem 1'de verilen Euler –Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak bulunmuştur [18]. Bu hesaplamada kiriş serbest titreşim boyu 200 mm, kiriş atalet momenti hesabında ise kiriş eni 25 mm, yüksekliği 3 mm olarak alınmıştır. ( $\beta_n L$ ) katsayı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

$$\omega_n = (\beta_n L)^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \quad (1)$$

$\omega_n$ : Doğal Frekans [Hz]

L: Kiriş (Numune) serbest titreşim boyu [m]

E: Malzeme (Numune) Elastisite (Young) Modülü [Pa, N.m<sup>-2</sup>]

I: Kirişin (Numune) Atalet Momenti [m<sup>4</sup>]

m: Kirişin(Numune) birim kütlesi [kg/m]

**Tablo 1.** Titreşim modları için ( $\beta_n L$ ) katsayı değeri tablosu [19]

n(Titreşim modu)	$\beta_n L$
1	1.8751
2	4.69409
3	7.8539
4	10.99557
5	14.1372
6	17.279

Saf kompozit numune malzemenin Elastisite modülü değeri, ASTM 3039 standardına uygun olarak çekme testi yapılarak 175-260 N.mm<sup>-2</sup> gerilme aralığında deneysel olarak 20.1635 GPa olarak bulunmuştur.

#### 2.4. Titreşim Testleri

Nanopartikül katkısız saf cam elyaf katkılı epoksi kompozit ile nanopartikül katkılı nanokompozit numunelerin titreşim testleri, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır. Test düzeneğinde, numune için 50 mm mengene kavrama/sıkma boyu ve 200 mm serbest titreşim boyu alınmıştır [20]. Testler, mengene 10 N.m torkla sıkılmış vaziyette, Lines:800 ve Span:3,2 kHz şartlarında yapılmıştır (Şekil 6). Test sonucu olarak lazer sensörle birinci ila beşinci Mod doğal frekansları ölçülmüştür.



**Şekil 6.** Test düzeneği setinin genel görünüşü.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

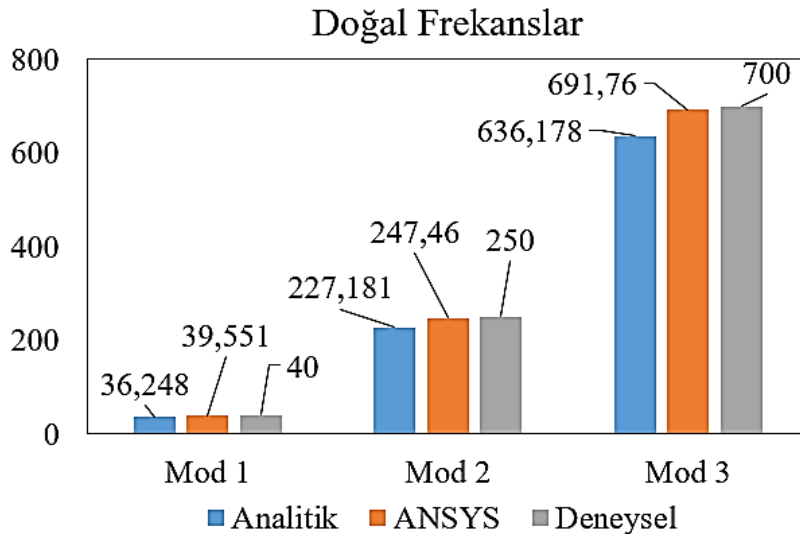
Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanım alanlarının titreşim yükü ağırlıklı olan ortamlar olması nedeniyle, kompozit malzemenin dinamik davranış özelliklerinin iyileştirilmesi hususu araştırılmıştır. Titreşim yükü altında çalışan malzemenin doğal frekansının yüksek olması tercih edilir. Bu nedenle nanokompozit malzeme ile katkılanmış kompozitlerin saf hallerine göre daha yüksek doğal frekans değerine sahip olması istenir. Bu çalışma kapsamında cam takviyeli cam kompozitlere nanokil ve nanosilika eklenerek doğal frekansın değişimi gözlenmiştir. Literatürde cam elyaf takviyeli kompozitlere %3 oranında nanokil ve yine aynı kompozitlere %1 oranında nanosilika katılmasının mekanik özelliklerinde iyileşme sağladığı bildirilmiştir [8, 10, 12]. Dolayısıyla bu çalışma ile ilgili çalışmalar göz önünde bulundurularak sadece %3 nanokil ile %1 nanosilika katkısının cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin dinamik davranış özelliklerine etkisi test edilmiştir. Daha sonrasında elde edilen veriler analitik ve nümerik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle belirli oranda nanokil ve nanosilika katkısının doğal frekanslar üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Literatürde yapılan mevcut ve ulaşılan çalışmalar incelenmiş, bu çalışmalarda ağırlıklı olarak cam elyaf kompozit malzemeye %1 nanosilika ya da %3 oranında nanokil malzeme katılarak nanokompozit malzemenin doğal frekansının iyileşmesinin en optimum şekilde gerçekleştiği deneysel olarak görülmüş olduğundan, numuneler bu katkı oranları ile hazırlanmış ve test edilmişlerdir.

#### 3.1. Sonuçların Karşılaştırılması

Nanomateriyal katkısız kompozit numunelerin deneysel titreşim sonuçları, analitik ve nümerik olarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Tablo 2’de görüldüğü üzere analitik olarak hesaplanan doğal frekans değerleri ile nümerik olarak (ANSYS) elde edilen doğal frekans değerleri ve deneysel ölçüm sonucu elde edilen doğal frekans değerleri ilk üç mod için uyumlu olduğu görülmüştür. Analitik frekansların hem nümerik hem de deneysel doğal frekans değerlerinden yaklaşık olarak yüzde 8-10 daha düşük olduğu görülebilir. Sonuçların birbiri ile uyumlu olması sebebiyle, titreşim deney düzeneğinde seçtiğimiz ayarların uygun olduğu görülmüş ve nanomateriyal katkılı kompozitlerin doğal frekans ölçümleri aynı parametreler seçilerek gerçekleştirilmiştir. Doğal frekanslar ayrıca çubuk grafiği olarak Şekil 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Katkısız Cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin deneysel, nümerik ve analitik doğal frekans karşılaştırılması

Mod	Doğal Frekans (Hz)		
	Analitik	ANSYS	Deneysel
1	36.248	39.551	40.000
2	227.181	247.46	250.000
3	636.178	691.76	700.000



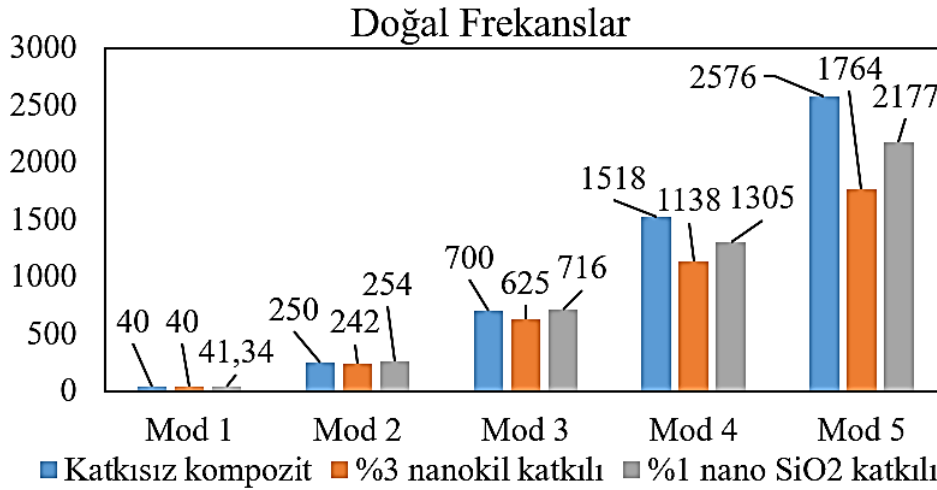
**Şekil 7.** Saf kompozitin deneysel, nümerik ve analitik doğal frekansları

### 3.2. Nanomateryal Katkılı Deneysel Bulgular

Test numunelerinin ankastre giriş serbest titreşim testi sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3 de verilmiştir. Burada 250 mm x25 mm x 3 mm ebatlı, saf/nanomateryal katkısız ve farklı nanomateryal katkıli test numunelerinin serbest titreşim testi ilk 5 mod doğal frekansları ilgili test düzeneği ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere %3 oranında nanokil katkısının birinci ve ikinci doğal frekanslar üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak, nanokil katkısının üçüncü, dördüncü ve beşinci doğal frekanslarda yaklaşık olarak sırasıyla %11, %25 ve %31 gibi hatırı sayılır oranda bir azalmaya sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Öte yandan %1 oranında nanosilika katkısının temel doğal frekans üzerinde yaklaşık olarak %3.35 oranında bir iyileştirmeye sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Dahası, nanosilika katkısının ikinci ve üçüncü doğal frekans üzerinde minör de olsa bir artışa etkisi görülmüştür. Buna karşılık, daha sonraki doğal frekanslar üzerinde ise azalışa neden olduğu görülmüştür. Bu azalış dördüncü ve beşinci doğal frekans için sırasıyla %14 ve %15 civarında olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu sonuçlara göre nanosilika katkısının nanokil katkısına göre üçüncü ve daha sonraki doğal frekanslar üzerinde daha az bir düşüşe sebebiyet vereceği şeklinde genel bir yorum yapılabilir. Titreşim test sonuçları ayrıca çubuk grafiği olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Katkısız ve nanomateryal katkıli kompozit numunelerin titreşim testi sonuçları

Mod	Doğal Frekans (Hz)		
	Katkısız kompozit	%3 nanokil katkıli	%1 nano SiO <sub>2</sub> katkıli
1	40	40	41.34
2	250	242	254
3	700	625	716
4	1518	1138	1305
5	2576	1764	2177



**Şekil 8.** Nanokompozitlerin titreşim test sonuçları

Literatürde, incelenen çalışmalarda nanokil katkıli nanokompozit malzemeler ile nanosilika katkıli nanokompozit malzemelerin dinamik davranışlarının, yapının/malzemenin doğal frekans değeri açısından nanosilika katkıli nanokompozit malzemede daha yüksek olmak kaydı ile kayda değer ölçüde iyileştiği görülmüştür [7, 11, 12]. Bu durum bu çalışmada nanosilika katkıli nanokompozit malzeme için doğrulanmıştır (ortalama %2-3 arası artış). Nanokil durumunda ise birinci ve ikinci doğal frekanslarda herhangi bir etkisinin olmadığı görülürken daha sonraki doğal frekanslar ise düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür. Bu durum, epoksi ile nanokil malzemesinin ultrasonik karıştırıcıda nanosilika/epoksi karışımına göre daha az homojen yapı elde edilmesine bağlanmıştır.



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada kompozit ve nanokompozit malzemelerin dinamik davranış özellikleri, deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları hem analitik hem de nümerik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Saf kompozit için doğal frekans değerleri analitik olarak hesaplanmış ve nümerik olarak (ANSYS) elde edilen doğal frekans değerleri ile deneysel ölçüm sonucu elde edilen doğal frekans değerlerinin ilk üç mod için uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Analitik frekansların hem nümerik hem de deneysel doğal frekans değerlerinden yaklaşık olarak yüzde 8-10 daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Nano takviyeli sonuçlarda ise deneysel testler sonucunda %1 nanosilika katkı ilk 3 mod için doğal frekansları yaklaşık %2-3 oranında artırmıştır. Aynı artış trendi nanokil katkısı için görülmemiş aksine doğal frekanslarda ikinci doğal frekanstan sonra hatırı sayılır derecede düşüşe sebebiyet vermiştir. Bu durumda %1 oranında nanosilika katkısı ile elde edilen nanokompozit malzemenin dinamik davranış özelliklerinin, ilk üç doğal frekans açısından nanomateryal içermeyen kompozit malzemeye göre daha iyi olduğu deneysel olarak görülmüştür. Bu çalışma, değişik nanopartikül katkısının ve çeşitli çevresel şartların nanokompozit malzemelerin dinamik özelliklerine etkisini kapsayacak şekilde geliştirilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 21063 numaralı proje ile desteklenmiştir. HÜBAP biriminin 21063 numaralı proje kapsamındaki desteği için çok teşekkür ederiz.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] İ. H. Çağlayan, Rezonans: Makinaların ve yapıların gizli düşmanı. Mühendis ve Makina, 50(598) (2009) 55-60.
- [2] S. Karaahmetli, C. Dünder, Yapı sönüm oranının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, 2017.
- [3] B. Dindar, Elyaf takviyeli kompozitlerde nanopartikül katkısının yorulma, burkulma, ve darbe davranışına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora tezi, Pamukale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [4] G. Raghavendra, Mechanical and tribological behavior of nanofiller reinforced polymer nanocomposites, Ph.D. Dissertation, National Institute of Technology Warangal, Warangal, Telengana, India, 2014.
- [5] G. Demircan, M. Kısa, M. Özen, B. Aktaş, Surface-modified alumina nanoparticles-filled aramid fiber-reinforced epoxy nanocomposites: preparation and mechanical properties. Iranian Polymer Journal, 29(3) (2020) 253-264.
- [6] G. Demircan, M. Kısa, M. Özen, A. Açıköz, Quasi-Static Penetration Behavior of Glass-Fiber-Reinforced Epoxy Nanocomposites. Mechanics of Composite Materials, 57(4) (2021) 503-516.
- [7] M. Özen, G. Demircan, M. Kısa, M. Açıköz, G. Ceyhan, Y. Işiker, Thermal properties of surface-modified nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/kevlar fiber/epoxy composites. Materials Chemistry and Physics, 278, 125689, 2022.

- [8] S. Ilangovan, S. S. Kumaran, K. Naresh, Effect of nanoparticles loading on free vibration response of epoxy and filament winding basalt/epoxy and E-glass/epoxy composite tubes: experimental, analytical and numerical investigations. *Materials Research Express*, Mater. Res. Express 7 (2020) 025007.
- [9] J. Alexander, B. S. M. Augustine, Free Vibration and Damping Characteristics of GFRP and BFRP Laminated Composites at Various Boundary Conditions. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8(12), DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i12/54208, June 2015 ISSN (Print) : 0974-6846 ISSN (Online) : 0974-5645.
- [10] N. Rajini, JT. Winowlin Jappes, S. Rajakarunakaran, P. Jeyara, Dynamic mechanical analysis and free vibration behavior in chemical modifications of coconut sheath/nano-clay reinforced hybrid polyester composite. *Journal of Composite Material*, 2012.
- [11] A. Erkliğ, M. V. Çakır, Ö. Y. Bozkurt, B. F. Ahmed, Nano Clay Additive Effect on Shear Strength of GFRP Joints. *Sakarya University Journal of Science*, 23(6) (2019) 1115-1122, DOI: 10.16984/saufenbilder, 523889.
- [12] R. Velmurugan, G. Balaganesan, Modal Analysis of pre and post impacted nano composite laminates. *Latin American Journal of Solids and Structures* 8 (2011) 9- 26.
- [13] M. K. Khorramabadi, Free Vibration of Functionally Graded Epoxy/Clay Nanocomposite Beams based on the First Order Shear Deformation Theory. *Int J Advanced Design and Manufacturing Technology*, Vol. 12/ No. 2/ June – 2019.
- [14] A.İ. Kaya, Doğal yaşlandırma koşullarının dokunmuş aramid ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerin dinamik davranışına etkisi, Doktora tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, 2019.
- [15] H. Adin, M.Ş. Adin, Effect of particles on tensile and bending properties of jute epoxy composites. *Materials Testing*, 64(3) (2022) 401-411.
- [16] M. Ş. Adin, M. Okumuş, Investigation of microstructural and mechanical properties of dissimilar metal weld between AISI 420 and AISI 1018 STEELS. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(7) (2022) 8341-8350.
- [17] H. Adin, Z. Sağlam, M.Ş. Adin, Numerical investigation of fatigue behavior of non-patched and patched aluminum/composite plates. *European Mechanical Science*, 5(4) (2021) 168-176.
- [18] A. Demirtaş, M. Bayraktar, Free vibration analysis of an aircraft wing by considering as a cantilever beam. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7(1) (2019) 12-21.
- [19] S. S. Rao, *Mechanical vibrations*, 5th edition, Pearson, 2011.
- [20] A. İ. Kaya, M. Kısa, M. Özen, Influence of natural weathering conditions on the natural frequency change of woven carbonfibre reinforced composites. *Advanced Composites Letters*, 27(2) (2018) 096369351802700201.



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi

*Effect of Recycled Concrete Aggregate on The Performance of Self-Compacting Concrete*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Ahmad ALGHADER<sup>1</sup>, Ali SARIŞIK<sup>2</sup>, Songül CAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-5045-974X

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0001-7698-6134

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0001-9590-5504

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Alghader A., Sarışık A., Can S., “Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 91-107, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1235972



## Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi

Ahmad ALGHADER<sup>1</sup>, Ali SARIİŞİK<sup>2\*</sup>, Songül CAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

<sup>3</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

### Öz

Bu çalışma, kendiliğinden yerleşen betonda geri dönüştürülmüş beton agregası kullanarak çevre dostu beton üretmeyi amaçlamıştır. Laboratuvar dışına atılan numunelerden elde edilen 4-16 mm tane boyutuna sahip geri dönüştürülmüş beton agregaları kullanılmıştır. Naftalin sülfonat bazlı süper akışkanlaştırıcı, çimento ağırlığının %1'i oranında karışıma ilave edilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregası %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında doğal agrega ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun taze özelliklerini incelemek için; çökme-yayılma, T<sub>500</sub> süresi, V-hunisi, L kutusu testleri uygulanmıştır. Her karışım için 150 x 150 x 150 mm boyutlarında 6 adet kübik numune ve 100 x 100 x 500 mm boyutlarında 6 adet prizmatik numune üretilmiştir. 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda; ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; geri dönüşüm agregasının %50 oranında ikame edilmesi ile işlenebilirlikte iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Geri dönüşüm agregasının %30 oranında ikame edilmesi ile dayanım performansını iyileştirdiği görülmüştür.

### Effect of Recycled Concrete Aggregate on The Performance of Self-Compacting Concrete

#### Abstract

This study aimed to produce environmentally friendly concrete using recycled concrete aggregate in self-compacting concrete. Recycled concrete aggregates with a grain size of 4-16 mm obtained from the crushing process of samples thrown outside the laboratory were used. Naphthalene sulfonate-based superplasticizer was added to the mixture at 1% of the cement weight. Recycled concrete aggregate was replaced by natural aggregate at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, and 100%. Slump-flow, T<sub>500</sub> time, V-funnel, and L-box tests were applied to the self-compacting fresh concrete. It produced six cubic samples of 150 x 150 x 150 mm and six prismatic samples of 100 x 100 x 500 mm for each mixture. At the end of 7 and 28-day curing periods, Ultrasonic pulse velocity, compressive strength, and tensile strength tests were carried out. In conclusion, It has been observed that there is an improvement in workability with the 50% substitution of the recycling aggregate. Furthermore, it has been observed that the 30% substitution of the recycling aggregate improves the strength performance.

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 18/01/2023

Yayın: 31/08/2023

#### Anahtar Kelimeler

Kendiliğinden yerleşen beton  
Geri dönüştürülmüş beton agregası  
Beton atıkları  
Mekanik özellikler

#### Keywords

Self-compacting concrete  
Recycled concrete aggregate  
Concrete waste  
Mechanical properties

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal kaynakların yüksek oranda tüketilmesi nedeniyle, ister aktarıldıkları alanda ister başka bir alanda bu kaynakların kullanımını azaltan, yeniden kullanan veya kullanılabilir malzemelere dönüştüren teknolojilere ihtiyaç doğmuştur. Binalar ve tesisler için yapılan inşaat ve yıkım atıkları, bertaraf edilen atık miktarının %13 ila %29'unu oluşturmaktadır [1]. Büyük miktarlarda inşaat ve yıkım atıklarının düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesi, doğal çevreye birçok yönden zarar vermektedir. Örneğin ABD'de yayınlanan

\*İletişim yazarı, sariisik@harran.edu.tr

2005 raporuna göre yılda yaklaşık 130 milyon ton inşaat atığı üretilmektedir. Bu nedenle bu atığın geri dönüşüm ve yeniden kullanım olanaklarının değerlendirilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde bu atıklar çok büyük doğal depolama alanlarının tahrip olmasına neden olacaktır [2]. ABD, Almanya, Hollanda, İngiltere ve Danimarka gibi bazı ülkelerde yıkım ve inşaat atıklarının yeraltı sularının kirlenmesine neden olduğuna dikkat çekilmektedir. Bu atıklar içme suyu kaynaklarının bulunduğu alanlarda depolanmamalı, bu nedenle depolanırken özen gösterilmelidir [3]. Doğal agrega üretimi geniş alanlarda doğal çevreye zarar vermektedir. Doğal agregaların üretildiği tesislerden kaynaklanan toz emisyonları, görüntü kirliliği ve gürültü gibi etkiler dikkate alınmalıdır [2]. Bu atıkların çevre üzerindeki önemli etkisini göstermektedir. Bu atıkların %65'inin beton atığı ve iri agrega olduğu tespit edilmiştir. Bu, beton üretiminde kullanılan hammaddelerin tükenmesini azaltmanın bir yolunu bulmak anlamına gelir. Bu, üç yoldan biriyle olmalıdır: (1) beton kullanımının azaltılması, (2) aynı betonun yeniden kullanılması veya (3) betonun geri dönüştürülmesi. Bu konu, çeşitli silahlarla bombalama sonucunda tonlarca inşaat ve yıkım atığı üreten savaştan etkilenen ülkelerde özellikle önemlidir. Yapılan araştırmalar sonucunda, beton atıkları da dahil olmak üzere yıkım atıklarının %80 ila %90'ının geri dönüştürülebildiği tespit edilmiştir [4]. Beton geri dönüşüm süreci şunları sağlar:

- Doğal kaynakların kullanımının azaltılması,
- Bu hammaddelerin üretim ve nakliye maliyetlerini azaltılması,
- Bertaraf için taşınan malzeme miktarının azalması.

Beton iki yoldan biriyle geri dönüştürülebilir:

- Yeni beton üretiminde kaba ve ince agrega olarak kullanılabilir [5-6], atık betondan yapılan agreganın %30'unun yeni betonda kullanılabileceğini göstermektedir,
- Yol kaplamalarının alt tabakasında kullanılmaktadır.

Çalışmalar, geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDBA) inşaat işlerinde, özellikle yeni beton üretim süreçlerinde iyi dayanım ve yüksek işlenebilirlik ile yeniden kullanılabileceğini göstermiştir. Kullanılabilen beton atıkları geri dönüşüm için ; yıkılan eski yapılardan, doğal afet molozlarından, yangın molozlarından, ulaşım sistemi ile ilgili işlerden, kalite kontrol numunelerinden, kusurlu beton ürünlerinden, prefabrik ürün atıklarından ve düşük kaliteli ürünlerden elde edilmektedirler [3]. Oikonomou [7], geri dönüştürülmüş beton agregası ile ilgili yaptığı çalışmada, yıkımdan elde edilebilecek maksimum beton miktarının %40 civarında olduğunu bildirmiştir.

Beton kullanımı sürekli olarak yaygınlaşmakta ve birçok yönü içerecek şekilde hızla büyümektedir. Beton kullanımındaki artışın yanı sıra, daha iyi performans, direnç ve kalıcılık olacak şekilde sürekli olarak geliştirilmektedir. Betonun özelliklerinden biri de dayanım ve dayanıklılıktır. Bu niteliklerin elde edilmesi için dökülen betonun döküm sırasında şartlara ve koşullara göre sıkıştırılması gerekir. Geleneksel beton vibratör kullanılarak yerine oturtulur ve işçilik yetersizliğinden dolayı standartlara göre yeterince sıkıştırılmaz ve bunun sonucunda betonun kalitesi düşer. Japon bilim adamları, beton yapıların zayıf performansından sorumlu olan ana faktörün, düzgün ve eksiksiz bir titreşim sürecinin olmaması olduğunu düşünmüşler. 1983 yılından itibaren iç ve dış vibratör kullanımına ihtiyaç duymayan iyi performanslı beton elde etmek için çalışmalar başlatılmıştır [8]. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kavramı 1986 yılında Profesör Okamura tarafından önerilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton prototip olarak 1988 yılında Tokyo Üniversitesi'nden Profesör Ozawa tarafından Japonya'da geliştirilmiştir [9]. Bu tip betonu geliştirmenin amacı, beton yapıların dayanıklılığını artırmaktır. KYB, Japonya'daki bazı tesislerde büyük inşaat şirketleri tarafından pratikte kullanılmıştır. Karışım oranlarını tasarlamak için standart yöntemler geliştirilmiştir. KYB'ni test etmek için referans yöntemlerden yola çıkılarak çeşitli testler ve çalışmalar yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton, iç veya dış vibratör kullanılmadan dökülür, kendi kendine akar ve döküldükten sonra pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Kendiliğinden yerleşen beton, geleneksel betonda bulunan aynı bileşenlerden oluşur: çimento, agrega, kum, su, mineral ve kimyasal katkıların eklenmesiyle

oluşmaktadır. Genellikle kullanılan kimyasal katkı maddeleri, betonun reolojik özelliklerini (viskozitesini) değiştiren, su azaltıcılar (yüksek performanslı akışkanlaştırıcılar), viskozite değiştiriciler ve mineral katkıları olarak tanımlanmaktadır. Literatürde KYB için birden fazla isim kullanılmaktadır. Bu isimler şunlardır : Self-Consolidating Concrete, Self-Compacting Concrete ve Self-Leveling Concrete. KYB için en yaygın kullanılan isim Self- Compacting Concrete [10]. KYB'nin geliştirilmesi, beton dökümü ile ilgili sorunların üstesinden gelmek için inşaat alanında bir başarı olarak kabul edilmektedir. KYB, döküm işlemi sırasında işçilerin becerisinden (insan faktörü hariç) etkilenmez. Yüksek akış özelliği ve ayrılma direnci nedeniyle kalıplara yerleştirilir, donatı çubuklarının şeklinden ve miktarından, kalıpların şeklinden etkilenmez. Bu da daha uzun mesafelerde pompalanmasını sağlar [8]. KYB'nin özellikleri aşağıdaki hususlarda özetlenebilir:

- KYB, mekanik vibratör gerektiren normal betondan daha hızlı dökülebilir,
- KYB, beton yüzeyinin tesviye edilmesini gerektirmez,
- Bu beton, normal betona kıyasla ulaşılması zor yerlere kolaylıkla ulaşır ve doldurur,
- Çeşitli döküm yerlerinde homojen beton elde edilmesini sağlar,
- Yüksek pompalanabilirlik ve yüksek işlenebilirliğe sahiptir,
- Proje maliyetini düşüren tesislerin tamamlanma sürelerinin kısaltılmasını sağlar,
- Vibratör kullanımından kaynaklanan gürültüyü azaltır.

KYB'da geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı oldukça yeni bir araştırma alanıdır. KYB üretiminde doğal agregaya alternatif olarak geri dönüştürülmüş agrega kullanma imkanı araştırılmıştır. GDBA, doğal agregadan daha az yoğun olduğu ve doğal agregaya göre su emme değeri daha yüksek olduğu için kalitesi doğal agregadan daha düşüktür. Bu konuda birçok uluslararası çalışma yapılmıştır. Çoğu çalışma, GDBA içeriğinin dikkate değer bir etkisi ile geri dönüştürülmüş betonların mekanik özelliklerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Bu, geri dönüştürülmüş iri agrega ile ikame oranının artmasıyla mekanik mukavemetin düştüğü anlamına gelir [11]. Bu nedenle, GDBA esaslı betonun istenen özelliklerini elde etmek için beton karışımını dikkatli bir şekilde tasarlamak gerekir.

Bu makalede, laboratuvarında üretilen kırma beton numunelerinden geri dönüşümlü iri beton agregası elde edilmiştir. Doğal agrega içeren KYB karışımları kontrol betonu olarak tasarlanmıştır. GDBA'sı hacimce %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında doğal agrega ile yer değiştirerek üretim gerçekleştirilmiştir. Ön denemelerde su/çimento oranı 0,36'dan düşük seçildiğinde, çökme-yayılmada EFNARC kriterlerine göre gerekli şartları sağlayamamıştır. Su/çimento oranı 0,36'dan daha yüksek olduğunda çökme-yayılmada ayrışma gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, su/çimento oranının 0,36 seçilmesine karar verilmiştir. Çimento miktarı 550 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Su/çimento oranını azaltmak ve karışıma daha iyi işlenebilirlik kazandırmak için kimyasal katkı maddesi olarak naftalin sülfonat çimento ağırlığının %1'i oranında karışıma ilave edilmiştir. KYB'nin taze ve sertleşmiş özelliklerini kontrol etmek için 7 farklı GDBA karışımı üretilmiştir. Çökme-yayıma, T<sub>500</sub> süresi, V hunisi ve L kutusu testleri yapılmıştır. Hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton numuneler 7 ve 28 gün boyunca su küresine maruz bırakılmıştır. KYB numuneleri kür süreleri sonunda sudan çıkarılmış ve sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir (Ultras ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı).

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregası doğal agrega ile kütlece %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregaları, Harran

Üniversitesi inşaat mühendisliği bölüm laboratuvarındaki atık beton numunelerinden elde edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretimi Avrupa Rehberi EFNARC [12] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Karışımda çimento, normal agregası, geri dönüştürülmüş beton agregası, kum ve kimyasal katkı kullanılmıştır.

### 2.1.1. Çimento

KYB üretimlerinde bağlayıcı olarak LİMAK Şanlıurfa çimento fabrikası tarafından temin edilen TS EN 197-1 [13] standardına uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özgül ağırlığı 3,15'tir. Çalışma kapsamında, 550 kg/m<sup>3</sup> çimento kullanılarak tüm karışımlarda sabit tutulmuştur.

### 2.1.2. Süper akışkanlaştırıcı katkı

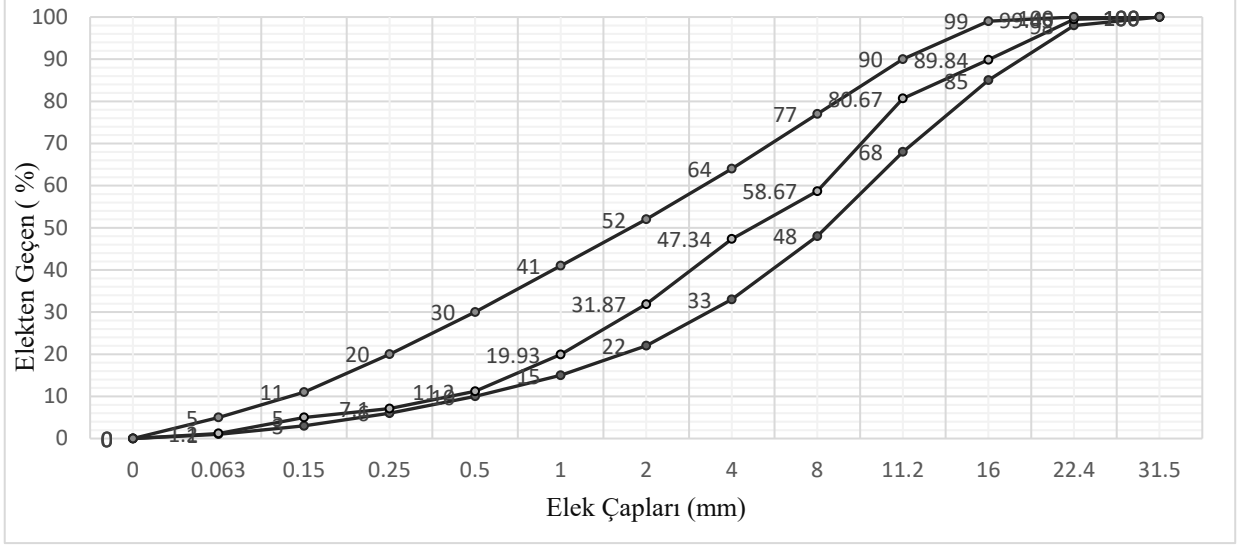
Geri dönüştürülmüş betonun su emme özelliği yüksek olduğundan, viskoziteyi artırmak, ayrışmayı ve karışıma eklenen su miktarını azaltmak için süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. LYKSOR Sodyum Naftalin Sülfat, KYB karışımlarının üretim süreçlerinde süperakışkanlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Sodyum Naftalin Sülfonat bazlı hammadde, beton katkı formülasyonlarında su azaltıcı olarak tasarlanmıştır. Kullanılan kimyasal katkının yoğunluğu 1,2 kg/lt olup, çimento ağırlığının %1'i oranında beton karışımlarına dâhil edilmiştir.

### 2.1.3. Agregası

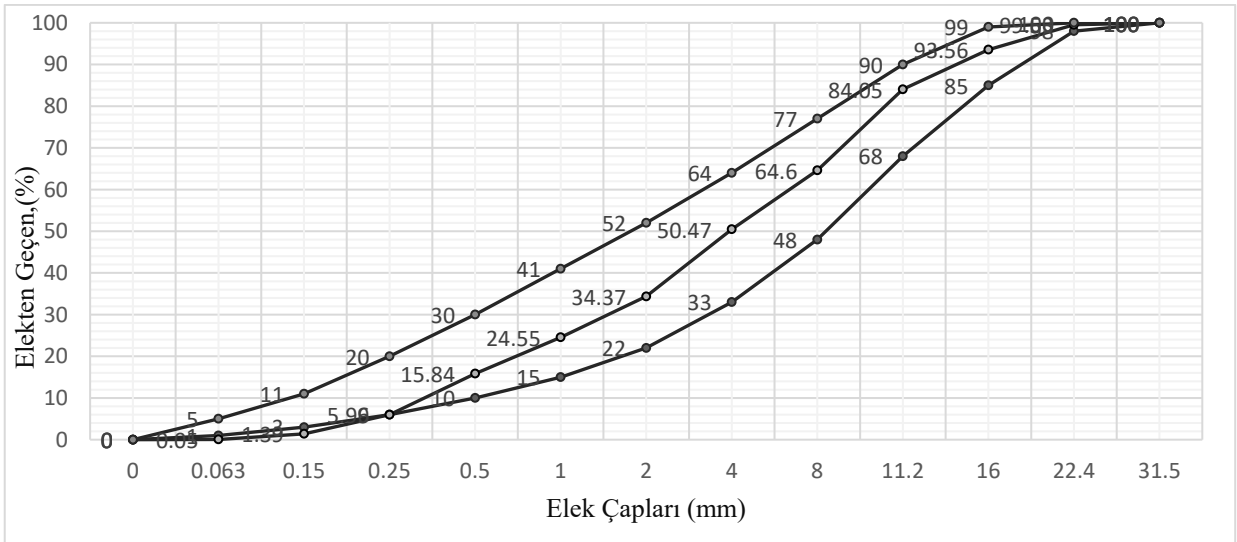
Bu araştırmada, doğal iri agregası olarak maksimum tane boyutu 16 mm olan doğal çakıl agregaları kullanılmıştır. Karışımlar TS 802 [14]'ye uygun olarak hesaplanmıştır. İnce agregası olarak (0-4 mm) dere kumu, iri agregası olarak; doğal ve geri dönüşümlü beton agregaları (4-8 mm ve 8-16 mm) kullanılmıştır. Doğal dere kumu için özgül ağırlık ve su emme değerleri sırasıyla 2,71 ve %0,51 olarak bulunmuştur. Doğal agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri; 4-8 mm için 2,76 ve %2,15, 8-16 mm için ise 2,74 ve %1,63'tür. KYB karışımı %55 ince ve %45 iri agregadan oluşmaktadır. KYB karışımlarının üretiminde kullanılmak üzere geri dönüştürülmüş agregalar üretmek amacıyla atık durumdaki beton numuneleri kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregaları, Harran Üniversitesindeki inşaat mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan atık beton numunelerden elde edilmiştir. Atık beton numuneleri çeneli kırıcı kullanılarak parçalanmıştır. Kırıcıdan geçirilen beton numuneler işlem sonrası eleme işlemine tabii tutularak 4-16 mm tane boyutlarına sahip agregalar elde edilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregasının özgül ağırlık ve su emme değerleri; 4-8 mm için 2,737 ve %7,33, 8-16 mm için ise 2,735 ve %7,36'dır. KYB üretiminde kullanılan dere kumu, doğal agregası ve geri dönüşümlü beton agregalarının fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Doğal agregası, geri dönüşümlü beton agregası ve dere kumunun granülometri eğrileri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** KYB üretiminde kullanılan dere kumu, doğal ve geri dönüştürülmüş beton agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Dere kumu	Doğal agregası (4-8 mm)	Doğal agregası (8-16 mm)	GDBA (4-8 mm)	GDBA (8-16 mm)
Özgül ağırlık	2,71	2,76	2,74	2,737	2,735
Su emme (%)	0,51	2,15	1,63	7,33	7,36



Şekil 1. Doğal agrega ve dere kumun granülometri eğrileri



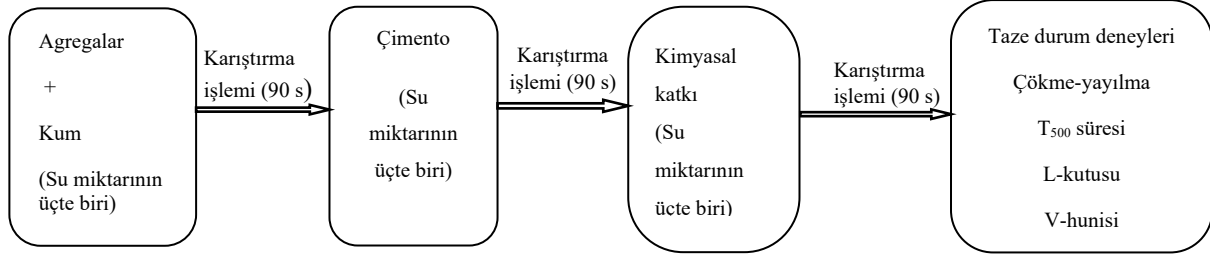
Şekil 2. GDBA agrega ve dere kumun granülometri eğrileri

## 2.2. Karışım Oranları ve Karışımın Hazırlanması

Bu çalışmada, doğal çakıl agregasının kütlece %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100'ü oranında geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmıştır. KYB serilerinin üretiminde  $550 \text{ kg/m}^3$  çimento kullanılmıştır. Ön denemeler sonucunda su/çimento oranının 0,36 olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Taze beton karışımlarında ayrışmaya karşı direnç elde etmek için önemli miktarda superakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Sodyum Naftalin Sülfonat (LYKSOR Sodyum Naftalin Sülfat) bazlı akışkanlaştırıcı, beton katkı formülasyonlarında su azaltıcı olarak kullanılmıştır. KYB'deki akışkanlığı sağlamak amacıyla, çimento miktarının ağırlıkça %1'i oranında naftalin sülfonat bazlı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. KYB karışım oranlarını Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo 3'de, kontrol betonu doğal çakıl agregaları ile üretilen betonu, GDBA10 kodu ise geri dönüşümlü beton agregasının doğal çakıl agregası ile %10 oranında yer değiştirdiğini göstermektedir. Karıştırma işlemi üç aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşamada, iri ve ince agregalar, su miktarının 1/3 ilave edilerek 90 s karıştırılmıştır. İkinci aşamada, çimento ve suyun 2/3 eklenmiş ve 90 s karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, süperakışkanlaştırıcı ve kalan su



miktarı karışıma ilave edilerek 90 s karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplamda 4,5 dakikada karışım tamamlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Malzemelerin karışım süreci

KYB karışımlarının taze özelliklerini belirlemek için çökme-yayılma testi,  $T_{500}$  süresi, V-hunisi testi, L-kutusu testleri yapılmıştır. Deneylerden sonra taze beton kalıplara yerleştirilmiştir. Basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı testleri için 150 mm'lik küp numuneler, eğilme dayanımı testi için ise 100 x 100 x 500 mm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır. KYB numuneleri 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve test anına kadar su kürü (7 ve 28 gün) uygulanmıştır.

Tablo 3. Üretilen KYB karışımlarına ait karışım oranları ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Karışım Kodu	s/ç	Su	Çimento	Katkı	Kum	Doğal agregalar		GDBA	
						(4-8)mm	(8-16)mm	(4-8)mm	(8-16)mm
Kontrol	0,36	198	550	5,5	886,8	412,94	327,86	--	--
GDBA10	0,36	198	550	5,5	886,8	371,65	295,01	39,67	31,72
GDBA20	0,36	198	550	5,5	886,8	330,35	65,95	330,35	262,3
GDBA30	0,36	198	550	5,5	886,8	289,42	229,51	119	95,14
GDBA40	0,36	198	550	5,5	886,8	247,76	196,72	158,7	126,85
GDBA50	0,36	198	550	5,5	886,8	206,46	163,9	198,4	158,48
GDBA100	0,36	198	550	5,5	886,8	--	--	396,7	317,1

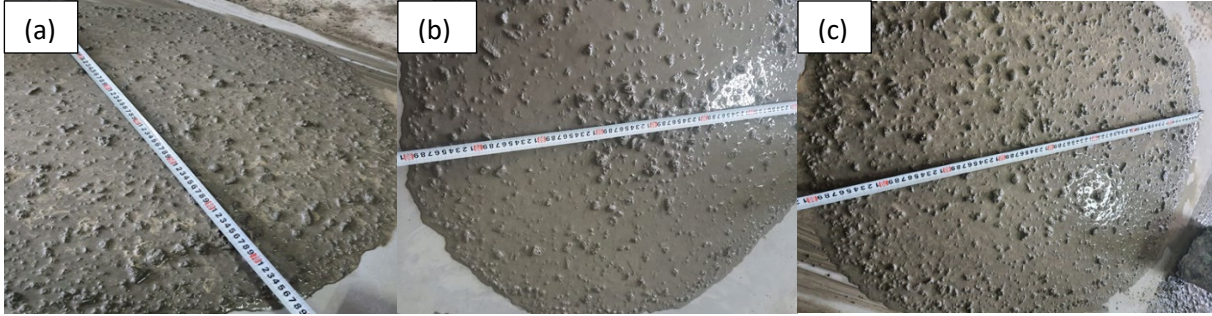
## 2.3. Test Yöntemleri

### 2.3.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton deneyleri

KYB'nin akışkanlık, doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve mukavemet sonuçlarını belirlemek için EFNARC standardına göre çökme-yayılma,  $T_{500}$  süresi, V-hunisi ve L-kutusu testleri yapılmıştır.

### 2.3.1.1. Çökme-yayılma deneyi ve $T_{500}$ süresi ölçümü

Betonun doldurma kabiliyetini ve viskozitesini test etmek için kendiliğinden yerleşen beton karışımları üzerinde çökme- yayılma ve  $T_{500}$  süresi testleri yapılmıştır. Koni metal plakanın ortasına yerleştirilmiştir. Betonla doldurulduğu ve fazla betonu çıkardıktan sonra koni dikey olarak kaldırılmıştır. Betonun 500 mm'lik çapa ulaşma süresi kaydedilmiş, dikey ve yatay mesafe ölçümlerinin ortalaması alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Taze beton ölçümleri: (a) Kontrol, (b) GDBA10, (c) GDBA100

### 2.3.1.2. L-kutusu deneyi

KYB'nin donatı çubukları ile temsil edilen engelleri geçme kabiliyetini doğrulamak için L kutu testi gerçekleştirilmiştir. Kutu sabit ve yatay bir konuma yerleştirilmiştir. L-kutusunun dikey kısmı mikserden alınan KYB numunesi ile doldurulmuştur. Kapak açılmış ve betonun akışı durduktan sonra H1 ve H2 mesafeleri ölçülmüştür

### 2.3.1.3. V-hunisi deneyi

V-hunisi testi, kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesini ve doldurma kapasitesini değerlendirmek için yapılmıştır. V hunisi, yatay olarak sabit bir yüzeye dikey olarak yerleştirilmiş ve ardından KYB numunesi ile doldurulmuştur. Kapı açıldığında kronometre çalıştırılmıştır. Hunide boşluk görüldüğünde, kronometre durdurulmuş ve huni akış süresi kaydedilmiştir.

## 2.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

### 2.3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı ölçüm (UPV), bazı malzeme özelliklerini elde etmek, kusurları tespit etmek ve sertleşmiş betonun bozulmasını değerlendirmek için kullanılan tahribatsız bir test yöntemidir. Testler sadece beton kalite kontrolü için değil, aynı zamanda çatlakların varlığını belirlemek için de kullanılabilir [15]. Test aleti, bir darbe üreten ve betona veren bir araçtan (darbe üretici ve verici) oluşur. Test numunesinin iki ucuna bir çift piezoelektrik sensör yerleştirilir [16]. Aynı numunenin uzun süreli izlenmesini sağlar. UPV cihazı dalga darbeleri üretir ve bunları betona iletir; darbenin betondan geçmesi için geçen süreyi dikkate alarak darbe alıcısı aracılığıyla gelen dalgaları kaydeder ve görüntüler [17]. Dalganın kat ettiği mesafe bilinerek geçiş

hızı hesaplanır ve hıza göre betonun durumu belirlenir. Sensörlerin konumlarına bağlı olarak, iletimler üç kategoriye ayrılır: direkt iletimler (sensörler zıt uçlarda), indirekt iletimler (sensörler aynı tarafta) ve yarı direkt iletimler (sensörler dik açılarda) [18]. Bu çalışmada betonun basınç dayanımını değerlendirmek için direkt ölçüm kullanılmıştır (Şekil 4). Bilindiği gibi betonun yoğunluğu ne kadar yüksekse dayanımı o kadar yüksektir, bu nedenle ultrases dalgaları daha yoğun beton içinde daha hızlı geçer [10]. Ultrases geçiş hızı testi, basınç dayanımı testinde kullanılacak 150 mm'lik beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. GDBA ile üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri laboratuvar ortamında 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan alınmıştır. Daha sonra beton numunelere  $25 \pm 2$  °C sıcaklıktaki su havuzunda 28. güne kadar standart su kürü uygulanmış, ardından ultrases geçiş hızı testi yapılmıştır. Ultrasonik deney yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 4.** IS, 1992'ye göre ultrasonik test yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı, (m/s)	Beton Kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
< 2000	Çok Zayıf

### 2.3.2.2. Basınç dayanımı deneyi

Deney standardı TS EN 12390-3[19]'e uygun olarak basınç dayanımını tayin etmek amacı ile yapılmıştır. Basınç dayanımı testi için 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital göstergeli ve hidrolik yük kontrollü otomatik pres kullanılmıştır. Beton numuneleri 0,6 kN/s yükleme hızında kırılmıştır. Basınç dayanım deneyleri 150 mm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Beton numuneler 7 ve 28 günlük su kürü sonrası basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

### 2.3.2.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Eğilmede çekme dayanım testi, TS EN 12390-5 [20] standardına göre 0,05 MPa yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Betonun eğilme dayanımını elde etmek için beton kiriş numuneleri hazırlanmış ve beton numunenin üzerine yerleştirildiği mesnetler arasındaki mesafenin ortasına (mesafe L/2) yüklenerek test edilmiştir. Üretimden itibaren 28 gün sonra 3 noktadan yüklemeli eğilme deneyi 100x100x500 mm boyutlarındaki prizmatik numunelere uygulanmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

KYB'nin özelliklerini taze durumda belirlemek için (doldurma ve geçme yetenekleri), çökme yayılma deneyi, T<sub>500</sub> süresi, V-hunisi akış süresi, L-kutu yükseklik oranı ölçülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir. KYB karışımları üzerinde yapılan taze beton testlerinin sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Kendiliğinden yerleşen taze beton deney sonuçlarının EFNARC,2005 sınır değerler ile karşılaştırılması

Karışım Kodu	Çökme-yayılma (mm)-SF3	T <sub>500</sub> Süresi (s) VS2	L-kutusu oranı PA2	V-hunisi Süresi (s)
Kontrol	800≥ 760	4,10>2	0,910 ≥0,80	9,17>9-25 (VF2)
GDBA10	760≥ 760	4,26>2	0,890 ≥0,80	8,72≤8 (VF1)
GDBA20	780≥ 760	4,22>2	0,895 ≥0,80	8,63≤8 (VF1)
GDBA30	800≥ 760	4,20>2	0,900 ≥0,80	6,33≤8 (VF1)
GDBA40	810≥ 760	3,38>2	0,910 ≥0,80	6,27≤8 (VF1)
GDBA50	810,5≥ 760	3,32>2	0,915 ≥0,80	6,17≤8 (VF1)
GDBA100	800,5≥ 760	4,30>2	0,913 ≥0,80	9,18>9-25 (VF2)

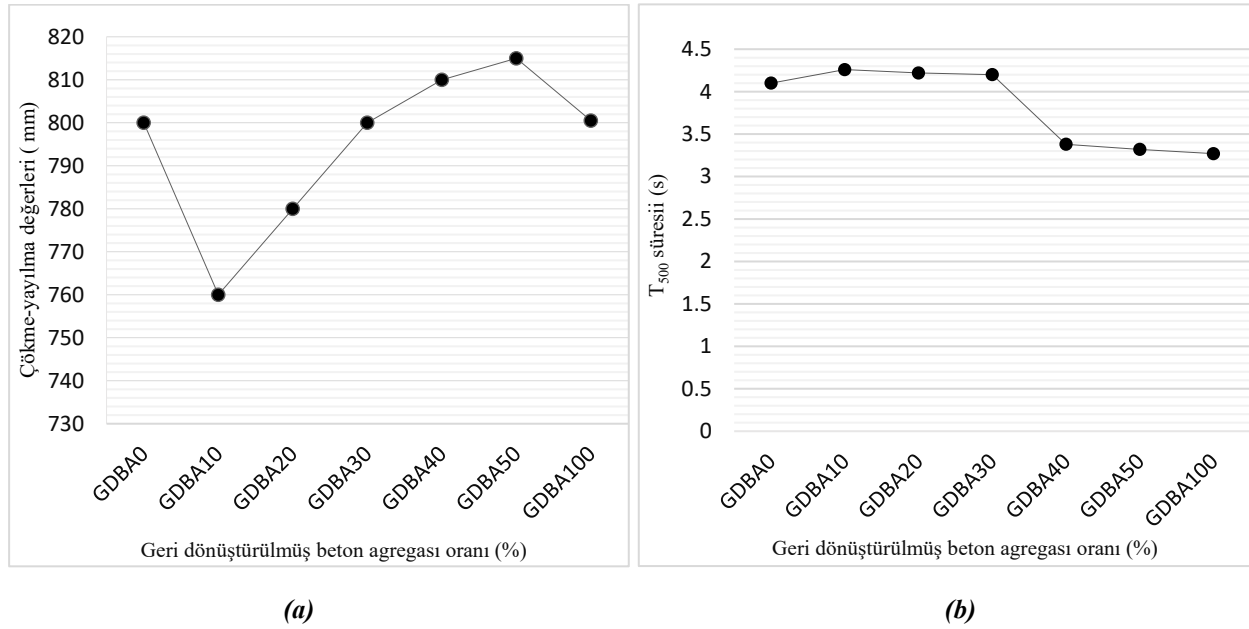
### 3.1.1. Çökme-yayılma deneyi ve T<sub>500</sub> süresi ölçümü sonuçları

Kendiliğinden yerleşen beton üretmek için tasarlanan karışımlar üzerinde yapılan çökme yayılma testinin sonuçları EFNARC standardına göre belirlenen sınır değerler içinde kalmıştır (Tablo 5). Şekil 5(a)'da yayılma çaplarının 760 mm ile 810,5 mm arasında olduğu görülmektedir. Çökme-yayılma değerleri incelendiğinde tüm beton karışımlarının EFNARC, 2005'e göre SF3 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol karışımına kıyasla %10 ve %20 GDBA eklendiğinde çökme yayılda bir azalma olduğu açıkça görülmektedir. GDBA'nın %10 ve %20 ikame oranlarında kullanılması ile kontrol karışımına kıyasla sırasıyla; %5 ve %2,5'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. GDBA'nın %40, %50 ve %100 ikame oranlarında kontrol karışımına kıyasla sırasıyla; %1,25, %1,875 ve %0,625'lik bir artış olduğu görülmektedir. Bu bulgu, önceki araştırma sonuçları ile tutarlıdır [17,21]. GDBA'nın %50'ye kadar ikame edilmesi ile çökme-yayılma değerlerinde artış sergilenirken, geri dönüşümlü betonun daha yüksek oranlarda kullanımı daha az artışa neden olmuştur. Bunun nedeni, GDBA'nın açısız şekline bağlanmıştır [17]. GDBA, kırma işlemleri sayesinde daha fazla yüzey pürüzlülüğüne ve nispeten daha ince parçacıklara sahiptir. GDBA kullanımında %50'e kadar olan yer değiştirme seviyelerinde çökme-yayılma miktarının artması buna karşın daha fazla yer değiştirme seviyelerinde kontrol betonuna kıyasla, azda olsa çökme-yayılma değerlerinin artmasının nedeni daha fazla yassı ve uzun agregaların kullanılmasına bağlanmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada, GDBA kullanımında çökme-yayılma değerlerindeki artış kullanılan agregaların özgül ağırlıklarının farklı olmasına bağlanmıştır. GDBA'nın özgül ağırlıkları doğal agregaya kıyasla azda olsa düşüktür, düşük özgül ağırlıktan dolayı harç tarafından agregaların taşınması daha kolay olacak ve çökme-yayılma değerlerinde artış görülecektir. Çökme-yayılma değerlerinin kontrol betona kıyasla azda olsa artması karışımların su emmelerinin farklı olmasına bağlanmıştır. Laboratuvarından alınan numuneler rastgele seçildiğinden C25, C30 veya C35 sınıflarından hangisine ait olduğu tam olarak bilinmemektedir. Yapılan bir çalışmada, laboratuvarından temin edilen C25 ve C30 sınıflarına ait iki tür geri dönüşüm agregası kullanılmış ve sonuç olarak C30 sınıfına ait çökme-yayılma değerlerinin C25 sınıfına ait çökme-yayılma değerlerine kıyasla daha fazla artış sağladığı gözlemlenmiştir. Ancak, her iki beton sınıfına ait çökme-yayılma değerlerinde %100 yer değiştirme oranında kontrol betona kıyasla çökme-yayılma değerlerinde artış görülmüştür [22]. GDBA'larının çökme-yayılma değerlerinin farklılık göstermesinin nedeni, su emmelerinin değişken olmasına bağlanmıştır. Geri dönüşümlü agregalarının %50'ye kadar olan yer değiştirme seviyelerinde çökme-yayılma değerlerinin artmasının bir nedeni de azaltılmış kaba agrega içeriğine bağlanmıştır [23, 24].

Genel olarak, geri dönüşüm agregasının miktarı arttıkça daha fazla su emilimi olacağından dolayı çökme-yayılma değerlerinin azalması beklenmektedir. Ancak, Safiuddin ve ark. [23], Tüyan ve ark. [25] ve Modani ve Mohitkar [26] gibi bazı yazarlar daha küçük oranlarda (%20-%40) geri dönüşüm agregasının kullanılması ile çökme-yayılma değerlerinin arttığını ve yüksek oranda (%70-%100) geri dönüşüm agregasının kullanılması ile ince agrega içeriği nedeniyle çökme-yayılda azalma olduğunu

bildirmişlerdir. Karıştırma sırasında kırılma daha fazla ince agrega içeriğinin artmasına neden olacak ve bunun sonucunda su emilimi de artmış olacaktır. Bu durumda sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

$T_{500}$  süresi sonuçları incelendiğinde, KYB karışımlarının 500 mm çapa ulaşma sürelerinin 2 s'nin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 5(b)). Yayılma çaplarının daha az olduğu karışımlarda daha yüksek  $T_{500}$  süreleri elde edilmiştir. GDBA'nın %10, %20, %30 ve %100 oranında ikame edilmesi ile  $T_{500}$  sürelerinde kontrol betonuna kıyasla sırasıyla; %3,90, %2,92 ve %2,40, %4,87 oranında artış görülmüştür. GDBA'nın %40 ve %50 oranında ikame edilmesi ile kontrol betona kıyasla,  $T_{500}$  sürelerinde sırasıyla; %17,50, %19,00 azalış görülmüştür.  $T_{500}$  viskozite değerleri incelendiğinde tüm beton karışımlarının EFNARC, 2005'e göre VS2 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. GDBA'nın %100 yer değiştirme seviyesinde  $T_{500}$  süresindeki artış karışımdaki serbest su içeriğinin azalmasına atfedilmiştir [27, 28].



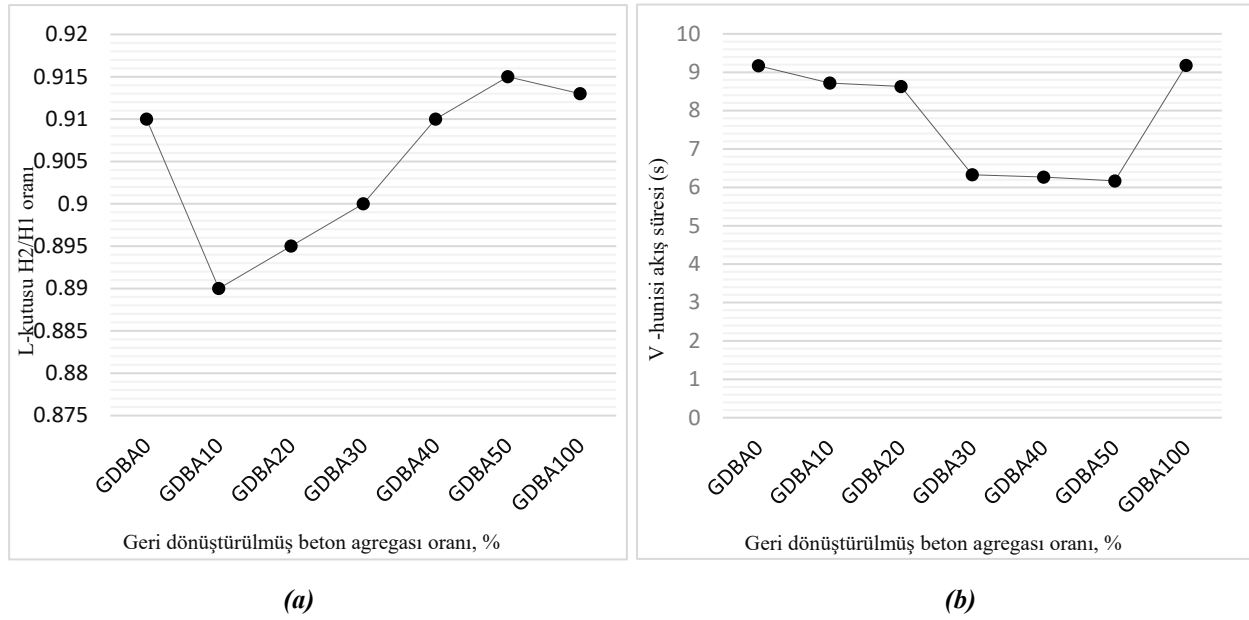
Şekil 5. (a) Hazırlanan karışımların çökme-yayılma miktarları ve (b)  $T_{500}$  Süresi

### 3.1.2. L-kutusu deney ölçümü sonuçları

GDBA ikame oranının artması ile L-kutusu değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 6(a)). Geri dönüştürülmüş beton agregası %30 oranında eklenirken, L-kutusu testi değerinde bir düşüş gözlemlendi ancak sonuç EFNARC'a göre izin verilen sınır değerler içinde kalmıştır. Doğal kaba agreganın GDBA ile değiştirilmesinin H2/H1 oranları üzerinde çok az etkisi olduğu açıktır, çünkü %10 ila %50 GDBA kullanılan karışımlarda çok az azalma gözlemlenmiştir. Beton karışımından sonra GDBA tarafından serbest suyun sürekli olarak emilmesinden kaynaklanmış olabilir [29]. Bu sonuçlar, Saifuddin vd,[23], Khafaga, [24] ve Tang vd, [29] çalışması ile tutarlıdır. L-kutusu deneyinin sonuçları, kontrol karışımına kıyasla GDBA'nın %10, %20 ve %30 ikame oranlarında sırasıyla %2,20, %1,65 ve %1 oranında azalmıştır. GDBA'nın %40 ve %50 yer değiştirme seviyesi için kontrol karışımına çok yakın olduğu, %100 yer değiştirme seviyesinde ise %0,32 oranında kontrol karışımına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm KYB karışımlarının geçme sınıfı, EFNARC, 2005'e göre PA2 olarak belirlenmiştir. Tüm beton karışımları, L-kutusunun açıklığından aktıktan sonra, donatı çubukları arasında tıkanma olmaksızın akmıştır.

### 3.1.3. V-hunisi akış süresi ölçüm sonuçları

Tüm KYB karışımlarında V-hunisi akış süresi EFNARC tarafından önerilen standart sınırlar içinde kalmıştır. GDBA kullanımındaki artışa bağlı olarak, V-hunisi akış süresinde düşüş olduğu görülmektedir (Şekil 6(b)). Ancak, %100 GDBA'nın kullanılması sonucu kontrol betona kıyasla V-hunisi süresinde artış görülmüştür. Bu durum, doğal agregaya ile karşılaştırıldığında GDBA'nın daha pürüzlü yüzey dokusuna bağlanabilir. Diğer bir neden ise geri dönüşümlü agreganın V-hunisi çıkışında kaba agregaların birikmesine bağlanabilir [23, 30]. GDBA ilave edildiğinde, V-hunisi geçiş süresinde beton karışımının boşalma süresinin azaldığı, %20'ye kadar GDBA ilave edildiğinde ise referans karışıma göre boşalma süresinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür ancak V-hunisi süresindeki artışın iri agregadan kaynaklandığı düşünülmektedir [24]. GDBA %30 oranında eklendiğinde boşaltma süresi azalmıştır. V-hunisi deneyinin sonuçları, kontrol karışımına kıyasla GDBA'nın %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranlarında sırasıyla %5,00, %5,90, %9,16, %9,80 ve %10,90 oranında azalmıştır. Çalışmada, kontrol ve %100 GDBA'nda V-hunisi akış süresi 9 s'nin üzerinde olduğundan VF2 olarak sınıflandırılmakta geri kalan tüm karışımlarda ise akış süresi 8 s'nin altında olduğundan VF1 olarak sınıflandırılmaktadır (EFNARC, 2005).



Şekil 6. L kutusu deneyi için H2/H1 oranı ve Hazırlanan karışımların V hunisi akma süreleri

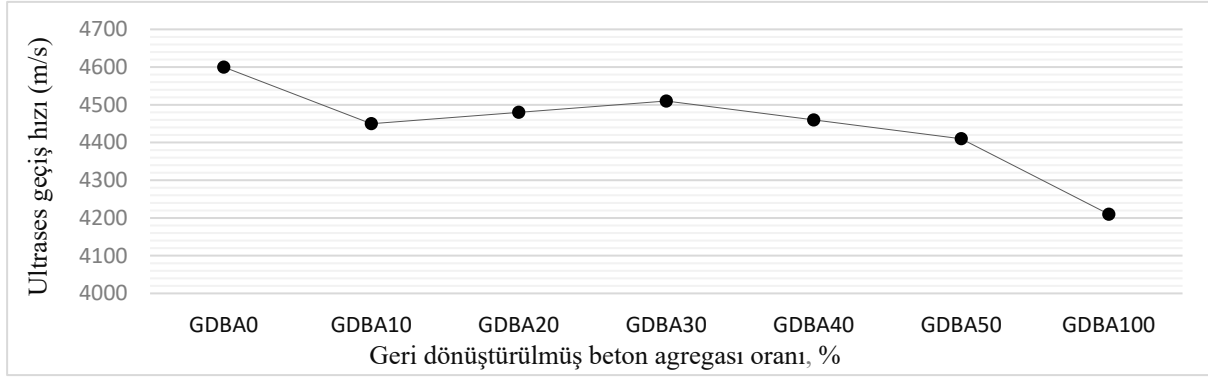
## 3.2. Kendiliğinden Yerleşen Sertleşmiş Betonun Deney Sonuçları

GDBA ile üretilen KYB'nin mekanik özellikleri (basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve eğilme dayanımı) incelenmiştir. GDBA ile üretilen KYB'ler için test sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

### 3.2.1. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

GDBA kullanılan numunelerde ultrases geçiş hızı 4210 ile 4510 m/s arasında değişmektedir (Şekil 7). KYB üretiminde kullanılan GDBA'nın %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranında kullanılması ile ultrases geçiş hızı değerlerinde kontrol betona kıyasla sırasıyla; %3,26, %2,61, %1,90, %3,10, %4,13 ve %8,47 oranlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ultrases geçiş hızı, 4600 m/s ile kontrol betonundan elde edilmiştir. KYB karışımlarında %30'a kadar GDBA kullanılması ile ultrases geçiş hızlarında artma, %30'dan fazla GDBA kullanılması ile ultrases geçiş hızlarında azalma gözlemlenmiştir (Şekil 9). Ultrases

geçiş hızlarındaki azalma, geri dönüşümlü betonun boşluklu yapısına bağlanmıştır. Doğal kaba agregaya kıyasla geri dönüşümlü beton agregasının daha düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle, geri dönüştürülmüş agrega içeren betonda ultrases hızı daha düşük bulunmuştur [21,31].



Şekil 7. KYB karışımlarının 28 günlük ultrasonik ses geçiş hızları

### 3.2.2. Basınç dayanımı deney sonuçları

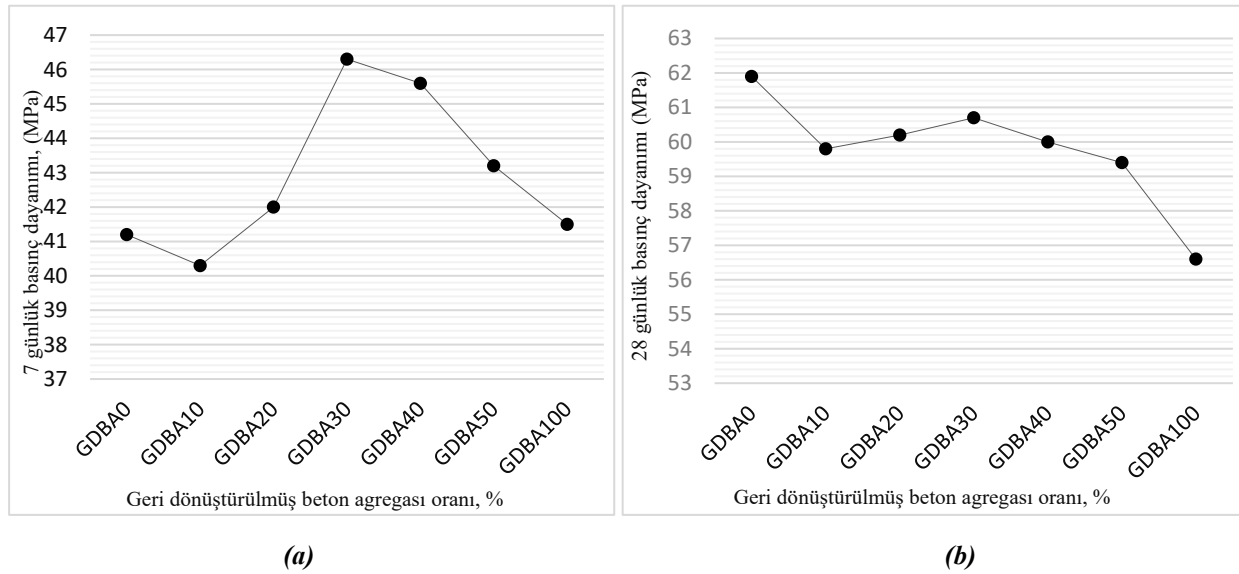
Basınç dayanımı, sertleşmiş betonun en önemli özelliğidir ve malzemenin dayanıklılık performansını etkilemektedir. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Karışım Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Kontrol	41,2	61,9
GDBA10	40,3	59,8
GDBA20	42,0	60,2
GDBA30	46,3	60,7
GDBA40	45,6	60,0
GDBA50	43,2	59,4
GDBA100	41,5	56,6

KYB karışımlarında %30'a kadar GDBA ikame edilmesi ile 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanımında artış, %30 üstü yer değiştirme seviyelerinde ise basınç dayanımında azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8). GDBA'nın %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında kullanılması ile, 7 günlük kür süresi sonunda kontrol betona kıyasla, basınç dayanım değerlerinde sırası ile %1,95, %11,90, %10,70, %2,42 ve %0,37 oranında artış görülmüştür. Ayrıca, %10 GDBA'nın kullanılması ile kontrol betonuna kıyasla %2,18 oranında azalış gözlemlenmiştir. GDBA agregaları başlangıçta karışımdaki suyu depolar ve daha sonraki aşamalarda, mukavemet kazanımına yardımcı olmak için nem bakımından zengin bir ortam oluşturmaya yardımcı olurlar [32]. En yüksek basınç dayanım değerinin %30 ikame oranında olduğu görülmektedir. KYB karışımlarının 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10, %20, %30 yer değiştirme seviyelerinde kontrol betona kıyasla %3,40, %2,75, %1,94 oranlarında artış görülürken %40, %50 ve %100 ikame oranlarında kontrol betona kıyasla sırasıyla; %3,00 %4,00 ve %8,56 oranlarında azalış görülmüştür. Basınç dayanımdaki bu fark, önemli olarak tanımlanamaz [33]. Bu bulgular, önceki araştırma sonuçları ile uyumludur [6,17,33,34]. GDBA'nın üzerine yapışan harç, yaşla birlikte mukavemet

kazanımına katkıda bulunan hidratlaşmamış çimento içerebilir [29]. Manzi ve ark. [35] yaptığı çalışmada, GDBA içeren KYB'nin yüksek basınç dayanım değerlerinin, yeni harç ile GDBA arasındaki yapışmaya ve ayrıca geri dönüştürülmüş agregaların yüksek kalitesine bağlamışlardır. GDBA eklendiğinde, basınç dayanımındaki artışın birkaç olası nedeni vardır [36-37]. GDBA'larının artan yüzey pürüzlülüğünün çimento agregaya bağını artırabileceğini bildirmişlerdir [30]. Tang [30] yaptığı çalışmada, GDBA'larda ve geleneksel agregalarda farklı su emme miktarlarının etkisinin olabileceğini bildirmişlerdir. GDBA'nın su emme kapasitesi daha yüksektir, bu artan su emme, su/çimento oranının düşmesine neden olabilir, bu da çimento hamurunun mukavemetini artırır ve böylece agregaya ile çimento hamuru arasındaki bağları iyileştirir ancak çok fazla su emilirse, yetersiz su içeriği ve yetersiz hidratasyon betondaki dayanım gelişimini azaltacaktır. Daha önceki çalışmalarda [38] GDBA'nın ince agregaya veya kaba agregaya yerine kullanılmasına göre dayanım sonuçlarının farklılık gösterdiği görülmüştür. GDBA %20 oranında kaba agregaya yerine kullanıldığında 30 MPa ile en yüksek basınç dayanımını sergilerken, %100 oranında kullanıldığında 28 MPa ile en düşük dayanım elde edilmiştir. GDBA %20 oranında ince agregaya yerine kullanıldığında 22 MPa ile en yüksek basınç dayanımını ve %100 oranında kullanımı ile 22MPa'lık en düşük dayanımı göstermiştir. Ancak, GDBA'nın %40 iri ve %60 ince agregaya yerine kullanılması ile de 35 MPa'lık en yüksek basınç dayanım değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada iri agregaya olarak kullanılan GDBA da en yüksek basınç dayanımı 7 ve 28 günlük kür sonrası %30 oranında doğal agregaya ile ikame edilmesinden ortaya çıkmıştır (Şekil 8). İnce GDBA betondaki boşlukları doldururken, iri GDBA gözenekleri ise çimento hamuru ile dolmaktadır. Bu çalışmada iri agregaya olarak kullanılan GDBA %30'a kadar kullanıldığında gözenekler kum ile dolarak kapandığından basınç dayanımı artmaktadır. Ancak, %30'dan daha fazla GDBA kullanılması durumunda daha fazla gözenek oluşması ve bunların kapanmaması basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur. Su miktarının sabit olması, hidrate olmamış harç içeriğinin artması, betonun daha fazla su emmesine ve basınç dayanımının artmasına yol açmıştır [39].



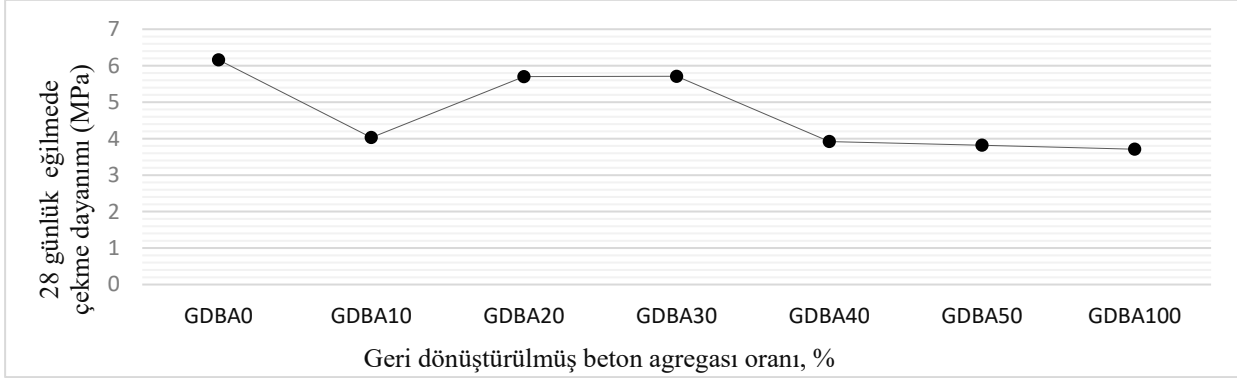
Şekil 8. Serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

### 3.2.3. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları

Tüm KYB karışımlarının 28 günlük kür süresi sonunda eğilme dayanımları incelenmiştir (Şekil 9). Beton numunelerin eğilmede çekme dayanımının kontrol betona göre %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 ikame oranları için sırasıyla %34,50, %7,31, %7,30, %36,36, %37,98 ve %39,77'dir oranlarında azalış olduğu gözlemlenmiştir. GDBA'nın %30'a kadar eklenmesi ile eğilme dayanımı artmıştır. Ancak, çekme mukavemetindeki bu artış GDBA oranının artmasıyla giderek azalmıştır. Panda [6] yaptığı çalışmada, KYB'nin eğilme dayanımının GDBA'nın artmasıyla azaldığını bildirmiştir. Kontrol karışımının, diğer



karişimlara kıyasla en yüksek eğilme çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Eğilme mukavemetindeki azalma, eski yapıştirilmiş harçlar ile yeni harçlar arasında gelişen zayıf ara yüzey bağ kalitesine bağlanmıştır [29,34].



Şekil 9. KYB karişimlarının 28 günlük yarmada çekme dayanımları

Dayanım üzerindeki bu etkiler geri dönüşümlü beton agregasının etkisinden kaynaklanmaktadır. Maksimum agrega boyutu küçüldükçe, geri dönüştürülmüş agregada bulunan eski harcın miktarı artar, bu durum geri dönüşümlü betonun mukavemetinde daha fazla azalmaya neden olmaktadır. Agreganın büyüklüğünden bağımsız olarak, ana betonun mukavemeti arttıkça, geri dönüştürülmüş agregalarda ana harcın varlığı artmaktadır. Bu durum, geri dönüştürülmüş betonun mukavemetini etkilemektedir [40].

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

GDBA kullanılarak üretilen KYB numunelerinin çökme-yayılma,  $T_{500}$  süresi, V-hunisi, L-kutusu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı incelenmiştir. KYB numuneleri üretilerek uygulanan deney sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Çökme-yayılma değerleri incelendiğinde tüm karişimların SF3 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Karişimde %100 GDBA kullanıldığında yayılma çapının en yüksek değeri 810,5 mm iken, yayılma çapının en düşük değeri ise doğal agregaların %10 oranında GDBA ile değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Üretilen tüm KYB karişimlarının VS2 sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. 500 mm çapa ulaşmak için en yüksek süre 4,26s, en düşük süre ise 3,27s olarak bulunmuştur.

V-hunisi sonuçları incelendiğinde, ikame oranları %0, %10 ve %20 olan KYB karişimlarının VF2 sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Diğer karişimler VF1 sınıfında kalmıştır. V hunisinin minimum akış süresi 6,10 saniye ve maksimum akış süresi 9,17s olarak bulunmuştur.

L-Kutusu deneyi, üç çubuklu donatıdan %93'lük bir geçirgenlik sağlamıştır. Tüm karişimler KYB kriterlerini karşılamıştır.

GDBA'nın eklenmesi, kontrol karişımına kıyasla KYB'nin basınç dayanımını ve UPV değerlerini azaltmıştır. UPV değerleri, basınç dayanımına tekabül eden GDBA yüzdesinin %30'a kadar artmasıyla yükselmiştir.

En yüksek basınç dayanımı, %30 ikame oranına sahip beton karişımı için 7 günlükken elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı, %0 ikame oranına sahip beton karişımı için 28 günlük yaşta elde edilmiştir.

Yüksek dayanım sınıfı betonun parçalanmasından elde edilen GDBA'nın yüksek kalitesi nedeniyle, kontrol karışımına kıyasla basınç dayanımında hafif bir azalma gözlemlenmiştir.

DeneySEL araştırmadan elde edilen KYB'nin 28 günlük eğilme mukavemeti, GDBA'nın tüm değiştirme oranlarında kontrol karışımından daha az bulunmuştur. GDBA'nın %100 oranında kullanımı eğilmede çekme mukavemetini %45 oranında azaltmıştır.

Eski harç ve yeni harç arasındaki ara yüzey geçiş bölgesinin zayıf olmasından dolayı, GDBA'nın artması ile dayanımda azalma olduğu söylenebilir. Ayrıca, atık beton sınıfında deney sonuçları üzerinde etkisinin olduğu düşünölmektedir. Farklı sınıflara ait atık betonlar kullanılarak betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri incelenebilir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Ustaoglu, Yapıların Söküm – Yıkım Çalışmalarında Yapısal Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Öneriler. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 159s, 2014.
- [2] İ. Demir, İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. AKÜ Fen Bilimleri Dergisi 02 : 105 -114, 2009.
- [3] M. Öztürk, İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Samton G. Construction and Demolition Waste Manual, City of New York, 2003.
- [4] A. Alsaidi, Reuse Of Construction Waste Materials. Archive.org, Libya, 26s, 2016.
- [5] M. Maddah, A. Harthy, M. Ismail, Recycled Concrete Aggregates and Their Influences on Performances of Low and Normal Strength Concretes. Buildings 2020, 10, 167.
- [6] K. Panda, P. Bal, Properties Of Self Compacting Concrete Using Recycled Coarse Aggregate. Chemical, Civil And Mechanical Engineering Tracks Of 3rd Nirma University International Conference On Engineering (NUiCONE 2012). Procedia Engineering 51 ( 2013 ) 159 – 164.
- [7] N. D. Oikonomou, Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites. 27: 315-318, 2005.
- [8] J. M. Bartos, Measurement of Key Properties of Fresh Self Compacting Concrete. CEN/PNR Workshop, Paris, 2000.
- [9] K. Ozawa, K. Maekawa, M. Kunishima, ve H. Okamura, Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures. EASEC-2, Vol. 1, 445-450, 1989.
- [10] T. Uygunoęlu, Hafif Agregali Kendiliğinden Yerlesen Betonların Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 151s, 2008.
- [11] J. López, S. Paz, B. Fonteboa, ve M. Herrador, Bond Behavior Between Steel Reinforcement And Recycled Concrete. Materials and Structures, 47:323–334, 2013.
- [12] EFNARC. 2005. The European guidelines for self-compacting concrete, Specification, Production and Use. English ed. [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org).
- [13] TS EN 197-1, 2012, Çimento: Genel çimentolar-Bileřim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- [14] TS 802 , 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. ICS 91.100.30 Türk Standardı.
- [15] J. Bungey, S. Millard, Testing Of Concrete In Structures, Blackie Academic & Professional, Glasgow. 47-74, 1996.

- [16] A. Heniegal, Investigation Of Cracks In Self Compacting Concrete By Using Ultrasonic Pulse Velocity. *Journal of Engineering Sciences*, Assiut University, Vol. 37, No. 1, pp.63 -84. DOI: 10.21608/jesaun.2009.121026.
- [17] Z. Alğın, Properties of Self-Compacting Concretes Prepared with Recycled Aggregate. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Gaziantep, 142s, 2015.
- [18] S. Kumar, M. Santhanam, Detection of Concrete Damage Using Ultrasonic Pulse Velocity Method . Indian Society for Non-Destructive Testing Hyderabad Chapter, Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation, Dec. 7 - 9, 2006.
- [19] TS EN 12390-3, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, ICS 91.100.30 Türk Standardı
- [20] TS EN 12390-5, Sertleşmiş Beton Deneyleri., Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. ICS 91.100.30 Türk Standardı.
- [21] M. Abed, R. Nemes, Mechanical Properties of Recycled Aggregate Self-Compacting High Strength Concrete Utilizing Waste Fly Ash, Cellular Concrete and Perlite Powders. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 266–277, 2019.
- [22] F.S. Çivioğlu, Geri dönüştürülmüş beton agregası ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, 2020.
- [23] M.D.Safiuddin, M. A.Salam & M.Z.Jumaat, Effects of recycled concrete aggregate on the fresh properties of self-consolidating concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 11(4), 1023-1041, 2011.
- [24] SH.A. Khafaga , Production of High Strength Self Compacting Concrete Using Recycled Concrete as Fine and/or Coarse Aggregates, 2014.
- [25] M.Tuyan, A.Mardani-aghabaglou, K.Ramyar, Freeze–Thaw Resistance, Mechanical and Transport Properties of Self-Consolidating Concrete Incorporating Coarse Recycled Concrete Aggregate. *Mater. Des.* 53:983–991, 2014.
- [26] P.O.Modani, V.M.Mohitkar, Self-Compacting Concrete with Recycled Aggregate: A Solution for Sustainable Development. *Int. J. Civ. Struct. Eng.* 4:430–440, 2014.
- [27] K. Satish, S. Kumar, B. Ral, Fly Ash Induced Self Compacting Concrete with Recycled Concrete Aggregate. *International Journal of Mechanics and Solids*, ISSN 0973-1881 Volume 12: 151-168, 2017.
- [28] C. S. Poon, Z. H. Shui, L. Lam, H. Fok, S. C. Kou, Influence of Moisture States of Natural And Recycled Aggregates on The Slump and Compressive Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31–36, 2004.
- [29] W. Tang , P. Ryan, H. Cui, W. Liao, Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Coarse Aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2016, Article ID 2761294, 11 pages, 2016.
- [30] K.H.Khayat: Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 96, No. 3, 1999, pp. 346353.
- [31] C. Zega, A. Dimaiio, Recycled Concrete Made with Different Natural Coarse Aggregates Exposed To High Temperature, *Construct. Build. Mater.* 23:2047–2052, 2009.

- [32] C. Reddy, K. Ranta Sai, R. Kumar, Recycled Aggregate Based Self Compacting Concrete (RASCC) For Structural Applications. Rn Raikar Memorial International Conference & Dr. Suru Shah Symposium On Advances in Science & Technology of Concrete, 2013.
- [33] Z. Gardic, G. Toplicic-Curcic, I. Despotovic, N.S. Ristic, Properties Of Self-Compacting Concrete Prepared With Coarse Recycled Concrete Aggregate, *Construction And Building Materials*, 24, 1129-1133, 2010.
- [34] K.H. Yang, H. S. Chung, A. Ashour, Influence Of Type And Replacement Level Of Recycled Aggregates On Concrete Properties. *ACI Mater. J.* 3:289-296, 2008.
- [35] S. Manzi, C. Mazzotti, M. Bignozzi, Self-Compacting Concrete With Recycled Concrete Aggregate: Study Of The Long-Term Properties. *Construction And Building Materials*, Volume 157, 2017, Pages 582-590, 2017. ISSN 0950-0618.
- [36] C. Hoffmann, S. Schubert, A. Leemann, M. Motavalli, Recycled Concrete And Mixed Rubble As Aggregates: Influence Of Variations In Composition On The Concrete Properties And Their Use As Structural Material. *Construction and Building Materials*. 35: 701–709, 2012.
- [37] M. Tuyan, A. Mardani-Aghabaglou, K. Ramyar, Freeze Thaw Resistance, Mechanical And Transport Properties Of Self Consolidating Concrete Incorporating Coarse Recycled Concrete Aggregate. *Materials and Design*, 53: 983–991, 2014.
- [38] H.P.Sefidehkan., & O.Şimşek, Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 83-91, 2018.
- [39] A. Salesa, J. A. Perez-Benedicto, L. M. Esteban, R. Vicente-Vas, M. Orna-Carmona, Physico-mechanical properties of multi-recycled self-compacting concrete prepared with precast concrete rejects. *Construction and building materials*, 153: (2017) 364-373.
- [40] A.K.Padmini, K.Ramamurthy & M.S.Mathews, Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829-836, 2009.



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

## Swin Tabanlı Dönüştürülmüş Görüntülerin Sınıflandırılması

*Classification of Swin-based Transformed Images*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Serdar ÇİFTÇİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-7074-2876

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çiftçi S., “Swin Tabanlı Dönüştürülmüş Görüntülerin Sınıflandırılması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 108-115, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1333782



## Swin Tabanlı Dönüştürülmüş Görüntülerin Sınıflandırılması

Serdar ÇİFTÇİ<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/Şanlıurfa

### Öz

Görüntü sınıflandırma bilgisayarlı görü alanındaki temel çalışmalardan biridir. Görüntü çözünürlüğü ve görüntünün keskinliği sınıflandırma performansını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdendir. Bu çalışmada görüntülerin çözünürlüğünün ve keskinliğinin Swin tabanlı dönüştürücü olan Swin2SR algoritması kullanılarak artırılmasıyla görüntü sınıflandırma performansının değişimi incelenmiştir. Sınıflandırma için transfer öğrenme mimarilerinden biri olan ResNet18 modeli kullanılmıştır. CIFAR10 veri kümesi üzerinde 50 epok için yapılan deneyler sonucunda Swin2SR algoritmasının görüntülerin çözünürlüğünü ve netliğini artırarak sınıflandırma doğruluğunu %85'ten %87'ye çıkardığı gözlemlenmiştir..

### Makale Bilgisi

Başvuru: 27/07/2023

Yayın: 31/08/2023

### Anahtar Kelimeler

*Görüntü Sınıflandırma*  
*Swin2SR Dönüştürme*  
*Transfer Öğrenme*

### Keywords

*Image Classification*  
*Swin2SR Transformer*  
*Transfer Learning*

## Classification of Swin-based Transformed Images

### Abstract

Image classification is one of the fundamental studies in computer vision. The resolution and sharpness of images are essential factors that affect classification performance. This study investigates how image classification performance changes by increasing image resolution and sharpness using the Swin2SR algorithm, a Swin-based transformer. The ResNet18 model, one of the transfer learning architectures, is used for image classification. The experiments conducted on the CIFAR10 dataset for 50 epochs have shown that the Swin2SR algorithm increases the classification accuracy from 85% to 87% by increasing the resolution and sharpness of the images.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görüntü sınıflandırma, bilgisayarlı görü alanında sıkça çalışılmış konuların başında gelmektedir. Tarım, sağlık, medikal, savunma, eğlence ve daha birçok uygulama alanlarında temel işlem olarak kullanılan görüntü sınıflandırma uzunca bir süre makine öğrenmesi temelli yöntemler ile gerçekleştirilirken, 2012 yılında ImageNet yarışmasında derin öğrenme tabanlı AlexNet [1] mimarisinin başarısından sonra takip eden çalışmaların çoğunluğu evrimsel sinir ağları temelli olarak geliştirilmiştir [2-6].

Derin öğrenme mimarilerinin yüksek performans sergilemesi, eğitimleri sırasında büyük veri kümelerini kullanmasına ve eğitim hesaplamalarının yüksek başarımlı bilgisayarlar üzerinde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Gerek yüksek miktarda veri kümelerine erişimin her zaman mümkün olamaması gerekse de bu verilerin işlenebilmesinin yüksek maliyet oluşturması bu modellerin eğitimini zorlayabilmektedir. Yalnız, bu derin ağ mimarilerinin temel ilk katmanlarının ilkel verileri çıkardığı/tanıdığı görülmüştür. Her ne kadar ilk katman parametre değerleri farklı problem alanları için eğitilmiş olsa da başka problem alanlarında da benzer ilkel verileri başarıyla çıkardığı/tanıdığı gözlemlenmiştir [7]. Dolayısıyla ilk katmanların eğitilmeden doğrudan başka problem alanlarında da kullanılması yaygın olmuş ve bu yaklaşıma transfer öğrenme denmiştir. Bu çalışmada görüntü sınıflandırma için transfer öğrenme mimarilerinden biri olan ResNet18 [3] mimarisi kullanılmıştır.

Çözünürlük, gürültü, keskinlik ve kontrast gibi çeşitli faktörler görüntü sınıflandırma probleminin performansını etkilemektedir [8]. Görüntü çözünürlüğünün artırılması ile yapılan görüntü sınıflandırma

\*İletişim yazarı, e-mail: serdariftci@harran.edu.tr

çalışmalarında [9-11] başarımın arttığı gözlenmiş olup, bu makalede de çözünürlük ve keskinlik artırımının görüntü sınıflandırma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Görüntülerin düşük çözünürlükten yüksek çözünürlük haline getirilmesine süper-çözünürlük adı verilmektedir. Süper-çözünürlük yapılırken görüntü işleme [12], makine öğrenmesi [13] ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar [14] kullanılmaktadır. Derin öğrenme tabanlı çalışmalardan evrişimsel [15], çekişmeli üretken ağlar [16] ve görü dönüştürücüler [17] süper-çözünürlük uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta ve başarılı performanslar sergilemektedir.

Dönüştürücüler ilk olarak doğal dil işleme alanında kullanılmış ve kendi dikkat mekanizması (self attention) sayesinde uzun sıralı bilgilerin korunumu başarılı bir şekilde mümkün olmuştur [18]. Dönüştürücülerin görüntü işleme alanında kullanımında [19]; görüntü bölütlere ayrılıp çok kafalı dikkat mekanizmaları sayesinde görüntü iyileştirme, bölütleme ve süper-çözünürlük gibi uygulamalarda başarılı sonuçlar ortaya konulmuştur [20]. Swin2SR [21] çalışması Swin tabanlı bir dönüştürücü [22] olup, süper-çözünürlük ve görüntü iyileştirmede başarılı sonuçlar üretmektedir. Bu makalede Swin2SR dönüştürücüsünün, görüntü çözünürlüğünü artırma ve görüntü keskinleştirme sağlamasıyla görüntü sınıflandırma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1 Swin2SR ile Süper-Çözünürlük ve Görüntü Keskinleştirme

Görü dönüştürücüler [19] görüntüyü bölütlere ayırarak işlem yapar ve görüntü iyileştirme, bölütleme ve süper-çözünürlük çalışmalarında başarılı sonuçlar verir. Swin dönüştürücü [22] algoritması ise görüntüyü hiyerarşik bir şekilde işlemektedir. Swin dönüştürücülerde kayan pencereler içerisinde kalan alanlar kendi dikkat (self-attention) mekanizmasına tabii tutulur. Bu çalışmada Swin dönüştürücüsünün bir türevi olan ve başarılı sonuçlar üreten Swin2SR modeli kullanılmıştır. Swin2SR algoritmasında katmanlar arası geçişte katman öncesi normalizasyon yerine katman sonrası normalizasyon uygulanmıştır. Böylelikle derin katmanlarda ortalama özellik varyans değişimi azalmış ve model eğitimi sırasında stabilite oluşmuştur. Swin2SR dönüştürmesi süper çözünürlük yapma, görüntü bozulmalarını giderme ve JPEG sıkıştırmasından kaynaklı bozulmaları gidermede başarılı performans sergilemiştir. Bu makalede süper çözünürlük için Swin2SR dönüştürmesinin çözünürlüğü 2 kat yükselten klasik (ClassicalSR\_X2) seçeneği kullanılmıştır. Model için yazarların github adresindeki kodlar<sup>1</sup> kullanılmıştır.

### 2.2 ResNet18 Mimarisi ile Görüntü Sınıflandırma

ResNet18 [3] mimarisi, artık bloklardan (residual blocks) oluşan bir derin öğrenme modelidir. Artık blokların özelliği, atlama bağlantılarının (skip connections) kullanılmasıyla girdi bilgisinin sonuca kısmi olarak aktarılmasında yardımcı olması ve model eğitiminde gradyanların yok olması problemini önleyerek öğrenmeyi verimli hale getirmesidir. Bu çalışmada PyTorch kütüphanesinin önceden eğitilmiş ResNet18<sup>2</sup> mimarisi transfer öğrenme olarak kullanılmış ve tam bağlantılı katmanında eğitimler gerçekleştirilmiştir.

### 2.3 Veri Kümesi

Deneyler için 10 sınıflı CIFAR10 [23] görüntü veri kümesi kullanılmıştır. CIFAR10 veri kümesi 60,000 adet 32x32 boyutunda görüntülerden oluşmakta ve bunun 50,000 adet kısmı model eğitimi için, 10,000 adet kısmı da doğrulama testleri için kullanılmaktadır. Veri kümesindeki bazı örnek görüntüler Şekil-1'de gösterilmiştir.

<sup>1</sup> <https://github.com/mv-lab/swin2sr>

<sup>2</sup> <https://pytorch.org>

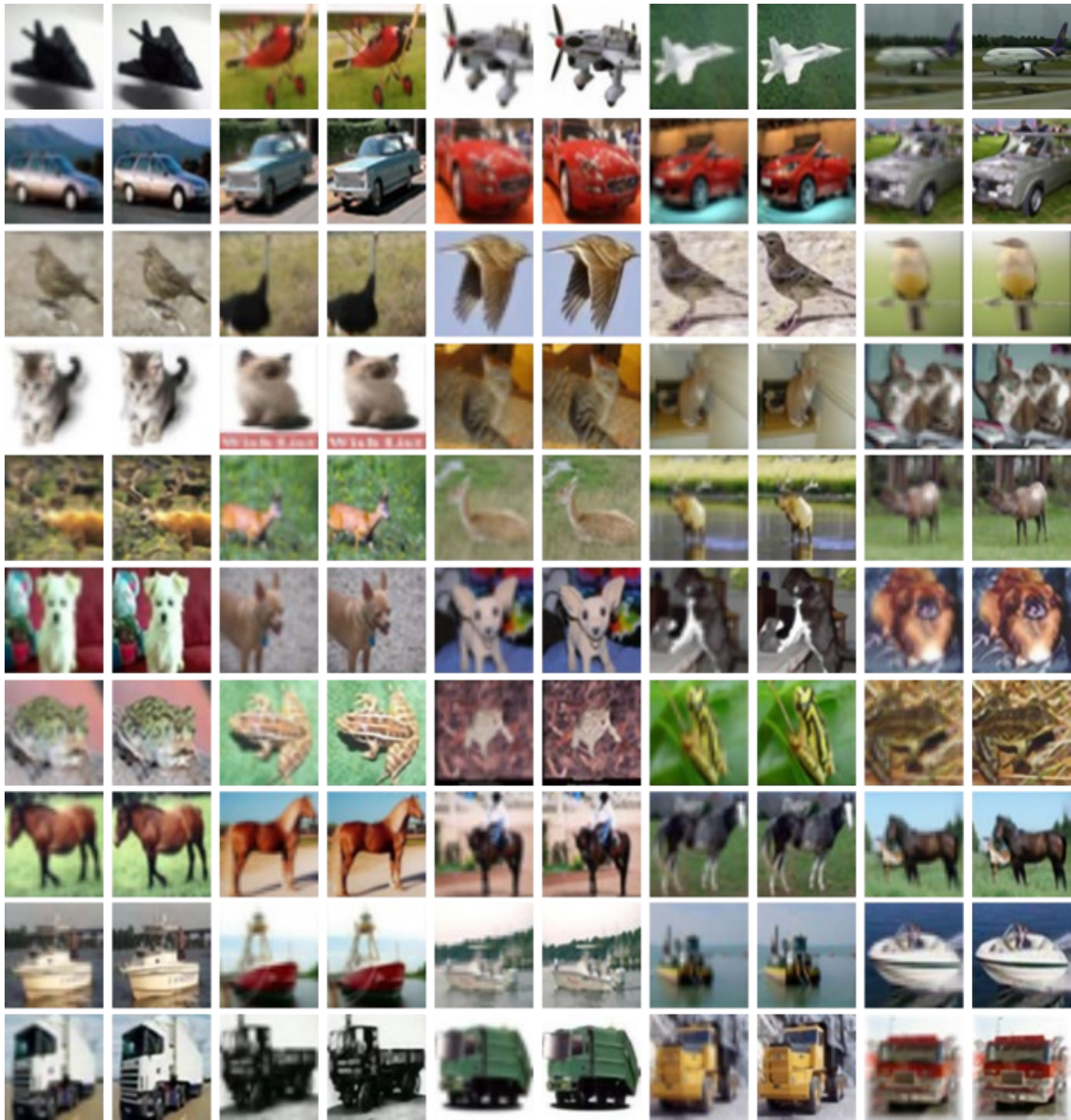
## 2.4 Çalışma Konfigürasyonu

Deneyler PyTorch kütüphanesi kullanılarak NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti GPU destekli Intel Core i7-12700H işlemcili bir dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon için 0.001 öğrenme parametresi ile Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Deneyler normal CIFAR10 veri kümesi ve Swin2SR ile dönüştürülmüş veri kümeleri üzerinde 50 epok için çalıştırılmıştır.

## 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND EVALUATION)

### 3.1 Oluşturulan Görüntüler

Swin2SR algoritması kullanılarak çözünürlüğü ve keskinliği artırılmış bazı görüntüler Şekil-1’de gösterilmiştir.



**Şekil-1.** Görüntü çiftlerinden soldakiler, orijinal CIFAR-10 veri kümesindeki bazı görüntüler olup görüntü çiftlerinin sağ kısmındakiler ise soldaki görüntüye karşılık gelen Swin2SR Dönüştürme ile çözünürlüğü artırılmış ve keskinleştirilmiş görüntülerdir.



### 3.2 Değerlendirme Metrikleri

Normal CIFAR10 görüntüler ve Swin2SR dönüştürücü ile elde edilmiş görüntülerin ResNet18 modeli üzerindeki performanslarını değerlendirmek için doğruluk ve F1-Puanı metrikleri kullanılmıştır. İlgili metrikler aşağıda detaylandırılmıştır.

**Doğruluk:** Modelin vermiş olduğu kararların doğruluk oranını belirler ve Denklem-1'deki gibi hesaplanır:

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (1)$$

Denklem (1)'deki kısaltmalar; DP: doğru pozitif, DN: doğru negatif, YP: yanlış pozitif, YN: yanlış negatif olarak verilmiş kararların sayısını belirtmektedir. CIFAR10 ve Swin2SR dönüştürülmüş görüntülerin ResNet18 mimarisi üzerinde 50 epokluk eğitimi sırasında elde edilen eğitim doğrulukları Şekil-2'de gösterilmiştir.

**F1-Puanı:** Makine öğrenmesinde kullanılan bir performans ölçüm metriğidir. Hesaplamanın yapılabilmesi için iki bileşene ihtiyaç duyar: kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall). Bu bileşenler kullanılarak dengeli bir performans ölçümü sağlanır.

*Kesinlik:* Modelin pozitif olarak belirlemiş olduğu kararların (ilgili etiketin atanması) doğruluğunu hesaplar.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (2)$$

*Duyarlılık:* Modelin pozitif örnekleri doğru olarak tanıyabilme oranını vermektedir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (3)$$

F1-Puanı kesinlik (Denklem-2) ve duyarlılık (Denklem-3) bileşenleri kullanılarak Denklem-4'teki gibi hesaplanır.

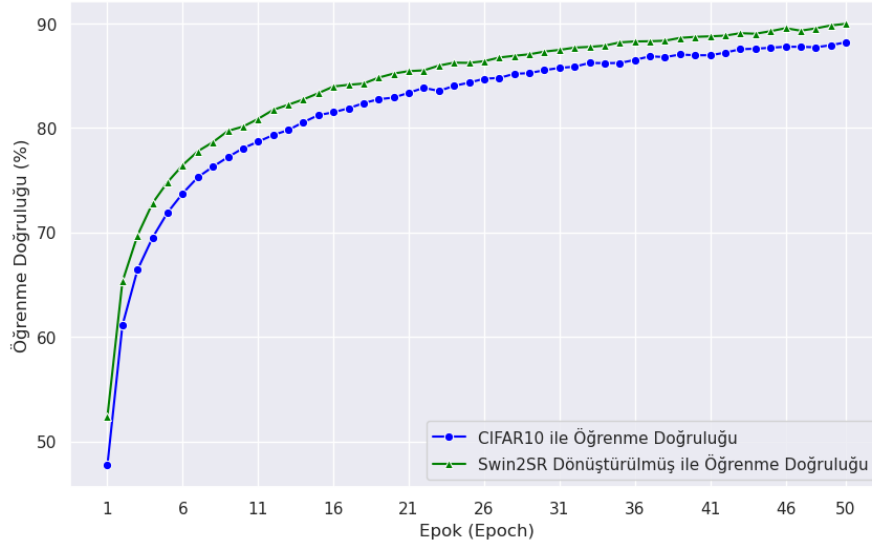
$$F_1 = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

CIFAR-10 ve Swin2SR dönüştürülmüş veri kümelerinin ResNET18 modeli üzerinde 50 epok (epoch) eğitildikten sonra doğrulama (validation) kümesi üzerinde elde edilen doğruluk ve F1-Puanları Tablo-1'de gösterilmiştir.

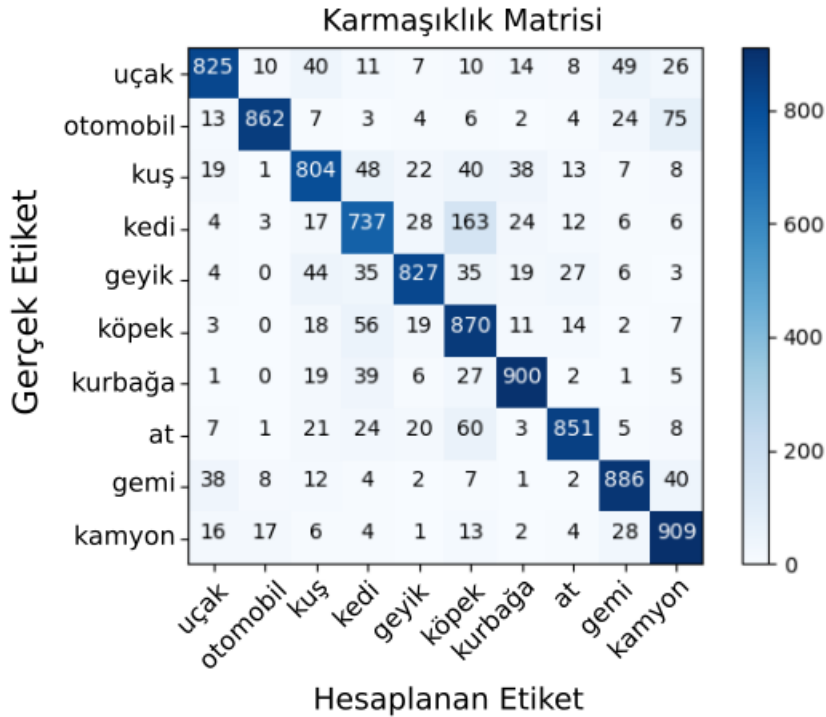
**Tablo 1.** Transfer öğrenme olarak ResNet18 mimari modeli kullanılarak doğrulama kümesi üzerinden elde edilmiş sonuçlar.

	<b>Doğruluk</b>	<b>F1-Puanı</b>
CIFAR10 Veri Kümesi	0.85	0.85
Swin2SR ile Dönüştürülmüş CIFAR10 Veri Kümesi	0.87	0.87

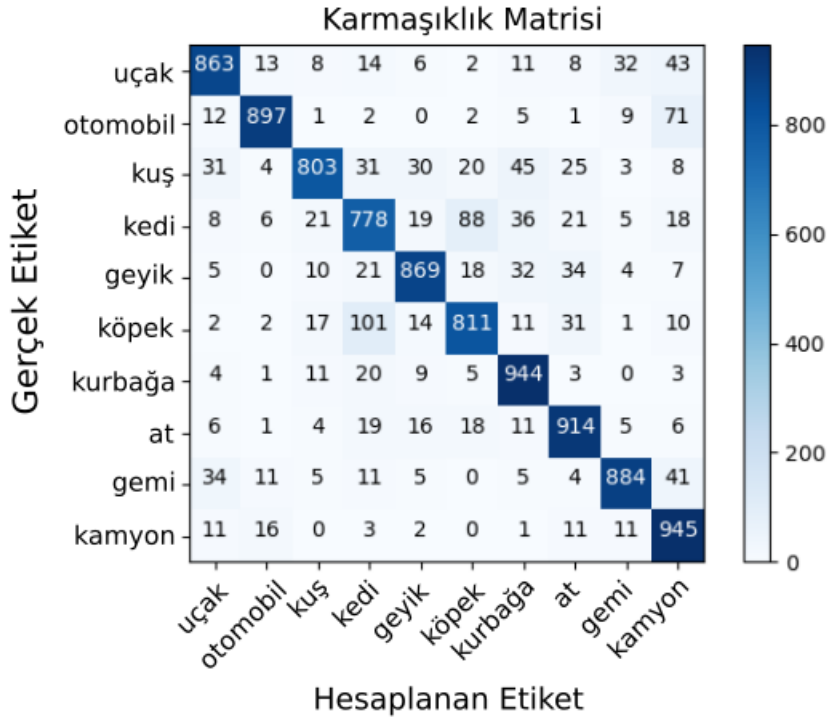
CIFAR10 ve Swin2SR ile dönüştürülmüş veri kümelerinin ResNet18 modeli ile sınıflandırma yapılırken sınıf bazındaki sınıflandırma sonuçları Şekil-3 ve Şekil-4'teki karmaşıklık matrislerinde gösterilmiştir. Her iki durumda kamyon sınıfı en yüksek oranda tanınırken, en düşük tanınma kedi sınıfında olmuştur.



Şekil-2. CIFAR10 veri kümesi ve Swin2SR ile elde edilmiş veri kümesinin ResNet18 modeli üzerinde 50 epokluk öğrenme doğruluğu grafiği.



Şekil-3. CIFAR-10 veri kümesinin doğrulama kısmı üzerinde ResNet18 modeli üzerindeki çalışması sonucu oluşan karmaşıklık matrisi.



**Şekil-4.** CIFAR10 veri kümesinin doğrulama kısmının Swin2SR dönüştürülmesiyle elde edilen veri kümesinin ResNet18 modeli üzerindeki çalışması sonucu oluşan karmaşıklık matrisi.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada görüntü çözünürlüğünün ve keskinliğinin artırılması ile görüntü sınıflandırma performansının değişimi incelenmiştir. Artık modül tabanlı ResNet18 mimarisi kullanılarak CIFAR10 görüntü veri kümesi üzerinde yapılan deneyler göstermiştir ki Swin tabanlı Swin2SR modeli ile görüntü kalitesinin iyileştirilmesi ile birlikte doğruluk ve F1-Puanı metriklerinde artış sağlanmaktadır. Bu sonuçlar bize görüntü sınıflandırma öncesi görüntü kalitesinin iyileştirilmesinin bir ön işlem olarak yapılmasının görüntü sınıflandırma performansını artıracaklarını göstermektedir. Bu yaklaşımın diğer problem alanlarında da kullanılabilmesi düşünülmektedir. Özellikle uzaktan algılama alanında yapılan çalışmalarda uydu görüntülerinin çözünürlükleri ve keskinlikleri düşük olmaktadır. Bu düşük çözünürlüklü ve keskinliği az uydu görüntülerinde Swin2SR algoritması kullanılarak görüntü kalitesinin iyileştirilmesi ile birlikte uzaktan algılama çalışmalarındaki sınıflandırma performansının artırılacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda farklı spektral uydu görüntüleri üzerinde Swin2SR ile görüntü kalitesinin artırılıp uydu görüntüleri üzerinde sınıflandırma çalışmalarının yapılması planlanmaktadır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton, Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, Advances in Neural Information Processing Systems, 25, 2012.
- [2] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, K. Q. Weinberger, Densely Connected Convolutional Networks, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 4700-4708), 2017.

- [3] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Deep Residual Learning for Image Recognition, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 770-778), 2016.
- [4] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, A. Rabinovich, Going Deeper with Convolutions, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 1-9), 2015.
- [5] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, H. Adam, Mobilenets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications, arXiv preprint arXiv:1704.04861, 2017.
- [6] K. Simonyan, A. Zisserman, Very Deep Convolutional Networks for Large-scale Image Recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
- [7] S. J. Pan, Q. Yang, A Survey on Transfer Learning, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 22(10), 1345-1359, 2009.
- [8] C. Shorten, T. M. Khoshgoftaar, A Survey on Image Data Augmentation for Deep Learning, Journal of Big Data, 6(1), 1-48, 2019.
- [9] H. Chen, Y. Pei, H. Zhao, Y. Huang, Super-resolution Guided Knowledge Distillation for Low-resolution Image Classification, Pattern Recognition Letters, 155, 62-68, 2022.
- [10] S. Hao, W. Wang, Y. Ye, E. Li, L. Bruzzone, A Deep Network Architecture for Super-resolution-aided Hyperspectral Image classification with Classwise Loss. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56(8), 4650-4663, 2018.
- [11] F. M. Senalp, M. Ceylan, Effects of the Deep Learning-based Super-resolution Method on Thermal Image Classification Applications, Multimedia Tools and Applications, 81(7), 9313-9330, 2022.
- [12] J. D. Van Ouwerkerk, Image Super-resolution Survey, Image and Vision Computing, 24(10), 1039-1052, 2006.
- [13] K. Nasrollahi, T. B. Moeslund, Super-resolution: A Comprehensive Survey, Machine Vision and Applications, 25, 1423-1468, 2014.
- [14] Z. Wang, J. Chen, S. C. Hoi, Deep Learning for Image Super-resolution: A Survey, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(10), 3365-3387, 2020.
- [15] C. Dong, C. C. Loy, K. He, X. Tang, Image Super-resolution Using Deep Convolutional Networks, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 38(2), 295-307, 2015.
- [16] C. Tian, X. Zhang, J. C. W. Lin, W. Zuo, Y. Zhang, C. W. Lin, Generative Adversarial Networks for Image Super-resolution: A Survey, arXiv preprint arXiv:2204.13620, 2022.
- [17] Z. Lu, J. Li, H. Liu, C. Huang, L. Zhang, T. Zeng, Transformer for Single Image Super-resolution, In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 457-466), 2022.
- [18] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin, Attention is All You Need, Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 2017.
- [19] A. Dosovitskiy, L. Beyer, A. Kolesnikov, D. Weissenborn, X. Zhai, T. Unterthiner, M. Dehghani, M. Minderer, G. Heigold, S. Gelly, J. Uszkoreit, N. Houlsby, An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale, arXiv preprint arXiv:2010.11929, 2020.

- [20] S. Khan, M. Naseer, M. Hayat, S. W. Zamir, F. S. Khan, M. Shah, Transformers in Vision: A Survey, *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1-41, 2022.
- [21] M. V. Conde, U. J. Choi, M. Burchi, R. Timofte, Swin2SR: Swinv2 Transformer for Compressed Image Super-resolution and Restoration, In *European Conference on Computer Vision* (pp. 669-687), Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.
- [22] Z. Liu, Y. Lin, Y. Cao, H. Hu, Y. Wei, Z. Zhang, S. Lin, B. Guo, Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows, In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 10012-10022), 2021.
- [23] A. Krizhevsky, G. Hinton, Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images, 2009.



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

---

### Li-Fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı

*Wireless Communication System Design Using Li-Fi Technology*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Kaan Duran KURT<sup>1</sup>, Fatih Ahmet ŞENEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-8618-424X

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-1918-7277

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kurt K.D., Şenel F.A., “Li-fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 116-121, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1276133

**Li-Fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı**Kaan Duran KURT<sup>1</sup>, Fatih Ahmet ŞENEL<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 32260, Merkez/Isparta**Öz**

Kablosuz yüksek hızlı internet bağlantısı denildiğinde birçok kişinin aklına Wi-Fi, 4.5G ve 5G teknolojileri gelmektedir. Bu teknolojilerden çok daha hızlı ve güvenli olduğu belirtilen günlük hayatımızda aydınlatma için kullandığımız led teknolojisini kullanarak veri transferi sağlayan Li-Fi teknolojisi, gelecekte popüler olabilecek teknolojilerin başında gelmektedir. Kablosuz olarak veri iletimi ve haberleşmede kullanılan Wi-Fi sistemi radyo frekansları kullanılarak çalışan bir çalışma prensibine sahiptir. Wi-Fi'da kullanılan radyo sinyalleri iletişimi radyo devreleri, antenler ve karmaşık alıcılar gerektirirken, Li-Fi uzaktan kumanda üniteleri gibi çok daha basit olan düşük maliyetli kızılötesi iletişim cihazlarında kullanılanlara benzer doğrudan modülasyon yöntemlerini kullanır. Bu çalışmada, ev ve işyerlerinde yoğun bir şekilde kablosuz internet erişimi için kullanılan Wi-Fi teknolojisini yerini alması beklenen Li-Fi teknolojisini çalıştırılabileceği bir gömülü sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu gömülü sistem ile kablosuz olarak veri transfer işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Wi-Fi teknolojisinin olmadığı alan olan su altında da Li-Fi teknolojisi kullanılarak veri aktarımı gerçekleştirilmiştir.

**Makale Bilgisi**Başvuru: 03/04/2023  
Yayın: 31/08/2023**Anahtar Kelimeler**Li-Fi,  
Wi-Fi,  
Kablosuz Bağlantı,  
VLC**Keywords**Li-Fi,  
Wi-Fi,  
Wireless Connection,  
VLC**Wireless Communication System Design Using Li-Fi Technology****Abstract**

When it comes to wireless high-speed internet connection, many people think of Wi-Fi, 4.5G and 5G technologies. Li-Fi technology, which provides data transfer using the LED technology we use for lighting in our daily lives, which is much faster and safer than these technologies, is one of the technologies that may be popular in the future. The Wi-Fi system, which is used for wireless data transmission and communication, has a working principle using radio frequencies. While the communication of radio signals used in Wi-Fi requires radio circuits, antennas and complex receivers, Li-Fi uses direct modulation methods similar to those used in low-cost infrared communication devices, which are much simpler, such as remote control units. In this study, an embedded system is designed to run Li-Fi technology, which is expected to replace Wi-Fi technology, which is widely used for wireless internet access in homes and workplaces. With this designed embedded system, wireless data transfer is realized. In addition, data transfer was realized using Li-Fi technology under water, which is an area where Wi-Fi technology is not available.

**1. GİRİŞ (INTRODUCTION)**

Bilindiği üzere Wi-Fi (Wireless Fidelity) veriyi cihazlara aktarmak için radyo sinyallerini kullanmaktadır. Şu an Wi-Fi dünyada internet sağlayıcılarının neredeyse yarısı tarafından kullanılmaktadır [1]. İnternet kullanan insan ve nesnelerin sayısı arttıkça, bu yoğunluk nasıl 2.4 GHz frekansında yığılmalar olduğunu ve sinyal kirliliğinin problem olduğunu bizlere gösterdiyse, gün gelecek Wi-Fi'daki 5 GHz bandı da bu yoğunluğa yetemeyecek ve bu noktada gelecekte Li-Fi (Light fidelity) teknolojisini devreye girme durumu olabilecektir. Radyo sinyalleri ile iletişim için radyo devreleri, antenler ve karmaşık alıcılar gerektirirken, Li-Fi uzaktan kumanda üniteleri gibi çok daha basit olan düşük maliyetli kızılötesi iletişim cihazlarında kullanılanlara benzer doğrudan modülasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Led ampuller yüksek yoğunluklara sahiptir ve bu nedenle çok büyük veri hızına ulaşabilirler. Li-Fi bildiğimiz led ampulleri üzerinden kablosuz yüksek hızda internet sunmayı planlamaktadır. Araştırmalara göre, Li-Fi, Wi-Fi'a

\*İletişim yazarı, e-mail: fatihsenel@sdu.edu.tr

oranla 1000 kat daha fazla veri yoğunluğuna ulaşabilir [2] çünkü Li-Fi sinyalleri, daha dağınık olan radyo sinyallerinin aksine küçük bir bölgede toplanmaktadır. Wi-Fi, geniş bir kapsama alanına sahip ve radyo sinyalleri duvarı da geçerek, hedefine ulaşabilmekteyken, Li-Fi ise daha dar bir alanda, alıcı verici mantığıyla çalışan bir sistemdir. Böylece hem daha güvenli hem de daha hızlı bir teknoloji olmaktadır. Tabii Wi-Fi'ya göre kapsama alanı ve çeşitlilik noktasında da dezavantajlı konumdadır.

Literatürde yapılan çalışmaların genelinde Li-Fi sistem tasarımının yanı sıra, Li-Fi'nin çeşitli yollarla veri aktarımı yapması üzerine araştırmalar yapılmıştır. LED ışığını kullanarak oluşturulan bu teknoloji, mevcut altyapıya büyük değişiklikler yapmaya gerek kalmadan, entegre edilmesiyle endüstriyel kullanımlarda kendine yer edinebilir ve böylece Li-Fi sistemi evlerde insanların günlük yaşantısında kullanıma girebilecektir. Bu durum sayesinde nesnelere interneti çağına geçilmesine olanak sağlanacaktır [3].

Aydemir yaptığı çalışmada, su altında haberleşebilecek bir sistem geliştirmişlerdir. Görünür ışık bölgesindeki iletişimi kullandıkları çalışmalarında akvaryum içinde bir test düzeneği geliştirmişlerdir. Su altında başarılı bir şekilde Li-Fi teknolojisi ile haberleşme işlemini gerçekleştirebilmişlerdir [4]. Al-Rubaye Arduino Uno, GPS modülü, sensörler gibi Li-Fi sistem malzemelerini kullanarak otomobiller arası iletişimi sağlayan bir sistem tasarımı yapmışlardır. Küçük boyutlu bu prototipin geliştirilerek, yüksek verimli cihazlar kullanılması ile araçlarla yapılan yolculukların daha güvenli olabilmesi için çeşitli sorunlara çözüm yolları bulunabileceği durumlar ortaya konulmuştur [5].

Başka bir çalışmada, Gordon ve Danquah, Li-Fi teknolojisinin farklı mesafelerde kullanımı, aydınlatma cihazlarının ve yerel internet bağlantısı olan uç nokta alıcı-vericilerin açılma yerleşimlerinin değerlendirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmadaki amaç, Li-Fi'deki mesafe veya açılma konumlandırmanın hızları etkileyip etkilemediğinin tespit edilmesidir [6]. Nada ise yaptığı çalışmada, yol kaybı yani ışık kaynağına uzaklık, iletişim dünyasındaki önemli etkilerden biri olduğu için, yol kaybı yayılma modelini temsil eden bir prototip tasarlamıştır. LED kullanılarak '1' ve '0' bitlerinin gönderilmesi için, ASK (amplitude shift keying) modülasyon tekniği yani veri iletiminde verinin daha çok yol katetebilen yüksek frekanslı dalgalar üzerine bindirilme yöntemi kullanılarak bir Li-Fi iletişim sistemi prototipi tasarlanmıştır [7].

Bizde bu çalışmada, Li-Fi teknolojisi ile haberleşebilecek bir prototip tasarımı gerçekleştirdik. Böylece Li-Fi teknolojisinin uygulanabilirliğini göstermiş olduk. Li-Fi teknolojisi radyo frekanslarının olmadığı su altı gibi [8] alanlarda en fazla ihtiyaç olacaktır. Bu nedenle biz de bu prototipin su altında çalışacak şekilde, kapalı fanus içerisinde su dolu akvaryum içerisine konularak veri aktarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızın özgün yönünü su altında da çalışan bir sistem olması oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde Li-Fi teknolojisinin çalışma prensibi ve Wi-Fi teknolojisi ile farklılıkları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, bu çalışma kapsamında geliştirilen gömülü sistem detaylı olarak açıklanmıştır. Son bölümde ise bu çalışmanın tartışma ve sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yapılan çalışmada görünür ışık haberleşme (VLC) yöntemi kullanılacaktır. Görünür ışık haberleşme sistemi, LED'ler tarafından üretilen ışığı modüle eden bir vericiden ve ışıktan elektrik sinyaline dönüştürülmüş sinyali almak için kullanılan ışığa duyarlı elemana (foto diyot) sahip bir alıcıdan meydana gelmektedir. Verici ve alıcı bütünleşik bir yapı değil, fiziksel olarak birbirinden ayrıdır, ancak görünür ışık haberleşme kanalı üzerinden birbirlerine bağlanırlar. Şekil 1'de görüldüğü gibi görünür ışık haberleşme sistemleri için görüş hattı yani alıcının ve vericinin birbirini bir şekilde görmesi zorunludur. Li-Fi sistemi verilerin, taşıyıcı olarak ışığın kullanılmasıyla iletilmesidir. Veriler alıcı tarafından alınır ve alıcı ışık sinyalini elektrik sinyaline dönüştürür. Bu işlemi yapmak için ana bileşenler LED'ler, foto diyot ve sinyal işlemcisidir. Verici bölümünde, iletilecek sinyal analog dijital dönüştürücü kullanılarak sayısal dönüştürülür ve bu sayısal sinyal, sinyal işlemcisi tarafından kontrol edilen LED sürücü devresine gönderilir. LED sürücüsü başla-dur anahtarlama (On-Off Keying) modülasyonu ile çalışarak, LED'leri yüksek hızda yakıp söndürür. Verileri alıcıya çok hızlı açıp kapatılarak darbeler biçiminde gönderir. Alıcı bölümünde, bu darbeler bir ışık algılayıcısı tarafından alınır ve elektrik sinyallerine dönüştürülür; bu sinyaller bir amplifikatör aracılığıyla ve daha sonra bir karşılaştırmacı tarafından tekrar ikili verilere yani sayısal dönüştürülür [9].





Şekil 1. Bir görünür ışık haberleşme sisteminin şeması [9]

## 2.1. Görünür ışıkla haberleşme (Visible Light Communication)

Görünür ışık, elektromanyetik spektrumdaki, belirli dalga boylarının dar bir aralığında, insanlar tarafından görülebilen bir ışık parçasıdır. Görünür ışığın yerleşik dalga boyu aralığı yaklaşık 400 ila 700 nanometredir (nm), bu da sırasıyla 668 ila 484 terahertz (THz) frekans aralığına eşittir. Kuantum seviyesinde, görünür ışık da dahil olmak üzere ışığın temel parçacığı foton olarak bilinir. Fotonun aynı anda bir parçacık ve bir dalga olarak davrandığı gösterilmiştir. Kuantum mekaniği araştırmalarında bu, sezgilere aykırı dalga-parçacık ikiliği olgusu olarak anılır. Üstelik foton, bozon kategorisindeki temel bir parçacıktır. Görünür ışık da dahil olmak üzere tüm elektromanyetik radyasyon biçimleri için bir elektromanyetik dalga tarafından yayılan enerji, sürekli olarak fotonlar biçiminde dağılır. Görünür ışığın foton enerjisi 2 ila 2,75 elektron volt (eV) arasında değişir. Bir fotonun enerjisi, elektromanyetik dalganın dalga boyu ile ters orantılıdır [10].

Görünür ışık iletişimi, geleneksel radyo frekansı iletişimini desteklemek ve bu teknolojiyle benzersiz şekilde elde edilebilen yeni kablosuz cihaz kullanım durumlarını mümkün kılmak için üstün teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. LED'lerin VLC'yi etkinleştiren temel özelliği, LED'in birincil aydınlatma işlevini etkilemeden anlamlı veri hızları elde etmeye yetecek kadar yüksek frekanslarda genlik modülasyonuna duyarlılıklarıdır. Birincil aydınlatma işlevselliği etkilenmemektedir çünkü modülasyon frekansı sözde titreşim füzyon eşiğinin üzerinde olduğu sürece insan gözü ışığın genlik modülasyonunu algılayamamaktadır [11].

Görünür ışıkla haberleşme temel olarak alıcı ve verici bölümlerinden oluşmuştur. Verici bölümünün ana bileşenleri şunlardır: Mikro denetleyici, transistör ve Led'lerdir. Alıcı bölümünün ana bileşenleri ise şunlardır: Mikro denetleyici, op-amp, foto transistördür.

Son yıllarda, mobil cihazların ve kablosuz hizmetlerin büyümesi, radyo frekansı tabanlı teknolojiler için büyük bir talep yaratmaktadır. Bu arada, daha ekonomik ve verimli olan LED ampullerin yaygınlaşması nedeniyle de aydınlatma endüstrisi de gelişme sağlamıştır. Bu bağlamda, VLC, mevcut radyo frekansı standartlarını potansiyel olarak tamamlayıcı bir teknoloji olarak hizmet edebilen, ücretsiz bir spektrum ve yüksek veri hızı sunan LED'lere dayalı üstün bir teknolojidir [12].

Li-Fi ve Wi-Fi teknolojileri bazı çalışma alanları için birbirlerine avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler. Tablo 1'de her iki teknoloji arasındaki temel farklılıklar sunulmuştur.

Tablo 1'de görüleceği üzere Wi-Fi, geniş bir kapsama alanına sahip ve radyo sinyalleri duvarı da geçerek, hedefine ulaşabilmekteyken, Li-Fi ise daha dar bir alanda, alıcı verici mantığıyla çalışan bir sistemdir. Yani iletişim için ışığın alıcıya ulaşması gerekmektedir. Görülebilir ışığın duvar gibi saydam olmayan katı cisimlerden geçememesi sebebiyle kullanılan Li-Fi teknolojisi iletişimine dışarıdan herhangi bir sızma girişimi gibi dış tehdide karşı korunaklı hale gelmesini sağlamaktadır. Böylece hem daha güvenli hem de daha hızlı bir teknoloji olmaktadır. Tabi Wi-Fi'ye göre kapsama alanı ve çeşitlilik noktasında da dezavantajlı konumdadır. Bu nedenlerden dolayı Li-Fi teknolojisinin çalışması, uygulandığı ortamla sınırlı olduğundan ancak bir yandan da güvenli bir sistem olduğundan askeri alanda kullanımda önem kazanacaktır. Ayrıca hali hazırda kullanılmakta olan Wi-Fi teknolojisi ile hibrit bir çalışma geliştirilerek daha geniş alanda birbirlerini tamamlayıcı bir teknoloji olarak hayatımızda yerlerini alacaklardır.

**Tablo 1.** Li-Fi ve Wi-Fi arasındaki Farklar [13]

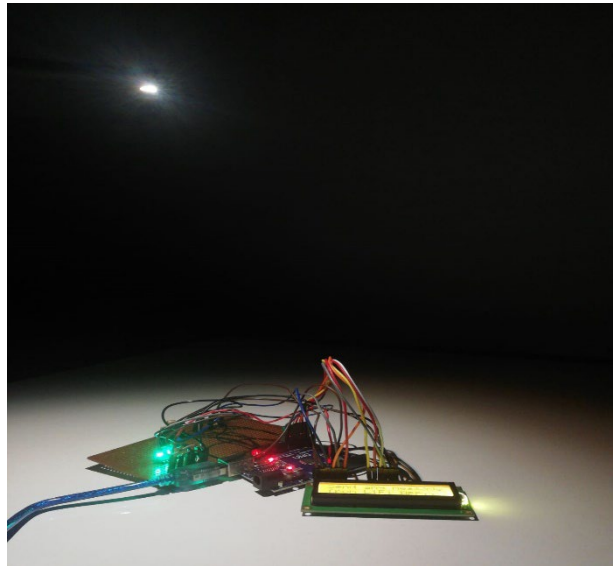
Özellik	Li-Fi	Wi-Fi
İşlem	Işık kullanılarak	Radyo dalgaları ile
Veri Aktarımı	Yaklaşık 1Gbps	WLAN-11n 150 Mbps sunar, Wigig kullanılarak yaklaşık 1-2 Gbps elde edilebilir
Frekans	Telsizim 10000 kat frekans yoğunluklu ortamda çalışabilir	2.4 GHz, 4.9 GHz ve 5GHz
Veri Yoğunluğu	Wi-Fi ye göre yaklaşık 1000 kat yoğun ortamda çalışır	Yoğun ortam çalışabilir
Kapsama Mesafesi	Yaklaşık 10 metre	Yaklaşık 30 metre (anten tipine göre değişiklik gösterebilir)

### 3. DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Çalışmanın bu bölümünde, Li-Fi teknolojisi kullanılarak ışık ile veri aktarımı işlemini gerçekleştirebilen bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototip ile ışık kullanılarak veri haberleşmesi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2’de gösterilen prototip alıcı ve verici olmak üzere iki bölümden oluşmuştur. Verici bölümünün ana bileşenleri şunlardır: mikro denetleyici, transistör ve LED’lerdir. Alıcı bölümünün ana bileşenleri ise şunlardır: mikro denetleyici, op-amp, foto transistördür. Bu prototip için alıcı devresi tasarlanmış olup verici bölümü için ise cep telefonu kullanılmıştır. Böylece veri gönderimi için cep telefonu içerisindeki LED ve diğer bileşenler kullanılmıştır. Bu cihazlar ve gerekli diğer ek cihazlarla oluşturulan sistemle kablosuz olarak veri aktarımı yapılabilmektedir.

Işıklı gönderilen bilgiyi dijital ekran çıktısı olarak gösterebilen Arduino tabanlı bir Li-Fi iletim sistemi tasarlanmıştır. Bu Li-Fi teknoloji çalışma prensibi temelinde ışıkla veri göndermede kullanılacak LED olarak cep telefonu üzerindeki LED kullanılmıştır. Bu metin verisinin iletiminde sinyallerin başarılı bir şekilde iletimi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 2.** Li-Fi Prototipi

Alıcı kısmında Arduino Uno kartı ve ona bağlı LDR ışık sensör kartı kullanılmıştır. Kullanılan yazılım temel kelimeleri haberleştirebilecek özelliكتedir. Verici kısmında LifiProject isimli mobil uygulama kullanılmıştır ve akıllı telefonda bu uygulama sayesinde aktarılabacak metin yani veri telefon üzerindeki led flash ile gönderilmektedir. LifiProject isimli bu mobil uygulama web üzerinden hazır uygulama olarak cep telefonuna indirilmiş ve bu uygulama sayesinde veri girişi sağlanmıştır. Telefonda bu uygulama üzerinden girilen veriler, telefonun ledi tarafından gönderilir ve veriler Arduino'ya bağlı olan LDR ışık sensör kartı tarafından algılanıp, Arduino Uno kartında mevcut olan mikrodenetleyici tarafından işlenir. İşlenen veriler hem seri monitörden hem de geliştirilen kart üzerindeki LCD ekrandan kullanıcılara gösterilmektedir. Şekil 3'te örnek olarak verici tarafından gönderilen ve alıcı tarafından algılanan "Teşekkürler" mesajına ait prototip görüntüsü verilmiştir [14]. Bu tasarlanan sistem su altında olmayan radyo frekanslarının yerine kablosuz iletişim olarak kullanılabilecek amacıyla kapalı fanus içerisinde su dolu akvaryum içerisinde de veri aktarımı yapılabilecek olup ileride bu sistemin geliştirilerek su altındaki çeşitli çalışmalarda kullanılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 3. Prototip monitöründe çıkan sonuç

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

Kablosuz yüksek hızlı internet bağlantısı denildiğinde birçok kişinin aklına gelen Wi-Fi, 4.5G ve 5G teknolojilerinden çok daha hızlı ve güvenli olduğu belirtilen günlük hayatımızda aydınlatma için kullandığımız LED teknolojisini kullanarak veri transferi sağlayan Li-Fi teknolojisi, kablosuz olarak veri iletimi ve haberleşmede kullanılan Wi-Fi sistemi radyo frekansları kullanılarak çalışan bir çalışma prensibine sahiptir.

Bu çalışmada Li-Fi teknolojisi kullanılarak ışık ile veri iletimi gönderimi yapılmıştır. Yapılan bu prototip ile kablosuz haberleşmede görünür ışıkların kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmanın daha fazla test ve deney çalışması daha gelişmiş ve iyi cihazlarla yapılabilecek birçok alanda kullanılabilecek faaliyete geçirilmesi sağlanabilecektir. Özellikle verilerin gizliliğinin büyük önem arz ettiği askeri alanlarda yakın gelecekte tercih edilebilecek bir sistem olabilecektir. Görünür ışık ile veri iletimi verici ve alıcılar arasında net bir görüş hattı gerektirdiğinden çok daha uzak mesafede istenilen hedefle iletişim için lazer gibi tek bir doğrultuda hareket eden ışınlar kullanılabilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Karadağ, Yıl sonuna kadar dünyanın yarısı çevrim içi olacak. Erişim Tarihi: 21.03.2023 <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/yil-sonuna-kadar-dunyanin-yarisi-cevrim-ici-olacak/691062>, 2016.
- [2] Yaşar Üniversitesi, Li-fi Teknolojisi için Önemli Adım. Erişim Tarihi: 10.06.2023. <https://haber.yasar.edu.tr/basari/li-fi-teknolojisi-icin-onemli-adim.html>, 2020.
- [3] T. C. Küçükylmaz, LiFi nedir? WiFi yerine geçebilir mi. Erişim Tarihi: 21.03.2023. <https://shiftdelete.net/lifi-nedir-wifi-yerine-gecebilir-mi/>, 2021.
- [4] S. G. Atakan, Su Altında Görünür Işık Haberleşmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Bursa, 2022.
- [5] H. Al-Rubaye, Görünür Işık Haberleşmesi ile Araçtan Araca Veri Haberleşmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 47s, Isparta, 2018.
- [6] V. Gordon, P. Danquah, An Experimental Assessment Of Lifi Data Communication. Ghana Journal Of Science, 61 (1), (2020), 73 – 87.
- [7] K. Nada, Performance Analysis of Li-fi Communication System. University of Gavle, Department of Building Engineering, Energy Systems and Sustainability Science, M.Sc. Thesis, 62p, Gavle, 2022.
- [8] A. Thompson, Robots Finally Have a Good Way To Communicate Underwater. Erişim Tarihi: 10.06.2023 <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a27247/nato-janus-underwater-communication/>, 2017.
- [9] C. Windlin, Visible Light Communication as a Material for Design, KTH Royal Institute of Technology, Degree Project, 12p, Stockholm, 2016.
- [10] L. Prangnell, Visible Light-Based Human Visual System Conceptual Model. Erişim Tarihi: 14.03.2023. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1609/1609.04830.pdf>, 2023.
- [11] A. Jovicic, J. Li, T. Richardson, Visible Light Communication: Opportunities, Challenges and the Path to Market, IEEE Communications Magazine. 0163-6804/13, (2013), 26-32.
- [12] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, O. Gnawali, Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges. Erişim Tarihi: 14.03.2023. <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2019.2913348>, 2019.
- [13] M. Alzuhairi, Li-Fi Sisteminde Veri İletimine Çoklu Yol Etkisinin İncelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Samsun, 2021.
- [14] B. A. Baltakesmez, Li-Fi Alıcı ve Verici Sistemi Tasarımı. Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Erzurum, 2021.



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı

*Thermal Furnace Design and Manufacturing in a Flow-Controlled System*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Hüseyin KARASU<sup>1</sup>, Cengiz DOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-5177-3797

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0002-1914-7569

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Karasu H., Doğan C., “Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 122-129, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1212093



## Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı

Hüseyin KARASU<sup>1,2\*</sup>, Cengiz DOĞAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Şanlıurfa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü 63200, Eyyübiye/ŞANLIURFA

### Makale Bilgisi

Başvuru: 30/11/2022  
Yayın: 31/08/2023

### Anahtar Kelimeler

Pota  
Nikel-Krom Direnç  
Isıl Fırın

### Keywords

Melting Pot  
Nickel-Chromium  
Resistance  
Thermal Furnace

### Öz

Çalışmanın amacı, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan metal tozlarının daha ekonomik bir yöntemle elde edilebilirliğini göstermektir. Bu çalışmada su atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretimi için bir ısıl fırın ve demir pota tasarımı yapılarak imal edilmiştir. Fırın tasarımında yüksek ergime sıcaklığına sahip nikel-krom direnç telleri ve ısı randımanını sağlamak amacıyla yüksek ısıya dayanıklı fırın taşları kullanılmıştır. Düşük maliyetinden dolayı demir malzemeden yapılan potanın anlık sıcaklık takibi termokupullar ile sağlanmıştır. Sonuç olarak düşük erime sıcaklığına sahip metallerin kontrollü bir biçimde ergitildiği fırın-pota sistemi ekonomik olarak imal edilmiş ve bu sistemde kurşun metal tozları başarıyla üretilmiştir.

## Thermal Furnace Design and Manufacturing in a Flow-Controlled System

### Abstract

The aim of the study is to show the availability of metal powders, which are widely used in the manufacturing industry, with a more economical method. In this study, the water atomization method designed and manufactured a thermal furnace and iron crucible for metal powder production. In the furnace design, nickel-chromium resistance wires with high melting temperature and high temperature-resistant furnace stones are used to provide heat efficiency. Due to their low cost, thermocouples provide instant temperature monitoring of the crucible made of iron material. As a result, the furnace-crucible system in which metals with low melting temperatures are melted in a controlled manner has been economically manufactured, and lead metal powder produced successfully in the system.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atomizasyon, sıvının damlacıklara ayrılması olarak tanımlanabilir. Sıvı hale gelen her madde atomize olabilir [1]. Toz, ince bölünmüş katı partikül olarak tanımlanabilir. Burada sözü geçen toz, mühendislik sahasında kullanılan metal tozlarıdır. Metal tozların üretimi; toz metalurjisi ismi altında onlarca yıldır çeşitli endüstrilerde uygulanan çok yararlı bir üretim sürecidir [2]. Bu çalışmada, metal tozun üretilmesi için bir ısıl fırın ve bu fırının içerisinde metalin ergitildiği bir pota tasarlanmış ve imalatları gerçekleştirilmiştir. Isıl fırını için ısıtıcı eleman önemli bir role sahiptir. Isıl fırının ısıtılmasının hangi yöntemle yapılacağına karar verilmiştir. Verilen karar doğrultusunda elektrik ile ısıtma tercih edilmiştir. Elektrikli ısıtmanın tercih edilme sebebi; daha ucuz, temiz, kirlilik içermemesi, çevre dostu, ısıtma kontrolünün kolaylığı ve yüksek ısıtma verimine sahip olmasıdır. Ayrıca elektrikli ısıtma sistemlerinin; otomatik olarak korunma, iletken olmayan malzemelerin ısıtılması, daha iyi çalışma şartları, az yer kaplama ve yüksek sıcaklarda çalışma kapasitesine sahip olması gibi avantajları vardır. Birçok elektrik ısıtma yöntemi vardır. Elektrikle ısıtma; normal elektrik frekanslı ısıtma ve yüksek frekanslı ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. Normal elektrik frekanslı ısıtma da kendi arasında üçe

\*İletişim yazarı, e-mail: h-karasu@harran.edu.tr

ayrılır. Bunlar: dirençle ısıtma, ark ile ısıtma ve elektron bombardımanı ile ısıtmadır.. Yüksek frekanslı ısıtma yöntemi de İndüksiyonlu ısıtma ve dielektrik ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. Dirençli ısıtma ise, doğrudan dirençle ısıtma, dolaylı dirençle ısıtma ve kızılötesi ışınla ısıtma olarak üçe ayrılır. Ark ile ısıtma; doğrudan ark ısıtma ve dolaylı ark ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. İndüksiyonla ısıtma da, doğrudan indüksiyonla ve dolaylı indüksiyonla ısıtma şeklinde gerçekleşir. Bu elektrikle ısıtma yöntemlerinden biri olan dolaylı dirençle ısıtma yöntemi, ucuzluğundan dolaylı tercih edilmiştir. Dolaylı dirençle ısıtma yönteminde ısıtıcı eleman, sistemin en önemli parçasını oluşturmaktadır. Bunun için ısıtıcı eleman seçiminde bir dizi faktör göz önünde bulundurulmuştur [3]. Metal tozun üretilmesinde, ısı fırın ve pota önemli rollere sahiptir. Bu çalışmada gerek ısı fırın gerekse potanın tasarımı ve imalatı için ayrı başlıklar şeklinde detaylı bir araştırma ve inceleme yapılmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan fırın ve pota sistemleri iki ayrı bölümden oluşmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Isıl Fırın

Bir metal tozunu elde etmek için söz konusu metalin ergitilmesi gerekir. Bu çalışmada düşük ergime sıcaklığına sahip metaller için bir ısı fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu ısı fırının imal edilmesinde; 2 mm kalınlığında, 1000x200 mm boyutlarında ince bir demir sac, 500x250 mm edatında bir gaz beton, kanallı fırın taşları, nikrom elektrik tel direnci, elektrik bağlantısı için 3m uzunluğunda ve 3x6 ebadında antigron kablo, ısı dayanıklı porselen klemens ve izole boncuk kullanılmıştır.

Fırının izolasyonunda kullanılan gaz beton malzemeden üç farklı ebatta parça kesilmiştir. Bunlardan biri, 30x160x160 (mm) boyutlarında; diğeri 30x70x160 (mm) ve üçüncüsü 20x200x200 (mm) boyutlarındadır.. Bu parçalardan, 30mm kalınlıkta, 160 mm genişlikte ve 160 mm yükseklikte olan parça iki adettir. 20 mm kalınlıkta, 200mm uzunlukta ve 200 mm genişlikte olan üçüncü gaz beton parçası tek parçadan oluşmaktadır. Isıl fırınında kullanılan başka bir malzeme de kanallı fırın taşı malzemesidir ve Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu fırın için kullanılan yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeden yapılan kanallı fırın taşları; ebadı 60 x130 mm olan ve üzerinde 6 adet kanal bulunan ve 4 adet parçadan oluşmuştur. Isıl fırın için kullanılan en son malzeme ise 1800 mm uzunlukta 1 mm çapında nikrom elektrik direnç telidir.

1mm çaplı nikrom elektrik teli, torna makinesi ile 9 mm trans demirin üzerine bükülerek spiral şekline dönüştürülmüştür. Spiral şekline getirilmiş olan bu nikrom elektrik rezistans teli, fırın taşının kanallarından geçirilerek fırın taşlarını bir araya getirilen gaz beton malzemesinin içerisine Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



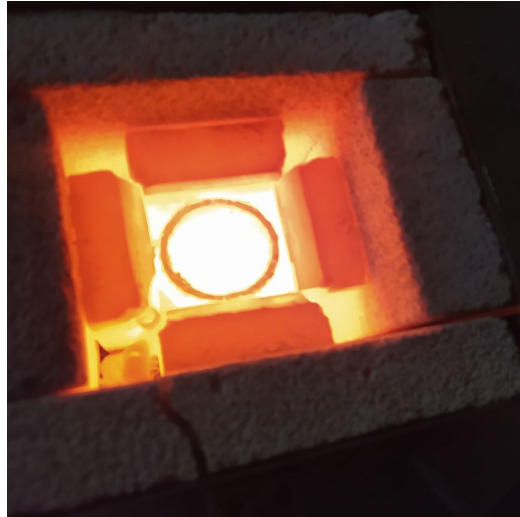
Şekil 2.1. Kanallı fırın taşı ve Nikrom direnç teli

1000 mm uzunlukta olan bir sac malzeme, 200 mm eşit aralıklarla üç yerden büküm makinesi ile bükülmüş, açık olan kenar uçları kaynak makinesi ile birleştirilerek ince demir saclı kare prizma imal edilmiştir. Aynı malzeme ile kare prizmanın tabanı kaynak edilip kapatılmıştır. 12 mm çapında bir delik matkap aleti kullanılarak, kare prizma tabanının ortası delinmiştir. Bu kare prizmanın tabanı ile cidarlarından ısı kaybı önlemek için hazırlanan gaz beton malzemeleri, birbirleriyle ince metal kelepçe ile birleştirilmiş ve sıkı geçirme yöntemi ile kare prizmanın içeresine yerleştirilmiştir. Kanallı fırın taşların yalıtım malzemesinin içerisine montajı ve ısı fırının ön kesiti Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kanallı fırın taşların yalıtım malzemesinin içerisine montajı

Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi kanallı fırın taşlarından oluşturulan ısı fırının bağlantıları, bir araya getirilmiş saç metal kelepçeler ile sağlanmıştır. Fırın taşların üzerindeki kanalların içinden rezistans telleri geçirilmiş ve elektrik bağlantısı yapılarak pota ısıtma durumuna getirilmiştir.



Şekil 2.3. Isıl fırının tam yanma durumu

Şekil 2.3’te görüldüğü gibi elektrik bağlantısı yapıldıktan sonra ısı fırınının tam yanma durumu gerçekleştirilmiştir. Bu ısı fırınının tasarımında zaman ve sıcaklık önemli bir role sahiptir. Bunun için termokupl denilen bir ısı sensörü kullanılmıştır.

Bu prob 1-1200 °C sıcaklıkları ölçebilen hassasiyete sahiptir. Gazbeton, kapakta açılan bir delikten metal eriğinin bulunduğu potanın içine yerleştirilmiştir. Potanın içindeki ortam sıcaklığını kontrol etmek

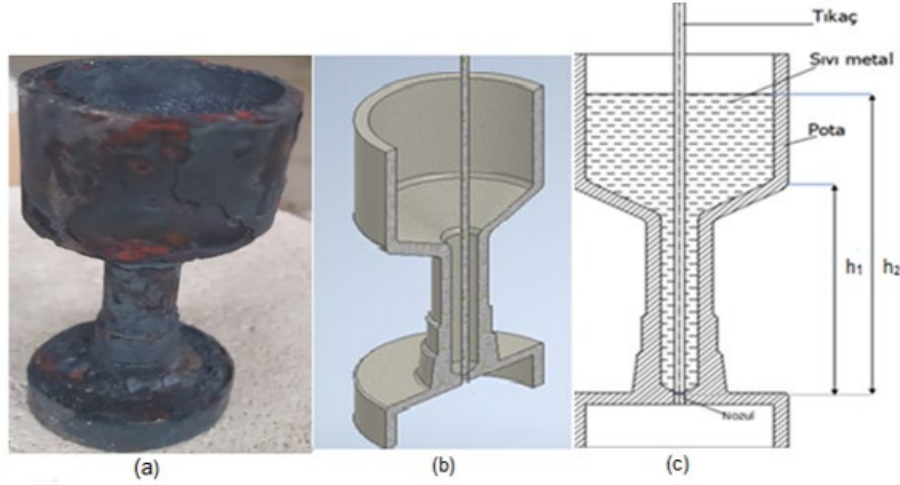


amacıyla prob montajı yapılmıştır. Bu prop vasıtasıyla ortamda ölçülen sıcaklık değerleri dijital olarak cihaz üzerinde bulunan ekranda gösterilir.

## 2.2. Pota Tasarımı ve İmalatı

Şekil 2.4’ da teknik resmi ve imalatı verilen pota, 1500 °C sıcaklığa dayanıklı demir malzemenen imal edilmiştir. Potanın ısıya dayanıklılığı ve ısı geçişi yüksekliği nedeniyle demir malzemenen imal edilmiştir. Pota, çapı 50 mm ve uzunluğu 130 mm olan trans-demir malzemesinden üretilmiştir. Bu pota torna aynasına bağlanarak gerekli işlemler yapılmıştır. Bu işlemler ile potada iç çapı 40 mm ve 35 mm derinlikte bir silindirik oyuk açılmıştır. Bu silindirik oyuğun devamı konik gedik olarak açılmıştır.

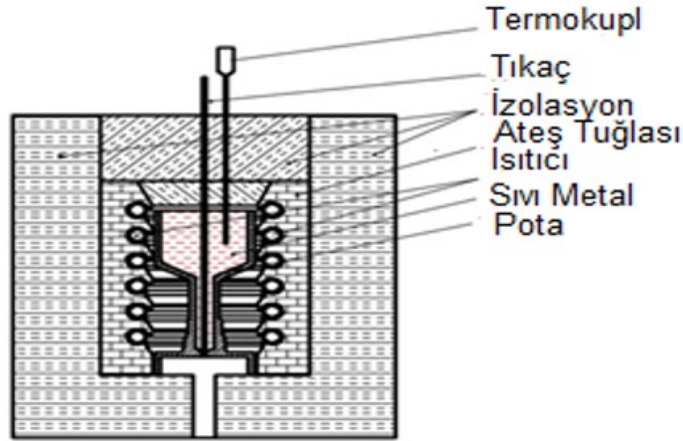
Bu konik gedik kısmını üst kısmın iç çapı 40 mm ve 35 mm derinlikte sürekli daraltarak alt kısmın iç 11 mm olana kadar yontulmuştur. Bu oyuğun dış çapı 15 mm, iç çapı 11mm, derinliği 45 mm ve oyuğun en alt kısmın merkezinde 1.5 mm ‘lik bir delik açılarak potadan eriyen metal sıvının potadan akması sağlanmıştır. Ucu sivriltilmiş bir tıkaç ile eriğin dışarıya akması önlenmiştir. Sıvı metal eriğin akma esnasındaki dinamik basıncını arttırmak için pota, mümkün olduğu kadar eriğin çıkış deliğinden yüksek tutulmuştur Ergime sıcaklığına ulaşıldığında tıkaç, manuel olarak yerinden çıkarılarak çıkış deliğinden eriğin akışı sağlanmıştır.



Şekil 2.4. Potanın, resmi(a), üç boyutlu (b) ve iki boyutlu(c) kesitleri

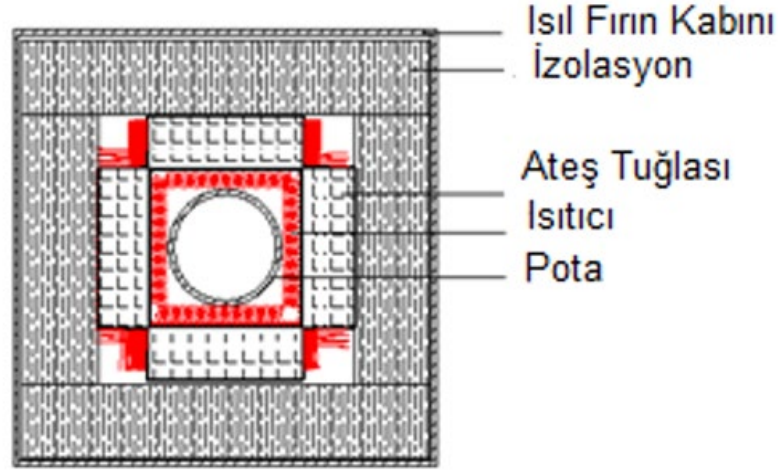
### 2.1.1 Isıtıcı Elemanın Tasarımı

Isıl firmı için bir ısıtıcı elemanın tasarımı Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterildiği gibi tasarımı yapılmıştır. Isıtıcı elemanın tasarımı limite giderken şartı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımın hedefi, seçilecek olan ısıtıcı elemanın çapını ve uzunluğu hesaplamaktır.



Şekil 2.5. Isıtıcı elemanın tasarımının ön görünüşü

Isıtıcı elemanın hesaplanmasında, kurulu elektrik güç ( $P$ ) ve elektrik gerilimi ( $V$ ), ısıtıcı elemanın sıcaklığı ( $T$ ) ve ısıtıcı elemanın öz direnci ( $\rho$ ) parametreleri kullanılmıştır. Bu hesap için elektrik direnci tarafında üretilen enerjinin tümünün ışınlam ile olan ısı enerjisiye dönüştüğü kabul edilmiş ve bu yaklaşım ile hesap yapılmıştır. Bu çalışmada ısı direnç telin malzemesi olarak nikrom elektrik teli seçilmiştir. Bu tasarım hesabında kullanılan ısıtıcı direnç tel, sürekli hal sıcaklığına ulaştığında, elektrik kaynağının ürettiği elektrik güç miktarının tamamını ısı olarak yayar. Isıtıcı direnç telin sıcak yüzeyi tarafında yayılan ısı, ışınlamla yayılan ısıdır. Stefan-Boltzman denklemi 5 ile verilir [4].



Şekil 2.6. Isıl Fırın Kabininin Üst Görünüşü

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

*Isıtıcının ürettiği elektrik güç = Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı*  
Isının ürettiği güç;

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Denklem -1 deki  $P$ (watt) elektrik,  $V$ (volt) elektrik gerilimi ve,  $R$  direnç ( $\Omega$ .)  
Isıtıcı elemanın direnci

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Burada,  $\rho$  ısıtıcı direnç telin öz direncidir ( $\Omega.m$ ), ( $l$ ) İletken uzunluğu (metre) ve ( $A$ ) ısıtıcı elemanın kesit alanı ( $m^2$ ) ve ( $d$ ), Isıtıcı elemanın çapıdır (mm)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Denklem 1, denklem 2 ve denklem 3'ten yeni ısıtıcı elemanın güç eşitliği elde edilir.

$$P = \frac{\pi d^2 V^2}{4 \rho l} \quad (4)$$

Elde edilir.

*Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı;*

$$q_r = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma (T^4 - T_\infty^4) \quad (5)$$

Denklem 5, Stefan-Boltzman olarak bilinir. ( $q_r$ ), ışınlamla olan ısı geçişi ( $W/m^2$ ), ( $\varepsilon_1$ ) Işınım (yayma) katsayısı, ( $\varepsilon_2$ ) ısı ışınlam geçirme katsayısı ve ( $\sigma$ ) Stefan-Boltzman katsayısı.  
Isıtıcı elemanın yanal alanı

$$A_{yanal} = \pi dl \quad (6)$$

Isıtıcının ürettiği elektrik güç = Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı

Denklem 4, denklem 5 ve denklem 6 'dan

$$\frac{d}{l^2} = \frac{4\rho q_r}{V^2} \quad (7)$$

elde edilir.

Bu ısıtıcı için seçilen nikrom tel direncin termofiziksel özellikleri:

$\varepsilon_1$  (Işınım (yayma) katsayısı) = 0.9

$\varepsilon_2$  (ısı ışınım geçirme katsayısı) = 0.6

$\rho$  (ısıtıcı direnç telin öz dirençtir)=  $1.016 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

$\sigma$  (Stefan-Boltzman katsayısı)=  $5.67 \times 10^{-8} (W/(m^2 \cdot K^4))$

$T$  (Isıtıcı eleman sıcaklığı)= $1200^\circ$

$T_\infty$  (Isıtıcı elemanın çevre sıcaklığı)= $25^\circ$

$P$  (Isıtıcı elemanın elektrik gücü)=  $2500W$

$V$  (Isıtıcı elemanın elektrik gerilimi) =  $220 volt$

Bu verilen değerleri kullanarak, denklem 4 ve denklem 7'in çözümünde ısıtıcı elemanını çap  $d = 1mm$  ve uzunluğu  $l = 17300mm$  bulunur. Çapı ve uzunluğu bulunan ısıtıcı elemanın

Çapı ( $D=9mm$ ) bir trans demir çubuğa torna makinesi kullanarak spiral haline getirilmiştir [5].

Spiral sayısı( $N$ );

$$N = l/(\pi/(D + d/2)) \quad (8)$$

Denklem 8'den sarım sayısı  $N = 580$  bulunmuştur [6].

### 3.1. Potanın Hareket Yönünde Analiz Edilmesi

Pota tasarımında en önemli sorunlardan biri de potadaki akış sorunlarıdır. İmal edilen potanın 180 gr metal ergitilebilme kapasitesi vardır. Bu potadan hedeflenen en önemli nokta, ergitilme işlemi bitikten sonra en kısa zamanda potadaki eriyiğin tazyikli bir şekilde pota dışına akmasını sağlamaktır. Potada akışın hızlı akmasını engelleyen hususlar; potadaki akışın viskozitesi, pota yüzeyindeki pürüzlülük, yüzey gerilmesi, pota çapındaki ani daralmalar ve genişlemeler. Ani daralma ve genişleme sonucu potadaki akışa karşı ters basınç ve girdaplar oluşur [7]. Bu akış engelleyici özelliklerini azaltmak için potadaki eriyiğin sıcaklığı mümkün olduğu kadar yüksek tutulmuştur. Çünkü sıcaklığın akış viskozitesini ve yüzey gerilmesini oldukça azaltma özelliği vardır. Pota içindeki metal sıvını basıncını artırmak için, metal sıvını içinde bulunduğu potanın tavan ile tabanın yüksek farkı fazla tutulmuştur. Bu şekilde potanın çıkışındaki eriyiğin hızlı akması sağlanmış ve potanın çıkış delik çapı 1,5 mm açılarak eriyiğin daimî akışı sağlanmıştır. Potanın içindeki eriyiğin hızlı bir şekilde akması için pota düşey pozisyonda tutulmuştur. Potanın içindeki metal sıvının yükseklik farkı  $h_1 - h_2$  dir.  $h_1$  ile  $h_2$  potanın içindeki metal sıvının çıkış noktasına olan alt ve üst yükseklikleridir. Burada, potadaki akış, tek yönlü kabul edilmiş ve düşey doğrultuda eriyiğin akması sağlanmıştır. Eriyiğin akış hızını bulmak için silindirik koordinatlarda yazılmış Navier-Stroks denklem sisteminden faydalanılmıştır. Bu denklem, Sıkıştırılmaz Navier-Stokes-z bileşeni [8].

$$\rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} (v_z) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z \quad (9)$$

Bu denklem 9 çözmek için bazı kabuller yapılarak ve sınır şartları uyguladıktan sonra

$$v_z(r) = - \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} r_1^2 \left( 1 - \frac{r^2}{r_1^2} \right) \quad (10)$$

denklem 10 elde edilir.

Potanın basıncının yüksekliğe( $z$ ) göre değişimi

$$\frac{dp}{dz} = (\rho g_z) \quad (11)$$

$v_z(r)$  ,hız dağılımı bulunur. Buradaki,  $r_1$  pota çıkış kesitinin herhangi bir yerin yarı çapıdır,  $r$  potanın çıkış yarıçapıdır.

Metal sıvının debisi ( $Q$ )

$$Q = \int v_z dA = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} (v_z(r))(r d\theta dr) \quad (12)$$

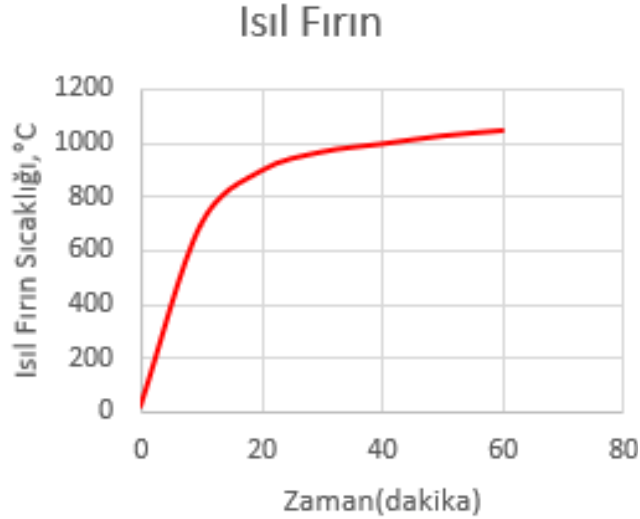
Denklem 17 ve Denklem 18 den

$$v_z(r) = -\rho \frac{\pi}{8\mu} g_z r_1^4 = v_{zo} \quad (13)$$

Denklem 12 ve denklem 13'den eriğin debisi bulunur ve  $v_{zo}$  potanın içindeki ortalama hız.  
Metal sıvının debisi

$$Q = \pi r^2 v_{zo} \quad (14)$$

Isıl fırın, alüminyum ve kurşun eritilmesiyle test edildi. Karakteristik eğriler, yani ısıtma süresine karşı fırın sıcaklığı. Başlangıçta, fırın 180 gr. kurşun ile yüklenmiştir ve sıcaklıklar yükseldikçe, zaman ve sıcaklıklar sürekli olarak kaydedilmiş ve aralarında bir karakteristik eğri çizilerek Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu ısı fırın, erime noktası 1200°C'nin altına düşen herhangi bir metali eritmek için kullanılabilir. Tüm erimiş metaller havadaki oksijenle reaksiyona girdiğinde oksitler oluşturur. Bu nedenle, imal edilen fırın kullanılarak metallerin eritilmesi sırasında uygun önlemler, koruyucu bakım kullanılmalıdır.



**Şekil 3.1.** Isıl Fırını Sıcaklık Zaman Grafiği

İmal edilen fırında kurşun eritilerek, ısıtma süresine karşı fırın sıcaklığı test edilmiştir. Başlangıçta 180 gram kurşun potaya yüklenmiş ve sıcaklık yükseltilerek zamana karşı değişen sıcaklıklar sürekli olarak kaydedilmiştir. Elde edilen zaman sıcaklık değerlerinin karakteristik eğri şekil 3.1'de belirlenmiştir. Bu eğride görüldüğü gibi ısı fırın 60 dakika çalıştırılmış Bu fırın, erime noktası 1200°C'nin altına düşen herhangi bir metali eritmek için kullanılabilir. Isıl fırının sıcaklığın zamanla değişimi. Tüm erimiş metaller, havadaki oksijen ile reaksiyona girdiğinde oksitler oluşturur. Bu nedenle, imal edilen fırın kullanılarak metallerin eritilmesi sırasında uygun önlemler ve prosedürler kullanılmalıdır. Bu fırın 1200 °C den düşük erime noktasına sahip metalleri eritmek için uygundur.

Sonuç olarak düşük erime noktasına sahip metallerin eritebildiği sonuncuna varılmıştır. Üretilen fırının maliyeti yaklaşık 5000 TL iken, ticari olarak temin edilebilen fırın maliyeti yaklaşık 30000 TL piyasada bulunan bir fırının maliyetinin yaklaşık %85'i kadardır. Fabrikasyonda üretilen ısı fırının amacı karşılar ancak piyasada bulunan fırınlar gibi çekici görünmeyebilir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Kurşun,alüminyum ve alaşımlarını eritmek için düşük maliyetli bir metal eritme fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Fırın tasarımında hem mekanik hem de elektriksel parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Bu fırın ısıtması, Al, Zn, Pb gibi erime noktaları 1200°C'den düşük olan metallerin ve bunların alaşımlarının

laboratuar ve araştırma amaçlı olarak küçük miktarlarda eritilmesi uygundur. Kurşun eritme için ısıtma testleri yapılmış ve karakteristik eğri çizilerek fırın ısıtma performansı analiz edilmiştir. Isıtma hızı, eritme hızı, 60 dakikada 1200°C'nin oldukça yakın bir sıcaklığa ulaşmıştır. Sonuçta imal edilmiş olan ısıtma fırını 1200°C derereye kadar termocouple ile ölçerek kayıt altına alınmış ve bu sıcaklığa kadar potada olumsuz bir durumla karşılaşmamıştır.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. J. Dunkley, Advances in atomisation techniques for the formation of metal powders, *Advances in Powder Metallurgy*, Woodhead Publishing, 2013, 3-18, doi:10.1533/9780857098900.1.3.
- [2] A. Lawley, & H. A. Kuhn (Eds.), *Powder Metallurgy Processing: New Techniques and Analyses*, Academic Press Incorporated, 1978.
- [3] CRR EEE 4G2. (18 Eylül 2020), Methods of Electric Heating. [Video] <https://youtu.be/VMa9A-CRiOo> Erişim Tarihi (2 Aralık 2022)
- [4] A. Öztürk, & H. Yavuz, *Uygulamalarla ısı geçişi: Tanıtım ve ışınım*, Çağlayan Kitabevi, 1995.
- [5] Nikrom Tel Direnç Hesaplaması. (2022), <https://electrician-top.ru/tr/soldering-irons/section-of-nichrome-wire-calculation-of-the-electric->, Erişim Tarihi (2 Aralık 2022)
- [6] V. S., Meriga, A. D. Boyina, & C. Vandana, Design and fabrication of low-cost electrical resistance based metal melting furnace for casting applications. *Leonado Electric Journal of Practices and Technology*, 32, 41-54, 2018.
- [7] K. Edis, K. Haluk, *Akışkanlar Mekaniği Ders Notları İTÜ Yayınları*, Cilt:2, İstanbul, 1992.
- [8] F. M. White, & J. Majdalani, *Viscous fluid flow*, Vol. 3, pp. 433-434, New York: McGraw-Hill, 2006.



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

## Parkinson Hastalığının Tespitinde Ses Sinyalleri Üzerinden Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması

*Comparison of Machine Learning Algorithms Using Sound Signals in Detection of Parkinson's Disease*

*Yazar(lar) (Author(s)):* İbrahim Halil GÖKÇİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-6603-3356

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): "GÖKÇİN İ. H., "Parkinson Hastalığının Tespitinde Ses Sinyalleri Üzerinden Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 130-140, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1217255



# Parkinson Hastalığının Tespitinde Ses Sinyalleri Üzerinden Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması

İbrahim Halil GÖKÇİN\*

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Haliliye/ŞANLIURFA

## Öz

Parkinson hastalığının belirtilerinden olan konuşma bozukluğu ve yazı yazmada zorlanma gibi semptomlar günümüzde makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada da konuşma bozukluklarının değerlendirilmesine yönelik kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada örneklem olarak Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji kliniğinde 188 Parkinson hastası ve 64 sağlıklı bireyden toplanan verilerle oluşturulmuş olan PCD veri seti kullanılmıştır. Bu çalışmada, Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanılmıştır ve DVM için ise Doğrusal Kernel, Polinomsal Kernel ve RBF Kernel kullanılmıştır. Adaboost Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Konvolüsyonel Sinir Ağları, Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Derin Boltzmann Makinesi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonuçların Konvolüsyonel Sinir Ağları algoritmasından elde edildiği görülmüştür.

## Comparison of Machine Learning Algorithms Using Sound Signals in Detection of Parkinson's Disease

### Abstract

Symptoms such as speech disorder and difficulty in writing, which are the symptoms of Parkinson's disease, can be evaluated using machine learning techniques today. This study aims to compare the machine learning algorithms used for the evaluation of speech disorders. In this study, we are utilizing the PCD dataset, which was created with data collected from 188 individuals with Parkinson's disease and 64 healthy individuals, and was used as a sample in the Neurology Clinic of Cerrahpaşa Medical Faculty. In this study, Decision Trees, K-Nearest Neighbors, and Support Vector Machines (SVM) are used and for SVM, Linear Kernel, Polynomial Kernel, and RBF Kernel are executed. Adaboost Decision Trees, Random Forest, Convolutional Neural Networks, Multilayer Perceptrons, and Deep Boltzmann Machines were used. As a result of the study, it was seen that the best results were obtained from the Convolutional Neural Networks algorithm.

### Makale Bilgisi

Başvuru:10/12/2022  
Kabul:31/08/2023

### Anahtar Kelimeler

Parkinson  
Ses Sinyalleri  
Makine Öğrenmesi

### Keywords

Parkinson's  
Audio Signals  
Machine Learning

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Parkinson hastalığı, dünya nüfusunun 1000'de 1-2'sini etkileyen ve yaşlanmayla birlikte yaygınlığı artan nörolojik bir hastalıktır. Parkinson hastalığının 60 yaş üstü toplam dünya nüfusunun %1'ini etkilediği bilinmektedir. Hastalığın genetik ve çevresel bir takım etkenlere bağlı olduğu düşünülmekle birlikte kesin olarak sebebi bilinmemektedir. Yapılan araştırmalarda %5-10 oranında genetik faktörler saptanırken bazı çevresel faktörlerin de hastalığın oluşumunda katkısı olduğu düşünülmektedir [1].

Tysnes ve Storstein yaptıkları araştırmalarda bu çevresel faktörlerin arasında CO<sub>2</sub>, tarım ilaçları ve ağır metaller gibi zararlı maddelere fazlaca maruz kalmak gibi etkenler bulunmaktadır. Bununla birlikte beyaz

\* İbrahim Halil GÖKÇİN, e-mail:ihgokcin@gmail.com

ırktan olmak, kırsal kesimde yaşamak ve kuyu suyu içmek gibi bazı durumların da Parkinson hastalığının risk faktörleri arasında olduğu belirtilmektedir [2].

PD hastalığı teşhisi konmuş olan bireylerde dopamin seviyesinde gerçekleşen azalmalar sonucu kasların kontrol edilmesinde sorunlar yaşanmakta ve hareket zorlukları meydana gelmektedir. Hastalığın teşhisi konduktan sonra kesin tedavisi olmamasına karşın hekimler tarafından hastalığın ilerlemesine ve semptomların azaltılmasına yönelik tedavi süreci işletilmektedir [3].

PD hastalığının klinik görünümü ve dopaminerjik tedaviye diğer nörodejeneratif hastalıklara nazaran vermiş olduğu görünür cevapla ayırt edilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu nedenle hastalığın önceden teşhis edilmesi tedavi açısından oldukça önemli olmaktadır. Çünkü PD, ilaç tedavisine en fazla yanıt veren nörodejeneratif hastalıktır [4].

Parkinson hastalığının başlıca belirtileri hareket eksikliği ve yavaşlığı, titreme ile eklem bölgelerinde görülen sertliklerdir. Bunlarla birlikte dengede duramama, konuşma ve zihinde bozulmalarla depresif ruh hali yine Parkinson hastalığının belirtileri arasındadır. Bu belirtiler hastaya zamanında tedavi başlatılmadığı sürece zamanla şiddetlenmektedir. Hastalığın ilk belirtilerinin %75 oranında 60 yaşından sonra ortaya çıktığı görülmektedir [2].

Parkinson hastalığının konuşma üzerindeki etkileri arasında kısık ses, konuşmaya başlamada ve sürdürmede sıkıntı yaşama, akıcı konuşmada zorluk ve konuşmanın donuklaşması gibi sorunlar bulunmaktadır [5].

Parkinson hastalığında genellikle hastalığın ilk evrelerinde konuşma bozukluğuna rastlanmamaktadır. Bununla birlikte %50 oranında ilerleyen safhalarda da konuşma bozukluğu yaşamayan hastalar bulunmaktadır. Genel olarak hastalığın karakteristik özelliklerinden dolayı hastaların konuşmalarında sorunlar yaşamaya başladıkları görülmektedir. Parkinson hastalığında meydana gelen konuşma bozukluklarında dopamin eksikliği nedeniyle yüz ve ağız bölgesindeki hareket etme kabiliyetinde azalmalar meydana gelmektedir [6].

Aynı zamanda hastaların nefes alma kapasitesinin düşmesi de konuşma bozukluklarının ana nedenlerindedir. Konuşmada yaşanan bozuklukları genel itibariyle başlangıcı konuşma tonundaki yumuşama olmaktadır. Bununla birlikte hastalar konuşmalarında vurgu yapmadan monoton bir şekilde konuşmakta, konuşmaları hem yumuşak hem de hızlı tonda olmaktadır. Kimi durumlarda kelimeler arasındaki boşluklar kaybolmakta ve cümlelerin son kelimelerinde tekrarlar olmaktadır. Yavaş ve zayıf tonda konuşmalar da Parkinson hastalarının konuşma karakteristikleri arasındadır [7].

Günümüzde özellikle makine öğrenmesindeki gelişmelerle birlikte ses bozuklukları ve konuşma ölçümleri kapsamında yapılan çalışmalarda artış olmuştur. Özellikle Parkinson gibi konuşma bozukluğu semptomu olan hastalıklar için farklı yöntemler kullanılarak seslerin analizi yöntemiyle sınıflandırma çalışmaları yapılmaktadır. Parkinson hastalığı için yapılan çalışmalara bakıldığında genel olarak çalışmaların makine öğrenmesi metotlarıyla seslerin ve hasta el yazılarının değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmış olduğu görülmektedir. Ses bozukluklarının incelenmesi amacıyla oluşturulan veri setlerinin bir mikrofon vasıtasıyla ses kaydı alınarak yapıldığı görülmektedir. Daha sonra bu ses kayıtları makine öğrenmesinin farklı metotları kullanılarak analiz edilmekte, bu sayede hasta konuşmaları ve sağlıklı insanlar arasındaki ses ve konuşma sınıflandırmaları yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalardaki doğruluk oranları çalışmaların hastalık belirtilerinin analiz edilmesinde faydalı olduğunu göstermiştir [8].

Parkinson hastalarının seslerinin analiz edilmesinde literatürde oldukça farklı yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler arasında ses frekanslarındaki düzensizlik, jitter, shimmer, kısıklık ölçümü, Mel frekansı kepsrum ölçümü, doğrusal tahminleme, işitsel modelleme gibi farklı metotlar bulunmaktadır [9].



Parkinson hastalığının kesin bir tedavisi olmamasına rağmen hastalığın erken teşhisi durumunda semptomların ilerlemesi durdurulabilmekte ya da yavaşlatılabilmektedir. Bu nedenle bu tip teşhis yöntemlerinin geliştirilmesi hastalık için oldukça önemlidir.

Literatür incelendiğinde yaygın olarak kullanılan birkaç tane hazır veri setinin olduğu görülmektedir. Bu veri setlerinden biri Little ve arkadaşları tarafından oluşturulan “Oxford Parkinson's Disease Detection (OPD)” veri seti ve diğeri Şakar ve arkadaşları tarafından oluşturulan “Parkinson Speech Dataset with Multiple Types of Sound Recordings (PSD)” veri setidir. Bu veri setlerinden PSD’de toplam 40 deneğe, OPD’de ise 31 deneğe ait veriler bulunmaktadır. Denek sayılarına bakıldığında bu veri setlerinin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Ancak Şakar ve arkadaşları tarafından oluşturulan “Parkinson's Disease Classification (PDC)” veri seti toplam 252 deneğe ait 756 veriye sahip olması nedeniyle yapılan çalışmalarda son üç senedir yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [10] [8].

Diğer veri setleriyle karşılaştırıldığında PDC veri setinin hem örneklem boyutunun büyüklüğü hem de kullanılan sinyal işleme teknikleri nedeniyle Parkinson hastalığına ilişkin daha iyi bir temsil imkânı tanıdığı düşünülmektedir [11].

Parkinson hastalığının konuşma bozukluğu üzerinden makine öğrenmesi yöntemleriyle incelendiği çalışmaların yöntemlerine ve elde edilen sonuçlara kabaca bakıldığında; Little ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 23 Parkinson hastası ve 8 sağlıklı bireyden oluşturdukları OPD örneklemelerinde sesin dalgalanma, titreşim, ses seviyesi ve uyum özellikleri üzerinde bir ayırım yapmışlar ve çalışmalarında %91,4 oranında bir başarı elde etmişlerdir [8].

Tsanas ve arkadaşları çalışmalarında OPD veri setini kullanmış ve metot olarak kaba küme yöntemini tercih etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında verileri farklı algoritmalarla filtreleyerek sınıflandırma yapmış, çalışma sonucunda %90 oranında bir başarı sağlamışlardır. Aynı şekilde OPD veri setini kullanan Das da çalışmasında sinir ağları yöntemini kullanarak %92,9 başarı oranı yakalamışlardır [12].

Şakar ve arkadaşları kendi oluşturdukları Cerrahpaşa Tıp Fakültesinde Nöroloji departmanında tedavi gören 20 Parkinson hastası ve 20 sağlıklı bireyden oluşan toplam 40 denekli veri setleriyle yapmış oldukları çalışmada K-En Yakın Komşuluk ve Destek Vektör Makineleri yöntemlerini kullanarak sınıflandırma yapmışlardır. Bununla birlikte araştırmacılar hem Özetlenmiş Birini Dışarıda Bırakma(ö-BDB) ve Bir Bireyi Dışarıda Bırakma(BBDB) yöntemlerinin de sınıflandırma yöntemi olarak etkisini incelemiş, çalışma sonucunda ö-BDB yönteminde %85 oranında başarı elde etmişlerdir [10].

Şakar ve arkadaşları 2019 yılında veri setlerini geliştirerek bir çalışma daha yapmışlar, bu çalışmalarında toplam 252 denekten oluşan 756 veriyle Naive Bayes, K-En Yakın Komşu (KNN), Rastgele Orman, DVM-RBF, DVM-Çok Katmanlı ve DVM-Doğrusal yöntemleriyle sınıflandırma yapmışlardır. Araştırmacılar bu çalışmalarında toplamda 6 ana öznelik setiyle toplam da 753 öznelik belirlemişlerdir [13].

Badem de Şakar ve arkadaşları tarafından oluşturulan PCD veri setini kullanmış oldukları çalışmasında K-En Yakın Komşu (KNN), Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri ve Rastgele Orman makine öğrenmesi tekniklerini kullanmıştır. Bu teknikler üzerinde karşılaştırmalı analiz yapan yazar, sonuç olarak K-En Yakın Komşu yöntemiyle en yüksek doğruluk oranına ulaşmıştır [11] [13].

Bu çalışmanın amacı PCD veri seti kullanılarak makine öğrenme yöntemlerinin performansını değerlendirmektir. Çalışmanın diğer çalışmalardan farkı ise daha fazla makine öğrenmesi tekniği kullanarak bu tekniklerin PCD veri seti üzerindeki başarısını test etmektir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Veri Seti

Bu çalışmada Şakar ve arkadaşları tarafından kullanılan veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim dalında tedavi görmekte olan yaşları 33-87 arasında değişen, 107 erkek ve 81 kadından oluşan toplam 188 Parkinson hastasından toplanan veriler kullanılmıştır. Çalışmada bu verilerle kontrol grubu olan 23 erkek ve 41 kadından oluşan toplam 64 sağlıklı bireyden toplanan veriler birlikte analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri ise 44.1 KHz'e ayarlanan bir mikrofon vasıtasıyla deneklerin üç defa "a" ünlüsünü söyledikleri ses kayıtlarıdır. Veri seti toplamda 252 denekten alınan 756 ses kaydından oluşmaktadır.

Bu veri setindeki veriler bazı öznelik gruplarına bölünmüştür. Bu gruplar temel olarak Temel Özellikler (Baseline Features), Zaman Frekansı Özellikleri (Time Frequency Features), Mel Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC), Dalgacık Özellikleri (Wavelet features) ve Vokal Kıvrım Özelliklerinden (Vocal Fold Features) oluşmaktadır. Oluşturulan veri gruplarına ilişkin bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Veri Özellik Grupları ve Öznelik Sayıları ve açıklamaları

Veri Özellik Grupları			Öznelik Sayısı
Temel	Titreşim varyantları	Jitter varyantları, vokal kordların salınımlı modelinde meydana gelen kararsızlıkları yakalamak için kullanılır ve bu özellik alt kümesi, temel frekanstaki döngüden döngüye değişiklikleri nicelendirir.	5
	Parıltı varyantları	Parıltı varyantları da vokal kordların salınım modelinin kararsızlıklarını yakalamak için kullanılır, ancak bu sefer bu özellik alt kümesi, genlikteki döngüden döngüye değişiklikleri nicelleştirir.	6
	Temel frekans parametreleri	Vokal kord titreşim frekansı. Ortalama, ortanca, standart sapma, minimum ve maksimum değerler kullanılır.	5
	Uyum parametreleri	Ses tellerinin tam kapanmaması nedeniyle konuşma patolojilerinde artan gürültü bileşenleri oluşur. Özellik olarak, sinyal bilgisinin gürültüye oranını ölçen Harmonik Gürültü Oranı ve Gürültü Harmonik Oranı parametreleri kullanılır.	2
	Tekrarlama Periyodu Yoğunluk Entropisi (RPDE)	RPDE, vokal kordların stabil vokal kord salınımlarını sürdürme yeteneği hakkında bilgi verir ve F0'dan sapmaları nicelendirir.	1
	Eğilimsiz	DFA, türbülanslı gürültünün stokastik kendi	1

	Dalgalanma Analizi (DFA)	kendine benzerliğini ölçer.	
	Perde Periyodu Entropisi (PPE)	PPE, logaritmik ölçek kullanarak temel frekans F0'ın bozulmuş kontrolünü ölçer.	1
Mel Frekans Cepstral Coefficients MFCC	MFCC'ler	MFCC'ler, ses yolundaki PD etkilerini vokal kordlardan ayrı olarak yakalamak için kullanılır.	84
Zaman Frekansı	Yoğunluk Parametreleri	Yoğunluk, dB cinsinden konuşma sinyalinin gücü ile ilgilidir. Ortalama, minimum ve maksimum yoğunluk değerleri kullanılır.	3
	Formant Frekansları	Ses yolu tarafından yükseltelen frekanslar, ilk dört formant özellik olarak kullanılır.	4
	Bant genişliği	Formant frekansları arasındaki frekans aralığı, ilk dört bant genişliği öznitelikler olarak kullanılmıştır.	4
Vokal Kıvrım	Glottis Bölümü (GQ)	GQ, glottisin açılma ve kapanma süreleri hakkında bilgi verir. Glottis hareketlerindeki periyodikliğin bir ölçüsüdür.	3
	Glottal - Gürültü Uyarma (GNE)	GNE, konuşma sinyalindeki eksik vokal kord kapanmasının neden olduğu türbülanslı gürültünün boyutunu ölçer.	6
	Vokal Kıvrım Uyarma Oranı (VFER)	VFER, doğrusal olmayan enerji ve entropi kavramlarını kullanarak patolojik ses teli titreşimi nedeniyle üretilen gürültü miktarını nicelleştirir.	7
	Ampirik Mod Ayırıştırma (EMD)	EMD, uyarlanabilir temel fonksiyonları kullanarak bir konuşma sinyalini temel sinyal bileşenlerine ayırıştırır ve bu bileşenlerden elde edilen enerji/entropi değerleri gürültüyü ölçmek için kullanılır.	6
Dalga	F0 ile ilgili dalgacık dönüşümü (WT) özellikleri	WT özellikleri, F0'daki sapmaları ölçer.	182

Sakar ve arkadaşları tarafından oluşturulan PDC veri setinde toplam 753 adet öznitelik ve 756 örneklem bulunmaktadır.

## 2.2. Yöntem

Bu çalışmada sınıflandırma yöntemi olarak Destek Vektör Makinelerinin (SVM)radial, polinomsal, radial tabanlı çekirdek fonksiyonları, K-En Yakın Komşu (KNN), Karar Ağaçları, Adaboostla Karar Ağaçları ve Rastgele Orman, algoritmaları kullanılmıştır. Bununla birlikte Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN), Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP), Derin Boltzmann Makineleri ayrı ayrı denenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan sınıflandırma yöntemlerine kısaca bakacak olursak;

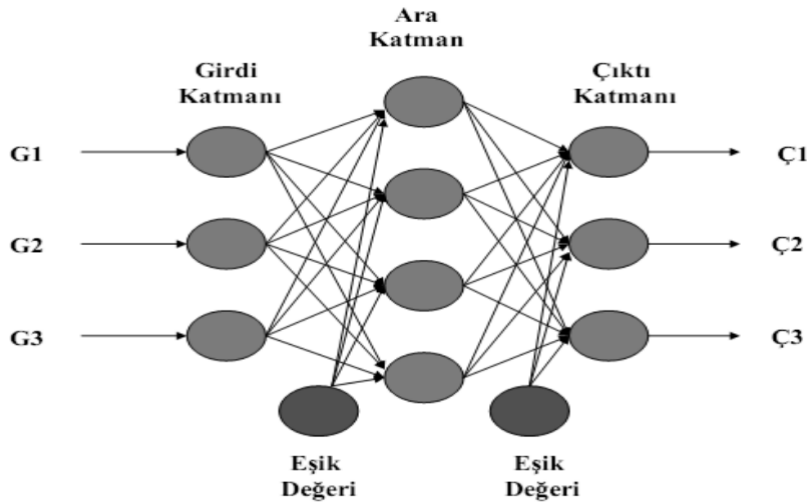
**Karar Ağaçları Algoritması:** Bu algoritma genel olarak bir ağacın yapısını temel alarak dallar, düğümler ve yapraklar şeklinde oluşturulan bir algoritmadır. Bu algoritmada ana amaç düğümlerde sorulan sorulara verilen cevaplara göre en son yaprağa en kısa yoldan ulaşmaktır [14]. Örnek bir karar ağacı modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.



içerisindeki “KNeighborsClassifier” modeli kullanılmış ve `n_neighbor` parametresi “5” olarak belirlenmiştir.

**Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN):** Lecun vd. tarafından 1998 yılında geliştirilen bu algoritma temel olarak görüntü analizleri için kullanılmaktadır. Algoritmanın amacı filtreleme yoluyla görüntünün özneliklerinin belirginleştirilerek sınıflandırma yapılmasıdır. Farklı katmanlara sahip olan sinir ağında nihai olarak sınıflandırıcı katmanda sonuç elde edilmektedir [19]. Bu projede kullanılan CNN algoritması verileri 1D (1 boyutlu) olarak işlemektedir. Girdi verileri orijinal olarak modele 2 boyutlu bir şekilde aktarılır birinci boyut örnek sayısını ve ikinci boyut özellik sayısını temsil eder. Yeniden şekillendirme ve modeli eğitime işlemi esnasında, iki boyuttan tek boyuta optimize edilir. Modelin ilk katmanı, 1D (1 boyutlu) girdi verileri gerektiren bir 1D (1 boyutlu) katman olduğu için bu işlem gereklidir. Bu algoritma uygulanırken transfer öğrenimi(Transfer Learning) kullanılmamıştır. Transfer öğrenimi, bir görev üzerinde eğitilmiş bir modelin ilgili ikinci bir görev için yeniden amaçlandırılarak kullanıldığı bir tekniktir. Bu genellikle önceden eğitilmiş modelin alt katmanlarını sabit özellik çıkarıcılar olarak kullanıldığında uygulanır. Bu çalışmada CNN modeli için Keras kütüphanesi içerisindeki “layers” metodları kullanılmıştır. Derleyici optimizasyonları için “adam” modeli kullanılmış olup, kayıp veri restore etme metodu için “SparseCategoricalCrossentropy” sınıfından yararlanılmıştır.

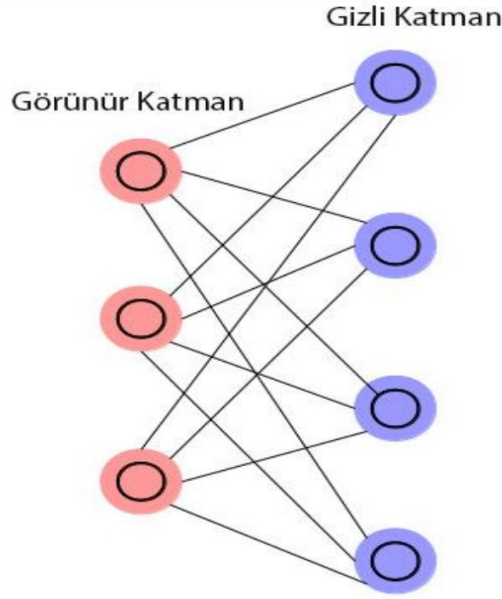
**Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP) :** Çok katmanlı algılayıcılar algoritması tespit ve tahmin amacıyla kullanılmakta olan ve parametrik olmayan bir algoritmadır [20]. Çok katmanlı algılayıcıların mimarisi bir girdi katmanı, bir veya daha fazla ara katman ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Şekil 2’de örnek bir Çok Katmanlı Algılayıcı mimarisi gösterilmiştir. Bu algoritmada sonuçlar girdi katmanından gelen her bir çıktının ağırlıkları ile çarpımlarının toplanmasıyla elde edilmektedir [21]. Bu çalışmada SkLearn kütüphanesi içerisindeki “MLPClassifier” modeli kullanılmış ve activation türü “relu”, solver türü “adam”, `batch_size` türü “auto” ve momentum değeri “0.9” olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Örnek Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması [21].

**Derin Boltzmann Makineleri:** Boltzmann makineleri metodunda veri seti üzerindeki olasılıkların öğrenilmesi amaçlanmaktadır. Bu algoritmada gizli ve görünür olmak üzere iki katman bulunmakta olup katmanlardaki her bir düğüm bir nöronu temsil etmektedir. Düğümlerde yapılan hesaplamalar diğer katmanda yer alan başka bir düğüme iletilmektedir. Hesaplamalar görünür katmanda yapılır ve gizli katmana rastgele olarak iletilir [19]. Bu çalışmada TensorFlow Kütüphanesi içerisindeki BBRBM” modelinden yararlanılmıştır. Numpy formatındaki veri Tensor formatına çevirilmiş ve modelde kullanılmış ve `shuffle_batch` parametresi 128 olarak belirlenmiştir.

Bir Boltzmann Makinesi modeli örneği Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Örnek Boltzmann Makineleri Algoritması [19].

Çalışma Python yazılımı kullanılarak yapılmış olup çalışmada scikit-learn ve TensorFlow kütüphaneleri kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Uygulanan Algoritma ve Sonuçları

	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık
Karar Ağaçları	0.822	0.873	0.881
K-En Yakın Komşu	0.836	0.856	0.927
Destek Vektör Makineleri (Doğrusal Kernel)	0.809	0.836	0.907
Destek Vektör Makineleri (Polinomsal Kernel)	0.816	0.811	0.963
Destek Vektör Makineleri (RBF Kernel)	0.822	0.803	0.991
Adaboost Karar Ağaçları	0.822	0.828	0.944
Rastgele Orman	0.855	0.840	0.981
	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık
Karar Ağaçları	0.868	0.907	0.907
K-En Yakın Komşu	0.875	0.873	0.963
Destek Vektör Makineleri (Doğrusal Kernel)	0.829	0.858	0.907
Destek Vektör Makineleri (Polinomsal Kernel)	0.855	0.846	0.972
Destek Vektör Makineleri (RBF Kernel)	0.829	0.819	0.972
Adaboost Karar Ağaçları	0.888	0.902	0.944
Rastgele Orman	0.862	0.858	0.963

Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN)	0.895	0.925	0.941
Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP)	0.822	0.818	0.992
Derin Boltzmann Makinesi	0.803	0.806	0.983

Tabloda verilen değerlerden doğruluk değerleri doğru bir sınıflandırma yapılmış olan veri sayısı ile toplam veri sayısının oranıdır. Dolayısıyla Parkinson ve sağlıklı bireylerin hangi oranda doğru tahmin edilebildiğini göstermektedir. Çalışma sonucunda elde edilen doğruluk oranlarına bakıldığında bütün algoritmalarda %80 üzeri bir başarı elde edilmiş olduğu, en yüksek başarı oranının ise 0,895 oranla Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) algoritmasıyla elde edilmiş olduğu görülmektedir. Kesinlik oranı ise Parkinson hasta örneklerinin oranlamasını göstermektedir. Yani Parkinson hastası olarak tahmin edilmiş olan örneklerden kaçının gerçek Parkinson hastası olduğunun bir oranıdır. Çalışma sonucunda tüm algoritmalarda yine %80 üzerinde bir başarı oranı olduğu, en yüksek oran ise 0,925 oranla Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN)'nda elde edilmiş olduğu görülmektedir. Duyarlık oranı ise sağlıklı bireyler için elde edilen bir orandır. Toplam veri kümesi içerisinde sağlıklı olarak tahmin edilen hastaların oranının göstermektedir. Çalışmada karar ağaçları haricinde tüm algoritmalarda %90 üzerinde bir oran elde edilmiş olup en yüksek oran 0,992 oranla Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP) algoritmasında elde edilmiştir.

Badem, bu çalışmada kullanılan aynı veri setiyle Karar Ağaçları, Naive Bayes, K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makineleri algoritmalarını kullanarak yapmış olduğu çalışmada en iyi performansı K- En Yakın Komşu algoritmasından elde etmiştir. Bizim çalışmamızda her ne kadar K- En Yakın Komşu algoritmasından da iyi sonuçlar elde edilmiş olsa da Rastgele Orman algoritmasının diğerlerine nazaran daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir.

Şakar ve arkadaşları ise yine aynı veri setiyle yapmış oldukları çalışmada farklı öznelikler üzerinde farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Yazarlar, temel özneliklerde K- En Yakın Komşu algoritmasında, MFCC özneliğinde Destek Vektör Makinelerinde (RBF Kernel), dalga özneliklerinde Çok Katmanlı Algılayıcı algoritmasında, bant genişliği özneliğinde K- En Yakın Komşu algoritmasında, yoğunluk özneliğinde K- En Yakın Komşu ve Rastgele Orman Algoritmalarında ve son olarak Vokal Kıvrım özneliğinde Rastgele Orman algoritmasında en yüksek doğruluk oranına ulaşmışlardır.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Parkinson hastalığının belirtilerinden olan konuşma bozukluğu ve yazı yazmada zorlanma gibi semptomlar günümüzde makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada da konuşma bozukluklarının değerlendirilmesine yönelik kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmada daha önce yapılmış çalışmalardan daha fazla algoritma kullanılarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmiş, bu kapsamda makine öğrenmesi algoritmalarından Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri (Doğrusal Kernel), Destek Vektör Makineleri (Polinomsal Kernel), Destek Vektör Makineleri (RBF Kernel), Adaboost Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Konvolüsyonel Sinir Ağları, Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Derin Boltzmann Makinesi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonuçların Konvolüsyonel Sinir Ağları algoritmasından elde edildiği görülmüştür.

Parkinson gibi ses ve görüntü gibi özellikli belirtileri olan hastalıkların teşhisinde makine öğrenmesi tekniklerinin oldukça önemli olduğu ve yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak yapılacak çalışmalar için esas teşkil edecek veri setlerinin ve örneklem sayılarının artırılmasının çalışma sayılarının artmasında fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte hem ses hem de el yazısı veri setlerinin birlikte ele alınarak incelemeler yapılmasının karşılaştırmalı analizlere imkân tanınması açısından fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] O. B. Tysnes ve A. Storstein, Epidemiology of Parkinson's Disease, cilt 124, no. 8, pp. 901-905, 2017.
- [2] F. Çevik ve Z. H. Kilimci, Derin Öğrenme Yöntemleri ve Kelime Yerleştirme Modelleri Kullanılarak Parkinson Hastalığının Duygu Analiziyle Değerlendirilmesi, cilt 27, no. 2, pp. 151-161, 2020.
- [3] J. Jankovic, Parkinson's disease: clinical features and diagnosis, *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, cilt 79, no. 4, pp. 368-376, 2008.
- [4] R. Çakmur, Parkinson hastalığı ve medikal tedavisi, *Klinik Gelişim Dergisi*, pp. 53-58, 2011.
- [5] S. Fahn, Description of Parkinson's Disease as a Clinical Syndrome, *Annals of the New York Academy of Sciences*, cilt 991, no. 1, pp. 1-14, 2003.
- [6] Ş. Torun, Parkinson'lularda konuşma fonksiyonunun subjektif ve objektif (elektrolaringografik) yöntemlerle incelenmesi,, *Uzmanlık Tezi, Anadolu Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroloji Anabilim Dalı, Eskişehir*, 1991.
- [7] S. Özekmekçi, H. Apaydın, S. Oğuz ve İ. Zileli, Parkinson Hastalığı Hasta ve Yakınları İçin El Kitabı, İstanbul: Bayçınar Tıbbi Yayıncılık ve Reklam Hiz. Tic. Ltd. Şti, 2013.
- [8] M. A. Little, P. E. McSharry, E. J. Hunter, J. Spielman ve L. O. Ramig, Suitability of Dysphonia Measurements for Telemonitoring of Parkinson's Disease, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, cilt 56, no. 4, pp. 1015-1022, 2009.
- [9] Ö. Bizal, Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Parkinson Hastalığının Belirlenmesi, 2014.
- [10] B. E. Şakar, M. E. Isenkul, C. O. Şakar, A. Sertbas, F. Gürgen, S. Delil ve O. Kurşun, Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, cilt 17, no. 4, pp. 828-834, 2013.
- [11] H. Badem, Parkinson Hastalığının Ses Sinyalleri Üzerinden Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Tanımlanması, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 8, no. 2, pp. 630-637, 2019.
- [12] A. Tsanas, M. A. Little, P. E. McSharry ve L. O. Raming, Accurate telemonitoring of Parkinson's disease progression by noninvasive speech tests, *IEEE transactions on biomedical engineering*, cilt 57, no. 4, pp. 884-893, 2010.
- [13] C. Sakar, G. Serbes, H. Tunç, A. Gündüz, H. Nizam, B. Sakar, M. Tütüncü, T. Aydın, M. İsenkul ve H. Apaydın, "A Comparative Analysis Of Speech Signal Processing Algorithms For Parkinson's Disease Classification And The Use Of The Tunable Q-Factor Wavelet Transform, *Applied Soft Computing*, cilt 74, pp. 255-263, 2019.
- [14] S. Esmer, M. K. Uçar, İ. Çil ve M. R. Bozkurt, Parkinson Hastalığı Teşhisi İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Yeni Bir Yöntem, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, cilt 8, no. 3, pp. 1877-



1893, 2020.

- [15] Ü. Varanyurt, A. Deveci, M. F. Esen ve O. Veranyurt, Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Hastalık Sınıflandırması: Random Forest, K-Nearest Neighbour ve Adaboost Algoritmaları Uygulaması, *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, cilt 6, no. 2, pp. 275-286, 2020.
- [16] H. Nizam, Sosyal Medyada Makine Öğrenmesi İle Duygu Analizinde Dengeli ve Dengesiz Veri Setlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, *XIX Türkiye'de İnternet Konferansı*, cilt 1, no. 6, 2014.
- [17] S. Ayhan ve Ş. Erdoğan, Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, cilt 9, no. 1, pp. 175-201, 2014.
- [18] B. Başer, M. Yangın ve E. S. Sarıdaş, Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Diyabet Hastalığının Sınıflandırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 25, no. 1, pp. 112-120, 2021.
- [19] F. Doğan ve İ. Türkoğlu, Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, cilt 10, no. 2, pp. 409-445, 2019.
- [20] U. Orhan, M. Hekim ve M. Özer, EEG İşaretlerinin Çok-Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı Modeli ile Sınıflandırılmasında Ayrıklaştırma Yaklaşımı, *In Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)*, 2010.
- [21] K. Tekeli ve R. Aşlıyan, Çok Katmanlı Algılayıcı, K-NN ve C4. 5 Metotlarıyla İstenmeyen E-postaların Tespiti, *Adnan Menderes Üniversitesi*, 2016.

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

**HARRAN  
ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

HARRAN UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733



**HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

***HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING***

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

---

**KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Durumu: Şanlıurfa İmalat Sektöründe Örnek Bir Uygulama**

*Industry 4.0 Readiness of SMEs: An Example Application in Şanlıurfa Manufacturing Industry*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Muhammed AŞUT<sup>1</sup>, Sercan DEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0009-0000-1955-0190

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-0764-9083

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Aşut M., Demir S., "KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Durumu: Şanlıurfa İmalat Sektöründe Örnek Bir Uygulama", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 141-150, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1296197



## KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Durumu: Şanlıurfa İmalat Sektöründe Örnek Bir Uygulama

Muhammed AŞUT<sup>1,\*</sup>, Sercan DEMİR<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 63000, Haliliye/Şanlıurfa

### Öz

Dijitalleşen dünyada, ülkemiz sanayisi için çok önemli olan Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme(KOBİ)'lerin Dördüncü Sanayi Devrimine geçiş ve uyumları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, KOBİ'lerin bu geçiş süreçlerinde hazırlık ve olgunluk düzeylerini ölçülebilir yöntemlerle takip edebilmeleri uygulamada çıkabilecek sorunların önceden belirlenmesi ve sürecin sağlıklı tamamlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada; Şanlıurfa ilinde farklı sektörlerde faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0'ın temeli oluşturulan teknolojilerden beş tanesine (Siber Güvenlik, Robotik ve Otonom Sistemler, Bulut Bilişim, Nesnelerin İnterneti, Eklemeli İmalat) hazırlık ve olgunluk seviyelerini akıllı ve sürdürülebilir tedarik zinciri kapsamında belirlenmesi ve sektörel olarak Dördüncü Sanayi Devrimine olgunluk seviyelerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Şanlıurfa'da enerji sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin Dördüncü Sanayi Devriminin getirdiği dijital dönüşüm sürecine makine ve tekstil sektöründe faaliyet gösteren şirketlere göre daha hazır oldukları ortaya çıkmıştır. Enerji sektöründeki şirketlerden sonra en hazır olan sektör tekstil sektöründeki şirketler olarak belirlenirken, makine sektörü bu iki sektörün gerisinde kalmıştır. Şanlıurfa ve çevre illerdeki, KOBİ'lerin hazırlık ve olgunluk seviyelerinin belirlenmesi konusunda farkındalıklarının oluşturulması, onların dijital dönüşümün önemini daha iyi anlamalarını sektörlerinde rekabet avantajını elde tutmalarını sağlayacaktır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 12/05/2023  
Yayın: 31/08/2023

### Anahtar Kelimeler

Endüstri 4.0  
Dijital Dönüşüm  
KOBİ'ler  
Tedarik Zinciri

### Keywords

Industry 4.0  
Digital Transformation  
SME's  
Supply Chain

## Industry 4.0 Readiness of SMEs: An Example Application in Şanlıurfa Manufacturing Industry

### Abstract

In the digitalizing world, the transition and adaptation of SMEs to Industry 4.0, which is very important for our country's industry, is of great importance. For this reason, it is of great importance that SMEs can monitor their readiness and maturity levels in this transition period with measurable methods in order to determine the problems that may arise in practice and to complete the process in a healthy way. In this study, it is aimed to determine the readiness and maturity levels of SMEs, operating in different sectors in Şanlıurfa, to five of the technologies that form the basis of Industry 4.0 (Robotic and Autonomous Systems, Additive Manufacturing, Internet of Things, Cloud Computing, Cyber Security) within the scope of smart and sustainable supply chain. According to the results of the study, it has been revealed that companies operating in the energy sector in Şanlıurfa are more ready for the digital transformation process brought by Industry 4.0 than companies operating in the machinery and textile sector. While the most ready sector after the companies in the energy sector was determined as the companies in the textile sector, the machinery sector lagged behind these two sectors. Raising the awareness of SMEs in Şanlıurfa and surrounding provinces on the determination of their level of readiness and maturity will enable them to better understand the importance of digital transformation and to retain a competitive advantage in their sector.

## 1. GİRİŞ

Ekonomi tarihi, toplulukların ömrünü derinden bir dönüşüme uğratan ve ekonomik verimliliklerini yükselterek gelişmeyi sağlayan iki önemli değişimden bahsetmektedir. Birinci dönüşüm tarım, ikinci dönüşüm ise sanayi devrimidir. Tarımda ki dönüşüm, avcılık ile hayatlarını devam ettiren toplumların hayvancılık ve çiftçilik yaparak yerleşik hayata geçmesidir.

İngiltere’de başlayan Birinci Sanayi Devrimi ile, beden kuvvetinin yerine makine gücü yer almıştır. Sanayi devrimi üretim yapısında çok yönlü yeniliğe sebep olmuş ve yaşam şeklini etkilemiştir. Sanayi devrimi hem sosyal, hem de günlük hayatta önemli değişikliğe sebep olmuş, uluslararası ticaretin, çalışma ilişkilerinin ve sadece mühendislik alanında değil, sosyal ve sağlık alanlarında da devrimlere olanak hazırlamıştır [12]. Endüstri 2.0 teknoloji devrimi olarak da tanımlanır. Demiryollarının gelişmesi hammaddeyi bulmayı kolaylaştırmıştır ve İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)’nin ilkelerinin atılmasında önemli etken olmuştur. Amerika, Japonya ve Almanya’nın başını çektiği Endüstri 2.0, daha sonra dünyanın birçok bölgesine yayılmıştır. Üçüncü Sanayi Devrimi diğer devrimlere göre biraz geç başlamıştır, bunun nedeni ikinci dünya savaşı ve büyük buhranın etkileridir. Ancak Üçüncü Sanayi Devrimi’nin başlamasında ki en büyük etmen ise İkinci Dünya Savaşıdır.

Bu dönemde bilgisayar, telekomünikasyon gibi alanların gelişimi, üretimi çok farklı yerlere getirmiştir. İletişim ve ulaşımın kolaylaşmasından kaynaklı olarak küreselleşme giderek arttı. İnsanlar arası mesafe kalkmıştır [14]. Dördüncü sanayi devrimi, internetin verdiği güçlü network faydası ile imalat proseslerine hız ve çeviklik sağlayan bir endüstriyi kapsar. İşletmeler birçok günden güne daha da akıllanmaktadır. Endüstri 4.0, yeni bir hayat biçimi kazandırmıştır. Endüstri 4.0 ile bir çok yeni kavram ortaya çıkmıştır, Nesnelerin interneti, akıllı sensörler, üç boyutlu yazıcılar gibi kavramlar pazar şansı olarak görülmektedir. İşletmelerin bu şansları iyi değerlendirmesi ve yeniliğe kapalı olmaması gerekmektedir [13].

Dördüncü Sanayi Devrimin uygulamaları son yıllarda birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. KOBİ’ler, çalışan sayısı 250 kişiyi geçmeyen, yıllık net satışı 250 milyon liranın altında olan işletmelere denir [10]. Küçük ve orta ölçekli işletmelerin devlet sanayisindeki konumu ve önemi çok büyüktür. Dördüncü Sanayi Devrimi ile çağımıza giren sanayinin dijitalleşmesi sürecinde KOBİ’lerin yenilik görüşünü doğru kavrayabilmesi ve bu konuda bilinçli olması istenen önemli bir konudur. KOBİ’ler doğru planlama yaparak, makinelerden tam verim alınmasını ve hatalı ürün olmamasını sağlayabilirler [3].

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Dördüncü Sanayi Devrimi

Dördüncü sanayi devrimi, sanayi üretiminde yer alan tüm birimlerin birbirleri ile iletişim kurmasına, tüm bilgilere aynı anda ulaşabilmesine ve bu bilgiler ışığında yüksek katma değer oluşturulmasına aracı olmaktadır [12].

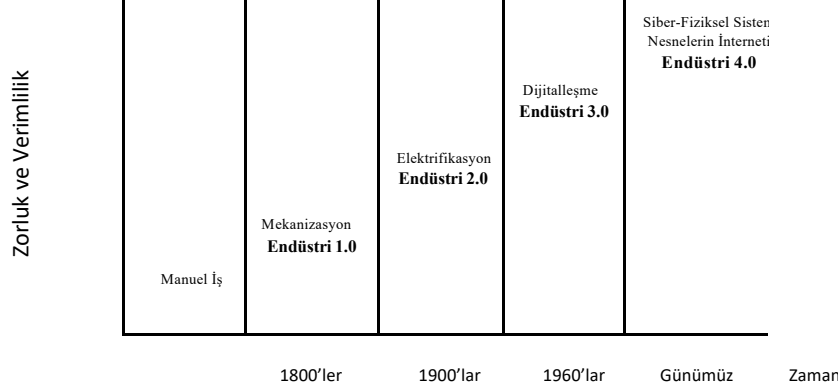
Son dönemlerde üretim aşamalarının tamamen dijital bir hal almasıyla üretim sektöründe dijital dönüşüm çağı yaşanmaktadır. 2011 senesinde “Endüstri 4.0” cümlesinin paylaşılmasından bu döneme kadar, Endüstri 4.0’ın gerektirdiği dijital dönüşüm, dünya genelinde sanayicilerin ve hükümetlerin ilgisini çekmeyi başarmıştır. Endüstri 4.0 ile birlikte güncellenen ve gelişen teknolojiler, imalatçı şirketler için daha iyi verimlilik ve üretkenlik oranlarına hızlı bir şekilde ulaşabilmelerini sağlamıştır. Bununla beraber işletmelerin kârlılık seviyelerinin de artışa neden olduğu belirtilmektedir [15].

Endüstri 4.0, Dijitalleşen Endüstri, Dördüncü Sanayi Devrimi gibi kelimelerle de açıklanabilir. Endüstri 4.0 ülkemiz ekonomisinde tüm sektörlerde ve her düzeyde işletmeleri etkileyecek bir süreç ve yenilik geliştirmektedir [7]. Küreselleşme, tedarik zinciri karşılıklı bağımlılık sürecini hızlandırmakta ve hem bireyler hem de küresel tedarik zinciri için zorluklar yaratarak küresel ölçekte birçok belirsizliği ve riski beraberinde getirmektedir [8].

Günümüzde şirketlerin varlıklarını koruyabilmeleri ve devam ettirebilmeleri için Endüstri 4.0’ı kurumlarına uygulaması şarttır. Endüstri 4.0 terimi gelecek dönemlerde rekabetçi ortamda hayatta

kalabilmek için önemli bir taktik olarak görülmektedir. Rekabetçi ürünlerin ve hizmetlerin tasarımı ve uygulanmasının yanı sıra esnek lojistik ve üretim sistemleri de buna dâhildir.

Bilgi teknolojilerinin yarattığı ürünleri özelleştirmek, üretim süreçlerinin esnek uyumunu sağlamak, parçaları ve ürünleri izlemek, insan-makine etkileşimi örneklerini uygulamak, akıllı fabrikalarda nesnelerin interneti özellikli üretim optimizasyonunu sağlamak ve değer bakımından yeni tür hizmetler ve iş modelleri sunmak Dördüncü Sanayi Devrimi'nin amaçları arasında yer alır[18].



Şekil 1: Dört Sanayi Devrimine Genel Bir Bakış (Kaynak:[5])

Dördüncü Sanayi Devrimi, çağımızda tedarik zincirlerinin dijital bir hal almasına sebep olmaktadır. Bu dijitalleşme tüm işyeri operasyonlarının dijitalleşmesi olarak düşünülmelidir. Globalleşmenin arttığı çağımız dünyasında tedarik zincirinin sürdürülebilirliği şirketler için çok öneme sahiptir. Akıllı tedarik zinciri dijital dönüşümle ortaya çıkmış olup, sürdürülebilirlikle bağdaştırılması gereken bir pozisyon durumuna gelmektedir [4].

## 2.2 Türkiye'de Kobiler

Türkiye'de genel olarak çalışan sayısı 250' yi aşmayan şirketler KOBİ olarak tanımlanmaktadır. KOBİ'ler ilerlemiş ve ilerlemekte olan tüm devletlerde fabrikaların %99' unu oluşturmaktadırlar, ancak istihdam, ihracat ve yatırım alanlarında ise payları ise düşüktür. KOBİ'ler tek tek bakıldığında küçük ekonomik birimlerdir ve tek başlarına ekonomiye olan faydaları az olduğu görülmektedir. Ancak; KOBİ'ler toplu şekilde incelendiklerinde, çok önemli bir konuma sahip oldukları görülmektedir [17].

KOBİ'ler Türkiye ekonomisinde şirket sayısı, kalkınma ve üretim bakımından büyük bir paya sahiptirler, ancak katma değer ve ihracatta yeterli paya sahip değildir [1]. Burada çok net bir şekilde verimlilik sorunu kendini göstermektedir. Bu tür şirketlerin ekonomiye sağladığı katkının düşük olması ciddi problemlerin olduklarının da bir kanıtıdır. Söz konusu problemlerin ilk sırasında finansman sorunları gelmektedir. Finans dünyasındaki gelişmeler hakkında yeterli bilgiye ulaşamamaları, oto finansman imkanlarının iyi olmaması, yüksek kredi maliyetleri, sermaye piyasasına girememeleri ve diğer benzer problemler KOBİ'lerin rekabet güçlerini azaltmaktadır [11].

Büyük işletmeler etkin yönetim ve organizasyon yapıları, düşük maliyetleri ile dış pazara açılmada KOBİ'lere göre birinci aşamada yarış avantajına sahiptir. KOBİ'ler ihracat pazar paylarını ve dış pazarlara girişte yaşanan sorunları tespit etmeli ve bunlara göre yeni önlemler almalıdırlar.

Kalite kontrolü ve fiyat maliyet bağlantısının doğru kurulamaması ihracata doğrulmuş şirketlerin karşılaştığı problemler arasında yer almaktadır. Bu problemlerle karşılaşan Türk KOBİ'lerinin siparişe göre üretime yöneldikleri ve kendi markalarını yaratarak, kendi ürünlerini pazarlamada zorluk yaşadıkları görülmektedir. KOBİ'ler rekabette üstünlüğü yakalayabilmek için kendi markalarını yaratmaları ve kalite üretim sağlamaları gerekmektedir [1]. Dünya ekonomilerinde ve ülkemizde KOBİ'lerin ekonomiye sağladığı yararlar göz önüne alındığında desteklenmesi gerektiği kabul görmüştür. Ekonomik gelişmeyi

sağlamak amacıyla üretim sanayisinde önemli paya sahip olan KOBİ'leri desteklemek ve iyileştirmek üzere ülkemizde birçok kurum ve kuruluş icraat göstermektedir. Bu kurum ve kuruluşlar KOBİ'lere sosyal ve finansal yardım sağlamaktadır. Finansal yardımların başında banka kredileri, devlet yardımları ve teşvikler gelmektedir [16]. Temmuz 2021'de Türkiye Ticaret Bakanlığı tarafından yayınlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı, başta KOBİ'ler olmak üzere şirketleri çevre ve atık yönetimi konularında bilgilendirme, gıda artıklarının ve atıklarının geri dönüşümü konusunda farkındalık yaratma ve tüketicileri bilinçlendirmeyi amaçlamıştır [2].

KOBİ'ler üretim ekonomisinin yürütücü gücüdür. Üretim sanayinin en önemli yapıları olan KOBİ'lerin dördüncü sanayi devrimi üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Tüm bu ekonomik ve sosyal kuvvetlerinin yanında büyük işletmelerle kıyaslandığında, KOBİ'ler farklı engellerle karşı karşıya kalmaktadırlar. Büyük işletmelere göre geçiş sürecini daha sıkıntılı yaşayan KOBİ'lerin dördüncü sanayi devrimine yönelik paradigma geçişi desteklenmelidir [6].

### 2.3 Kobilere Dördüncü Sanayi Devrimi

Dördüncü Sanayi Devrimine tamamen uyum sağlayan ve süreci bitiren henüz hiçbir ülke yoktur. Çok iyi konumda olan Almanya, Çin, ABD gibi ülkelerde dördüncü sanayi devrimine tam bir geçiş yapamamışlardır. Bunun başarılabilmesi için, ülke içerisindeki işletmelerin tamamının Dördüncü Sanayi Devrimine hazırlıklı olması, işletmelerin, insanların ve şehirlerin "akıllı" yeterliliğe sahip olmaları gerekmektedir [6]. Değişen müşteri beklentisine göre işletmeler, değişime ve gelişime açık olmalıdır. İşletmelerin ürün hazinelerini genişletmek, farklı ürün tasarımları ortaya çıkarmak, üretim proseslerini iyileştirmek, yeni teknolojik makinelerde üretim yapmak, çalışma kapasitesi gibi nedenlere bağlı olarak değişmektedir. Yeniliklerin gelişmesini sağlayan uygun ortamlar olması ve değişen koşullarda oluşan sorunlarda farklı düşüncelerin uygulanmasını daha mümkün hale getirmek KOBİ'ler için önemlidir [3].

Genellikle düşük sermaye malzemeler ile çalışan ve nispeten düşük katma değer üretmesine rağmen KOBİ'ler ülke ekonomisinde önemli bir konumdadırlar. Endüstrinin gelişmesi ve emek gücünün yeni yapılanmalara uygun şekilde hazırlanması, katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi için gereklidir [3]. Teknolojinin her geçen gün sürekli kendini yenilemesi, KOBİ'lerin bu değişimlerde kendi yerlerini doğru belirleyebilmeleri, Dördüncü sanayi devrimini nasıl uygulayacaklarına ve endüstriyel değeri nasıl arttıracaklarına etki edecektir. Dördüncü sanayi devrimi ile hayatımıza giren dijitalleşen sanayi sürecinde KOBİ'lerin yenilik konseptini doğru algılaması ve bu konuda bilinçli olması istenilen önemli bir konudur. KOBİ'lerin doğru planlama ve yatırım yapması dördüncü sanayi devrimi getirilerinden olan makinelerden tam verim alınması, hatasız üretimin olması ve üretim kısımlarına hakimiyet sağlanabilmesi için gerekli bir durumdur [3]. Maliyeti düşüreceği ifade edilen Dördüncü sanayi devri, nitelikli işgücü ve yatırım konularında yüksek maliyet ortaya çıkarmaktadır [9].

Dördüncü sanayi devri konusunda bu zorluklara sahip olan KOBİ'lerin problemleri sadece ülkemiz için değil tüm dünya ülkelerinin üzerinde durması gereken, önlem alınması, kaçırılmaması gereken bir durumdur. Bu konuda ilk önce devletlerin ve hükümetlerin daha sonrasında işletmelerin gerekli önlemleri, stratejileri ve kendilerine ait modellerini oluşturmaları gerekmektedir [6].

Literatür araştırmalarında Şanlıurfa ili imalat sanayisinde Endüstri 4.0 farkındalık ve olgunluk seviyeleri incelenmiştir [19, 20]. Bu çalışmada, Şanlıurfa imalat sanayisinde faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0'a uyumları sürecinde hazırlık durumu değerlendirmesi yapılmıştır. Sonraki bölümde modelin uygulanma aşamaları gösterilmiştir.

## 3. MODELİN UYGULANMASI

Şanlıurfa'da faaliyet gösteren KOBİ'lere araştırmadan yer verilen anketler uygulanmıştır. Anketler için HRÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler etik kurulundan onay alınmıştır. Ankette, Endüstri 4.0'ın 5

teknolojisi (Siber Güvenlik, Robotik ve Otonom Sistemler, Bulut Bilişim, Nesnelerin İnterneti, Eklemeli İmalat), sürdürülebilirliğin 4 boyutunda (ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik), anlaşılma, uygulanma ve gelişim skorları kapsamalarında değerlendirilmiştir. Uygulama [4] tarafından önerilmiş olan ve Endüstri 4.0 araçlarının sürdürülebilirliğin üç temel boyutu olan çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarda tedarik zinciri yönetimi bağlamında inceleyen Akıllı ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Hazırlık ve Olgunluk (ASTZHO) modeline teknoloji boyutunun 4. Boyut olarak eklenmesi ile yapılmıştır. Tablo 1’de modelin uygulandığı 3 sektör ve firma sayıları verilmiştir.

**Tablo 1:** Çalışmaya Dahil Olan Sektörler ve Firma Sayıları

“Sektör”	“Firma Sayısı”	“Yüzde (%)”
“Makine”	3	33,33
“Enerji”	3	33,33
“Tekstil”	3	33,33

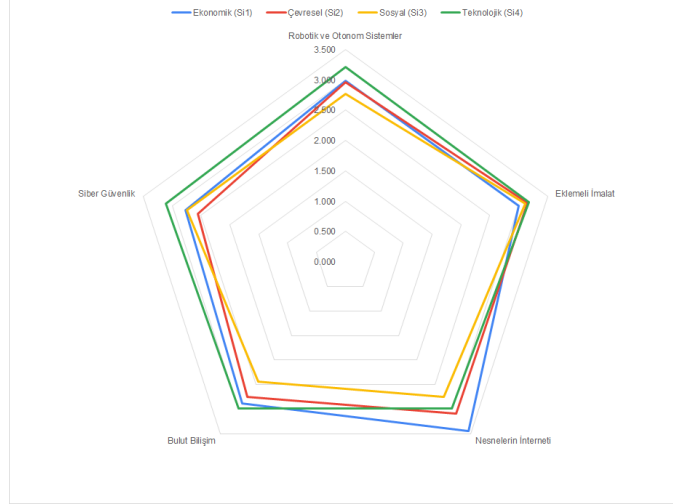
### 3.1. Bulgular ve Değerlendirmeler

Makine, enerji ve tekstil sektörlerinde faaliyet gösteren 9 firmanın, Endüstri 4.0’ a geçiş süreçlerindeki gelişim, anlaşılma ve uygulanma skorları, sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik boyutları dikkate alınarak incelenmiş ve tablo 2’ de gösterilen araç hazırlık ve olgunluk skorları değerleri elde edilmiştir.

**Tablo 2:** Makine Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları

“Sürdürülebilirlik Boyutu (j)”	“Anlaşılma Düzeyi (A <sub>j</sub> )”	“Uygulanma Düzeyi (U <sub>j</sub> )”	“Gelişime Katkı Düzeyi (G <sub>j</sub> )”	“Hazırlık ve Olgunluk Skoru (T <sub>j</sub> )”
“Ekonomik”	3.067	2.933	3.067	3.017
“Çevresel”	3.267	2.467	3.067	2.899
“Sosyal”	3.000	2.800	2.533	2.763
“Teknolojik”	3.467	2.867	3.000	3.095
<b>ASTZHO(Z)</b>	<b>2.944</b>			

Tablo 2’ye göre makine sektöründe teknolojik boyut en yüksek hazırlık ve olgunluk skorunu alırken, bu boyutu sırası ile ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar izlemiştir. ASTZHO skoru bu sektör için 2.944 çıkarırken, enerji ve tekstil sektörlerinin gerisinde kalmıştır. Bunun nedeni Endüstri 4.0’ la beraber gelen yeni nesil teknolojilerin satın alma ve kurulum maliyetleri olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 2:** Makine Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları radar diyagramı

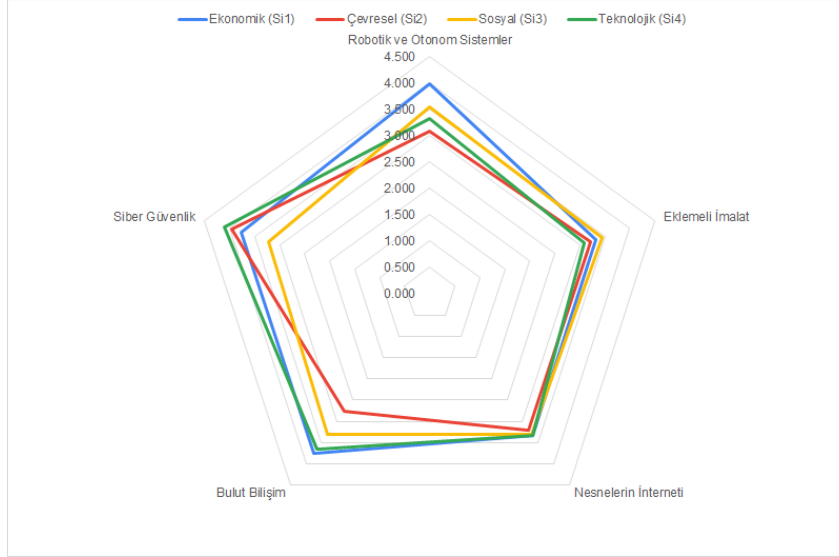
Şekil 2’deki radar diyagramında ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik boyutlar Endüstri 4.0’ın 5 aracı (Robotik ve Otonom Sistemler, Eklemeli İmalat, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Siber Güvenlik) kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen skorlar gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, nesnelerin interneti ekonomik boyutta en yüksek skor değerini almıştır. Çevresel ve sosyal boyutlarda ise eklemeli imalat en yüksek skor değerini alırken, teknolojik boyutta robotik ve otonom sistemler en yüksek skor değerini almıştır.

**Tablo 3:** Enerji Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları

“Sürdürülebilirlik Boyutu (j)”	“Anlaşılma Düzeyi (A <sub>j</sub> )”	“Uygulanma Düzeyi (U <sub>j</sub> )”	“Gelişime Katkı Düzeyi (G <sub>j</sub> )”	“Hazırlık ve Olgunluk Skoru (T <sub>j</sub> )”
“Ekonomik”	3.933	3.600	3.400	3.633
“Çevresel”	3.467	3.067	3.267	3.244
“Sosyal”	3.267	3.533	3.333	3.361
“Teknolojik”	3.533	3.667	3.333	3.501
<b>ASTZHO(Z)</b>	<b>3.435</b>			

Tablo 3’e göre enerji sektöründe ekonomik boyut en yüksek hazırlık ve olgunluk skorunu alırken, bu boyutu sırası ile teknolojik, sosyal ve çevresel boyutlar izlemiştir. ASTZHO skoru bu sektör için 3.435 çıkarken, en yüksek skoru elde etmiştir. Bunun nedeni Endüstri 4.0’ la beraber gelen yeni nesil teknolojilerin bu sektörde ekonomik ve teknolojik açıdan anlaşılması ve uygulanabilmesinin daha uygun olduğu düşünülmektedir.





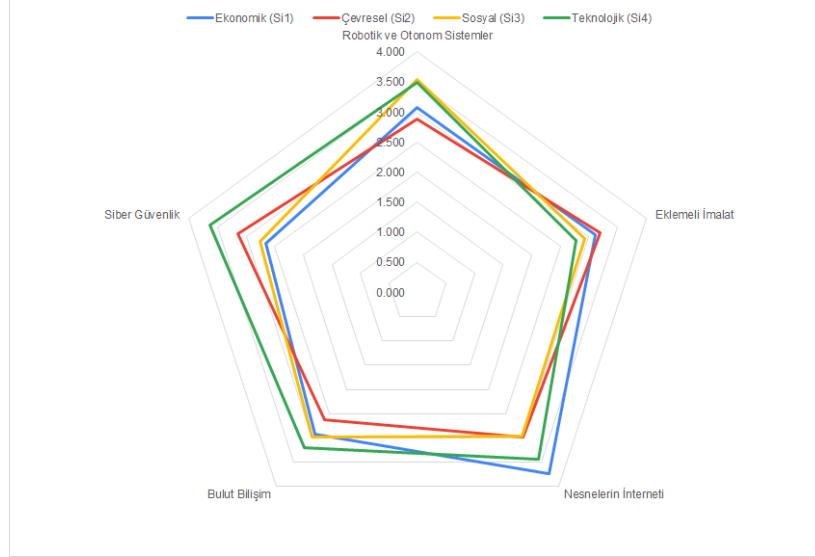
**Şekil 3:** Enerji Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları radar diyagramı

Şekil 3’ deki radar diyagramında ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik boyutlar Endüstri 4.0’ın 5 aracı (Robotik ve Otonom Sistemler, Eklemeli İmalat, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Siber Güvenlik) kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen skorlar gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, siber güvenlik teknolojik ve çevresel boyutta en yüksek skor değerini almıştır. Sosyal ve teknolojik boyutlarda ise Robotik ve Otonom Sistemler en yüksek skor değerini almıştır.

**Tablo 4:** Tekstil Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları

“Sürdürülebilirlik Boyutu (j)”	“Anlaşılma Düzeyi (A <sub>j</sub> )”	“Uygulanma Düzeyi (U <sub>j</sub> )”	“Gelişime Katkı Düzeyi (G <sub>j</sub> )”	“Hazırlık ve Olgunluk Skoru (T <sub>j</sub> )”
“Ekonomik”	2.933	3.067	3.467	3.102
“Çevresel”	3.133	3.133	2.733	2.968
“Sosyal”	3.000	2.933	3.267	3.035
“Teknolojik”	3.400	3.133	3.467	3.304
<b>ASTZHO(Z)</b>	<b>3.102</b>			

Tablo 4’e göre tekstil sektöründe teknolojik boyut en yüksek hazırlık ve olgunluk skorunu alırken, bu boyutu sırası ile ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar izlemiştir. ASTZHO skoru bu sektör için 3.102 çıkmıştır. Bunun nedeni Endüstri 4.0’ la beraber gelen yeni nesil teknolojilerin tekstil sektörüne uygulanabilirliği açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.



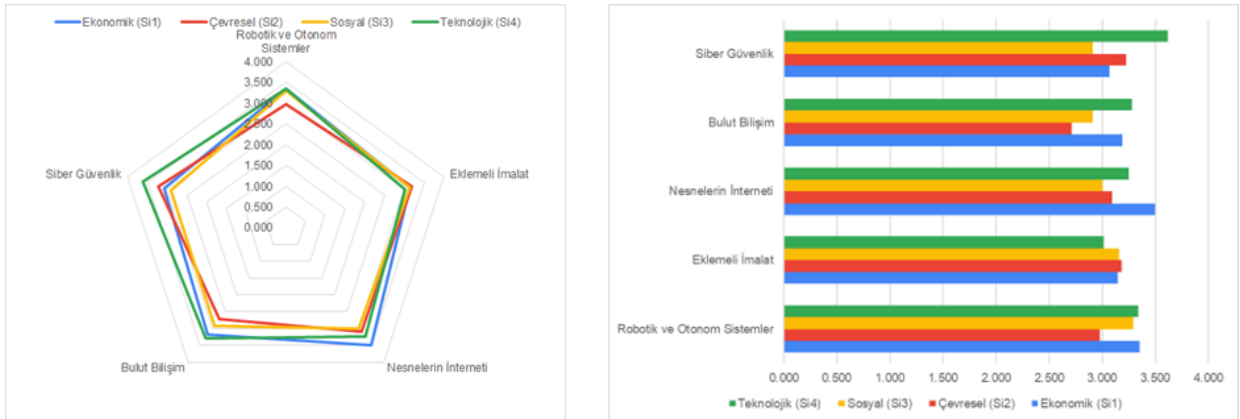
**Şekil 4:** Enerji Sektörü Hazırlık ve Olgunluk Skorları radar diyagramı

Şekil 4' deki radar diyagramında ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik boyutlar Endüstri 4.0' ın 5 aracı (Robotik ve Otonom Sistemler, Eklemeli İmalat, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Siber Güvenlik) kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen skorlar gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, ekonomik boyutta nesneleri interneti, çevresel boyutta eklemeli imalat, sosyal boyutta robotik ve otonom sistemler ve teknolojik boyutta siber güvenlik en yüksek skor değerini almıştır.

**Tablo 5:** Hazırlık ve Olgunluk Skorları Sektör Ortalamaları

Sektör	ASTHZO Skorları
Makine	2.944
Enerji	3.435
Tekstil	3.102

Tablo 5'e göre ASTHZO Skorlarına göre sektör ortalaması en yüksek skor Enerji Sektöründe görülmüştür. Bunun nedeni Endüstri 4.0' ın kendi sektörlerine uygun olduğunu düşünmeleridir.



**Şekil 5:** Sektör Ortalamaları Hazırlık ve Olgunluk Skorları

Şekil 5'i incelediğimizde Teknolojik ve Çevresel boyutta en yüksek skor Siber Güvenlikte, Ekonomik boyutta en yüksek skor Nesnelerin İnternetinde ve Sosyal boyutta en yüksek skor ise Robotik ve Otonom Sistemlerde görülmüştür.

Endüstri 4.0' a geçiş süreçlerindeki uygulanma, gelişim ve anlaşılma skorları, sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik, sosyal ve teknolojik boyutları dikkate alınarak incelendiğinde en yüksek uygulanma, gelişim ve anlaşılma skoru enerji sektöründe belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Şanlıurfa bölgesinde faaliyet gösteren toplam 9 KOBİ' den alınan veriler ile bu firmaların Dördüncü Sanayi Devrimi kavramına yaklaşımları ve Dördüncü Sanayi Devrimine geçiş süreçlerindeki hazırlık ve olgunluk seviyelerinin belirlenmesindeki bakış açıları değerlendirilmiştir. Kullanılan modelde, sürdürülebilirlik için dörtlü performans yaklaşımı (ekonomik, çevresel, sosyal ve teknolojik) benimsenmiş, modelin çıktısı olarakta anlaşılma, uygulanma ve gelişime katkı düzeyi skorları elde edilmiştir. Bu sayede hangi sektörlerin dijital dönüşüm sürecine hazır oldukları anlaşılmaya çalışılmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre, Şanlıurfa'da özellikle enerji sektöründe faaliyet gösteren şirketler dijital dönüşüme makine ve tekstil sektöründe faaliyet gösteren şirketlere göre daha hazır oldukları ortaya çıkmıştır. Enerji sektöründeki şirketlerden sonra en hazır olan sektör tekstil sektöründeki şirketler olarak ortaya çıkmıştır. Makine sektörü bu iki sektöre göre biraz daha az hazır oldukları belirlenmiştir. KOBİ'lerin bu hazırlık ve olgunluk seviyelerinin belirlenmesi konusunda farkındalıklarının oluşturulması, firmalara Endüstri 4.0'ın faydalarını hızlı bir şekilde anlamalarını ve pazarda rekabet avantajı sağlamalarını sağlayacaktır. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş dönemine ne kadar hazır olduklarını anlamak için önemli bir çalışma olmuştur. Sonraki çalışmalar, daha fazla sektöründe analizi ile genişletilebilir. Ayrıca, model boyutları çoğaltılarak daha geniş kapsamlı analizler ile hazırlık ve olgunluk skorları hesaplanabilir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-B üniversite öğrencileri yurt içi araştırma destek programı kapsamında yürütülmüştür.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### KAYNAKLAR

- [1] H.M. Ay, & E. Talaşlı, (2007). Türkiye'de Kobi'lerin İhracattaki Yeri Ve Karşılaştıkları Sorunlar. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2007(3), 173-184.
- [2] F. Cura, & S. Demir, (2022). Possible impacts of the European Green Deal on Turkey's logistics industry. In Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 2022 (pp. 825-839). epubli.
- [3] D. Çevik, (2019). KOBİ'lerde sanayi 4.0'ın uygulanabilirliği ve yönetici bakış açılarının değerlendirilmesi. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD), 4(2), 277-291.
- [4] S. Demir, M. A. Gündüz, & T. Paksoy, (2022). Akıllı ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetiminin Hazırlık ve Olgunluk Düzeyinin Değerlendirilmesi için Geometrik Ortalamaya Dayalı Yeni Bir Model Önerisi. Journal of Transportation and Logistics, 7(1), 95-115.
- [5] S. Demir, T. Paksoy, & C. G. Kochan, (2020). A Conceptual Framework for Industry 4.0:(How is it Started, How is it Evolving Over Time?). In Logistics 4.0 (pp. 1-14). CRC Press.

- [6] M. Ç. Duman, (2021). KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Süreci: Bir Meta-Sentez Çalışması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 23(2), 624-641.
- [7] O. Z. Fırat, & S. Ü. Fırat, (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 46(2), 211-223.
- [8] B. Gultekin, S. Demir, M.A. Gunduz, F. Cura, & L. Ozer, (2022). The logistics service providers during the COVID-19 pandemic: The prominence and the cause-effect structure of uncertainties and risks. Computers & Industrial Engineering, 165, 107950.
- [9] N.Karabacak, & Nil, Aras KOBİ'lerin Malzeme Aktarma ve Depolama Sistemlerine Yönelik Endüstri 4.0 Uygulamalarında Karşılaşılan Güçlükler ve Çözüm Önerileri. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 17(2), 39-45.
- [10] Kosgeb (2022), Kobi Tanımı Güncellendi!. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/8173/kobi-tanimi-guncellendi>
- [11] H.A. Kutlu, & N. S. Demirci, (2007). KOBİ'LERİN FİNANSAL SORUNLARI ve ÇÖZÜM ÖNERİLERİ. KOBİ'ler ve Verimlilik Kongresi, 187.
- [12] A. F. Özsoylu, (2017). Endüstri 4.0. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 41-64.
- [13] E. Öztürk, & K. H. Koç, (2017). Endüstri 4.0 ve mobilya endüstrisi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6(3), 786-794.
- [14] N.S. Pamuk, & M. Soysal, (2018). Yeni sanayi devrimi endüstri 4.0 üzerine bir inceleme. Verimlilik Dergisi, (1), 41-66.
- [15] S. Sağtaş, (2021). ENDÜSTRİ 4.0'IN DİJİTAL PAZARLAMAYA ETKİLERİ. Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(1), 51-66.
- [16] F. Tutar, & Y. Ünlüleblebici, (2014). Türkiye'de KOBİ kredilerinin ekonomik büyümeye etkisi (2006-2011). Global Journal of Economics and Business Studies, 3(5), 1-14.
- [17]R. Ulusoy, & R. Akarsu, (2012). Türkiye'de KOBİ'lere yapılan destekler ve istihdam üzerindeki etkileri. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (23), 105-126.
- [18] A. Yıldız, (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 546-556.
- [19] S. Demir, G. Sarıışık, & A.S. Öğütü, (2022). KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık ve Olgunluk Seviyesinin Belirlenmesi: Şanlıurfa İli Örneği. İşletme Araştırmaları Dergisi, 14(4), 2938-2955.
- [20] G. Sarıışık, S. Demir, & A.S. Öğütü, (2022). Şanlıurfa İlindeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesinin ve Geçiş Sürecindeki Önceliklerinin Belirlenmesi. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 34(3), 434-444.



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### C++ Programlama Dili için Yerel Nesne-İlişkisel Haritalama Yaklaşımı

*A Native Approach to Object-Relational Mapping (ORM) for C++ Programming Language*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Abdullatif KALLA<sup>1</sup>, Mehmet Emin TENKEKİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-5125-0411

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0001-5944-4704

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kalla A., Tenekeci M.E., “C++ Programlama Dili için Yerel Nesne-İlişkisel Haritalama Yaklaşımı”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 151-158, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1219421



## C++ Programlama Dili için Yerel Nesne-İlişkisel Haritalama Yaklaşımı

Abdullatif KALLA<sup>1</sup>, Mehmet Emin TENKECİ<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 63100, Haliliye/ŞANLIURFA

### Öz

En popüler programlama dillerinin çoğu, nesne yönelimli olarak bilinen dillerdir. Bu diller ile geliştirilmiş uygulamaların çoğu da, ilişkisel veritabanları kullanmaktadır. Yapısal sorgulama dili olan SQL ise ilişkisel bir Veritabanı ile etkileşim kurmak için kullanılan ve verileri düzenlemek, yönetmek ve almak için kullanılan, standart haline gelmiş bir araçtır. Bu iki teknolojinin arasındaki temel farklılıklar nedeniyle sorunsuz bir şekilde birlikte çalışmamaktadır. Aralarındaki uyumsuzluklar, nesne/ilişkisel empedans uyumsuzluğu sorunları olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, verileri o iki ortam arasında dönüştürebilmek için bir haritalama katmanına sahip olmak oldukça gereklidir. Bu soyutlama katmanı, uygulama nesnelerini otomatik olarak veritabanı kayıtlarına eşler; bu şekilde veritabanı ile etkileşim için gerekli kod miktarında azalma olmaktadır. Ayrıca verilerin tutulduğu veri tabanını yazılımcıdan soyutlamaya yardımcı olur. Böylelikle, kodun testini ve bakımını daha kolay kılar. Bu tür araçlara nesne/ilişkisel haritalama aracı denilir (Object/Relational Mapping - ORM). Çoğu programlama dili için çeşitli ORM araçları geliştirilmiştir. Ancak C++ için etkili bir ORM aracı bulunmamaktadır. Bu çalışmada C++'ın şablon (template) programlama ile esnek adresleme özellikleri kullanılarak veritabanı işlemleri için kullanılan SQL komutları seri hale getirilmektedir. Geliştirilen C++ ORM katmanı yerel olarak uygulamak için yeni bir yaklaşım tanıtılmaktadır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 15/12/2022  
Yayın: 31/08/2023

### Anahtar Kelimeler

C++  
SQL  
ORM  
Veritabanı

### Keywords

C++  
SQL  
ORM  
Database

## A Native Approach to Object-Relational Mapping (ORM) for C++ Programming Language

### Abstract

The most popular programming languages are object-oriented, and most of their applications use relational databases. SQL, a structured query language, is a standardized tool for interacting with a relational Database and used to organize, manage, and retrieve data. Due to the fundamental differences between these two technologies, they do not work together seamlessly. Incompatibilities between them manifest as object/relational impedance mismatch issues. Hence, it is quite necessary to have a mapping layer to be able to transform the data between those two worlds. This abstraction layer automatically maps application objects to database records; in this way, the amount of code required to interact with the database is reduced. It also helps in isolating the database where the data is kept from the software developer. This makes the code easier to test and maintain. Such tools are called Object/Relational Mapping (ORM) tools. Various ORM tools have been developed for almost every programming language. However, there is no effective ORM tool for C++. In this study, SQL commands used for database operations are serialized by using two flexible features of C++; templates and pointers. A new approach is introduced to natively implement the ORM layer in C++.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nesne yönelimli programlama (Object-Oriented Programming - OOP), veriler ve veriler için kullanılan prosedürlerin birlikte bir sınıf olarak tanımlanıp kullanılabilirdiği bir programlama teknolojisidir. OOP teknolojisi ile geliştirilen yazılımlarda, kullanılan yapılara ait sınıflar tanımlanır. Bu sınıflardan oluşturulan nesnelere veri okuma ve değiştirme gibi işlemler nesne içerisinde tanımlanmış fonksiyonlar ile gerçekleştirilir. OOP'de nesnelere için yeni bir veri tipi olarak sınıflar (class) tanımlanır. Bu sınıflardan

\*İletişim yazarı, e-mail: etenekeci@harran.edu.tr

nesne (object) oluşturulur. Oluşturulan nesnelerin özellikleri sınıfın veri değişkenleri (attribute) ve işlevleri ise metotları (method) tanımlar.

C++ programlama dili, C programlama dilinin özelliklerini miras almış ve nesne kavramını eklemiştir. Geliştirilen bu yeni dil, şablon meta programlama (Template Metaprogramming - TMP) yetenekleri bulunmaktadır. C++, ilk nesne yönelimli programlama dili olmamasına rağmen en yaygın kullanım alanı bulan dillerden biridir. C++ orta seviyeli bir dil olması ile birlikte performans açısından yazılımcılar tarafından tercih edilmektedir.

Veritabanları verilerin standart bir şekilde tutulmasını sağlamak için geliştirilmiştir. Öncesinde uygulama yazılımları ihtiyaçlarına göre farklı dosya yapılarına sahip dosya formatlarında verileri tutarlardı. Bu dosyalar yazılımcının ihtiyacına uygun hazırlanmış formattaydılar. Farklı uygulamaların, bu dosyaları kullanabilmesi için dosya formatları ve tutulan verinin yapısı hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Farklı uygulamalar tarafından erişim kontrolü ve tutarlılığın sağlanması da üstesinden gelinmesi gereken bir başka problemdi.

Veritabanların ortaya çıktığı zamandan bu yana hızlı ve köklü bir evrim sürecinden geçti. Hiyerarşik veritabanı modeli ise yukarıda bahsedilen problemlerinin üstesinden gelmek için geliştirildi. Ağ veri tabanı modeli, hiyerarşik veritabanındaki veri tekrarı problemini ortadan kaldırmak için icat edildi. İlişkisel veri modeli, herhangi bir uygulama yazılımı tarafından kayıtlı verilerin sorgulanması için standart bir yöntem sağlandı. İlişkisel veritabanı modelinde veriler tablolar halinde tutulmaktadır. Bu şekilde veriler yapılandırılmış bir şekilde tutularak esnek bir şekilde sorgulama imkânı sağlanır. Veritabanında işlemler yapılması için yapısal sorgulama dili (Structured Query Language -SQL) geliştirildi. Bu şekilde standart bir yapıda saklanan veriler üzerinden işlem yapacak standart bir dil kullanılmış oldu. SQL dili ile tabloların yapısal tasarım, değişiklik ve silmesi gerçekleştirilirken, verilerin eklenmesi, silinmesi, güncellenmesi ve sorgulanması yapılabildi. Matematiksel bir forma sahip bu dil farklı programlama ortamları ile birlikte kullanılarak tüm işlemleri standart hale getirdi [1].

Günümüze kadar, nesne yönelimli programlama yazılım geliştirmede baskın teknoloji olduğu gibi, veritabanı pazarında da ilişkisel model baskın teknolojidir. Yazılım sistemlerinin çoğu, özellikle kurumsal bilgi sistemleri, bu iki teknolojiyi kullanıyor. Bu çalışmada da bu iki ortamın birbirinden soyutlanmasını sağlayacak ve yazılım geliştiricilerin Veritabanı modelinden ve sorgulama dilinden bağımsız OOP yapısı ile veri işlemlerini gerçekleştireceği bir ara katman mimarisi geliştirilecektir.

Literatürde, C++ dili için birçok ORM aracı bulunmaktadır. Ancak bu C++ araçları, C++'ın diğer yüksek seviyeli programlama dilleri gibi bazı yeteneklere sahip olmadığından dolayı, kullanım ve özellik açısından diğer dillerin araçlarına göre bazı sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamalar dört temel probleme aittir:

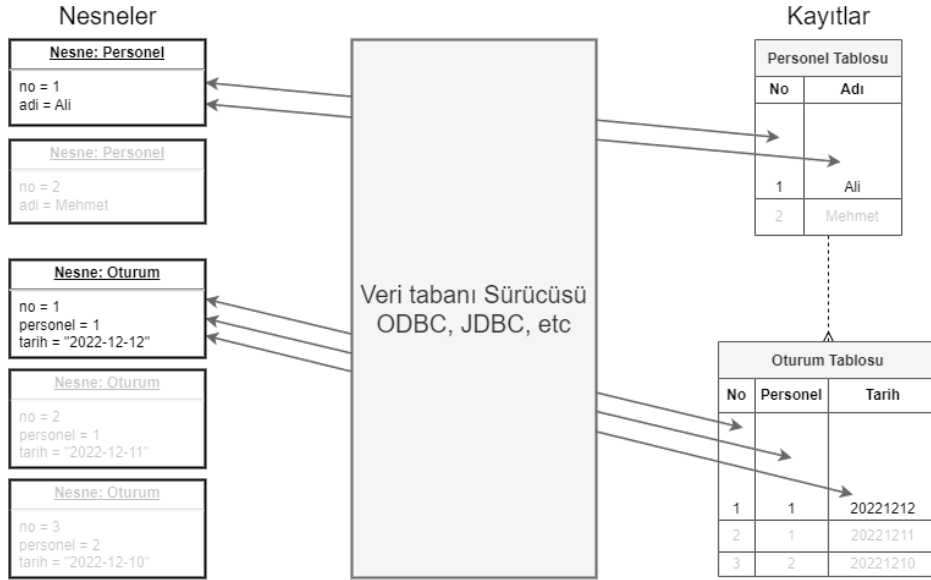
- 1- Teknoloji yığını bağımlılığı (technology stack dependency).
- 2- Kullanıcı kodu değiştirilmesi (intrusion).
- 3- Makro kullanımı (code manipulation).
- 4- Kod analizi ve üretmesi (code parsing and generation).

QxOrm [7] ile TreeFrog [10], Qt çerçevesine bağlı olduğundan dolayı birinci sınırlamaya sahiptir. Bu nedenle, bu araçlar bağlı oldukları teknoloji yığını kullanmayan yazılımlarda kullanılamamaktadır. Zhang [5], Oat++ [8], Wt::Dbo[9], TreeFrog [10], Lithium [11], ve Hiberlite [12] ikinci sınırlamaya sahiptir. Dolayısıyla, bu araçlar mevcut olan yazılım yapılarını değiştirmeden (inheritance veya aggregation yoluyla) çalışmamaktadır. QxOrm [7], Oat++ [8], Hiberlite [12], ve Bun [13] üçüncü sınırlamaya sahiptir. Yalnız makrolar, daha sonraki bölümlerde anlatılacağı gibi birçok sebepten ötürü programlama, derleme ve debug süreçlerini zor kılmaktadır. ODB [6], TreeFrog [10], ve Lithium [11] ise dördüncü sınırlamaya sahiptir. Fakat özel derleyici veya harici kod üretme araçları projenin build sistemini yavaşlatıp ve daha karışık etmektedir. Bu farklılıklara rağmen, tüm bu ORM araçları temel özelliklere sahiptir (nesne-ilişkisel haritalama, nesne kalıcılığını sağlama ve CRUD işlemlerini işleme).

Önerilen yaklaşımda, yukarıdaki bahsedilen sınırlamaların hiçbiri söz konusu değil.

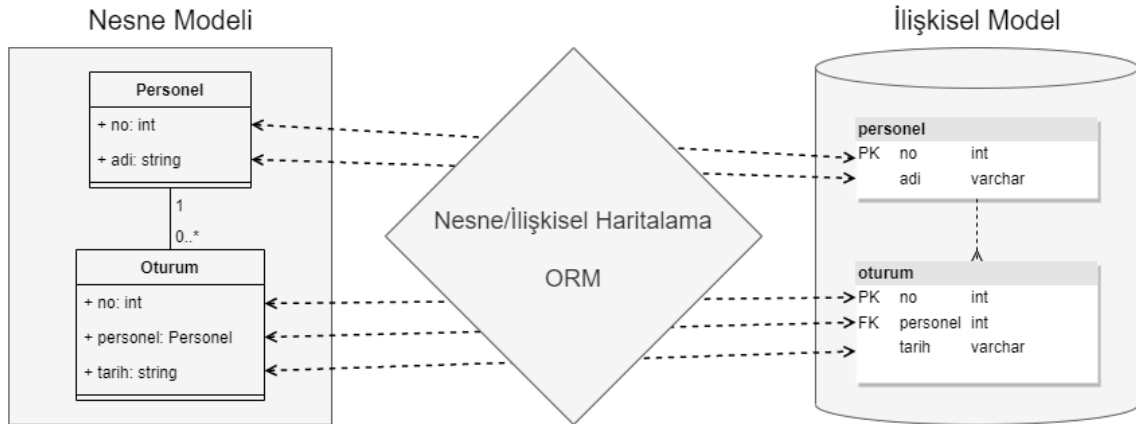
## 2. NESNE/İLİŞKİSEL HARİTALAMA (OBJECT/RELATIONAL MAPPING)

Nesne yönelimli dillerde oluşturulan nesnelere hakkında bilgiye ve nesnenin kendisine ulaşılabilmesine nesne kalıcılığı (object persistence) denir. Çalışma zamanında kalıcı duruma getirilen nesnelere bellekte silinse bile ulaşılabilir olması nesne yönelimli programlama dilleri için gereklidir. Veritabanı etkileşimi bulunan yazılımlar için de tablolardaki bilgilerin kalıcı duruma getirilmesi için tabloların sütunlarının sınıflardaki özellikler ile eşleştirilmesi ve bu sınıfların kalıcı duruma getirilmesi ile mümkündür. Şekil 1’de kalıcı duruma getirilen bir nesnenin ilgili tabloya bir satır olarak kaydedilebileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Uygulama nesnelere ilgili tablolardaki kayıtlar ile eşleştirilmesi

Nesne/ilişkisel haritalama (Object-Relational Mapping - ORM), kaynak kod ortamında bulunan sınıfın veritabanındaki tablo ile eşleştirilmesidir. Bu eşleştirmede tablonun sütunları sınıfın kalıcı değişkenlerine karşılık gelecek şekilde kodlama yapılmaktadır. Eşleştirme ile sınıf üzerinde gerçekleştirilecek işlemler tabloları etkileyecek şekilde kodlama yapılabilmektedir. Sınıf üzerinde gerçekleştirilecek verilerin kaydedilmesi, değiştirilmesi, silinmesi ve sorgulanması işlemlerini veritabanına yansıtarak gerçekleştirebilmektedir. Yazılım tarafından bu işlemlerin veritabanına uygulanması için veritabanı erişim bileşenleri kullanılır. Bu bileşenler ara sürücüler kullanılarak iki ortam arasında bağlantı kurmaktadır. ORM veritabanına erişim katmanı ile sunum katmanı arasında veritabanına erişim süreçlerini soyutlayan bir ara katman olarak görev yapmaktadır. Şekil 2, nesnelere kalıcılığını, bir ORM aracı kullanarak, otomatikleştirebildiğini göstermektedir.



Şekil 2. Nesne/İlişkisel haritalama otomatikleştirmesi



İlişkisel veritabanları ile nesne yönelimli diller arasında bazı kullanım farklılıkları bulunmaktadır. Bu uyumsuzluklara yol açan farklılıklar nesne yapıları ile veritabanı tablolarının kullanım farklılığından kaynaklanmaktadır. Nesnelere veri ile birlikte fonksiyonları birlikte sarmalanmış olarak tutmaktadır. Ancak tablolarda sadece veriler bulunmaktadır. Nesnelere arası iletişim nesnelere adresleri ile gerçekleşirken tablolarda birbirleri ile tablolar arasında bağlantıyı sağlayan anahtar ve yabancı sütunlar ile gerçekleşmektedir. Nesnelere miras alma ve çok şekillilik (polymorphism) ile tip dönüşümleri gerçekleşmektedir. Ancak bu özellikler Veritabanı tablolarında bulunmamaktadır. Bu farklılıklara nesne/ilişkisel uyumsuzluğu (Object/Relational Impedance Mismatch - ORIM) denir. ORM yapılarında bu tip durumlar dikkate alınarak üstesinden gelebilecek kısıtlamalar kullanılmalıdır.

ORIM durumlarının göz önüne alınarak giderilmesi gerekmektedir. Bunun için farklı stratejiler geliştirilmiştir. Bunlardan en bilineni Gömülü (embedded) SQL kullanımı ile veritabanı sorgularının kod tarafında hazırlanarak uygulanması olacaktır. Bunun için JDBC ve ODBC gibi bileşenler kullanılmaktadır. Bu uygulama ORM mantığının tersine tüm veritabanı yükünü programcıya bırakmaktadır. Veritabanı ile nesnelere arası farklılığı ve veritabanları arası farklılıkları programcı bilerek aradaki uyumu kod ile sağlaması gerekmektedir. Bu durumun programcıdan bağımsız olarak üstesinden gelmek ve otomatik uyum problemini ortadan kaldırmak için pek çok nesne/ilişkisel haritalama (Object/Relational Mapping - ORM) çerçevesi geliştirildi.

Bu çerçeveler iki farklı ortam arasında dönüştürücü rolünü üstlenmiştir. ORM'ler nesnelere ile tablolar arası eşleştirme görevi görerek dönüşümü otomatikleştirmekte ve böylece yazılacak kod miktarını azaltmaktadır. Kod içerisinde yazılmış SQL komutları veya saklı yordamlardan daha az kod yazılarak geliştirme ve bakım süresini azaltmaktadır. Bununla birlikte nesne kalıcılığı özelliği ile veritabanı iletişimde kod testini ve bakımını kolaylaştırmaktadır. ORM katmanı sayesinde veritabanı modeli geliştirici tarafından daha kolay anlaşılabilir ve veritabanı sunucusu ile daha az iletişim kurulmasında daha performanslı uygulamalar geliştirilebilmektedir [2] [3] [4].

OOP dillerinde nesnelere ile ilişkisel veritabanı tablolarını eşleştirebilecek açık kodlu ve ticari araçlar geliştirilmiştir. Ticari olarak ilk başarılı ORM çerçeve Smalltalk ürünü olan TOPLink idi, daha sonra Java'ya taşındı. Birkaç yıl sonra Hibernate, Java'da açık kaynaklı bir proje olarak ORM yaklaşımını gerçekleştirmeye başladı. Bugün, her popüler geliştirme platformu için çeşitli ORM çerçeveleri mevcuttur. Java platformu birçok popüler ORM çözümüne sahiptir; JPA standardı uygulamalarına ek olarak TOPLink, MyBatis, Cayenne; Hibernate, EclipseLink ve OpenJPA. Python platformu iyi bilinen SQLAlchemy çerçevesine sahiptir. Ruby platformu, ana ORM çözümü olarak ActiveRecord'a sahiptir. PHP ise Doctrine'e sahiptir, Bookshelf, Node.js platformu içindir. Öte yandan C++, uygun ORM çözümü olarak yalnızca ODB'ye [6] sahiptir. Ancak ODB bir çerçeve değil, gerekli ilişkilendirme kodunu oluşturmak için bir derleyici eklentisine bağlı olan bir kütüphanedir. C++ için başka ORM çözümleri de mevcuttur, ancak yaygın olarak kullanılmalarını engelleyen birkaç sınırlama vardır. Bunlar;

- QxOrm [7], Qt çerçevesini temel alan bir ORM kütüphanesidir. Qt kullanmayan C++ projeleri için uyumlu değildir. Ayrıca, geliştiricinin, sınıf değişkenlerini/metotlarını kaydetmeye ek olarak, kalıcı olması için sınıfın kaynak dosyalarını (.hpp ve .cpp) manuel olarak kaydetmesini gerektirir.
- Oat++ [8], ORM bileşenine sahip açık kaynaklı bir web çerçevesidir. Çok müdahaleci ve yalnızca sınıfın açık (public) değişkenleriyle çalışabilir.
- Wt [9], web uygulamalarını geliştirmek için kullanılan bir kütüphanedir. Kendisinden bağımsız olarak kullanılabilen bir ORM bileşeni olan Wt::Dbo'yu içerir. Oat++ ile aynı sınırlamalara sahiptir.
- TreeFrog [10], Web uygulamaları geliştirmek için tam yığın (full stack) bir C++ çerçevesidir. Qt'ye bağlıdır ve QxOrm ile aynı sınırlamalara sahip bir ORM bileşenine sahiptir, ayrıca müdahalecidir ve yalnızca sınıfın açık (public) değişkenleriyle çalışabilir.
- Lithium [11], bir web çerçevesidir ayrıca kendi ORM çözümüne de sahiptir. Oat++ ile aynı sınırlamalara sahiptir.
- Hiberlite [12], aktif kayıt modelini (Active Record Pattern) izleyen bir ORM çerçevesidir. Wt ile aynı sınırlamalara sahiptir.

Bun [13], bir ORM kütüphanesidir. Müdahaleci değildir, ancak sınıf değişkenlerini kaydetmek için makrolar kullanır ve yalnızca sınıfın açık (public) değişkenleriyle çalışabilir.

### 3. SERİLEŞTİRME VE İÇGÖZLEM (SERIALIZATION & INTROSPECTION)

Veritabanı, SQL sayesinde veri alışverişini seri halde (serialized) gerçekleştirebilir. Böylece, nesnelere seri hale getirebildiğimiz takdirde (örneğin ikili biçimde) nesne/ilişkisel haritalamayı da gerçekleştirebileceğimiz anlamına gelir. Bu nedenle, öncelikle nesne modelini veritabanının beklediği ikili biçime ve ikili biçimden seri hale getirebilmemiz gerekir. C++'da yansıma yeteneklerinin olmaması nedeniyle, sınıf üyeleri hakkındaki bilgiler derleme zamanında ve hatta çalışma zamanında mevcut değildir. Bu nedenle, sınıfın iç yapısı hakkında bir şekilde bilgi edinmeye ihtiyaç vardır. ODB [6], bu sorunu çözmek için bir derleyici eklentisi geliştirmiştir. Bazı ORM sağlayıcıları [7, 8, 12, ve 13] ön işlemci (Preprocessor) yönergeleri (directives) kullanmıştır. Ancak, makrolar birçok sebepten ötürü (basit metin ikamelerini tanımladıkları için) semantik olarak geçerliliği valide edilmesi mümkün değil ve kaçınılması mümkünse modern C++ kodunda kullanılmaları önerilmez. Diğer bazı ORM sağlayıcıları, nesne kalıcılığı mekanizmalarına erişim sağlamak için sınıf yapısına bazı yönergeler/metotlar eklemeyi tercih etti [5, 8, 9, 10, 11, ve 12]. Ancak bu teknik, kullanıcının koduna müdahale ve sağlayıcının koduna özgü olur. Birkaç kütüphane, sınıf yapısı ayrıntılarını harici bir nesne saklamak için meta-nesne yaklaşımını izledi. Ancak, sarmalama (encapsulation) sınırlamaları ile karşı karşıya kaldılar. Bu yazıda, bu yaklaşımdan yola çıkarak, makro kullanmadan ve müdahaleci olmayan bir şekilde saf C++'da belirli bir sınıf yapısı hakkındaki tüm ayrıntıları depolamak için C++'ın şablon (template) ve işaretçi (pointer) özelliklerini kullanarak nesne/ilişkisel haritalama problemi için yeni yöntem geliştireceğiz.

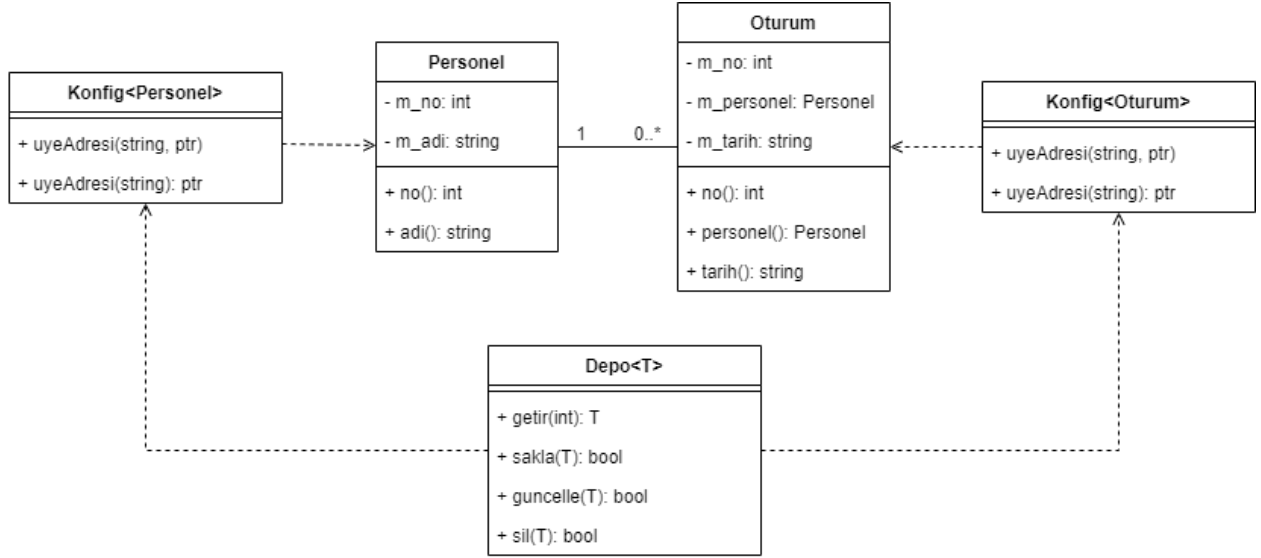
### 4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM (PROPOSED APPROACH)

C++, veri tipi konusunda, sert kurallara sahip derlenmiş bir dildir. Yapıların türüyle ilgili bilgiler kaynak kodun içine yerleştirilmiştir. Derleme tamamlandığında, türlerle ilgili tüm bu ayrıntılar sonsuza kadar yok olur. C++, bu sınırlamanın üstesinden gelip kendisi için bir ORM çözümü uygulamamıza izin verecek ölçüde kullanılabilir iki özelliğe sahiptir; şablonlar (templates) ve işaretçiler (pointers).

Şablonlar, C++ dilinde genel programlamanın temelini oluşturur. Derlenen dillerde, geliştirici değişkenlerin veri tiplerini açık bir şekilde belirlemelidir. Ancak, bazı veri yapıları ve algoritmalar parametre olarak gelen verinin türünden bağımsız olarak aynı işlevi yerine getirirler. Şablonların kullanılmadığı durumlarda aşırı yüklenme ile bu işlem gerçekleştirilir. Şablonlar, sadece sınıf veya işlevi veri tipi belirtilmeden, tipten soyutlanmış olarak tanımlamamızı sağlar. Bu sınıf veya işlevi kullanacak yazılımcı hangi veri türünde işlem yapacak ise o durumda veri tipine göre uyarlanmış olur. Bu şekilde türden bağımsız kod yazılabilmektedir. Herhangi bir türden bağımsız bir şekilde kod yazmak yararlı olduğu gibi, o tür hakkında bilgi depolamak da çok yararlıdır.

İşaretçi, değeri aynı türden başka bir değişkenin adresi olan bir değişkendir. İşaretçiler, ister küresel (global) ister bir sınıf içinde olsun, değişkenlere (attributes) ve benzer işlevlere (functions) işaret edebilir. Yani, temel olarak C++'da dört tür işaretçimiz var; değişken işaretçisi, işlev işaretçisi, sınıf değişkeni işaretçisi ve sınıf işlev işaretçisi.

Bunlar C++'da normal veri türleridir, bunları koleksiyonlarda saklayabilir, işlevlere iletebilirsiniz, vb. Ancak sınıf değişkeni işaretçisi türünün ilginç yönü, normal bir işaretçinin yaptığı gibi tam (absolute) adresi tutmamasıdır. Ancak değişkenin/işlevin sınıf düzeninde olduğu yerin görece (relative) adresini tutar. Bu nedenle, bu tür işaretçiler için gerçek adresi, görece adresi ile belirli bir sınıf nesnesinin başlangıç adresinden oluşur (yalnızca çalışma zamanı (run-time) ile nesnenin oluşturulduğunda). Bu nedenle sözdizimi, bir sınıf değişkeni/işlevi işaretçisini isterken, bir nesne seçmemizi de gerektirir. Dolayısıyla, C++ dili, sınıf üyesi işaretçisi için özel işlemler (operators) tanımlamıştır. .\* ve ->\* operatör işlevi, bir ifadenin sol tarafında temsil ettiği nesne için belirli sınıf üyesi değerleri döndürürken, sağ tarafı bir sınıf üyesini belirtir. Böylece, herhangi bir sınıf nesnesinin açık ara yüzünü (public interface), depolanmış üye işaretçileri aracılığıyla yönetebiliriz. Her sınıf için üye işaretçilerini depolamak için de şablonlar kullanırız. Şekil 3, bu yaklaşımın bir örneği için Class Diagram'ını göstermektedir.



Şekil 3. Uygulama sınıfları için meta-sınıf yaklaşımı

Şekil 3’deki yaklaşımın kod örneği ise, şu şekilde gösterilebilir:

```

Personel p = Depo<Personel>::getir(1); // Seri numarası 1 olan personelin nesnesi veritabanındaki verilerle doldurulup getirilir
p.adi("Ahmet"); // Personelin adı değiştirilir
Depo<Personel>::guncelle(p); // Nesnenin verileri veritabana yansıtılır
  
```

Verilen kodda verilen veritabanındaki *Personel* tablosundaki kayıt eşleştirilen sınıf nesnesine aktarılmaktadır. Sonraki satırda ilgili kaydın alanında güncelleme yapılarak *guncelle* fonksiyonu ile veritabanı değiştirilmiştir.

## 4. KULLANIM DURUMLARI (USE CASES)

### 4.1 Eski Yazılımlar

Bilgisayar teknolojisinin birkaç on yıl boyunca yaygın kullanımı, bazı büyük, karmaşık sistemlerin daha fazla değişiklik ve güncelleme sorunları ile karşılaşmasıyla sonuçlanmıştır. Bu eski bilgi sistemleri önemli sorunlar (kırılganlık, esneklik, yalıtım, genişletilebilirlik, açıklık eksikliği vb.) oluşturmasına rağmen, görev açısından kritik de olabilirler. Bu sistemlerden herhangi biri çalışmamaya başlarsa iş durma noktasına gelebilir. Bu nedenle birçok kuruluş için sistemin hizmetten çıkarılması bir seçenek değildir. Bu tür sistemler veri yapılarına her hangi bir değişiklik yapmadan, yukarıdaki önerdiğimiz yaklaşım ile sistemin veri katmanını oluşturabilir bunun yanında onu revize etme imkânı da meydana gelir. Böylece, müdahaleci olmayan bir ORM aracı sayesinde, sistemin ömrünü uzatmış oluruz, sistem sürdürülebilir olur. Örneğin, bir eski kurumsal bilgi sisteminin verilerini bir CSV dosyaya kayıt ediyor. Bu sistemin başka sistem ile entegrasyonu istendiğinde, önerdiğimiz ORM kütüphanesi ile sistemin veri yapı sınıflarını değiştirmeden diğer sistem ile veri ilişkilendirmeleri yapıлып uyum sağlanmış olur. Böylelikle, eski sistemin esnekliği artırılıp yapıları değişmeden güncellenmiş olur.

### 4.2 Çerçeveler

Yukarıda bahsedilen yöntem sadece ORM araçları için geçerli değil, farklı çerçeveler için de geçerlidir. Örneğin, bir UI çerçevesi için, veritabanındaki tablonun detayları nesne ortamında meta-nesne olarak kayıtlı olduğu için, generic tablo görüntüleyicisi geliştirmemize imkân verir. Ayrıca, öyle bir meta-nesne sistemi, bu tür çerçevelerde kullanıldığı takdirde, nesne/veri dönüşümü (serialization & deserialization) otomatik bir şekilde desteklenmiş olur. Örneğin, Person gibi bir sınıfın detaylarını ORM kütüphanemizde sakladığımızda, `TableView<Person>` gibi bir generic tablo görüntüleyicisi (template class), ve `serialize<Person>()` gibi bir generic serileştirme işlemi (template function) tanımlanabilir. Böylelikle, daha az kod ile birçok özellik elde edilir. Bunun ile birlikte, kodun testini ve bakımını daha kolay olur.

### 4.3 Web Uygulamaları

C++, diğer diller ile kıyas ettiğimizde, çok fazla web çerçeveleri yoktur. En temel nedenlerin arasında, standart C++ kütüphanelerinde yansıma özeliği bulunmamasıdır. Önerdiğimiz yöntem, bir web çerçevesinin sadece veri erişim katmanını değil, birçok hususta (serileştirme, görüntüleme, vb.) işlevselliğini daha kolay ve performanslı gerçekleştirmemize olanak sağlar. Geliştirilen yöntem veritabanı ile C++ objeleri arasında eşleştirme yaptığından arka plan kodlamayı kolaylaştırmaktadır. Böylelikle, önerilen yöntem bir web çerçevesinin ekosistemini oluşturmaktadır. Aksi halde, web çerçevesinin her bir katmanını (data, business, presentation) gerçekleştirmek için ayrı ayrı yardımcı yapılara ihtiyaç gerektirmektedir.

### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada C++ programlama dili için veritabanı tabloları ile nesnelere arası senkronizasyonu sağlayacak ORM kütüphanesi geliştirilmiştir. Kütüphanenin geliştirilmesi için C++’da kullanılan şablon programlama araçlarından faydalanılmıştır. Geliştirilen kütüphane ile veritabanı işlemleri için yazılması gereken kod miktarı oldukça azaltılabilecektir. Bununla birlikte yazılımcının veritabanı yönetim sistemleri farklılıkları ile ilgilenmesi ve SQL kullanım ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır. Bununla birlikte veritabanı uygulamaları için çalışma sürecinde test ve debug işlemlerini mümkün kılacak şekilde nesnelere bellekte kalıcılığı sağlanabilecektir.

Önerilen ORM kütüphanesi, mevcut olan C++ ORM araçları gibi otomatik haritalama yeteneğine sahip olup nesnelere veritabanında kalıcılığını ile CRUD işlemlerini yapabilir olması birlikte, teknoloji yığını bağımlılığı, kullanıcı yapılarını değiştirme zorunluğu, makro kullanımı zorunluğu, ve kod üretme aracı kullanım zorunluğu sınırlamaların hiçbirine sahip değildir. Bununla birlikte daha iyi kullanıcı dostluğu, kod testi, kod bakımı ve performans sağlayabilir.

Bir sınıfın kalıcılığını desteklemek için yapılandırma esnasında üyelerinin detayları tekrarlanarak kayıt edilmektedir. Bu tekrar problemi mimarinin tek zayıf yönü sayılabilir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır..

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Karacabey, “Veritabanı modelleri ve hiyerarşik veritabanından ilişkisel veritabanına dönüşüm”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi (1997).
- [2] C. Ireland, D. Bowers, M. Newton, K. Waugh, “Understanding object-relational mapping: A framework based approach”, International Journal on Advances in Software, vol 2 no 2&3, (2009).
- [3] M. K. Awang, “Transforming object oriented data model to relational data model”, International Journal of New Computer Architectures and their Applications, 3(3):403-410 (2012).
- [4] C. Xia, G. Yu, M. Tang, “Efficient Implement of ORM (Object/Relational Mapping) Use in J2EE Framework: Hibernate”, 1 - 3. 10.1109/CISE.2009.5365905 (2010).
- [5] X. Zhang, “A framework for object-relational mapping with an example in C++”, Masters thesis, Concordia University (2004).
- [6] Code Synthesis, “ODB - C++ Object-Relational Mapping (ORM)”, <https://www.codesynthesis.com/products/odb/> (Accessed 2022-11-06).
- [7] L. Marty, “QxOrm : C++ Qt ORM Object Relational Mapping database library - QxEntityEditor : C++ Qt entities graphic editor (data model designer and source code generator)”, [http://www.qxorm.com/qxorm\\_en/home.html/](http://www.qxorm.com/qxorm_en/home.html/) (Accessed 2022-11-06).

- [8] L. Stryzhevskiy, “Oat++”, <https://oatpp.io/> (Accessed 2022-11-06).
- [9] Emweb, “Wt, C++ Web Toolkit — Emweb”, <https://www.webtoolkit.eu/wt/> (Accessed 2022-11-06).
- [10] TreeFrog Framework Project, “TreeFrog Framework | High-speed C++ MVC Framework for Web Application”, <https://www.treefrogframework.org/> (Accessed 2022-11-06).
- [11] M. Garrigues, “Lithium C++ High Performance HTTP server”, <https://matt-42.github.io/lithium/> (Accessed 2022-11-06).
- [12] P. Korzyk, “GitHub - paulftw/hiberlite: C++ ORM for SQLite”, <https://github.com/paulftw/hiberlite/> (Accessed 2022-11-06).
- [13] BrainlessLabs, “GitHub - BrainlessLabs/bun: Bun is a simple to use C++ Object Database, Object Relational Mapper (ORM) and key-value library”, <https://github.com/BrainlessLabs/bun/> (Accessed 2022-11-06).



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

## Bioactive Peptides and Their Presence in Some Milk Species

*Biyoaktif Peptitler ve Bazı Süt Türlerindeki Varlıkları*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Büşra PALABIÇAK<sup>1</sup>, M. Serdar AKIN<sup>2</sup>, M. Buket AKIN<sup>3</sup>, Aslı ÇELİKEL GÜNGÖR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-0983-8577

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0001-7569-1983

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0001-8307-8521

<sup>4</sup> ORCID ID: 0000-0003-0583-295X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Palabıçak B., Akın M. S., Akın M.B., Çelikel Güngör A., “Bioactive Peptides and Their Presence in Some Milk Species”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 159-166, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1121003

**Bioactive Peptides and Their Presence in Some Milk Species**Büşra PALABIÇAK<sup>1\*</sup>, M. Serdar AKIN<sup>1</sup>, M. Buket AKIN<sup>1</sup>, Aslı ÇELİKEL GÜNGÖR<sup>2</sup><sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA<sup>2</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 47060, Artuklu/MARDİN**Abstract**

Milk proteins not only contain essential amino acids in their structure, but also they are the main source of nutrient, functional and health beneficial biologically active peptides. Bioactive peptides are present in protein in inactive form and released active form by heat treatment, fermentation of milk by proteolytic starter culture, digestion of milk in the gastrointestinal tract or hydrolysis by proteolytic enzymes (pepsin, trypsin and chymotrypsin, plant-derived papain, microbial-derived subtilisin, thermolysin, proteinase K and others). Recently, interest in milk proteins, particularly bioactive peptides released from the parent proteins, has increased. In vivo studies have shown that these milk protein-derived peptides have activity affecting digestion, immunity, circulation, and the nervous system. In addition, it has been found to have Angiotensin converting enzyme-inhibitor, antihypertensive and antioxidative effects. Most studies have used cow milk protein to identify these peptides. However, some other studies have found that bioactive peptides are also found in milk samples taken from other species such as sheep, goat and buffalo. The basic structure of milk proteins may vary due to genetic variations between species. Therefore, the potential activities of the resulting bioactive peptides may also differ. In this study, some nutritional properties of bioactive peptides, least studied animals such as sheep, goat, camel, donkey, buffalo milk and some of their bioactive peptides and their comparison with cow's milk are discussed.

**Makale Bilgisi**

Başvuru: 11/04/2023

Yayın: 31/08/2023

**Anahtar Kelimeler**Hayvansal Süt  
Bioaktif Peptitler  
Bioaktivite**Keywords**Animal Milk  
Bioactive Peptides  
Bioactivity**Biyoaktif Peptitler ve Bazı Süt Türlerindeki Varlıkları****Öz**

Süt proteinleri esansiyel amino asitleri içermekle birlikte; besleyici, fonksiyonel ve sağlığa yararlı biyoaktif peptitlerin ana kaynağıdır. Biyoaktif peptitler, proteinde inaktif formda bulunur ve ısıl işlem, proteolitik starter kültür ile sütün fermantasyonu ve gastrointestinal sistemde sütün sindirimi veya proteolitik enzimler (pepsin, tripsin ve kimotripsin, bitkisel kaynaklı papain, mikrobiyal kaynaklı subtilisin, termolizin, proteinaz K ve diğerleri) tarafından hidroliz yoluyla aktif forma geçer. Son zamanlarda süt proteinlerine, özellikle ana proteinlerden salınan biyoaktif peptitlere olan ilgi artmıştır. İn vivo çalışmalar, bu süt proteininden elde edilen peptitlerin sindirimi, bağırsıklığı, dolaşımı ve sinir sistemini etkileyen aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca Anjiyotensin dönüştürücü enzim-inhibitör, antihipertansif ve antioksidatif etkilere sahip olduğu da bulunmuştur. Pek çok çalışmada, bu peptitleri tanımlamak için inek sütü proteini kullanılmıştır. Buna karşın, bazı araştırmalarda da koyun, keçi ve manda gibi diğer türlerden alınan süt örneklerinde biyoaktif peptitlerin bulunduğunu gözlemlenmiştir. Süt proteinlerinin temel yapısı, türler arasındaki genetik farklılıklar nedeniyle değişebilir. Bu nedenle, ortaya çıkan biyoaktif peptitlerin potansiyel aktiviteleri de farklılık gösterebilir. Bu çalışmada, biyoaktif peptitlerin bazı besleyici özellikleri ile koyun, keçi, deve, eşek, manda gibi en az çalışılan hayvanların sütlerindeki bazı biyoaktif peptitlerinin inek sütü ile karşılaştırılması tartışılmıştır.

**1. INTRODUCTION**

Protein is the most important component of milk with about 27% of the dry matter. Not only milk protein is a single and homogeneous protein, but also it consists of a mixture of proteins of different qualities and

\*İletişim yazarı, e-mail: busragoncu@harran.edu.tr

contains a large number of fractions. 80% of this protein is casein ( $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\kappa$ -casein) and 20% is serum proteins (albumin,  $\beta$ -lactoglobulin,  $\alpha$ -lactalbumin, IgG, lactoperoxidase, lysozyme, lactoferrin). These proteins have specific biological properties [1]. There are a large number of peptides of animal or plant origin with bioactive potential, and a substantial proportion of these peptides are produced from milk proteins. Milk proteins are a rich source of bioactive peptides (BAPs) with many antihypertensive, antioxidative, opioid, antimicrobial and immunoregulatory biological activities in the body [2]. The proportions of BAPs in milk proteins are as follows; 36% (338)  $\beta$ -casein, 13% (119)  $\alpha$ s1-casein, 11% (105)  $\beta$ -lactoglobulin, 10% (98)  $\kappa$ -casein, 8% (77)  $\alpha$ s2-casein, and 5% (43)  $\alpha$ -lactalbumin, lactoferrin 15% (141) and less than 1% is serum albumin [3,4].

## 2. BIOACTIVE PEPTIDES

BAPs, also known as functional peptides; are defined as amino acid chains that are inactive in the structural protein but have important physiological roles with specific properties when released by enzymatic activity [5,6]. BAPs are encoded into amino acid chains of natural protein structure and they are short peptides, usually containing from 3 to 20 amino acid residues in each molecule. However, caseinomacropptide (CMP) contains 64 amino acids is an exception. Its basic activities also result from this amino acid composition and sequence. These peptides are inactive in the protein sequence and can be activated in three ways [7,8].

### (a) Digestion in the gastrointestinal tract (in vivo)

BAPs may be released by digestive enzymes such as pepsin, trypsin, or chymotrypsin. Nutritional proteins are denatured in the presence of hydrochloric acid (HCl) secreted by the parietal cells of the stomach. This acid stimulates pepsinogen and turns into its active form which is pepsin. Thus, it allows the activity of enzymes such as pepsin, trypsin or chymotrypsin in the small intestine which are responsible for gastrointestinal digestion protein hydrolysis [9].

### b) Fermentation of some lactic acid bacteria (*Lactococcus lactis*, *Lactobacillus helveticus* etc.) (in vivo)

The system consists of a number of different intracellular peptidases, including endo-peptidases, amino-peptidases, di-peptidases and tripeptidases by hydrolysis by proteolytic microorganisms. Thus, BAPs are released [9,10].

### (c) Hydrolysis by enzymes released from plants or microorganisms (in vitro)

It is the most common way to obtain BAP from milk. A combination of digestive enzymes and different proteinases (alkalosis, chymotrypsin, pepsin and thermolysin) and digestive enzymes of bacterial or fungal origin are used [7]. One of the main proteins responsible for BAP formation is casein. However,  $\alpha$ s1-,  $\beta$ - and  $\kappa$ -casein have little or no bioactivity in their natural state (except  $\alpha$ -lactalbumin and lactoferrin). This generally shows the complexity of bioactivity in milk. Because it has different biological activities in its natural form and after hydrolysis to peptides [11].

In general, BAPs classified according to the mechanism of action; antimicrobial peptides (casecidin, casocidin-I, Isracidin, lactoferricin B), antihypertensive peptides ( $\alpha$ s1-casokinin-5,  $\beta$ -casokinin-7,  $\alpha$ -lactorphin,  $\beta$ -lactorphin,  $\beta$ -casokinin-10,  $\beta$ -lactorphin), antithrombotic peptides (casoplatelin thrombin inhibitory peptide), immunomodulatory peptides ( $\alpha$ s1-immunosacokinin,  $\beta$ -casokinin-10, lactoferricin B, immunopeptides), opioid milk peptides (casomorphins,  $\alpha$ -lactorphine,  $\beta$ -lactorphine, serorphin, lactoferoxins and casokinin) and various peptides (phosphopeptides, caseinophosphopeptides) [12-14].

Numerous peptides exhibiting diversified physiological activities such as mineral binding, opioid, ACE inhibiting, immunomodulator, antibacterial and antioxidant activities are isolated and characterized from hydrolyses of different milk proteins using various proteolytic enzymes and fermented milk products [17]. Detection of BAPs; specific, it has been difficult because of the large number and quantity. However, some online databases are used to process the sequences of the BAPs obtained; BioPep (includes proteins, BAPs, as well as allergenic proteins, epitopes including single amino acid residues and sensory peptides, and means for evaluating proteins as BAPs by proteolytic processing), PepBank (based on sequence data mining) identifies 20 amino acid or shorter sequences), EROP-Moscow (includes identification of



structures, sources and functions of oligopeptides containing 2-50 amino acid residues, etc.), PeptideDB (related to peptides of animal origin), APD (includes antimicrobial peptides) [18].

**Table 1.** BAPs from milk proteins, their sources and bioactivities [15, 16]

<b>BAP</b>	<b>Source of Protein</b>	<b>Bioactivity</b>
Casomorfins	$\alpha$ -, $\beta$ -casein	Opioid effect
$\alpha$ -lactorfin	$\alpha$ -Lactalbumin	Opioid effect
$\beta$ -Lactorfin	$\beta$ -Lactoglobulin	Opioid effect
Lactoferoxins	Lactoferrin	Opioid effect
Casocins	$\kappa$ -casein	Opioid effect
Casokinins, Lactokinins	$\alpha$ -, $\beta$ -casein	ACE* inhibitor
Immunopeptides	$\alpha$ -, $\beta$ -casein	Immunomodulatory
Lactoferricin	Lactoferrin	Antimicrobial effect
Casoplatelins	$\kappa$ -casein, transferrin	Antithrombotic effect
Fosfopeptides	$\alpha$ - $\beta$ -casein	Mineral binding
(*:Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitor: ACE is an exopeptidase that breaks down various peptide substrates from the end carbon atom to release dipeptides and has important effects in regulating body blood pressure and water balance. Milk-derived antihypertensive peptides (kazokinin and lactokinin) inhibit ACE and regulate these catalytic reactions)		

### 3. VARIOUS MILK AND BIOACTIVE PEPTIDES

The bioactivity of BAPs due to genetic diversity between milk species and differences in the primary structure of milk proteins may vary [19].

The formation of specific bioactivities encoded in proteins of milk BAPs depends on where the proteolysis takes place (mammary gland or gastrointestinal tract) and the synergistic effects of BAPs and other agents (lipids, sphingolipids, oligosaccharides, etc.). Cow milk proteins as the source of BAPs have been one of the first and extensively studied proteins. Most studies also use cow's milk protein to identify these peptides (11). However, some studies have found that BAPs are also found in milk samples taken from other species such as sheep, goats and camels [20,21].

### 3.1. Milk of Sheep

In some parts of the world (especially arid and semi-arid regions) there is greater interest in sheep milk. Composition of sheep milk is more valuable in terms of nutritional value and consumer health as it contains higher dry matter and essential components than goat and cow's milk [22].

In recent years, some milk components have been found to have biological properties (as an ingredient for nutraceuticals or functional foods) beyond their nutritional significance [23]. Sheep milk has a high protein content (average 5.8%). Similar to cow's milk, sheep's proteins were distributed between caseins (76-83% of the total) and whey proteins (17-24% of the total). However, there may be some differences between sheep milk proteins and other ruminants. These differences are due to genetic polymorphism, post-translational modification and the presence of proteins of different chain lengths [17]. In general,  $\beta$ -lactoglobulin ( $\beta$ -Ig) and  $\alpha$ -lactalbumin ( $\alpha$ -Ia) are the source of BAP in sheep milk [24]. In particular,  $\beta$ -lactoglobulin hydrolysates produced by microbial digestive enzymes have higher ACE inhibitory effect. The first antimicrobial effect of sheep milk, although existence in cow's milk is low, was the f (17-41) fragment of the BAP lactoferrin [25]. Likewise,  $\alpha$ s2-casein in sheep's milk is a source of antimicrobial peptide (fragments f(165–170), f(165–181), f(184–208) and f(203–208)).  $\kappa$ -CMP from sheep's milk is also a good source of antithrombotic peptide [26].

### 3.2. Milk of Goat

Goat milk bioactive protein is less allergenic and better digestible than cow's milk [27]. Antioxidant capacity of goat milk is higher than other milk (cow, sheep, donkey and buffalo) [28]. Bioactive components in goat milk include conjugated linoleic acid, gangliocytes, glycolipids, glycosphingolipids and cerebrocytes, alkylglycerol, phospholipids, growth factors, hormones, immunoglobulins, oligosaccharides, lactose derivatives, lactoferrin, lysozyme, nucleosides, nucleosides, nucleosides [29]. Gangliocytes, a BAP, are found in goat and buffalo milk [30].

Goat milk BAPs have been reported to exhibit high ACE-inhibitor properties. (In particular, Tyr-Gln-Glu-Pro linked to  $\beta$ -casein, Val-Pro-Lys-Val-Lys, and Tyr-Gln-Glu-Pro-Val-Leu-Gly-Pro, Arg-Pro-Lys linked to  $\alpha$ s1-casein and Arg-Pro-Lys-His-Pro-Ile-Lys-His, fragment of  $\beta$ -lactoglobulin (113-122) [31]. Another study has shown that goat milk proteins and hydrolysates can be excellent BA sources that can be used as ingredients in functional foods [32].

### 3.3. Milk of Camel

Camel milk is thought to not only to have medicinal properties but also may help in the treatment of some traditional disease. Numerous studies have shown that camel milk has different therapeutic benefits, such as antihypertensive, anti-inflammatory, anti-diabetic, antioxidant, antiviral, antimicrobial, and anti-rheumatoid arthritis [33, 34, 35, 36].

Milk-derived antihypertensive peptides (casokinin and lactokinin) are found in camel milk as well as in cow, sheep, and goat milk [37]. The composition and relative distribution of milk proteins in camel milk is quite different from that of cow milk proteins. Camel milk casein contains four main fractions similar to that of cow milk ( $\alpha$ s1-CN,  $\beta$ -CN,  $\alpha$ s2-CN and  $\kappa$ -CN). However, there are significant differences between the casein of these two milks. The  $\beta$ -CN is found in 65% camel and 34% in cow;  $\alpha$ s1-CN is found in 22% in camel and 45% in cow;  $\kappa$ -CN is found in 3% in camel and 10-12% in cow. This shows that the potential number, type and concentration of BAPs obtained from camel milk caseins may be different from those obtained from cow milk proteins.

Cow's milk  $\beta$ -CN contains several ACE-inhibiting peptide sequences, but not in camel  $\beta$ -CN [38]. Camel milk is characterized by the absence of  $\beta$ -lactoglobulin, which forms the majority of serum proteins in cow's milk [39]. Therefore,  $\beta$ -lactoglobulin derived BAPs are not found in fermented camel milk. Peptidoglycan recognition protein (PGRP) was isolated from camel milk and was not found in cow's milk. PGRP belongs to a new family of proteins that can bind pathogens to peptidoglycan structures in the cell wall. In addition, PGRP is found in higher amounts in camel milk than other antibacterial proteins such as lactoferrin, lactoperoxidase or lysozyme [17].

### 3.4. Milk of Donkey

In recent years, there has been an increasing popularity in donkey milk due to its close composition and functional properties. Especially, a good balance between casein and serum proteins makes donkey milk an alternative food source for babies with cow's milk protein allergy [28]. In addition to hypoallergenic, it has antimicrobial, antiviral, anti-inflammatory and immune modulating properties. These features; immunoglobulins, lysozyme, lactoferrin,  $\omega$ -3 fatty acids, BAPs and an appropriate casein / whey protein ratio is caused by a significant amount of milk components [40]. It is a very important source especially for BAPs.

In some studies conducted on this subject, it was found that donkey milk has anti-tumor, anti-proliferative and very strong angiotensin converting enzyme (ACE) activity and some fragments of  $\beta$ -casein (184-210,199-226) have antimicrobial and antihypertensive properties [41, 42, 43, 44]. In another study, it is stated that donkey milk ranks second after goat milk in terms of total antioxidant capacity [28].

### 3.5. Milk of Buffalo

Buffalo milk contains almost all bioactive compounds (proteins, peptides, fatty acids, vitamins and other bioactive compounds) found in cow's milk. Buffalo milk has higher total protein, medium chain fatty acids, CLA, retinol and tocopherol content than cow's milk. Gangliocytes, a BAP in goat milk, are found only in buffalo milk [30].

Buffalo milk proteins show high homology to cow's milk (higher than 92%).  $\alpha$ 1-casein,  $\alpha$ 2-casein and  $\beta$ -casein have phosphoserine clusters similar to cow's milk. Thus, proteolysis of buffalo milk casein fractions yields phosphopeptides similar to those obtained from cows. The  $\beta$ -CN f (165-209) region in buffalo and cow's milk has the same amino acid sequence (a region with immunomodulator, opioid and ACE-inhibitory activity). Thus, the similarity of the buffalo and cow amino acid sequences suggests that a similar BAP can be obtained from both sources. Similarly, because of the similarity of the amino sequence of  $\alpha$ -lactalbumin and  $\beta$ -lactoglobulin in cow and buffalo milk, similar BAPs can be produced [45].

## 4. CONCLUSION

BAPs derived from sheep, goat, camel, donkey and buffalo milk proteins have been studied less than cow milk proteins. Limited studies of non-cow's milk have also yielded new and unique BAPs. Therefore, the production and characterization of BAPs from non-cow's proteins is essential for any developmental study. Future studies suggest that these peptides can be purified and used in food formulations [33]. However, although the legal regulations have not yet been fully clarified, a number of functional foods have been produced in some countries using BAPs.

In the United States, the United Kingdom, Japan, the Netherlands, Sweden, Finland, and France, these components are used in dairy products and beverages [46]. Milk-derived BAPs will be produced more extensively in the near future and may be used in the content of food or pharmaceutical products or directly as supplement products.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors contributed equally to the preparation of the article.

## REFERENCES

- [1] S. Semen, A. Altıntaş, Sütte Biyoaktif Peptitler ve Biyolojik Önemi. Türk Veteriner Hekimleri Birliği Dergisi 2015; 3 – 4.
- [2] H. Korhonen, Milk-Derived Bioactive Peptides: From Science to Applications. Journal of Functional Foods 2009; I: 177-187.

- [3] S.D. Nielsen, R.L. Beverly, Y. Qu, D.C. Dallas, Milk bioactive peptide database: A comprehensive database of milk protein-derived bioactive peptides and novel visualization. *Food Chemistry* 2017; 232: 673–682.
- [4] F.B. Otağ, M. Hayta, *GIDA* 2013; 38: 307-314.
- [5] L. Egger, O. Ménard Update on bioactive peptides after milk and cheese digestion. *Current Opinion in Food Science* 2017; 14: 116-121.
- [6] Ö. Kınık, O. Gürsoy, Süt Proteinleri Kaynaklı Biyoaktif Peptitler. *Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2002; 8: 195-203.
- [7] H. Korhonen, A. Pihlanto-Leppälä, Bioactive Peptides: Production and Functionality. *International Dairy Journal* 2006; 16: 945-960.
- [8] H. Korhonen, A. Pihlanto-Leppälä, Milk protein-derived bioactive peptides-novel opportunities for health promotion. *IDF Bulletin* 2001; 363: 17–26.
- [9] D.P. Mohanty, S. Mohapatra, S. Misra, P.S. Sahu, Milk derived bioactive peptides and their impact on human health – A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2016; 23: 577–583.
- [10] J.E. Christensen, E.G. Dudley, J.A. Pederson, J.L. Steele, Peptidases and amino acid catabolism in lactic acid bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek* 1999; 76: 217–246.
- [11] S. Piovesana, A.L. Capriotti, C. Cavaliere, G. La Barbera, R. Samperi, R.Z. Chiozzi, A. Lagana, Peptidome characterization and bioactivity analysis of donkey milk *Journal of Proteomics* 2015; 119: 21 – 29.
- [12] H. Meisel, Overview on Milk ProteinDerived Peptides. *Int. Dairy Journal* 1998; 8: 363-373.
- [13] D.A. Clare, H.E. Swaisgood, Bioactive Milk Peptides: A Prospectus. *J Dairy Sci* 2000; 83:1187–1195.
- [14] A. Pihlanto, Bioactive Peptides. In: *Milk Proteins Products*, Fuquay, J.W *Encyclopaedia of Dairy Science* 2011, 2nd ed. Academic Press: 879-886.
- [15] C. Ay, T. Şanlı, Süt Ürünlerinde Biyoaktif Peptitlerin Oluşumu ve Fonksiyonel Özellikleri. *ADÜ Ziraat Derg.* 2018; 15 (1):115-120.
- [16] R. López-Fandiño, J. Otte, J. Van Camp, Physiological, chemical and technological aspects of milk-protein-derived peptides with antihypertensive and ACE-inhibitory activity. *International Dairy Journal* 2006; 16: 1277–1293.
- [17] M.H. Abd El-Salam, S. El Shibiny, Bioactive Peptides of Buffalo, Camel, Goat, Sheep, Mare, and Yak Milks and Milk Products. *Food Reviews International* 2013; 29 (1): 1-23.
- [18] J. Giacometti, A. Buretić-Tomljanović, Peptidomics as a tool for characterizing bioactive milk peptides. *Food Chemistry* 2017; 230: 91–98.
- [19] M. Abdel-Hamid, J. Otte, C. De Gobba, A. Osman, E. Hamad, Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and antioxidant capacity of bioactive peptides derived from enzymatic hydrolysis of buffalo milk proteins. *International Dairy Journal* 2017; 66: 91-98.
- [20] D. Tagliacruzchi, S. Martini, S. Shamsia, A. Helal, A. Conte, Biological activities and peptidomic profile of in vitro-digested cow, camel, goat and sheep milk. *International Dairy Journal* 2018; 81: 19-27.

- [21] E. Vargas-Bello-Pérez, R.I. Márquez-Hernández, L.E. Hernández Castellano, Bioactive peptides from milk: animal determinants and their implications in human health. *Journal of Dairy Research* 2019; 86: 136–144.
- [22] J.E. Dalziel, G.A. Smolenski, C.M. McKenzied, S.R. Hainese, L. Day, Differential effects of sheep and cow skim milk before and after fermentation on gastrointestinal transit of solids in a rat model. *Journal of Functional Foods* 2018; 47: 116–126.
- [23] M. Juarez, Dairy Foods Symposium: Bioactive Components in Milk and Dairy Products: Recent international perspectives and progresses in different dairy species. *J. Anim. Sci.* 2012; 90: Suppl. 3/J.
- [24] G. Moatsou, L. Sakkas, Sheep milk components: focus on nutritional advantages and biofunctional potential. In press, 2019.
- [25] L.H. Vorland, H. Ulvatne, J. Andersen, H.H. Haukland, Ø. Rekdal, J.S. Svendsen, T.J. Gutteberg, Lactoferricin of bovine origin is more active than lactoferricins of human, murine and caprine origin. *Scandinavian J. Infect. Dis.* 1998; 30: 513–517.
- [26] Y.W. Park, M. Juarez, M. Ramos, G.F.W. Haenlein, Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk *Small Ruminant Research* 2007; 68: 88–113.
- [27] S. Verruck, A. Dantas, E.S. Prudencio, Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods* 2019; 52: 243–257.
- [28] Ş. Öztürkoğlu-Budak, A. Gürsel, Alternatif Bir Süt: Eşek Sütü. *GIDA* 2012; 37 (4): 243-250.
- [29] Y.W. Park, Dairy Foods Symposium: Bioactive Components in Milk and Dairy Products: Recent international perspectives and progresses in different dairy species. *J. Anim. Sci.* 2012; 95: Suppl. 2.
- [30] M. Guo, Dairy Foods Symposium: Bioactive Components in Milk and Dairy Products: Recent international perspectives and progresses in different dairy species. *J. Anim. Sci.* 2012; 90: Suppl. 3/J.
- [31] H.R. Ibrahim, A.S. Ahmed, T. Miyata, Novel angiotensin-converting enzyme inhibitory peptides from caseins and whey proteins of goat milk *Journal of Advanced Research* 2017; 8: 63–71.
- [32] S. Rani, K. Pooja, G.K. Pal, Exploration of potential angiotensin converting enzyme inhibitory peptides generated from enzymatic hydrolysis of goat milk proteins *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 2017; 11: 83-88.
- [33] P. Mudgil, B. Baby, Y.Y. Ngoh, H. Kamal, R. Vijayan, Molecular binding mechanism and identification of novel anti-hypertensive and anti-inflammatory bioactive peptides from camel milk protein hydrolysates. *LWT - Food Science and Technology* 2019; 112: 108193.
- [34] H.R. Ibrahim, H. Isono, T. Miyata, Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins. *Animal Nutrition* 2018; 4: 273-280.
- [35] P. Mudgil, H. Kamal, G.C. Yuen, S. Maqsood, Characterization and identification of novel antidiabetic and anti-obesity peptides from camel milk protein hydrolysates. *Food Chemistry* 2018; 259: 46–54.
- [36] D. Tagliazucchi, S. Shamsia, A. Conte, Release of angiotensin converting enzyme-inhibitory peptides during in vitro gastro-intestinal digestion of camel milk. *International Dairy Journal* 2016; 56: 119–128.
- [37] O. Yerlikaya, D. Saygılı, C. Karagözlü, Deve Sütü: Bileşimi, Sağlık Üzerine Etkileri, Deve Sütü Ürünleri. I.Uluslararası Devecilik Kültürü ve Deve Güreşleri Sempozyumu 2016; Selçuk, İzmir.

- [38] Food and Agriculture Organization. [www.fao.org/3/i3396e/i3396e.pdf](http://www.fao.org/3/i3396e/i3396e.pdf), 2013.
- [39] E.I. El-Agamy, Bioactive components in camel milk. In *Bioactive Components in Milk and Dairy Products*; Park, Y.W., Ed.; Wiley-Blackwell: Ames, IA, pp 159–194, 2009.
- [40] M. Aspri, G. Leni, G. Galaverna, P. Papademas, Bioactive properties of fermented donkey milk, before and after in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry* 2018; 268: 476–484.
- [41] F. Minervini, F. Algaron, C.G. Rizzello, P.F. Fox, V. Monnet, M. Gobbetti, Angiotensin I-converting-enzymeinhibitory and antibacterial peptides from *Lactobacillus helveticus* PR4 proteinase-hydrolyzed caseins of milk from six species. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003; 69: 5297–5305.
- [42] V. Cunsolo, R. Saletti, V. Muccilli, S. Foti, Characterization of the protein profile of donkey's milk whey fraction. *J. Mass Spectrom.* 2007; 42: 1162–1174.
- [43] A. Tafaro, T. Magrone, F. Jirillo, G. Martemucci, A.G. D'Alessandro, Immunological properties of donkey's milk: its potential use in the prevention of atherosclerosis. *Curr Pharmaceut Design* 2007; 13: 3711-3717.
- [44] I.B. Bidasolo, M. Ramos, J.A. Gomez-Ruiz, In vitro simulated gastrointestinal digestion of donkeys' milk. Peptide characterization by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Int Dairy J.* 2012; 24: 146-152.
- [45] M.H. Abd El-Salam, S. El Shibiny, A comprehensive review on the composition and properties of buffalo milk. *Dairy Sci. & Technol.* 2011; 91:663–699.
- [46] N. Durmuş, M. Kılıç Akyılmaz, B. Özçelik, Süt Proteinlerinden Biyoaktif Peptid Eldesi. *Gıda, Metabolizma ve Sağlık: Biyoaktif Bileşenler ve Doğal Katkıları Kongresi* 2016; İstanbul.