



SAYI/ ISSUE 50  
NİSAN/APRIL 2023

# EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

**Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ**  
Editor-in-Chief and Editor

**Prof. Dr. Hüseyin TOROS**  
Editor

**Prof. Dr. Ahmet DOĞAN**  
Editor

**Editorial Board Members**

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Namık Kemal University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS  
Subjects: Engineering  
Institution: Istanbul Technical University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN  
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences  
and Engineering  
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine  
and Health Sciences, Department of Environmental and  
Occupational Health

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN  
Subjects: Environmental Sciences and  
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil  
Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED  
Subjects: Meat Technology  
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. Osman TAYLAN  
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine  
Learning, Quality Management, Artificial  
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic  
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of  
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. İskender AKKURT  
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering  
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.

INDEX  COPERNICUS  
I N T E R N A T I O N A L



<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

e-ISSN 2148-2683

# İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Çikolata Teknolojisinde Temel Problem: Yağ Kusması  
Kübra BURSA, Rusen METİN YİLDİRİM, Doç. Dr. Ömer Said TOKER, Kürşat YAĞIZ  
Sayfa: 1 - 7
- Seramik Nanotozların Fizikokimyasal Karakterizasyonu  
Ceyda ÖKSEL KARAKUŞ, Aysel TOMAK  
Sayfa: 8 - 13
- Kredi Temerrüt Riskini Tahmin Etmede Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması  
Toprak Enes TÜTÜNCÜ, Sevda GÜRSAKAL  
Sayfa: 14 - 22
- Geleceğin Malzemesi Olarak Doğal Biyokütlelerden Üretilen Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları  
Seyithan BİNGÜL, Yunus ÖNAL, İncilay GÖKBULUT  
Sayfa: 23 - 29
- Alıç Meyvesi (Crataegus Spp.) Toplamada Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi  
Yusuf DILAY, Adem ÖZKAN  
Sayfa: 30 - 35
- Choline Chloride Encapsulated PLGA Nanoparticles Labelled with Lanthanide Metals  
Burcu UÇAR  
Sayfa: 36 - 46
- Fermente Bir İçecek Olan Bozanın Dondurmanın Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi  
Betül Büşra AYAR, Tuncay GÜMÜŞ, Deniz Damla ALTAN KAMER, Özgür KARADAŞ  
Sayfa: 47 - 59
- The Antioxidant Effect of Rosemary on the Oxidation Stability of Refined Sunflower Oil  
Ayşegül TÜRK BAYDIR, Amir SOLTANBEİGİ, Hasan MARAL  
Sayfa: 60 - 65
- Son 10 Yılda Tasarlanan Serpentine Pavilyonlarının Biomimikri ve Parametrik Tasarım Açısından Biçimsel Analizi  
Ceyhun ŞEKERCİ, Beytullah BEŞKAYA, Zehra TAŞTAN  
Sayfa: 66 - 78
- Tramvayın Güneş Enerjisi Destekli Bir Mikro Şebekeye Entegrasyonu  
Mine SERTSÖZ, Mehmet FİDAN, Murat BAŞARAN  
Sayfa: 79 - 84
- Modüler Yapıya Sahip Karadan ve Havadan İlerleyebilen Robot  
Emre CEYLAN, Kadir SABANCI, Selami BALCI  
Sayfa: 85 - 96
- Yüksek Kapasiteli Raylı Sistemler ve İstanbul Trafiğine Çözüm Yollarının İncelenmesi  
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Ömer Faruk KÜLTÜR  
Sayfa: 97 - 104
- Deep Learning-Based Ischemic Stroke Segmentation on Brain Computed Tomography Images  
Simge UÇKUN, Mahmut AĞRALI, Volkan KILIÇ  
Sayfa: 105 - 112
- Buharlı Pişirme Kazanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği  
Süleyman ŞİMŞEK, Nurşah OLSUN  
Sayfa: 113 - 120

# İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Eminönü Hanlar Bölgesi'nin Tarihsel Süreç İçinde Gelişimi

Şeyma KİRAZ EKŞİ, Leyla SURİ

Sayfa: 121 - 133

Kalite Yönetim Sisteminde Kullanılan İç ve Dış Tetkik Faaliyetlerinin Etkinliğinin Ölçümüne Yönelik Bir Ölçek Geliştirme

Ümit SÖNMEZ, Mehmet AYTEKİN

Sayfa: 134 - 144

Effect of Fine Content on Shear Strength Parameters of Soil

Ayşe PEKRIOGLU BALKIS, Gudisaa GELANA NEGESSU, Aya AHMAD

Sayfa: 145 - 153

Determination of Protection Measures Against Fall Risks in Working at Heights by Multi-Criteria Decision Making Methods

Tolga BARIŞIK

Sayfa: 154 - 161

Doğu Karadeniz Yöresinde Üretilen Bazı Çayların Mineral Beslenme Durumunun Değerlendirilmesi

Mehmet ALKAYIN, Nesrin YILDIZ

Sayfa: 162 - 170

Soliton Solutions of the Generalized Dullin-Gottwald-Holm Equation with Parabolic Law Nonlinearity

Melih ÇINAR

Sayfa: 171 - 177

Uçak Bakım-Onarım Hangarlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Etkileri

Süleyman ŞİMŞEK, Hüseyin USLU

Sayfa: 178 - 189

Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Yunus AYÖZEN

Sayfa: 190 - 197



## Çikolata Teknolojisinde Temel Problem: Yağ Kusması

Kübra Bursa<sup>1</sup>, Ruşen Metin Yıldırım<sup>2\*</sup>, Ömer Said Toker<sup>3</sup>, Kürşat Yağız<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fak., Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5021-868X), [kubraborta0912@yahoo.com.tr](mailto:kubraborta0912@yahoo.com.tr)

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fak., Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5125-1104), [ruseny@yildiz.edu.tr](mailto:ruseny@yildiz.edu.tr)

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fak., Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7304-2071), [stoker@yildiz.edu.tr](mailto:stoker@yildiz.edu.tr)

<sup>4</sup>Beyda Gıda Ürünleri ve San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0824-5371), [kursatyagiz@hotmail.com](mailto:kursatyagiz@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 17 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 07 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1034674)

**ATIF/REFERENCE:** Bursa, K., Yıldırım, R.M., Toker, O.S & Yağız, K. (2023). Çikolata Teknolojisinde Temel Problem: Yağ Kusması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 1-7.

### Öz

Çikolata ürün çeşidine ve kullanım amacına bağlı olarak kakao kitlesi, kakao yağı, şeker, süt bazlı bileşenler (PST, süt tozu, süt yağı), çeşni maddeleri ve emülgatörlerin (PGPR, lesitin) ilavesi ile tekniğine uygun olarak hazırlanıp, kalıplanarak elde edilen bir gıda ürünüdür. Çikolata üretimi, ön karıştırma ve karıştırma, inceltme, konçlama, temperleme, kalıplama ve soğutma olmak üzere beş ana proses aşamasından meydana gelmektedir. Ürün formülasyonu kadar üretim aşamasındaki her bir proses basamağı da ürünün başta duysal ve tekstürel özellikleri olmak üzere tüketici kabul düzeyini etkileyen kalite parametreleri üzerinde etkilidir. Çikolatanın üretimi sırasında ya da üretiminde veya depolama süreçleri sırasında yapılabilecek yanlış uygulamalar, çikolatanın hem duysal hem de tekstürel özellikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Buna bağlı olarak kalite problemleri oluşabilir. Çikolata üretim teknolojisinde en sık karşımıza çıkan kalite problemlerinin başında yağ kusması (Fat Bloom) gelmektedir. Yağ kusması, çikolatanın yapısında bulunan kakao yağı kristallerinin sıcaklık değişimine bağlı olarak ürün içerisinde eriyip, yağın çikolata yüzeyine doğru göç etmesi, yetersiz temperleme, uygun olmayan formülasyon, soğutma tüneli sıcaklığındaki uygunsuzluk ve depolama sürecindeki sıcaklık dalgalanmaları sonucu, çikolata yüzeyinde meydana gelen yağ kümeleşmesidir. Ürünün besinsel içeriğinde herhangi bir değişime sebep olmayan bu görüntü, ürünün duysal ve diğer kalite özelliklerini etkileyerek tüketicinin satın alma kararını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum da çikolata endüstrisinde ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Raf ömrü süresince çikolatanın kalite özellikleri açısından stabilitesini muhafaza edebilmesi çikolata endüstrisi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada çikolata üretimi sırasında ve üretim sonrasında yağ kusmasına neden olan etmenler ve bunlarla ilgili önleyici yöntemler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çikolata, Yağ Kusması, Çiçeklenme, Kakao Yağı, Kristalizasyon.

## Main Problem in Chocolate Production Technology: Fat Bloom

### Abstract

Chocolate is a food product which is molded and prepared according to the technique by adding cocoa mass or powder, cocoa butter, sugar, milk powder and additives. Chocolate production consists of mainly seven process steps; pre-mixing, refining, conching, tempering, molding, cooling and packaging. As well as product formulation, each process step determines the sensory and textural properties of the product. At the same time, these process steps play an important role in the product quality. Incorrect application during or after the production of chocolate can result in negative effects on the sensory and textural properties of the chocolate. Fat bloom is one of the most frequently encountered quality problems in chocolate production. Fat bloom is the resulted from many factors such as accumulation of fat that occurs on the chocolate surface as a result of the melting of the cocoa butter crystals in the structure of the chocolate due to the temperature change and migration of the fat towards the chocolate surface, insufficient tempering, improper formulation, inconvenience in the cooling tunnel temperature a melting of the cocoa butter crystals in the chocolate structure due to the temperature fluctuations. Fat clustering occurs on the chocolate surface as a result of migrating the cocoa butter to the surface and causes a grayish appearance. This appearance affects the visual, sensory and textural properties of the product and determines the consumer's purchasing decision. The factors causing fat bloom during and after chocolate production and related preventive methods are reviewed in this article.

**Keywords:** Chocolate, Fat bloom, Cocoa Butter, Crystallization

\* Sorumlu Yazar: [ruseny@yildiz.edu.tr](mailto:ruseny@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Çikolata ve çikolata ürünleri, tüm dünyada sevilerek ve haz amaçlı tüketilen bir gıda ürünüdür. Çikolatanın genel formülasyonu temelde kakao yağının oluşturduğu katı ve/veya sıvı fazda bulunan yağ içerisinde dağılmış şeker, süt bazlı ürünler (süt tozu, süt yağı, peynir altı suyu tozu), emülgatörler (lesitin, PGPR) ve kakao tozu ve kakao kitelinde bulunan yağ harici katı bileşenlerden oluşmaktadır. (Afoakwa vd., 2008; El-Kalyoubi vd., 2011). Çikolata formülasyonunda bulunan bu bileşenlerin miktarı ve çeşitleri, uygulanan prosese ve nihai ürüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Çikolata üretim prosesinde kullanılan yağın kristalizasyon özellikleri son ürünün akış davranışını, tekstürel niteliklerini, raf ömrünü ve duyuşal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Nightingale vd., 2012; Full vd., 1996).

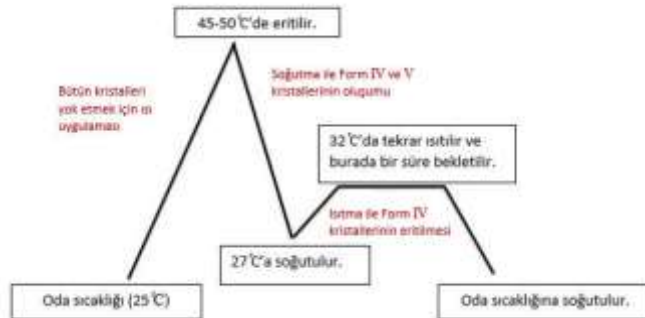
## 2. Çikolata Üretim Prosesi

Çikolata üretimi sırasıyla; ön karıştırma-karıştırma, inceltme, konçlama, temperleme, kalıplama ve soğutma proses basamaklarından oluşmaktadır. Her bir üretim basamağı, çikolatanın son ürün kalitesi, duyuşal ve tekstürel özellikleri açısından önemli bir yere sahiptir.

Çikolata formülasyonunda yer alan kakao, şeker ve süt bazlı bileşenler kesikli veya sürekli sistemlerde 40-50°C'de yaklaşık 15 dakika boyunca karıştırma işlemi uygulanmaktadır (Afoakwa, 2010; Beckett, 2009; Awua, 2002; Minifie, 1989). Ön karıştırma ile elde edilen kitleye uygulanan inceltme prosesinin amacı ortalama partikül büyüklüğünün 30 mikrometre ve altında olabilmesini sağlamaktır. Partiküllerin hedef partikül boyutuna inceltmesi ile çikolata içerisinde kumsu hissedilebilecek yapılar tamamen giderilmiş olur. Çikolata girdilerini inceltmek için endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak iki farklı metot uygulanmaktadır. Bu metotlardan ilkinde silindirik öğütücüler kullanılmaktadır. Bilyalı değirmen gibi sistemlerde ise emülgatörler haricindeki tüm bileşenler inceltme öncesi kakao kitlesi ve bir kısım yağ ile karıştırıldıktan sonra inceltme prosesi uygulanmaktadır. Bu iki metotla yapılan ürünler farklı duyuşal özelliklerde ürün üretimlerine neden olmaktadır. Her iki prosesin de kendine özgü avantajları/dezavantajları bulunmaktadır (Afoakwa, 2010).

İnceltme prosesini takiben uygulanan ve çikolata ürünlerinde aroma gelişimi ve son ürün kalite parametreleri için çok önemli bir proses olan konçlamada, aynı makinada iki ayrı proses meydana gelmektedir. Birincisi aroma gelişimi ile ilgilidir; çikolataya özgü tadı veren aroma veya aroma öncül maddelerinin oluşması için kakaoya uygulanan fermantasyon ve kavurma prosesleri sırasında arzu edilmeyen acı/asidik aroma bileşenleri de bulunmaktadır. Konçlama prosesinde bu arzu edilmeyen aroma bileşenleri üründen uzaklaştırılır. Bu aşamada ayrıca üründen bulunan nemin uzaklaşması sağlanmaktadır. İkincisinde ise çikolata toz, pulsu ve kuru bir formdan serbest akışkan bir forma dönüşür. Son ürüne ait serbest akış profili oluşur. Katı partiküllerin yüzeylerinin yağ ile kaplanması da bu proses dahilindedir. Konçlama prosesinde uygulanan sıcaklık, çikolata çeşidine bağlı olarak, genellikle 50°C ile 70°C arasında değişiklik gösterir (Talhat vd., 2015). Üretilmesi hedeflenen ürün kalite özelliklerine göre genel olarak 6-24 saat arasında uzun bir sürede gerçekleşen konçlama prosesinde oluşan polifenolik maddelerin oksidasyonu ve Maillard reaksiyonları da son üründen bulunan uçucu bileşenlerin profil ve miktarına katkı sağlamaktadır.

Konçlamayı takip eden aşama olan temperleme ise, çikolatada sonradan oluşabilecek kalite problemlerinin önlenmesi açısından dikkatle uygulanması gereken bir prosesdir. Çikolata formülasyonunda yer alan ve altı farklı polimorfda kristallenebilen kakao yağının, hedef polimorf olan form V'in oluşumu için nükleasyon ve ön kristalizasyonu gerçekleştirilir. Kakao yağının sahip olduğu altı farklı polimorfik yapıdan en stabil olanı form VI olsa da, bu kristallerin ağızda oluşturduğu kumsu yapıya nedenine ilave olarak, form V'in kalıptan kolay çıkabilmesi, parlaklık, renk ve yağ kusmasına karşı direnç gösterebilmesi gibi özellikleri sebebiyle, temperlemede oluşturulması istenen kristal polimorfu form V'dir. Kristalizasyon sırasında yağ kristalleri özel polimorfik yapıya dönüşerek, yeni kristal formu oluşturur ve oluşan kristallerin bir araya gelip kümelenmesiyle üç boyutlu bir ağ yapısı meydana gelir (Narine ve Marangoni, 1999).



Şekil 1. Çikolatanın temperleme prosesi

Figure 1. The tempering process of chocolate

Çikolatada arzu edilen kalite özelliklerinin oluşabilmesi için (erime, tekstür, parlak görünüm, yağ kusmasına direnç) önemli bir proses olan temperleme işleminin yeterli derecede gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrolü çok önemlidir. Temper derecesi, tempermetre cihazı ile ölçülmektedir. Temper birimi CTU (Chocolate Temper Unit) olup bu değer 1 ile 3 CTU arasında olduğunda çikolata yeterince temperlenmemiş, 4 ile 7 CTU arasında olduğunda çikolata iyi temperlenmiş, 7 CTU üzerinde olduğunda çikolatanın fazla temperlenmiş olduğu anlaşılır. Yeterli derecede temperlenmemiş çikolatalarda, stabil kristal form (form V) stabil olmayan diğer kristal formlara dönüşebilir (Afoakwa, 2010). Bu durum meydana geldiğinde çikolatada görüntü kusurları, yağ kristallerinin çikolata yüzeyinde düzensiz büyümeleri ve buna bağlı yağ kusması oluşabilir, yumuşak yapı nedeniyle çikolatanın kalıptan çıkmasında problem meydana gelebilir (Hartel, 2001; Afoakwa vd., 2007). İyi temperlenmiş çikolatada yeterli düzeyde oluşan yağ kristalizasyonu sebebiyle kalıpta meydana gelen büzüşme sonucu çikolata kalıptan rahatlıkla çıkarılabilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Temperlenmemiş, yeterli derecede temperlenmiş ve az temperlenmiş çikolata örneklerinin tempermetre kabından çıkarılmasına ait görseller

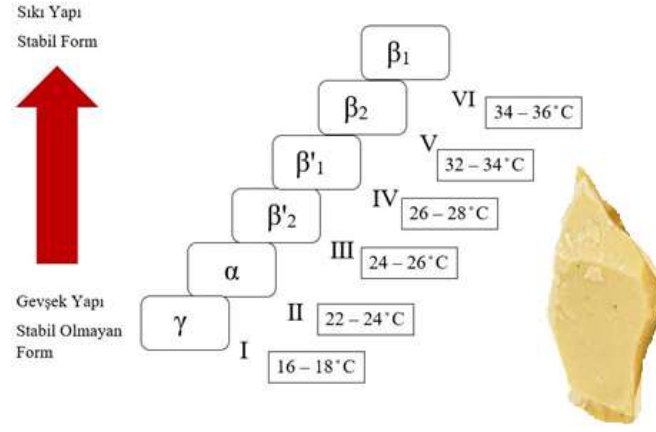
Figure 2. Images of removing untempered, adequately tempered and slightly tempered chocolate samples from the tempermeter container

İyi temperlenmiş çikolata görüntü olarak da arzu edilen renk ve parlaklığa sahiptir (Afoakwa vd., 2007). Temperleme prosesinden yaklaşık 32°C'de çıkan çikolata hamuru, depozitörler aracılığı ile çikolata sıcaklığına ısıtılmış kalıplara boşaltılır. Kalıp ile çikolata kitleisinin sıcaklık farkı  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'yi aşmamalıdır. Eğer belirgin bir sıcaklık farkı olursa çikolatanın temperi bozulacağından dolayı kalıptan çıkarmada problem, parlaklık kaybı, yağ kusması ve kalıba yapışma gibi problemler görülebilir. Çikolatanın içindeki hava kabarcıklarının önlenmesi ve kalıba tamamen oturabilmesi için kalıpla beraber vibrasyona tabi tutulur ve soğutma tünellerine gönderilir. Temperleme ile başlayan stabil yağ kristallerinin oluşumu soğutma ile beraber devam eden bir süreç olduğu için soğutma da son ürün kalitesi ve raf ömrü açısından oldukça önemli bir aşamadır. Kalıplanmış çikolatanın soğutulması 3 aşamadan oluşmaktadır. Soğutmanın başlangıcında kararsız kristallerin oluşmaması için soğutma tüneli giriş sıcaklığı 18-22°C, ikinci aşamada tünel sıcaklığı daha düşük olup 10-12°C, üçüncü aşamada ise ortam sıcaklığı ile çok büyük bir fark olmaması için 14-16°C uygulanır. Bunun yanı sıra yaygın olarak çikolata endüstrisinde tek sıcaklığın uygulandığı soğutma tünelleri de kullanılabilir (Awua, 2002).

Çikolata çevresel faktörlerden kolaylıkla etkilenebilecek bir gıda maddesidir. Paketleme işleminde kaliteli ve uygun paketleme materyali kullanılması gerekmektedir. Çikolatanın ışık, nem ve sıcaklıktan etkilenmesini engelleyecek şekilde karton, iki katmanlı kağıt, polistirenyada düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) kullanılmaktadır (Awua, 2002).

### 3. Çikolatada Yağ Kusması

Kakao yağı, kakao çekirdeklerinden elde edilen ve çikolatanın ana bileşeni olan bir maddedir (Jin ve Hartel, 2015). Kakao yağının yağ asidi kompozisyonu, yetiştiği bölgeye göre farklılık göstermekle beraber temelde 3 yağ asidinden meydana gelmektedir; oleik asit (C18:1), palmitik asit (C16:0) ve stearik asit (C18:0) (Laustsen, 1991). Kakao yağı polimorfiktir ve 6 farklı kristal polimorf ile kristalize olabilmektedir ve her bir polimorf farklı erime özelliklerine sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3. Kakao yağı poliformları ve erime sıcaklıkları

Figure 3. Cocoa butter polyforms and melting temperatures

Kakao yağındaki kristal yapılar ya Yunan harfleri ile  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_2'$ ,  $\beta_1'$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_1$  ya da Romen rakamları ile form I, II, III, IV, V ve VI şeklinde gösterilebilir (Jahurul vd., 2012). Kakao yağının çikolata formülasyonunda vazgeçilmez yapan özellikleri arasında yumuşak tekstürü, ağızda erimesi ve dar bir erime sıcaklığı aralığına sahip olması, viskozitede belirleyici olması ve son ürüne güzel bir parlaklık kazandırması gösterilebilir (Liendo vd., 1998). Kakao yağı, uygun kristalizasyon gerçekleşmesi durumunda 32°C'de eridiği için vücut sıcaklığında sıvı formdadır, oda sıcaklığında (25°C ve altı) ise katı formda bulunmaktadır.

Çikolatanın tüketiciler tarafından tercihini olumsuz yönde etkileyen yağ kusması, çikolata yüzeyinde meydana gelen beyazımsı renkte bir fiziksel kusurdur (Şekil 4). Bu durum sadece görüntüyü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda çikolatanın tadını ve tekstürel özelliklerini de büyük oranda etkiler.



Şekil 4. Yağ kusması gözlemlenen çikolata örnekleri

Figure 4. Chocolate samples with fat bloom

Yağ kusmasının oluşumunu etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar arasında formülasyondaki yağların uyumsuzluğu, uygun olmayan temperleme, uygun olmayan soğutma metodu, depolama esnasındaki sıcaklık dalgalanmaları, depolama koşulları veya yüzey temasları sebep olmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi yağ kusması sadece çikolata üretimi sırasındaki hatalardan değil aynı zamanda üretim sonrası depolama ve taşıma gibi durumlardan da ileri gelmektedir. Dolayısıyla yağ kusması üretici, perakendeci ve tüketici kaynaklı olabilecek bir mekanizmaya sahiptir (Tisoncik, 2003).

## 4. Yağ Kusmasına Neden Olan Etmenler Ve Alınabilecek Önlemler

### 4.1. Uygun Olmayan Formülasyon

Çevresel faktörler ve üretim hataları dışında, çikolata ürünlerinde yağ kusmasına sebep olan önemli bir faktör formülasyonda kullanılan bileşenlerdir. Özellikle çikolata ve ürünlerinde kakao yağı ile beraber kullanılan kakao yağı ikamelerinin yüzdesi, yağ asidi kompozisyonu ve erime noktaları yağ kusması üzerinde önemli etkiye sahiptir. Uyumsuz yağ fazına (CBS, CBR ve CBE gibi kakao yağı alternatiflerinin uygun olmayan miktarlarda kullanımı) ya da yetersiz katı yağ içeriğine sahip olan çikolata ürünlerinde yağ kusması yaygın olarak görülmektedir (Tisoncik, 2003). Uyumsuz yağ karışımına sahip çikolatalarda, yağlar birbirinden ayrılma eğilimi gösterirler (Lonchamp vd., 2004).

Formülasyon kaynaklı yağ kusmasının önüne geçebilmek için, ürün formülasyonunda kullanılan kakao yağı ve kakao yağı ikamelerinin uyumuna dikkat edilmelidir. Kakao yağı ikameleri kakao yağına benzer erime özelliğine, yağ asidi kompozisyonuna, trigliserid bileşimine ve raf ömrüne sahip olmalıdır. Uyuşmayan yağların beraber kullanımı raf ömrü sırasında yağ kusmasına neden olabilmektedir. Yağ fazında bulunan katı yağ içeriği (Solid fat content, SFC) yağların ürün formülasyonlarında kullanılabilirliğini belirleyen önemli bir parametredir. Katı yağ içeriği arttıkça, yağ kusması azalmaktadır. Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada %45, %55 ve %65 SFC içeriğine sahip çikolata örneklerinde meydana gelen yağ kusması oluşum süreci incelenmiştir. Değişik oranlarda katı yağ



içeriğine sahip çikolata numunelerinde yağ kusmasının gözlemlendiği sürelerin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. %45 SFC içerikli numunede neredeyse 1 gün içinde yağ kusması başlarken, %55 SFC içerikli örnekte 7. günde başladığı ve %65 SFC içerikli numunede ise 14. güne kadar yağ kusmasının görülmediği rapor edilmiştir. Bunun sebebi olarak düşük katı yağ içeriğine sahip çikolatalarda yüksek oranda bulunan sıvı yağın migrasyona sebep olarak daha fazla miktarda çözünmüş katı yağı yüzeye taşıdığı öne sürülmüştür (Jin ve Hartel, 2015).

Kaplama çikolata üretiminde kakao yağı ile beraber kullanılan kakao yağı ikameleri, optimum miktarda ürün formülasyonunda kullanılmaz ise yağ kusmasına sebep olmaktadır. Çok düşük miktarlarda kakao yağının CBS'ye ilavesi ötektik etki oluşturur. Yağ fazında %4'ün üzerinde kakao yağı, CBS'a ilave edildiğinde birkaç ay içinde yağ kusması gözlemlenebilirken kakao yağı konsantrasyonu yaklaşık %10 olduğunda yağ kusmasının oluşum süresi bir haftadan daha az bir süreye düşer (Laustsen, 1991).

Çikolata çeşidine bağlı olarak formülasyona süt yağı ilave edilmesinin kakao yağının kristalizasyon hızını ve polimorfaların form V'den form VI'ya dönüşümünü geciktirerek yağ kusmasını engellediği/yavaşlattığı belirtilmiştir (Timms, 2003; Lohman ve Hartel, 1994). Süt yağında bulunan orta zincirli doymuş yağ asitlerinin kakao yağı ile etkileşiminde çikolata yüzeyine yağ göçü engellenerek yağ kusması göstergesi olan çikolata yüzeyindeki beyazlık indeksinin değişim hızını da düşürdüğü tespit edilmiştir (Timms, 2003).

Ayrıca yağ kusması çikolatanın kaplama olarak kullanıldığı bar ve nugat gibi ürünlerde de görülebilmektedir. Bu ürünlerin üretiminde kullanılan fındık, fıstık, ceviz, badem vb. dolgu maddelerinin özellikle doymamış yağ asidi içeriği açısından zengin yağları, kaplama çikolatada bulunan kakao yağını çözümlenerek ürün yüzeyine göç etmesine neden olarak yağ kusması oluşumuna sebep olur. Bu tarz ürünlerde kaplama çikolata ve dolgu maddesi arasında karamel vb. dolgular ile bariyer etkisi oluşturularak yağ kusması engellenebilir (Tisoncik, 2003). Ayrıca kuruyemişlerin dış ortam ile nem alışverişini engellemek amacıyla geliştirilen yenilebilir film uygulamaları da dolgu ürünlerde yağ kusmasını engelleyebilir.

Zhao vd. (2018) yaptıkları çalışmada çikolata formülasyonunda yağsız katı partiküllerin boyutunun yağ kusmasına etkisini incelemişlerdir. Parçacıkların partikül boyutları arttıkça, yağın yüzeye migrasyonu için parçacıklar arası kanalların boşluklarının arttığı belirlenmiştir. Bunun sonucunda numunenin mikroyapısının yağın yüzeye migrasyonu için daha elverişli bir hale geldiği belirtilmiştir. Sonuç olarak daha fazla sıvı yağ yüzeye göç ederek yüzeydeki beyazlık indeksinde artışa sebep olmuştur. Bu çalışma ile artan partikül büyüklüğünün, yağ kusması oluşum hızını arttırdığı belirlenmiştir. Bundan dolayı çikolata formülasyonunda yer alan girdilerin partikül boyutu dikkate alınarak üretim prosesinin optimize edilmesi son ürün duyu özellikleri açısından önemli olduğu gibi yağ kusmasının oluşum süreci üzerinde de önemli etkiye sahiptir.

Yağ kusması formülasyon kaynaklı oluşabileceği gibi üretim de uygulanan temperleme ve soğutma prosesleri de bu açıdan çok önemlidir.

## 4.2.Hatalı Temperleme

Çikolata üretimi sırasında en stabil ve arzu edilen form olan  $\beta\beta_V$  oluşumu için uygulanan ısıtma/soğutma aşamalarından oluşan temperleme prosesi yetersiz seviyede yapıldığında da yağ kusması oluşumu hızlanmaktadır. Eğer bu aşamada yetersiz bir temperleme uygulanırsa stabil  $\beta_V$  kristalleri stabil olmayan  $\beta_{IV}$  kristallerine dönüşür (Tisoncik, 2003). Temperlemede oluşan stabil kristal konsantrasyonu, soğutma işleminde iyi bir kristalizasyon için yeterli değilse, az temperlenmiş demektir. Bu durumda yağ kusması iki günden daha az bir sürede meydana gelebilir (Lonchampt ve Hartel, 2004). Bu şekilde üretilen çikolatalarda parlaklık düşük olur, ağızda kumsu yapı oluşturan, snap denilen çikolatanın çatlama sesinden yoksun bir ürün elde edilir. Ayrıca yetersiz derecede temperlenen ürünler yeterli miktarda oluşamayan  $\beta_V$  kristalleri sebebiyle, ele alındığında birkaç saniyede erir.

Çikolata üretiminde yetersiz temperleme sonucu oluşan bir hata, çikolatanın depolanmasında ve perakende raflarında beklerken kendini ortaya çıkarmaktadır. Bu noktada yeterli temperlemenin çikolatanın raf ömrü açısından önemi tartışılmaz bir durumdur. Bundan dolayı çikolata kitlesi temperlemeden çıkmadan önce mutlaka tempermetre ile CTU (çikolata temper birimi) değeri kontrol edilmelidir. Yeterli temperlenmeyen veya fazla temperlenen çikolataların temperleme prosesi mutlaka tekrarlanmalıdır (Tisoncik, 2003) veya bir sonraki proses olan soğutma prosesi, temperleme aşamasında oluşan polimorf çeşitlerine göre optimize edilmelidir. Tempermetre ile elde edilen sonuçlara ilave olarak polimorf çeşitlerinin belirlendiği yöntemlerin de kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanılması yağ kusmasını önleme aşamasında fayda sağlayacaktır.

## 4.3.Soğutma Tüneli Sıcaklıkları

Temperleme prosesinde yaklaşık %1-5 arasında oluşan  $\beta_V$  miktarı, soğutma prosesi ile %75 oranlarına ve depolama ile de %99 seviyelerine yükselmektedir. Bundan dolayı uygulanan soğutma prosesinin süre/sıcaklık kombinasyonları, son ürün kalite özellikleri ve raf ömrü açısından oldukça önemlidir. Temperleme sonrasında kalıplanan akışkan haldeki çikolata, temperinin bozulmasına müsaade etmeyecek şekilde soğutma tünellerine katılması için gönderilir. Bu noktada soğutma tünellerinin giriş ve çıkış sıcaklığının hem çikolata sıcaklığı hem de ortam sıcaklığına geçişi sırasında şok etkisi yapmayacak şekilde sıcaklık derecesi ayarlanmalıdır. Özellikle soğutma tüneli çıkış sıcaklığı, ortam sıcaklığına yakın olacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi takdirde temperi bozulan çikolatalar, taşıma ve depolama esnasında kendini yağ kusması olarak göstermektedir. Soğutma hızı eğer çok yüksek olursa kararsız kristal yapılar dönüşüm artar. Bu durum yüzeyde çatlak oluşumuna yol açabilir. Ayrıca çikolata iyi temperlenmemiş olarak soğutma tünellerine girdiğinde soğutma sıcaklığına karşı daha fazla hassas olmaktadır (Tisoncik, 2003). Çikolatayı kalıplamadan önce hem soğutma tünelleri sıcaklıkları, hem de temper derecesi kontrol edilmelidir. Endüstriyel uygulamalarda genel olarak soğutma tüneli farklı sıcaklık derecelerine sahip üç zone (Birinci zone: 16/18°C, İkinci zone: 8/10°C ve Üçüncü zone: 12/14°C) dan oluşur. Tek sıcaklık değerine sahip soğutma tünelleri de endüstride kullanılmaktadır. Temperleme sonrası optimum şartlarda soğutma prosesi uygulanması, çikolata kalite özellikleri açısından çok önemlidir.

#### 4.4.Çikolata Kalıpları

Çikolata kitlesi kalıplanıp soğutulduktan sonra, kalıptan çıkarılır. Bu aşamada kalıpta kalan çikolata parçaları, yağ kusması oluşumu için kristal oluşumunu ve dönüşümünü etkileyeceği için bir başka risk kaynağıdır. Kalıplar temizlenmez ise bir sonraki depozitlenen çikolata üretiminde arta kalan bu parçacıklar kristal nükleasyon bölgesi oluşturarak temperin bozulmasına neden olur. Bundan dolayı kalıpların temizliğine önem verilmelidir (Tisoncik, 2003). Ayrıca, kalıp sıcaklığı da temper bozulmaması için dikkat edilmesi gereken bir faktördür. Genel olarak bitter çikolata için kalıp sıcaklığı 31°C, sütlü ve beyaz için ise 30°C olması tercih edilir. Daha yüksek sıcaklıklar, 32°C'de eriyen  $\beta_v$  kristal formlarını eriterek temper bozulmasına sebep olmaktadır. Bu durum da yetersiz temperleme sonucu ortaya çıkan yağ kusmasının görülmesine neden olur.

#### 4.5.Depolama Sürecindeki Sıcaklık Dalgalanmaları

Çikolatanın üretimi sonrasında, ürünün taşınma veya depolanması esnasında çevresel faktörler (sıcaklık dalgalanmaları, bağıl nem) uygun olmadığında yağ kusması meydana gelmektedir. Örneğin nakliye kamyonunun sıcaklığı eğer çikolatanın erime noktasının üzerinde olursa, çikolatanın stabil kristal yapısı bozulur. Bu durum da ileride yağ kusmasına neden olacaktır (Tisoncik, 2003). Ayrıca, sıcaklık yükselmesinden dolayı sıvı faza geçen yağ, katı haldeki yağları çözerek yüzeye taşıyarak yağ kusmasını tetiklemektedir.

Çikolata ürünlerinde raf ömrü dolmadan yağ kusmasının önlenmesi için uygun bir depolama şarttır. Sadece üretici depolarında değil aynı zamanda perakendeci raflarında, nakliye kamyonlarında ve tüketici dolaplarında da uygun depolanmanın yapılması gerekmektedir (Tisoncik, 2003). Bu aşamalarda çikolata ürünlerinde meydana gelebilecek sıcaklık dalgalanmaları minimuma indirilmelidir. Çikolata için en güvenli depolama şartları %40-60 bağıl nem ve 18-22°C sıcaklık aralıklarıdır. Oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çikolatanın stabil kristal yapısı bozulmaktadır. Ayrıca, erime kaynaklı ortaya çıkan yağ kusmasını engelleyebilmek için ısıtılma işlemi dirençli çikolata üretiminin de çözüm olabileceği belirtilmiştir. Çikolata yapısında bulunan mikroyapısal ağı kuvvetlendirilerek (direk/dolaylı/enkapsüle su ilave edilmesi; stabil partikül ağı geliştirilmesi; yüksek erime noktasına sahip emülgatör eklenerek ikincil ağ yapı oluşturulması; yağ bağlayıcı polimer ilave edilmesi) veya yağ fazının erime noktasının yükseltilmesi (interesterifikasyon veya formülasyonda yüksek erime noktasına sahip yağ kullanılması) ile ısıtılma işlemi dirençli çikolata üretimi (Stortz ve Marangoni, 2011) ile erime kaynaklı ortaya çıkan yağ kusmasının önüne geçebilme imkanı da bulunmaktadır. Son zamanlarda oleojel kullanımı da yağ fazının erime noktasını yükseltmek amacıyla novel bir yöntem olarak dikkat çekmektedir.

Jin ve Hartel (2015)'in yaptığı bir çalışmada sıcaklık döngü sıklığının yağ kusması oluşum hızı üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı katı yağ içerikli (%45, 55 ve 65 SFC) çikolata örneklerine 4 hafta boyunca 20 ve 30°C olmak üzere 3, 7 ve 11 saatlik sıcaklık döngüleri uygulanmıştır. 3 saatlik sıcaklık döngüsünde %45 SFC'ye sahip örnek aynı gün içinde beyazlamaya başlarken, %55 ve 65 SFC'ye sahip örneklerde ise 28. günde bile beyazlık indeksinde önemli değişiklik olmadığı saptanmıştır. 7 ve 11 saatlik sıcaklık döngülerinde ise %45 SFC'li numune aynı gün içinde beyazlamaya başlarken, %55 SFC içerikli olan 7.günde ve %65 SFC içerikli olanın ise 28. günde hafif bir beyazlık gösterdiği bildirilmiştir. Genel olarak, daha düşük katı yağ içeriğine (SFC) sahip olan örneklerde, tüm sıcaklık dalgalanma koşulları yağ kusmasının oluşumunu tetiklemiştir. Döngü başına daha uzun süre (düşük dalgalanma sıklığı), numunelerde daha hızlı yağ kusmasına sebep olmuştur. Uygulanan sıcaklık dalgalanmaları, yüksek erime noktalı yağların çözünürlüklerinde ve dolayısıyla katı yağ içeriklerinde değişime sebep olur. Bu durum da difüzyon veya kılcal hareketler ile yüzeye göç edebilecek sıvı yağların miktarının artmasına neden olur. Sıcaklık dalgalanmasından kaynaklı yağ kusması oluşumu, çalışmadaki model çikolata ve ticari çikolata arasındaki farklılıktan dolayı değişiklik göstermiştir. Bunun nedeni olarak model çikolata formülasyonunda daha düşük oranda bulunan partikül miktarı ve katı yağ içeriği (SFC) olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca model çikolatada şeker bulunmaması ve ticari çikolatada bulunan şeker kristallerinin yağ kristalleri için oluşturduğu çekirdeklenme etkisi de yağ kusmasının ilerlemesinde farklı etkilere yol açacağı kanısına varılmıştır (Dahlenborg vd.,2015; Bricknell ve Hartel, 1998).

Yapılan başka bir çalışmada yağ kusmasının mekanizması araştırılmış ve birincil sebep olarak yağ kristallerinin çikolata yüzeyinde önceden oluştuğu ve büyüdüğü belirtilmiştir (Lonchamp ve Hartel, 2004; Jewell, 1972; Aguilera vd., 2004). Fakat bu kristallerin nasıl büyüdüğü ve neden yağ kusmasının çikolata yüzeyinde spesifik bölgelerde oluştuğu açıklanamamıştır (Sonwai ve Rousseau, 2010). Bir diğer çalışmada ise çikolata yüzeyinde önceden oluşmuş yağ kristallerinin yağ kusmasına neden olacak daha büyük kristallere dönüşümünde kalıp etkisi sağladığı belirtilmiştir (Sonwai ve Rousseau, 2008).

Çikolata ve ürünlerinde gözlemlenen ve yağ kusması ile karıştırılan bir diğer kalite kusuru da şeker kusmasıdır. Şeker kusması da yüzeyde beyaz renk oluşumuna sebep olduğu için genel olarak yağ kusması ile karıştırılır. Şeker kusması çikolatanın yüksek nemli ortamda depolanmasından veya ürünün düşük sıcaklıktaki bir ortamdan hızlı bir şekilde yüksek sıcaklıktaki bir ortama geçişi ile oluşur. Her iki durum da çikolatada terlemeye sebep olarak şekerin çözünmesine sebep olur. Şekeri çözen yüzeyde bulunan suyun buharlaşması ile yüzeyde kalan şeker kristalleri beyaz görünüme sebep olur. Ortaya çıkan problemin yağ veya şeker kaynaklı olduğunu anlamak için mikroskop görüntüleri incelenebilir. Mikroskobun bulunmadığı ortamlarda pratik ve daha basit bir çözüm olarak çikolatanın 38°C'ye ısıtılması tavsiye edilmiştir. Bu sıcaklık seviyesine ısıtıldığında yağ kusması ortadan kaybolurken şeker kusması görülmeye devam eder (Afoakwa, 2010).

### 5. Sonuç

Genel olarak haz almak amacıyla tüketilen çikolata ve ürünlerinin raf ömrü süresince arzu edilen kalite kriterlerini muhafaza edebilmesi tüketici beğenisi ve kabulü açısından çok önemlidir. Yağ kusması, çikolata ve ürünlerinin albenisini ve raf ömrünü olumsuz derecede etkileyen en önemli faktör olarak öne çıkmaktadır. Yağ kusması, ürün besin değerinde herhangi bir olumsuzluğa sebep olmazken çikolata yüzeyinde grimsi bir renk oluşumuna sebep olur. Ürünlerin duyuşal, tekstürel ve diğer fiziksel özelliklerinde bozulmaya neden olarak haz almak için tercih edilen ürünlerin tüketilmemesine sebep olmakta ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Bu durum da çikolata endüstrisinde önemli bir problem ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada, çikolata ürünlerinde gözlemlenen yağ kusması probleminin oluşum sebepleri ve bu problemi önleme yolları incelenerek yağ kusması kaynakları ve çözüm yolları ile ilgili öneriler sunulmuştur. Yağ kusması, formülasyon, üretim prosesi (temperleme ve soğutma) ve depolama kaynaklı ortaya çıkabileceği için üreticiyi, perakendeciyi ve tüketiciyi ilgilendiren bir bütün olarak ele alınması gereken bir olaydır. Bu sebeple, her bir aşamada ilgili kesim tarafından gerekli önlemlerin alınması arzu edilen kalitede çikolata tüketimi için önem arz etmektedir.

## Kaynakça

- Afoakwa, E.O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. John Wiley & Sons Ltd., United Kingdom.
- Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M., Vieira, J. (2008). Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. *Journal of Food Engineering*, 87(2), 181-190.
- Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate – a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18(6), 290-298.
- Aguilera, J.M., Michel, M., Mayor, G. (2004). Fat migration in chocolate: Diffusion or capillary flow in a particulate solid? – A hypothesis paper. *Journal of Food Science*, 69(7), 167–174.
- Awua, P.K. (2002). *Cocoa Processing and Chocolate Manufacture in Ghana*, Essex, UK: David Jamieson and Associates Press Inc..
- Beckett, S.T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. Wiley-Blackwell Publication, United Kingdom.
- Bricknell, J., Hartel, R.W. (1998). Relation of fat bloom in chocolate to polymorphic transition of cocoa butter. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75(11), 1609–1615.
- Dahlenborg, H., Millqvist-Fureby, A., Bergenstahl, B. (2015). Effect of particle size in chocolate shell on oil migration and fat bloom development. *Journal of Food Engineering*, 146, 172-181.
- El-kalyoubi, M., Khallaf, M.F., Abdelrashid, A., Mostafa, E.M. (2011). Quality characteristics of chocolate-containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Science*, 56(2), 89-96.
- Full, N.A., Reddy, S.Y., Dimick, P.S., Ziegler, G.R. (1996). Physical and sensory properties of milk chocolate formulated with anhydrous milk fat fractions. *Journal of Food Science*, 61(5), 1068-1073.
- Hartel, R.W. (2001). *Crystallization in Food*. Springer US, 326 S, USA.
- Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Norulaini, N.A.N., Sahena, F., Jinap, S., Azmir, J., Sharif, K.M. (2013). Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 467-476.
- Jewell, G. (1972). Some observations on bloom on chocolate. *International Chocolate Review*, 27, 161-162.
- Jin, J., Hartel, R.W. (2015). Accelerated fat bloom in chocolate model systems: Solid fat content and temperature fluctuation frequency. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(10), 1473-1481.
- Laustsen, K. (1991). The nature of fat bloom in molded compound coatings. *Manufacturer Confectionery*, 71(5), 137-144.
- Liendo, R., Padilla, F.C., Quintana, A. (1998). Characterization of cocoa butter extracted from Criollo cultivars of *Theobroma cacao* L. *Food Research International*, 30(9), 727-731.
- Lohman, M. H., Hartel, R.W. (1994). Effect of milk fat fractions on fat bloom in dark chocolate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(3), 267–276.
- Lonchamp, P., Hartel, R.W. (2004). Fat bloom in chocolate and compound coatings. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(4), 241-274.
- Minifie, B.W. (1989). *Chocolate, cocoa and confectionery science and technology*. Aspen Publisher, Gaithersburg, Maryland.
- Narine, S.S., Marangoni, A.G. (1999). Microscopic and rheological studies of fat crystal networks. *Journal of Crystal Growth*, 198 (199), 1315-1319.
- Nightingale, L.M., Cadwallader, K.R., Engeseth, N.J. (2012). Changes in dark chocolate volatiles during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (18), 4500-4507.
- Sonwai, S., Rousseau, D. (2008). Fat crystal growth and microstructural evolution in industrial milk chocolate. *Crystal Growth and Design*, 8(9), 3165-3174.
- Sonwai, S., Rousseau, D. (2010). Controlling fat bloom formation in chocolate-Impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation. *Food Chemistry*, 119(1), 286-297.
- Stortz, T.A., Marangoni, A.G. (2011). Heat resistant chocolate. *Trends in Food Science and Technology*, 22(5), 201-214.
- Talbot, G. (1999). Chocolate temper. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 3rd edition. Beckett ST (Ed.), 218-230 s, Oxford: Blackwell Science.
- Talhat, A.M., Lister, V.Y., Moggridge, G.D., Rasburn, J.R., Ian Wilson, D. (2015). Development of a single droplet freezing apparatus for studying crystallisation in cocoa butter droplets. *Journal of Food Engineering*, 156, 67-83.
- Timms, R.E. (2003). Interactions between fats, bloom and rancidity. In RE Timms (Ed.). *Confectionery fats handbook*. Properties, production and applications. Bridgewater: The Oily Press.
- Tisoncik, M. (2003). Chocolate Fat Bloom. *The Manufacturing Confectioner*, 65.
- Zhao, H., Bingol, G., James, B.J. (2018). Influence of non-fat particulate network on fat bloom development in a model chocolate. *Journal of Food Engineering*, 225, 12-17.



# Seramik Nanotozların Fizikokimyasal Karakterizasyonu

Ceyda Öksel Karakuş<sup>1\*</sup>, Aysel Tomak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5282-4114), ceydaoksel@gmail.com

<sup>2\*</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2544-5201), tomakaysel@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 3 Şubat 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1054927)

**ATIF/REFERENCE:** Öksel Karakuş, C. & Tomak, A. (2023). Seramik Nanotozların Fizikokimyasal Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 8-13.

## Öz

Nanopartikül içeren çalışmalarda tutarsız sonuçların oluşumunda nanomalzemelerin nasıl tanımlanacağı konusunda süregelen belirsizliklere ek olarak başta örnek hazırlama ve fizikokimyasal karakterizasyon olmak üzere nano-yapılı sistemlerin analizlerine ilişkin stratejilerin farklı nanopartiküller için spesifik olarak bilinmemesi ve uygulanmaması gibi etmenler rol oynamaktadır. Bu çalışmada dental uygulamalarda sıklıkla kullanılan kalsiyum fosfat yapıları seramik nanotozların fizikokimyasal karakterizasyonuna ilişkin teknik hususların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu nanopartiküller Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Dinamik Işık Saçılımı (DLS), Brunauer, Emmet ve Teller (BET), X-Işınlı Kırınımı (XRD) ve Termogravimetrik Analiz ve Differansiyel Termal Analiz (TGA/DTA) teknikleri yardımıyla detaylı olarak karakterize edilmiştir. SEM ve DLS boyut analizleri incelendiğinde nanopartiküllerin homojen olmayan bir boyut dağılımına sahip olduğu anlaşılmaktadır. BET yüzey analizi daha küçük parçacık boyutuna sahip nanopartiküllerin daha yüksek yüzey alanına sahip olduğunu doğrulamıştır. Zeta potansiyel ölçümleri nanopartiküllerin nötr pH'da negatif potansiyele sahip olduğunu (< -16 mV) ancak bu değerin partiküllerin stabil olarak kabul edildiği -30 mV'den az olması dolayısıyla dağılımlarının kararlı olmadığını ortaya koymuştur. TGA analizi yapılarak nanopartiküllerin 900 °C'ye kadar dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen XRD pikleri nanopartiküllere ait karakteristik piklerdir ve literatür ile uyumludur. Ölçülen BET yüzey alanı değerleri tedarikçi tarafından sağlanan değerlerden 2–3 kat daha fazladır. Tüm bu ölçümler nanopartiküllerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde tedarikçinin verilerine bağlı kalınmamasının ve detaylı karakterizasyon yöntemlerine başvurulmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Nanopartikül, Nanoseramik, Nanoteknoloji, Karakterizasyon.

## Physicochemical Characterization of Ceramic Nanopowders

### Abstract

Inconsistent results are often reported in studies involving nanoparticles. Factors contributing to these inconsistencies include regional and sectoral differences in how nanoparticle-containing materials are defined, as well as lack of standardization of experimental procedures and techniques involved in the preparation and characterization of nanoparticles. The aim of this study is to highlight the technical issues related to the physicochemical characterization of three different calcium phosphate-based ceramic nanopowders that are frequently used in dental applications. These three nanopowders were characterized in detail using different techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM), Dynamic Light Scattering (DLS), Brunauer, Emmet and Teller (BET), X-Ray Diffraction (XRD) and Thermogravimetric Analysis (TGA). The results of SEM and DLS particle sizing showed that all three ceramic nanoparticles had heterogeneous size distribution. BET analysis confirmed that ceramic nanoparticles with smaller particle size had relatively larger surface area. Zeta potential measurements revealed that nanoparticles were negatively charged at neutral pH but the observed negativity (< 20 mV) was not high enough to achieve colloidal stability. TGA analysis revealed that nanoparticles were thermally stable up around 900 °C. The XRD pattern of nanoparticles were compatible with the literature. Measured BET surface area values were 2–3 times greater than surface area values provided by the supplier. Overall, these results highlighted the importance of carrying out detailed physicochemical characterization of nanoparticles and not just relying on the supplier's data.

**Keywords:** Nanoparticles, Nanoceramic, Nanotechnology, Characterization.

\* Sorumlu Yazar: [ceydaoksel@gmail.com](mailto:ceydaoksel@gmail.com)

## 1. Giriş

Nano boyutlu malzemeler tabiatın varoluşundan bu yana doğada bulunmalarına rağmen, mühendislik ürünü olarak üretimlerinin temeli ünlü fizikçi Richard Feynman'ın 1959 yılında Amerikan Fizik Cemiyeti'nin toplantısında yaptığı "Aşağıda Daha Çok Yer Var (Ing. There's Plenty of Room at the Bottom)" başlıklı konuşmasıyla atılmıştır. Feynman'ın atom ve molekül boyutunda imalat yapılabileceğine ve bunun insanlık tarihine yön verebilecek pek çok keşfin ilk nüvelerini oluşturacağına ilişkin öngörüler, 1974 yılında Japon bilim insanı Norio Taniguchi'nin nanoteknoloji terimini ilk kez kullanmasıyla somut bir bilimsel alana dönüşmüştür. Takip eden yıllarda, maddelerin atomik ya da moleküler düzeyde işlenmesi sonucu insan yaşamını kolaylaştıran ve iyileştiren yeni malzemeler üretilmiş ve bu malzemeler pek çok endüstriyel alanda kullanım için özelleştirilmiştir. 2015 yılında yayımlanan tüketici ürünleri envanterinde (Vance, Kuiken, Vejerano, McGinnis, Hochella Jr, Rejeski, & Hull, 2015) piyasada %42'si sağlık kategorisinde olmak üzere 1814 nanomalzeme bulunduğu rapor edilmiş olsa da güncel kaynaklar bu sayının 5200'den fazla olduğunu işaret etmektedir (<https://nanodb.dk/en/> Erişim Tarihi:03.01.2022).

Günümüzde pek çok bilim ve mühendislik alanında kullanılan nanomalzemeler genel olarak boyutlarına (0D, 1D, 2D veya 3D), formlarına (nanopartikül, nanoküre, nanokapsül vb.), oluşum yollarına (doğal veya sentetik) veya bileşimlerine (metalik, seramik, polimerik, karbon-tabanlı, peptid-tabanlı, organik, inorganik vb.) göre gruplandırılmaktadır (Lynch, Weiss, & Valsami-Jones, 2014). Nanoseramikler olarak adlandırılan ve genel olarak kristal oksit, nitrür, karbür, karbonat ve fosfat gibi yapılardan oluşan inorganik malzemeler başta implant, protez uygulamaları ve kemik yapısının yenilenmesi olmak üzere pek çok rejeneratif tıp ve diş hekimliği cerrahisi alanında kullanım bulmuştur (Ming, Jiang, Luo, Xu, He, Xie, Shen, & Li, 2022). Nano-boyutlu kalsiyum fosfat, trikalsiyum fosfat ve hidroksiapatit tozları biyo-uyumlu yapıları ve osteokondüktif özellikleri dolayısıyla dental implant uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Bordea, Candrea, Alexescu, Bran, Băciuț, Băciuț, Lucaciu, Dinu, & Todea, 2020).

Son yıllarda literatürde nanoseramik yapı malzemelerin sentezini ve karakterizasyonunu içeren çalışmaların sayısı artmaktadır (D'Amato, Falconieri, Gagliardi, Popovici, Serra, Terranova, & Borsella, 2013; Fathian, Maleki, & Niroumand, 2017; Moreno-Vega, Gomez-Quintero, Nunez-Anita, Acosta-Torres, & Castaño, 2012; Wang, Wang, Yu, Cao, Gao, Wu, Yao, Lin, & Zou, 2022). Farklı yöntemlerle sentezlenen biyoseramik nanomalzemeler sonrasında kullanılacağı biyomedikal uygulamaya bağlı olarak özelleştirilmektedir. Örneğin Ebrahimi ve ark. sentezledikleri nano-hidroksiapatit ve nano-trikalsiyum fosfat içeren kompozit malzemeyi biyolojik performansını arttıracak şekilde modifiye etmiş ve bu sayede tek fazlı biyoseramik malzemelere kıyasla biyolojik apatite daha çok benzeyen, homojen ve dar boyut dağılımlı bir malzeme elde etmişlerdir (Ebrahimi, Botelho, Lu, & Monmatrapoj, 2019). Benzer bir çalışmada Khandan ve iş ark. kalsiyum silikat biyoseramik nanomalzemeye ağırlıkça %15 manyetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) eklentisinin mekanik dayanımı ve gözenekli yapıyı önemli ölçüde arttırdığını ve bu sayede implant uygulamalarındaki performansını iyileştirdiğini vurgulamıştır (Khandan, Nassireslami, Saber-Samandari, & Arabi, 2020). Daha güncel bir çalışmada Wu ve ark. trikalsiyum fosfat yapı malzemeyi farklı miktarlardaki titanyum nanopartikülleri ile modifiye etmiş ve ortopedik protez uygulamaları için daha elverişli hale getirmiştir (Wu, Ling, Ge, Jiang, Baghaei, & Kolooshani, 2022). Tüm bu çalışmalar detaylı karakterizasyon adımları içermekte ve değişen fizikokimyasal özelliklerin (örn. bileşim, parçacık boyutu, yüzey alanı, gözeneklilik vb) malzeme performansına olan etkisini açık olarak ortaya koymaktadır.

Nano-boyutlu malzemelerin yapısal özelliklerindeki ufak değişimlerin biyolojik aktiviteleri üzerinde büyük etkiler yarattığı bilinmektedir (Winkler, Mombelli, Pietroiusti, Tran, Worth, Fadeel, & McCall, 2013). Aktiviteyi etkilediği düşünülen en önemli yapısal parametreler arasında parçacık boyutu, morfolojisi, spesifik yüzey alanı, yüzey yükü ve kristallografik özellikleri yer almaktadır (Zare, Zheng, Makvandi, Gheybi, Sartorius, Yiu, Adeli, Wu, Zarrabi, & Varma, 2021; Zhao, Zhang, Pan, & Liu, 2021). Yapı-aktivite arasındaki ilişki uzun yıllardır biliniyor olmasına rağmen nanopartikül içeren çalışmalara bakıldığında fizikokimyasal karakterizasyonun çoğunlukla yeterince kapsamlı olarak yapılmadığı görülmektedir (Karakus & Winkler, 2021). Dahası bu çalışmalarda takip edilen örnek hazırlama ve fiziko-kimyasal karakterizasyon metod ve stratejilerine ilişkin uluslararası kabul görmüş teknik kriterlerin azlığı birbiriyile uyuşmayan sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Oksel Karakus, Bilgi & Winkler, 2021). Bu çalışmada, dental uygulamalarda sıklıkla kullanılan kalsiyum fosfat yapı malzeme için üç farklı seramik nanopartikülün (nano-boyutlu kalsiyum fosfat, trikalsiyum fosfat ve hidroksiapatit tozları) fizikokimyasal karakterizasyonuna ilişkin teknik hususların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda her üç nanotoz, boyut ve morfoloji, hidrodinamik çap ve yüzey yükü, yüzey alanı, kristal yapı ve termal kararlılık açısından detaylı olarak karakterize edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Nano-boyutlu hidroksiapatit (HA, Katalog no. 677418), kalsiyum fosfat (KF, Katalog no. 693871) ve trikalsiyum fosfat (TKF, Katalog no. 693898) tozları Sigma-Aldrich (Amerika) firmasından temin edilmiştir. Tüm malzemeler yüksek saflıkta olduğu için ek saflaştırma tekniklerine ihtiyaç duyulmamıştır.

### 2.2. Karakterizasyon

Seramik nanopartiküllerin detaylı yapısal ve morfolojik karakterizasyonu Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM), Termogravimetrik Analiz ve Differansiyel Termal Analiz (TGA/DTA), Dinamik Işık Saçılımı (DLS), Brunauer-Emmett-Teller (BET) Yüzey Alanı Analizi ve X Işını Kırınım Spektroskopisi (XRD) teknikleri kullanılarak yapılmıştır. SEM görüntüleri, geri saçılmış elektron (BSE) ve ikincil e-ISSN: 2148-2683

elektron (SE) dedektörleri ile 5-10 keV çalışma voltajı aralığında FEI QUANTA 250 FEG cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Toplam 20 µL numune dispersiyonu Silisyum (Si) alttaş üzerine damlatılarak açık atmosferde kurumaya bırakılmıştır. Yeni hazırlanmış numuneler, iletken karbon yapışkan bant ile numune tutucuya yapıştırılmıştır. Nanotozların yüzey özelliklerini belirlemek amacı ile BET metoduyla yüzey alanı tayinleri Mikromeritics Gemini V Tristar 3000 Micromeritics cihazı yardımı ile yapılmıştır. Nanotozların kristalografik özelliklerinin karakterize edilmesi için, bakır (Cu) X-ışını tüpüne sahip, 40 kV ve 30 mA'da, 1,544 Å dalga boyunda ve Cu Kα X-ışınlarına sahip Philips X'Pert Pro XRD cihazı kullanılmıştır. XRD analizinde 2θ tarama aralığı 10° ile 80° arasında ve çözünürlük 0,1° olarak seçilmiştir. Nanotozların sıcaklığa bağlı kütle kaybı değişimleri Perkin Elmer Diamond marka TGA/DTA cihazı ile 25-900 °C arasında 10 °C/dak'lık ısıtma hızında ve Nitrojen (N<sub>2</sub>) gazı atmosferi altında ölçülmüştür. Nanopartiküllerin hidrodinamik çap ölçümleri MALVERN Zetasizer Nano ZS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tümlşik Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

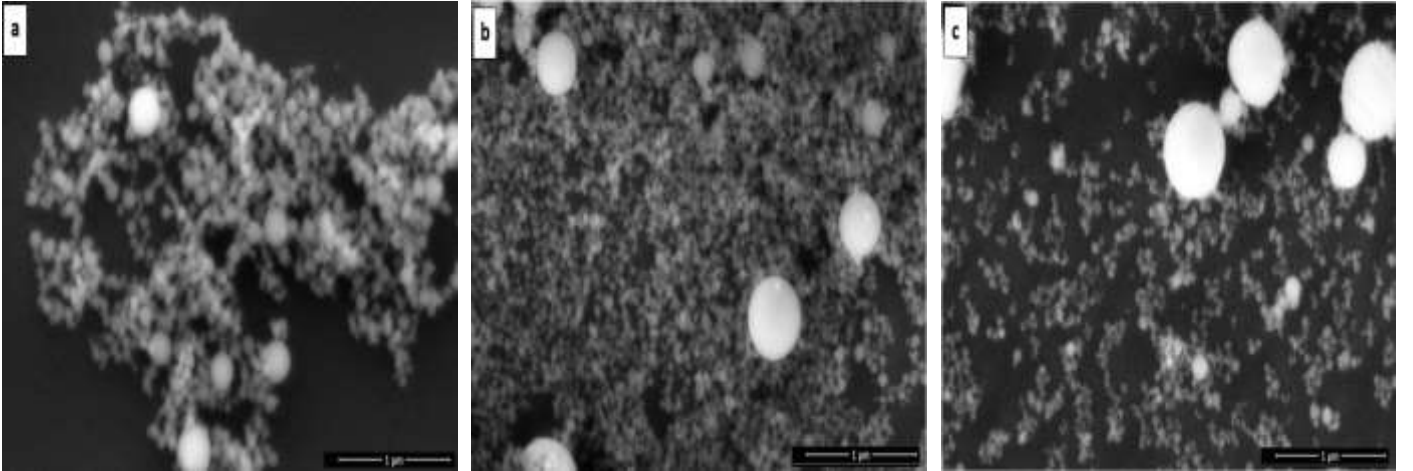
### 2.3. Örnek Hazırlama

DLS ölçümleri öncesi toz halinde bulunan HA, KF ve TKF, NANOGENOTOX dağılım protokolü takip edilerek koloidal çözelti haline getirilmiştir (Hartmann, Jensen, Baun, Rasmussen, Rauscher, Tantra, Cupi, Gilliland, Pianella, & Riego Sintes, 2015). Takip edilen protokol %0,05 sığır serum albumin (BSA) içeren steril damıtılmış su ile hazırlanan nanotozların iki farklı konsantrasyonda (0,5 ve 1,00 mg/ml) ve iki farklı çözücüde (ultra saf su ve fosfat tamponlu salin- PBS) dispersiyonu ve numunenin buzlu suda 15 dakika ultrasonik banyo uygulaması adımlarını içermektedir. Örnek hazırlamaya bağlı farkları minimuma indirebilmek için tüm ölçümler en az üç kez tekrarlanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Boyut ve Morfoloji Analizi

KF, TKF ve HA nanopartiküllerinin morfolojik ve boyut tayini için yapılan SEM analizlerine ait görüntüler Şekil 1' de verilmiştir. SEM görüntüleri nanopartikülleri polidispers yani birbirinden farklı tanecik boyutuna sahip yapıda olduğunu göstermiştir. SEM görüntülerinin analizi sonucu ortalama boyut dağılımının KF için yaklaşık 100 nm, TKF ve HA için yaklaşık 60 nm olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. a: KF nanopartiküllerinin; b: TKF nanopartiküllerinin; c: HA nanopartiküllerinin SEM görüntüsü  
(Figure 1. SEM images of nano-sized a: Calcium phosphate; b: Tricalcium phosphate; c: Hydroxyapatite)

SEM ile elde edilen parçacık boyutu ölçümleri tedarikçi tarafından sağlanan parçacık boyut verisiyle (KF<150 nm; TKF&HA <200 nm) aynı aralıkta olmasına karşın en küçük parçacık boyutuna sahip olduğu düşünülen KF'nin boyutları diğer nanopartiküllerden fazla ölçülmüştür. TKF ve HA için yapılan ölçümler parçacık boyutunun doğal kemiğin yapısıyla uyumlu olduğunu göstermiştir.

Nanopartiküllerin hidrodinamik çapları DLS ile ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Ölçümler iki farklı nanopartikül konsantrasyonunda (0,5 ve 1,0 mg/ml) tekrar edilmiş ve seyreltme işlemi için iki farklı çözücü (ultra saf su ve PBS) kullanılmıştır. Tablo 1'den görüldüğü üzere genel olarak ultra saf su ile seyreltme sonucu KF ve HA nanopartikülleri için hidrodinamik çap azalırken fosfat grupları içeren PBS ile seyreltme sonucunda ciddi oranda agregasyonu işaret eden boyut artışı görülmektedir. TKF nanopartikülleri için ultra saf su ile seyreltme hidrodinamik çapı azaltmamış ancak PBS benzer şekilde agregasyona sebep olmuştur. Konsantrasyon artışı PBS ile seyreltilme durumunda agregasyonu arttırmış ancak ölçüm yapılan diğer iki durumda önemli bir boyut değişimine neden olmamıştır. SEM sonuçları ile kıyaslandığında, KF'nin diğer iki nanopartikülden daha yüksek boyutlu olduğu DLS ile doğrulanmıştır.

Tablo 1. DLS boyut ölçümleri (A\*: BSA ile hazırlanmış; B\*\*: Ultra saf su ile seyreltilmiş; C\*\*\*: PBS ile seyreltilmiş)

(Table 1. DLS hydrodynamic size measurements of samples prepared with A\*: BSA; B\*\*: Ultra-pure water; C\*\*\*: PBS)

Malzeme	Konsantrasyon (mg/ml)	Hidrodinamik çap (nm)		
		A*	B**	C***
Kalsiyum Fosfat (KF)	0,5	365,0 ±54,1	261,1 ±16,3	296,6 ±29,7
	1,0	338,3 ±5,2	248,4 ±8,5	972,2 ±505,7
Trikalsiyum Fosfat (TKF)	0,5	183,9 ±14,0	186,6 ±20,7	905,0 ±22,9
	1,0	162,1 ±8,9	166,4 ±9,7	1962 ±835,4
Hidroksiapatit (HA)	0,5	217,4 ±15,8	192,6 ±7,8	673,4 ±116,6
	1,0	226,0 ±9,8	206,3 ±12,5	1073,3 ±27,6

### 3.2. Yüzey Yükü Analizi

Zeta potansiyel ölçümleri partiküller arası itme ve çekme değerinin ölçülmesine dayanır. Zeta potansiyel değerinin belirlenmesi partiküllerin dispersiyon ve agregasyon davranışlarının kontrol edilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. TKF ve HA nanopartiküllerinin zeta potansiyel ölçümü hidrodinamik çap ölçümleri için de kullanılan Malvern Zeta-Sizer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen zeta potansiyel ölçüm sonucu TKF için  $-14,4 \pm 1,8$  mV, HA için  $-16,5 \pm 0,5$  mV olarak bulunmuştur (pH:7). Zeta potansiyel değeri  $-30$  mV'den daha negatif olan partiküllerin normal olarak stabil kabul edildiği düşünüldüğünde ölçüm yapılan nanotozların dağılım kararlılığı olmadığı söylenebilir.

### 3.3. Yüzey Alanı Analizi

BET analiz cihazı ile ölçülen BET yüzey alanı, Langmuir yüzey alanı, tek nokta yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek çapı gibi yüzey özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur. Tablodaki değerler incelendiğinde nanotozların BET yüzey alanlarının  $21,6-36,5$  m<sup>2</sup>/g aralığında değiştiği görülmektedir. Ölçülen bu değerler tedarikçi tarafından bildirilen yüzey alanı değerlerinden yaklaşık 2-3 kat daha fazladır. Bu sonuçlar parçacık boyutu sonuçları ile birlikte incelendiğinde yüzey alanı ve nanopartikül boyutu arasındaki ters ilişki görülmektedir. Örneğin en küçük parçacık boyutuna sahip olan TKF nanotozlarının aynı zamanda en yüksek yüzey alanı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, analizi yapılan üç malzeme arasından HA'nın yüzeyinin en fazla gözenek yapısına sahip olduğu da belirlenmiştir. HA'nın gözenekli yapısı vücut sıvılarının malzemeye kolayca erişebilmesi ve kemik yenilenmesine destek olması dolayısıyla dental uygulamalarda avantaj sağlayabilmektedir (Chang, Hong, Youn, Ryu, Chung, & Park, 2000; He, Standard, Huang, Latella, & Swain, 2008).

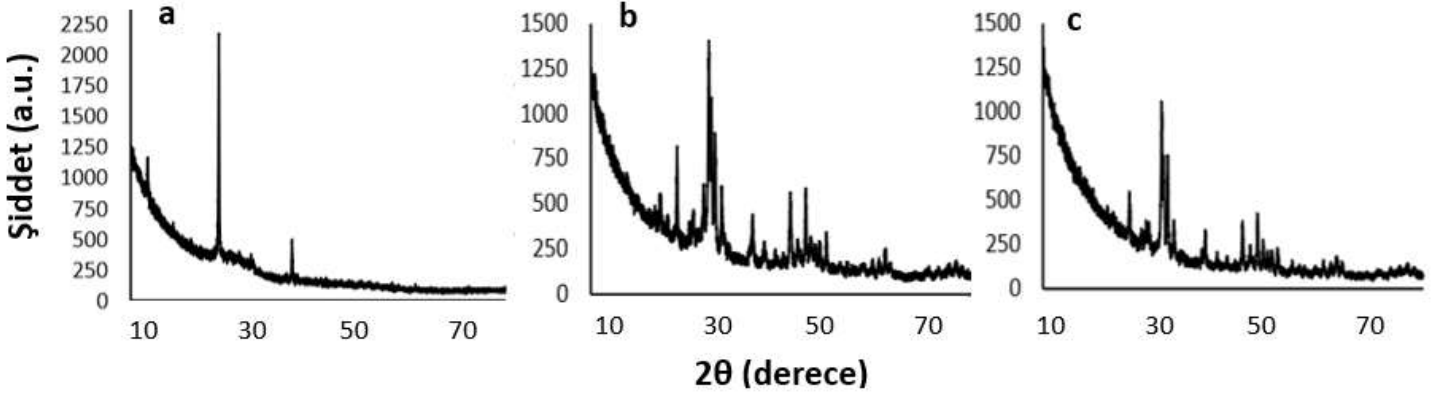
Tablo 2. Seramik nanotozların BET ile ölçülen yüzey özellikleri

(Table 2. Surface properties of ceramic nanopowders measured with BET)

BET Ölçümleri	KF	TKF	HA
Tek nokta yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	21.1	35,8	30,7
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	21.6	36,5	31,3
Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	33,8	57,1	49,1
Gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0,2	0,8	1,8
Gözenek çapı (Å)	401	883	2357

### 3.4. Kristaloğrafik Analiz

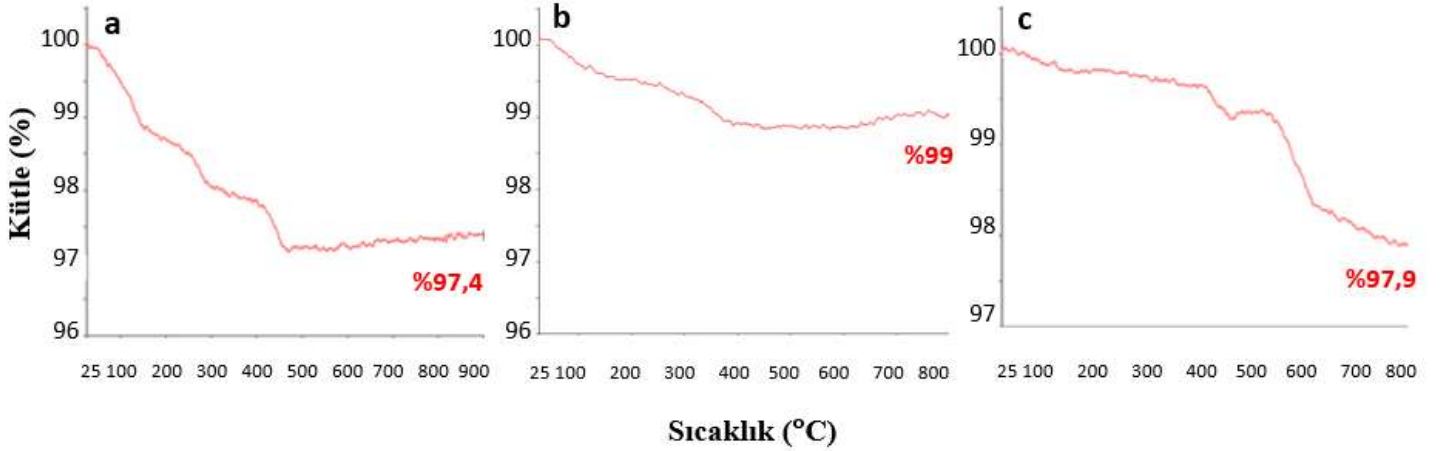
Nanotozlarına ait XRD pikleri Şekil 2’de verilmiştir. Elde edilen XRD grafikleri üzerinde tepe noktalarına karşılık gelen  $2\theta$  açı değerleri KF, TKF ve HA için sırasıyla ve  $26,4^\circ$ ,  $31,7^\circ$  ve  $31,8^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bu sonuçların tüm XRD modellerinin kalsiyum fosfatlar için geçerli Toz Kırınım Standartları Ortak Komitesi (JCPDS) dosyaları (JCPDS no. 09-0169 ve 09-0432) ile tutarlı karakteristik zirvelere sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2. a: KF nanopartiküllerinin; b: TKF nanopartiküllerinin; c: HA nanopartiküllerinin XRD analiz sonucu  
(Figure 2. XRD analysis results of nano-sized a: Calcium phosphate; b: Tricalcium phosphate; c: Hydroxyapatite)

### 3.5. Termogravimetrik Analiz

Seramik nanotozların sıcaklığa bağlı kütle kaybı TGA/DTA cihazı ile ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 3’te sunulmuştur. TGA/DTA spektrumları incelendiğinde KF için kütle kaybı % 2,6, TKF için %1 ve HA için % 2,1 olarak ölçülmüştür. Nanotozlara ait TGA eğrileri incelendiğinde KF ve HA için  $500-600^\circ\text{C}$  civarında yaklaşık %2’lik bir kütle kaybı olduğu ancak genel olarak test edilen üç nanotozun da termal kararlılığının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3. a: KF nanopartiküllerinin; b: TKF nanopartiküllerinin; c: HA nanopartiküllerinin TGA spektrumu  
(Figure 3. TGA analysis results of nano-sized a: Calcium phosphate; b: Tricalcium phosphate; c: Hydroxyapatite)

## 4. Sonuç

Bu çalışmada dental uygulamalarda sıklıkla kullanılan kalsiyum fosfat yapıları 3 farklı seramik nanomalzeme detaylı olarak karakterize edilmiştir. Nanopartiküllerin karakterizasyonu için SEM, DLS, XRD, BET ve TGA analiz yöntemleri kullanılmıştır. SEM analizi sonuçları nanopartiküllerin genel olarak küresel yapıda olduklarını ancak homojen bir dağılım sergilemediğini göstermiştir. SEM görüntüleri ortalama parçacık boyutunun KF için yaklaşık 100 nm, TKF ve HA için yaklaşık 60 nm civarında olduğunu ve nanopartiküllerin agregasyon eğilimini göstermiştir. DLS ölçümleri nanopartiküllerin nötr pH’da negatif zeta potansiyeli ( $\approx -15$  mV) sahip olduğunu ancak bu negativitenin kararlı dağılım şartını ( $< -30$  mV) sağlamadığını ortaya koymuştur.  $2\theta$  açısında KF, TKF ve HA için sırasıyla ve  $26,4^\circ$ ,  $31,7^\circ$  ve  $31,8^\circ$  görülen XRD pikleri nanopartiküllere ait karakteristik piklerdir ve literatür ile uyumludur (Chen, Mccrate, Lee, & Li, 2011). TGA analizi sonucu seramik nanotozların yüksek sıcaklıklarda bile ( $800-900^\circ\text{C}$ ) kütle kaybının çok az ( $< \%2,6$ ) olduğunu ve dolayısıyla yüksek termal kararlılıkta olduklarını göstermiştir. KF, TKF ve HA nanotozlarının BET yüzey alanları sırasıyla  $21,6$ ,  $36,5$  ve  $31,3$   $\text{m}^2/\text{g}$  olarak belirlenmiştir. BET analizi sonucunda hesaplanan bu değerler tedarikçi tarafından sağlanan e-ISSN: 2148-2683



yüzey alanı değerlerinden en az 2 kat daha fazladır. Yapılan çalışmalar karakterizasyon ölçümlerinin örnek hazırlama adımlarına ve deneysel parametre seçimlerine yakından bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Sonraki adımda detaylı olarak karakterizasyonu yapılan bu üç seramik yapıları nanomalzemenin insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkilerinin *in vitro* sitotoksikite testleri yardımıyla ölçülmesi planlanmaktadır.

## Kaynakça

- Bordea, I. R., Candrea, S., Alexescu, G. T., Bran, S., Băciuț, M., Băciuț, G., . . . Todea, D. A. (2020). Nano-hydroxyapatite use in dentistry: A systematic review. *Drug metabolism reviews*, 52(2), 319-332.
- Chang, B.-S., Hong, K.-S., Youn, H.-J., Ryu, H.-S., Chung, S.-S., & Park, K.-W. (2000). Osteoconduction at porous hydroxyapatite with various pore configurations. *Biomaterials*, 21(12), 1291-1298.
- Chen, L., Mccrate, J. M., Lee, J. C., & Li, H. (2011). The role of surface charge on the uptake and biocompatibility of hydroxyapatite nanoparticles with osteoblast cells. *Nanotechnology*, 22(10), 105708.
- D'Amato, R., Falconieri, M., Gagliardi, S., Popovici, E., Serra, E., Terranova, G., & Borsella, E. (2013). Synthesis of ceramic nanoparticles by laser pyrolysis: from research to applications. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 104, 461-469.
- Ebrahimi, M., Botelho, M., Lu, W., & Monmaturapoj, N. (2019). Synthesis and characterization of biomimetic bioceramic nanoparticles with optimized physicochemical properties for bone tissue engineering. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 107(8), 1654-1666.
- Fathian, Z., Maleki, A., & Niroumand, B. (2017). Synthesis and characterization of ceramic nanoparticles reinforced lead-free solder. *Ceramics International*, 43(6), 5302-5310.
- Hartmann, N. B., Jensen, K. A., Baun, A., Rasmussen, K., Rauscher, H., Tantra, R., . . . Riego Sintes, J. M. (2015). Techniques and protocols for dispersing nanoparticle powders in aqueous media—Is there a rationale for harmonization? *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 18(6), 299-326.
- He, L.-H., Standard, O. C., Huang, T. T., Latella, B. A., & Swain, M. V. (2008). Mechanical behaviour of porous hydroxyapatite. *Acta Biomaterialia*, 4(3), 577-586.
- Karakus, C. O., & Winkler, D. A. (2021). Overcoming roadblocks in computational roadmaps to the future for safe nanotechnology. *Nano Futures*, 5(2), 022002.
- Khandan, A., Nassireslami, E., Saber-Samandari, S., & Arabi, N. (2020). Fabrication and characterization of porous bioceramic-magnetite biocomposite for maxillofacial fractures application. *Dental Hypotheses*, 11(3), 74.
- Lynch, I., Weiss, C., & Valsami-Jones, E. (2014). A strategy for grouping of nanomaterials based on key physico-chemical descriptors as a basis for safer-by-design NMs. *Nano today*, 9(3), 266-270.
- Ming, W., Jiang, Z., Luo, G., Xu, Y., He, W., Xie, Z., . . . Li, L. (2022). Progress in Transparent Nano-Ceramics and Their Potential Applications. *Nanomaterials*, 12(9), 1491.
- Moreno-Vega, A.-I., Gomez-Quintero, T., Nunez-Anita, R.-E., Acosta-Torres, L.-S., & Castaño, V. (2012). Polymeric and ceramic nanoparticles in biomedical applications. *Journal of Nanotechnology*, 2012.
- Oksel Karakus, C., Bilgi, E., & Winkler, D. A. (2021). Biomedical nanomaterials: applications, toxicological concerns, and regulatory needs. *Nanotoxicology*, 15(3), 331-351.
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella Jr, M. F., Rejeski, D., & Hull, M. S. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein journal of nanotechnology*, 6(1), 1769-1780.
- Wang, B., Wang, C., Yu, X., Cao, Y., Gao, L., Wu, C., . . . Zou, Z. (2022). General synthesis of high-entropy alloy and ceramic nanoparticles in nanoseconds. *Nature Synthesis*, 1(2), 138-146.
- Winkler, D. A., Mombelli, E., Pietroiusti, A., Tran, L., Worth, A., Fadeel, B., & McCall, M. J. (2013). Applying quantitative structure-activity relationship approaches to nanotoxicology: current status and future potential. *Toxicology*, 313(1), 15-23.
- Wu, J., Ling, C., Ge, A., Jiang, W., Baghaei, S., & Kolooshani, A. (2022). Investigating the performance of tricalcium phosphate bioceramic reinforced with titanium nanoparticles in friction stir welding for coating of orthopedic prostheses application. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 1685-1698.
- Zare, E. N., Zheng, X., Makvandi, P., Gheybi, H., Sartorius, R., Yiu, C. K., . . . Varma, R. S. (2021). Nonspherical Metal-Based Nanoarchitectures: Synthesis and Impact of Size, Shape, and Composition on Their Biological Activity. *Small*, 17(17), 2007073.
- Zhao, Y., Zhang, Z., Pan, Z., & Liu, Y. (2021). Advanced bioactive nanomaterials for biomedical applications. Paper presented at the Exploration.



# Kredi Temerrüt Riskini Tahmin Etmede Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması

Toprak Enes Tütüncü<sup>1</sup>, Sevda Gürsakağ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, S.B.E.Ekonometri Bölümü YL Öğrencisi, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8822-584X), [toprakenesututuncu@yahoo.com](mailto:toprakenesututuncu@yahoo.com)

<sup>2\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1324-3648), [sdalgic@uludag.edu.tr](mailto:sdalgic@uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 06 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1171611)

**ATIF/REFERENCE:** Tütüncü, T.E., Gürsakağ, S. (2023). Kredi Temerrüt Riskini Tahmin Etmede Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 14-22.

## Öz

Bankalar ve çeşitli finans kuruluşları tarafından karşılanan kredilerin, müşteri tarafından geri ödenememesi hem kredi veren kuruluşun sermaye kaybını hem de genel ekonomide oluşabilecek çeşitli risk faktörlerini beraberinde getirmektedir. Bu süreçte, oldukça kritik öneme sahip olan kredi riskinin doğru yönetilebilmesi ve uluslararası finans istikrarının sağlanması için Basel Komitesi ve BDDK (Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu) gibi finans denetimi kuruluşları, kredi veren kurumların kredi verme karar aşamasında çeşitli regülasyon politikaları belirlemektedir. Ayrıca, kredi veren kurumlar analitik risk birimleri aracılığıyla kredi değerlendirme modelleri geliştirerek, müşterilere ait kredi risk skorunu hesaplamaktadır.

Bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemiyle kredi skorlama sistemlerinde kullanılacak en başarılı tahmini gerçekleştiren algoritmanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Gradyan Artırma, Yapay Sinir Ağları, Lojistik Regresyon, Rassal Orman, Karar Ağacı, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu ve WOE dönüşümleriyle Lojistik Regresyon algoritmaları için modeller kurulmuş ve temerrüde düşen ve temerrüde düşmeyen müşteriler için en iyi sınıflandırma performansı gösteren Gradyan Artırma algoritması olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kredi Riski, Makine Öğrenmesi, Gradyan Artırma, Yapay Sinir Ağları, Lojistik Regresyon, Rassal Orman, Karar Ağacı, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu

## Predicting Default Probability in Credit Risk with Machine Learning Algorithms

### Abstract

Failure to repay the loans provided by banks and various financial foundations by the customer, entails both the capital loss of the lending institution and various risk factors that may occur in the general economy. In this context, financial control institutions such as the Basel Committee and BRSA (Turkish Banking Regulatory and Supervision Agency) have determined various regulatory policies during the phase of lending decision of the lending institutions in order to ensure the appropriate management of loan risk, which have critical importance, and to ensure international financial stability. In addition, lending institutions develop credit evaluation models via analytical risk units and calculate the credit risk score of customers.

In this study, it is aimed to determine the algorithm that makes the most successful estimation that can be used in credit scoring systems with the machine learning method. Within this scope, models for algorithms with Gradient Boosting, Artificial Neural Networks, Logistic Regression, Random Forest, Decision Tree, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbor and WOE transformations Logistic Regression were established and Gradient Boosting algorithm has shown the best classification performance for defaulters and non-defaulters.

**Keywords:** Credit Risk, Machine Learning, Gradient Boosting, Neural Network, Logistic Regression, Random Forest, Decision Tree, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor

\* Sorumlu Yazar: [sdalgic@uludag.edu.tr](mailto:sdalgic@uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

BDDK'ya göre kredi riski, kredi müşterisinin yapılan sözleşme gereklerine uymayarak yükümlülüğünü kısmen veya tamamen zamanında yerine getirememesinden dolayı bankanın maruz kalabileceği zarar olasılığı olarak tanımlanmıştır (BDDK,2012). Jorion, "Financial Risk Manager Handbook, Wiley Finance Series" adlı eserinde kredi riski için karşı tarafın sözleşmeden doğan yükümlülüklerini yerine getirememesinden kaynaklanan ekonomik kayıp risk olarak tanımlamıştır (Jorion, 2009). Mandacı, "Türk Bankacılık Sektörünün Taşıdığı Riskler ve Finansal Krizi Asmada Kullanılan Risk Ölçüm Teknikleri" çalışmasında kredi riskini, ödenmeme veya geç ödemeden dolayı net kar ve özvarlığın piyasa değerindeki olası değişim olarak ifade etmiştir. (Mandacı, 2003).

Yanlış müşteri seçimi, sözleşmedeki eksiklikler, müşterinin mali gücünün sorumluluklarını yerine getiremeyecek kadar yetersiz olması, gelir/borç ödeme dengesine uymayacak kadar yüksek kredi limiti tahsisi, alınan teminatların yetersiz olması ve ekonomik faktörler nedeniyle krediler tahsil edilememe riski taşımaktadır (Bhargava, 2000). Sonuç olarak kredi riski, banka ile müşteri arasında yapılan kontrat gereği müşterinin üstlendiği yükümlülüklerini sözleşmede belirlenen süre zarfında eksiksiz yerine getirememe durumudur. Diğer bir ifadeyle, müşterinin bankadan almış olduğu faizli kredinin sözleşme yükümlülüklerine göre zamanında bankaya geri ödeyememe (temerrüde düşme) durumudur.

Bankaların finansal getirileri göz önünde bulundurulduğunda, kredi riski için ayrılan likidite ile diğer risk tipleri için ayrılan likidite arasında yüksek fark vardır. Dolayısıyla banka için kredi riskinin diğer risklere kıyasla daha önem arz ettiği söylenebilir. Kredi riski, bankaların karşılaştığı en büyük risktir (Apostolik, 2009). Yanlış kredi risk politikalarının, finansal ve finansal olmayan sektörler üzerinde ciddi izler bırakması sonucu risk ölçümünün önemi ön plana çıkarak, bankacılık risklerine yönelik düzenlemelerle ilgili uluslararası çalışmaların hız kazanmasına sebep olmuştur. Bu bağlamda kredi temerrüt riskinin belirlenmesi amacıyla birçok araştırma ve analiz tekniği geliştirilmiştir. Bu konuda birçok farklı yaklaşım ortaya atılmıştır. Geleneksel bir yaklaşım olarak kredi temerrüt riskinin tahmininde Lojistik Regresyon ve Diskriminant Analizi gibi teknikler kullanılmakta iken, makine öğrenmesi algoritmaları da yeni bir yaklaşım olarak bu alanda yerini almış ve birçok farklı alanda kullanıldığı gibi kredi riski alanında da uygulamaları artmaya başlamıştır. Makine öğrenmesinin doğru kullanılması ve sonucunda probleme yönelik iyi eğitilmiş ve başarılı olan modellerin tasarlanması halinde, sürekli yenilenen kredilerin başarılı veya başarısız olarak tahmin edilmesi sağlanacak olup bu da finansal kuruluşun kredi risklerini iyi yönetebilmesi açısından son derece önemli olacaktır.

Kredi temerrüt riski tahmininde çok sayıda makine öğrenmesi algoritması kullanılmasına rağmen, hangi tekniğin en iyi performansı sağladığına dair bir görüş birliğine varılamamıştır. Bu sebeple, algoritmalar ile kurulan modellerin sınıflandırma başarıları, çeşitli istatistiksel ve makine öğrenmesi teknikleriyle ölçülerek, en iyi sınıflandırma performansı sağlayan model, optimum model belirlenmektedir.

Literatürde bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde Bellotti (2009), Destek Vektör Makineleri algoritmasının, kredi kartı müşterileri sınıflandırılırken kimin temerrüde düşeceğinin hesaplamasında başarılı olduğu ve ayrıca test edildiğinde ve geleneksel tekniklerle kıyaslandığında temerrüt riskini belirlemede en önemli özellikleri keşfetmede rekabetçi oldukları bulunmuştur. Yeh (2009), Kredi skorlamada Diskriminant Analizi, Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Sınıflandırma Ağaçları ve Bayes sınıflandırıcı gibi birçok algoritmadan yararlandığını, bunlar arasından Yapay Sinir Ağlarının daha doğru sonuçlar verdiğini bulmuştur.

Zhou ve Wang (2012) daha iyi tahmin için karar ağaçlarına ağırlık tahsis etmeyi önermişlerdir. Hamori ve arkadaşları (2018), kredi riski analizinde sinir ağı yöntemleriyle Torbalama (Bagging), Rassel Orman ve Artırma (Boosting) ile tahmin doğruluğu ve sınıflandırma yeteneğini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Çalışmada makine öğrenme algoritmaları arasında Artırmanın daha iyi performans sağladığını bulmuşlardır. Temerrüt olasılığının düşük olduğu portföyler, düşük risk olarak kabul edilirken, temerrüde düşen sınıflar arasında bir dengesizlik problemi ile karşılaşılabilir. Sınıf dengesizliği oluşturan portföyler için Gradyan Artırma ve Rassel Karar Ormanları sınıflandırıcı tekniklerinin iyi performans gösterdiği bulunmuştur (Brown, 2012). Zhang (2017)'a göre doğruluk oranı söz konusu olduğunda K-En Yakın Komşu, Rassel Orman ve Yapay Sinir Ağları algoritmaları iyi performans göstermektedir. Barboza (2017) yaptığı çalışmada Torbalama, Artırma ve Rassel Orman benzer prosedürleri içermesine rağmen, Rassel Ormanın genellikle daha iyi doğruluk ve hata oranları ürettiğini ortaya koymuştur.

Kavcıoğlu (2019), kurumsal kredileri skorlamada klasik yöntemler ile yapay sinir ağlarını karşılaştırarak, eğitim veri setinde yapay sinir ağlarının lojistik regresyona kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiğini saptamıştır. Verinin boyutu ve kalitesini dikkate alarak Yapay Sinir Ağları gibi makine öğrenmesi algoritmalarının daha iyi performans gösterdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Demirbulut ve arkadaşları (2017), istatistiksel ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla kredi skorlama yöntemlerini ele alarak karşılaştırma analizleri yapmışlardır. Sınıflandırma başarısını AUC (Area Under Curve) değeriyle ölçülerek, YSA modelinin en başarılı algoritma olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, müşterilere ait bireysel kredilerin riskini hesaplayarak, temerrüt oranını değerlendirmek amacıyla yedi farklı istatistiksel ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, modelde öznitelik değişkeni olarak girdi görevi görececek değişkenler farklı değişken indirgeme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Nihai değişken seçimi için LASSO Regresyonu kullanılmış olup, ilgili tekniğin ceza parametresinin en güçlü sınıflandırıcı öznitelik değişkenlerin keşfedilmesini sağlamıştır. Nihai öznitelik değişkenleri ile temerrüt risk oranının tahminlemesi için Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Karar Ağacı, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu, Rassel Orman, Gradyan Artırma ve WOE dönüşümleri gerçekleştirilmiş haliyle Lojistik Regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Doğruluk, Hassasiyet, Özgüllük, Kesinlik, F1 skoru ve ROC eğrisi olmak üzere altı farklı ölçüye göre algoritmalar arasında performans karşılaştırılması yapılmıştır. Analitik veri kalitesi ve model geliştirme süreçlerinde SAS Enterprise Guide ve SAS Enterprise Miner yazılım programları kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Makine Öğrenme algoritmaları, “eğitim verileri” olarak da bilinen örnek veri setini kullanarak otomatik olarak bir matematiksel model oluşturur ve bu kararları almak için özel olarak programlanma ihtiyacı duymaz. Öğrenmenin en temel örneği verilere düz bir çizginin yerleştirilmesi olabilir, ancak makine öğrenmesi genellikle düz çizgilere göre çok daha esnek modellerle ilgilenir. Bunu yapmasının amacı, modelin öğrenmede kullanılmayan veriler hakkında kendi içinde yeni sonuçlar çıkarmak içindir. (Lindholm, 2019).

Son yıllarda alandaki teknik gelişmeler, verilerin kullanılabilirliğinin artması ve artan bilgi işlem gücünün bir sonucu olarak makine öğrenmesinin yeteneklerinde önemli ilerlemeler görülmüştür. Bu ilerlemelerin bir sonucu olarak, sadece birkaç yıl önce doğru sonuçlar elde etmek için mücadele eden sistemlerin artık belirli görevlerde insanlardan daha iyi performans gösterebileceği kanıtlanmıştır. Günümüzde bazı görevlerde insanlardan daha iyi performans gösterebilen ses ve nesne tanıma sistemleri bulunmaktadır. Örneğin, 2015 yılında araştırmacılar, tek tek el yazısı rakamları tanımaya odaklanan dar bir vizyonla ilgili görevde insan yeteneklerini aşan bir makine öğrenme sistemi oluşturmuşlardır (Markoff, 2015).

Makine öğrenmesi teknikleri denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme, yarı – denetimli öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme olarak dört ana başlıkta incelenebilir. Denetimli öğrenmedeki esas amaç, öngörülemeyen veya gelecekteki veriler hakkında tahminlerde bulunmamızı sağlayan etiketli eğitim verilerinden bir model öğrenmektir (Raschka, 2015). Denetimli öğrenme algoritmaları kendi içinde uygulama amaçlarına ve yapılarına göre sınıflandırma, regresyon ve tahmin yaklaşımları şeklinde görevlere ayrılır. Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesinin sınıflandırma amacıyla kullanılacaktır.

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

Sınıflandırma, hedefin, geçmiş gözlemlere dayalı yeni örneklerin kategorik sınıf etiketlerini öngörmek olduğu, denetimli öğrenmenin bir alt kategorisidir. Bu sınıf etiketleri, örneklerin grup üyelikleri olarak anlaşılabilen ayrık, sıralanmamış değerlerden oluşur (Raschka, 2015). Sınıflandırma amacıyla kullanılan algoritmalar, yapısal veya yapısal olmayan veriler üzerine uygulanarak, gözlemlenen değerlerden bir sonuç çıkarıp yeni gözlemin hangi kategoriye ait olduğunu ikili sınıflandırma, çoklu sınıflandırma veya çoklu etiket sınıflandırma gibi yöntemler kullanarak belirler.

Sınıflandırma yöntemlerinde Lojistik Regresyon, Boosting, Karar Ağacı, Rassal Orman, Naive Bayes, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri en çok tercih edilen algoritmalarıdır.

#### 2.1.1. Lojistik Regresyon

Lojistik Regresyon, hedef değişkeninin olası iki değer alması (dikotom) durumunda, öznitelik değişkenlerinin bir lojistik fonksiyon olarak tanımlanması ve hedef değişkeni ile arasındaki ilişkinin regresyon analizi yardımıyla incelenerek, hedef değişkeni için sonucun olasılık değerinin logaritmasının tahmin edilmesidir. Lojistik Regresyonun yapısı doğrusal regresyona benzerlik gösterse de teknik olarak ayrık sınıfları öngören bir sınıflandırma aracıdır. Bu bağlamda, Lojistik Regresyon, özellikle tüketici kredisi endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır (Hand, 2009).

Temerrüt riskinin tahmininde, bir müşterinin kredi ödemelerindeki davranış yapısının iyi veya kötü ödeme durumuna bağlı olarak ikili durumu incelenir. Bu iki yanıt modeli için, hedef değişken  $y$  iki olası değerden birini alabilir: müşteri kötü bir ödeyici ise  $y=1$ ; iyi bir ödeyici ise  $y=0$  (Brown, 2014).

#### 2.1.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

Yapay sinir ağları, hedef ve öznitelik değişkenleri arasındaki ilişkiyi analiz katmanları aracılığıyla işlemek için daha esnek bir tasarım sunan bir makine öğrenme algoritmasıdır. Temel olarak girdi katmanı, gizli (ara) katman ve çıktı katmanından oluşan bir yapıdadır. YSA, biyolojik sinir ağlarını taklit eden sentetik yapılardır (Eğrioğlu, 2009:10590). Dolayısıyla belirlenmiş bir modelin parametrelerini tahmin etmek yerine, beyin gibi biyolojik sinir sistemlerinin bilgi işlem biçiminden ilham alınarak tasarlanmıştır. Bu tasarım esasen insan beyinleri değil, hayvan beyinlerinin paralel mimarisi dikkate alınarak modellenmiştir (Bell, 2014).

Yapay Sinir Ağlarının yapısı, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış fonksiyonu olarak beş bölümden oluşmaktadır. YSA üzerindeki her bir nöron, bir işleme alınma durumunu ifade etmektedir. Ağın öğrenme işlemini gerçekleştirmek için dışarıdan veya gereksinime göre diğer hücrelerden nöronlara gelen girdiler ( $X_j$ ), işlenerek bir sonraki nöron için çıkış değerini iletir. Girdilerin çıktı üzerindeki etkisinin hesaplanabilmesi için her bir girdinin eğitim sırasında geldikleri bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak bir parametre (ağırlık/ $W_j$ ) üretilir. Çıkan sonuç, girdi değerlerinden bağımsız ve modelin fit edilmesine yardımcı olan bias ( $b$ ) değişkeni ile toplanarak, toplama fonksiyonları (toplam, çarpım, maksimum, minimum, vd.) ile beslenir. Toplama fonksiyonları aracılığıyla, elde edilen net girdi, aktivasyon fonksiyonları (sigmoid, tanjant hiperbolik, doğrusal, relu, vd.) ile beslenerek bir veri çıktısı elde edilir.

Çalışmaya konu olan temerrüt riski tahmininde net girdinin hesaplanması için toplama fonksiyonları arasından ağırlıklı olarak kullanılan toplam fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonu ile bir yanıt olasılığı elde etmek için ise aktivasyon fonksiyonları arasından ikili bir tahminleme olan sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

#### 2.1.3. Karar Ağacı (Decision Tree)

Denetimli bir öğrenme tekniği olan karar ağaçları hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilen, ağaç benzeri bir yapıda düzenlenmiş bir dizi kural tabanlı hiyerarşik bir sınıflandırma algoritmasıdır. Karar ağaçları, heterojen yapıdaki nicel veya nitel veri setlerini, hedef değişkene dayalı homojen alt gruplara ayırarak hedef değişkene ait değerlerin tahminini gerçekleştiren, uygulanabilir

bir model kurmayı hedefler. Örneğin, bir kredi riski vaka çalışmasında, kredi başvurusunda bulunan müşteriye ait borç, yaş, gelir ve medeni durum bilgileri bulunabilir. Karar ağacı, her bir başvuruyu iyi veya kötü bir kredi riski olarak tahmin edebilen (sınıflandırabilen) bir dizi metin kuralı veya grafiksel bir ağaç olarak bir model oluşturur (Zhang, 2002).

#### 2.1.4. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)

Yüksek boyutlara sahip veri türleri için sınıflandırma veya regresyon analizini gerçekleştirmede ekstra avantajlara sahip denetimli öğrenme yöntemi olan Destek Vektör Makineleri, iki sınıfın optimal bölünmesinde karar fonksiyonunun tahmin edilmesi, diğer bir ifadeyle  $n$  boyutlu bir uzayda optimal bir sınıflandırma için hiperdüzlemin belirlenmesine dayanmaktadır. Destek Vektör Makineleri, doğrusal ayrılabilen ve doğrusal ayrılamayan veri türleri için farklı prensipler sunmakla birlikte, bu çalışma kapsamında kullanılan doğrusal ayrılabilen DVM incelenecektir.

#### 2.1.5. K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbour)

K-En Yakın Komşu algoritması, sınıflandırma ve regresyon için kullanılan parametrik olmayan bir denetimli öğrenme tekniğidir. Eğitim sürecini verilerin kaydını tutarak gerçekleştirdiğinden diğer makine öğrenme yöntemlerine göre daha tembel bir öğrenme tekniğine sahiptir. Basit yapılarına rağmen, uydu görüntüleri, el yazıları, elektrokardiyogram görüntüleri gibi birçok sınıflandırma çalışmalarında başarılı sonuçlar elde etmektedir. Algoritma temel olarak, eğitim verilerinin özellik uzayındaki belirli bir  $k$  hiperparametresine olan uzaklığına göre oluşturulan sınıflandırmanın, örnek tabanlı öğrenmesine dayanmaktadır.

K-En Yakın Komşu algoritmasının optimum sonuç üretmesi için en uygun uzaklık matrisinin hesaplanmasına ve optimal sınıflandırmayı sağlayacak komşu sayısına ( $k$  hiperparametresine) ihtiyaç vardır. Eğitim veri setindeki gözlemler arasındaki mesafenin tanımlanması ve optimal uzaklık matrisinin hesaplanması için Öklid, Manhattan, Minkowski, Mahalanobis, Kosinüs, Jaccard, Hamming gibi yöntemler kullanılmaktadır.

#### 2.1.6. Rassal Orman (Random Forest)

Topluluk Öğrenmesine dayanan Rassal Orman (RO) algoritması, Torbalama (Bootstrap Aggregation) tekniğinden yararlanarak, herhangi bir bilgi ölçüsü metodu kullanmadan seçilen rastgele örneklemeler ve değişkenlerle inşa edilen karar ağaçları topluluklarıdır. Rassal Orman, torbalama tekniği ile seçilen rastgele örneklemelere ek olarak, ağacın her düğümünde rastgele seçilen değişkenler ile karar ormanını oluşturur. Dolayısıyla Rassal Orman, torbalama yönteminin gelişmiş bir şekli olarak kabul edilebilir (Breiman, 2001).

Ek olarak, RO algoritması eğitim veri setinin belirli bir kısmını ağaçlardan elde edilen sonuçların hata oranlarını değerlendirmek için kullanır. (Out-of-Bag, OOB) olarak adlandırılan bu veri seti, ormana ait genel sınıflandırma başarısını da hata skoruyla tespit ederek, model doğruluğunu ölçümlenebilmektedir. Sahip olduğu bu teknikler ile aşırı öğrenme (overfitting) durumuna dayanıklı olsa da gürlütlü verilerin yoğunluğuna göre aşırı öğrenme eğiliminde olabilirler. RO, tıpkı Karar Ağaçları ve Gradyan Artırma algoritmaları gibi öznelik değişkenlerinin hedef değişken üzerindeki sınıflandırıcı gücünü kullanarak öznelik önemliliğini hesaplamaktadır.

#### 2.1.7. Gradyan Artırma (Gradient Boosting)

Gradyan Artırma, regresyon veya sınıflandırma modellerinde tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasındaki uyumun iyileştirilmesi için kayıp fonksiyonun türevleri ile model optimizasyonuna izin veren bir makine öğrenme algoritmasıdır. Model optimizasyonunda kullanılan kayıp fonksiyonu için regresyon modellerinde ortalama hata kare kullanılırken, sınıflandırma modellerinde logaritmik kayıp kullanılmaktadır. Algoritmanın ardındaki yeteneği, artıklardaki örüntüleri model tahmininde parametreleştirilmiş bir yapıda kullanarak, zayıf tahminicileri iyileştirmesi ve algoritmik olarak kayıp fonksiyonunu optimize etmesidir. Bu bağlamda, artık değerlerin bir kayıp fonksiyonunun türevleri olarak toplu etkileşimli iterasyonlarla hem varyansı hem de sapmayı azaltacak şekilde bir öngörü fonksiyonunun doğruluğunu artıran kolektif bir algoritmadır.

## 2.2. Sınıflandırmalar için Performans Ölçüleri

Çalışmaya konu olan kredi temerrüt risk tahmininde, temerrüde düşen ve temerrüde düşmeyen olarak ikili sınıflandırmaları gerçekleştiren algoritmaların performansları için karmaşıklık matrisinden elde edilen sınıflandırma ölçüleri ve ROC eğrisinden yararlanılmaktadır.

## 2.3. Veri Kalitesi ve Model Geliştirme

Çalışmada modele girdi olacak veri kümesi, Kaggle'ın açık erişiminde bulunan Home Credit tarafından sağlanmaktadır. Analitik girdileri kapsayan temel veri kümesi, yedi farklı veri setinden meydana gelmektedir. Başvuru veri seti, tüm başvuru sahiplerinin daha önce temerrüde düşüp düşmediği gibi statik verilerin ve demografik bilgilerin bulunduğu diğer bazı bilgileri içerir. Diğer veri setleri kredi bürosundaki önceki başvuru bilgileri, kredi kartı bakiye ve ödeme bilgileri, daha önce alınan kredi bilgileri, müşterilerin daha önce almış olduğu konut kredilerine ait davranışsal bilgileri, önceki konut kredilerine ait ödeme geçmişi bilgileri ve kredi bürosundan gelen aylık davranışsal bilgilerden oluşmaktadır. Bu veri setlerinden elde edilen 1460 açıklayıcı (öznelik) değişken, 307510 gözleme sahiptir. Çalışma kapsamında, hedef değişken değerlerindeki temerrüde düşenler 1, temerrüde düşmeyenler 0 olarak tanımlanmıştır. Uygulama kapsamında, SAS Enterprise Guide ürünü ile analitik girdi veri seti oluşturulmuş ve diğer analitik geliştirmeler ve makine öğrenmesi algoritmaları SAS Enterprise Miner modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.3.1. Veri Önleme ve Değişken İndirgeme

Analitik modellerde girdi olarak kullanılacak değişkenlerin belirlenmesi, model tahmin gücünü doğrudan etkileyen faktördür. Aynı zamanda girdi olarak kullanılacak gözlemler içinde bu durum geçerlidir. Bu iki perspektifle, temel veri seti üzerinden hem satır (gözlem) hem de sütun (değişken) bazlı indirgeme işlemi bir boyut azaltma tekniğidir. Diğer bir ifadeyle, temel veri seti üzerinden örneklem belirleme ve değişken indirgeme işlemleri, yatay ve dikey perspektifle boyut azaltma teknikleridir.

Bu doğrultuda uygulanan kayıp değer oranı yöntemi kullanılarak mevcutta sahip olunan 1460 değişken içerisinde 461 değişken, eşik değer olarak belirlenen %70'in üstünde kayıp gözleme sahip olduğu tespit edilerek analiz dışı bırakılmıştır. Kullanılan bir diğer değişken indirgeme yöntemi ise Varyans Eşliği yöntemidir. Bu yöntemde göre; eğer bir değişkenin dağılımı yaklaşık sıfır varyans özelliğini taşıyorsa, bu değişkenin hedef değişken üzerinde anlamlı bir etkisi beklenmemektedir. Diğer bir ifadeyle, değişkene ait değerlerin neredeyse tamamı aynı değere sahip ise değişkenin modele katkısının yüksek olmayacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, değişkenlerin dağılımları için 0.01'lik varyans eşik değeri belirlenmiş ve her bir değişkenin kendi içinde %99 oranda aynı değerlere sahip olması durumunda analiz dışı bırakılmasına karar verilmiştir. İncelenen 999 değişken içinden 86 değişkenin %99 oranında aynı değerlere sahip olduğu analiz edilmiştir.

Daha sonra değişken indirgemedeki sıklıkla başvurulan yöntemlerden olan "Kamıt Aralığı (Weight of Evidence (WOE))" ve "Bilgi Değeri (IV)" teknikleri ele alınmıştır. Değişkenlerin açıklayıcı ölçütü olarak Bilgi Değeri kullanılmış ve çalışma konusu olan temerrüt olasılığı kapsamında, öznelik değişkenlerinin iyi ve kötü kredileri ayırt etme yeteneğine göre önem sırası oluşturulmuştur. Değişkenlerin ayrıştırıcı gücü için belirlenen 0.1'lik eşik değerinin altında kalan 866 değişken elenerek analiz dışı bırakılmıştır.

Çalışma kapsamında aykırı değerlerin tespiti için her bir açıklayıcı değişkene ait ortalama, minimum, maksimum ve 90'ıncı yüzdellik dilimi incelendiğinde, gözlemler arasındaki değişkenliğin yüksek olduğu belirlenmiştir. Aykırı değerlerin, örnekleme olan etkisini azaltması için 90'ıncı yüzdellik dilimin üzerinde bulunan 11692 gözlem, aykırı değer olarak kabul edilerek analiz dışı bırakılmıştır.

Ham veri setinde bulunan 295818 müşteriye ait sınıf dağılımı incelenmiş ve temerrüde düşmeyenlerin sayısının temerrüde düşenlere oranla yaklaşık 12 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Tüm popülasyonun %92'sini oluşturan iyi kredilerin, model geliştirme sürecinde sapmaya neden olmaması için tabakalı örneklem metodolojisiyle her iki sınıftan eşit sayıda örneklem belirlenmiştir.

Veri kalitesi ve model geliştirme bölümünde, nihai örneklem seti üzerinden kayıp değerlerin tahmini ve değişken indirgeme işlemlerine devam edilmiş olup, makine öğrenmesinin temel alt yapısını oluşturan verilerin bölünme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kontekste, modellerin eğitilmesi ve en iyi ağırlıkların elde edilmesi için veri setinin %60'ı eğitim, eğitilen modellerin aşırı öğrenmesini önlemek ve sınıflandırma performansını değerlendirmek için %20'si doğrulama ve modelin tahmin yeteneğini ölçmek için %20'si test veri seti olarak ayrılmıştır.

Örneklem içinde bulunan 47 değişkene ait kayıp değerlerin oranları tekrar incelenmiş ve belirlenen %30'luk eşik değerinin üstünde kayıp değere sahip olan değişkenler, ağaç tabanlı kayıp değerlerin atamasında daha tutarlı sonuçlar üretmesi için girdi olarak kullanılmamıştır.

Analitik model verisinin geliştirilme sürecine, örneklem veri setindeki kayıp verilerin atama işlemiyle birlikte, değişken indirgeme adımları ile devam edilmiştir. Uygulanan birçok farklı değişken indirgeme teknikleriyle elde edilen 17 değişken arasından, modelleme öncesi nihai değişkenlerin belirlenme işlemi LASSO tekniği ile gerçekleştirilmiştir. K-katlamalı çapraz doğrulama yöntemiyle model performansına ve makine öğrenmesi tekniğine pozitif katkı sağlayan LASSO, geleneksel yaklaşımlara göre makine öğrenmesi tekniklerinde çoklu fayda sağlayan bir teknik haline gelmiştir. Bu bağlamda, eğitim veri seti 10 parçaya bölünerek k-katlamalı çapraz doğrulama ile modelin tahmine dayalı performansı değerlendirilmiştir.

Modellemenin optimal noktasında sahip olunan 9 öngörücü ve nihai model girdi değişkenlerine ilişkin açıklamalarına Tablo 1'de yer verilmiştir. Diğer tüm girdi değişkenleri, katsayı değerlerinin sıfır olması sebebiyle elenerek analiz dışı bırakılmıştır. Ek olarak, nihai girdi değişkenleri için nihai korelasyon kontrolü gerçekleştirilmiş olup, aralarındaki ilişkinin %30'un altında olduğu görülmüş ve herhangi bir elemeye gidilmemiştir.

Tablo 1. Nihai Değişkenler (Table 1. Final Variables)

Öznelik	Açıklama
A_DAYS_EMPLOYED	Başvuru sahibinin ilgili başvurudan kaç gün önce bir iş yerine istihdam edildiği gün sayısıdır
A_EXT_SOURCE_MEAN	İlgili başvuru için harici veri kaynağından elde edilen başvuru sahibine ait skor puanlarının ortalaması
A_LOAN_RATE	İlgili başvuru için istenilen kredi tutarının verilen kredi tutarına oranı
A_RRCWC	İlgili başvuru sahibinin yaşadığı şehri dikkate alarak Home Credit'in bölgedeki reyting oranı
B_CA_A_MEAN	İlgili başvuru sahibinin Kredi Kayıt Bürosundaki aktif olan ortalama kredi sayısının, ödenmemiş kredilerin sayısına oranı

<b>B_DCE_MAX</b>	İlgili başvuru için Kredi Kayıt Bürosundaki aktif olan kredi ürünlerinin ödemelerine kalan maksimum gün sayısı
<b>IP_AP_MIN_MIN</b>	İlgili başvuru sahibinin bir önceki kredide gerçekleştirdiği minimum ödeme miktarının, aktif kredilerine yaptığı minimum ödeme miktarına oranı
<b>PA_NCS_R_MEAN</b>	Önceki başvuruların sözleşmelerine ilişkin ortalama reddedilme oranı
<b>PA_NPRT_W_MEAN</b>	İlgili başvuru sahibinin başvuruda bulunduğu önceki bankada düzenli hesabı bulunmama durumunun ortalaması

### 2.3.2. Model Geliştirme ve Performans Değerlendirme

Çalışmanın bu bölümünde değişken indirgeme teknikleri ile elde edilen nihai öznelik değişkenleri kullanılarak, kredilerin temerrüt riski (0-1) yukarıda ele alınan sınıflandırma algoritmaları ile belirlenmeye çalışılmış ve kullanılan algoritmaların sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Belirlenen nihai değişkenler ile eğitim, doğrulama ve test veri setleri üzerinden algoritmalar iyi ve kötü müşterileri sınıflandırarak, karmaşıklık matrisleri elde edilmiştir. Test veri seti üzerinden her bir algoritmaya ait karmaşıklık matrisinden elde edilen sınıflandırma ölçülerinin sonuçlarına aşağıdaki Tablo 2’de yer verilmiştir.

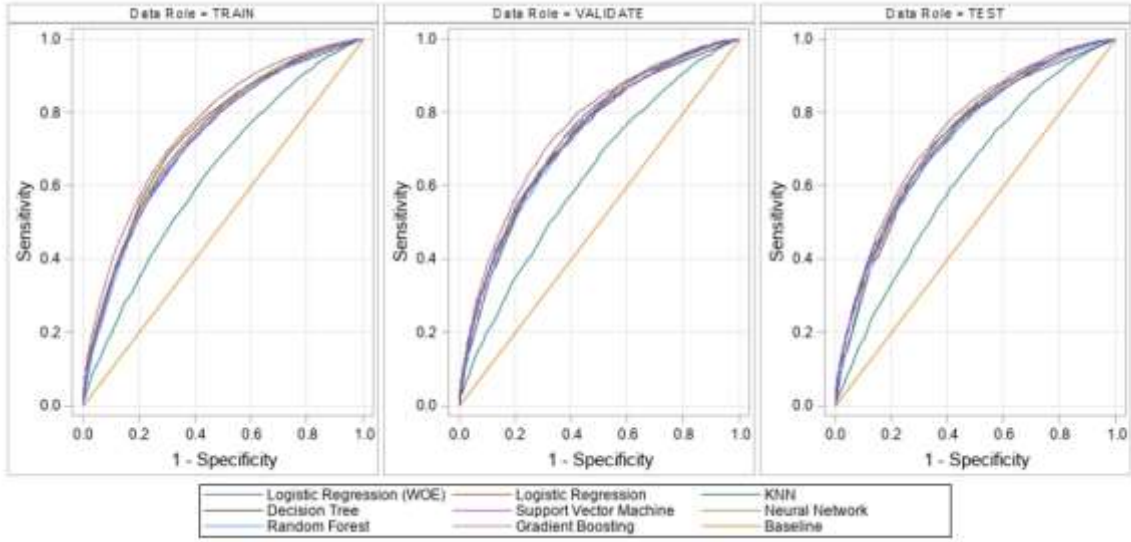
Tablo 2. Sınıflandırma Ölçütleri (Table 2. Classification Metrics)

Model Algoritmaları	Doğruluk	Hassasiyet	Özgüllük	Kesinlik	F1 Skoru
Gradyan Artırma	%68,59	%68,09	%69,09	%68,77	%68,43
Lojistik Regresyon (WOE)	%67,74	%67,10	%68,39	%67,97	%67,53
Yapay Sinir Ağları	%67,71	%67,73	%67,69	%67,70	%67,71
Lojistik Regresyon	%67,11	%65,79	%68,43	%67,57	%66,67
Destek Vektör Makineleri	%67,03	%65,20	%68,85	%67,57	%66,41
Rassal Orman	%66,31	%62,39	%70,23	%67,69	%64,93
Karar Ağacı	%66,56	%66,82	%66,30	%66,47	%66,65
K-En Yakın Komşu	%58,85	%63,13	%54,57	%58,15	%60,53

Yukarıdaki oranlar incelendiğinde, K-En Yakın Komşu algoritması temerrüde düşenler ile temerrüde düşmeyenlerin sınıflandırılmasında diğer algoritmalara görece daha başarısız sonuçlar vermektedir. Sınıflandırma başarısının genel performans bilgisini veren doğruluk oranı için K-En Yakın Komşu algoritması haricinde diğer algoritmalar birbirlerine yakın değerlere sahip olsa da Gradyan Artırma algoritmasının en başarılı sınıflandırma oranına sahip olduğu söylenebilir. Tip-II hata perspektifiyle, gerçekte temerrüde düşen müşteriler için algoritmaların sınıflandırma başarısını ölçen hassasiyet oranı için Gradyan Artırma algoritması en başarılı sonucu verse de Yapay Sinir Ağları algoritması ve WOE’li Lojistik Regresyon algoritmalarıyla yakın oranlara sahiptir. Diğer hata perspektifi (Tip-I) ile algoritmaların temerrüde düşen olarak gerçekleştirdiği sınıflandırma tahmininde ne oranda başarılı olduğu kesinlik ölçüsünde, Gradyan Artırma algoritması diğer algoritmalara görece daha başarılı bir sonuç vermiştir. Temerrüde düşmeyen müşterilerin Tip-I hata perspektifi ile hesaplanan özgüllük ölçüsünde, Rassal Orman algoritmasının sınıflandırma performansı yüksek olsa da genel sınıflandırma başarısı düşük kalmıştır. Ek olarak, bu ölçüde Destek Vektör Makineleri ve Gradyan Artırma algoritmalarının sınıflandırma yeteneklerinin de iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Karmaşıklık matrisinden elde edilen yukarıdaki ölçüler yardımıyla, sınıflandırma başarısının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan F1 skor oranı hesaplanmış olup, Gradyan Artırma algoritmasının en iyi oranla sınıflandırma yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

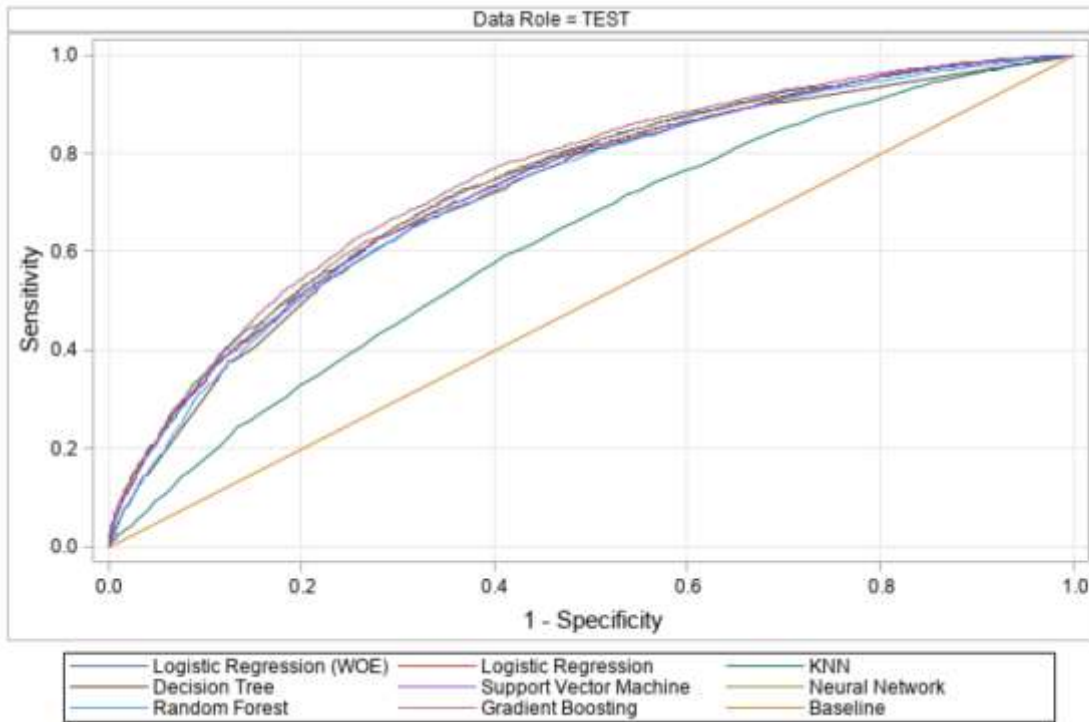
Ek olarak, WOE’li halleriyle kurulan Lojistik Regresyon modelinin, değişkenlerin ham haliyle inşa edilmiş Lojistik Regresyon modeline göre daha başarılı sınıflandırma oranlarına sahip olduğu görülmektedir.

Algoritmaların sınıflandırma performanslarının incelenmesinde kullanılan bir diğer ölçü ROC eğrisi olup, ilgili algoritmaların eğitim, doğrulama ve test verisinden elde edilen ROC eğrilerine aşağıdaki Grafikte yer verilmiştir.



Şekil 1. Eğitim, Doğrulama ve Test Verileri İçin ROC Eğrileri (Figure 1. ROC Curves for Train, Validate, and Test Data)

Algoritmaların, eğitim, doğrulama ve test veri setleriyle temerrüde düşen ve temerrüde düşmeyen müşteriler için gerçekleştirmiş olduğu sınıflandırma yetenekleri, ROC eğri oranlarıncı incelenmiş olup, modellerin sınıflandırma uyumunda aşırı öğrenme veya eksik öğrenme davranışı görülmemiştir. Modellerin performans gücü değerlendirmeleri, test verisinden elde edilen ROC eğrisinin altında kalan alanın büyüklüğüne göre belirlenmiştir.



Şekil 2. Test Verisi İçin ROC Eğrileri (Figure 2. ROC Curves for Test Data)

Bu kapsamda, Hassasiyet ve 1-Özgüllük oranlarının farklı eşik değerlerine göre hesaplanan ROC eğrisi incelendiğinde, K-En Yakın Komşu algoritmasının diğer algoritmalara göre daha az başarılı bir sınıflandırma oranına sahip olduğu görülmektedir. İlgili görseldeki algoritmaların ROC eğri oranlarına aşağıda yer verilmiştir.



Tablo 3. ROC Eğri Oranları-AUC (Table 3. ROC Curve Ratios-AUC)

Model Algoritmaları	ROC Eğrisi
Gradyan Artırma	0,75
Lojistik Regresyon (WOE)	0,74
Yapay Sinir Ağları	0,74
Lojistik Regresyon	0,73
Destek Vektör Makineleri	0,73
Rassal Orman	0,72
Karar Ağacı	0,72
K-En Yakın Komşu	0,62

ROC eğrisine göre, K-En Yakın Komşu haricinde diğer algoritmaların model performans gücü nispeten birbirine yakın değerlere sahip olsa da Gradyan Artırma algoritmasının sınıflandırmadaki başarısının daha yüksek olduğu söylenebilir. Yapay Sinir Ağları ve WOE'li Lojistik Regresyon modeli benzer sınıflandırma performansı gösterirken, WOE'li Lojistik Regresyon analizine ait ROC değerinin, değişkenlerin ham haliyle gerçekleştirilen Lojistik Regresyon analizinin ROC değerine göre de daha başarılı olduğu görülmektedir. Ek olarak, Destek Vektör Makineleri ile geleneksel Lojistik Regresyon modeli birbirlerine yakın oranlarda sonuçlar üretirken, ağaç tabanlı algoritmaların (Rassal Orman, Karar Ağacı) genel sınıflandırma başarısı nispeten daha düşük kalmıştır. Özellikle Rassal Orman algoritmasının temerrüde düşmeyen müşteriler için gerçekleştirmiş olduğu sınıflandırma başarısı dikkat çekse de diğer sınıflandırma ölçülerinde ki yeteneğinin zayıf oranlarda olduğu gözlemlenmiştir

### 3. Sonuç ve Tartışma

Yapılan çalışma kapsamında, Home Credit müşterilerine ait kredi kullanım bilgilerini içeren veriler kullanılarak, veri kalitesi ve model ön işleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yeni başvuru sahiplerinin veya aktif kredilerin temerrüt risk oranını değerlendirmek amacıyla, ilgili istatistiksel ve makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmış olup, algoritmaların iyi ve kötü müşterileri ayrıştırıcı gücünün belirlenmesi performans ölçüleriyle sağlanmıştır.

Öznitelik seçimi kapsamında istatistiksel hatalardan arınma ve sınıflandırma gücü yüksek olan değişkenlerin belirlenmesi için çeşitli değişken indirgeme tekniklerinden faydalanılmıştır. İlgili algoritmalarda girdi değişkeni olarak kullanılacak nihai özniteliklerin belirlenmesi için LASSO Regresyonu değişken indirgeme tekniği olarak kullanılmış olup, değişken seçiminde geleneksel Regresyon tekniklerinden (backward, forward, stepwise) farklı bir yol izlenmiştir. LASSO Regresyonun sahip olduğu ceza parametresi sayesinde, hedef değişken üzerindeki sınıflandırma gücü yüksek olan değişkenler modelde kalmayı başararak nihai girdi olarak belirlenmiştir.

Ek olarak, nihai değişkenlerin IGN düğümü yardımıyla elde edilen WOE'li dönüştürülmüş yapılarıyla, Scorecard düğümü üzerinden Lojistik Regresyon modeli kurulmuştur. Böylelikle değişkenlerin WOE'li yapıları üzerinden gerçekleştirilen Lojistik Regresyon modeli, sınıflandırma performansları değerlendirilecek yedi algoritmanın karşılaştırılmasında sürece dahil edilmiştir.

Ham veri kümesinin %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si test veri seti olacak şekilde ayrılarak, makine öğrenmesi teknikleri bu veri setleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, veri kalitesi ve değişken indirgeme çalışmalarının yaklaşık %60'ı ham veri kümesi üzerinden gerçekleştirilirken, %40'ı eğitim ve doğrulama veri kümeleri ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar için optimum performans sağlayan hiperparametreler, eğitim ve doğrulama veri setleri üzerinden belirlenirken, nihai model geliştirme ve performans karşılaştırmaları test veri seti üzerinden incelenmiştir.

Yukarıdaki bulgular doğrultusunda, karmaşıklık matrisinden elde edilen doğruluk, hassasiyet, özgünlük, kesinlik ve F1 skor ölçüleri, ROC eğrisiyle birlikte incelenerek, sekiz algoritmanın makine öğrenmesi yetenekleriyle gerçekleştirdiği performansları değerlendirilmiştir. Home Credit müşterilerinin temerrüt riskini değerlendirmek için en iyi sınıflandırma başarısını her bir veri setinde sağlayan modelin, Gradyan Artırma algoritması olduğu gözlemlenmiştir. Gradyan Artırma algoritmasına alternatif olarak en yakın performans başarısı gösteren WOE'li Lojistik Regresyon ve Yapay Sinir Ağlarının kullanılması uygun olsa da modelin yorumlanabilirlik özelliği açısından WOE'li Lojistik Regresyon modeli önerilmektedir. Nitekim benzer bir çalışmada da Hamori ve arkadaşları (2018), temerrüt riski skorlanmasında Yapay Sinir Ağı, Torbalama (Bagging), Rassal Orman ve Artırma (Boosting) gibi algoritmaların yeteneklerini karşılaştırarak, Artırmanın daha iyi performans sağladığını bulmuşlardır. Ayrıca Tian ve arkadaşları (2020), Karar Ağaçlarındaki birçok zayıf öğreniciyi birleştirerek tek bir güçlü öğreniciyi elde etmek için Gradyan Artırma algoritmasından faydalanarak farklı birçok makine öğrenmesi algoritmaları ile kredi risk değerlendirmeleri gerçekleştirmiş olup Gradyan Artırıcı Karar Ağaçlarının çalışmaya konu olan diğer makine öğrenmesi algoritmalarına göre daha başarılı sonuçlar ürettiği bulgusuna ulaşmıştır. Bu çalışma da mevcut çalışmamızın bulgularını destekler niteliktedir. Altan ve Demirci (2022), kredi skorlaması üzerine yaptıkları

çalışmada Gradyan Artırma algoritmasının güçlendirilmiş tekniği (XGBoost) ile çalışmada kullanılan diğer algoritmalara göre en başarılı bulguları elde etmişlerdir. Bu sonuçlar da Boosting algoritmalarının skorlamadaki genel başarısının literatürdeki kredi risk tahminlemelerinde de en iyi performansı sağlayan algoritma olduğunu göstermektedir.

Gradyan Artırma algoritmasının performans başarısı, nihai değişkenlere ait artıklardaki örüntü bilgisini parametreleştirip, algoritmik olarak kayıp fonksiyonu optimize etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, Gradyan Artırma algoritmasının çalışma kapsamındaki performansını dikkate alarak, ikili sınıflandırma problemlerini çözmek için oldukça başarılı olan XGBoost, AdaBoost ve CatBoost gibi artırma (Boosting) algoritmaları, gelecek çalışmalarda karşılaştırmaya dahil edilebilir.

## **Kaynakça**

- Altan, G., & Demirci, S. (2022). Makine Öğrenmesi ile Nakit Akış Tablosu Üzerinden Kredi Skorlaması: XGBoost Yaklaşımı. *Journal of Economic Policy Researches*, 9(2), 397-424.
- Apostolik, R., Donohue, C., & Went, P., (2009). *Foundations of Banking Risk: An Overview of Banking, Banking Risks, and Risk-Based Banking Regulation*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Barboza, F., Kimura, H., & Altman, E., (2017). Machine learning models and bankruptcy prediction, *Expert Systems with Applications* 83: 405–417.
- BDDK, (2012), “Bankaların İç Denetim ve Risk Yönetimi Sistemleri Hakkında Yönetmelik”, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120628-17.htm> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2020).
- Bell, J., (2014), *Machine Learning Hands-On for Developers and Technical Professionals*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana.
- Bellotti, T., & Crook, J., (2009). Support Vector Machines for Credit Scoring and Discovery of Significant Features, *Expert Systems with Applications*, 3302–3308.
- Bhargava, A., (Şubat 2000). Credit Risk Management Systems in Banks, ICICI Bank, s.8., [www.garp.com/library/Meets/bhargava.pdf](http://www.garp.com/library/Meets/bhargava.pdf), (27.11.2005).
- Breiman, L., (2001). Random Forests, *Machine learning*, Kluwer Academic Publishers, 45(1), 5-32.
- BROWN, I., & MUES, C., (2012). “An experimental comparison of classification algorithms for imbalanced credit scoring data sets”, *Expert Systems with Applications* 39: 3446–3453.
- Brown, I., (2014), *Developing Credit Risk Models Using SAS Enterprise Miner™ and SAS/STAT: Theory and Applications*, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Demirbulut, Y., Aktaş, M., Kalıpsız, O., & Bayracı, S. (2017). İstatistiksel ve Makine Öğrenimi Yöntemleriyle Kredi Skorlama, *CEUR-WS* (s. 273-284). Antalya: Turkish National Software Engineering Symposium.
- Design I. T., Gabrys B., & Petrakieva L., (2004). Combining labelled and unlabelled data, *International Journal on Approximate Reasoning*, vol. 35, p. 251-273.
- Eğrioglu, E., Aladağ, C.H., Yolcu, U., Uslu, V.R., & Başaran, M.A., (2009). A new approach based on artificial neural networks for high order multivariate fuzzy time series, *Expert Systems with Applications*, 36(7), 10589-10594.
- Hamori, S., Kawai, M., Kume, T., Murakami, Y., & Watanabe, C., (2018). Ensemble Learning or Deep Learning? Application to Default Risk Analysis, *Journal of Risk and Financial Management* 11: 12.
- Hand, D., & Zhou, F., (2009). Evaluating models for classifying customers in retail banking collections, *Journal of the Operational Research Society*, 61, 1540–1547.
- Jorion, P., (2009). *Financial Risk Manager Handbook*, Wiley Finance Series, 5. Baskı.
- Kavcıoğlu, Ş. (2019). Kurumsal kredi skorlamasında klasik yöntemlerle yapay sinir ağı karşılaştırması, *İstanbul İktisat Dergisi - Istanbul Journal of Economics*, 69(2), 207-245.
- Lindholm, A., WAHLSTRÖM, N., Lindsten, F., & SCHÖN, T. B., (2019). Supervised Machine Learning, Version (12 May 2019), s.7 [http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/sml/literature/lecture\\_notes.pdf](http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/sml/literature/lecture_notes.pdf) (Erişim Tarihi: 13 Mayıs 2019).
- Mandacı P.E., (2003). Türk Bankacılık Sektörünün Taşıdığı Riskler ve Finansal Krizi Asmada Kullanılan Risk Ölçüm Teknikleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 5, Sayı:1:67-84.
- Markoff J., (2015). A Learning Advance in Artificial Intelligence Rivals Human Abilities, *New York Times*, <https://www.nytimes.com/2015/12/11/science/an-advance-in-artificial-intelligence-rivals-human-vision-abilities.html> (Erişim Tarihi: 22 Mart 2019).
- Raschka, S., (2015). *Python Machine Learning*, Packt Publishing Ltd., Birmingham, UK.
- The Royal Society, (2017). *Machine Learning: The Power And Promise Of Computers That Learn By Example*, s.16-21, [www.royalsociety.org/machine-learning](http://www.royalsociety.org/machine-learning) (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2019).
- Tian, Z., Xiao, J., Feng, H., & Wei, Y. (2020). Credit risk assessment based on gradient boosting decision tree. *Procedia Computer Science*, 174, 150-160.
- Yeh, I. C., & Lien, C., (2009). The Comparisons of Data Mining Techniques for the Predictive Accuracy of Probability of Default of Credit Card Clients, *Expert Systems with Applications*, Vol.36, 2473-2480.
- Zhang, C., & Zhang, S., (2002). *Association Rule Mining - Models and Algorithms*, Springer, Berlin.
- Zhang, W., (2017). Machine Learning Approaches to Predicting Company Bankruptcy, *Journal of Financial Risk Management* 6: 364-374.
- Zhou, L., & Wang, H., (2012). Loan Default Prediction on Large Imbalanced Data Using Random Forests, *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering*, Vol.10, No.6, October 2012, 1519-1525.
- Zhu, X., & Goldberg, A. B., (2009). *Introduction to Semi-Supervised Learning*, Morgan & Claypool Publishers.



# Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları

Seyithan Bingül<sup>1</sup>, Yunus Önal<sup>2</sup>, İncilay Gökbulut<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1288-6980), bseyit4@gmail.com

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6342-6816), yunus.onal@inonu.edu.tr

<sup>3\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4994-5788), incilay.gokbulut@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 11 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1175104)

**ATIF/REFERENCE:** Bingül, S., Önal, Y. & Gökbulut, İ. (2023). Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 23-29.

## Öz

Son yıllarda, nano karbon kuantum noktaları (KKN'lar), küçük boyut, floresan emisyon, kimyasal kararlılık, suda çözünürlük, kolay sentez ve işlevselleştirme gibi özelliklerinden dolayı artan bir ilgi görmektedir. Karbon noktaları olarak da adlandırılan karbon kuantum noktacığı (QD), 1-10 nm boyut aralığında bir tür sıfır boyutlu, yarı iletken kristal bir nanomalzeme olup, floresans özellikli nanopartiküllerin en yeni sınıfını oluşturmaktadır. Özel boyut aralıkları bu yapılara, optik özellikler açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Biyokütle, çok yıllık ot, organik ev çöğü, tarım kalıntıları, balıkçılık, kümes hayvanları, hayvancılık, ormancılık ve ilgili endüstriler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilen karmaşık, bol, heterojen, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-organik bir maddedir. Biyokütle atığı, C-nokta üretimi için yenilenebilir, çevre dostu, bol miktarda bulunan ve zararsız bir karbon kaynağıdır. Kararlı fizikokimyasal özelliklere sahip olan karbon kuantum noktacıkların, su ortamında dağılıma, biyoyoumluluk, düşük toksisite, kimyasal inertlik, kolay fonksiyonelleştirme, çevre dostu ve çeşitli fotoluminesans özelliklerinden dolayı gelecekte pekçok uygulamalarda kullanılacağı öngörülmektedir

**Anahtar Kelimeler:** Karbon/Grafen, Kuantum noktacıık, Doğal, Uygulama alanları

## Carbon Quantum Dots As The Material of the Future and Application Areas

### Abstract

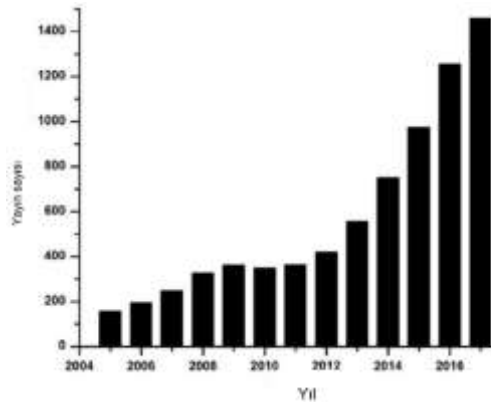
In recent years, nano carbon quantum dots (CQDs) have received increasing attention due to their small size, fluorescent emission, chemical stability, water solubility, easy synthesis and functionalization. Carbon quantum dot (QD), also called carbon dots, is a kind of zero-dimensional, semiconductor crystal nanomaterial in the size range of 1-10 nm, forming the newest class of fluorescent nanoparticles. Special size ranges provide these structures with significant benefits in terms of optical properties. Biomass is a complex, abundant, heterogeneous, biodegradable and bio-organic substance that may be obtained from diverse sources such as perennial grass, organic domestic garbage, residues of agriculture, fishery, poultry, animal husbandry, forestry and related industries. Biomass waste is a renewable, environmentally friendly, abundantly available and innocuous carbon source for C-dots production.

It is predicted that carbon quantum dots, which have stable physicochemical properties, will be used in many applications in the future due to their dispersion in the aquatic environment, biocompatibility, low toxicity, chemical inertness, easy functionalization, environmental friendliness and various photoluminescence properties.

**Keywords:** Carbon/Graphen, Quantum dot, Natural, Application area

## 1. Giriş

Son yıllarda grafen, kuantum noktalar ve grafen kuantum noktacıklar, oldukça ilgi çeken, yenilikçi ve üzerinde yoğun olarak çalışılmaya başlanan nanoyapıların başında gelmektedir. Karbon noktaları olarak da adlandırılan karbon kuantum noktacığı (KKN), 1-10 nm boyut aralığında bir tür sıfır boyutlu, yarı iletken kristal bir nanomalzeme olup, floresans özellikli nanopartiküllerin en yeni sınıfını oluşturmaktadır (Biçer ve Bilmişoğlu, 2020). Periyodik cetvelin II-VI, III-V grubu bileşiklerinden elde edilmekte olan kuantum noktacıklar, hemen hemen bütün yarı-iletken - metal bileşiklerinden elde edilebilmektedir (Öksel ve ark., 2018). Söz konusu yapılar içerisinde bulunan ve çok geniş yüzey alanına sahip grafenin yüzey modifikasyonları kolaylıkla yapılabilen, ayrıca polimer yapılarla biyouyumlu hale getirilebilmekte ve yakın infrared ışınları (Near Infra Red, NIR) ile uyarılabilmektedirler. Özellikle üstün elektronik, kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip 2 boyutlu olan bu yapı süperkapasitörler, biyosensörler, görüntüleme ve ilaç salımı gibi çok farklı alanlarda kullanılabilir (Nurunnabi ve ark., 2015). İlk kez 2004 yılında elektroforez yoluyla tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılması sırasında elde edilen bu yapılar, daha sonra 2006 yılında grafit tozu ve çimentonun lazerle ablasyonu yoluyla elde edilmiştir (Xu ve ark., 2004). O günden bu yana kuantum noktacığ çalışmaları hız kazanarak, pek çok çalışma araştırmaya konu olmuştur. Şekil 1.1 'de 2004-2016 yılları arasında başlığında "karbon noktacıkları" geçen bilimsel yayınların sayısını göstermektedir (Atabaev, 2018).

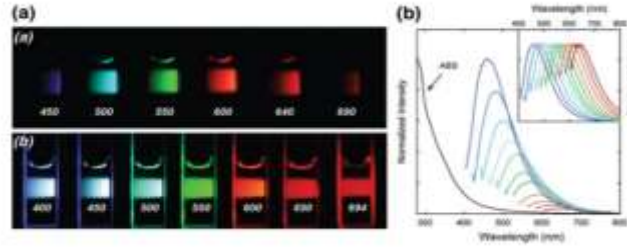


Şekil 1.1. 2004-2016 yılları arasında başlığında "karbon noktacıkları" geçen bilimsel yayınların sayısı (Atabaev, 2018).

(Figure 1.1. The number of scientific publications with "carbon dots" in their titles between 2004 and 2016)

Biyokütle, çok yıllık ot, organik ev çöpü, tarım kalıntıları, balıkçılık, kümes hayvanları, hayvancılık, ormancılık ve ilgili endüstriler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilen karmaşık, bol, heterojen, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-organik bir maddedir. Biyokütle atığı, esas olarak selüloz, hemiselüloz, lignin, kül, proteinler ve diğer bazı bileşenlerden oluşan doğal bir organik karbon kaynağıdır. Biyokütle atığı, C-nokta üretimi için yenilenebilir, çevre dostu, bol miktarda bulunan ve zararsız bir karbon kaynağıdır (Kang ve ark., 2020). Bununla birlikte, biyokütle atıklarının çoğu şu anda atılmakta, depolanmakta veya açıkta yakılmakta olup, bu sadece kaynak israfına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda insanları tehdit eden bazı çevre sorunlarına da neden olmaktadır. Son zamanlarda, biyokütle atıklarının C-nokta üretiminde hammadde olarak kullanılmasına yönelik bazı girişimler olmuştur.

Nano malzemeler, 100 nm altındaki boyutlarda kuantum mekaniği özelliklerini göstermeye başlarlar. Küçük boyutları nedeniyle, bu parçacıklardaki elektronlar küçük bir alan (kuantum kutusu) içinde hapsedilir ve yarı iletken nanokristalin yarıçapı, eksiton Bohr yarıçapından (eksiton Bohr yarıçapı, iletim bandındaki elektron ile değerlik bandında geride bıraktığı boşluk arasındaki ortalama mesafedir) daha küçük olduğunda, Pauli'nin dışlama ilkesine göre enerji seviyelerinin kuantizasyon ortaya çıkmaktadır (Reimann ve Manninen, 2002). Boyut küçüldükçe, en yüksek değerlik bandı ile en düşük iletim bandı arasındaki enerji farkı artmaktadır. Daha sonra noktayı uyararak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur ve daha fazla enerji salınır, bu da yayılan ışıktaki kırmızıdan maviye bir renk kaymasına neden olur. Bunun sonucunda nanomalzemeler, sadece nokta boyutunu değiştirerek aynı malzemeden herhangi bir renkte ışık yayabilmekte, ayrıca üretim sırasında herhangi bir renkte ışık yaymak üzere ayarlanabilmektedir (Pan ve ark., 2020). Karbon Noktalarının belki de en çarpıcı özelliği, genellikle uyarıma bağlı floresan emisyonu olarak adlandırılan uyarıma bağlı fotoluminesans (lümİnesans) özelliğidir. Tipik uyarıma bağlı lümİnesans spektrumları ve karşılık gelen renkler Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Geniş spektral aralık ve emisyon piklerinin nispeten yüksek yoğunlukları, karbon noktacıklarının çok renkli özelliklerinin ortaya çıkarmaktadır. Karbon Noktacıklarının emisyon renginin uyarıma dalga boyuna göre ayarlanabilmesi, benzersiz özellikleri arasındadır (Jelinek, 2017).



Şekil 1.2. Karbon noktalarının uyarılmaya bağlı ışıltması.

(a) 400 nm'de uyarılan polietilen glikol (PEG)-pasifleştirilmiş Karbon Noktalarının fotoğrafları. (a) 400 nm'de uyarılmış (a) ve farklı bant geçiren emisyon filtrelerinde kaydedilmiş veya belirtilen dalga boylarında uyarılmış (b) polietilen glikol (PEG)-pasifleştirilmiş Karbon Noktalarının fotoğrafları.

(b) 20 nm artan artışlarla uyarılan Karbon Noktalarının floresan emisyon spektrumları (Jelinek, 2017).

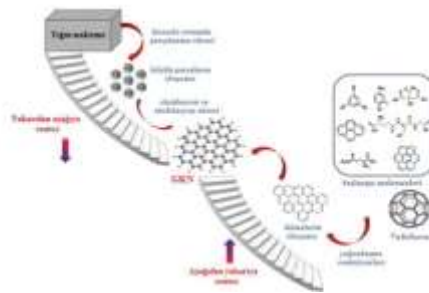
(Figure 1.2. Excitation-induced luminescence of carbon dots.

(a) Photographs of polyethylene glycol (PEG)-passivated Carbon Dots excited at 400 nm. (a) excited at 400 nm (a) and recorded in different bandpass emission filters or excited at specified wavelengths. (b) Photographs of polyethylene glycol (PEG)-passivated Carbon Dots.

(b) Fluorescent emission spectra of Carbon Spots excited in 20 nm increments).

Şekil 1.2'de gösterilen olağanüstü fenomen, hem temel fiziksel hem de pratik uygulamalar açısından büyük ilgi görmüştür. Yarı iletken kuantum noktalarının geniş çapta incelenen emisyon renkleri, kuantum hapsedme etkilerine tekabül ederken ve nanoparçacıkların boyutlarıyla (yani çaplar) ilişkiliyken, Karbon Noktalarının lüminesans özelliklerinden sorumlu olan temel özellikler farklıdır. Karbon Noktacıklarında gözlemlenen farklı renklerin kökeni, aslında, grafitik nanoparçacıklar üzerindeki yüzey kusurlarıyla ilişkili enerji durumlarına atfedilmiştir. Karbon kuantum noktalar, sahip oldukları farklı optik ve elektronik özellik ve ayarlanabilir boyutları ile ışık emisyonu, yüksek sinyal parlaklığı, uzun süreli foto kararlılık özellikleri sergilemektedirler.

Karbon kuantum noktalar üstün optik özellikleri yanısıra, hazırlama sürecinde toksik metal elementlerin katılımını azaltarak, çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmakta düşük -maliyet ve yeşil sentez ortamı sağlamaktadır (Wang ve ark., 2014). Sözkonusu yapılar, organik boyalarla kıyaslandığında, fotolüminesan karbon bazlı kuantum noktaları, yüksek (sulu) çözünürlük, kolay modifikasyon ve ışıkla ağartmaya karşı yüksek direnç göstermektedir. Düşük toksisite ve iyi biyoyumluluk gibi üstün biyolojik özellikleri, onları biyogörüntüleme, biyosensör ve biyomolekül/ilâç dağıtımında potansiyel uygulamalara alternatif oluşturmaktadır. Bütün yarı-iletken metal bileşiklerden kuantum noktacıkların elde edilmesinin yanı sıra en fazla kullanılan kuantum noktalar: CdSe, InAs, CdS, CdTe, ZnS, PbSe'dir (Özada, 2016). Kuantum noktalar, genel olarak nano malzemelerin üretiminde olduğu gibi aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya iki temel yaklaşımla üretilmektedir. Şekil 1.3 'te C noktalarının sentezlenmesi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların şematik gösterimi verilmiştir ((Iannazzo vd. 2017) .



Şekil 1.3. C noktalarının sentezlenmesi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların şematik gösterimi. (Iannazzo vd. 2017).

(Figure 1.3. Schematic representation of top-down and bottom-up approaches for synthesizing carbon C dots from biomass waste)

## 2. Uygulama Alanları

Günümüzde kuantum noktacıklar ilgili araştırma ve çalışmalar ve bunlara yönelik uygulamalar giderek yoğunluk kazanmaktadır. Yüzeyinde çok fazla fonksiyonel gruplar bulunduran, karbonizasyon derecesi değiştirilebilen karbon materyaller olarak bildirilen karbon noktacıklar optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı farklı alanlarda, biyo-görüntüleme, kimyasal-sensör, biyo-sensör, nanomedikal, biyomolekül/ilâç salınımı, ışık saçan diyetler, fotokatalizör ve optoelektronik araç uygulamalarında, fotodiyot, analitik kimya, elektronik gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2014; Huang ve ark., 2013).

Kimyasal sensör olarak, pH tayini, iyon sensörleri ve organik maddelerin tespiti gibi farklı uygulamaları mevcuttur. Biyosensör olarak nükleik asitler, proteinler ve enzimler olmak üzere farklı biyolojik materyallerin tayininde kullanılmakta ve floresans rezonans

enerji transferi ile belirlenmektedir (Grigsby ve diğ., 2012). Yüksek floresans emisyon özelliklerinden dolayı biyogörüntüleme uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Lim, 2015). Biyogörüntüleme, floresans mikroskobu ve konfokal mikroskobu ile gerçekleştirilmekte, ayrıca nanotıp alanında hem görüntüleme hem de fotodinamik terapi uygulamalarında kullanılmaktadır (Huang, 2012). Biyomedikal uygulamaları biyogörüntüleme, biyoalgılama ve ilaç dağıtımı gibi birçok alanda rapor edilmiştir (Qi ve diğ., 2019;; Shen ve diğ., 2017; Xue ve diğ., 2019; Du ve diğ., 2020; Hassan ve diğ., 2018). Fotokatalizör olarak organik sentezlere alternatif olarak, TiO<sub>2</sub> gibi UV bölgede uyarılmayan fotokatalizörleri hassaslaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Li, 2014). Temiz enerji üretiminde yakıt hücreleri ve temiz yakıt üretimi gibi uygulamalarda elektrokatalizör olarak kullanılmaktadır. Kuantum noktaların ayarlanabilir absorpsiyon spektrumu ve yüksek absorpsiyon katsayıları gibi özellikleri, fotovoltaiik sistemlerdeki kullanımını öne çıkartmaktadır (Schaller ve Klimov, 2004). Doğal monokromatik ışık yayması nedeniyle, renk filtresi olan ışık kaynaklarından daha etkili olabilmekte, ve spesifik emisyon spektrumlarından dolayı görüntüleme sistemleri için kullanımı oldukça uygundur. Kuantum nokta görüntüleme sistemleri görünür bölgelerde parlak emisyon yaptıklarından daha keskin bir görüntü sergilemektedir (Freckler ve diğ., 2016). Sağlık alanında in vivo ve in vitro biyogörüntüleme, gen/ilaç dağıtımı, algılama ve kanser tedavisi gibi çok yönlü biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Wagner ve diğ., 2020; Panwar ve diğ., 2019).

**Tablo 1.** Biyokütle atıklarından elde edilen karbon noktalarının birçok uygulama alanına genel bir bakış

(Table 1. An overview of the many application areas of carbon dots from biomass waste)

Uygulama alanı	Biyokütle atığı	Metod	Uygulama
Algılama	Küspe atığı	Hidrotermal	Hg <sup>+2</sup> tespiti
	Taç papatya yaprak atığı	Hidrotermal	Cu <sup>+2</sup> tespiti
	Lignoselülüz atığı	Hidrotermal	Cu <sup>+2</sup> tespiti
	<i>Sargassum fluitans</i>	Hidrotermal	DNA tespiti
	Mango kabukları	Hidrotermal	Mesotrione tespiti
	Palm kabuk atıkları	Ultrasonik	Nitrofenol tespiti
	Atık çay kalıntıları	Kimyasal oksidasyon	Tetrasiklin tespiti
	Mum kurumu kalıntıları	Kimyasal oksidasyon	Hg <sup>+2</sup> ve Fe <sup>+3</sup> tespiti
Gazyağı yakıt kurumu	Kimyasal oksidasyon	Pikrik asit, Hg <sup>+2</sup> ve Cu <sup>+2</sup> tespiti	
Görüntüleme	Soğan atığı	Hidrotermal	Çok renkli görüntüleme ve Fe <sup>+3</sup> tespiti
	Buğday samanı ve bambu atıkları	Hidrotermal	Hücre görüntüleme ve in vivo biyogörüntüleme
	Muz kabuk atığı	Hidrotermal	in vivo biyogörüntüleme
	Lychee atığı	Solvent-termal	Çok renkli görüntüleme ve Fe <sup>+3</sup> tespiti
	Kavrulmuş nohut kabukları	Mikrodalga	in vivo biyogörüntüleme
	Gıda atıkları	Ultrasonik	in vivo biyogörüntüleme
	İnek gübresi	Kimyasal oksidasyon	Canlı hücre görüntüleme ve hücre seçiciliği
	Ceviz kabukları	Karbonizasyon ve kimyasal kesme	Hücreler arası biyogörüntüleme
<i>T. bispinosa</i> kabuğu	Geri akış	Hücresele görüntüleme	
İlaç taşıma	Buğday kepeği	Hidrotermal	İlaç taşıma
	Şeker pancarı küspesi	Yakma ve Hidrotermal	Asetaminofen için ilaç taşıma aracı
	Atık sago kabukları	Katalizsiz piroliz	Antikanser ilaç taşıma ve kanser hücre görüntüleme
	Yengeç kabukları	Mikrodalga	İlaç taşıma ve hedeflenmiş biyogörüntüleme
	Bambu yaprakları	Geri akış	İlaç taşıma ve tümör görüntüleme
Fotokataliz	Kızartma yağ atıkları	Hidrotermal	Fotokataliz
	Portakal kabukları	Hidrotermal	Fotokataliz
	Lignoselülozik atık	Piroliz	Kirletici kullanımına bağlı fotokataliz
	Acı elma kabukları	Piroliz	Fotokataliz
	Limon kabuğu atıkları	Hidrotermal	Fotokataliz ve algılama
Diğerleri	Atık gıdalar	Hidrotermal	Işık yayan diyet
	Söğüt yaprakları	Hidrotermal	Flüoresan mürekkep ve oksijen redüksiyon elektrokatalizi
	Ananas kabukları	Hidrotermal	Elektronik güvenlik cihazları ve hafıza elemanı
	Portakal kabuk atıkları	Hidrotermal	Lineer olmayan optik uygulamalar
	Çay ve fındık kabukları	Hidrotermal	Çay aşamalarını ayırıştırma
	Şekerpancarı küspesi	Geri akış ve Hidrotermal	Naftalin uzaklaştırma
	Durian kabukları	Piroliz	Enerji depolama aracı
	Soğan kabukları	Mikrodalga	Hızlandırılmış deri yaralarını iyileştirme ve canlı hücre görüntüleme

Kuantum noktaların en önemli özelliği olan boyutların kontrol edilebilirliği, farklı bir renk skalası ortaya çıkarmaktadır. En küçük noktaların mavi ışığa ve en büyük noktaların kırmızı ışığına sağlanarak, güneş enerjisi, LED teknolojisi ve tıbbi görüntüleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Kuantum noktalar; daha verimli çalışan güneş panelleri (Huang ve ark., 2013), daha az enerjiyle çalışan lazerler, LED aydınlatmalar, daha canlı renkler kazandırılmış plazma ve televizyon ekranları, biyo-ajanlar ve biyo-görüntüleme gibi farklı alanlarda uygulanabilmektedir (Pan ve ark., 2020).

Hastalıkların, doku ve organ fonksiyonlarındaki aksaklıkların tanısı için kuantum noktaların kullanımı artmaktadır. Kuantum noktacılar, in vivo ve in vitro biyogörüntüleme, ilaç dağıtımı, gen dağıtımı ve kanser tedavisi gibi çok yönlü biyomedikal e-ISSN: 2148-2683

uygulamalarda son yıllarda daha fazla rağbet görmektedir (Pan ve ark., 2020). Kuantum noktalar, kanser araştırma çalışmalarında erken tanı, görüntüleme ve tedavide önem arz etmekte ve kanserli hücreleri teşhis etmek için potansiyel bir aday olarak tanımlanmaktadır. Kuantum noktaları tıbbi tanı ve görüntüleme amaçlı floresan problemleri olarak kullanılabilir. İlaç taşıma ve görüntüleme sistemlerini bir araya getirerek kuantum noktalar, tanı ve tedavinin eşzamanlı gerçekleşmesine olanak sağlamaktadırlar. Kuantum noktaları yüzeyine, tümör hedefleme peptitleri ve anti-tümör ilaçlar, bağlanarak kompozit yapılar tasarlanmaktadır. Yao ve ark., (2018) Panax ginseng bitkisinin ana etken maddesi olan ginsenosiddan çok işlevli KKN'lar geliştirmişlerdir. Bu KKNlerin, Reaktif Oksijen Türlerini (ROS) artırarak çeşitli kanser hücrelerini kesin olarak inhibe ettiğini rapor etmişlerdir. Bitki bazlı karbon kuantum noktaları, mükemmel fotostabilite, toksik olmama, yüksek fotolüminesans özellik ve suda çözünürlük göstermiştir. Li ve ark., (2014) zencefil suyundan KKN'lari sentezlemişler ve bunları herhangi bir ilaç eklenmeden teranostik (hem teşhis, hem tedavi) amaçlı kullanmışlardır. Benzer şekilde, He ve ark., (2021) yeşil çaydan biyoyumlu ve yüksek düzeyde fotolüminesans özellikli KKN'ların meme kanserinin inhibisyonu için mükemmel bir etkinlik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca Arkan ve ark. (2018), meme kanseri hücrelerine karşı apoptotik aktivite gösteren ceviz yağından KKN'ler sentezlemişlerdir. Salva ve ark. (2011) yapmış olduğu çalışmada yumurtalık kanseri kemoterapisi için tümör hedef ajanı (mucin) ve kanser tedavi amaçlı kullanılan DOX ilacı kuantum noktalarını bir araya getirilerek KKN-MUC1-DOX konjugatı kullanmışlardır.

Kuantum noktaların biyolojik görüntüleme çeşitli uygulamaları vardır. Geleneksel floresan boya ve proteinlere kıyasla kuantum noktacılar çok daha geniş lüminesans spektrumlarına (ışın aralığı) sahiptirler. Vbu özellik KKN'ların foto kararlılığı sayesinde daha belirgin ve uzun süreli görüntüleme imkanı sunmaktadır (Nurunnabi ve ark., 2015). KKN'ların geliştirilmiş fotostabilitesi, yüksek çözünürlüklü üç boyutlu bir görüntüde yeniden yapılandırılabilen birçok ardışık odak düzlem görüntüsünün elde edilmesine izin vermektedir (Tokumasu ve ark., 2005). Ayrıca, KKN problemlerinin olağanüstü fotostabilitesinden yararlanılarak, moleküllerin ve hücrelerin çok uzun sürelerde, gerçek zamanlı olarak izlenmesi mümkün olabilmektedir (Dahan, 2003).

Kuantum noktaları, nanopartiküllere benzer antibakteriyel özelliklere sahip olabilmekte ve doza bağlı bir şekilde bakteriostatik etki gösterebilmektedirler (Zhisong ve ark., 2008). Kuantum noktalarının bakterileri inaktif hale getirmesi, hücrelerdeki antioksidatif sistemin işlevlerini bozması ve antioksidatif genleri düzenlemesi ve hücre duvarına doğrudan zarar vermesi şeklinde gerçekleşmektedir. Kuantum noktalarının hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilere karşı etkili olduğu gösterilmiştir (Abdolmohammadi ve ark., 2017).

Gıda Biliminde KKN'lerin kullanımı özellikle gıda patojenlerinin (*E. coli*, *Salmonella* ve *Listeria*) saptanması ve izlenmesi konusunda olmuştur. *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella typhimurium*'un eşzamanlı tespiti için immünolojik testlerde floresan etiketleri olarak KKN'lerin kullanımını araştırdığı çalışmada sonuçlar, KKN-antikor konjugatlarının bakteri hücrelerinin yüzeyine başarılı bir şekilde eklenebileceğini göstermiştir (Yang & Li, 2006). Sözer ve Kokini (2014), mısırdaki zein ve ekmekte gluten ağının görüntülenmesinde KKN'ları kullanmışlardır. Başka bir çalışmada Ansari ve ark., (2015) farklı pişirme sürelerinde hazırlanan iki farklı mayasız pide örneğinde gliadinin moleküler dağılımını belirlemek için KKN kullanmışlardır. KKN'lerin anti-gliadin antikörlerine başarılı bağlanması ile KKN'lerin gıda matrislerindeki spesifik protein alt birimlerini hedeflemek için mükemmel prob olabileceği ni rapor etmişlerdir. Biyolojide uygulanan yöntemlerden ikisi olan biotin-avidin ve antikör-antijen, Gıda Biliminde başarıyla uygulanmıştır. *Listeria monocytogenes*, *E. coli* ve *Salmonella typhimurium*'un başarılı eş zamanlı tespiti, gluten ve zein gibi gıda proteinlerinin başarılı bir şekilde etiketlenmesi, sürekli geliştirmede bir yöntemin sadece başlangıcı gibi görünmekte ve gıda matrislerinin organizasyonunun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için geniş bir yeni fırsatlar yelpazesi sunmaktadır. KKN'leri antikörlere ekleyerek hemen hemen her proteinin tespiti sağlanabilmektedir. Vainillin, melanin ve hidrojen peroksit gibi gıda bileşikleri ve pestisit olarak gıda dışı bileşikler için yüksek hassasiyetli gıda sensörlerinin geliştirilmesi KKN kullanımı ile gerçekleştirilmiştir

Enzim aracılı yöntem gibi KKN'leri antikora konjuge etmek için ortaya çıkan yöntemler, Gıda Bilimi alanında KKN'lerin nano-floresan belirteçleri olarak uygulanabilirliğini arttırmaktadır.

## 4. Sonuç

Geleceğin malzemesi olarak doğal biokütlelerden üretilen karbon kuantum noktacıların, gelecekte pek çok alanda öncülük yaratacağı öngörülmektedir. Kararlı fizikokimyasal özelliklere sahip olan karbon kuantum noktacılar özellikle, su ortamında dağılma, biyoyumluluk, düşük toksisite, kimyasal inertlik, kolay fonksiyonelleştirme, çeşitli fotolüminesans ve çevre dostu özelliklerinden dolayı tıp, biyoloji, elektronik, gıda, kimya gibi pek çok alanda olmak üzere hayatımızda yer almaya devam edecektir

## Kaynakça

- Abdolmohammadi, M.H., Fallahian, F., Fakhroueian, Z., Kamalyan, M., Keyhanvar, P., M Harsini, F., Shafiekhani, A. 2017. Application of new ZnO nanof ormulation and Ag/Fe/ZnO nanocomposites as water-based nanofluids to consider in vitro cytotoxic effects against MCF-7 breast cancer cells. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45 (8): 1769–1777.
- Ansari, S., Bozkurt, F., Yazar, G., Ryan, V., Bhunia, A., Kokini, J. 2015. Probing the distribution of gliadin proteins in dough and baked bread using conjugated quantum dots as a labeling tool. *Journal of Cereal Science*, 63, 41e48.
- Arkan, E., Barati, A., Rahmanpanah, M., Hosseinzadeh, L. 2018. Green Synthesis of Carbon Dots Derived from Walnut Oil and an Investigation of Their Cytotoxic and Apoptogenic Activities toward Cancer Cells. *Advanced Pharmaceutical Bulletin* 8(1):149-155
- Atabaev, T.S. 2018. Doped Carbon Dots for Sensing and Bioimaging Applications: A Minireview. *Nanomaterials*, 8(5), 342.
- Bıçer, A., Bilmişoğlu, K. 2020. Kırmızı soğandan karbon kuantum noktaların sentezi ve fotolüminesans özelliklerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 24(1), 48-56.

- Dahan, M. 2003. Diffusion dynamics of glycine receptors revealed by single-quantum dot tracking, *Science*, 302 (5644): 442–5, 2003.
- Du, F., Cheng, Z., Tan, W., Sun, L., Ruan, G. 2020. Development of sulfur doped carbon quantum dots for highly selective and sensitive fluorescent detection of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> ions in oral ferrous gluconate samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular*, 226, 117602.
- Frecker, T., Bailey, D., Arzeta-Ferrer, X., Mc Bride, J., Rosenthal, S.J. 2016. Review—Quantum dots and their application in lighting, displays, and biology. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 5, 1, 3019-3031.
- Grigsby, C.L., Ho, Y.P., Leong, K.W. 2012. Understanding nonviral nucleic acid delivery with quantum dot-FRET nanosensors. *Nanomedicine*, 7,4.
- Hassan, M., Gomes, V.G., Dehghani, A., Ardekani, S.M. 2018. Engineering carbon quantum dots for photomediated theranostics. *Nano Research*, 11(1), 1–41.
- He, Z., Cheng, J., Yan, W., Long, W., Ouyang, H., Hu, X., et al. 2021. One-step preparation of green tea ash derived and polymer functionalized carbon quantum dots via the thiol-ene click chemistry. *Inorganic Chemistry Communications Journal*, 130, 108743.
- Huang, H., Lv, J. J., Zhou, D. L., Bao, N., Xu, Y., Wang, A. J., Feng, J. J. 2013. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *RSC Advances*, 3 (44), 21691-21696.
- Huang, P., Lin, J., Wang, X. S., Wang, Z., Zhang, C. L., He, M., Wang, K., Chen, F., Li, Z.M., Shen, G.X., Cui, D.X., Chen, X.Y. 2012. Light-triggered theranostics based on photosensitizer-conjugated carbon dots for simultaneous enhanced-fluorescence imaging and photodynamic therapy. *Advanced Materials*, 24, 5104–5110.
- Iannazzo, D., Ziccarelli, I., Pistone, A. 2017. Graphene quantum dots: Multifunctional nanoplatfoms for anticancer therapy. *Journal of Materials Chemistry B*, 5; 6471-6489.
- Jelinek Raz. 2017. *Carbon Quantum Dots Synthesis, Properties and Applications.*, Springer.
- Kang C., Huang Y., Yang H., Fang Yan X., Chen P. Z. A. 2020. Review of Carbon Dots Produced from Biomass Wastes, *Nanomaterials*, 10, 2316, 1-24.
- Li, Y., Zhong, X., Rider, A. E., Furman, S. A., and Ostrikov, K. 2014. Fast, energy efficient synthesis of luminescent carbon quantum dots. *Green Chemistry*, 16, 2566–2570.
- Li, Y., Zhong, X., Rider, A. E., Furman, S. A., and Ostrikov, K. 2014. Fast, energy efficient synthesis of luminescent carbon quantum dots. *Green Chemistry*, 16, 2566–2570.
- Lim, S.Y., Shen, W., Gao, Z. 2015. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews Journal*, 44, 362—381.
- Nurunnabi, M. Parvez, K. Nafiujjaman M. Revuri, V. Khan, H. A. Feng, X. and Lee, Y. 2015. Bioapplication of graphene oxide derivatives: drug/gene delivery, imaging, polymeric modification, toxicology, therapeutic and challenges. *Royal Society Of Chemistry*, 5; 42141-42161.
- Öksel, C., Koç, Y., Yağlı, H., Koç, A. 2018. Kuantum noktalı güneş hücreleri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2) 174-182, 2018.
- Özada Ç. 2016. Nükleer Görüntüleme Sistemlerinde Kuantum Noktaların Kullanılması. *Bilim, Mühendislik ve Teknoloji Yayınları*, 1(1), 1-11.
- Pan M., Xie X., Liu K., Yang J., Hong L., Wang S. 2020. Fluorescent Carbon Quantum Dots—Synthesis, Functionalization and Sensing Application in Food Analysis. *Nanomaterials*, 10, 930. 1-25.
- Panwar, N., Soehartono, A.M., Chan, K.K., Zeng, S., Xu, G., Qu, J., Coquet, P., Yong, K.T., Chen, X. 2019. Nanocarbons for biology and medicine: sensing, imaging, and drug delivery. *Chemical Reviews*, 119,16, 9559-9556.
- Qi, H., Teng, M., Liu, M., Liu, S., Li, J., Yu, H., Teng, C., Huang, Z., Liu, H., Shao, Q., et al. 2019. Biomass-derived nitrogen-doped carbon quantum dots: Highly selective fluorescent probe for detecting Fe<sup>3+</sup> ions and tetracyclines. *Journal of Colloid and Interface Science*, 539, 332–341.
- Reimann SM, Manninen M. Electronic structure of quantum dots. 2002. *Reviews of Modern Physics* 74(4):1283-1342.
- Savla, R., Taratula, O., Garbuzenko, O., Minko T. 2011. Tumor targeted quantum dot-mucin 1 aptamer-doxorubicin conjugate for imaging and treatment of cancer. *Journal of Controlled Release*, 153, 1 (15), 16-22
- Schaller, R.D., Klimov, V.I. 2004. High efficiency carrier multiplication in pbse nanocrystals: implications for solar energy conversion. *Physical Review Letters*, 92, 186601.
- Shen, J., Shang, S., Chen, X., Wang, D., Cai, Y. 2017. Facile synthesis of fluorescence carbon dots from sweet potato for Fe<sup>3+</sup> sensing and cell imaging. *Materials Science and Engineering: C*, 76, 856–864.
- Sozer, N., & Kokini, J. L. 2014. Use of quantum nanodot crystals as imaging probes for cereal proteins. *Food Research International*, 57, 142e151.
- Tokumasu, F., Fairhurst, R., Ostera, G., Brittain, N., Hwang, J., Wellems, T., Dvorak, J. 2005. Band 3 modifications in Plasmodium falciparum-infected AA and CC erythrocytes assayed by autocorrelation analysis using quantum dots. *Journal of Cell Science*, 118 (5): 1091–1098, 2005
- Wagner, A.M., Knipe, J.M., Orive, G., Peppas, N.A. 2020. Quantum dots in biomedical applications. *Acta Biomaterialia*, 94, 44–63.
- Wang, D., Chen, J.F., Dai, L. 2014. recent advances in graphene quantum dots for fluorescence bioimaging from cells through tissues to animals, Part. *Particle & Particle Systems Characterization*, 1-9.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W. A. 2004. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126 (40), 12736-12737.
- Xue, B., Yang, Y., Sun, Y., Fan, J., Li, X., and Zhang, Z. 2019. Photoluminescent lignin hybridized carbon quantum dots composites for bioimaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 954–961.
- Yao, H., Li, J., Song, Y., Zhao, H., Wei, Z., Li, X., et al. 2018. Synthesis of Ginsenoside re-based carbon dots applied for bioimaging and effective inhibition of cancer cells. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 6249–6264.



- Yang, L., & Li, Y. 2006. Simultaneous detection of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium using quantum dots as fluorescence labels. *Analyst*, 131, 394e401
- Zhisong, L., Chang Ming, L., Haifeng, B., Yan, Q., Yinghui, T., Xu, Y. 2008. Mechanism of antimicrobial activity of cdte quantum dots. *Langmuir*, 24 (10), 5445–5452.



# Alıç Meyvesi (*Crataegus Spp.*) Toplamada Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi

Yusuf Dilay<sup>1\*</sup>, Adem Özkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5365-5137), [ydilay@kmu.edu.tr](mailto:ydilay@kmu.edu.tr)

<sup>2</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3043-0338), [aozkan@kmu.edu.tr](mailto:aozkan@kmu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 30 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 14 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1194913)

**ATIF/REFERENCE:** Dilay, Y. & Özkan, A. (2023). Alıç Meyvesi (*Crataegus Spp.*) Toplamada Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 30-35.

## Öz

İnsanların beslenmesinde kullanılan tarım ürünlerinin birçoğunun kültürü yapılmaktadır. Ancak bazı ürünler ise doğada kendiliğinden yetişmektedir. Bu ürünler suya ihtiyaç duymadığı gibi çoğu zaman tarımsal mücadele, gübreleme gibi diğer tarımsal işlemler ve uygulamalara da ihtiyaç duymazlar. Kendiliğinden büyür, gelişir ve meyve verirler. Bu tip bitkiler ya da ağaçlar doğada kendileri için en uygun yerlerde bulunurlar. Kendini korumak için çoğu zaman ya sarp kayalık yerlerde yetişirler ya da meyveleri dikenli ve ulaşılması zor yerlerde. Çoğu zaman eğimli, sarp ve dağlık yerlerde kendiliğinden yetişen bitkilerin, meyvelerinin ya da diğer kısımların toplanmasında tarımsal mekanizasyon araçları kullanılamamaktadır. Bu işlemlerin tümünün insan eli ile yapılması gerekmektedir. Bu bitkilerin meyveleri olgunlaştığında toplanmadığında kendiliğinden yere düşmektedir. Bu meyveleri toplayan kişiler bazen dalların arasından bazen de yere dökülen meyveleri toplamak zorunda kalabilirler. Özellikle küçük boyutlu meyvelerin toplanması çok zaman alabilmektedir. Bu durumda uzun bir süre zor koşullarda çalışan toplayıcıların çeşitli fiziksel zorlamalara maruz kaldıkları söylenebilir. Bunların çalışma durumlarının incelenerek, ergonomik analizinin yapılması ve elde edilecek sonuçlara göre önerilerde bulunulması insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, eğimli bir zeminde kendiliğinden yetişmiş olan bir grup alıç ağacında geleneksel yollarla yapılan meyve toplama işleminde, toplayıcıların duruşları kamera ile kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler, OWAS (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) kriterlerine göre belirlenmiş ve EgroFellow 3.0. yazılımı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Böylece alıç toplama esnasında çalışanların duruşlarından elde edilen veriler incelenip, uygun olmayan duruşlar belirlenmiştir. Bunların yol açtığı kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilecek risklerin önceden tahmin edilip, en aza indirmesi ve duruşlarda iyileştirmeler sağlanması mümkün olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Alıç, meyve toplama, ergonomi, OWAS.

## Ergonomic Analysis of Working Postures in Hawthorn Fruit (*Crataegus Spp.*) Picking

### Abstract

Many of the agricultural products used in human nutrition are cultured. However, some products are self-grown in nature. These products do not need water and often do not need other agricultural processes and practices such as agricultural struggle and fertilization. They spontaneously grow, develop and bear fruit. These types of plants or trees are found in nature in the most suitable places for them. In order to protect itself, they often either grow on steep rocky places or their fruits are in thorny and hard-to-reach places. Most of the time, agricultural mechanization tools cannot be used to collect plants, fruits or other parts that grow spontaneously in sloping, steep and mountainous areas. All of these operations must be done by human hands. When the fruits of these plants are not collected, they fall to the ground by themselves. Those who collect these fruits may sometimes have to collect the fruits that fall on the ground from among the branches. It can take a lot of time to collect especially small sized fruits. In this case, it can be said that the collectors who

\* Sorumlu Yazar: [ydilay@kmu.edu.tr](mailto:ydilay@kmu.edu.tr)

worked in difficult conditions for a long time were exposed to various physical strains. It is of great importance for human health to examine their working conditions, to make ergonomic analysis and to make suggestions according to the results to be obtained. In this study, the postures of the pickers were recorded with a camera during the traditional fruit picking process on a group of hawthorn trees that grew spontaneously on a sloping ground. Obtained data were determined according to OWAS (Rapid Whole-Body Assessment) criteria and ErgoFellow 3.0. classified using software. Thus, the data obtained from the postures of the employees during hawthorn harvesting were examined and inappropriate postures were determined. It will be possible to predict and minimize the risks that may cause musculoskeletal disorders caused by these, and to improve postures.

**Keywords:** Hawthorn, fruit picking, ergonomics, OWAS.

## 1. Giriş

Toplumda, kendiliğinden yetişen bir bitkinin ya da meyvesinin insanlığa yararını olduğu, birçok hastalığa şifa olduğu düşüncesi vardır. Bu düşünce; mitolojilerden, geçmişte yaşayan bilge kişilerin aktardığı tecrübelerinden ya da bilim insanlarının söylemlerinden dolayı ortaya çıkmıştır. Bazen tıbbi ilaç ile tedavi edilemeyen bir hastalığın çaresi bile, doğada kendiliğinden yetişen bir bitkide bulunabilmektedir.

Kültürü yapılan bir ürünün vejetasyon süresince tüm işlemleri tarımsal mekanizasyon araçları ile yapılabilmektedir. Bu araçlar insanların işlerini kısa sürelerde ve kolaylıkla yapmalarını sağlar. Tarımsal mekanizasyon araçlarının bitkinin vejetasyon periyodunun her aşamasında kullanılabilmesi için, toprak işlemeden başlamak üzere tüm işlemlerin bu alet ve araçlar ile yapılması gerekir. Dolayısıyla kendiliğinden yetişen bir ürünün özellikle de hasadının tarımsal mekanizasyon araçları ile yapılabilmesi çoğu zaman pek mümkün olamamaktadır. Hatta yararlı olduğu düşünülüyorsa; bu araçlarla genellikle tarladan temizlenmesi ve ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

Dünya genelinde Amerika'nın Kuzeyinde, Avrupa'da ve Asya'da görülen alıç ağaçlarının, 50'den çok türünün olduğu bilinmektedir. Türkiye'de genellikle yüksek rakımlı bölgelerde doğal ortamlarda yetişebilen alıç ağaçları, gülgiller familyasından çalıya benzer dikenli bir ağaçtır. Anadolu'da 20'den fazla türü bulunan alıçın, genellikle kayalık, dağlık ve eğimli yerler ile ormanlık alanlarda görüldüğü söylenebilir. Farklı iklim koşullarında ve topraklarda alıç ağacına rastlanır.

Ergonomi, çalışılan alanlardaki riskler ile çalışan kimselerin çalışma duruşlarını konu edinen bir bilim dalıdır. Çalışanların çalışma esnasındaki duruşlarının risk analizi için farklı birçok ergonomik yöntem bulunmaktadır. Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi, iş gücüne olan ihtiyacın azalmasına yol açsa da özellikle meyve hasadı gibi pek çok üretim sürecinde insan emeğinin vazgeçilmez olduğunu söylenebilir. Özellikle meyve hasadında, insan emeğinden çokça yararlanıldığı için, bunların çalışmaları esnasındaki duruşlarının ergonomik risklerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Uygun ve doğru olmayan vücut duruşlarının sürekli tekrarlanması neticesinde, yapılan işe bağlı olarak kas ve iskelet rahatsızlıkları ortaya çıkmaktadır (Erciş vd. 2014). Uygun olmayan duruş ile çalışmak, çalışmada yorgunluğa ve çeşitli fiziksel rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu durumda çalışan sık sık iş yapmaya ara vermek zorunda kalmaktadır. İşe ara verilmesi, iş verimliliğinde ve kalitesinde düşümlere yol açarken, aynı zamanda üretim maliyetlerini artırmaktadır (Akay vd. 2003).

Ergonomik risklerin analizinde kullanılan yöntemlerin birçoğu, çalışma esnasındaki riskli duruşları, işin gerekliliklerini dikkate alarak geliştirilmiştir. Ergonomik risk analizi yapılırken, yapılan işin gereklilikleri unutulmamalıdır. Liu (2014) kas-iskelet sistemlerindeki yük analizi, Kara vd. (2014) montaj hattında çalışanlar, Ayan (2015) otomotiv sektöründe montaj hattında, Felekoğlu ve Taşan (2017) ve Özoğlu vd. (2018) metal sektöründe, Enez ve Nalbantoğlu (2019) ormancılık sektöründe, Delice vd. (2018) ağır ve tehlikeli işlerde, Kılıç (2021) gıda sektöründe, Mert (2014) çanta imalatında, İlker ve Burdurlu (2012) mobilya imalatında, Dilay ve Özkan (2022) elma budamada, Kee (2022) farklı yöntemleri karşılaştırmada, Sever ve Deste (2021) civata fabrikasında, Geniş ve Sümer (2021) tohumluk mısır üretiminde, Akalp vd.(2021) zeytin tarımında, Yürek ve Kaya (2019) yol inşaat şantiyesinde Ülker ve Burdurlu (2012) panel mobilya üretiminde, İnan vd. (2010) etiket ve matbaa sektöründe risk değerlendirmesi analizleri yapmışlardır.

Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden birisi olan OWAS (Ovako Working Posture Analysing System), Finlandiya'da geliştirilen çalışanın duruşunun kaydedilmesi esasına göre dayalı bir yöntemdir. OWAS yönteminde öncelikli olarak, çalışanların kas ve iskelet sistemindeki yüklenmeleri ve çalışma sisteminin yol açtığı kötü duruşların belirlenmesine yönelik gözlemler yapılmaktadır (Eriş vd. 2014). Bu analiz yönteminde, çalışanların görüntüleri kamera ile kayıt altına alınmakta ve çeşitli yöntemler ile analiz edilmektedir. Bu yöntemde, çalışma duruşları standartlaştırılmış ve "OWAS Çalışma Duruşları" olarak birçok endüstri alanında uygulanabilmektedir. Bu metoda göre duruşlar sınıflandırılarak çalışanın rahatsız edici unsurların ortadan kaldırması için tasarıma yönelik sistematik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır (Akay vd., 2003). Sistem, çalışanın vücut bölgelerinden sırt, kol ve bacaklarının; öne eğilme, dönme ve bükülme pozisyonlarını incelemekte ve her bir duruş için harcanan zamana bağlı olarak o duruşun tekrarlanma sıklığı da değerlendirilmektedir (Özcan vd., 2007).

Tüm vücudu ele alan OWAS yöntemi, meyve hasadındaki riskleri değerlendirmek için uygun yöntem olduğu düşünülmüştür. Bu yöntem ile doğada verilerin elde edilmesi için kameranın kullanılması ise, yöntemin avantajı ve kolaylığı olarak görülebilir. Bu çalışmada, eğimli bir zeminde kendiliğinden yetişmiş olan bir grup alıç ağacında geleneksel yollarla yapılan meyve toplama işleminde, toplayıcıların duruşları kamera ile kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler, OWAS (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) kriterlerine göre belirlenmiş ve ErgoFellow 3.0. yazılımı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Böylece alıç toplama esnasında çalışanların duruşlarından elde edilen riskler incelenip, uygun olmayan duruşlar belirlenmiştir. Bunların yol açtığı kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilecek risklerin önceden tahmin edilip, en aza indirmesi için duruşlarda yapılacak iyileştirmeler belirlenmiştir ve çalışanlara bildirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada kullanılan veriler, Karaman ilinin güneyinde il merkezine 20 km uzaklıkta yer alan Lale Mahallesi'nde eğimli ve ormanlık alanda bulunan alıç ağacı meyvesinin toplanması esnasında kayıt altına alınan görüntülerin analizinden elde edilmiştir. Veriler 2022 yılı Ekim ayında toplanmıştır. Veriler, bölgede tesadüfi olarak alıç toplayan kişilerin, onayları alınarak, 47 dakika süren kamera kayıtlarından oluşmaktadır. Elde edilen veriler ve ErgoFellow 3.0. yazılımı yardımıyla, alıç toplamada OWAS Risk Değerlendirmesi Analizi yapılmıştır.

OWAS risk değerlendirme yönteminde; dört farklı sırt, üç farklı kol, yedi farklı bacak duruşu ile üç farklı yük kombinasyonundan oluşan toplamda 252 duruş ve yük kriteri vardır (Tablo 1). Bu yöntemde kullanılacak veriler toplanırken, çalışan çalışma süresince gözlemlenmiş; sırt, kol ve bacak duruşlarını içeren vücut duruşları (Şekil 1) ve çalışma boyunca uygulanan yük (Tablo 2) sınıflandırılmıştır. Akay vd., (2003), Özel ve Çetik, (2010), Özoğul vd., (2018) de çalışmalarında benzer yöntemi kullanmışlardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda alıç meyvesinin toplanmasında OWAS Risk Değerlendirmesi skoru bulunmuştur. Her bir görüntüden elde edilen OWAS skorlarının aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Hesaplamalarda (1) ve (2) nolu eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$\text{Aritmetik Ortalama} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

$$\text{Standart Sapma} = \frac{\sum (x - x_i)^2}{\sum n - 1} \quad (2)$$

xi: Her bir görüntüden hesaplanan OWAS skoru değeri

x: Tüm görüntülerden hesaplanan OWAS skoru değeri

n: Kullanılan görüntü sayısı.

Bulunan skora karşılık gelen kategori sınıfı belirlenmiştir (Tablo 2). Tablo 2'deki tehlike kategorilerine göre, gerekli düzenlemelerin yapılması önerilmektedir. C1 kategorisinde herhangi bir ergonomik düzenlemeye gerek kalmazken, diğer bütün kategorilerde düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Özellikle C4 kategorisinde yüklenmenin ya da zorlanmanın çok fazla olduğu ve ergonomik düzenlemenin en kısa zamanda yapılması gerekmektedir.

Alıç meyvesinin toplanmasından kaynaklanan kas ve iskelet rahatsızlıkları riskinin değerlendirilmesinde; ağaç üzerinden ve yerden meyve toplama olmak üzere iki farklı durumda meyve toplanmaktadır. Kamera kayıtlarında, önceden belirlenen alandaki alıç ağacının dallarından ve yerden olgunlaşan meyvelerin toplanmasında bazı toplayıcılara ait görüntüler yer almıştır (Ek-1).

Tablo 1. İncelenen duruşlar, ilgili kod numaraları ve yük durumları (Table 1. Examined postures, relevant code numbers and load cases)

<b>İncelenen Duruşlar</b>	<b>Duruş Şekli</b>	<b>Kod</b>
<b>Sırt Duruşu</b>	Düz	1
	Eğilmiş	2
	Dönmüş	3
	Dönme ve Eğilme aynı anda	4
<b>Kol Duruşu</b>	İki kol omuz seviyesinin altında	1
	Bir kol omuz hizasının üstünde	2
	İki kol omuz hizasının üstünde	3
<b>Bacak Duruşu</b>	Oturma	1
	İki bacak üzerinde ayakta durma	2
	Tek bacak üzerinde ayakta durma	3
	İki bacağın bükülmesi	4
	Bir bacağın bükülmesi	5
	Diz çökerek durma	6
	Yürüme	7
<b>Yük Durumu</b>	<10 kg	1
	10-20 kg	2
	>20 kg	3



Şekil 1. OWAS metoduna göre duruş şekillerinin sınıflandırılması (Figure 1. Classification of postures according to the OWAS method) (Enez ve Nalbantoğlu, 2019).

Tablo 2. OWAS tehlike kategorileri (Table 2. XOWAS hazard categories)

Kategori Sınıfları	Açıklaması
C1	Çalışanın normal duruş şekli, ergonomik düzenleme yapılması gerekmez.
C2	Çalışanda zorlanma fazla değil, ergonomik düzenleme yapılması gerekir. Ancak acil bir düzenlemeye gidilmez.
C3	Çalışanda yüklenme ve zorlanma fazla, ergonomik düzenleme en kısa zamanda yapılmalıdır.
C4	Çalışanda yüklenme ve zorlanma <b>çok fazla</b> ergonomik düzenleme en kısa zamanda yapılmazdır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada veriler, çalışmanın yapıldığı alanda alıç toplayan kişilerin, 47 dakika süren kamera kayıtlarından elde edilmiştir. Kayıt altına alınan sürede 4 kişi toplam 6280 gr. alıç meyvesi toplamışlardır. Bu miktarın yaklaşık yarısı yerden, diğer yarısı ise ağaç dalları üzerinden toplanmıştır. 47 dakika süresince çekimler 10'ar saniye ileri alındıktan durdurulup, resim olarak kaydedilmiştir. Bu işlemlerden sonra 819 adet görüntü elde edilebilmiştir. Bu görüntülere ErgoFellow 3.0. yazılımı yardımıyla OWAS Risk Değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme ve hesaplamalar neticesinde, Tablo 3'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3. OWAS tehlike kategorileri dağılımı (Table 1. OWAS hazard categories distribution)

Kategori Sınıfları	1	2	3	4	Toplam	Standart Sapma
Adet	146	378	271	24	819	2,21 ±
Yüzde (%)	17,83	46,15	33,09	2,93	100	0,76

Tablo 3'den de görüleceği gibi, ErgoFellow 3.0. yazılımı yardımıyla yapılan OWAS Risk Değerlendirmesinden elde edilen verilerden en çok 378 adet (%46,15) görüntü ile 2. kategoride bulunan "Zorlanma fazla değil, ergonomik düzenleme yapılması gerekir. Ancak acil bir düzenlemeye gidilmez." sonucuna ulaşılmıştır. Bunu sırasıyla 271 adet (%33,09) ile 3. kategori, 146 adet (%17,83) ile de 1. kategoride yer alan riskler izlemiştir. 4. kategori de ise, yalnızca 24 adet (%2,93) görüntüye rastlanmıştır.

Kayıt altına alınan görüntülerden elde edilen toplam 819 görüntünün OWAS kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen OWAS skorlarının aritmetik ortalaması (1) nolu eşitlik yardımıyla 2,21 ve standart sapması ise (2) nolu eşitlik yardımıyla 0,76 olarak hesaplanmıştır. OWAS skorunun 2. kategorinin dışında kalması nedeni ile çalışmadaki tüm duruşların 3. kategoride değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durumda "Yüklenme ve zorlanma fazla, ergonomik düzenleme en kısa zamanda yapılmalıdır." sonucu elde edilmiştir.



## Kaynakça

- Akalp, H. G., Saklangıç, U. & Çırakoğlu, S. (2021). Zeytin Tarımında Çalışan İşçilerin Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi ile Analizi. *Ergonomi*, 4 (2), 88-96. DOI: 10.33439/ergonomi.961369
- Akay, D., Dağdeviren, M., Kurt, M., (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84.
- Ayan B., (2015). Montaj hattında ergonomik risk unsurlarının incelenmesi: otomotiv sektörüne yönelik bir uygulama. Yayınlanmış Uzmanlık Tezi. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Delice, E. K., Ayık, İ., Abidinoğlu, Ö. N., Çiftçi, N. N., Sezer, Y. (2018). Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ve AHP yöntemi ile çalışma duruşlarının analizi: ağır ve tehlikeli işler için bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 112-124.
- Dilay, Y., Özkan. A., (2022). Elma Ağaçlarının Budanmasında Çalışanların Vücut Duruşlarının REBA Yöntemi ile Analizi. II- International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies July 26-28, 2022 / Batumi, Georgia.
- Enez, K., & Nalbantoğlu, S. S. (2019). Comparison of ergonomic risk assessment outputs from OWAS and REBA in forestry timber harvesting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 51-57.
- Eriş, H., Can, F.G., Fırlalı, N., (2014). Çalışma Duruşu ve Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları. *Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*. <https://www.isgturkiye.com/konu/calisma-durusu-ve-kas-iskelet-sistemi-rahatsizliklari.1555/>.
- Felekoğlu, S., Taşan, O., (2017). Ergonomic risk assessment for work-related musculoskeletal disorders: A systematic reactive/proactive integrated approach. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32(3), 777-793.
- Geniş, A., Sümer, S. K. (2021). Tohumluk Mısır Üretiminde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi ile Ergonomik Risk Analizi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 17 (3), 127-138. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/67237/1007947>
- İnan U., Karacın C., Yıldırım A., Yılmaz C., (2010). OWAS Metodu ile Çalışma Duruşlarının İncelenmesi Etiket ve Matbaacılık Sektöründe Bir Uygulama, 17. Ergonomi Kongresi Eskişehir 503-513
- Kara Y., Atasagun Y., Peker A., (2014). Montaj hatlarında çalışma duruşlarının REBA yöntemi ile analizi ve ergonomik risk değerlendirmesi. 7. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, İstanbul- Türkiye, 5-7 Mayıs.
- Kee, D. (2022). Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA based on a literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 595.
- Kılıç, E. (2021). Ergonomik risk analizi yöntemlerinin incelenmesi: Gıda sektörüne yönelik bir uygulama (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi).
- Liu, D. R., (2014). Comparison of concepts in easy-to-use methods for MSD risk assessment. *Applied Ergonomics*, 45 (3), 420-427.
- Mert E.A., (2014). Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir çanta imalat atölyesinde uygulanması. Yayınlanmış Uzmanlık Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özcan, E., Kesiktaş Sakar, N., Alptekin, H.K., Özcan, E.E. (2007). Mesleki Kas İskelet Risklerinin Değerlendirilmesinde QEC Ölçeğinin (Quick Exposure Check-Hızlı Maruziyet Değerlendirme) Türkçe Uyarlamasının Güvenilirliği. *İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi*, 70(40), 98-102.
- Özoğul, B., Çimen, B., Kâhya, E. (2018). Bir Metal Sanayi İşletmesinde Ergonomik Risk Analizi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(OS: Ergonomi2017), 159 – 175
- Sever, S. & Deste, M. (2021). Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 417-441. DOI: 10.31590/ejosat.892538
- Ülker, O. ve Burdurlu, E., (2012). Panel mobilya imalatında kullanılan bazı makinelerde OWAS yöntemi ile eylemsel duruş analizi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 291-300.
- Yürek, K. & Ersöz Kaya, İ. (2019). Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1357-1366. DOI: 10.31590/ejosat.667469.



# Choline Chloride Encapsulated PLGA Nanoparticles Labelled with Lanthanide Metals

Burcu Ucar

Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Arel University, Istanbul 34537, Turkey (ORCID: 0000-0002-8540-7832),  
[brccr87@gmail.com](mailto:brccr87@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 20 Şubat 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1197269)

**ATIF/REFERENCE:** Ucar, B. (2023). Choline Chloride Encapsulated PLGA Nanoparticles Labelled with Lanthanide Metals. European Journal of Science and Technology, (50), 36-46.

## Abstract

Herein, choline chloride was loaded into PLGA nanoparticles to ensure its controlled release. Encapsulation efficiencies (EE) and loading capacities (LC) of them were determined. Also, the produced nanoparticles were analyzed with Zetasizer, FT-IR, SEM, and XRD. The surfaces of the nanoparticles were functionalized by labeling with three different natural lanthanide metals Europium, Gadolinium, and Lutetium to expand diagnostic and therapeutic capabilities with three different imaging techniques. Metal labeling of the nanoparticles was confirmed with SEM-EDX analysis. EE of the choline chloride nanoparticles were ranging between 62.5%-88.9%. LC of the choline chloride nanoparticles varied from 34.9 to 61.4. The mean size distribution obtained from the Zetasizer analysis of the free nanoparticles was  $261.0 \pm 7.598$  nm. The Z-average size of the encapsulated nanoparticles also varied from 257.5 to 270 nm. The quite negative zeta potential, for example,  $-17.85 \pm 0.165$  mV for free NPs showed that the nanoparticles were sufficiently stable. The elemental mapping of the metal labeled NPs verified the labeling procedure. By obtaining therapeutic choline chloride-loaded nanoparticles with different metal labels, theranostic agents with common target and the ability to eliminate limitations with different imaging and detection techniques have been produced.

**Keywords:** Choline chloride, PLGA, Lanthanides.

## Lantanit Metallerle İşaretlenmiş Kolin Klorür Enkapsüle PLGA Nanopartikülleri

### Öz

Burada, kolin klorür kontrollü salınım sağlanması için PLGA nanoparçacıklarına yüklenmiştir. Bunların kapsülleme verimleri (EE) ve yükleme kapasiteleri (LC) belirlenmiştir. Ayrıca üretilen nanopartiküller Zetasizer, FT-IR, SEM ve XRD ile karakterize edilmiştir. Nanopartiküllerin yüzeyleri, üç farklı görüntüleme tekniği ile tanı ve tedavi kapasitesini genişletmek için üç farklı doğal lantanit metali Europium, Gadolinium ve Lutetium ile işaretlenerek işlevselleştirilmiştir. Nanopartiküllerin metal işaretleme SEM-EDX analizi ile doğrulanmıştır. Kolin klorür yüklü nanoparçacıkların EE'si %62.5-%88.9 arasında değişmiştir. Kolin klorür yüklü nanoparçacıkların LC'si %34.9 ile %61.4 arasında değişmiştir. Serbest nanopartiküllerin Zetasizer analizinden elde edilen ortalama boyut dağılımı  $261.0 \pm 7.598$  nm idi. Kapsüllemiş nanoparçacıkların Z-ortalama boyutu da 257.5 ila 270 nm arasındaydı. Oldukça negatif zeta potansiyeli, örneğin, serbest NP'ler için  $-17.85 \pm 0.165$  mV, nanoparçacıkların yeterince kararlı olduğunu göstermiştir. Metal işaretli NP'lerin element haritalaması, işaretleme prosedürünü doğrulamıştır. Terapötik kolin klorürü yüklü farklı metal işaretli nanoparçacıkların elde edilmesi ile aslında ortak hedefe yönelik ve farklı görüntüleme ve dedeksiyon teknikleri ile limitasyonları ortadan kaldırma beceresine sahip teranostik ajanlar üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kolin klorür, PLGA, Lantanitler.



## 1. Introduction

Choline chloride (ChCl) (Figure 1) is a quaternary ammonium base (Kuang et al., 2010) and significant as an requisite nutrient for sustaining normal liver function of cells (Kuang et al., 2010; Liu et al., 2020; O'Dwyer et al., 2020). According to the results of different studies; Choline shortage can bring about varying degrees of liver damage, liver cirrhosis, dyslipidemia, and liver cancer (Higdon, Drake, Delage, & Stocker, 2000; Lau, Zhang, & Yu, 2017; Liu et al., 2020; Marcolin et al., 2011; Mehedint & Zeisel, 2013). Liver malignancy and its predominant type, HCC (hepatocellular carcinoma) is one of the most common malignancies with an increasing incidence worldwide (Cicalese, 2022; NORD, 2017; Philips et al., 2021). Based on the liver cancer 2020 data reported by the World Health Organization (WHO); the global incidence is estimated at 905,677 and the death rate at 830,180 (WHO, 2020). The disease still has a poor prognosis in the range of 5-30% with five-year survival (Liu et al., 2020; Philips et al., 2021). It is also estimated that more than one million people will be affected by liver cancer each year by 2025 (Philips et al., 2021). Although hepatitis viral infections are responsible for this increase due to approximately 50% case rate (Kuang et al., 2010; Liu et al., 2020), severely insufficient dietary choline intake of the Chinese population cannot be excluded due to the case rate of approximately 45% (Llovet et al., 2022). The  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -Colloid (TIN) SPECT imaging technique is routinely applied to determine the organ size and presence of focal lesions and the degree of hepatocellular dysfunction in liver diseases (Willyard & Kalathil, 2020). According to the results of a study examining the metabolic distribution of choline using this agent; Choline absorbed from the intestine is first deposited in the liver, then recycled and redistributed from the lungs, kidneys and intestines to the liver and brain in case of insufficient choline intake. This dynamic distribution plays a role in the synthesis of phosphatidylcholine (which makes up nearly half of cell membranes) and in repairing existing damage to hepatic reticuloendothelial function. Consequently, this repair prevents the shift of colloidal choline from the liver to the spleen, increasing liver uptake and reducing splenic uptake (Al-Saedi & Cheng, 2013; Willyard & Kalathil, 2020). All cells use choline for the biosynthesis of phospholipids (for example, PtdCho) and as a component of phosphatidylcholine to maintain the functions and structural integrity of their cell membranes (Gibellini & Smith, 2010; Liu et al., 2020). In addition, rapidly proliferating tumors are known to contain abundant phospholipids and phosphatidylcholine (PtdCho) (Glunde, Bhujwalla, & Ronen, 2011; Kuang et al., 2010). In hepatocytes and kidney cells, choline is converted to betaine by the choline oxidase enzyme system and can be oxidized to betaine aldehyde, which is the main source of the betaine methyl group (Kuang et al., 2010; Liu et al., 2020). In a study on choline supplementation, it was determined that the mentioned oxidation pathway increases DNA methylation and DNA methyltransferase expression, and plays a critical role in DNA and histone methylation homeostasis (Liu et al., 2020). It has also been noted that choline may be a critical supplement in both hepatocarcinogenesis and liver cancer survival, and may even cause a higher survival rate in HCC cases accompanied by higher serum choline levels in the case of systemic inflammation (CRP level > 3.0 mg/L) (Liu et al., 2020). According to the Positron Emission Tomography (PET) study, in which up-regulated choline uptake was used as a diagnostic marker and HCC cells was targeted, it has been reported that carcinogenesis is associated with up-regulated choline kinase activity, and this activity causes an increase in phosphocholine levels (Kuang et al., 2010). In a study based on  $^1\text{H}$  and  $^{31}\text{P}$  magnetic resonance spectroscopy (MRS), it was emphasized that choline transport and phosphorylation are faster during hepatocarcinogenesis, and that increased phosphocholine cycles may cause increased MRS values in cancer cells (Kuang et al., 2010).

These complex biodistribution studies have been simplified by the using of polymeric nanoparticles that allow different therapeutic agents reach their targets more effectively (Snehalatha, Venugopal, Saha, Babbar, & Sharma, 2008). As mentioned, the charged nanoparticles mainly accumulate in the liver and spleen, where they are transported to the bloodstream, where they are then opsonized by the macrophages of the mononuclear phagocyte system (MPS) and thus largely cleared. In this way, other organs are protected from acute toxicity (Snehalatha et al., 2008). This distribution route can be chosen in the chemotherapeutic treatment of tumors such as hepatocarcinoma or hepatic metastases (Snehalatha et al., 2008). Reddy et al. (2004) reported the biodistribution of radiolabeled etoposide-loaded lipid nanoparticles with this technique (Snehalatha et al., 2008). The development of metal-based biomaterials (especially by labeling with Lanthanides) targeting cancerous cells provides models for many pharmaceuticals, from imaging agents (radionuclides, magnetic, fluorescent) to contrast and chemotherapeutic agents (Dasari & Patra, 2015; Tikhonova, Shirshin, Budylin, Fadeev, & Petrova, 2014; B. Ucar & Acar, 2021). Developed as luminescent bioprobes, magnetic resonance imaging (MRI) agents, biologically responsive cellular imaging agents, and targeted radionuclide therapy agents, these agents are gaining increasing popularity as simulating agents prior to clinical application (B. Ucar & Acar, 2021). The radioisotope  $^{177}\text{Lu}$  of lutetium(III) chloride is used in the theranostic-based treatment of cancer types including prostate, multiple myeloma, neuroendocrine tumors and metastases, but radiolabeling is clinically possible in Nuclear Medicine Departments (Demirkol et al., 2018; Demirkol, Özkan, Uçar, Wester, & Ferhanoglu, 2021; Kierkowicz et al., 2017; Özkan et al., 2020).

The technique to be applied using each imaging agent produced in this study has advantages and limitations, so they are considered to be complementary to each other (Greiser, Weigand, & Freesmeyer, 2019). Metal-based colloids used in MRI and SPECT represent an important branch of clinically relevant liver-specific pharmaceuticals (Greiser et al., 2019), while fluorescent-based colloids guide more sensitive tumor resection operations (Han, Deng, Sun, Ling, & Shen, 2015). MRI provides sub-millimetre resolution images of soft tissue structures with high-contrast anatomical information, while scintigraphy or SPECT primarily provides functional images (Greiser et al., 2019). Radiolabeled colloid scintigraphy is still used to determine regional liver function with SPECT and to identify common liver diseases such as cirrhosis (Greiser et al., 2019). The trivalent gadolinium ion ( $\text{Gd}^{3+}$ ), routinely used in MR imaging, has seven unpaired electrons in its outer electron shell and is highly paramagnetic (Cebeci, Ucar, Acar, & Erden, 2021; Han et al., 2015).  $\text{Eu}^{3+}$  has high paramagnetism with six unpaired electrons in its outer electron shell (Han et al., 2015). However, its use in MRI is limited due to its poor stabilization.  $\text{Eu}^{3+}$  has long radiative emission lifetimes with  $f \rightarrow f$  transitions, is photoluminescent, emits long-lived effective fluorescence (585-630 nm, red), and has low toxicity (Han et al., 2015).  $^{177}\text{Lu}$  is an important therapeutic radioisotope with widespread use in Targeted Radionuclide Therapy (TRT) (Dash, Pillai, & Knapp, 2015;

Demirkol et al., 2018; Kierkowicz et al., 2017). The mean penetration range of  $\beta^-$  particles emitted by  $^{177}\text{Lu}$  in soft tissue is 670  $\mu\text{m}$ , making this radionuclide perfect for transmitting energy to small volumes such as micrometastatic disease (less than 3 mm in diameter) (Dash et al., 2015). Moreover, localizing cytotoxic radiation at micro dimensions,  $^{177}\text{Lu}$  thus, destroys small tumors and metastatic lesions while preserving normal tissue (Dash et al., 2015). Low-energy gamma photons of  $^{177}\text{Lu}$  allow imagination of its biodistribution and pharmacokinetics with the same radiolabelled pharmaceutical used for therapy (theranostics for personalized medicine) (Dash et al., 2015; Demirkol et al., 2021; Özkan et al., 2020). Lutetium exists only in the +3 oxidation state, does not undergo reduction-oxidation complications, and generally forms nine coordination complexes (Dash et al., 2015).  $^{177}\text{Lu}$  has a long time period with a half-life of 6.65 days (Dash et al., 2015). Lutetium(III) chloride, its radioisotope  $^{177}\text{Lutetium}$ , is used in the theranostic-based treatment of cancer types including prostate, multiple myeloma, neuroendocrine tumors and metastases, but radiolabeling is clinically possible in the Nuclear Imaging Departments. The imaging agents produced in this study target the RES and therefore show minimal biliary excretion. They accumulate in Kupffer cells, thus visualizing heterogeneities in liver uptake and aggregation defects (Greiser et al., 2019).

In this study, basically, choline, which is known to have both therapeutic and protective effects against hepatic reticuloendothelial function damage such as HCC, liver leakage, and cirrhosis, was loaded on PLGA nanoparticles, and labeled with Gadolinium, Lutetium and Europium to examine the therapeutic effect, biodistribution and pharmacokinetic properties of these loaded nanoparticles. Thus, technique-specific limitations can be avoided by evaluating different imaging modalities such as MRI, SPECT, and fluorescence imaging separately.

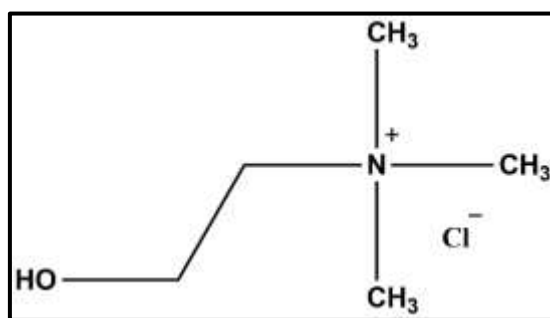


Figure 1. Molecular structure of the choline chloride

PLGA (Figure 2) is a FDA (Food and Drug Administration)-approved, biocompatible and biodegradable polymer. It is a system that is frequently preferred in providing controlled release of many different active ingredients, increasing its bioavailability and cellular response, and improving its cytotoxic activity. The most widely used method for loading hydrophilic active ingredients into PLGA nanoparticles is the double emulsion solvent evaporation method. PLGA can be easily hydrolyzed in water and its hydrolysis products can be broken down to  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  by metabolic pathway (Figure 2) (Makadia & Siegel, 2011; Tosyali et al., 2021).

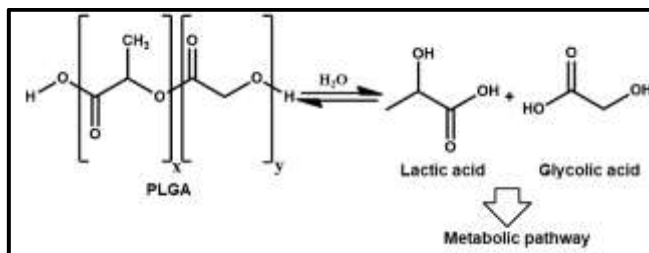


Figure 2. Molecular structure of the PLGA and its hydrolysis

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Choline chloride (ChCl) was gifted from Dr. Melih Besir Arvas, Ph.D.. PLGA,  $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{GdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{LuCl}_3$  and other solvents were obtained from Sigma Aldrich. Ultra pure water produced from Elix-70 system.

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Production of the Nanoparticles

Choline chloride is a very water-soluble molecule (Arias et al., 2020). Encapsulation of ChCl into polymeric nanoparticles was performed by double emulsion (water/oil/water, w/o/w) solvent evaporation method based on previous works with minor modifications (Abamor et al., 2019; Tosyali et al., 2021).

25-100 mg of the ChCl was dissolved in 850  $\mu\text{L}$   $\text{dH}_2\text{O}$ . This solution was added dropwise to the solution of 100 mg of PLGA dissolved in 1.5 mL of DCM and 90 seconds 80% of amplitude sonication was applied using a probe sonicator (Bandelin). Thus, the first emulsion w/o was prepared. For the second emulsion, the obtained w/o phase was added dropwise with a syringe to freshly prepared 8 mL of 3% PVA. PVA is one of the most frequently utilized polymeric surfactants to stabilize the obtained emulsion. Lastly,

the formed  $w_1/o/w_2$  emulsion was added dropwise to 35 mL of 0.1% (w/v) PVA solution. It was stirred at 400 rpm at room temperature for two hours to allow the DCM to evaporate. The formed NPs were washed three times with distilled water followed by centrifugation at 9000 rpm for 30 min at 4 °C to remove the PVA and the non-encapsulated ChCl from the outer aqueous phase. Lastly, the NPs were lyophilized and stored at -18 °C until use.

### 2.2.2. Characterization of the Nanoparticles

DLS and ELS measurements of the NPs were performed with Zetasizer (Malvern, Nano ZS). FT-IR spectra were obtained from Shimadzu IR-prestige in the range of 650-4000  $cm^{-1}$ . The morphology and elemental structure of the NPs were investigated utilizing scanning electron microscopy (SEM, Zeiss EVO® LS 10 SEM) and energy dispersive spectra (EDS, Zeiss EVO® LS 10 SEM), respectively. Powder X-ray diffraction analyses of the produced NPs were conducted with an X-ray diffractometer (PANalytical) using  $Cu\ K\alpha$  ( $\lambda = 0.154\text{ nm}$ ) radiation. The diffractograms were recorded in  $2\theta$  range between 5° and 90° (Acar & Ucar, 2022; Yazar, Arvas, & Sahin, 2022).

Encapsulation efficiency (EE) and loading content (LC) of ChCl were determined by the indirect method. The supernatant obtained from the washing process was centrifuged in a membrane centrifuge tube (Millipore 5kDa) at 6000 rpm for 45 minutes and analyzed in the LC-ESI-MS. The EE and LC of ChCl were calculated using the equation 1 and 2, respectively (Acar & Ucar, 2022). The calibration curve obtained for this calculation was expressed in Figure 3 [intercept:  $1.43E6 \pm 7005.11$ , slope:  $953162.18 \pm 33915.62$ ].

$$EE\% = \frac{\text{amount of the ChCl in the NPs}}{\text{amount of the initially used ChCl}} \times 100 \quad [1]$$

$$LC\% = \frac{\text{amount of the ChCl in the NPs}}{\text{amount of the lyophilized NPs}} \times 100 \quad [2]$$

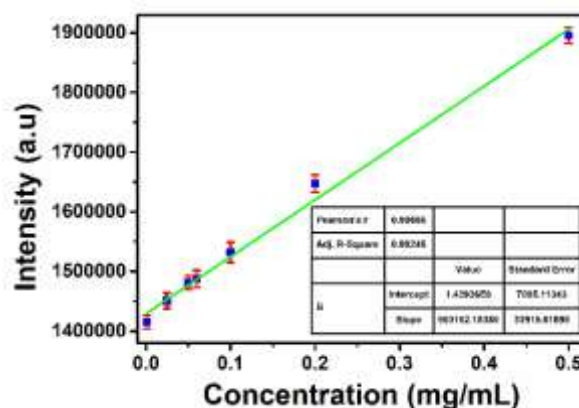


Figure 3. LC-ESI-MS calibration curve of the ChCl

The in-vitro release profiles of the ChCl loaded NPs were examined at pH 7.2 in phosphate-buffered saline (PBS). 10 mg of the NPs were redispersed in 5 mL of PBS using a bath-type sonicator (Bandelin) and incubated at 37 °C in a shaking water bath. At certain time intervals (1., 6., 24. h; 7., 14., 30. days), the samples were centrifuged at 9000 rpm for 15 minutes, and supernatants were separated. 75  $\mu\text{L}$  of them were injected into an LC-MS apparatus and the amount of the released ChCl was calculated using calibration curve of the ChCl ( $R^2: 0.996$ ) prepared with the LC-MS analyses (Acar & Ucar).

### 2.2.3. Labelling of the Nanoparticles

The nanoparticles produced using four different amounts of ChCl were labeled with three different metals. For this purpose,  $5 \times 10^{-5}\text{ M}$   $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{GdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{LuCl}_3$  were prepared. 10 mg of lyophilized ChCl loaded nanoparticles (C1-C4) were redispersed with 9 mL of ammonium acetate buffer (pH 4-5). 1 mL of metal solution in ammonium acetate buffer was added and incubated for 1 hour. Metal labeled ChCl loaded nanoparticles were collected with centrifugation at 9000 rpm for 5 minutes. The obtained nanoparticles were washed with distilled water under the above-mentioned centrifugation conditions. The purified nanoparticles were redispersed with some distilled water and lyophilized (Burcu Ucar, 2019; B. Ucar & Acar, 2021).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Production and Characterization of the Nanoparticles

Information about the obtained nanoparticles were given in Table 1. The RY for the production of C1-C4 nanoparticles varied from 27% to 48%. As the amount of the ChCl increased, the % RY yield increased as expected.

While the amount of ChCl used initially in the C1-C3 formulations increased, EE increased. In the C4 formulation using 100 mg ChCl, the encapsulation level reached maximum. For this reason, there was no further increase in % EE. The loading capacity also

increased with the increase in the amount of ChCl. These results in EE and LC were consistent with literature studies (Acar & Ucar, 2022; Dangi & Shakya, 2013; Makadia & Siegel, 2011; Tosyali et al., 2021).

The size, PDI, and zeta potential values of the produced nanoparticles were presented in Table 2. While there was no substantial change in the size values with the increase of the amount of ChCl used at the beginning, the size of the ChCl encapsulated nanoparticles increased slightly compared to the free one. Due to the high water solubility of the molecule (~500 mg/mL) used in the study, the amount of the substance between 25-100 mg used in the formulations did not cause excessive growth in the size of the nanoparticles. The PDI value of all nanoparticles was found below 0.2, which indicates a narrow range close to monodisperse. There was no meaningful difference between the zeta potential values of the free and ChCl loaded NPs. This showed that there was no surface adhesion.

Table 1. The reaction yield (RY), encapsulation efficiency (EE), and loading content (LC) information of the nanoparticle formulations produced in the study

<b>Formulation</b>	<b>Amount of the ChCl (mg)</b>	<b>RY (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>LC (%)</b>
C1	25	27.5	62.5	34.9
C2	50	33.1	75.8	50.4
C3	75	38.0	87.7	52.6
C4	100	44.8	88.9	61.4
Free NPs	-	52.0	-	-

Table 2. The size, PDI, and zeta potential values of the produced nanoparticles

<b>Formulation</b>	<b>Size (nm)</b>	<b>PDI</b>	<b>Zeta Potantial (mV)</b>
C1	270.0 ± 1.997	0.198 ± 0.015	-18.50 ± 0.863
C2	266.0 ± 2.205	0.182 ± 0.027	-15.42 ± 0.221
C3	257.5 ± 4.020	0.190 ± 0.008	-16.09 ± 0.068
C4	262.3 ± 0.987	0.194 ± 0.023	-19.83 ± 0.135
Free NPs	261.0 ± 7.598	0.199 ± 0.036	-17.85 ± 0.165

Zetasizer measurement result graphics of the NPs were presented in Figure 4 so as to support the size values given in Table 2 and present the Z-average size distributions of the NPs.

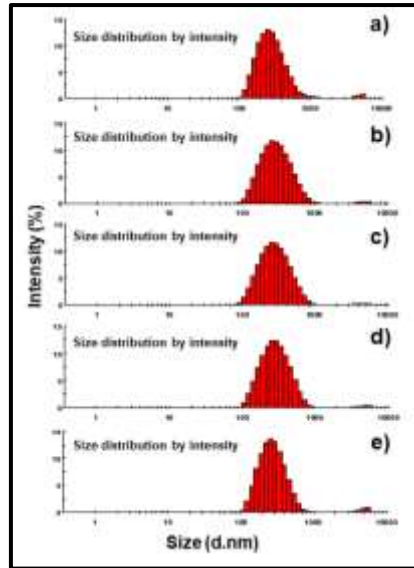


Figure 4. Particle size distributions by the intensity of the a) C1 NPs, b) C2 NPs, c) C3 NPs, d) C4 NPs, and e) free NPs

As seen in Figure 5, the O-H stretching band at  $3325.28\text{ cm}^{-1}$ , the methyl C-H bending at  $1479.40\text{ cm}^{-1}$ , and the C-N stretching band at  $1082.06\text{ cm}^{-1}$  support the ChCl structure (Sivrikaya, 2019; Ullah et al., 2015). In addition to the absence of the above-mentioned bands in the spectrums of ChCl loaded nanoparticles, the same characteristics of the spectra of free and ChCl loaded nanoparticles (C1-C4) have proven that there was no surface adhesion and that encapsulation of the ChCl has taken place successfully.

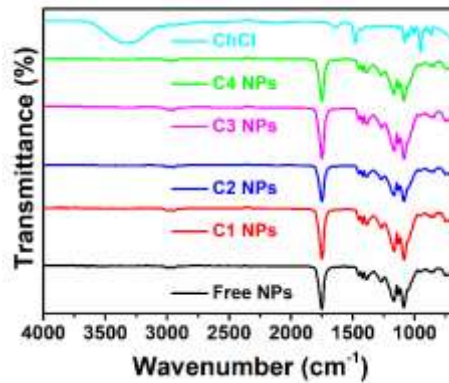


Figure 5. FT-IR spectra of the ChCl, ChCl loaded NPs (C1-C4), and free NPs

XRD patterns of the empty and ChCl loaded NPs were given in Figure 6. The literature values were used to evaluate the XRD data of ChCl with a crystalline structure (Petrouleas, Lemmon, & Christensen, 1978). The fact that the free PLGA NPs showed no sharp peaks supported its amorphous nature (Khanal et al., 2016; Seju, Kumar, & Sawant, 2011). In the case of ChCl loaded NPs, the main peaks of choline chloride were absent and the ChCl loaded NPs exhibited the same characteristics as the free NPs, indicating that the ChCl loaded NPs were in a highly amorphous state and successfully encapsulated to NPs. There were no new sharp and broad peaks observed or no significant shift in the peaks and also the absence of a transition from amorphous to a crystalline character indicated that there was no ChCl on the surface after encapsulation (Yağci, Arvas, & Yazar, 2022).

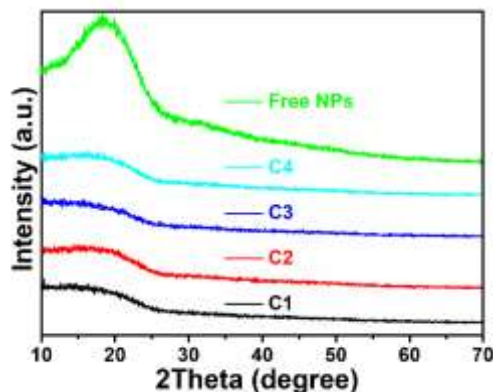


Figure 6. XRD spectra of the free and ChCl loaded (C1-C4) NPs

The in-vitro release profiles of the C1-C4 NPs were investigated to demonstrate ChCl's ability to reduce or increase drug release. As shown in Figure 7, initial burst release that was a well-known situation for PLGA NPs was detected in each formulation and 10-20% of the ChCl was released. It was thought that the highest release rate of the C4 formulation was due to the most negative zeta potential and thereby more interaction with the release buffer solution.

The general morphological features of the nanoparticles were evaluated with SEM imaging using only free nanoparticles. The SEM image of them was demonstrated in Figure 8. Although PLGA nanoparticles were damaged/melted because of exposure to the electron beam, especially in higher magnification, the particles were homogeneous and spherical and in the size range of 160 and 270 nm (Brauner et al., 2020). This supported the average size distribution of 261 nm obtained by the Zetasizer measurement.

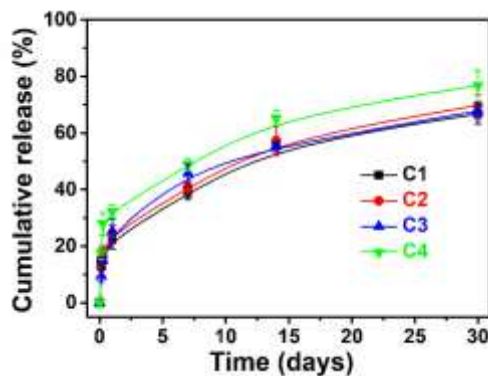


Figure 7. The in-vitro ChCl release profile of C1-C4 NPs

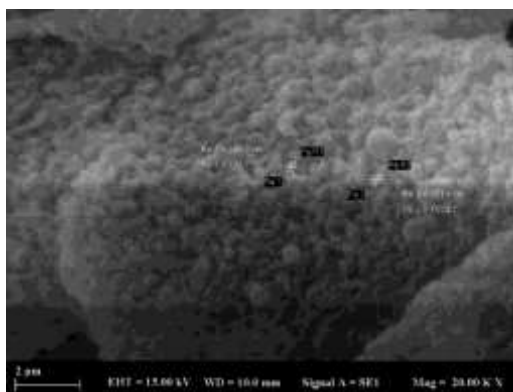


Figure 8. The SEM image of the free NPs at 20000x magnitude (scale bar: 2 μm)

### 3.2. Metal Labeling of the Nanoparticles

The obtained ChCl loaded NPs were labeled with Lu, Eu, and Gd metals. SEM-EDX analysis was performed on C1-C4 samples both to obtain information about the morphology of nanoparticles and to determine the metal content (Scimeca, Bischetti, Lamsira, Bonfiglio, & Bonanno, 2018; B. Ucar & Acar, 2021).

SEM imaging of each metal-labeled nanoparticle formulation was performed to examine whether the morphological properties of PLGA nanoparticles, as well as their distinctive spherical form and homogeneous distribution, changed after they were labeled with different metals.

In all metal labelings, according to semi-quantitative elemental analysis, the presence of metal in all nanoparticle formulations varying between 1% and 6% was detected (Figure 9-12).

The best labeling rate for Lu and Eu (6% and 3%, respectively) occurred in C4 nanoparticles, while C1 nanoparticles exhibited the highest labeling rate of Gd with 6%. The fact that the zeta potential in the C4 formulation was the most negative compared to the other formulations (C1-C3) may have resulted in more metal interaction. This may have provide the best labeling efficiency for Lu and Eu.

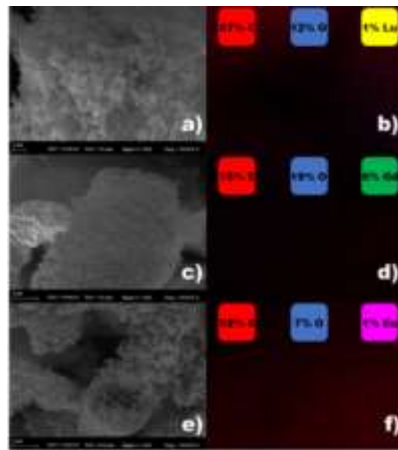


Figure 9. a, c, e) SEM images of C1 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively at 20000x magnitude (scale bar: 1 µm for a, and 2 µm for c, and e). b, d, f) Elemental mapping of C1 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively

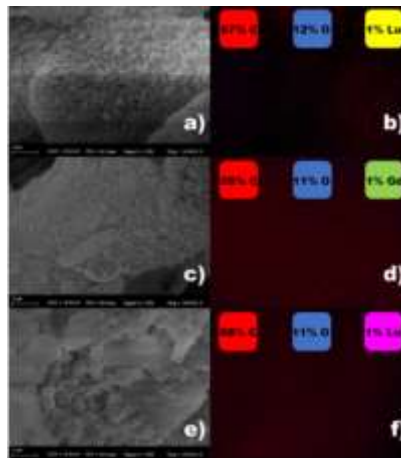


Figure 10. a, c, e) SEM images of C2 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively at 20000x magnitude (scale bar: 2 µm). b, d, f) Elemental mapping of C2 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively

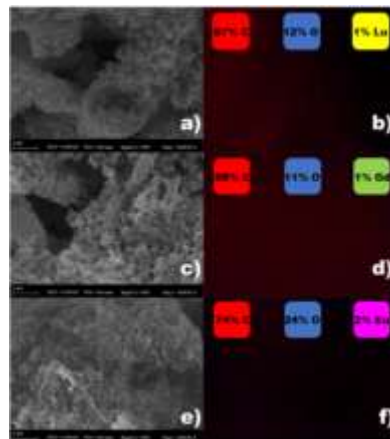


Figure 11. a, c, e) SEM images of C3 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively at 20000x magnitude (scale bar: 2 µm). b, d, f) Elemental mapping of C3 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively

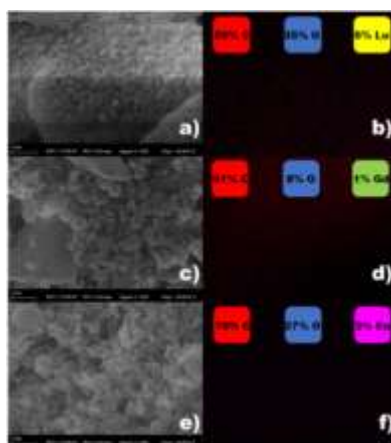


Figure 12. a, c, e) SEM images of C4 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively at 20000x magnitude (scale bar: 2  $\mu\text{m}$ ). b, d, f) Elemental mapping of C4 NPs labeled with Lu, Gd, and Eu, respectively

## 4. Conclusions and Recommendations

In this work, ChCl was encapsulated into PLGA nanoparticles utilizing four different initial ChCl concentrations. Success of the nanoparticles formation and encapsulation process were proved by Zetasizer, LC-ESI-MS, FT-IR, SEM, and XRD analyses. The ChCl encapsulated nanoparticles were labeled with three natural lanthanide metals to simulate radiolabelling. Metal labeled nanoparticles were investigated morphologically with SEM and quantitatively with elemental mapping.

The results suggested that ChCl loaded PLGA nanoparticles can be easily labeled with different lanthanide group metals such as Lu, Eu, and Gd, and these developed procedures can also be easily applied with radioactive metals. Gadolinium, Lutetium and Europium labeled PLGA nanoparticles as choline carrier can be used both therapeutically and protectively against hepatic reticuloendothelial function injuries such as HCC, liver leak and cirrhosis. Different detection possibilities of these metals provides the opportunity to evaluate through different imaging modalities such as MRI, SPECT and fluorescent imaging. Thus, the targeted biological distribution and pharmacokinetic of the active substance can be followed more precisely and with higher accuracy.

## 5. Acknowledge

The author has declared no conflicts of interest.

## References

- Abamor, E. S., Allahverdiyev, A., Tosityali, O. A., Bagirova, M., Acar, T., Mustafaeva, Z., & Derman, S. (2019). Evaluation of in vitro and in vivo immunostimulatory activities of poly (lactic-co-glycolic acid) nanoparticles loaded with soluble and autoclaved *Leishmania infantum* antigens: A novel vaccine candidate against visceral leishmaniasis. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 12(8), 353-364.
- Acar, T., & Ucar, B. (2022). Angiotensin (1-7)-Stearic Acid Conjugate: Synthesis and Characterization. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 9(2), 331-338.
- Al-Saedi, F. J., & Cheng, B. (2013). Choline treatment affects the liver reticuloendothelial system and plasma fatty acid composition in diabetic rats. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(4), 293-301.
- Arias, N., Arboleya, S., Allison, J., Kaliszewska, A., Higarza, S. G., Gueimonde, M., & Arias, J. L. (2020). The relationship between choline bioavailability from diet, intestinal microbiota composition, and its modulation of human diseases. *Nutrients*, 12(8), 2340.
- Brauner, B., Semmler, J., Rauch, D., Nokaj, M., Haiss, P., Schwarz, P., . . . Gabor, F. (2020). Trimethoprim-loaded PLGA nanoparticles grafted with WGA as potential intravesical therapy of urinary tract infections—Studies on adhesion to SV-HUCs under varying time, pH, and drug-loading conditions. *ACS omega*, 5(28), 17377-17384.
- Cebeci, C., Ucar, B., Acar, T., & Erden, I. (2021). Colorimetric detection of hydrogen peroxide with gadolinium complex of phenylboronic acid functionalized 4, 5-diazafluorene. *Inorganica chimica acta*, 522, 120386.
- Cicalese, L. (2022). Hepatocellular Carcinoma (HCC). Retrieved from <https://emedicine.medscape.com/article/197319-overview>
- Dangi, R., & Shakya, S. (2013). Preparation, optimization and characterization of PLGA nanoparticle. *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*, 4(7).
- Dasari, S., & Patra, A. K. (2015). Luminescent europium and terbium complexes of dipyridoquinoxaline and dipyridophenazine ligands as photosensitizing antennae: structures and biological perspectives. *Dalton Transactions*, 44(46), 19844-19855.
- Dash, A., Pillai, M. R. A., & Knapp, F. F. (2015). Production of  $^{177}\text{Lu}$  for targeted radionuclide therapy: available options. *Nuclear medicine and molecular imaging*, 49(2), 85-107.
- Demirkol, M. O., Kiremit, M. C., Acar, O., Falay, O., Ucar, B., & Esen, T. (2018). Local salvage treatment of post-brachytherapy recurrent prostate cancer via theranostic application of PSMA-labeled lutetium-177. *Clinical genitourinary cancer*, 16(2), 99-102.
- Demirkol, M. O., Özkan, A., Uçar, B., Wester, H.-J., & Ferhanoglu, B. (2021). Extramedullary Relapsed Multiple Myeloma Treatment With  $^{177}\text{Lu}$ -Labeled CXCR4 Endoradiotherapy and Dosimetric Results. *Clinical nuclear medicine*.



- Gibellini, F., & Smith, T. K. (2010). The Kennedy pathway—de novo synthesis of phosphatidylethanolamine and phosphatidylcholine. *IUBMB life*, 62(6), 414-428.
- Glunde, K., Bhujwalla, Z. M., & Ronen, S. M. (2011). Choline metabolism in malignant transformation. *Nature Reviews Cancer*, 11(12), 835-848.
- Greiser, J., Weigand, W., & Freesmeyer, M. (2019). Metal-based complexes as Pharmaceuticals for Molecular Imaging of the liver. *Pharmaceuticals*, 12(3), 137.
- Han, G., Deng, Y., Sun, J., Ling, J., & Shen, Z. (2015). Research into europium complexes as magnetic resonance imaging contrast agents. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 9(5), 1561-1566.
- Higdon, J., Drake, V., Delage, B., & Stocker, R. (2000). Linus Pauling Institute Micronutrient Information Center. *Oregon State University (2003–2018)*.
- Khanal, S., Adhikari, U., Rijal, N. P., Bhattarai, S. R., Sankar, J., & Bhattarai, N. (2016). pH-responsive PLGA nanoparticle for controlled payload delivery of diclofenac sodium. *Journal of functional biomaterials*, 7(3), 21.
- Kierkowicz, M., González-Domínguez, J. M., Pach, E., Sandoval, S., Ballesteros, B., Da Ros, T., & Tobias, G. (2017). Filling single-walled carbon nanotubes with lutetium chloride: A sustainable production of nanocapsules free of nonencapsulated material. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(3), 2501-2508.
- Kuang, Y., Salem, N., Corn, D. J., Erokwu, B., Tian, H., Wang, F., & Lee, Z. (2010). Transport and metabolism of radiolabeled choline in hepatocellular carcinoma. *Molecular pharmaceuticals*, 7(6), 2077-2092.
- Lau, J. K. C., Zhang, X., & Yu, J. (2017). Animal models of non-alcoholic fatty liver disease: current perspectives and recent advances. *The Journal of pathology*, 241(1), 36-44.
- Liu, Z.-Y., Yishake, D., Fang, A.-P., Zhang, D.-M., Liao, G.-C., Tan, X.-Y., . . . Zhu, H.-L. (2020). Serum choline is associated with hepatocellular carcinoma survival: a prospective cohort study. *Nutrition & metabolism*, 17(1), 1-9.
- Llovet, J. M., Castet, F., Heikenwalder, M., Maini, M. K., Mazzaferro, V., Pinato, D. J., . . . Finn, R. S. (2022). Immunotherapies for hepatocellular carcinoma. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 19(3), 151-172.
- Makadia, H. K., & Siegel, S. J. (2011). Poly lactic-co-glycolic acid (PLGA) as biodegradable controlled drug delivery carrier. *Polymers*, 3(3), 1377-1397.
- Marcolin, É., Forgiarini, L. F., Tieppo, J., Dias, A. S., Freitas, L. A. R. d., & Marroni, N. P. (2011). Methionine-and choline-deficient diet induces hepatic changes characteristic of non-alcoholic steatohepatitis. *Arquivos de gastroenterologia*, 48, 72-79.
- Mehedint, M. G., & Zeisel, S. H. (2013). Choline's role in maintaining liver function: new evidence for epigenetic mechanisms. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 16(3), 339.
- NORD. (2017). Rare Disease Information / Hepatocellular Carcinoma. Retrieved from <https://rarediseases.org/rare-diseases/hepatocellular-carcinoma/>
- O'Dwyer, C., Yaworski, R., Katsumura, S., Ghorbani, P., Gobeil Odai, K., Nunes, J. R., . . . Han, S. (2020). Hepatic Choline Transport Is Inhibited During Fatty Acid-Induced Lipotoxicity and Obesity. *Hepatology communications*, 4(6), 876-889.
- Özkan, A., Uçar, B., Seymen, H., Yazar, Y. Y., Falay, F. O., & Demirkol, M. O. (2020). Posttherapeutic critical organ dosimetry of extensive 177Lu-PSMA inhibitor therapy with metastatic castration-resistant prostate cancer: one center results. *Clinical nuclear medicine*, 45(4), 288-291.
- Petrouleas, V., Lemmon, R., & Christensen, A. (1978). X-ray diffraction study of choline chloride's  $\beta$  form. *The Journal of Chemical Physics*, 68(5), 2243-2246.
- Philips, C. A., Rajesh, S., Nair, D. C., Ahamed, R., Abduljaleel, J. K., & Augustine, P. (2021). Hepatocellular carcinoma in 2021: an exhaustive update. *Cureus*, 13(11).
- Scimeca, M., Bischetti, S., Lamsira, H. K., Bonfiglio, R., & Bonanno, E. (2018). Energy Dispersive X-ray (EDX) microanalysis: A powerful tool in biomedical research and diagnosis. *European journal of histochemistry: EJH*, 62(1).
- Seju, U., Kumar, A., & Sawant, K. (2011). Development and evaluation of olanzapine-loaded PLGA nanoparticles for nose-to-brain delivery: in vitro and in vivo studies. *Acta biomaterialia*, 7(12), 4169-4176.
- Sivrikaya, S. (2019). A novel vortex-assisted liquid phase microextraction method for parabens in cosmetic oil products using deep eutectic solvent. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99(15), 1575-1585.
- Snehalatha, M., Venugopal, K., Saha, R. N., Babbar, A. K., & Sharma, R. K. (2008). Etoposide loaded PLGA and PCL nanoparticles II: biodistribution and pharmacokinetics after radiolabeling with Tc-99m. *Drug delivery*, 15(5), 277-287.
- Tikhonova, T. N., Shirshin, E. A., Budylin, G. S., Fadeev, V. V., & Petrova, G. P. (2014). Assessment of the europium (III) binding sites on albumin using fluorescence spectroscopy. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118(24), 6626-6633.
- Tosyali, O. A., Allahverdiyev, A., Bagirova, M., Abamor, E. S., Aydogdu, M., Dinparvar, S., . . . Derman, S. (2021). Nano-co-delivery of lipophosphoglycan with soluble and autoclaved leishmania antigens into PLGA nanoparticles: Evaluation of in vitro and in vivo immunostimulatory effects against visceral leishmaniasis. *Materials Science and Engineering: C*, 120, 111684.
- Ucar, B. (2019). Synthesis and characterization of natural lanthanum labelled DOTA-Peptides for simulating radioactive Ac-225 labeling. *Applied Radiation and Isotopes*, 153, 108816.
- Ucar, B., & Acar, T. (2021). Macroaggregated Albumin (MAA): Production, Size Optimization, Eu (III) and Tb (III) Complexes. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8(1), 209-216.
- Ullah, R., Atilhan, M., Anaya, B., Khraishah, M., García, G., ElKhattat, A., . . . Aparicio, S. (2015). A detailed study of cholinium chloride and levulinic acid deep eutectic solvent system for CO<sub>2</sub> capture via experimental and molecular simulation approaches. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(32), 20941-20960.
- WHO. (2020). International Agency for Research on Cancer, Estimated number of new cases in 2020, all cancers, both sexes, all ages.
- Willyard, C. E., & Kalathil, S. C. (2020). Nuclear Medicine Liver/Spleen Test.

- Yağci, Ö., Arvas, M. B., & Yazar, S. (2022). Facile and single step produced Ba: Sn-codoped PEDOT: PSS thin film electrode with improved optics and electrochemical properties for transparent and flexible supercapacitor applications. *New Journal of Chemistry*, 46(46), 22130-22142.
- Yazar, S., Arvas, M. B., & Sahin, Y. (2022). Hydrothermal Synthesis of Flexible Fe-Doped Polyaniline/Dye-Functionalized Carbon Felt Electrode for Supercapacitor Applications. *ChemistrySelect*, 7(21), e202200016.



## Bozanın Dondurmanın Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi

Betül Büşra Ayar<sup>1</sup>, Tuncay Gümüş<sup>2</sup>, Deniz Damla Altan Kamer<sup>3\*</sup>, Özgür Karadaş Konuk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7319-4673), [betulbusracetin@gmail.com](mailto:betulbusracetin@gmail.com)

<sup>2</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7635-5519), [tgumus@nku.edu.tr](mailto:tgumus@nku.edu.tr)

<sup>3\*</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9119-5979), [ddaltan@nku.edu.tr](mailto:ddaltan@nku.edu.tr)

<sup>4</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7379-7845), [ozgurkaradas1@gmail.com](mailto:ozgurkaradas1@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 22 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1222857)

**ATIF/REFERENCE:** Ayar, B.B., Gümüş, T., Kamer Altan, D.D. & Konuk Karadaş, Ö. (2023). Bozanın Dondurmanın Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 47-59.

### Öz

Dünya genelinde en popüler dondurulmuş süt ürünü olan dondurma, insan diyetlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için yüksek potansiyele sahiptir. Bu çalışmada besin değeri yüksek fonksiyonel bir gıda olan boza ilavesiyle besin içeriği zenginleştirilmiş ticari dondurma üretim olanakları araştırılmıştır. Bu kapsamda %5 (BD5), %10 (BD10), %15 (BD15), %20 (BD20) ve %50 (BD50) oranlarda boza ilave edilmiş dondurmaların mikrobiyolojik ve reolojik özellikleri ile birlikte fizikokimyasal, ve duyuşal parametreleri araştırılmıştır. Fizikokimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru madde, pH, asitlik (%laktik asit), toplam şeker, protein, yağ, overrun ve erime stabilitesi analizleri yapılmıştır. Dondurma bileşiminde artan boza konsantrasyonu dondurma formülasyonundaki şekeri oransal olarak azaltmıştır. En iyi erime stabilitesine sahip dondurma BD10 olarak belirlenmiştir. Dondurma formülasyonlarının reolojik karakterasyonu Power-law modeline göre test edilmiş, dondurma örneklerinin psödüoplastik davranış gösterdiği belirlenmiştir. Dondurmaların kıvam indeksleri 5,47-10,29 Pa.s<sup>n</sup> arasında tespit edilmiş olup, en düşük viskozite kontrol örneğinde ve en yüksek viskozite BD50 örneğinde bulunmuştur. Akış davranış indeksi n değeri dondurma örneklerinin tümünde 1'in altında bulunmuş ve 0,431-0,505 arasında değişmiştir. Tikotropik davranış yönünden BD10'un en yüksek geri kazanım kabiliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolama süreci dondurmaların reolojik özelliklerini etkilememiştir. Duyuşal yönden en beğenilen örnek BD20 olmuştur. Boza ilaveli dondurmaların LAB içeriği 5 ile 5,65 log kob/g arasında bulunmuş ve depolama süresince de LAB sayısında önemli düzeyde artış görülmüştür. Boza ilaveli dondurmalar önemli seviyede LAB içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak belirli oranda boza ilavesi dondurmanın mikrobiyolojik ve reolojik bazı özelliklerine olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dondurma, boza, reoloji, LAB

## Effect of Boza on Some Quality Properties of Ice Cream

### Abstract

Ice cream, being the world's most consumed frozen dairy product, provides a great opportunity for dietary innovation and improvement. Boza is a traditional fermented beverage that has high nutritional value as a functional food. In this research, it was investigated to whether it was possible to produce commercial ice creams that were nutritionally enhanced with boza. In this context, the microbiological, rheological, physicochemical, and sensory characteristics of ice creams containing %5 (BD5), %10 (BD10), %15 (BD15), %20 (BD20), and %50 (BD50) boza were studied. Analyses of dry matter, pH, acidity (lactic acid), total sugar, protein, fat, overrun, and melting stability were performed to investigate the physicochemical parameters. The amount of sugar in the ice cream formulation decreased proportionally as boza concentration was increased. BD10 was found to be the ice cream with the best melt stability. The Power-law model was used to examine the rheological characteristics of ice cream formulations, and it was found that the ice cream samples exhibited pseudoplastic behavior. The consistency indexes for the ice creams ranged from 5.47 to 10.29 Pa.s<sup>n</sup>; the control sample had the lowest viscosity and the BD50 sample had the highest. In all of the ice cream samples, the flow behavior index n value ranged from 0.431 to 0.505, which was below 1. It was the highest recovery ability of BD10 in terms of thixotropic behavior. The rheological characteristics of the ice creams were unaffected by storage. The BD20 was the model that was most liked from a sensory perspective. There was a significant increase in the amount of LAB during storage, and the ice creams with the addition of boza had a LAB content of between 5 and 5.65 log cfu/g. It has been discovered that ice creams with boza added have a high level of LAB. As a consequence, it was found that adding a particular amount of boza to ice cream improved its rheological and microbiological characteristics.

**Keywords:** ice cream, boza, rheology, LAB

\* Sorumlu Yazar: [ddal@nku.edu.tr](mailto:ddal@nku.edu.tr)

## 1. Giriş

Geleneksel fermente gıdalar ve içecekler, tarih boyunca insan diyetinin önemli bir unsuru olmuştur (McGovern vd., 2004). "Fermente edilmiş yiyecek ve içecekler" terimi, major ve minör diyet bileşenlerinin enzimatik aktivite ile dönüştürülmesi de dahil olmak üzere kontrollü mikrobiyal büyüme yoluyla gıda veya içecek üretimini ifade etmektedir (Marco vd., 2021; Tamang vd., 2020). Fermente gıdalar, gıda güvenliğini ve raf ömrünü artırmanın yanı sıra sağlık açısından da avantajlar sağlamaktadır (Diez-Ozaeta ve Astiazaran, 2022). Dünyadaki tüm kültürler, çeşitli fermente gıdaları tüketmektedir (Cuamatzin-García vd., 2022). Bu kategoride yer alan Boza, darı, mısır, buğday veya pirinç irmiği unundan maya ve laktik asit bakterilerinin (LAB) fermentasyonu ile üretilen yüksek viskoziteye sahip tahıllı fermente bir içecektir (Tangüler, 2014).

Boza, içerdiği yağ, protein, karbonhidrat, lif, vitaminler, amino asitler ve laktik asit nedeniyle geniş kitlelere hitap eden, sağlıklı ve besleyici bir üründür (Arici ve Daglioglu, 2002). Geleneksel Boza, Türkiye, Bulgaristan, Balkanlar'da üretilmekte ve tüketilmektedir (Botes vd., 2007). LAB ürünün besin değerini artıran vitaminler ve ürünün raf ömrünü uzatan antimikrobiyal peptitler üretmektedir (Deegan vd., 2006). Bozanın yüksek laktik asit, yağ, kalsiyum, karbonhidrat ve besin seviyesi ile vücudu beslemeye, bağışıklık sistemini güçlendirmeye ve kolesterolü düşürmeye yardımcı olan besleyici bir içecektir. Bozada diyet lifleri,  $\beta$ -glukan, A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>6</sub> vitaminleri, kalsiyum, demir, fosfor, çinko, sodyum ve nikotinamid bulunur (Ignat vd., 2020). Geleneksel boza üretiminde alkol fermentasyonunun yanı sıra laktik asit fermentasyonu da gerçekleşir. Türkiye'de ve diğer ülkelerde üretilen boza, ham maddelere, üretim yöntemine ve alkol miktarına göre büyük farklılıklar göstermektedir (Bozdemir vd., 2022).

Süt ürünleri, fermente gıdalardan bu yana olumlu bir imaja sahip olduğundan, probiyotikler için iyi bir taşıyıcı olarak kabul edilmiştir. Süt ürünlerine tüketicilerin aşına olmaları ve birçoğunun süt ürünlerinin sağlıklı, doğal ürünler olduğuna inanması önemli bir avantajdır (Boza-Méndez vd., 2012). Dondurma, kendine özgü tekstürel ve organoleptik özelliklere sahip bir süt ürünüdür ve çok geniş bir tüketici kitlesi tarafından oldukça beğenilmektedir. Dondurmanın koloidal yapısı, düşük sıcaklıkta depolanmasıyla birlikte, biyoaktif kimyasalların ve probiyotik mikroorganizmaların stabilizasyonu ve in vivo uygulanması için oldukça umut verici bir taşıyıcı yapmaktadır (Soukoulis vd., 2014). Son yıllarda, tüketiciye kişiselleştirilmiş faydalar sağlayan, yani fiziksel ve zihinsel sağlığı iyileştiren, temel diyet işlevini yerine getirmenin yanı sıra diyetle ilişkili sağlık komplikasyonlarının önlenmesini sağlayan yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesine önemli bir ilgi oluşmuştur (Soukoulis vd., 2014). Fonksiyonel gıdalara ve sağlıklı bileşenlere artan talep küresel pazarda önemli miktarda dondurma çeşidinin bulunmasına yol açmıştır (Zulim Botega vd., 2013). Dondurma, probiyotik ve prebiyotik bileşenlerin ilavesi ile fonksiyonel olarak üretilebilmekle birlikte, üretimde karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi depolama süresince probiyotik mikroorganizmaların sayı olarak azalmasıdır (Homayouni vd., 2008).

Bu çalışmanın amacı, fermente bir içecek olan bozanın ilave edilmesi ile besin içeriği zenginleştirilmiş ticari dondurmaların üretim olanağının araştırılmasıdır. Özellikle iyi bir laktik asit bakterisi kaynağı olarak bilinen bozanın dondurmaya farklı oranlarda ve doğrudan ilavesi ile ürünün probiyotik içeriğinin zenginleştirilmesi tercih edilmiştir. Çalışmada boza ilave edilen dondurmanın mikrobiyolojik ve reolojik özellikleri ile birlikte kimyasal, fizikokimyasal, fiziksel ve duyuşal parametreleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Boza, bilinirliği olan ticari bir markadan (Balaban Boza Gıda San. Ve Tic. Ltd. Şti, Kırklareli) temin edilmiştir. Dondurma üretiminde kullanılmakta olan süt, (% 3 yağlı) (Pınar Süt A.Ş., İzmir) firmasından temin edilmiştir. Üretimde kullanılan doğal sahle (Servet Şekerleme, Muğla), toz şeker (Balküpe, Kocaeli) ve dondurma emilgatorü (Kerry, E471) piyasadan temin edilmiştir.

### 2.2. Dondurma üretimi

Dondurma miksi, ısıtılmaya başlanan 10 L süt içerisine öncesinde ayrı bir kaptaki karıştırılarak homojen hale getirilen 80 g sahle, 2 kg şeker ve 35 g emilgator aşamalı olarak ilave edilmiştir. Kaynama başlayıp karışım kıvam aldığı anda ısıtma işlemi sonlandırılarak karışım beş eşit mikse bölünmüş ve her bir mikse oranlarına göre %5, %10, %15, %20 ve %50 boza ilave edilmiştir. Boza ilave edilen dondurma miksleri oda sıcaklığına soğuyuncaya dek karıştırılmıştır. Daha sonra mikslere +4 C° de 18 saat boyunca olgunlaşmaya bırakılmış ve dondurma makinesinde (UDM 16L4Y, Uğur Soğutma Makineleri San. ve Tic. Anonim Şti, Aydın) kristal ve katı bir hal alana kadar 25 dakika karıştırılmıştır. Kısmen katılaştıran dondurma tamamen donması için -18 C° de 24 saat dinlendirilerek tüketime hazır hale getirilmiştir.

### 2.3. Dondurma Analizleri

%0, %5, %10, %15, %20 ve %50 boza ilaveli dondurma örnekleri sırasıyla Kontrol, BD5, BD10, BD20 ve BD50 olarak kodlanmış ve 1, 15, 30, 60 ve 90.günlerde kuru madde, pH, asitlik (%laktik asit), toplam şeker, protein, yağ ve overrun analizleri yapılmıştır.

#### 2.3.1. Kuru Madde Miktarı

Dondurma örneklerinin kuru madde analizi the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 940.26 No'lu metoda göre yapılmıştır (AOAC, 2006).

#### 2.3.2. pH Analizi

Örneklerin pH değerleri pH metre (ISOLAB Laborgerate GmbH, Almanya) ile ölçülmüştür.

#### 2.3.3. Toplam Asitlik

e-ISSN: 2148-2683

Dondurma örneklerinin titrasyon asitliği % laktik asit cinsinden AOAC (2006) metoduna göre tespit edilmiştir.

### 2.3.4. Toplam Şeker Analizi

Toplam şeker analizi için dondurma örnekleri carez çözeltileri durultulduktan sonra Luff-Scroll metodu ile şeker analizi yapılmıştır (Cemeroğlu, 2007).

### 2.3.5. Protein Tayini

Dondurma örneklerinin toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Azot miktarı 6.38 faktörü ile çarpılarak protein miktarı tespit edilmiştir (Metin ve Öztürk, 2008).

### 2.3.6. Yağ Tayini

Yağ tayini yapılacak dondurma örnekleri distile su ile ½ oranında seyreltilmiştir. Dondurmaların yağ oranı Gerber yöntemi ile belirlenmiştir (Metin ve Öztürk, 2008).

### 2.3.7. Dondurmada hacim (overrun) artışının belirlenmesi

Dondurma örneklerinin hacim artışı belirli hacimdeki dondurmanın kütlesi (donmuş dondurma) ile aynı hacimdeki eritilmiş dondurma karışımının kütlesi (miks kütlesi) oranlanarak aşağıdaki formüle göre tespit edilmiştir (Cottrell vd., 1979).

$$\text{Overrun } \% = \frac{\text{Dondurma miksini'nin ağırlığı (g)} - \text{dondurmanın ağırlığı (g)}}{\text{dondurmanın ağırlığı (g)}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 1.}$$

### 2.3.8. Erime stabilitesi

Dondurma örneklerinin erime stabilitesini belirlemek amacıyla dikdörtgen olarak kesilmiş 20 g örnek alınmış ve bu örnekler paslanmaz çelik tel bir eleğin (15 × 11.5 cm, delik boyutu 2.5 × 2.5 mm) üzerine konulmuştur. Örneklerin 20 ± 1°C 'de erimesi beklenmiş ve ilk damlama süreleri kaydedildikten sonra 10 dakika aralıklarla tartımlar alınmıştır. Zamana karşılık birikmiş % kütle kaybı aşağıda verilen formüle göre belirlenmiştir.

$$\text{Erime Oranı } \% = \frac{\text{Erimiş Dondurma Ağırlığı}}{\text{Başlangıç Dondurma Ağırlığı}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 2.}$$

## 2.4. Dondurmaların Reolojik Karakterizasyonu

Boza ilavesinin dondurma örneklerinin akış davranışları üzerine etkisini incelemek için reometre (Ta Instrument, New Castle, USA) cihazında yatışkan kesme (steady shear) analizi yapılmıştır. Depolama öncesi ve sonrası akış davranışlarının incelenmesi amacıyla ölçümler 1. ve 90. günde gerçekleştirilmiştir. Analizler 4 °C sıcaklıkta 40 mm paralel-plate prob kullanılarak 0,5 mm gap (mesafe)'te yapılmıştır. Reolojik ölçümler 1-100s<sup>-1</sup> kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre örneklerin akış davranışını en iyi tanımlayan Ostwald-de Waele (Power law) modelinin denklemi kullanılarak parametreler hesaplanmıştır:

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad \text{Eşitlik 3.}$$

Burada Power law modeli için;  $\sigma$  kayma gerilimi (shear stress) (Pa) ve  $\dot{\gamma}$  kayma hızı (shear rate) (1/s). K kıvam katsayısı (consistency index) (Pa.s<sup>n</sup>) ve n akış davranış indeksidir.

Kayma hızı (shear rate), 1-100 s<sup>-1</sup> 'e yükseltildi, ardından 100'den 1 s<sup>-1</sup>'e düşen bir kayma hızı uygulanmıştır. Zamanla anlık kayma gerilimi ve viskozite elde edilmiştir. Histerezis döngü alanı, TRIOS (Ta Instrument, New Castle, USA) yazılımında tiksotropi fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Örnekler 3 paralelli olarak analiz edilmiştir. Reolojik analizler depolama başı (1.gün) ve depolama sonunda (90.gün) gerçekleştirilmiştir.

## 2.5. Duyusal Analiz

Dondurma örneklerinin duyusal değerlendirilmesi 8 kişilik eğitimli panelist grubu tarafından puanlama testi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Dondurmaların doku, görünüş ve lezzet kriterleri EK-1'de verilen puanlama cetveline göre 5 puan üzerinden gerçekleştirilmiştir.

## 2.6. Mikrobiyolojik analizler

Farklı oranlarda boza içeren dondurma örneklerinin mikrobiyolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla toplam mezofilik aerobik bakteri sayımı, maya ve küf sayımı ve toplam laktik asit bakteri sayısı analizleri yapılmıştır.

## 2.7. İstatistiksel Analiz

Dondurma örneklerinde tüm analizler 3 paralelli olarak gerçekleştirilmiş olup veriler tek yönlü varyans analizi ANOVA testi ve ve Duncan çoklu karşılaştırma testine (p<0,05) tabi tutulmuştur. Verilerin analizinde Windows tabanlı SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, US) istatistik programı kullanılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Boza İlaveli Dondurmaların Fizikokimyasal Özellikleri

Dondurma üretiminde kullanılan bozanın özelliklerini belirlemek amacıyla kuru madde, pH, asitlik (% laktik asit), protein, kül, laktik asit bakteri sayısı ve maya küf sayısı tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Dondurma formülasyonunda kullanılan bozanın özellikleri (Table 1. Properties of the boza used in ice cream formulation)

Analiz	Bozanın özellikleri
Kuru Madde %	22.80±0.11
pH	3.14±0.01
Asitlik (% laktik asit)	0.50±0.002
Protein	0.97±0.09
Kül	0,19±0.001
Toplam Laktik asit bakteri sayısı (log kob/g)	6.30±0.12
Maya ve küf sayısı (log kob/g)	4,07±0.09

Boza ilaveli dondurma örneklerinin 1., 15., 30., 60. ve 90. günlerde kuru madde, pH, asitlik (% laktik asit), toplam şeker, protein içerikleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Dondurma örneklerinin overrun değerleri ve erime stabilitesi sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

Örneklerin kuru madde oranları incelendiğinde % 30,13 ile % 34,83 aralığında değişim gösterdiği ve kontrol örneğinin en yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Boza miktarı arttıkça kuru madde oranında önemli ölçüde azalma olmuştur. Örnekler arasında kuru madde içeriğindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Depolama süresince örnekler incelendiğinde ise kontrol örneğinde depolama süresince kuru madde oranında önemli bir fark oluşmazken, boza ilaveli örneklerde kuru madde oranında depolama başlangıcına göre azalma tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Kuru madde içeriği dondurma kalitesini etkileyen parametrelerden biridir (Gnanaprakasam, 2021). Farklı hammaddeler ile üretilen dondurma formülasyonlarında kuru madde içeriğinin geniş bir yelpazede değişkenlik gösterdiği söylenebilir.

Tüm dondurma örneklerinin depolama süresince titrasyon asitliğinin arttığı ve buna bağlantılı olarak pH değerlerinin giderek azaldığı tespit edilmiştir. Asitliğin artmasının nedeni depolama süresince laktik asit bakterilerinin sayısındaki artış ve bununla birlikte laktik asit birikiminin artması ile ilişkilidir (Murtaza vd., 2004). Kontrol grubuna göre, yüksek boza konsantrasyonunda dondurma örneklerinin düşük pH ve yüksek asitlik değerleri de bu durumla açıklanabilir. Aynı zamanda hammaddenin düşük pH ve yüksek asitlik değerleri (Tablo 2) de bu durumla ilişkilidir. Depolama süresince pH değerlerindeki azalma tüm örneklerde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). pH süt ürünlerinde lezzet algısı üzerinde doğrudan etkiye sahip olmakla birlikte depolama süresince pH’ın düşüş gösterdiği farklı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Gnanaprakasam, 2021; Murtaza vd., 2004).

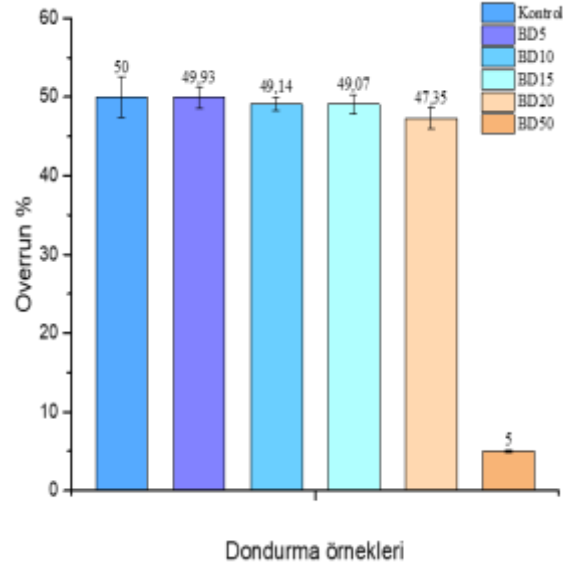
Dondurma örneklerinin şeker içerikleri arasında formülasyona göre istatistiksel olarak fark bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Boza ilaveli dondurmaların toplam şeker içerikleri kontrol örneğine göre daha düşüktür. Bu durum formülasyondaki boza oranındaki artışa bağlı olarak süt miksi oranının azalması ile ilişkilidir. Depolama süresinde tüm örneklerde şeker oranında azalma tespit edilmiştir. Bu durumun mikroorganizma faaliyetleri ve özellikle LAB sayısındaki artışa bağlı olduğu söylenebilir. Murtaza vd. (2004), yapmış olduğu çalışmada depolamanın ilerleyen süreçlerinde benzer azalışın laktoz şekerinin belirli bakteriler tarafından laktik aside dönüştürülmesi ile alakalı olduğunu öne sürmüştür.

Dondurma örneklerinin protein içeriği % 3,16 ile 4,33 arasında olup, kontrol örneğindeki protein oranı pek çok benzer araştırma ile örtüşmektedir (Kavaz Yuksel, 2015; Kocacık, 2021; Murtaza vd., 2004). Formülasyonda boza konsantrasyonu arttıkça protein oranı düşmektedir ( $p<0,05$ ). Bu durum süt içeriğinin boza ile ikame edilmesine paralel olarak beklenen bir etkidir. Aynı zamanda hammaddenin düşük protein içeriğine sahip olması (Tablo 2) nedeniyle de boza konsantrasyonu arttıkça paralel şekilde protein oranı düşmüştür. Depolama süresince de tüm örneklerde protein oranında azalma tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

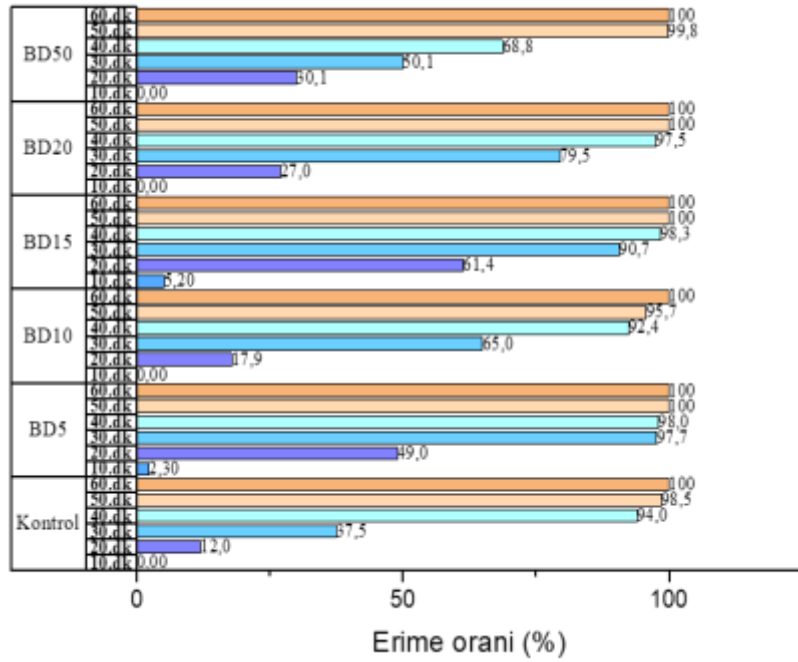
Dondurma üretimi sırasında karıştırma işlemi ile dondurmanın hava ile de karıştırılması ve hacim kazanması sağlanır. Bu durum hacim artışı ‘‘overrun’’ olarak adlandırılır. Yüksek kaliteli dondurma üretiminde overrun değerinin %15’den az %50’den fazla olmaması istenmektedir (Goff, 2002). Dondurma örneklerinin overrun değerleri %5 ile 50 arasında değişmiştir. %50 boza ilaveli dondurma örneğinin kalite limitlerinin dışında düşük overrun değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum %50 boza ilaveli dondurmanın yüksek viskozite göstermesi ve bununla bağlantılı olarak üretim sırasında yeterli hava depolamaması ile açıklanabilir. Kontrol örneği ile birlikte boza ilaveli diğer örneklerin overrun değerlerinin kalite limitleri içerisinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar %20 konsantrasyona kadar boza ilavesinin dondurma yapısına olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Dondurma örnekleri boza ikamesine ve oranına bağlı olarak farklı erime davranışı göstermiştir. İlk 10 dk. İçerisinde Kontrol, BD5 ve BD50 dondurmalarında erime başlarken, BD10, BD15 ve BD20 kodlu örneklerin ilk damlama süreleri daha geç gerçekleşmiştir. En erken eriyemeye başlayan örnek kontrol, en geç erimeye başlayan örnek ise BD10 olarak gözlemlenmiştir. 20.dk’da erime oranları incelendiğinde kontrol örneği %12 ile en düşük erime oranına sahip olurken, en yüksek oranda erime %61,4 olarak BD15 örneğinde tespit edilmiştir. Boza ilavesi ilk damlama süresini olumlu olarak etkilemesine karşın, ilerleyen dakikalarda erime oranı üzerinde major bir etki göstererek ve oransal olarak dondurmaların daha hızlı erimesine neden olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta boza

konsantrasyonunun artışına bağlı olarak erime hızı artış göstermiş, 30.dk'dan sonra ise yüksek konsantrasyon boza içeren örnekler düşük konsantrasyonlulara göre daha yavaş erimiştir. Bu durum örneklerin kuru madde oranları incelenerek, %20 ve %50 boza ilaveli dondurma örneklerinin diğer örneklere göre oransal olarak daha fazla su içermesi ve ilk 30 dk. İçerisinde su fazı eridikten sonra erimenin yavaşlamasına yol açması ile açıklanabilir. Dondurma bileşimindeki sütün oranı azaldıkça paralel olarak protein oranı da azalmaktadır. Süt proteinlerinin eksikliği dondurmanın stabilitesini ve dolayısıyla erime noktasını etkilenmektedir (Lomolino vd., 2020).



Şekil 1. Dondurma örneklerinin overrun değerleri (Figure 1. Overrun values of ice cream samples)



Örnekler	İlk Damlama Zamanı (Dk)
Kontrol	7,1. dakika
BD5	8,3. dakika
BD10	21. dakika
BD15	13,03. dakika
BD20	11,05. dakika
BD50	8,3. dakika

Şekil 2. Dondurma örneklerinin ilk damlama zamanları ve erime oranları (Figure 2. First drop times and melting rates of ice cream samples)

Tablo 2. Boza ilaveli dondurma örneklerinin 1., 15., 30., 60. ve 90. günlerde fizikokimyasal özellikleri (Table 2. Physicochemical properties of boza-added ice cream samples at 1st, 15th, 30th, 60th, and 90th days)

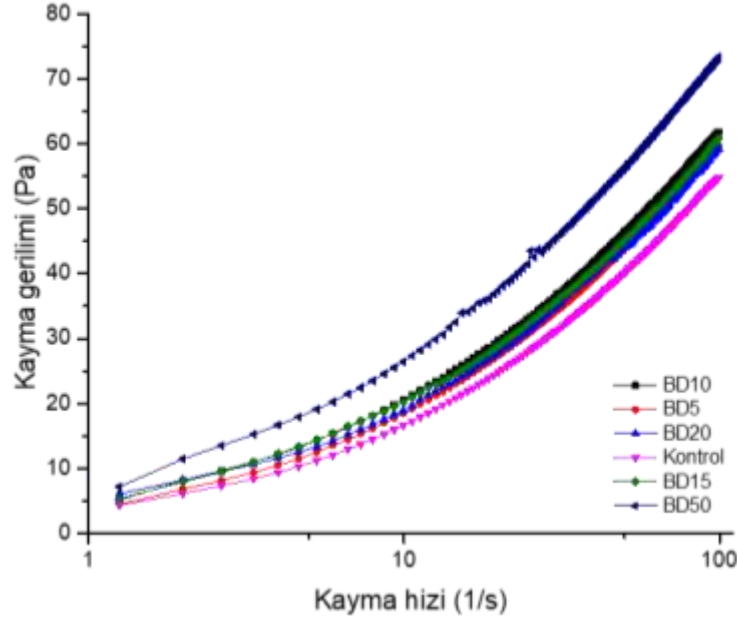
Analizler	Örnekler	Depolama Zamanı (gün)				
		1.gün	15. gün	30. gün	60. gün	90. gün
Kuru Madde %	Kontrol	34,83±0,057Aa	34,86±0,057Aa	34,61±0,052Aa	44,60±0,005Aa	33,55±0,050Aa
	BD5	33,46±0,063Ba	33,40±0,057Ba	33,24±0,036Bb	33,00±0,005Ac	32,94±0,045Bc
	BD10	33,47±0,025Ba	33,40±0,057Bb	33,02±0,020Cc	33,00±0,005Ac	33,05±0,050Bc
	BD15	32,82±0,025Da	32,79±0,057Da	32,39±0,015Eb	32,39±0,005Ab	32,28±0,032Dc
	BD20	33,12±0,025Ca	33,00±0,057Cb	32,87±0,020Dc	32,84±0,005Ac	32,82±0,025Cc
	BD50	30,13±0,125Ea	30,01±0,057Ea	29,82±0,025Fb	29,78±0,005Abc	29,64±0,045Ec
pH	Kontrol	6,16±0,057Aa	6,13±0,066Aa	6,07±0,026Aa	5,90±0,005Ab	5,76±0,023Ac
	BD5	6,13±0,015Aa	6,10±0,03ABab	6,02±0,025Ab	5,90±0,005Ac	5,69±0,015Bd
	BD10	6,16±0,015Aa	5,86±0,257ABCab	5,91±0,010ABab	5,70±0,010Bb	5,61±0,010Cb
	BD15	6,02±0,025Ba	5,80±0,05BCb	5,73±0,015BCb	5,60±0,050BCc	5,51±0,010Dc
	BD20	5,90±0,020Ca	5,82±0,03BCa	5,63±0,030Cb	5,55±0,050Cb	5,40±0,015Ec
	BD50	5,81±0,015Da	5,71±0,015Ca	5,10±0,167Db	4,92±0,060Dbc	4,81±0,010Fc
Asitlik %	Kontrol	0,14±0,010Ba	0,14±0,01Ca	0,14±0,010Ca	0,16±0,010Ca	0,16±0,005Ca
	BD5	0,15±0,005Ba	0,15±0,005BCa	0,16±0,010BCa	0,16±0,005BCa	0,17±0,010BCa
	BD10	0,16±0,005Ba	0,16±0,005Ba	0,17±0,005Ba	0,17±0,005BCa	0,17±0,005BCa
	BD15	0,16±0,005Bab	0,17±0,005Bab	0,16±0,010BCb	0,18±0,005Ba	0,17±0,005BCab
	BD20	0,15±0,020Ba	0,17±0,005Ba	0,16±0,005Ba	0,18±0,010BCa	0,18±0,005Ba
	BD50	0,22±0,005Aa	0,22±0,005Aa	0,22±0,005Aa	0,23±0,005Aa	0,22±0,005Aa
Şeker %	Kontrol	22,40±0,101Aa	22,41±0,050Aa	22,34±0,010Aa	21,88±0,266Ab	21,96±0,015Ab
	BD5	18,23±0,015Fa	18,20±0,150Ea	18,13±0,026Fa	18,11±0,300Ca	18,02±0,020Ea
	BD10	19,24±0,015Ea	19,12±0,300Da	19,08±0,015Ea	19,00±0,410Ba	18,93±0,015Da
	BD15	20,03±0,015Da	20,00±0,300Ca	19,95±0,020Da	19,65±0,400Ba	19,50±0,011Ca
	BD20	20,21±0,010Ca	20,00±0,300Ca	20,02±0,025Ca	19,85±0,050Bab	19,49±0,011Cb
	BD50	21,83±0,015Ba	21,73±0,251Bab	21,51±0,010Bab	21,30±0,300Abc	21,02±0,020Bc
Protein %	Kontrol	4,33±0,010Aa	4,20±0,040Aa	4,17±0,017Aa	4,18±0,400Aa	4,15±0,005Aa
	BD5	4,02±0,015Ba	4,04±0,250Aa	4,03±0,010Ba	3,98±0,385ABa	3,98±0,005Ba
	BD10	3,95±0,010Ca	3,94±0,100Aa	3,90±0,032Ca	3,91±0,200ABa	3,88±0,010Ca
	BD15	3,94±0,005Ca	3,92±0,300Aa	3,84±0,005Da	3,81±0,210ABa	3,77±0,005Da
	BD20	3,80±0,005Da	3,81±0,400ABa	3,81±0,005Da	3,70±0,351ABa	3,71±0,005Ea
	BD50	3,16±0,010Ea	3,17±0,250Ba	3,14±0,005Ea	3,09±0,400Ba	3,06±0,020Fa

\*Büyük harfler örnekler arası farklılığı, küçük harfler depolama süreleri arasındaki farkı temsil etmektedir (p<0,05)

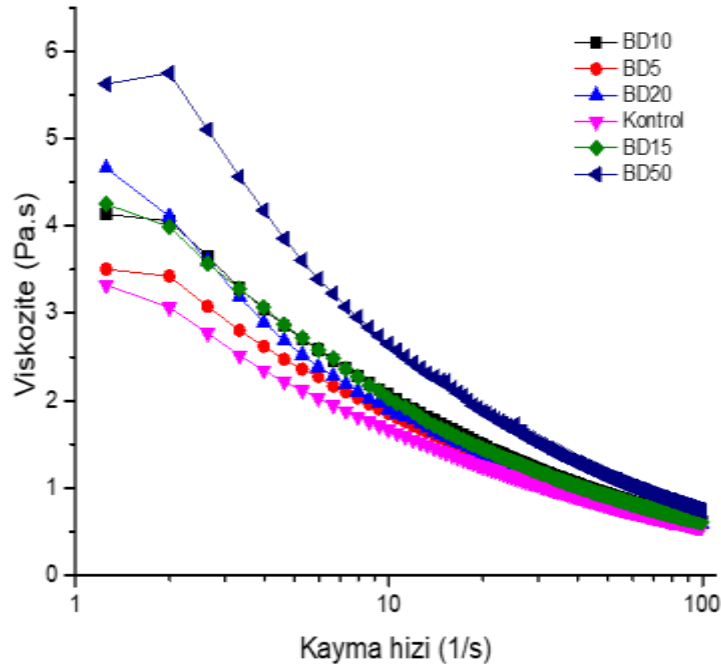


### 3.2. Dondurmaların reolojik özellikleri

Dondurma tipi ürünlerin akış davranışları partiküllerin boyutsal dağılımı ve kinetik kararlılık gibi özelliklerden büyük oranda etkilenmektedir (Huang vd., 2020). Boza ilaveli dondurmaların reolojik karakterizasyonunu ortaya koymak için yatışkan kayma (steady shear) halindeki viskozite ve kayma gerilimi değerleri incelenmiştir. Kayma gerilimi ve viskozite değişimine ait grafikler Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Dondurmaların depolama sonrasındaki reolojik özelliklerini incelemek ve depolama başlangıcı ile kıyaslamak amacıyla dondurmaların 1.gün ve 90.gün kayma gerilimi ve viskozite değişimleri araştırılmıştır. Depolama bazında karşılaştırma reogramları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. Dondurmaların 1-100 s<sup>-1</sup> aralığındaki kayma gerilimleri (Figure 3. Shear stresses of the ice creams in the range 1-100 s<sup>-1</sup>)



Şekil 4. Dondurmaların 1-100 s<sup>-1</sup> aralığındaki viskoziteleri (Figure 4. Viscosity of ice creams in the range of 1-100 s<sup>-1</sup>)

Elde edilen kayma gerilimi reolojik verileri Power-law ve Herschel-Bulkley modellerine göre test edilmiş ve en yüksek determinasyon katsayısının elde edildiği model tespit edilmiştir. En uyumlu model  $R^2$  değerine göre Power-law olarak belirlenmiş ve reolojik davranışlar bu modele göre tanımlanmıştır. Dondurma örneklerinin Power-Law (PL) model parametrelerine olan etkisi Tablo 3'de verilmiştir.

Şekil 3'te de görüldüğü gibi kayma hızındaki artışa bağlı olarak örneklerin kayma gerilimleri de artmıştır. Buna paralel olarak kayma hızındaki artış ile örnek viskozitelerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4). Artan kayma hızı ile viskozitenin azalması psödoplastik davranışın göstergesidir. Dondurmaların psödoplastik özellik göstermesi ve reolojik davranışlarının Power law modeline uyması farklı çalışmalar ile de benzerlik göstermektedir (Ghaderi vd., 2021; Pon vd., 2015). Akış davranış indeksi  $n$  değerinin  $<1$  olarak bulunması (Tablo 3) psödoplastik davranışı desteklemektedir. Karışımın daha yüksek kesme incelleme davranışı göstermesi, sistem özelliklerinin stabilitesini gösterir, karışımın daha kolay pompalanması ve son ürünün arzu edilen dokusunu ve ağızda bıraktığı hissi sağlar (BahramParvar vd., 2010; Dogan vd., 2013).

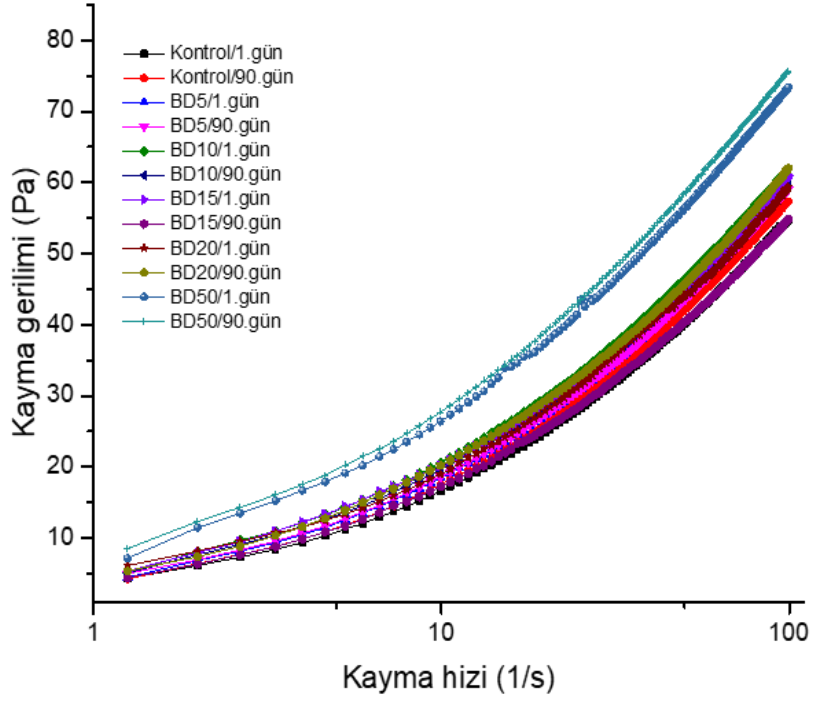
Dondurmaların kıvam indeksi ( $k$ , viskozite değerleri)  $5,47-10,29 \text{ Pa.s}^n$  arasında tespit edilmiş olup en düşük viskozite değerinin kontrol örneğinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek viskozite değerine ise %50 boza ilaveli BD50 örneğinde ulaşılmıştır. Boza ilavesinin dondurmaların viskozite ve kıvam katsayısının büyük ölçüde boza kullanımından etkilendiği ve artan boza konsantrasyonuna bağlı olarak viskozitenin de arttığı tespit edilmiştir. Akış davranış indeksi  $n$  değeri tüm örneklerde 1'in altında bulunmuş ve  $0,431-0,505$  arasında değişmiştir. Dondurma tipi gıdalarda iyi bir duyuusal özellik elde edilmesinde yüksek viskozite ve düşük  $n$  değerleri istenilen reolojik özelliklerdir. Akış davranışının düşük olması, newtonian davranıştaki sapmanın artmasına ve böylece psödoplastik özelliğin de artmasını sağlamaktadır (BahramParvar vd., 2010).

Depolama sonunda reolojik özellikler incelendiğinde ise BD10 ve BD15 örneklerinin 90.günde kıvam indekslerinde düşüş olduğu, Kontrol, BD5, BD20 ve BD50 örneklerinin ise kıvam indekslerinde minör seviyede artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artış bozanın lif oranı yüksek olan tahıl ürünleri içermesinden kaynaklanabilir (Şimşekli ve Doğan, 2015). Boza ilavesinin depolama süresince reolojik karakterizasyon üzerinde etkili olmadığı, tüm dondura örneklerinin 90. Gün sonunda mevcut reolojik özelliklerini koruduğu söylenebilir. Viskozite önemli düzeyde değişiminin olmamasının sebebi boza içeren dondurmaların, maksimum oranda etkiye depolama öncesi çoktan ulaşmış olması ve bu durumun kontrol dondurma formülasyonunun su bağlama kapasitesi ile açıklanabilir (Dimitreli vd., 2013).

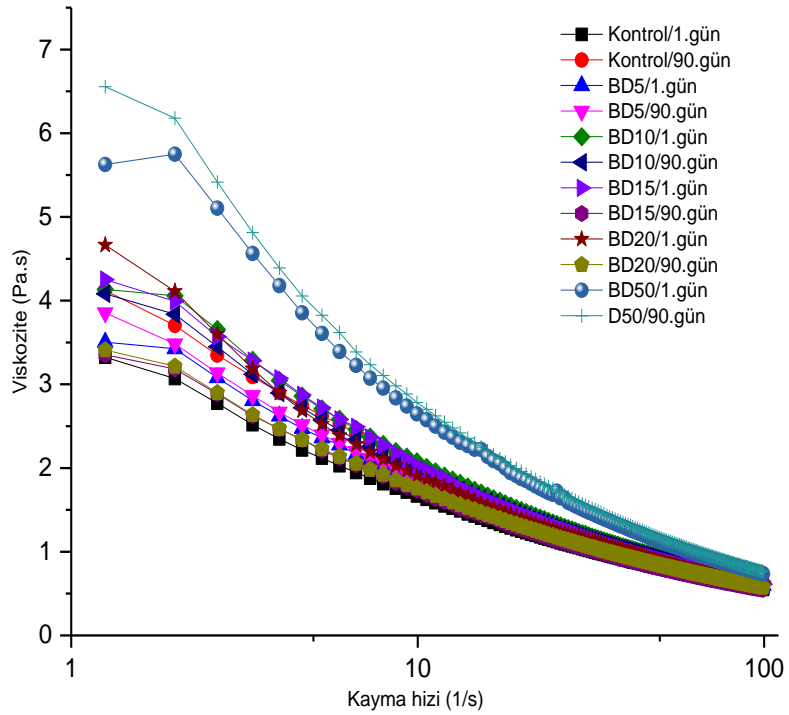
Gıda sistemlerinde yapı ve akışın nasıl etkileşime girdiğini değerlendirmek için tiksotropik (zamana bağlı) reolojik davranışını karakterize etmek çok önemlidir (Kuş vd., 2005). Tiksotropi ayrıca örneklerin kayma hızının azalması sırasında yapılarını geri kazanma yeteneğini de temsil etmektedir (Espírito-Santo vd., 2013). Hesaplanan alanlar (Histerezis döngü alanı) Tablo 2'de özetlenmiştir. Alanlar, tiksotropinin derecesinin ölçüsüdür (Razavi & Karazhiyan, 2009). BD15, BD20 ve BD50 örneklerinin diğer dondurma karışımlardan daha büyük histerezis alanlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek viskozitenin bir sonucu olarak tiksotropideki artış, farklı yazarlar tarafından da gözlemlenmiştir (Debon vd., 2010; Kurt vd., 2016). Tablo 3'ye bakılarak BD10 dondurma örneğinin en yüksek geri kazanım kabiliyetini gösterdiğini söylemek mümkündür. BD5 ve kontrol örneklerinin de geri kazanım kabiliyetleri yüksek olmakla birlikte, yüksek boza konsantrasyonunun geri kazanım kabiliyetini olumsuz etkilediği söylenebilir. Erime stabilitesi, overrun değerleri ve akış indeksleri yönünden incelendiğinde de en iyi sonucun %10 boza ilaveli örnekte alındığı görülmektedir.

Tablo 3. Boza ilaveli dondurmaların Power Law reoloji parametreleri ve Tiksotropik alan (Table 3. Power Law rheological parameters and thixotropic area of ice creams)

Örnekler	Depolama süresi	$k \text{ (Pa.s}^n\text{)}$	$n$	$R^2$	Tiksotropik alan <sup>At</sup>
Kontrol	1.gün	5,479±0,061	0,505±0,002	0,9856	464,73±5,11
	90.gün	5,817±0,067	0,501±0,002	0,9855	723,44±10,30
BD5	1.gün	6,119±0,064	0,499±0,002	0,9854	458,39±2,72
	90.gün	6,276±0,064	0,491±0,002	0,9852	667,02±2,52
BD10	1.gün	7,280±0,076	0,469±0,002	0,9845	443,22±4,55
	90.gün	6,866±0,077	0,477±0,002	0,9847	637,22±3,22
BD15	1.gün	7,061±0,058	0,471±0,002	0,9851	486,12±8,35
	90.gün	5,847±0,062	0,490±0,002	0,9851	724,23±13,81
BD20	1.gün	6,787±0,075	0,474±0,002	0,9846	472,19±6,50
	90.gün	6,969±0,066	0,477±0,002	0,9847	658,08±4,73
BD50	1.gün	10,298±0,111	0,431±0,002	0,9829	854,85±2,59
	90.gün	10,860±0,109	0,426±0,002	0,9829	875,42±4,86



Şekil 5. Depolama başlangıcı ve depolama sonu dondurmaların 1-100 s<sup>-1</sup> aralığındaki kayma gerilimleri (Figure 5. Shear stresses of ice creams at the beginning and end of storage in the range of 1-100 s<sup>-1</sup>)

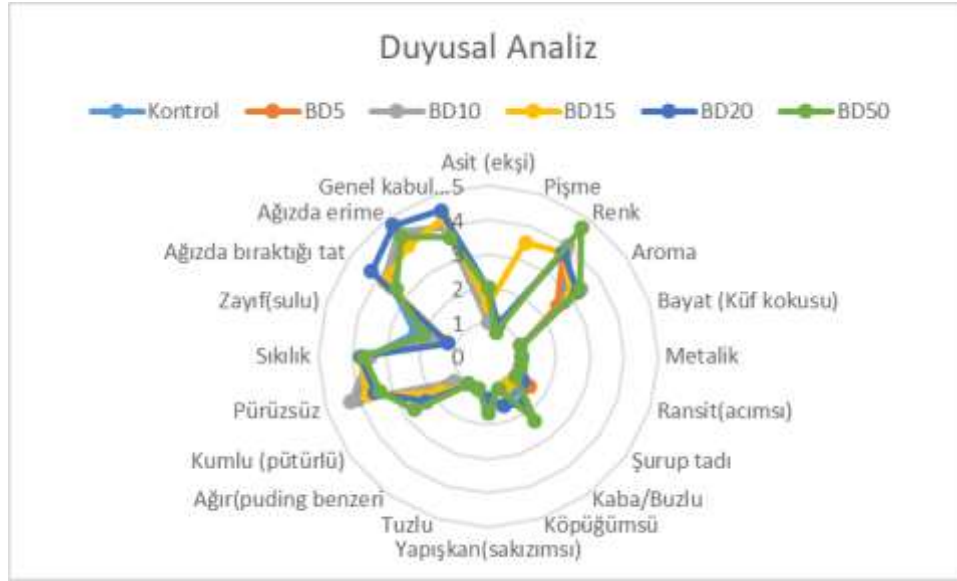


Şekil 6. Depolama başlangıcı ve depolama sonu dondurmaların 1-100 s<sup>-1</sup> aralığındaki viskoziteleri (Figure 6. Viscosity of ice creams in the range of 1-100 s<sup>-1</sup> at the beginning and end of storage)

### 3.3. Duyusal analiz

Dondurma örneklerinin duyuşsal değerlendirme sonuçları Şekil 7’de örümcek ağı diyagramı ile gösterilmiştir. Çalışmada kontrol ve boza ilaveli dondurmalar, asit (ekşi), pişme, renk, aroma, bayat (küf kokusu), metalik, ransit(acımsı), şurup tadı, kaba/buzlu, köpüğümsü, yapışkan(sakızimsı), tuzlu, ağır(puding benzeri, kumlu (pütürlü), pürüzsüz, sıklık, zayıf(sulu), ağızda bıraktığı tat, ağızda erime ve genel kabul edilebilirlik olarak 20 farklı parametre açısından değerlendirilmiştir (EK-1, Tablo 4). Boza ilavesinin dondurmanın renk, aroma, ağızda bıraktığı tat ve ağızda erime parametrelerinin olumlu yönde etkilediğı tespit edilmiştir. Duyusal değerlendirmeler neticesinde renk özelliklerine bakıldığında en yüksek puanın BD50 örneğı alırken, diğer örneklerin renk değerleri de 3,75-4 seviyesinde yüksek puan almıştır.

Ağızda bıraktığı tat bakımından panelistler BD20 kodlu örneğı tercih etmiş, en düşük puanı ise BD50 kodlu örnek almıştır. Dondurmada önemli kalite parametrelerinden olan ağızda erime hissi değerlendirildiğinde ise yine en yüksek puanın BD20 kodlu örnekte olduğı belirlenmiştir. Dondurma örneklerinde metalik, ransit, tuzlu ve ağır tat gibi olumsuz bir duyuşsal değerlendirme tespit edilmemiştir. Diğer parametrelerle benzer şekilde genel kabul edilebilirlik açısından değerlendirme sonucu da en yüksek puan BD20 kodlu örnekte belirlenmiştir.



Şekil 7. Boza ilaveli dondurma örneklerinin duyuşsal analiz parametreleri (Figure 7. Sensory analysis parameters of ice cream samples)

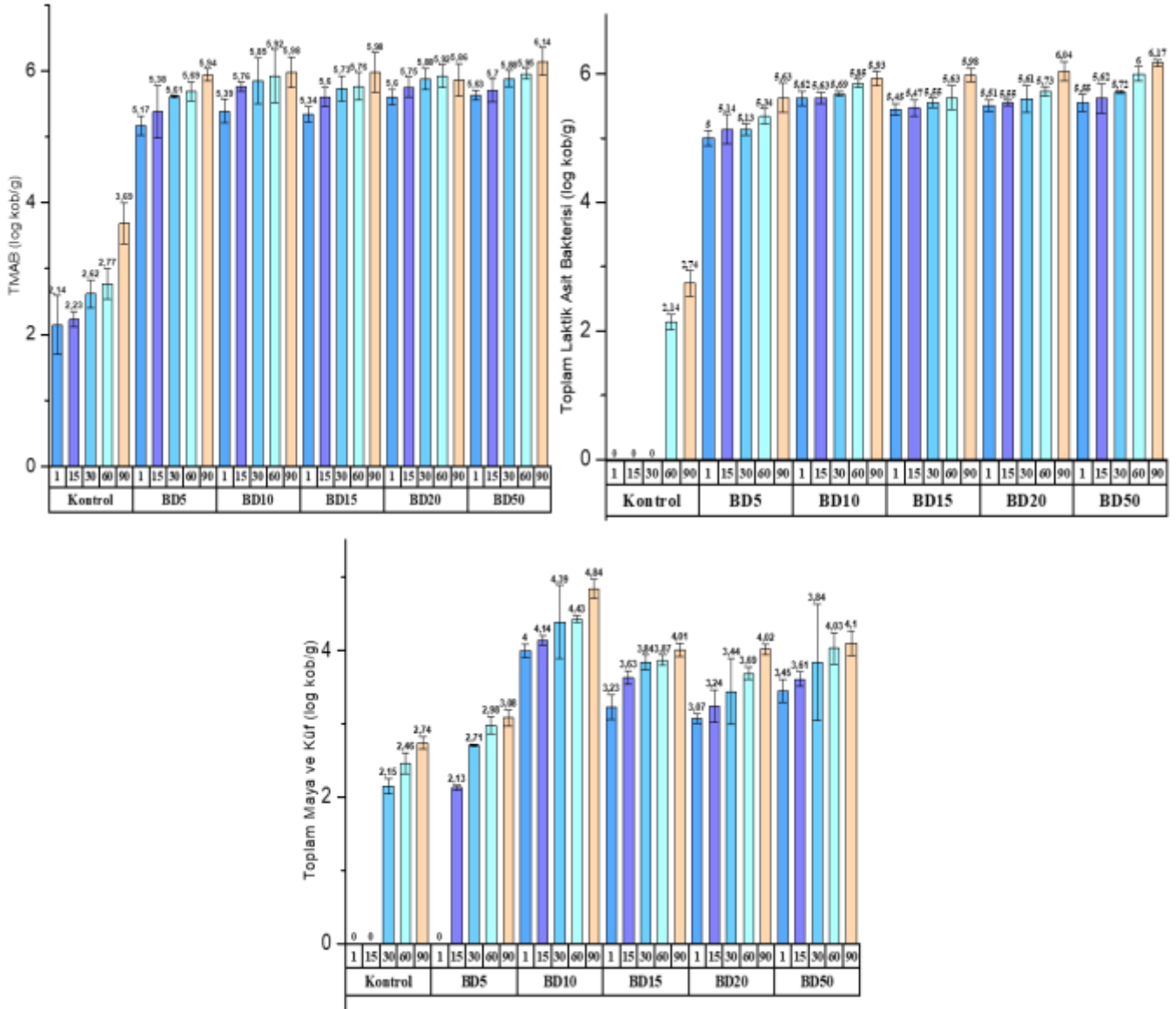
### 3.4. Dondurmaların mikrobiyolojik özellikleri

Dondurma örneklerinin mikrobiyolojik karakterizasyonu depolama süresince yapılmış olup toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı, toplam laktik asit bakterisi sayısı ve maya küf sayısı sonuçları Şekil 8’de gösterilmektedir.

Örneklerin TMAB sayıları depolama başlangıcında kontrol örneğinde en düşük 2,14 log kob/g olarak tespit edilirken en yüksek BD50 örneğinde 5,63 log kob/g olarak bulunmuştur. Kontrol grubuna göre boza ilavesi TMAB sayısını önemli düzeyde etkilemiştir ( $p < 0,05$ ). Boza ilaveli örnekler arasında ise konsantrasyona bağılı önemli bir fark oluşmamıştır. Depolama süresince TMAB sayıları incelendiğinde BD10 ve BD20 örneklerinde 90 gün boyunca önemli bir artış oluşmamıştır ( $p > 0,05$ ), diğer örneklerde ise ilk 60 günde artış tespit edilmemiş yalnızca 90.gündeki artış miktarı önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Literatürde dondurma formülasyonlarına bağılı olarak TMAB sayısında önemli farklılıklar bulunmakla birlikte, kontrol örneğindeki TMAB sayısı farklı araştırmacılar ile benzerlik göstermektedir (Keller vd., 1987; Vica vd., 2010; Yaman vd., 2006). TMAB sayısında boza ilavesi ile artış olması bozanın tahıl bazlı fermente bir içecek olması dolayısıyla mevcut yüksek TMAB yükü ile ilgilidir. Farklı araştırmacılar bozanın TMAB yükünü 7,65 log kob/g, 8,0 log kob/g olarak bildirmiştir (Coskun ve Cakır, 2014; Meriç, 2010).

Beklendiğı gibi, laktik asit bakteri sayısı boza ilaveli dondurma örneklerinde önemli ölçüde yüksektir ( $p < 0,05$ ). Kontrol örneğinde laktik asit bakterisine rastlanmazken boza ilaveli dondurmalarda başlangıç LAB sayısı 5 ile 5,65 log kob/g arasında tespit edilmiştir. BD5, BD10, BD15 VE BD20 kodlu örneklerdeki LAB sayısındaki artış depolamanın ilk 30 gününde önemli düzeyde olmazken ( $p > 0,05$ ), 60.gün itibariyle önemli düzeyde artış göstermiştir ( $p < 0,05$ ). En yüksek konsantrasyon olan BD50 dondurmada ise depolamanın başlangıcından itibaren LAB sayısında artış olmuştur. Depolama sonunda, tüm boza ilaveli dondurma formülasyonlarında LAB sayısı 5,63-6,17 log kob/g seviyesinde tespit edilirken, kontrol örneğinde 2,74 log kob/g seviyesinde kalmıştır. BD20 ve BD50 dondurma örnekler, 90.gün depolama neticesinde fonksiyonel gıda olarak tanımlanabilecek kadar yeterli olarak tanımlanan  $10^6$  kob/mL’den (Martín-Diana vd., 2003) fazla canlı mikroorganizma içerdiğinden probiyotik etkiye gösterdikleri söylenebilir. Depolama süresince mevcut LAB’lerin düşük sıcaklıklardan etkilenmeyerek artış göstermesi bozal dondurmanın fonksiyonel etkisini arttırmaktadır.

Boza ilaveli dondurma örneklerinin toplam maya ve küf içeriğine bakıldığında depolama başlangıcında 0-4 log kob/g arasında değiştiği ve örnekler arasında önemli derecede fark olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Boza ilavesi ile maya küf sayısında artış olmuştur. Tüm dondurma örneklerinin maya küf sayısı depolama periyodu süresince önemli ölçüde artış göstermiştir ( $p<0,05$ ). Dondurmada belirlenmiş bir maya-küf sayısı standardı bulunmamaktadır. Boza fermentasyonunda etkili olan başlıca mikroorganizmalar LAB ve mayalardır (Altay vd., 2013). Boza ilaveli dondurmaların toplam LAB sayısı ve maya-küf sonuçları bu durum ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 8. Dondurma örneklerinin raf ömrü süresince mikrobiyolojik özellikleri (Figure 8. Microbiological characteristics of ice cream samples during storage period)

#### 4. Sonuç

Çalışmamızda fermente içecek boza ile dondurma formülasyonun zenginleştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda boza ilaveli dondurmaların fizikokimyasal, teknolojik, reolojik, duyuşsal ve mikrobiyolojik özellikleri ortaya konmuştur. %5, %10, %15, %20 ve %50 Boza ilavesinin dondurmanın tüm özelliklerini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir. %5 ile %20 konsantrasyon seviyesinde tutulduğu durumda dondurmanın oransal olarak daha düşük şeker içeriğine sahip, erime stabilitesi yüksek ve duyuşsal olarak yüksek kabul edilebilirlik seviyesine sahip ticarileşme potansiyeli yüksek formülasyonlar olabileceği düşünülmektedir. Boza ilavesi dondurmanın reolojik olarak viskozite ve kıvam parametrelerini olumlu yönde etkilemiştir. Reolojik özellikleri bakımından en iyi formülasyon %10 boza ilavesi ile elde edilmiştir. Duyuşsal değerlendirme sonucunda ise en yüksek puanlama %20 boza ilavesinde belirlenmiştir. Mikrobiyolojik açıdan boza ilavesi LAB sayısını artırarak dondurmaya fonksiyonel ve probiyotik etki kazandırma yönünden olumlu etkilemiş, bununla birlikte toplam canlı ve maya-küf bakımından mikroorganizma yükünü olumsuz yönde arttırmıştır. Sonuç olarak bozanın dondurma formülasyonunda toz forma getirilerek kullanılması durumunda mikrobiyolojik yönden görülen olumsuzluklar giderilerek, ticarileşme potansiyeli yüksek reolojik ve teknolojik özellikleri yönünden etkin formülasyonlar geliştirilebilir.

## **Kaynakça**

- Altay, F., Karbancıoğlu-Güler, F., Daskaya-Dikmen, C. ve Heperkan, D. (2013). A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: microbiota, fermentation process and quality characteristics. *International journal of food microbiology*, 167(1), 44-56.
- AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Vol.1.
- Arici, M. ve Daglioglu, O. (2002). Boza: a lactic acid fermented cereal beverage as a traditional Turkish food. *Food Reviews International*, 18(1), 39-48.
- BahramParvar, M., Razavi, S. M. ve Khodaparast, M. H. (2010). Rheological characterization and sensory evaluation of a typical soft ice cream made with selected food hydrocolloids. *Food Science and Technology International*, 16(1), 79-88.
- Botes, A., Todorov, S. D., Von Mollendorff, J. W., Botha, A. ve Dicks, L. M. (2007). Identification of lactic acid bacteria and yeast from boza. *Process Biochemistry*, 42(2), 267-270.
- Boza-Méndez, E., López-Calvo, R. ve Cortés-Muñoz, M. (2012). Innovative dairy products development using probiotics: challenges and limitations. In: *Tech, Costa Rica*, 10, 213-236.
- Bozdemir, M., Gümüş, T. ve Altan Kamer, D. D. (2022). Technological and beneficial features of lactic acid bacteria isolated from Boza A cereal-based fermented beverage. *Food Biotechnology*, 36(3), 209-233.
- Cemeroğlu, B. (2007). Gıda analizleri. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 34, 168-171.
- Coskun, F. ve Cakır, E. (2014). Effect of the addition of different spices on some characteristics of boza during storage. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(5), 1079-1084.
- Cottrell, J. I., Pass, G. ve Phillips, G. O. (1979). Assessment of polysaccharides as ice cream stabilisers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30(11), 1085-1088.
- Cuamatzin-García, L., Rodríguez-Rugarcía, P., El-Kassis, E. G., Galicia, G., Meza-Jiménez, M. d. L., Baños-Lara, M. d. R., . . . Pérez-Armendáriz, B. (2022). Traditional Fermented Foods and Beverages from around the World and Their Health Benefits. *Microorganisms*, 10(6), 1151.
- Debon, J., Prudêncio, E. S. ve Petrus, J. C. C. (2010). Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 128-135.
- Deegan, L. H., Cotter, P. D., Hill, C. ve Ross, P. (2006). Bacteriocins: biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. *International Dairy Journal*, 16(9), 1058-1071.
- Diez-Ozaeta, I. ve Astiazaran, O. J. (2022). Fermented foods: An update on evidence-based health benefits and future perspectives. *Food Research International*, 111133.
- Dimitreli, G., Gregoriou, E. A., Kalantzidis, G. ve Antoniou, K. (2013). Rheological properties of kefir as affected by heat treatment and whey protein addition. *Journal of Texture Studies*, 44(6), 418-423.
- Dogan, M., Kayacier, A., Toker, Ö. S., Yilmaz, M. T. ve Karaman, S. (2013). Steady, dynamic, creep, and recovery analysis of ice cream mixes added with different concentrations of xanthan gum. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1420-1433.
- Espírito-Santo, A., Lagazzo, A., Sousa, A., Perego, P., Converti, A. ve Oliveira, M. N. (2013). Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber. *Food Research International*, 50(1), 224-231.
- Ghaderi, S., Mazaheri Tehrani, M. ve Hesarinejad, M. A. (2021). Qualitative analysis of the structural, thermal and rheological properties of a plant ice cream based on soy and sesame milks. *Food Science & Nutrition*, 9(3), 1289-1298.
- Gnanaprakasam, K. (2021). *Physicochemical And Sensory Properties Of Ice Cream Produced Using Raw And Processed Milk*.
- Goff, H. D. (2002). Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 7(5-6), 432-437.
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M., Yarmand, M. ve Razavi, S. (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111(1), 50-55.
- Huang, T., Tu, Z., Zou, Z., Shanguan, X., Wang, H. ve Bansal, N. (2020). Glycosylated fish gelatin emulsion: Rheological, tribological properties and its application as model coffee creamers. *Food Hydrocolloids*, 102, 105552.
- Ignat, M. V., Salanță, L. C., Pop, O. L., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., . . . Pasqualone, A. (2020). Current functionality and potential improvements of non-alcoholic fermented cereal beverages. *Foods*, 9(8), 1031.
- Kavaz Yuksel, A. (2015). The Effects of Blackthorn (*P runus Spinosa L.*) Addition on Certain Quality Characteristics of Ice Cream. *Journal of Food Quality*, 38(6), 413-421.
- Keller, J., Steinmann, M. ve Wentzel, B. (1987). quality of South African ice-cream. *South African journal of dairy science= Suid-Afrikaanse tydskrit vir suiwelkunde*.
- Kocacık, A. (2021). *Çöven Ekstraktının Kurutulması ve Dondurmada Emülgatör Olarak Kullanılmasının Araştırılması Fen Bilimleri Enstitüsü*].
- Kurt, A., Cengiz, A. ve Kahyaoglu, T. (2016). The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. *Carbohydrate polymers*, 143, 116-123.
- Kuş, S., Altan, A. ve Kaya, A. (2005). Rheological behavior and time-dependent characterization of ice cream mix with different salep content. *Journal of Texture Studies*, 36(3), 273-288.
- Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M. ve De Iseppi, A. (2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, 100, 104557.
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., . . . Merenstein, D. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196-208.

- Martín-Diana, A. B., Janer, C., Peláez, C. ve Requena, T. (2003). Development of a fermented goat's milk containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 13(10), 827-833.
- McGovern, P. E., Zhang, J., Tang, J., Zhang, Z., Hall, G. R., Moreau, R. A., . . . Wang, C.-s. (2004). Fermented beverages of pre-and proto-historic China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(51), 17593-17598.
- Meriç, A. (2010). Trakya bölgesinde üretilen bozaların bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri [Namık Kemal Üniversitesi].
- Metin, M. ve Öztürk, G. (2008). Süt ve mamülleri analiz yöntemleri. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Murtaza, M. A., Mueenuddin, G., Huma, N., Shabbir, M. A. ve Mahmood, S. (2004). Quality evaluation of ice cream prepared with different stabilizers/emulsifier blends. *Agriculture and Biology*, 6, 65-67.
- Pon, S., Lee, W. ve Chong, G. (2015). Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 22(4).
- Razavi, S. M. ve Karazhiyan, H. (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 908-912.
- Soukoulis, C., Fisk, I. D. ve Bohn, T. (2014). Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting ingredients: Conceptualization and overview of quality and storage stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 627-655.
- Şimşekli, N. ve Doğan, I. (2015). Tahıl esaslı beta-glukan ilavesinin gıdaların teknolojik ve fonksiyonel özelliklerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(4), 190-195.
- Tamang, J. P., Cotter, P. D., Endo, A., Han, N. S., Kort, R., Liu, S. Q., . . . Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 184-217.
- Tangüler, H. (2014). Traditional Turkish fermented cereal based products: Tarhana, boza and chickpea bread. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2(3), 144-149.
- Vica, M., Glevitzky, M., Dumitrel, G., Popa, M. ve Todoran, A. (2010). Microbiological quality of ice cream produced in Alba county, Romania. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 16, 19-23.
- Yaman, H., Elmali, M., Ulukanli, Z., Tuzcu, M. ve Genctav, K. (2006). Microbial quality of ice cream sold openly by retail outlets in Turkey. *Revue de médecine vétérinaire*, 157(10), 457.
- Zulim Botega, D. C., Marangoni, A. G., Smith, A. K. ve Goff, H. D. (2013). The potential application of rice bran wax oleogel to replace solid fat and enhance unsaturated fat content in ice cream. *Journal of food science*, 78(9), C1334-C1339.



# The Antioxidant Effect of Rosemary on the Oxidation Stability of Refined Sunflower Oil

Ayşegül Türk Baydır<sup>1\*</sup>, Amir Soltanbeigi<sup>2</sup>, Hasan Maral<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3014-3152.), aysglbaydir@gmail.com

<sup>2</sup>Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8791-0482), amir.soltanbeigi@afsu.edu.tr

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9074-1109), hasmaral@kmu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 12 Şubat 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1233032)

**ATIF/REFERENCE:** Türk Baydır, A., Soltanbeigi, A. & Maral, H. (2023). The Antioxidant Effect of Rosemary on the Oxidation Stability of Refined Sunflower Oil. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 60-65.

## Abstract

In this study, the essential oil chemical compounds of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and its antioxidant activity on the oxidation stability of refined sunflower oil (RSO) were investigated by the Rancimat method. The plant material was obtained from Afyonkarahisar Medicinal and Aromatic Plants Center/Turkey. Based on the GC/FID-MS analysis result, 1,8-Cineole (15.18%), Camphor (11.39%), Borneol (11.39%), Germacrene D (11.12%), Carvacrol (11.05%),  $\alpha$ -Pinene (6.01%) and p-Cimene (3.07%) were identified as the major constituents of rosemary essential oil. The total antioxidant activity of rosemary essential oil was determined using the DPPH method. The EC50 value was measured as 3.35 mg mL<sup>-1</sup>. While the induction time of RSO is 1.57 hours on average, the induction time of RSO with 1 g of 100 g<sup>-1</sup> rosemary added was 1.68 hours on average, and the induction time of RSO with 5 g of 100 g<sup>-1</sup> rosemary added was 1.79 hours on average. According to the results, rosemary, as an economic medicinal and aromatic plant, significantly increased the oxidation stability of RSO. Therefore, rosemary can be recommended as a natural antioxidant to extend the shelf life of edible fixed oils.

**Keywords:** Antioxidant, Essential Oil, Rancimat, *Rosmarinus Offinalis*, Sunflower Oil

## Rafine Ayçiçek Yağının Oksidasyon Kararlılığı Üzerine Biberiye'nin Antioksidan Etkisi

### Öz

Bu çalışmada, biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) uçucu yağının bileşenleri ve rafine ayçiçek yağının oksidasyon kararlılığı üzerine antioksidan aktivitesi Ransimat metodu ile incelenmiştir. Bitki materyali Afyonkarahisar Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Merkezinden temin edilmiştir. GC/FID-MS analizi sonucu, 1,8-Cineole (15.18%), Camphor (11.39%), Borneol (11.39%), Germacrene D (11.12%), Carvacrol (11.05%),  $\alpha$ -Pinene (6.01%) ve p-Cimene (3.07%) biberiye uçucu yağının major bileşenleri olarak tespit edilmiştir. DPPH metodu kullanılarak toplam antioksidan tayini yapılmış olup, EC50 değeri 3.35 mg ml<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Rafine ayçiçek yağının indüksiyon periyodu ortalama 1.57 saat iken, 1 g 100 g<sup>-1</sup> oranında biberiye eklendiğinde 1.68 saat, 5 g 100 g<sup>-1</sup> oranında biberiye eklendiğinde ise 1.79 saat olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ekonomik değere sahip, tıbbi ve aromatik bitkisi olan biberiye, ayçiçek yağının oksidasyon kararlılığını önemli ölçüde artırmıştır. Yenilebilir sabit yağların raf ömrünü uzatmak amacıyla doğal bir antioksidan olarak biberiye önerilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Antioksidan, Esansiyel Yağ, Ransimat, *Rosmarinus Officinalis*, Ayçiçek Yağı



## 1. Introduction

The formation of hydroperoxides by reacting unsaturated fats with oxygen is called the free radical chain, and it takes place in three steps. In the first step, free radical formation (R.) occurs. In the growth step, R. reacts with oxygen to form a peroxy radical (ROO.) which forms unsaturated fats and peroxides (ROOH.). At the termination step R. and ROO. create non-radical products. Antioxidants (AH.) intervene at the beginning or the development stage of the reaction and cause the chain reaction to be interrupted (Frankel, 1985). According to Codex Alimentarius Commission (CAC.), antioxidants are substances that prevent the decomposition of food oils (rancidity and discoloration) by intercepting oxidation reactions and increasing their shelf life (Targan et al., 2008). Recently, numerous studies have been conducted to enhance the effect of essential oils and other secondary metabolites of plants as natural antioxidants that raise oxidation stability of edible oils through different methods (Topuz, 2014; Tomsone and Krūma, 2015).

The essential oils have antioxidant, anti-inflammatory, cancer chemoprotective, cytotoxicity, allelopathic, antimicrobial, repellent, and insecticidal activities (Dhifi et al., 2016).

*Rosmarinus officinalis* L. (rosemary) is a medicinal, aromatic, and spice plant belonging to Lamiaceae family used widely in fragrance, cosmetics, food, and pharmaceutical industries. This plant grows all over the world, especially in the Mediterranean region (Omidbeigi, 2011). Today, the demand for rosemary and its products has increased in traditional medicine, pharmaceutical industries, cosmetic sector (Kassahun et al., 2019). Rosemary has antioxidant, antimicrobial, cytotoxic, antimutagenic, antiphlogistic, and chemo-preventive properties (Hussain Abdullah et al., 2013; Özguven et al., 2013). 1,8-cineole (38.5%), camphor (17.1%),  $\alpha$ -pinene (12.3%), limonene (6.2%), camphene (6%), linalool (5.7%), borneol (3.2%), and  $\alpha$ -terpineol (2.3%) were found as the main compounds of rosemary essential oil (Hussain Abdullah et al., 2013). In another study, 1,8-cineole and camphor were identified 49 and 12% (Risaliti et al., 2019). The anti-inflammatory and activities of 1,8-cineol have been proven (Sampath et al., 2017; Juergens et al., 2017). Camphor is also an organic compound with antifungal, antibacterial, antiseptic, and antipruritic effects (Pragadheesh et al., 2013; Singh and Jawaid, 2012; Zhou et al., 2017). Camphor has a strong smell and taste and is easily absorbed by the skin. This constituent can be used topically to relieve pain, irritation, and itching (Garg and Jain, 2017). Sunflower oil is one of the most widely used edible oils used in frying food and salads worldwide. Like other vegetable source oils, Sunflower oil is part of a healthy diet containing unsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins. Sunflower oil is rich in linoleic acid, an essential n-6 polyunsaturated fatty acid (Salas et al., 2015).

The current study aimed to investigate the antioxidant activity of rosemary on edible sunflower oil by the Rancimat method. In this way, rosemary was used as an alternative natural antioxidant source.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant Material

The plant material was *Rosmarinus officinalis* L. from the scientific project carried out in Afyonkarahisar Medicinal and Aromatic Plants Centre/Turkey (38° 46' N, 30° 30' E). The flowering branches were harvested at the beginning of the flowering stage. After the leaves were separated from other parts, they were dried by a cabin dryer at 37 °C for 72 h. The sunflower oil used in the experiments was refined and obtained from a local market in Afyonkarahisar/Turkey.

### 2.2. Radical Scavenging Activity

The DPPH method is one of the methods used in the determination of total antioxidants. The solution of the DPPH radical shows maximum absorption between 515-520 nm and is purple in color. In the presence of any antioxidant, the DPPH solution becomes stable and the % radical scavenging activity is calculated with the help of the decrease in absorption accompanied by a decrease in color intensity. Radical scavenging activity (%) was determined by DPPH method with some modifications (Brand-Williams et al., 1995; Locatelli et al., 2009; Türk Baydır, 2019). Accordingly, radical scavenging activities (%) of 0.001 g ml<sup>-1</sup> rosemary extract were prepared using different solvents as follows: ethyl alcohol, methyl alcohol, acetone, ethyl ether, and 2-propanol. However, the experiments were continued with methyl alcohol because of the obtained best results. For calculating the EC50 value, 500  $\mu$ L of 0.5, 1, 1.5, 2, and 2.5 mg ml<sup>-1</sup> of methyl alcohol extract of powdered rosemary leaves were completed to 1 ml with methyl alcohol. Finally, 0.5 ml of 0.002 g 100 ml<sup>-1</sup> DPPH in methyl alcohol was added to the samples. The prepared samples were placed in a dark cabin at laboratory temperature (24 $\pm$ 2 °C) for 30 minutes. The absorption values were read at 517 nm by UV/Vis Microplate Spectrophotometer (Thermo Scientific Multiskan Go). Thus, 0.5 ml of the DPPH solution with 1 ml of methyl alcohol was mixed and read at 517 nm as the control value. Methyl alcohol solution was evaluated as the blank sample. Radical scavenging activity (%) was calculated from the equation below:

$$\text{Radical scavenging activity (\%)} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{sample}} \times 100$$

Experiments were performed in triplicate. The average and standard deviation values of the test results were calculated and given.

### 2.3. Rancimat method

One of the methods to evaluate the oxidation stability of oils is Rancimat device. This technique is based on the automatic determination of time before the maximum change of oxidation rate. Rancimat also provides some other helpful information on the

oxidative stability of edible fats and oils. By drawing the oxidative stability index (OSI) logarithm against accelerated temperature and extrapolating to room temperature, the shelf life of the sample can be estimated under environmental conditions (Farhoosh, 2007). The time required to produce a sudden increase of the conductivity due to volatile acid formation, mainly formic acid, determines the OSI, which can be defined as a measure of the resistance to oxidation of a fat or oil (García-Moreno et al., 2013). According to the Rancimat method, it can be said that the higher induction period under the same conditions, the more stable the oil is (Li et al., 2019). Oxidation stability is characterized by induction time. Stability analyses were performed according to the standard Rancimat method by the Rancimat (Metrohm/743). During the analysis, vessels containing 3 g of RSO samples were placed in heating blocks. After, 3 g of samples in the vessels were placed in heating blocks at 120 °C with 20 L h<sup>-1</sup> air flow and 60 ml of ultra-pure water (0.055 µs). Due to the lack of a standard, as an antioxidant in edible oils, 1 and 5 g of powdered rosemary leaves were added to the 100 g of sunflower oil and were kept for 24 h. Experiments were performed in triplicate. The average and standard deviation values of the test results were calculated and given.

Accordingly, the results of oxidation stability analysis of RSO were compared with the powdered rosemary leaves added oil samples.

For isolation of the essential oil, 50 g of dried rosemary leaves were extracted with 500 ml of distilled water by a neo-Clevenger type apparatus. Hydro-distillation was performed for three h. The obtained essential oils were dried over anhydrous sodium sulphate and stored in amber vials at +4°C.

## 2.4.GC/FID-MS Analyze method

For identifying the components of the essential oil, a gas chromatography (GC) system (Agilent Technologies, 7890B) equipped with a flame ionization detector (FID) and coupled to a mass spectrometry (MSD) detector (Agilent Technologies, 5977A) was used. An HP-Innowax column (Agilent 19091N-116: 60 m×0.320 mm internal diameter and 0.25 µm film thickness) was used to separate the compounds. The samples were analyzed with the column held initially at 70 °C after injection with 5 min hold time, then increased to 160 °C with 3 °C min<sup>-1</sup> heating ramp. Finally, the temperature was raised to 250 °C with 6 °C min<sup>-1</sup> heating ramp with 5 min hold time. The carrier gas was helium (99.99% purity) with 1.3 mL min<sup>-1</sup> flow. The injection volume was set 1 µL (20 µL essential oil was solved in 1 mL n-Hexane) with 8.20 minutes solvent delay time. The injection was performed in split mode (40:1). Detector, injector, and ion source temperatures were 270 °C, 250 °C, and 250 °C, respectively. MS scan range was (*m/z*): 35-450 atomic mass units (AMU) under electron impact (EI) ionization of 70 eV (Soltanbeigi, 2020).

Retention indices were calculated against n-alkanes (C7-C30/Sigma-Aldrich) on HP-Innowax column by GC/FID system (Agilent Technologies, 7890B) under the same conditions. The compounds of the essential oils were identified by comparing retention indices and mass spectra by computer library database of US National Institute of Standards and Technology (NIST), Wiley libraries, other published mass spectra (Adams, 2007). Relative abundance (% area) calculated based on the ratio between the peak area of each compound and the sum of areas of all compounds.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Radical scavenging activity (%)

The results of the DPPH method using various solvent extractions of 0.001 g ml<sup>-1</sup> rosemary are shown in Table 1. When the results were evaluated statistically, methyl alcohol and 2-propanol solutions had the highest and lowest effects on radical scavenging activity, respectively.

**Table 1.** Radical scavenging activities (%) and standart deviation of rosemary in various solvents

Extraction	Radical scavenging activity (%)
Ethyl alcohol	7.88±0.03
Methyl alcohol	10.60±0.06
Acetone	9.12±0.04
Ethyl ether	3.78±0.01
2-propanol	2.19±0.01

Because of the methyl alcohol was best solvent, absorption concentration graph of rosemary by using methyl alcohol solvent was indicated in Figure 1. Through graphic, the EC50 value of rosemary was determined as approximately 3.35 mg ml<sup>-1</sup>.

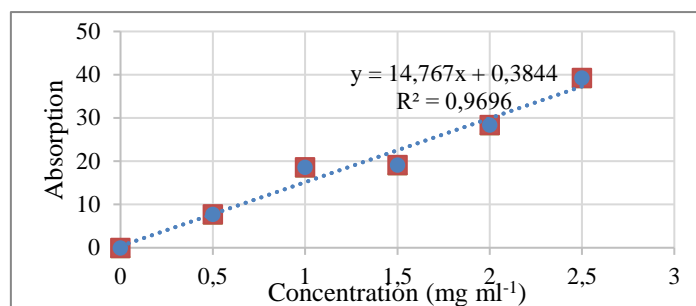


Figure 1. Absorption concentration graph of methyl alcohol extract of rosemary at 517 nm

### 3.2. Rancimat analysis

The induction period obtained from Rancimat analyses were given in table 2. The results showed that the average induction period of RSO was 1.57 h. The induction period was increased to 1.68 h by adding 1 g 100 ml<sup>-1</sup> rosemary to the weight of RSO. The raising rosemary amount from 1 to 5 g 100 ml<sup>-1</sup> increased the induction period to 1.79 h. Improving the stability of RSO to oxidation and increased shelf life was observed by adding different amounts of rosemary leaves powder.

Table 2. Average induction period and standart deviation of RSO, 1% rosemary added RSO, 5% rosemary added RSO under rancimat conditions, at 120 °C.

ID of the sample	IP, Induction Period
RSO	1.57±0.02
1% rosemary added RSO	1.68±0.02
5% rosemary added RSO	1.79±0.00

### GC/FID-MS Analysis

Based on the chromatographic analysis, 1,8-Cineole (15.18%) was the most major constituent of rosemary essential oil. Camphor (13.59%), Borneol (11.39%), Germacrene D (11.12%), and Carvacrol (11.05%) were identified as the other main components.  $\alpha$ -Pinene (6.01%), p-Cimene (3.07%), dl-Limonene (2.94%), Camphene (2.51),  $\alpha$ -Terpineol (2.27%), and Linalool (2.06%) were also determined above 2% (Table 3).

Table 3. The essential oil compounds (%) of rosemary

RI	Compositions	%	RI	Compositions	%
1020	Tricyclene	0.122	1681	$\alpha$ -Humulene	0.326
1032	$\alpha$ -Pinene	6.01	1684	Z-Citral	0.242
1070	$\alpha$ -Fenchene	0.155	1698	$\gamma$ -Muuroolene	0.099
1080	Camphene	2.513	1703	$\alpha$ -Terpineol	2.275
1121	$\beta$ -Pinene	0.127	1708	Borneol	11.393
1136	Verbenene	0.507	1719	Germacrene D	11.12
1158	$\delta$ -3-Carene	0.663	1731	cis-8-Methylbicyclo[4.3.0]non-7-ene	0.214
1168	$\beta$ -Myrcene	0.178	1739	$\alpha$ -Citral	0.109
1188	Camphogen	0.295	1744	Carvone	0.26
1210	dl-Limonene	2.943	1765	$\beta$ -Citronellol	0.153
1220	1,8-Cineole	15.189	1772	Campholaldehyde	0.218
1262	3-Octanone	0.109	1782	3-ethylidene-1-methylcyclopentene	0.097
1281	p-Cimene	3.078	1797	Homomyrtenol	0.992
1305	o-Isopropenyltoluene	0.116	1827	Santolina triene	0.158
1434	$\alpha$ -Thujone	1.133	1837	cis-Carveol	0.181
1438	$\beta$ -Methylisoallylbenzene	0.099	1840	cis-Calamene	0.618
1447	p-Cymenene	0.615	1846	Geraniol	1.116
1451	1-Octen-3-ol	0.576	1852	p-Cymen-8-ol	0.32
1453	$\beta$ -Thujone	0.335	1921	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	0.543
1478	cis-Linalool oxide	0.17	1934	Piperitenone	0.399
1501	Octa-2,4,6-triene	0.318	1971	1,3-Cyclopentadiene, 5,5-dimethyl-1-ethyl-	0.098
1530	Camphor	13.595	1985	Dehydro-carvenolide	0.095
1550	Linalool	2.068	1995	Caryophyllene oxide	0.203
1559	Pinocamphone	0.444	2019	Methyl eugenol	0.191
1581	Pinocarvone	0.222	2044	Humulene oxide II	0.14
1590	$\alpha$ -Fenchyl acetate	1.439	2091	Veridiflorol	0.867

1605	exo-methyl-camphenilol	0.106	2172	Thymol	0.148
1609	4-Terpineol	0.894	2175	Eugenol	0.111
1626	(-)-Verbenone	0.085	2189	t-Muurolol	0.314
1641	(1R)-(-)-Myrtenal	0.083	2199	1-[4-(2-Methylpropyl) phenyl] prop-2-en-1-one	0.127
1645	L-(-)-Menthol	0.082	2219	Carvacrol	11.054
1663	trans-Pinocarveol	0.204	2449	15-Crown-5	1.075
1678	$\alpha$ -Terpineol	0.27			

RI: Retention indices calculated against n-alkanes (C7-C30) on HP-Innowax column.

## 4. Conclusions and Recommendations

The synthesis of secondary metabolites in plants is affected by endogenous and exogenous factors. The production and quality of essential oils in plants are directly dependent on genetic, climatic, agronomic management, post-harvest practices (harvesting time, isolation method, etc.), as well as storage conditions (Soltanbeigi and Sakartepe, 2020). According to Hcini et al. (2013), 1,8-cineol (33.08-37.75%), camphor (13.55-18.13%),  $\alpha$ -pinene (8.58-9.32%),  $\alpha$ -terpineole (6.79-8.17%), camphene (5.07-5.58 %), borneol (4.08-5.48%), limonene (3.19-3.04%), and p-cymene (2.42-3.11%) were identified as the major components of *R. officinalis*. According to current results, 1,8-Cineole (15.18%) was the most major constituent of rosemary essential oil. Camphor (13.59%), Borneol (11.39%), Germacrene D (11.12%), and Carvacrol (11.05%) were identified as the other main components. The EC50 value of rosemary was determined as approximately 3.35 mg ml<sup>-1</sup> by the DPPH method. According to the results, methyl alcohol was identified as the best solvent for DPPH experiments. At the same time, the maximum inhibition value reached 39.22%. Based on the results of Rancimat analysis, it can be concluded rosemary leaves may have positive effects on oxidation stability as a natural antioxidant to increase the shelf life of edible oils. The shelf life of RSO increased significantly by adding rosemary leaves. The present study results are consistent with numerous studies on the oxidative stability of edible oils by adding different medicinal plants (Tinello and Lante, 2020; Türk Baydir et al., 2021). The strong inhibitory effect of rosemary leaves extract (0.02%) on lipid oxidation and soybean lipoxygenase activity has been proved (Chen et al., 1992). In another study, by adding 0.1% of rosemary extract, the antioxidant potential of ghee increased in terms of radical scavenging activity (DPPH assay) without affecting sensory and physicochemical properties. The induction period of ghee increased significantly by adding rosemary extract compared with the control sample (Hussain Abdullah et al., 2010). According to the results of this study, rosemary plant has a certain amount of antioxidant content and can be used to prevent oxidation of oils. It is thought that this antioxidant effect may be due to the essential oil components it contains. Among the limitations of our study, the toxic effect of the rosemary plant was not taken into account in our study. The potential of antioxidant activities of other medicinal and aromatic plants on edible oils can be test to preserve and promote human health.

## Acknowledgement

This study was carried out using the chemicals and equipment of Afyon Kocatepe University Food Control Application and Research Laboratory. Plant material was obtained from Afyon Medicinal and Aromatic Plant Centre. We thank the relevant institutions.

## Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the manuscript.

## Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

## References

- Adams RP 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry, 4th Ed. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, p. 809.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT-Food Sci Technol* 30(28): 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chen Q, Shi H, Ho CT 1992. Effects of Rosemary Extracts and Major Constituents on Lipid Oxidation and Soybean Lipoxygenase Activity. *J. Am. Oil Chem. Soc* 69(10): 999-1002.
- Garg N, Jain, A 2017. Therapeutic and Medicinal Uses of Karpura-A Review. *Int. J. Sci. Res* 6(4) 1174-1181.
- Dhifi W, Bellili S, Jazi S, Bahloul N, Mnif W 2016. Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines* 3(25):2-16. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>
- Farhoosh R 2007. Shelf-Life Prediction of Edible Fats and Oils Using Rancimat. *Lipid Technol* 19(10): 232-234. <https://doi.org/10.1002/lite.200700073>
- Frankel EN 1985. Chemistry of Autoxidation: Mechanism, Products and Flavor Significance (Flavor Chemistry of Fats and Oils, AOCS, Champaign, USA: Ed. Min DB, Smouse TH) 1-37.
- García-Moreno PJ, Pérez-Gálvez R, Guadix A, Guadix EM 2013. Influence of the Parameters of the Rancimat Test on the Determination of the Oxidative Stability Index of Cod Liver Oil. *LWT-Food Sci Technol* 51(1): 303-308. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.002>
- Hcini K, Sotomayor JA, Jordan MJ, Bouzid S 2013. Chemical Composition of the Essential Oil of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*

- L.) of Tunisian Origin. *Asian J. Chem* 25(5): 2601-2603. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13506>
- Hussain Abdullah I, Anwar F, Chatha SAS, Jabbar A, Mahboob S, Nigam PS 2010. Rosmarinus officinalis Essential Oil: Antiproliferative, Antioxidant and Antibacterial Activities. *Braz. J. Microbiol* 41(4): 1070-1078. <https://doi.org/10.1590/S1517-8382201000400027>
- Hussain Abdullah I, Anwar F, Chatha SAS, Latif S, Sherazi STH, Ahmad A, Worthington J, Sarker SD 2013. Chemical Composition and Bioactivity Studies of the Essential Oils from Two Thymus Species from the Pakistani Flora. *LWT-Food Sci Technol* 50(1): 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.003>
- Juergens LJ, Racké K, Tuleta I, Stoerber M, Juergens UR 2017. Anti-Inflammatory Effects of 1,8-Cineole (Eucalyptol) Improve Glucocorticoid Effects In Vitro: A Novel Approach of Steroid-Sparing Add-On Therapy For COPD And Asthma? *Synergy* 5: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.synres.2017.08.001>
- Kassahun A, Shiferaw Y, Feleke G 2019. Proximate Analysis, Physicochemical Properties and Chemical Characterization of Rosmarinus officinalis L. Oil. *Nat. Volatiles Essent. Oils* 6(2): 20-24.
- Li X, Li Y, Yang F, Liu R, Zhao C, Jin Q, Wang X 2019. Oxidation Degree of Soybean Oil at Induction Time Point under Rancimat Test Condition: Theoretical Derivation and Experimental Observation. *Food Res. Int* 120: 756-762. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.036>
- Locatelli M, Gindro R, Travaglia F, Coisson JD, Rinaldi M, Arlorio M 2009. Study of the DPPH-Scavenging Activity: Development of A Free Software for the Correct Interpretation of Data. *Food Chem* 114(3): 889-897. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.035>
- Omidbeigi R 2011. Production and Processing of Medicinal Plants IV. 2nd Ed. Behnashr Pub. Mash'had, p. 423.
- Özguven, M., Soltanbeigi A, Yalın S, Çaliskan T, Eroğlu P, Yıldız G, Şekeroğlu N 2013. The Study of the Various Rosemary Varieties Volatile Oil Amounts and Antioxidant Activities in Different Harvests on Fertile and Marginal Lands. 1st Mediterranean Symposium on Medicinal and Aromatic Plants 17-20 April 2013, Cyprus.
- Pragadheesh VS, Saroj A, Yadav A, Chanotiya CS, Alam M, Samad A 2013. Chemical Characterization and Antifungal Activity of Cinnamomum camphora Essential Oil. *Ind Crops Prod* 49: 628-633. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.023>
- Risaliti L, Kehagia A, Daoulzi E, Lazari D, Bergonzi MC, Vergkizi-Nikolakaki S, Hadjipavlou-Litina D, Bilia AR 2019. Liposomes Loaded with Salvia triloba and Rosmarinus officinalis Essential Oils: In Vitro Assessment of Antioxidant, Anti inflammatory and Antibacterial Activities. *J Drug Deliv Sci Technol* 51: 493-498. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.03.034>
- Salas JJ, Bootello MA, Garcés R 2015. Food Uses of Sunflower Oils. In *Sunflower: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. AOCS Press, Urbana, p. 710.
- Sampath S, Veeramani V, Krishnakumar GS, Sivalingam U, Madurai SL, Chellan R 2017. Evaluation of in Vitro Anticancer Activity of 1,8-Cineole-Containing n-Hexane Extract of Callistemon citrinus (Curtis) Skeels Plant and Its Apoptotic Potential. *Biomed. Pharmacother* 93: 296-307. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.06.056>
- Singh R, Jawaid T 2012. Cinnamomum camphora (Kapur): Review. *Pharmacognosy Journal* 4(28): 1-5. <https://doi.org/10.5530/pj.2012.28.1>
- Soltanbeigi A 2020. Qualitative Variations of Lavandin Essential Oil under Various Storage Conditions. *J. Essent. Oil-Bear. Plants* 23(6): 1237-1252. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1871076>
- Soltanbeigi A, Sakartepe E 2020. Chemical Specification of Wild Salvia tomentosa Mill. Collected from Inner Aegean Region of Turkey. *Z Arznei- Gewurzpfla* 24(1): 31-35.
- Targan Ş, Arisoy K, Abali Y, Kaya E 2008. Antioxidant Effect of Citric Acid and Phosphoric Acid to Extent Storage Time of Sunflower Oils. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology* 10(1): 67-75.
- Tinello F, Lante A 2020. Accelerated Storage Conditions Effect on Ginger- and Turmeric-Enriched Soybean Oils with Comparing A Synthetic Antioxidant BHT. *LWT-Food Sci Technol* 131: 109797. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109797>
- Tomsone L, Krūma Z 2015. Stability of Rapeseed Oil with Horseradish Amorica rusticana L. and lovage Levisticum officinale L. Extracts under Medium Temperature Accelerated Storage Conditions. *Agron. Res* 13(4): 1120-1130.
- Topuz OK 2014. Oxidative Stabilisation of Anchovy (Engraulis encrasicolus) Oil with Pomegranate (Punica granatum) Seed Extract. *J Food Agric Environ* 12 (2): 174-178.
- Türk Baydır A 2019. Evaluation of total Antioxidant Amount and Oxidation Stability in Edible Oils. *Journal of Science and Technology of DPU* 42: 19-25.
- Türk Baydır A, Soltanbeigi A, Canlıdınç RS, Selçuk M 2021. Determination of Chemical Properties and Antioxidant Effect of Salvia officinalis L. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences* 4(1): 95-100.
- Zhou H, Ren J, Li Z. 2017 Antibacterial Activity and Mechanism of Pinoresinol from Cinnamomum camphora Leaves Against Food-Related Bacteria. *Food Control* 79: 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.041>.



# Son 10 Yılda Tasarlanan Serpentine Pavilyonlarının Biomimikri ve Parametrik Tasarım Açısından Biçimsel Analizi

Ceyhun Şekerci<sup>1\*</sup>, Beytullah Beşkaya<sup>2</sup>, Zehra Taştan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1533-8760), [csekerici@ktun.edu.tr](mailto:csekerici@ktun.edu.tr)

<sup>2</sup> Ostim Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1736-732X), [beytullah.beskaya@ostimteknik.edu.tr](mailto:beytullah.beskaya@ostimteknik.edu.tr)

<sup>3</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1321-1347), [ztastan@nny.edu.tr](mailto:ztastan@nny.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1235945)

**ATIF/REFERENCE:** Şekerci, C., Beşkaya, B., Taştan, Z. (2023). Son 10 Yılda Tasarlanan Serpentine Pavilyonlarının Biomimikri ve Parametrik Tasarım Açısından Biçimsel Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 66-78.

## Öz

Dijital tasarım alanında yaşanan gelişmelerin bir sonucu olarak ortaya çıkan yazılımlar ve teknolojik araçlar, tasarım alanında yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlamış ve var olan yaklaşımlarında uygulanabilirliği, denetlenebilirliği ve kontrol edilebilirliğini arttırmıştır. Bu yaklaşımlardan olan parametrik tasarım yaklaşımı ve biomimikri tasarım yaklaşımı son yıllarda birçok tasarım alanında teknolojinin araçlar sayesinde karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada da son 10 yılda yapılan Serpentine pavilyonlarının bu iki yaklaşım üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada Serpentine pavilyonlarından bahsedilmiş olup, her bir pavilyon biomimikri ve parametrik tasarım yaklaşımları tarafından analiz edilmiştir. Serpentine Pavilyonlarında da bu iki yaklaşımın kullanıldığına dair bulgulara rastlandığı gözlemlenmiştir. Bu durum sonraki yıllarda tasarlanacak Serpentine pavilyonlarında da devam edeceğinin öngürülmesi ile beraber, küçük ölçekli yapılarda bu iki yaklaşımın daha kontrol edilebilir, uygulanabilir ve denetlenebilir olduğu sonucuna da varılmaktadır. Yapılan çalışma da Serpentine pavilyonları özelinde tasarım alanında bu iki yaklaşım ayrı ayrı kullanılabilceği gibi birlikte de tasarıma etki edeceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Parametrik Tasarım, Biomimikri, Serpentine, Serpentine Pavilyonları.

## Formal Analysis of Serpentine Pavilions Designed in the Last 10 Years in Terms of Biomimicry and Parametric Design

### Abstract

The software and technological tools that emerged as a result of the developments in the field of digital design have allowed the emergence of new approaches in the field of design and increased the applicability, auditability and controllability of existing approaches. Parametric design approach and biomimicry design approach, which are among these approaches, have emerged in many design fields thanks to the tools of technology in recent years. In this study, the Serpentine pavilions built in the last 10 years were evaluated based on these two approaches. In the study, Serpentine pavilions were mentioned, and each pavilion was analyzed by biomimicry and parametric design approaches. It has been observed that there is evidence of the use of these two approaches in the Serpentine Pavilions. It is predicted that this situation will continue in the Serpentine pavilions to be designed in the following years, and it is concluded that these two approaches are more controllable, applicable and auditable in small-scale structures. In the study, it was concluded that these two approaches can be used separately in the field of design, especially for the Serpentine pavilions, and they will also affect the design together.

**Keywords:** Parametric Design, Biomimicry, Serpentine, Serpentine Pavilions

\* Sorumlu Yazar: [csekerici@ktun.edu.tr](mailto:csekerici@ktun.edu.tr)

## 1. Giriş

Modern öncesi dönemler de bireyin yaşamını devam ettirebilmesi için doğayla olan ilişkisi modern dönem yaşam anlayışından farklıydı. İnsanın doğada kurmuş olduğu baskı ve kendini o baskıdan kurtarma çabasına vurgu yapan modern çağ, insanın doğayla olan bağında diğer dönemlerde görülmeyen yeni bir ilerleyişi ve gelişmeyi başlatmıştır. İnsanın bulunduğu evrendeki yerini yeniden inşa etme fikri, bilimsel keşifleri tetikleme, bilim alanındaki yeniliklere bağlı olarak köklü bir değişime girmesi; insan – doğa arasındaki ilişkiyi değiştirmiştir (Berman, 2012).

Günümüzde enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik ile ilgili yaşanan ciddi oranda artışın sonucunda enerji kaynaklarında yaşanan azalma, inşaat, konut, mobilya, sanayi ve ticaret alanlarında enerji korunumunu sürdürülebilirlik ile devam ettirmesi önemlidir. Bu bağlamda küresel ısınma, iklim değişikliği ve ekolojik dengede yaşanan değişiklikler sürdürülebilirlik alanına dair yeni yaklaşım biçimlerinin oluşmasında etkin rol oynamıştır. Bu yaklaşımlardan biri olan biomimikri kavramıdır.

Dijital teknolojinin hayatımıza girmesi ile yaşam biçimimizde birçok değişikliğe ve gelişmeye neden olmuştur. Yaşanılan bu değişim, dönüşüm ve gelişmeler ile diğer alanlarda olduğu gibi tasarım ve sanat eğitimi ve uygulamalarında da etkilerini göstermiş, bu değişimle birlikte gelişim de devam etmiştir. Bir ürün tasarlanmanın çok sayıda alternatifleri bulunmaktadır. Önceden geleneksel tasarım yaklaşımı ile yapılan ölçüm ve eskizler ile ortaya çıkarılan ürün, günümüzde bilgisayar destekli tasarım doğrultusunda parametrelerin hesaplanması kolaylığı ile çok fazla alternatif oluşturulmaktadır. Tasarım sürecinde yer alan yeni arayışlardan biri de tasarım araçlarında değişikliğe sebep olan, dijital çizimden 3D modellemeye ve hesaplamalı tasarıma kadar çeşitli modellerin oluşumunu sağlayan parametrik tasarım yöntemidir (Oxman, 2017).

Biomimikri kavramından ilham alınarak geliştirilen tasarım anlayışı ile model önerisi geliştirmenin mümkün olmasının yanı sıra günümüz bilgisayar ve teknolojilerini, yazılımlarını kullanarak hesaplamalı ve analiz edilebilir bir yaklaşım olan parametrik yaklaşımı ile değerlendirilerek de sonuç ürünü elde edilebilir. Doğadan ilham alınarak geliştirilen bir tasarımın, farklı parametrelerle yeniden yorumlanması ve parametrik tasarım yaklaşımı ile yeni alternatifler üretmesi tasarım zenginliğine, çeşitliliğine ve tasarımın uygulanabilirliğine olanak sağlayacaktır.

Parametrik tasarım yaklaşımı ile bir model önerisi sunmak için değişkenlere ihtiyaç vardır. Bu değişkenleri kontrol altında tutmak ve daha fazla alternatif model önerisi geliştirmek içinde bilgisayar yazılımlarına, parametrik tasarım araçlarına ihtiyaç vardır. Hesaplamaya dayalı bir yaklaşım olan parametrik tasarım, tasarımcının belirlediği sınırlar çerçevesinde olasılıklar ortaya koyarak değişim, dönüşüm ve deformasyon imkanları sunar. Tasarım sürecinde toplanan veriler, bulgular ve analizler sayesinde belirli parametreler ile elde edilmiş olunacaktır. (İnner S,2019).

Ayrıca biomimikri ve parametrik tasarım yaklaşımları tasarım alanında, form üretme de yaşanan kısır döngüye alternatif olarak yeni tasarım yaklaşımları olarak da önem kazanmaktadır.

Son yıllarda tasarım alanında yaşanan teknolojik gelişmelere bağlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan tasarım yaklaşımlarından olan biomimikri ve parametrik tasarım yaklaşımları, çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların azlığı ve bu iki yaklaşımın bir arada değerlendirildiği ve ilişkilendirildiği yeterli sayıda çalışmanın olmaması, çalışmanın önemini de arttırmaktadır.

Kültür ve sanat etkinlikleri kapsamında uluslararası üne sahip olan ve mimarlık alanında bugüne kadar görülmemiş bir serüvene de ev sahipliği yapan Serpentine Pavilyonları, aynı mekan içerisinde benzer meteryallerin kullanıldığı küçük ölçekli yapılar olması, her bir tasarımda farklı strüktürel yapının gözlemlenmesi ve mekanın işlevinden çok form üretme kaygısı ile oluşturulmuş strüktürler olması, pavilyonlarda tasarımcılarının kendi görüşlerinden ve tasarımlarında biomimikri ve parametrik tasarım yaklaşımını temel alabilecek bir çok bileşeni barındırması ile çalışmanın kapsamına alınmıştır. Son 10 yılda teknolojinin etkisi ile dijital tasarım da yaşanan gelişmelere paralel bu iki tasarım yaklaşımının gelişmesi ve tasarım alanında kullanımının yaygınlaşmasına bağlı olarak son 10 yılda tasarlanan Serpentine Pavilyonları çalışmanın sınırlılığını oluşturmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma da ilk olarak tasarım alanında kullanılan yeni yaklaşımlardan parametrik tasarım ve biomimikri tasarım yaklaşımları açıklanmıştır. Son 10 yılda Serpentine Sackler Gallery de tasarlanan Serpentine Pavilyonları tek tek incelenmiş ve tasarımcıların tasarımlarına dair görüş ve fikirlerine de yer verilmiştir. Sonraki aşamada bu pavilyonların tasarımlarında biomimikri ve parametrik tasarım yaklaşımlarının kullanımına dair değerlendirmeler yapılmış olup Tablo.1’ de analiz edilmiştir. Çalışma aşağıdaki alt başlıklar ile detaylandırılmıştır.

### 2.1. Biomimikri Tasarım Yaklaşımı

Doğa, gelişigüzel bir döngü içinde varlığını devam ettirir; devam eden bu döngüde dünya, tıpkı doğa gibi çalışması gereken insanı da içinde barındırır. Bu nedenle tasarımcıların, tasarımlarında doğadan beslenerek ilham almaları ve beslenmeleri olağandır.

Doğadan esinlenerek ilham alınan tasarımlara biomimikri kavramı ile özdeşleşmektedir. Biyomimikri” ilk olarak 1962 yılında dile getirilmiştir. Grekçe bios (hayat) ve mimikos (taklit) kelimelerinin bir araya gelmesinden türeyen biyomimikri, genel tanımıyla bir yaşam tarzının diğer bir kişi tarafından taklit edilmesi anlamına gelir (Volstad,2012).

Tasarım anlamında biyomimikri kavramı ise, doğayı belli başlıklar altında gözlemleyerek (işlevsel, biçimsel ve materyal) doğanın özel ürünlerinin tasarlama sürecinde verdiği büyük etki ile birleştirilerek insanın yaşam tarzını kolaylaştırmasında etkin rol oynamıştır. Başka bir deyişle biyomimesis “Doğanın işleyiş biçimine ve üstün zekasına bilinçli bir taklit etme işlemi olabilir. Doğadan ilham alan inovasyon” olarak düşünülebilir (Benyus, J.M.,1997).

21.yy. da enerji verimliliği geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik kavramlara verilen değer doğaya olan dönüşümü ifade etmektedir. Doğaya olan dönüş üzerinden çalışma yapan Benyus biyomimikriyi doğanın şekillerini, alternatiflerini ve oluşumlarını inceleyerek insanın sorunlarına yanıt alan, kopyalayan ve örnek alan bir bilim olarak adlandırılmaktadır. Bu doğrultuda doğa üzerinden yapılan tasarımlarda 9 önemli adım bulunmaktadır:

- \*Her canlının ihtiyacı olan güneş ışığından faydalanır
- \*Enerjide ihtiyaç doğrultusunda kullanım sağlar
- \*Fonksiyona uygun şekil oluşturur
- \*Bütün ürünlerin geri dönüştürülmesine olanak sağlar
- \*Farklı seçeneklere destek olur
- \*Yerel ürünlerden ve alt yapıdan beslenir.
- \*Yeteri kadar olanı barındırır.
- \*Ortaklaşa ürün çıkarmaya teşvik eder
- \*Sınırları zorlar.

Yukarıda gösterilen özellikler sonucunda biyomimikri sadece ürünlerde değil ek olarak işleyişteki akışta ve geçilen tasarım sürecinde de izini sürmektedir. Doğayı ölçüt, örnek, model ve çıkarım yapılması gereken bir metot olarak görmeyi dile getirir. (Mathews, F., 2011).

Araç ve inşaat endüstrisine, elektronikten giyim ve mekân ürünlerine kadar sayıca fazla alanda kullanılmakta olan biyomimikri, özellikle biyoloji biliminde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde yeni teknolojik anlayışla farklı ürünlerin ortaya çıkmasında önemli zemin hazırlamıştır. Bahsi geçen alanlarda ise önemli değere sahiptir. Doğanın kazandırdıklarının özünü ve sürecini idrak edebilmek için genel bir bakış açısına ve fikre sahip olunması gerekmektedir. (Karabetça,2016). Bu noktada biyomimikri kavranıp, tasarım sürecinde problemlere yanıt almak isteyen tasarımcılar için 2 farklı metot bulunmaktadır (El - Zeiny,2012). Bu metotlar;

Problem Temelli Yaklaşım (Biyolojiyi Sorgulayan Tasarım Yaklaşımı) ve Çözüm Temelli Yaklaşım (Tasarımı Etkileyen Biyolojik Tasarım Yaklaşımı). Bu tasarım yaklaşımında tasarımcıların problemlere yanıt bulabilmesinde doğada bulunan tüm canlılar ile bir araya gelerek tasarım problemlerine yanıt bulması gerekmektedir.

Problem Temelli Yaklaşımın bir örneği Mimar Michael Pawlyn ve ekibinin tasarlamış olduğu Eden projesidir. Proje de sabun köpüğünden oluşan kabarcıklardan yola çıkılarak dış hatlar belirlenip tasarlanmıştır. Polen tanecikleri ve karbon moleküllerin sahip olduğu altıgen ve beşgen kütleler ile yapının dış cephesi oluşturulmuştur. Oluşturulan altıgenler ile kullanılacak cam büyüklükleri ve ağırlıkları azaltılarak yapının strüktürel yükü azaltılmıştır. Bu sebeple yapının strüktüründe daha az çelik kullanımına gidilmiş ve güneş ışığından yüksek verim elde edilmiştir. Çelik parçalarının birleşiminde ise yusufluk böceğinin kanatlarından esinlenerek sağlanmıştır. Biomimikri tasarım yaklaşımının kullanıldığı iyi bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Eden Projesi ve Sabunlarda Oluşan Hava Kabarcıkları (Figure 1. Project Eden and Air Bubbles in Soaps )

Çözüm Temelli Yaklaşım (Tasarımı Etkileyen Biyoloji Tasarım Yaklaşımı). Bu tasarım yaklaşımında tasarımcıların ve biyologların beraber çalışmalarını gerçekleştirmesi oldukça önemlidir. Çünkü biyologların araştırma alanlarından birisi olan ekosistem, organizmalar, bitki ve yaşam döngüleri gibi konuların çözüm temelli yaklaşımlarda tasarımcıların ve biyologların iş birliği ile tasarlamasının daha doğru çözümler üreterek, değerli sonuçlar elde edilebileceği kanısına varılmıştır. (Güler, 2022).

Çözüm temelli yaklaşımlara örnek olarak durian meyvesinden ilham alınarak oluşturulan Singapur Esplanade Tiyatrosudur. Durian meyvesinin dış yapısının sert ve dayanıklı oluşu ile kendini çevresel faktörlerden (güneş, yağmur, rüzgâr, v.b) korumasından etkilenen Russel Johnson tasarımında gün boyu güneşin geliş açısına göre şekillenebilen üçgensel formda sivri uçlu panjurlar tasarlayarak yapıyı güneşten muhafaza edip iç mekânı doğal aydınlatma ile aydınlatmıştır (Şekil 2).





Şekil 2. Esplanade Tiyatrosu ve Durian Meyvesi (Figure 2. Esplanade Theater and Durian Fruit)

Stuttgart Üniversitesi Hesaplamalı Tasarım ve İnşaat Enstitüsü (ICD) ve Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü (ITKE) tarafından mimarlar, paleontologlar biyologlar, mühendisler tarafından oluşan çok disiplinli bir ekipte öğrenciler ve araştırmacılar tarafından tasarlanan Trigonopterus ve Cetonia böceklerinden ilham alınarak geliştirilen pavilyon bir buçuk yıl içinde planlanmış ve inşa edilmiştir. Tasarımın odak noktası, doğal fiber kompozit kabukların biyomimetik alanında kullanılması ve fiber takviyeli polimer yapılar için yeni bir robotik üretim yönteminin geliştirilmesi oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. ICD/ITKE Research Pavillion 2013-2014 (Figure 3. ICD/ITKE Research Pavillion 2013-2014)

Tasarımda hesaplamalı tasarım ve simülasyon araçlarının geliştirilmesi sayesinde hem robotik üretim özellikleri hem de soyutlanmış biyomimetik ilkeler aynı anda tasarım sürecine entegre edilerek bu form ve biçimleniş gerçekleştirilmiştir. Toplamda, geometrileri böcek yapısından soyutlanan yapısal ilkelere dayanan 36 ayrı modül üretilmiştir. Her biri, malzeme açısından verimli bir yük taşıma sistemi sağlayan ayrı bir fiber düzenine sahiptir. En büyük eleman, sadece 24,1 kg ağırlığında 2,6 m çapa sahiptir. Pavilyon toplam 50 m<sup>2</sup> alanı ve 593 kg ağırlığında 122 m<sup>3</sup> hacme sahiptir. Biyolojik yapısal ilkelerin hesaplamalı sentezinin ve malzeme, form ve robotik üretim arasındaki karmaşık karşılıklılıklarını yenilikçi fiber kompozit inşaat yöntemlerinin üretilmesine nasıl sağlanabileceğini göstermektedir. Biomimikri kavramının pavilyon tasarımında kullanımına dair iyi bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 2.2. Parametrik Tasarım Yaklaşımı

Teknolojinin gelişmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan sayısal tasarım araçlarının, tasarım alanlarında kullanımının yaygınlaşması ile tasarım alanlarında yeni yaklaşımlar olarak hesaplamalı tasarım, fraktal tasarım, konveksiyonel tasarım ve parametrik tasarım gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. Bu kavramlardan birisi olan parametrik tasarım, ilişkisel düşünmeye dayalı tasarım var olan değişkenlerin birbirinin varyasyonu ile model oluşturduğu bir yaklaşımdır. Bu parametrelerin ve aralarındaki ilişkilerin algoritmik olarak tanımlanması tasarım süreci üzerindeki kontrolü sağlaması ile karmaşık gibi görülen biçimlerin kontrol edilebilir olmasına ve tasarımda bütüncül bir yaklaşım ile ele alınmasına olanak sağlamaktadır (Oktan, 2017).

Parametrik tasarım yaklaşımı ile daha karmaşık formlar tasarlanabilir hale gelmekte ve basit biçimler yerine kontrol edilebilir değişken eğrilere sahip formlarda oluşturulabilmektedir (Oktan, 2017).

Parametrik tasarım yaklaşımının öncülerinden olan Zaha Hadid Mimarlık ofisinin ortaklarından Patrik Schumacher, 2008 yılında parametrisizm manifestosunu ortaya koymuştur. Parametrik tasarım yaklaşımında uyulması ya da kaçınılması gereken bazı ilkeler açıklamıştır. Bu ilkeleri kabuller (dogmalar) ve redler (tabular) olarak belilemiş ve bu ilkeler tamamıyla günümüz tasarım anlayışını yansıtmaktadır. Bu bağlamda kabuller olarak; tasarımda Eklemlenme, Melezleştirme, Biçim Değiştirme, Yerinden Koparma, Deforme Etme, Aynı Birimin Değişerek Tekrarlanması, Nurbs Kullanımı, Eğrisel Çizgi Kullanımı, Kod Kullanımı, Tüm Formların Parametrik Anlamda İşlenmiş Olması, Çeşitli Oranlarda ve Derecede Farklılaşmış Olması, Sistematik Olarak Kıvrırmak ve İlişkilendirmek olarak ifade etmektedir. Buna bağlı olarak redler (tabular) ise alışıldık tipolojiler, platonik (katı) biçimler, keskin hatlar, aynı birimin tekrarlanması, düz çizgiler, dik açılar ve köşeler, ilişkisizlik olarak belirlenmiştir (Schumacher, 2008).

Parametrik tasarım yaklaşımında Schumacherin manifestosunda yer alan kabuller tasarımda işlevin eylemle çeşitlenmesine, işlevin kullanıcı ve tasarım ilişkisi ile ortaya çıkabilecek tüm davranışlara cevap verebilmesi olarak belirlemiştir. Redler ise işleve cevap verebilme, tanımlanmış işlev alanları gibi belirli amaçlara bağlı olarak açıklanmıştır. Bu noktada değerlendirme yaptığımızda parametrik tasarım yaklaşımında esnek alanların (mekân) önemli olduğu, tasarımın farklı işlev ve fonksiyonlara olanak sağlayabileceği biçimde düzenlenmesi ve tasarlanması gerekliliği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4. Innsbruck Tren İstasyonu ve Galaxy SoHo Projeleri, Zaha Hadid (Schumacher, 2010) (Figure 4. Innsbruck Train Station and Galaxy SoHo Projects, Zaha Hadid (Schumacher, 2010))

Zaha Hadid Mimarlık ofisinin tasarladığı Innsbruck Tren İstasyonları (Şekil 4), Galaxy SoHo projeleri Parametrisizm Manifestosu ile doğrudan ilişkili olarak, yapıların tasarımlarının mümkün olabileceğini gösteren örneklerdir. Parametrik tasarım yaklaşımı sayesinde yukarıda verilen örneğe eş değer farklı tasarım fikirlerinin olabileceğini göstermektedir. Parametrik tasarım parametrisizm kavramının yeterince olgun bir stil olup, yaygınlaşmaya hazır olduğu gözlemlenmektedir (Schumacher, 2008).

### 2.3. Serpentine Galeri Pavilyonu (2013-2022)



Şekil 5. Kensington Gardens da bulunan Serpentine Gölü/Nehri görseli, Kensington Gardens, Londra (Figure 5. Image of Serpentine Lake/River at Kensington Gardens, Kensington Gardens, London)

Serpentine Galeri 1970 yılında Londra da bulunan Kensington Gardens içerisindeki Serpentine Gölü kıyısına inşa edilmiş halka açık bir sergi alanıdır. Sergi alanı Serpentine Galeri ve Serpentine Sackler Galeri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yıl boyunca Kültür-sanat etkinlikleri düzenlenen serpentine galeride ayrıca bugüne kadar görülmemiş bir mimarlık serüvenine de ev sahipliği yapmaktadır. Serpentine Galeride her yıl bir mimar tarafından tasarlanan tasarımlar sergilenmektedir (<https://www.vbenzeri.com/>).

Serpentine galeri tarafından görevlendirilen mimarlar geçici strüktürle tasarladıkları tasarımlarını burada sergilemektedir. Serpentine Galeri uluslararası üne sahip bir Pavilyondur. Her bir pavilyon için 6 ay gibi bir tasarım ve uygulama süreci verilmektedir. Tasarımlar birer öz gibi düşünülebilir. Strüktürel ifadeler içermektedir. Tasarımlar hayata geçirildikten sonra 3 ay halka açık bir şekilde sergilenmektedir (Dönmez, 2018).

Serpentine Pavilyonlarının tasarımları incelendiğinde tasarımların birbirinden ne kadar farklı olduğu görülebilmektedir. Bu durum strüktürle açılabilir. Aynı mekân içerisinde benzer materyaller kullanılarak tasarlandığı düşünüldüğünde her birini bu kadar özgün kılanın strüktür olduğu görülmektedir. Strüktür mimari bir tasarımın biçimini, içeriğini ve bileşenlerini oluşturmaktadır. Böylece strüktürün bir tasarım kimliğini oluşturduğu sonucuna varabiliriz. Buradan hareketle strüktür tasarıma ve tasarımcıya dair tüm bilgileri içeren referanslar vermektedir. Bu referanslar değerler, semboller, gelenekler, gereksinimler, sosyo-kültürel etmenler, teknoloji şeklinde düşünülebilir (Tavşan, 2021).



Şekil 6. Kensington Gardens da bulunan serpentine gallery yapısı görseli, Kensington Gardens, Londra (Figure 6. Image of serpentine gallery structure in Kensington Gardens, Kensington Gardens, London)

Bu çalışma Serpentine galeri pavilyonlarının parametrik tasarım ve biomimikri ilişkisini incelemek üzere 2013-2022 yılları arasında son 10 yılda inşa edilmiş pavilyonlar incelenmiştir. Bu Pavilyonlar sırasıyla şu şekildedir;

- Serpentine Gallery Pavilyonu 2013, Sou Fujimoto
- Serpentine Gallery Pavilyonu 2014, Smiljan Radić
- Serpentine Gallery Pavilyonu 2015, Jose Selgas ve Lucia Cano
- Serpentine Gallery Pavilyon2016, Bjarke Ingels Group (BIG)
- Serpentine Gallery Pavilyon 2017, Diebedo Francis Kere
- Serpentine Gallery Pavilyon 2018, Frida Escobedo
- Serpentine Gallery Pavilyon 2019, Junya Ishigami
- Serpentine Gallery Pavilyon 2021, Sumayya Vally
- Serpentine Gallery Pavilyon 2022, Theaster Gates

### 2.3.1. Serpentine Pavilyonu 2013, Sou Fujimoto



Şekil 7. 2013 yılında Sou Fujimoto tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 7. Images of the Serpentine Pavilion designed by Sou Fujimoto in 2013)

Serpentine Galerisi 2013 yılında tasarlaması için seçilen mimar Sou Fujimoto, tasarımında doğallığın ve yapaylığın birleştiği noktada organik strüktürlerden ilham alarak gerçekleştirmiştir. 40 cm'lik çelik parçalardan oluşan tasarımda üç boyutlu gridal bir strüktür oluşturulmuş ve bu sisteme "Bulut" ismini vermiştir (Şekil6). Bulut ismi doğa, teknoloji ve mimarlığın uyumlu bir birlikteliğini yansıtmak için düşünülmüş bir isimdir. Güneş ışığını yansıtabilen polikarbonat malzemelerle çelik çubuklar arasında kare şeklinde yüzeyler tasarlanmıştır. Böylece yağışlı günlerde yağmurdan korunabilen alanlar oluşturulmuştur. Oluşturulan strüktür ve yüzeyler sayesinde pavilyon içerisinde oluşan alanlar çeşitli amaçlarla kullanılabilir (Toy, 2020) (Şekil 8).



Şekil 8. 2013 yılında Sou Fujimoto Tarafından Tasarlanan Serpentine Pavilyonu Görselleri (Figure 8. Serpentine Pavilion Images by Sou Fujimoto in 2013)

Serpentine pavilyonu (2013) için tasarımcısı mimar Sou Fujimoto doğallığın ve yapaylığın birlikteliğini şu sözlerle açıklıyor;

"Pavilyonda, saydam bir mimari işleyerek, insanları yeni ve farklı biçimde bölgeyi keşfe teşvik eden bir alanda tasarladım.

Pavilyonun bulunduğu çevredeki yeşil ile inşa edilen geometri ile birlikteliğini sağladım. Geometri ve formun, doğa ve insanla sentezini kavramlaştırarak pavilyonu tasarladım.

İnsan vücudu büyüklüğünde basit bir küp organik ile soyut arasında bir form üretmek için içeri ile dışarı arasındaki sınırları bulanıklaştıran yumuşak kenarlı bir yapı yaratmak için tekrarlanarak formu ürettim. İnce çelik çubuklardan oluşan yapı, insanları çevrenin bir parçası haline getirip, aynı zamanda ondan korunurken yarı şeffaf ve düzensiz bir şekil oluşturdu. Izgara sisteminde farklı bölgelerdeki derinlikler kalın ya da ince duvarlar, şeffaf kesitler oluştururken, ızgaranın topoğrafyası duvarların, oturma alanlarının ve çatının aynı çelikten oluşturduğu küplerin bir dışavurumu olarak yansıdı. Bu şekilde, pavilyonun organik strüktürü araziye uyum sağladı ve ziyaretçileri kendi deneyimlerini yaratmaları için teşvik etti.

Herkesi pavilyonun içinde ya da etrafında kendi favori alanını bulması için davet ettik. Belli noktalardan, ziyaretçilerin mimarlıkla doğa arasında bir yerde boşlukta asılı kalmaları; pavilyonun kırılğan bulutunun Serpentine Gallery'nin klasik yapısı ile birleşiyormuş gibi gözükmesine sağladı.” (Eroyan, 2013).

### 2.3.2. Serpentine Pavilyonu 2014, Smiljan Radić



Şekil 9. 2014 yılında Smiljan Radić Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 9. Images of the Serpentine Pavilion designed by Smiljan Radić in 2014)

2014 yılında Şili’li mimar Smiljan Radic tarafından tasarlanan pavilyon, plastik bir kabuğun elyaf ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. Oscar Wilde’nin The Bencil Giant’ındaki şatodan ve Grimm Kardeşler’in The Sea-Hare’inden bir yumurtanın içine gizlenmiş çocuktan ilham alan Pavilyon eserinden esinlenerek oluşturulan tasarımda kütle kayaların üzerine yerleştirilmiştir. Yapı çevresiyle uyumlu bir görüntü oluşturmaktadır. Kullanılan malzemeler ve renklerle yapı doğanın bir parçasıymış gibi algılatılmaktadır. Arkaik formu sayesinde geçmişten gelen bir izlenim taşımaktadır. Yapının ince bir kabuğa sahip olması akşamları dikkatleri çeken sarı bir ışığın etrafı yayılmasını sağlamaktadır (Toy, 2020) (Şekil 9).



Şekil 10. 2014 yılında Smiljan Radić Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 10. Images of the Serpentine Pavilion designed by Smiljan Radić in 2014)

“Radić, pavilyonu çukur bir merkez de tasarlanarak ortada üstü açık bir avlu oluşturmuştur. Ayrıca duvardaki balkon formu verilen açıklıklar, pavilyonun içinden bahçe manzarası sunmaktadır.”

“Bu tasarımı sembolik bir alan olarak düşünmüştüm” diyor Radić.

“Ziyaretçiler galerinin girişindeki yükseltilmiş yürüyüş yolundan pavilyona giriş yapabilme; ya da iri kaya parçalarıyla yapıyı destekleyip oturma imkânı sağlayan alt bölüme geçiş yapabilme olanağına sahiptir. Dışarıdan bakıldığında iri ocak taşlarıyla yükseltilmiş halka şeklinde kırılğan bir kabuk görünümünde olan galeri, sanki eskiden beri buraya ait peyzajın bir parçası gibi görünmektedir. Ancak büyük ocak taşları pavilyona destek ve güç sağlamak amacıyla konulmuştur. Bu sayede dış strüktür kırılğanlığı ve hafifliğiyle dikkat çekmektedir.” (Çam, 2014) (Şekil 10).

### 2.3.3. Serpentine Pavilyonu 2015, Jose Selgas ve Lucia Cano



Şekil 11. 2015 yılında Jose Selgas ve Lucia Cano Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 11. Images of the Serpentine Pavilion designed by Jose Selgas and Lucia Cano in 2015)

Organik formu ve renkli yüzeyleriyle Kensington Gardens içerisinde büyük bir kozaya benzeyen serpentine pavilyonu 2015 yılında Jose Selgas ve Lucia Cano tarafından tasarlanmıştır. Oldukça karışık koridorlarıyla bir tünel biçiminde düşünülen pavilyon organik bir görüntüye sahiptir. Pavilyonda kullanılan renklerin ahengi ile ilgili tasarım ekibi şunu ifade etmektedir; “Beyaz yer, pavilyon için bir tuval; tüm renklerin güneş çıktığında üstünde dans edebileceği bir tuval.” şeklinde yorumlamaktadır. Pavilyon Çelik bir strüktürün plastik bir malzemeye birlikeliğinden oluşmaktadır. Güneş ışığının gündüz içeride verdiği yansımalar çok dikkat çekicidir. Ayrıca gece aydınlatmasıyla mekân dışardan çok etkileyici bir görüntüye bürünmektedir (Şekil 11).



Şekil 12. 2015 yılında Jose Selgas ve Lucia Cano Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 12. Images of the Serpentine Pavilion designed by Jose Selgas and Lucia Cano in 2015)

“Pavilyonun renkli iç mekanlarına birkaç farklı noktadan erişim sağlanabilmektedir. Londra'nın yeraltındaki çok katmanlı ve kaotik yapısından esinlenerek tasarlanmış koridorlarla da ana mekâna ulaşılmaktadır. Tasarımda ziyaretçilerin strüktür, ışık, gölge, şeffaflık, form, renk ve malzeme gibi basit temel unsurlarla deneyimlemesi amaçlanmıştır. Opak ve yarı saydam olmak üzere çift katmandan oluşan kabuk, iç mekânda çok renkli ve her biri farklı ışık, gölge ve forma sahip hacimler oluştururken ziyaretçileri de sürprizli bir yolculuğa çıkartmaktadır.” (Toy, 2020) (Şekil 12).

### 2.3.4. Serpentine Pavilyon2016, Bjarke Ingels Group (BIG)



Şekil 13. 2016 yılında Bjarke Ingels Group (BIG) Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 13. Images of the Serpentine Pavilion designed by Bjarke Ingels Group (BIG) in 2016)

Serpentine pavilyonu tasarlama görevi 2016 yılında Bjarke Ingels Groups (BIG) verilmiştir. BIG grubu yarı saydam bloklardan oluşan birimler ile kıvrımlı bir duvar oluşturmuştur. Tasarımda düşünülen etki duvarların saydam ve opak malzemelerin etkisiyle katı ve akışkan bir görünüm elde etmektir. Farklı açılardan bakıldığında kıvrımlı yüzeylerin serbest yüzeylere dönüştüğünü hissedilebilmektedir (Toy, 2022). Bjarke Ingels Groups (BIG)Pavilyon tasarımı ile ilgili şunları söylüyor;

“Biz ekip olarak, birbiriyle görünürde bağdaşmayan elemanları yeni bir bütünde karıştırma fikrini seviyoruz. Bu pavilyonda, çabasız bir şekilde bir sürü farklılığı birleştiren bir yapı yaratmaya çalıştık. Bu, içeride oturma alanı oluşturan bir duvar, Serpentine Sanat Galerisi'ne bir kapı, aynı zamanda çeşitli etkinlikler için bir mekân haline dönüşmektedir. Bir yandan tamamıyla dik açılı ve saydam; bir yandan da kıvrımlıdır.” (Arkitektual, 2017) (Şekil13).



Şekil 14. 2016 yılında Bjarke Ingels Group (BIG) Tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 14. Images of the Serpentine Pavilion designed by Bjarke Ingels Group (BIG) in 2016)

### 2.3.5. Serpentine Pavilyon 2017, Diebedo Francis Keré



Şekil 15. 2017 yılında Francis Kere tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 15. Images of the Serpentine Pavilion designed by Francis Kere in 2017)

Francis Kere 2017 yılında serpentine pavilyonunu tasarlamıştır. Herkes için ortak bir noktadan yola çıkarak doğa ile uyumlu bir tasarım gerçekleştirmiştir. Bir ağaçtan esinlenerek oluşturduğu tasarımında merkez de geniş bir çatı ve hava akımını sağlayacak serbest bir dolaşım kurgulamıştır. Pavilyonun merkezinde güneş alan bir bölüm oluşturulmuştur ve bu bölüme dört ayrı noktadan giriş yapılmaktadır. Yapı çelik strüktüre sahip olup duvarlarda ve çatıda ahşap malzemeler kullanılmıştır (Şekil 15).



Şekil 16. 2017 yılında Francis Kere tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 16. Images of the Serpentine Pavilion designed by Francis Kere in 2017)

“2017 Serpentine Pavilyonu için önerilen tasarım da bir mikro mekân olarak üretildi. Kensington Gardens’da geldiğim yer olan Burkina Faso’ya kültürel referanslar yapan ve bunu deneysel yapım teknikleriyle birleştiren bir topluluk mekân örgüsü geliştirmeye çalışılmıştır. Geniş bir çölün ortasında büyümüş olmam bende tasarımın sosyal, sürdürülebilir ve kültürel sonuçları konusunda büyük bir bilinç oluşturdu. Mimarlığın toplum, ekoloji ve ekonomi arasında bağdaştırıcı rolünü üstlenirken aynı zamanda bizleri, birleştirme, ilham verme gücüne sahip olduğuna inanıyorum.” (Arkitektual, 2017) (Şekil 16).

### **2.3.6. Serpentine Pavilyon 2018, Frida Escobedo**



Şekil 17. 2018 yılında Frida Escobedo tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 17. Images of the Serpentine Pavilion designed by Frida Escobedo in 2018)

2018 yılında Frida Escobedo tarafından tasarlanan serpentine pavilyonu bu zamana kadar Serpentine Sackler Galeri de tasarımını gerçekleştiren mimarlara göre en genç mimardır. 1979 yılında Mexico City’de dünyaya gelen Escobedo, Meksika mimarisinde yaygın olan unsurları Londra mimarisineyle birleştirmiş ve bu tasarımı ortaya çıkarmıştır. İki dikdörtgen hacimden oluşan yapı kiremit şeklinde çimento esaslı yapı taşlarından oluşmaktadır. Duvarlar kiremitlerin aralarında oluşan boşluklarla farklı bir görsel deneyim sunmaktadır. Pavilyon kuzey-güney eksenine göre konumlanmıştır. Bu yönüyle Greenwich’e bir gönderme yapılmıştır. Avlunun orta kısmında bulunan su havuzuyla güneş ışınlarının yansımaları kullanılarak farklı gölgeler ve yansımalar ile farklı biçimleniş öne çıkartmaya çalışmıştır (Stott, 2018) (Şekil 17).

### **2.3.7. Serpentine Pavilyon 2019, Junya Ishigami**



Şekil 18.2019 yılında Junya Ishigami tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 18. Images of the Serpentine Pavilion designed by Junya Ishigami in 2019)

2019 yılında Japon mimar Junya Ishigami Serpentine pavilyonunu tasarlayan Escobedo'dan sonraki en genç ikinci mimardır. Mimar Ishigami, yerden yükselerek arduvaz levhalardan oluşturduğu bir üst örtü biçimindeki tasarımının altında bir iç mekân oluşturmuştur. Sadece doğal güzellikleriyle değil mimariyi tanımlayan yapı unsurlarını da ele aldığı tasarımını rahatlatma ve tefekkür şeklinde yorumlamaktadır. Ayrıca Ishigami tasarımında "doğa ve insan tarafından inşaa edilen yapılar arasındaki ilişkiyi "boş alan" felsefesi üzerinde kurguladığını söylemektedir.

"Tasarım çimlerin arasından yükselen, kayalardan yapılmış bir tepe görünümüyle doğal ve organik bir his uyandırırken yapılı çevreye olan bakış açımızı da değiştirmektedir. Ayrıca, geleneksel mimariyi modern yöntem ve konseptlerle tamamlayarak daha önce görülmemeyen bir manzara alanı sağlamaktadır. Dağınık kaya parçaları, tıpkı dünyadaki diğer arduvaz çatılar kadar ağırken aynı zamanda da rüzgârda dalgalanan bir kumaş parçası gibi uçup gidecek kadar hafif görünmektedir." (Arkitektual, 2019).

### 2.3.8. Serpentine Pavilyon 2021, Sumayya Vally



Şekil 19. 2021 yılında Mimar Sumayya Vally tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 19. Images of the Serpentine Pavilion designed by Architect Sumayya Vally in 2021)

Mimar Sumayya Vally tarafından tasarlanan 20. Serpentine Gallery Pavilyonu 11 Haziran 2021 tarihinde açılmıştır. 2020 yılında yapılması gereken pavilyon salgın dönemine denk gelmesi nedeniyle bir yıl gecikmeli bir şekilde açılmıştır. Mimar Sumayya Vally kurucusu olduğu CounterSpace firmasıyla gerçekleştirdiği tasarımda %90 oranında geri dönüştürülmüş yapısal atıklardan yapılan mantarlar kullanmıştır. 20. SerpentineGallery Pavilyonu tasarımda Londra da bulunan göçmenlerin kullandığı mekanlara atıf da bulunmuştur (Şekil 19).

Pavilyonun tasarımı, diğerleri arasında Brixton, Hoxton, Tower Hamlets, Edgware Road, Barking ve Dagenham ve Peckham dahil olmak üzere diasporik ve kültürler arası topluluklar için önemli olan çeşitli Londra mahallelerinde geçmişteki ve şimdiki toplantı, organizasyon ve aidiyet yerlerine dayanmaktadır. Şehirdeki resmi olmayan topluluk alanlarının tarihsel olarak silinmesine ve kıtlığına yanıt veren Pavilyon, zaman içinde toplulukları elinde tutan ve bugün de tutmaya devam eden mevcut ve silinmiş yerlere atıfta bulunmaktadır.

### 2.3.9. Serpentine Pavilyon 2022, Theaster Gates



Şekil 20. 2022 yılında Sanatçı Theaster Gates tarafından tasarlanan Serpentine Pavilyonu görselleri (Figure 20. Images of the Serpentine Pavilion designed by Artist Theaster Gates in 2022)

21. Serpentine Gallery Pavilyonu Black Chapel Sanatçı Theaster Gates tarafından tasarlanmıştır. Birçok farklı kültürden ilham aldığı belirten sanatçı tasarımlarında bunlara atıflar yapmıştır. "Adjaye Associates'in desteğiyle gerçekleştirilen yapı, Stoke-on-Trent'in şişe fırınlarına, Batı Amerika Birleşik Devletleri'nin arı kovani fırınlarına, San Pietro ve Roma tempiettolarına ve Musgum çamur kulübeleri gibi geleneksel Afrika yapılarına gönderme yapmaktadır. (Kamerun ve Kampala, Uganda Kasubi Mezarları) Pavilyonun daireselliği ve hacmi, Macar yuvarlak kiliselerinin kutsal biçimlerini ve Afrika diasporasının kutsal uygulamalarında tanık olunan zil sesleri, vudu çemberleri ve roda de capoeira'yı yansıtıyor." (<https://www.serpentinegalleries.org/>).

Gates, "Black Chapel, bu zamanlarda günün baskısından dinlenip sessizce vakit geçirebileceğiniz bir alan olabileceğini gösteriyor" dedi.

"Her zaman sesin ve müziğin gücünü, insanların derin bir yansıma ve derin katılım alanına girmelerine izin veren iyileştirici bir mekanizma ve duygusal güç olarak gören mekanlar inşa etmek istedim." diyerek tasarımı hakkındaki görüşünü ifade etmiştir (Archdaily, 2022).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1. Serpentine Pavillionlarının Biomimikri ve Parametrik Tasarım Açısından Değerlendirilmesi (Table 1. Evaluation of Serpentine Pavillions in Terms of Biomimicry and Parametric Design)

Pavilyon	Biomimikri	Parametrik
<i>Serpentine Pavilyonu 2013, Sou Fujimoto</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Küp formundan yola çıkarak 40cm çelik halatların birbirini tekrarlayarak oluşturduğu pavillion, Patrik schumaerin ilkelerinden çeşitleme ilkesi ile bağdaşmaktadır.
<i>Serpentine Pavilyonu 2014, Smiljan Radić</i>	Bir yumurtanın içine gizlenmiş çocuk fûgüründen yola çıkarak tasarımcı, tasarımında ince kabuklu yüzeyler kullanarak yumurtanın kırılğanlığından ilham almıştır.	Parametrik tasarım yaklaşımına dair herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.
<i>Serpentine Pavilyonu 2015, Jose Selgas ve Lucia Cano</i>	Organik bir görüntüye sahip olan pavillionun tasarımında Koza 'dan ilham alınmıştır.	Formun kabuğunu oluşturan strüktür de kullanılan plastik malzemelerin sistematik olarak oranlarında ve derecelerinde farklılaşması parametrik tasarım yaklaşımı ile ilişkilendirilmektedir.
<i>Serpentine Pavilyon2016, Bjarke Ingels Group (BIG)</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Tek bir geometrik formun bir den fazla biçimde tekrar edilerek kullanılması ve form olarak kıvrımlı yüzeyler oluşturmaya bağlı olarak parametrik tasarımla ilişkilendirilmektedir.
<i>Serpentine Pavilyon 2017, Diebedo Francis Keré</i>	Doğa ile uyumlu bir tasarım oluşturmak anlayışı ile tasarlanan pavillion tasarımcı Ağaç tan ilham alarak tasarlamıştır.	Tasarımın üst örtüsünü ve bölücü yüzeylerini oluşturan geometrik form, birbirini tekrar eden ve farklılaşan üçgen yüzeylerden oluşmasına bağlı olarak parametrik tasarım ilkesi ile ilişkilendirilmektedir.
<i>Serpentine Pavilyon 2018, Frida Escobedo</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Tek bir geometrik formun sistematik bir biçimde tekrarlanması ile tasarımı oluşturmaya bağlı olarak parametrik tasarım yaklaşım ile ilişkilendirebiliriz.
<i>Serpentine Pavilyon 2019, Junya Ishigami</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Parametrik tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.
<i>Serpentine Pavilyon 2021, Sumayya Vally</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Parametrik tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.
<i>Serpentine Pavilyon 2022, Theaster Gates</i>	Biomikri tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.	Parametrik tasarım yaklaşımı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

Son 10 yılda tasarlanan Serpentine Pavilyonlarını Parametrik tasarım yaklaşımı açısından değerlendirdiğimizde; 2013 yılında Sou Fujimoto tarafından tasarlanan pavilyonda, 2015 yılında Jose Selgas ve Lucia Cano tarafından tasarlanan pavilyonda 2016 yılında Bjarke Ingels Group (BIG) tarafından tasarlanan pavilyonda, 2017 yılında Diebedo Francis Keré tarafından tasarlanan pavilyonda 2018 yılında Frida Escobedo tarafından tasarlanan pavilyonlarda parametrik tasarım yaklaşımına dair bulgulara rastlanmıştır. Biomimikri tasarım yaklaşımı açısından değerlendirdiğimizde; 2014 yılında Smiljan Radić tarafından tasarlanan pavilyonda, 2015 yılında Jose Selgas ve Lucia Cano tarafından tasarlanan pavilyon, 2017 yılında Diebedo Francis Keré tarafından tasarlanan pavilyonlarda biomimikri tasarım yaklaşımına dair bulgulara rastlanmıştır. 2017 yılında Diebedo Francis Keré tarafından tasarlanan pavilyonda hem parametrik tasarım yaklaşımına hemde biomimikri tasarım yaklaşımına rastlanmıştır (Tablo 1).

Uluslararası üne sahip olan serpentine pavilyonlarında son 10 yılda yapılan tasarımlarında parametrik tasarım ve biomikri yaklaşımının gelişmesine de bağlı olarak; bu iki yaklaşıma dair izlerin görülmesi tasarımın farklı alanlarında farklı ölçeklerde bu iki yaklaşımın tasarım alanına katkı vereceğinin bir göstergesi olarak da görülebilir.



## 4. Sonuç

Parametrik tasarım ve biomimikri kavramları son 10 yılda dijital teknolojilerde (yazılım alanında) yaşanan gelişmeye paralel olarak bu tasarım yaklaşımları ile tasarlanan ürünlerin uygulanabilirliği, denetlenebilirliği ve kontrol edilebilirliği mümkün hale gelmiştir. Bu bağlamda çalışmada son 10 yılda yapılan serpentine pavilyonlarının parametrik tasarım yaklaşımı ve biomimikri tasarım yaklaşımının kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Serpentine pavilyonları uluslararası üne sahip kültür- sanat etkinlikleri kapsamında seçici mimarın tasarladığı pavilyonu sergilediği ve ayrıca son yıllardaki çalışmalarda tasarım ve malzeme alanında yaşanan yeniliklerinde gün yüzüne çıktığı bir platforma dönüşmüştür. Yeni yaklaşımlardan olan parametrik tasarım ve biomimikri yaklaşımlarının etkisi Serpentine pavilyonlarında da görülmüştür. Serpentine pavilyonlarında iki yaklaşım ayrı yıllarda yapılan tasarımlarda gözlemlendiği gibi bazı tasarımlarda her iki yaklaşımda kullanılmıştır. Bu durum öncelikle olarak parametrik tasarım ve biomimikri tasarım yaklaşımının etkileşebileceğinin mümkün olduğu; her iki yaklaşımın tasarım alanında ayrı ayrı kullanılabileceğinin yanı sıra beraberinde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada parametrik tasarım yaklaşımı için Patrik Schumacher'in kabulleri üzerinden serpentine pavilyonları değerlendirilmiş olup, biomimikri yaklaşımı ile ilgili olarak da tasarımcıların pavilyonlar için açıklamalarından yararlanılarak doğadan ilham aldıkları kaynaklar değerlendirilerek analiz edilmiştir. Parametrik tasarım yaklaşımı ve biomimikri tasarım yaklaşımlarının teknolojik gelişmelere bağlı olarak son 10 yılda tasarım alanındaki yansımalarının bir göstergesi olarak değerlendirmeye alınan Serpentine Pavilyonlarında;

2013, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında tasarlanan pavilyonlarda parametrik tasarım yaklaşımına dair izler bulunmuştur.

2014, 2015 ve 2017 yıllarında tasarlanan pavilyonlarda biomimikri tasarım yaklaşımına dair izler bulunmuştur.

2020 yılında covid 19 pandemisinden kaynaklı olarak serpentine de pavilyon tasarımı yapılmamıştır.

Serpentine pavilyonları incelendiğinde 2019, 2020, 2021 yılında tasarlanan pavilyonlarda bu iki yaklaşıma dair herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak sonraki yıllarda bu yaklaşımlara dair tasarımların yapılacağı öngörülebilmektedir.

Tasarım alanında çok daha eskilere dayanan bu yaklaşımların tasarım alanında küçük ölçeğe sahip Serpentine pavilyonları ile kontrol edilebilir ve uygulanabilir olması bu bağlamda birçok tasarıma da ilham vermesi beklenmektedir.

## 5. Teşekkür

Çalışmaya katkı veren değerli hakemlere ve Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisinin tüm kurullarına çok teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Benyus, J.M., (1997). Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. New York: HarperCollins.
- Berman, M., (2012). Katı Olan Her Şey Buharlaşıyor: Modernite Deneyimi. İstanbul: İletişim Yayınları.
- Çam, Sena; 2014, Serpentine Pavilyonu açılıyor." <https://www.arkitera.com/haber/2014-serpentine-pavyonu-aciliyor/> 18.07.2014.
- Dönmez, Benan; Dinç Kalaycı, Pınar. Deneysel Mimarlık için Bir Zemin İnşası Girişimi: Vitruvius ve Serpentine Galeri Pavilyonları Arakesitinden Deneysel Okumak. 2018.
- El-Zeiny, R. M. A., (2012). Biomimicry as a problem solving methodology in interior architecture. Procedia – Social and Behavioral Sciences, s (50), ss:502-512.
- Eroyan, Amber; 2013. Mimarizm.com, "Fujimoto'nun Serpentine'i İnşai Geometriyle Doğayı Harmanlayacak", Adli haberinden, Erişim: 14.02.2013.
- Güler, Ş., (2022). Mimarlık eğitiminde biyomimikri kavramı: KTÜN mimarlık örneği. Yüksekisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- <https://www.arkitektuel.com/2017-serpentine-pavyonu/> Erişim 16.11.2022 10.00
- <https://www.archdaily.com/919342/first-look-at-the-2019-serpentine-pavilion>
- <https://yapidergisi.com/20-serpentine-gallery-pavyonu-aciliyor/> Erişim 16.09.2022 13.00
- <https://www.archdaily.com/983262/black-chapel-serpentine-pavilion-2022-theater-gates> Erişim 16.09.2022 12.00
- <https://yapidergisi.com/serpentine-gallery-pavyonunun-son-10-yili/> Erişim 16.09.22 11.00
- <https://www.archdaily.com/919342/first-look-at-the-2019-serpentine-pavilion>
- İnner S (2019). Biyomimikri ve Parametrik Tasarım İlişkinin Mimari Alanında Kullanımı ve Gelişimi, Tasarım Enformatiği, ss:15-29
- Karabetça, A. R., (2016). Biyomimikri Destekli Mekân Tasarımı Ölçütleri ve Bu Ölçütlerin Örnekler Üzerinde İncelenmesi. Doktora Tezi, T.C. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mathews, F., 2011. Towards a Deeper Philosophy of Biomimicry, Organization and Environment, 24(4), 264-387.
- Oktan, S., & Vural, S. (2017). Bir Manifestonun Sorgusu Parametrisizm. Mimarlık, (395), 62-66.
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. Design Studies, 52, pp: 4-39.
- Schumacher, P., (2008). Parametricism as Style – Parametricist Manifesto. <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> 20 Ocak 2015.
- Stott Rorry; 2018, "Frida Escobedo'nun 2018 Yıllanli Pavilyonu Londra'da Açılıyor" 11 Haz 2018. ArchDaily Erişim tarihi: 16.11.2022. <<https://www.archdaily.com/896135/frida-escobedos-2018-serpentine-pavilion-opens-in-london>> ISSN 0719-8884

Tavşan, C., (2021). Serpentine Pavilyonlarının Strüktür Tasarımını Etkileyen Dinamiklerin. Sanat ve İnsan Dergisi, s 5.1.

Toy, Betül; 2020, Yapı Dergisi, Serpentine Gallery Pavyonu'nun Son 10 Yılı... 14.02.2020.

Volstad, N.L. and Boks, C., (2012). On the Use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer. Sustainable Development, Vol:20, pp:189–199

# Tramvayın Güneş Enerjisi Destekli Bir Mikro Şebekeye Entegrasyonu

Mine Sertsöz<sup>1\*</sup>, Mehmet Fidan<sup>2</sup>, Murat Başaran<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1641-9191), [msertsoz@eskisehir.edu.tr](mailto:msertsoz@eskisehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2883-9863), [mfidan@eskisehir.edu.tr](mailto:mfidan@eskisehir.edu.tr)

<sup>3</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8756-8883), [muratb@eskisehir.edu.tr](mailto:мурatb@eskisehir.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1235995)

**ATIF/REFERENCE:** Sertsöz, M., Fidan, M. & Başaran, M. (2023). Tramvayın Güneş Enerjisi Destekli Bir Mikro Şebekeye Entegrasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 79-84.

## Öz

Raylı sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle de güneş enerjisi, son yıllarda üzerinde çok fazla araştırma ve uygulama yapılan konulardan biridir. Bunun yanında mikro şebekeler, ileriki yıllarda çok daha fazla kullanılacak olan akıllı şebekelerin en önemli girdilerinden biridir. Bu çalışmada da tüm bu amaçlara hizmet etmesi için tramvay hattına enerji temin eden, güneş enerjisi kaynaklı bir mikro şebeke tasarlanmıştır.

Tasarlanan bu mikro şebeke -en ekonomik yolla- bir tramvay hattını (ESTRAM) nasıl besleyeceği günün saatlerine, bu saatlerdeki elektrik bedeline ve güneş enerjisinden faydalanma oranına göre geliştirilen bir akış şeması ile modellenmiştir. Bu akış şemasının bir noktasında karar verici olarak bir optimizasyon problem tanımlanarak Doğrusal Programlama ile çözülmüştür. Sonuç olarak da bu mikro şebekenin amortisman süresi de dahil şu anki tramvay işletme maliyetinden daha karlı olacağı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Raylı Sistemler, Enerji Verimliliği, Güneş Enerjisi, Mikro Şebekeler

## Integration of the Tram to A Solar Supported Micro Grid

### Abstract

The use of renewable energy sources in rail systems, especially solar energy, is one of the subjects on which a lot of studies and applications has been made in recent years. In addition, microgrids are one of the most important inputs of smart grids, which will be used much more in the coming years. In this study, a solar-based micro-grid that supplies energy to the tram line has been designed to serve these purposes.

Designed micro-grid will feed a tram line (ESTRAM) for to obtain the most economical option is modeled with a flow chart developed according to the hours of the day, electricity prices in these hours and solar energy utilization rate. At one point of this flowchart, an optimization problem is defined as a decision maker and solved by Linear Programming. As a result, it has been found that this microgrid will be more profitable than the current tram operating cost, including the amortization period.

**Keywords:** Rail Systems, Energy Efficiency, Solar Energy, Micro Grids.

\* Sorumlu Yazar: [msertsoz@eskisehir.edu.tr](mailto:msertsoz@eskisehir.edu.tr)

## 1. Giriş

Yeşil ve düşük emisyonlu yolcu ve yük taşımacılığı, sera gazlarının neden olduğu çevresel sorunları azaltmak ve enerji yoksunluğunun önüne geçmek için tüm dünyada ilgi görmektedir. Bu sebeple dünyada mikro şebekelere entegre bir ulaşım sistemi tasarlamak önemli bir amaca dönüşmüştür.

Bu konuyla ilgili PV/rüzgâr/hibrit bir depolamanın yer aldığı Elektrikli demiryolu için yenilikçi bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Bu sisteme ayrıca hızlı şarj EV sistemi entegre edilmiştir. Tasarımın uygulanabilirliği MATLAB/Simulink'te şebeke bağlı ve şebekesiz olarak test edilmiştir. Böylelikle ana şebekeden çekilen enerjinin düştüğü bulunmuştur (Ahmadi et al., 2021). Raylı sistemlerdeki güç temininin gizli tehlikelerinden dolayı demiryollarında güneş ve rüzgâr ile bütünleştirilmiş mikro şebekelerin kullanımına ihtiyaç olduğunu ancak bunun yanında mikro şebekelerin harmonikler gibi bazı sorunlardan dolayı kullanımında sıkıntılar olabileceğini savunmuştur (Xie et al., 2020). Bu çalışmada raylı sistem mikro şebekesine ait bir enerji akışı sunularak doğrusal programlama ile optimize edilmeye çalışılmıştır. Bunun için elektrik ücreti, enerji depolama verimlilikleri, trenin güç tüketimleri ve zaman kavramları kullanılmıştır. Bu şekilde işletmenin operasyon maliyetini düşürdüğü bulunmuştur (Ahmadi et al., 2015). Başka bir çalışmada hem DC hem de AC besleme sistemine sahip trenler için yol boyunca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğini göstermiş böylelikle şebekenin kesinti, arıza, doğal afet gibi durumlarda kesintiye uğraması ile trenlerin enerjisiz kalmasının önüne geçilebileceğini bulmuştur. Bu şekilde oluşturulan mikro şebekenin aynı zamanda gerilim dalgalanmalarının da önüne geçilebileceğini savunmuştur (Cheng et al., 2021). Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit edilmiş bir tren işletme sisteminin enerji kontrolü de literatürde çokça çalışılan konulardan biridir. Bu çalışmada bu sefer bu tarz sistemler için bir çoklu etmen (multiagent) sistem kullanılarak enerji yönetimi için bir kontrol geliştirilmiştir. Bu kontrol yöntemi ile sistemin sürekliliği ve stabilitesinin arttığı gözlemlenmiştir (Boudoudouh & Maaroufi, 2019).

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma yapılırken üç farklı yöntemden faydalanılmıştır. Bunlardan ilki bir akış şeması oluşturularak sistemin çalışma mantığını daha anlaşılır kılmakken diğer ikisi aşağıda verilmiştir:

### 2.1. Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranı

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen ortam sıcaklığı değeri ve zamanla değişen küresel güneş radyasyonu değeri aşağıda verilen (1) no'lu denklemlerle yerleştirilerek güneş panellerinden elde edebilecek maksimum güç bulunmuştur:

$$P(t) = \eta AG(t)(1 - 0.005(T(t) - 25)) \quad (1)$$

(Basaran Filik et al., 2018; Tao et al., 2012 and Chen et al., 2012)

$\eta$ , sistem verimi;

A, toplam panel alanı ( $m^2$ ); (bu çalışmada  $100 m^2$  alınmıştır)

G (t) zamanla değişen küresel güneş radyasyonu değeri (Watt /  $m^2$ );

T (t), t zamandaki ortam sıcaklığı değeridir ( $^{\circ}C$ ).

Bu çalışmada kablo verimlilikleri ve batarya verimi %100 kabul edilmiştir. Sıcaklıktan kaynaklı panel verim düşüşü hesaba katılmamıştır. Panel verimi %19'dur (polikristal panel) ([www.lanitisenergy.com](http://www.lanitisenergy.com)). İnverter verimi ise %98'dir ([www.library.e.abb.com](http://www.library.e.abb.com)).

### 2.2. Doğrusal Programlama (DP) ile Optimizasyon

Şu an bildiğimiz Doğrusal Programlama yöntemi ilk olarak 1930 yılında Leontief tarafından geliştirilmiştir. Daha sonrasında ise Hitcock ve Koopsmans gibi bilim adamları DP'yi ulaştırma problemi çözümünde kullanmışlardır. İleriki yıllarda birçok ilerleme kaydetmiş olmakla birlikte DP'nin altında yatan mantık hep aynıdır. Doğrusal olarak artan veya azalan bir parametreyi, belli kısıtlar altındaki karar değişkenlerini en uygun forma getirerek amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize etmektir.

Bu çalışmada amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$E = \sum_{b=6}^{24} P_b \Delta T e_b \quad (2)$$

Yukarıda verilen amaç fonksiyonunda;

6'dan başlayıp 24'e kadar giden b parametresi tramvayın işletmede olduğu zamanları;

E, toplam enerji maliyetini (TL);

$P_b$ , b zamanında trenin ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü (kW);

$e_b$ , b zamanındaki elektrik tarifesi (kWh/TL); İfade etmektedir.

Kısıtlar ise:

$$E_b = E_b^S + E_b^G \quad (3)$$

$$E_b^s = E_p + E_n + E_g \quad (4)$$

Puant ve gündüz aynı anda kullanılmamakla birlikte 4.denkleme hangi tarifieden kullanıldığını anlamak için ihtiyaç vardır.

$$6193 \text{ kWh} \geq E_b^s \geq 0 \quad (5)$$

6193 kWh: Tramvayın Bir Günde Harcadığı En Fazla Enerji Miktarı

$$8425 \text{ kWh} \geq E_b^g \geq 0 \quad (6)$$

8425 kWh: En Güneşli Günde Güneşten Temin Edilebilecek Bir Günlük Enerji Miktarı

$$E_p \geq 0 \quad (7)$$

$$E_n \geq 0 \quad (8)$$

$$E_g \geq 0 \quad (9)$$

Kısıtlarda belirtilen:

$E_b^s$ , b zamanında şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

$E_b^g$ , b zamanında güneşten elde edilen elektrik enerjisini (kWh);

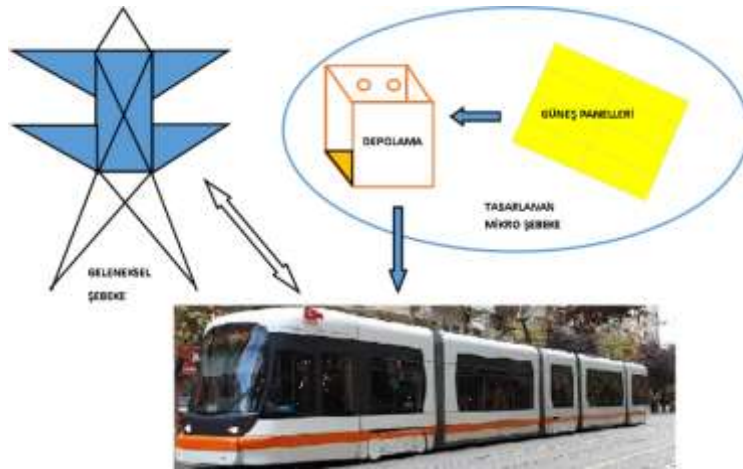
$E_p$ , puant saatte şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

$E_g$ , gece saatinde şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

$E_n$ , normal saatte şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh); ifade etmektedir

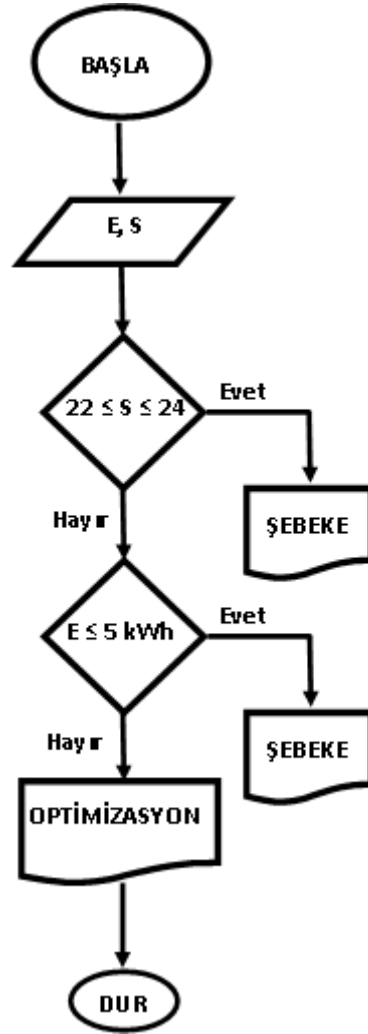
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Aşağıda Şekil 1'de bu çalışma tasarlanırken kullanılan geleneksel şebeke ile bu çalışmada tasarlanan bir mikro şebeke şeması verilmiştir. İki şebekenin de amacı tramvayın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektir.



Şekil 1. Tramvayın Enerji Temin Yolları (Figure 1. Energy Supply Options of the Tram)

Bu çalışma öncelikle bir akış şeması ile modellenmiştir. Şekil 2'de gösterilen akış şemasında öncelikle E ve S değişkenleri kullanıcıdan alınır. E, tramvayın kullandığı enerjiyi simgelerken S de saat bilgisidir. Saat bilgisi girilirken 24 saatlik (6, 7, 8,.....23, 24, 1) şekilde girilmektedir. Sonrasında saat bilgisinin 22 ile 24 arasında olup olmadığına karar verilmektedir. Cevap "Evet" ise enerji şebekeden temin edilmektedir. Çünkü bu saatler üç zamanlı tarife göre en ucuz saatlerdir. Cevap "Hayır" ise kullanılan enerjinin 5 kWh'den küçük eşit olup olmadığına bakılır. 5 kWh olmasının sebebi trenin çok küçük olan ihtiyaçlarında direk şebekeden enerjiyi temin etmesidir. Cevap "Evet" ise enerji şebekeden temin edilmektedir. Cevap "Hayır" ise güneş enerjisi mi şebeke mi kullanılacağına optimizasyon ile karar verilir. Optimizasyon yöntemi ile ilgili ayrıntılı açıklama yukarıda verilmiştir. Böylelikle pik noktalarında şebekeye fazla yüklenmemek adına güneş enerjisinin desteği sağlanmış olacaktır. Sonrasında da akış şeması durdurulur.



Şekil 2. Akış Şeması (Figure 2. Flowchart)

Şekil 2’de verilen akış şemasında gösterilen "Optimizasyon Gerekli" sekmesindeki optimizasyon problem çözmek için yöntem olarak daha önce literatürde de kullanılan Doğrusal Programlama [3] kullanılarak şebeke mi (ve hangi tarife?) güneş enerjisi mi karar verilmiştir. Fakat literatürden farklı olarak bu hesaplamada üç zamanlı elektrik tarifesi kullanılmıştır. İki farklı tarihe ait maliyeti minimize etmeye yönelik amaç fonksiyonu ve kaynakların kısıtları kullanılarak ulaşılan optimizasyon sonucu aşağıda Tablo 1’de paylaşılmıştır:

Tablo 1. Enerji Temin Dağılımları (Table 1. Distributions of Energy Supply)

Enerji Temini	Güneş (kWh)	Şebeke (Normal) (kWh)	Şebeke (Puant) (kWh)	Şebeke (Gece) (kWh)	Maliyet (TL)
Tarih: 09.09.21	5206	802	0	185	14804
Tarih: 09.01.21	1461	3000	1547	185	14478,5

Tablo 1’e bakıldığında ısımanın fazla olduğu günlerde güneş enerjisi teminin puant saatte şebekeden elektrik enerjisine hiç ihtiyaç duymadığı; bunun yanında ısımanın az olduğu tarihte mecburen puant saatte de kullanıma ihtiyaç duyduğu görülmektedir.



Şekil 3. Enerji Temin Dağılımları Grafiği (Figure 3. Graph of Energy Supply Distributions)

Şekil 3'te Tablo 1'de verilen ifadeler grafiksel olarak ifade edilmiştir. Bu iki tarihin tek ortak yanı gece saatlerinde enerji teminini şebekeden yapmaları olmuştur. Yapılan optimizasyon sonucunda ağustos ayındaki toplam tramvayın günlük işletme maliyeti 14804 TL, ocak ayında ise 14478,5 TL olarak bulunmuştur. Bu maliyetlerin içinde güneş enerjisi kurulum maliyeti (paneller, inverter ve depolama) da mevcuttur.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma; Eskişehir ilinde 100 m<sup>2</sup> güneş panelleri ile kurulacak olan bir mikro şebekenin, bir tramvaya (ESTRAM) enerji temin yöntemleri üzerine tasarlanmıştır. Tramvay sadece mikro şebekeden değil yer yer geleneksel şebekeden de beslenmektedir. Tramvayın enerji teminini nereden sağlayacağı kararı da önce bir akış şeması ardından da optimizasyonun gerekli olduğu noktada doğrusal programlama kullanılarak verilmiştir.

Maliyet açısından doğrusal programlama ile çözümlenen optimizasyon problemi yorumlandığında, yaklaşık üç sene sonunda tramvayın işletme maliyetlerinin ağustos ayı için 9598 TL; ocak ayı için 13017,5 TL lira olacağı bulunmuştur. Her iki tarihte şu an için 16 bin TL olarak hesaplanan bir mikro şebekesiz sistemden –amortisman süresi de dahil- kârlı olacaktır. Bu da bu şekilde bir yatırım kararı almanın mantıklı olduğunun göstergesidir.

Bu çalışmada tek bir ekonomik bir amaç fonksiyonu, belirtilen kısıtlar altında optimize edilmiştir. Fakat ele alınan problem gelecek çalışmalarda çevresel etkilerin de göz önünde bulundurulduğu çok amaçlı bir optimizasyon problemine evrilmeye müsaittir.

#### 5. Teşekkür

Vermiş olduğu teknik bilgilerden dolayı ESTRAM'a, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Bu çalışma 102 BAP 22ADP134 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

#### Kaynakça

- Ahmadi, M., Kaleybar, H. Brenna, J. M., Castelli-Dezza F. and Carmeli, M. S. (2021). DC Railway Micro Grid Adopting Renewable Energy and EV Fast Charging Station. *2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584729.
- Basaran Filik, Ü., Filik, T., Gerek, Ö.N. (2018). A Hysteresis Model for Fixed and Sun Tracking Solar PV Power Generation Systems, *Energies*, doi:10.3390/en11030603., 11(3): 603 (2018).
- Boudoudouh, S. and Maaroufi, M., (2019). Renewable Energy Sources Integration and Control in Railway Microgrid. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 2, pp. 2045-2052, doi: 10.1109/TIA.2018.2878143.
- Chen, S.X., Gooi, H.B., Wang, M. (2012). Sizing of energy storage for microgrids. *IEEE Trans. Smart Grid*, 3: 142–151.
- Cheng, P., Kong, H., Ma, J. and Jia, L. (2020). Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 7, no. 5, pp. 1122-1132, doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.02110.
- Novak, H., Vařak, M., Gulin, M., & Leřić, V. (2015). Railway transport system energy flow optimization with integrated microgrid. *In Proceedings of the 12th International Conference on Modern Electrified Transport, MET*, vol. 2015, pp. 88-94.
- Tao, C., Shanxu, D., Changsong, C. (2010). Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement. *Proceedings of the 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 16(18): 773–777, Hefei, China, (2010).

Xie, S., Gao, Y., Tian M. and Jia, Z. (2020). A novel power supply method for railway stations in Western China based on microgrid. 2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), 2020, pp. 1085-1089, doi: 10.1109/ACPEE48638.2020.9136476.

<http://www.lanitisenergy.com/en/subsidiariesconercon-energy-solutions/photovoltaic-systems> 5 ocak 2022 tarihinde ulaşıldı.

<https://www.seiso.net/Content/img/Product/Catalog/9b88-06.%20ABB%2030%20kW.pdf> 22 şubat 2023 tarihinde ulaşıldı.





# Modüler Yapıya Sahip Karadan ve Havadan İlerleyebilen Robot

Arif Emre Ceylan<sup>1\*</sup>, Kadir Sabancı<sup>2</sup>, Selami Balcı<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Hendek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Sakarya, Türkiye. (ORCID 0000-0002-1591-4214), a.emreceylan@hotmail.com

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Karaman, Türkiye. (ORCID 0000-0003-0238-9606), kadirsabanci@kmu.edu.tr

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Karaman, Türkiye. (ORCID 0000-0002-3922-4824), sbalcı@kmu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1140125)

**ATIF/REFERENCE:** Ceylan A.E., Sabancı, K., & Balcı, S. (2023). Modüler Yapıya Sahip Karadan ve Havadan İlerleyebilen Robot. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 85-96.

## Öz

Günümüzde doğal ya da insan kaynaklı afetler binlerce insanın yaşamını yitirmesine veya hayat kalitesinin düşmesine sebep olmuştur. Bu bağlamda insanların can ve mal kayıplarını minimize etmek için arama kurtarma ekipleri her türlü afet ya da vakaya uygun ekipmanını envanterinde bulundurmaları zorundadır. Envanterindeki ekipman arama kurtarma ekiplerinin olaya müdahale süresini kısaltabileceği için hayati öneme sahiptir. Kanatları hareketli olarak tasarlanan robot, doğal afetlerde mahsur kalan bireylere olayın türüne göre arama kurtarma ekipleri tarafından ilgili modül takılarak karadan veya havadan temel düzeyde (Powerbank, cep telefonu, özel ilaç ve gıda malzemesi gibi) malzeme yardımında bulunabilecektir. Böylelikle yaralının ya da afetzedenin hayatta kalma süresi artacaktır. Kanatları hareketli otonom robotun benzetim ve tasarımları Solid Works ortamında yapılmış olup gerekli donanım ve entegrasyon işlemleri de detaylıca ele alınmıştır. Prototipi gerçekleştirilen bu çalışmada farklı modüller takılarak robot hem karada hem havada hareket etmesi sağlanmıştır. Bunun yansısı kanatların istenilen açıda hareketi sağlanmış olup karada hareket esnasında manevra kabiliyeti gözlemlenmiştir. Ayrıca, robot karada hareket ederken yük taşıma haznesi kapaklarının kontrolü de sağlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Robot İHA olarak kullanıldığında otonom-manuel uçuş esnasında görüntü aktarmada başarılı sonuçlar gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Modüler Robot, İHA, İKA, Afet, Otonom Robot.

## A Robot with a Modular Structure That Can Move by Land and Air

### Abstract

Today, natural or man-made disasters have caused thousands of people to lose their lives or decrease their quality of life. In this context, in order to minimize the loss of life and property of people, search and rescue teams have to keep equipment suitable for all kinds of disasters or incidents in their inventory. The equipment in its inventory is of vital importance as it can shorten the response time of the search and rescue teams. The robot, whose wings are designed with moving wings, will be able to provide basic material aid (Powerbank, mobile phone, special medicine and food supplies, etc.) to individuals stranded in natural disasters by attaching the relevant module by the search and rescue teams, depending on the type of event. Thus, the survival time of the injured or the victim will increase. The simulation and designs of the autonomous robot with moving wings are made in the Solid Works environment, and the necessary hardware and integration processes are also discussed in detail. In this study, the prototype of which is carried out, different modules are attached to enable the robot to move both on land and in the air. In addition, the movement of the wings at the desired angle is ensured and maneuverability is observed during the movement on land. In addition, while the robot is moving on land, the control of the cargo carrying chamber covers has been ensured and successful results have been obtained. Successful results have been observed in image transfer during autonomous-manual flight when the robot is used as a UAV.

**Keywords:** Modular Robot, UAV, UGV, Disaster, Autonomous Robot.

\* Sorumlu Yazar: a.emreceylan@hotmail.com

## 1. Giriş

Afet, toplumların insan ya da doğal kaynaklı olmak üzere günlük yaşantılarının sekteye uğraması olarak tanımlanabilir (Afad, 2019). Afetler engellenemez ancak teknolojiye paralel olarak geliştirilen robotlar ile doğal afetlerin sebep olacağı hasar, yaralanma ve can kayıpları minimize edilebilir. Bu bağlamda afetlerde yaralıların hayatta kalma süresi ve afetzedelere müdahale etmede kullanılacak enstrümanın içeriği oldukça önemlidir. Arama kurtarma ekiplerinin envanterlerindeki birçok malzeme ve sensör ile arama kurtarma yapılmaktadır. İnsansız Hava Araçları (İHA) ve İnsansız Kara Araçları (İKA) birden fazla sensörün birbiri ile uyumlu çalışan önemli araçlardır ve bu araçlar arama kurtarma ekiplerinin envanterine katılması gereken cihazlardır (Mirowski vd., 2013). Afet sonrası hasar tespiti yapılmasında, kayıp bireylerin bulunmasında veya mahsur kalan bireyleri kurtarılmasında İHA'ların kullanılması can ve mal kayıplarını azaltacaktır (Galindo ve Batta, 2013).

İHA ve İKA içinde insan unsuru barındırmayan, sahip olduğu sensörler ve çeşitli algoritmalar aracılığıyla otonom olarak kendi hızını, yönünü ayarlayabilen, bulunduğu konumdan hedefe gidip planlanan görevi yerine getiren sistemlerdir (Aksoy ve Kurnaz, 2009). Kanat yapıları bakımından "İnsansız Hava Araçları" nı sabit ve döner kanatlı hava araçları olarak ayırmak mümkündür.

Döner kanatlı İHA'lar birden fazla motora sahip insansız hava araçları veya multikopter olarak da adlandırılır. Tricopter, quadcopter, hexacopter ve octocopter gibi çok sayıda motora sahip döner kanatlı multikopterlerdir. Döner kanatlı multikopter İHA'ların motorlarının farklı yönlerde dönmesi ile merkezkaç kuvveti sıfırlanır. Bu araçların merkez kaç kuvvetinin sıfırlanması ve motorlarının güç kontrolünün yapılabilmesi bu araçlara yüksek manevra kabiliyeti sunmuştur. Amazon, Google, Facebook gibi büyük çaplı şirketler İHA'lar üzerine çalışma yapan firmalara Ar-Ge çalışmaları için büyük desteklerde bulunmaktadır. Yapılan Ar-Ge çalışmalarında İHA'ların güneş enerjisi ile kendi kendisini şarj etmesi ve bu araçların kargo taşımacılığında kullanılması planlanmaktadır (Selamoğlu, 2014).

Literatür incelendiğinde, modüler yapıya sahip yani olayın şekline göre modüller takılarak çeşitlendirilebilen karada, havada veya hem karada hem havada ilerleyebilen, kanatları açılıp-kapanan bir robot olmadığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra Afet bölgelerinde İHA'ların veya İKA'ların kullanımının ulusal çapta bazı örnekleri şöyledir (Karaağaç, 2020):

- 2005'te ABD'de meydana gelen 2.000 insanın hayatını kaybetmesine sebep olan Katrina kasırgası sonrası kara bağlantısı ile ulaşılamayan yerlere İHA'lar yardımı ile havadan gözlemde bulunulmuştur.
- 2010 yılında Haiti'de meydana gelen depremde, deprem sonrası hasar tespiti için RQ-4 Global Hawk, MQ-1 Predatör ve Skylark İHA sistemleri kullanılmıştır.
- 2011 yılında Japonya'da meydana gelen deprem ve tsunami nedeni ile Fukuşima Nükleer Santralinde hasar oluşmuştur. Bu hasarların tespiti için T- Hawk, Yamaha R- Maxve RQ-4 Global Hawk İHA'ları kullanılmıştır.

Yapılan bir çalışmada afet bölgelerine insansız hava aracı filosu oluşturulabileceği fikrini ortaya atmışlardır. Afet bölgelerine afet durumlarında karadan ulaşımın imkânsız ya da zor olduğu durumlarda havadan ilaç, su saflaştırma tableti gibi insani yardımların İHA'lar ile ulaştırılabileceğini bildirmiştir (Rabta vd., 2018).

Dikey iniş kalkış yapabilen dört rotorlu (Quadrotor) uçuş kontrollü bir çalışmada Quadrotor'ların yüksek manevra kabiliyeti olması sayesinde deprem, sel yangın gibi doğal afetlerden sonra durum tespiti için görüntü çekme, trafik kontrolü ve sınır emniyeti gibi birçok alanda kullanım imkânı olduğunun farkına varılmıştır (Bayrakçeken, 2013).

Bir grup araştırmacının yapmış oldukları bir çalışmada İHA'ların, başta askeri uygulamalar olmak üzere jeolojik ve meteorolojik araştırmalara dayalı olarak heyelanların incelenmesinde, doğal afet yönetiminde, uluslararası sınır devriyesinde, orman yangını tespitinde kullanılabileceğini belirtmektedir. Bunun yanı sıra yakıtlı uçaklar ile veri iletimi karşılaştırıldığında İHA'ların diğer araçlara göre daha hızlı ve daha yüksek manevra kabiliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir (Akgül vd., 2016).

Doğal afet durumundan hemen sonra kara yolu ile ulaşım sağlanamadığı için afet bölgesi durum tespiti amacıyla İHA'ların kullanılması oldukça önemlidir. İHA'ların rota çizilerek otonom şekilde uçabilme yeteneği sayesinde afet bölgelerinin havadan gözlem ile hasar tespiti yapılabilen ve kayıp bireylerin aranmasında büyük kolaylık sağlayabilmektedir (Değirmen vd., 2018). Böylelikle olaylara müdahale etme zamanı kısaltılmakta, can ve mal kayıpları azaltılabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada 11 Eylül New York'taki terör saldırısından sonra kazazedelerin bulunmasına yardımcı olmak için CASPER adında robotlar kullanıldığını belirtmiştir. Ayrıca çalışmada bir afet veya arama kurtarma durumunda İHA'ların arama kurtarma ekiplerine anlık olarak bilgi aktarabileceğini ve kazazedelere hızlı bir şekilde müdahale edilebileceğini vurgulamıştır (Grogan vd., 2018).

Bu çalışmada, Afetlerde, kayıp bireylerin tespit edilen koordinatları anlık olarak yetkili merkezlere bildirilmesinin yanı sıra mahsur kalan bireylere arama kurtarma ekipleri gelene kadar temel düzeyde (Powerbank, Cep Telefonu ve Su- gibi) malzeme desteği sağlayıp, hayatta kalma ihtimallerini arttıracak robotun prototipi yapılmıştır. Örneğin ayağı çeşitli nedenlerle kırılan ve yerinden hareket edemeyen bir bireye havadan, karadan veya hem havadan hem de kanatlarını kapatıp karadan arama kurtarma ekipleri gelene kadar müdahale edilebilecektir. Solidworks tasarım programında tasarlanan ve tasarımı Şekil 1'de gösterilen modüler yapıya sahip robot, olayın şekline ve zeminin yapısına göre uygun modüller takılarak farklı görevlerde kullanımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Modüler yapıya sahip robotun modül numaralandırılması (Figure 1. Module numbering of the robot with modular structure)

## 2. Gereç ve Yöntemler

Karada, havada veya hem havada hem karada ilerleyebilen kanatları hareketli modüler yapıya sahip robotun Solidworks programında çizimleri Şekil 1’de gösterilmiş olup modül numaralarının tanımlaması ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Robotun modül numara tanımlaması (Table 1. Module number identification of the robot)

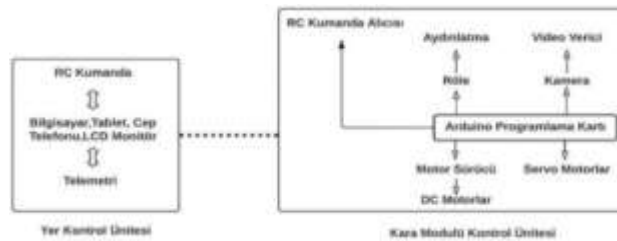
Modül numarası	Modül açıklaması
1	Hava Modülü
2	Hava Kontrol Ünitesi Modülü
3	Kara Modülü
4	Kara Aracı Kontrol Ünitesi Modülü

4 ayrı modülden oluşan robot afetlerde enkaz altında insan unsurunun girmekte zorlandığı ya da giremediği yerlere girerek yardıma muhtaç bireylere temel gıda vb. malzemelerinin ulaştırılmasında kullanılırken Şekil 2’de gösterildiği gibi “3” ve “4” numaralı modüllerin birleştirilmesi yani “A” kombinasyonu gerekmektedir.



Şekil 2. Robotun kara aracı kombinasyonu (A) (Figure 2. Robot's ground vehicle combination (A))

Robot “A” kombinasyonunda iken “4” numaralı “Kara Kontrol Ünite Modülü” tarafından kontrol edilebilmektedir. Kara kontrol ünitesi blok diyagramı Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kara kontrol ünitesi blok diyagramı (Figure 3. Ground control unit block diagram)

Robot, Şekil 4’te gösterildiği üzere 2 ve 3 numaralı modüller birleştirildiğinde yani “B” kombinasyonunda iken hem havada hem karada gitme özelliğine sahip olmaktadır. Robot uçuş görevini tamamladıktan sonra karada ilerleyip yaralının en yakın mesafesine ulaşmak ve yük haznesindeki malzemeyi yaralıya ulaştırması için kanatlarını katlayabilmektedir.



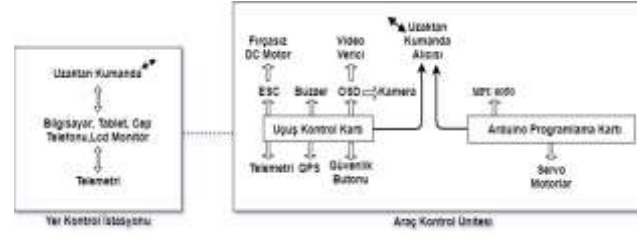
Şekil 4. Robotun kara-hava aracı kombinasyonu (B) (Figure 4. The ground-air vehicle combination of the robot (B))

Robotun A ve B kombinasyonun yanı sıra 1-2 numaralı modüller birleştirildiğinde yani Şekil 5’te gösterildiği üzere C kombinasyonunda ise robot havadan uçabilmekte ve manuel ya da otonom uçuş yaparak gözlem yapabilmektedir. Ayrıca yukarıdan aşağıya malzeme bırakma, yeraltının koordinatlarını belirleyebilme, anlık görüntü aktarımı karanlıkta uçuşa gibi özelliklere sahiptir.



Şekil 5. Robotun hava aracı kombinasyonu (C) (Figure 5. Robot's aircraft combination (C))

Robot B ve C kombinasyonlarında iken “2” numaralı modül tarafından kontrol edilmektedir. “Hava Kontrol Ünite Modülü” olarak tanımlanan “2” numaralı modülün blok diyagramı Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Hava kontrol ünite modülü blok diyagramı (Figure 6. Air handling unit module block diagram)

Prototipi yapılan robot Şekil 3 ve 6’daki blok diyagramlarında gösterildiği üzere “Yer Kontrol İstasyonu”, “Kara Kontrol Ünitesi” ve “Hava Kontrol Ünitesi” den oluşmaktadır. Robot yer kontrol istasyonundan gelen sinyaller doğrultusunda ya da otonom olarak hareket edeceğinden karmaşık fiziksel bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapıyı azaltmak için robotta kullanılan malzemeler ve bağlantıları “Kara Kontrol Ünitesi” ve “Hava Kontrol Ünitesi” başlıkları altında detaylıca incelenmiştir.

## 2.1 Kara Kontrol Ünitesi

Bir robotu otonom ya da uzaktan kontrol etmek için farklı işlemcilerle sahip birçok programlama kartı mevcuttur. Kara Kontrol Ünite Modülünde temini kolay, boyutlarının küçük ve açık kaynak kodlu olması sebebi ile Arduino Nano uygulama kartı tercih edilmiştir. Prototipi yapılan robotta kara kontrol ünitesi “Kara kontrol Ünite Modülü” ve “Kara Modülü” tarafından oluşmakta olup modüllerin tasarımları ve sonuçları “Sonuç ve Tartışma” başlığı altında detaylıca ele alınmıştır.

### 2.1.1 Arduino Nano

Arduino programlama kartı robotik faaliyetlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nitekim Arduino kartı açık kaynak kodlu olması, eklenebilir modüller sayesinde ve kütüphanelerinin sanal ortama sunulması uygulama alanını gün geçtikçe arttırmaktadır. Arduino Nano programlama kartı prototipi yapılan robotta, yer kontrol istasyonundan gönderilen sinyallerin belirli bir algorithmadan sonra istedik tepkiler vermesi için kullanılmıştır. Arduino Nano’ya ait teknik özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Arduino Nano teknik özellikler (Arduino, 2022) (Table 2. Arduino Nano technical specifications(Arduino, 2022))

Mikrodenetleyici	Atmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Flash Bellek	32KB
SRAM	2KB
Analog Giriş Pinleri	8
EEPROM	1 KB
Giriş/Çıkış Pinlerinin Akımı	40 mA
Giriş Gerilimi	7-12V
Dijital Giriş/Çıkış Pinleri	14 (6 tanesi PWM)
Saat Frekansı	16MHz

### 2.1.2 Motor Sürücüsü

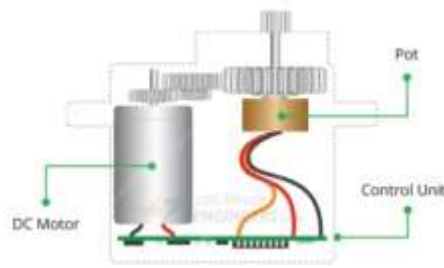
DC Motorlar ve step motorlar sürmek için tasarlanan L298N motor sürücü entegresi içinde iki adet transistörlü çift kanal tam köprü sürücü devresi bulunmaktadır. Şekil 7’de görüldüğü gibi Arduino kartı ile kullanılabilen L298N motor sürücüsü PWM hız kontrolü yapılabilmekte ve H köprülü motor sürücüsü sayesinde motorların birbirlerinden bağımsız yön kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 7. L298N motor sürücüsü (Figure 7. L298N motor driver)

### 2.1.3 Servo Motorlar

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makineler motor denilir. Robotta kanatların açılıp kapanmasında veya yük haznesinin kapaklarının açılıp kapanmasında kullanılan servo motorlar (Şekil 8), PWM sinyaller doğrultusunda konum değiştirebilen DC motor çeşitleridir.



Şekil 8. Servo motorun yapısı (Engineers, 2020) (Figure 8. The structure of the servo motor (Engineers, 2020))

### 2.1.4 Video Aktarıcı

Kamera içine giren ışıklar kameradaki görüntü sensörleri tarafından analog video sinyallerine dönüştürülür. Şekil 9’da verilen video aktarıcılar (VTX) aldıkları bu video sinyallerini teknik özelliklerine bağlı olarak belirli bir kanal ve frekansta radyo dalgasına çevirmede kullanılır.



Şekil 9. Video sinyal verici (Eachine, 2022) (Figure 9. Video signal transmitter (Eachine, 2022))

Prototipi yapılan robotta kullanılan VTX, yer kontrol istasyonundaki pilota anlık görüntü aktarımını sağlamış olup teknik özellikleri Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. TX805 Video sinyal verici (Eachine, 2022) (Table 3. TX805 Video signal transmitter (Eachine, 2022))

Frekans	5.8 GHz
Kanallar	40
Giriş Voltajı	7 V- 40 V
Kamera çıkış voltajı	5 V
Çıkış Gücü	200mW/600mW/800mW
Anten Konektörü	MMCX
Boyutları	36 mm X 22 mm X 5 mm

## 2.2 Hava Kontrol Ünitesi

İHA'ların yer kontrol istasyonundan gönderilen sinyalleri değerlendirebilmesini ya da yer kontrol istasyonunda uçuş öncesi belirlenen güzergahta İHA'nın stabil olarak otonom uçuşmasını sağlayan en önemli donanım uçuş kontrol kartıdır. İHA'ların kullanım alanına bağlı olarak gerek otonom gerek manuel kontrol etme imkânı olmasından dolayı Hava Kontrol Ünitesinde Pixhawk uçuş kontrol kartı kullanılmıştır.

Prototipi yapılan robotta hava kontrol ünitesi "Hava kontrol Ünite Modülü" ve "Hava Modülü" tarafından oluşmakta olup modüllerin tasarımları ve sonuçları "Sonuç ve Tartışma" başlığı altında detaylıca ele alınmıştır.

### 2.2.1 Pixhawk Uçuş Kontrol Kartı

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak İHA uçuş kontrol kartları yenilenecek çeşitlenmiştir. Uçuş kontrol kartı seçiminde manuel ya da otonom kullanımının yanı sıra yazılım güncelleme imkânı, port sayısı ve desteklediği sensör çeşidi oldukça önemlidir (Şekil 10).



Şekil 10. Pixhawk kart ve bu kartın diğer harici takılabilir donanımları (Ardupilot, 2022) (Figure 10. Pixhawk card and other external pluggable hardware of this card (Ardupilot, 2022))

### 2.2.2 Elektronik Hız Kontrolcüsü

Şekil 11'de görülen elektronik hız kontrolcüsü (ESC) doğru akım (DC) motorlarının hız denetimlerinde kullanılır. Prototipi yapılan robotta 4 adet fırçasız DC motor kullanılmıştır. İHA'larda yaygın olarak kullanılan fırçasız DC motorlar hız denetimlerinin yapılabilmesi için zorunlu olarak kullanılması gereken bir donanımdır.



Şekil 11. Elektronik hız kontrolcüsü (Figure 11. Electronic speed controller)

### 2.2.3 Buzzer (Sesli uyarı)

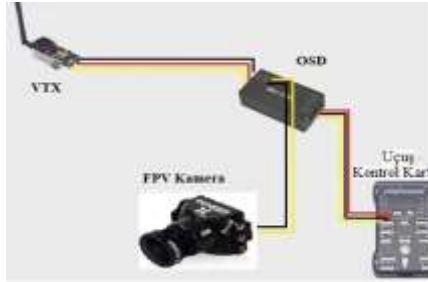
Farklı boyutlarda üretilen buzzer donanımı doğrudan uçuş kontrol kartının üzerindeki ilgili porta takılabilmektedir. Buzzer uçuş öncesi yer kontrol istasyonunda İHA'nın uçuşa hazır olup olmadığını bilgisini farklı tonlamalar yaparak bildirmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Uçuş kontrol kartı buzzer bağlantısı (Figure 12. Flight control board buzzer connection)

#### 2.2.4 OSD (On Screen Display)

Şekil 13'te görülen OSD, İHA'daki telemetri verilerini (Uçuş süresi, pil seviyesi, GPS sayısı, İHA'nın bulunduğu noktanın koordinatları,vb.) kameradan aldığı görüntü ile birleştirerek yer kontrol istasyonundaki pilotunun uçuş ekranına, bilgisayara veya cep telefonuna aktaran sistemdir.



Şekil 13. Pixhawk OSD bağlantısı (Figure 13. Pixhawk OSD connection)

#### 2.2.5 Global Positioning System (GPS)

Küresel yer belirleme sistemi olarak tanımlanan GPS, İHA'ların konum ve hız bilgilerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca İHA'larda kullanılan GPS modülü otonom uçuş için zorunlu ekipmandır (Şekil 14).



Şekil 14. GPS modülü (Figure 14. GPS module)

#### 2.2.6 Güvenlik Butonu

Pixhawk uçuş kontrol kartında isteğe bağlı olarak kullanılan harici donanımdır. Hava araçlarında kullanılan güvenlik butonunun temel görevi butona basıldığında hava aracını uçuşa hazır hale gelmesini sağlamaktır. Ancak, Şekil 15'te gösterildiği gibi güvenlik anahtarının içerisinde bir adet led mevcuttur.



Şekil 15. Pixhawk güvenlik butonu bağlantısı (Figure 15. Pixhawk security button connection)

Güvenlik butonunun içerisindeki LED yanıp sönüyorsa hava aracının yer istasyonundan gelen komutlar ile hareket edebilmesi için butona basılması gerekmektedir. LED sürekli yanma haline geçerse uçuş öncesi herhangi bir problem olmayıp uçuşa hazır anlamına gelmektedir. Butona basıldığı halde LED sürekli yanma haline geçmiyor ise uçuş kontrol kartının genel ayarlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir.

## 2.3 Tasarım ve Montaj

Bu bölümde prototipi gerçekleştirilen robotun montaj ve tasarım aşamaları “Kara Kontrol Ünitesi Tasarımı” ve “Hava Kontrol Ünitesi Tasarımı” başlıkları altında detaylı incelenmiştir.

### 2.3.1 Kara Kontrol Ünitesi Tasarımı

Prototipi gerçekleştirilen modüler yapıya sahip robot afet durumlarında enkaz altında mahsur kalan bireye temel ihtiyaç malzemelerinin ulaştırılmasında kullanılabilir. Ayrıca karanlık ortamlarda da kullanılması için LED aydınlatması yapılmıştır. Robotun farklı zeminlerde manevra kabiliyetini arttırmak için tasarlanan özel paletli modülü ile arama kurtarma ekiplerinin girmekte zorlandığı ya da giremediği yerlerde aktif kullanılabilir. Kara Kontrol Ünitesinin tasarımı “Kara Kontrol Ünite Modülü” ve “Kara Modülü” başlıkları altında detaylı anlatılmıştır.

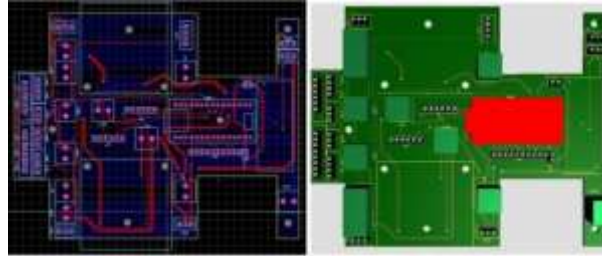
#### 2.3.1.1 Kara Kontrol Ünite Modülü

Prototipi yapılan robotun “Kara Kontrol Ünite Modülü” yer kontrol istasyonundan gönderilen sinyaller doğrultusunda “Kara Modülü” ile birlikte çalışmasını sağlayan elektronik donanımların bulunduğu kısımdır (Şekil 16). “Kara Kontrol Ünite Modülü” nün “Kara Modülü” ile birlikte modüler olarak kullanılabilirdiği tasarım ve simülasyon çalışmaları Solid Works ortamında yapılmıştır.

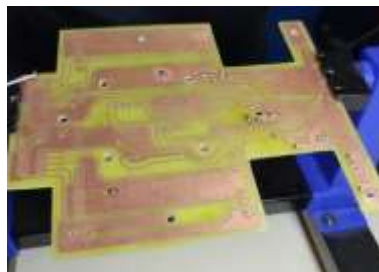


Şekil 16. Kara kontrol ünite modülü (Figure 16. Ground control unit module)

“Kara Kontrol Ünite Modülü” ünde programlama kartı olarak Arduino Nano programlama kartı kullanılmıştır. Arduino programlama kartının ve diğer elektronik bileşenlerin bağlantı ve devre tasarımı Şekil 17 ve 18’de görüldüğü gibi Proteus-İsis ortamında çizilmiştir.



Şekil 17. Kara Kontrol Ünite modülünün PCB tasarımı ve 3D görünümü (Figure 17. PCB design and 3D view of the Ground Control Unit module)



Şekil 18. Kara Kontrol Ünite modülünün devre kartı baskısı (Figure 18. Circuit board printing of the Ground Control Unit module)

#### 2.3.1.2 Kara Modülü

Modüler yapıya sahip karadan veya havadan ilerleyebilen robotun “Kara Modülü” enkaz altındaki yaralılara veya herhangi bir sebepten mahsur kalan bireylere arama kurtarma ekipleri müdahale edene kadar yük haznesindeki (temel yaşam malzemeleri, ilk yardım malzemeleri, su, powerbank cep telefonu vb.) malzemelerin afet noktasına ulaştırılmasında kullanılmaktadır (Şekil 19). “Kara modülü”



nün ön kısmında manuel olarak kontrol edilen Gimbal ve kamera aracılığı ile anlık olarak yer kontrol istasyonuna görüntü aktarımı yapılabilmektedir. Robotun karanlık ortamlarda da aktif olarak kullanılması için ön kısmı ve yük haznesi LED ile aydınlatılmıştır.



Şekil 19. Kara modülü tasarımı (Figure 19. Ground module design)

“Kara Modülü” “Kara Kontrol Ünite Modülü” ile entegre edildiğinde enkaz altında ya da herhangi bir sebep ile mahsur kalan bireylere karadan müdahale edilmesinde kullanılmaktadır. Robot karada hareket ederken zorlu arazi şartlarına uyum sağlaması için Şekil 20’de sunulduğu gibi Solid Works ortamında özgün palet tasarımı yapılmıştır.



Şekil 20. Palet tasarımı ve montajı (Figure 20. Pallet design and assembly)

Bunun yanı sıra “Kara Modülü”, arama kurtarma ekiplerinin olaya müdahale etmesinin zor olduğu durumlarda veya kayıp bireylerin İHA tarafından gözlem yoluyla aranması gerektiğinde “Hava Kontrol Ünite” modülü ile de entegre edilebilmektedir. Örneğin; ayağı kırılmış yerinde hareket edemeyen bir bireye “Kara Modülü” ile “Hava Kontrol Modülü” entegre edilip, robot İHA konumunda iken havadan uçuş yapabilecek ve yaralının konumunu belirleyip koordinatlarını yer kontrol istasyonuna iletebilecektir. Yaralının konum koordinatları belirlendikten sonra robot karaya inecek ve kanatlarını katlayıp yaralının en yakın noktasına ulaştıktan sonra yük haznesindeki malzemeleri ulaştırabilecektir (Şekil 21).



Şekil 21. Hava kontrol modülü ile kara modülünün simülasyonu ve entegrasyonu (Figure 21. Simulation and integration of air control module and ground module)

Gerekli tasarım ve simülasyon çalışmaları Solid Works ortamında yapılmış olup, robotun havadaki uçuş görevinden karadaki görevine geçişte, havadan karaya sert inişlerde devre ekipmanlarına zarar gelmemesi için gövde kısmında TPU adı verilen esnek filament kullanılmıştır. Bunun yanı sıra esnek gövde engebeli alanlarda doğal süspansiyon görevi görerek robotun zemine daha iyi uyum sağlaması sağlamıştır.

### 2.3.2 Hava Kontrol Ünitesi Tasarımı

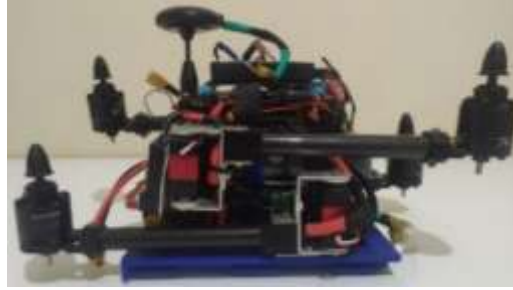
İHA’lar kanat yapıları bakımından incelendiğinde sabit kanatlı ve döner kanatlı olmak üzere ikiye ayrılır. Döner kanatlı İHA’ların motor sayıları, sabit kanatlı İHA’ya göre fazla olması döner kanatlı İHA’lara yüksek manevra kabiliyeti ve daha fazla yük taşıma kapasitesi imkânını sunmuştur. Bu açıdan değerlendirildiğinde prototipi yapılan robot döner kanatlı İHA formunda tasarlanmıştır (Şekil 22). Hava Kontrol Ünitesinin Tasarımı “Hava Kontrol Ünite Modülü” ile “Hava Modülü” başlıkları altında tasarımı detaylıca anlatılmıştır.



Şekil 22. Hava kontrol ünitesi tasarımı (Figure 22. Air handling unit design)

### 2.3.2.1 Hava Kontrol Ünite Modülü

“Hava Kontrol Ünite Modülü” modüler yapıya sahip robotun havadan gözlem yapması veya havadan aşağıya malzeme bırakması görevlerinde kullanılabilir. Bunun yanı sıra bu modül “Kara Modülü” ile birlikte entegre olup havadan giderken karaya inip karada kanatlarını katlayıp yaralının en yakın noktasına gitme gibi görevlerde de kullanılabilir. Dolayısıyla hem hava görevlerinde hem de kara görevlerinde kullanılabilir. İçerisinde İHA için gerekli olan elektronik donanımın yanı sıra robotun karada hareket etmesi için gerekli elektronik donanımı da bulduran modüldür. Bunun yanı sıra Solid Works ortamında tasarlanan bu modül karada giderken kanatların katlanmasını sağlayan servo motor mekanizmasını içinde barındırmaktadır (Şekil 23).



Şekil 23. Hava kontrol ünitesi modülü (Figure 23. Air handling unit module)

“Hava Kontrol Ünite Modülü” İHA konumunda iken gözlem yapması gerektiğinde yer kontrol istasyonundan belirlenen güzergâhta otonom uçuşu veya manuel uçuşu gerekebileceğinden Pixhawk uçuş kontrol kartı ve harici diğer donanımları tercih edilmiştir.

### 2.3.2.2 Hava Modülü

Prototipini yapılan modüler yapıya sahip robot; gerek doğal afetlerde gerek kayıp olaylarında, vakanın durumuna göre tasarlanan modülleri birleştirilerek farklı amaçlarda kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. “Hava Modülü” robotun sadece İHA olarak kullanılabilir ve sadece “Hava Kontrol Ünite Modülü” ile kullanılabilir bir modüldür. “Hava Modülü” nün üzerine yerleştirilen bir servo motor aracılığı ile yer kontrol istasyonundaki pilot tarafından ya da otonom şekilde yukarıdan aşağıya malzeme bırakılabilir. Bunun yanı sıra Şekil 24’te görüldüğü gibi Solid Works ortamında tasarlanan özgün tek eksen gimbal sayesinde farklı açılardan yer kontrol istasyonuna görüntü aktarımı da sağlanabilir.



Şekil 24. Hava modülü (Figure 24. Air module)

## 3. Sonuç ve Tartışma

Her bir amaca uygun bir robot kullanmak yerine bir robotun birden fazla amaca uygun olarak şekillendirilmesi maliyetleri düşürecek ve afet durumlarında arama kurtarma ekiplerinin olaylara müdahalelerini hızlandıracaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde modüler yapıya sahip robotun birbirlerine entegre edilebilen modülleri aracılığı ile hem karadan hem havadan olaylara müdahale edilerek yaralıların hayatta kalma ihtimalleri arttırılacaktır. Bu bağlamda robotun üzerinde birçok elektronik donanımın yanı sıra mekanik tasarımda gerekmektedir. Robotun test aşamasında oluşabilecek riskleri minimuma indirmek için tasarım ve simülasyon çalışmaları Solid Works ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarının başarılı sonuçlar vermesinden sonra 3B baskı teknolojisini kullanarak gerekli baskı alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Robotun gerekli montaj ve kalibrasyon işlemleri sonrası birçok uçuş testi yapılmış büyük ve küçük çapta kırımlar yaşanmış, yatay eksende hareket eden kanatların uçuşu nasıl etkilediği, otonom uçuş, uçuş modları, kara aracı gövde tasarımının uçuşa etkisi gibi birçok açıdan bilgiler edinilmiştir.

Robotun uçuş testleri aşamasında RC kumanda alıcısı Arduino entegrasyonu başarılı olmasına bağlı olarak:

Robotun karada hareketi esnasında kanatların istenilen açıda hareketi sağlanmıştır. Ayrıca robot karada hareket ederken yük taşıma haznesinin ve kapaklarının kontrolü yapılmış olup başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Kara aracının hareket manevra kabiliyetinin de testleri yapılmış olup başarılı sonuçlar alınmıştır.

Robotun Pixhawk uçuş kontrol kartı ile yapılan testlerinde manuel-otonom kontrollü uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Uçuş esnasında yer kontrol istasyonundan belirlenen GPS koordinatlarında otonom-manuel uçuşları ve uçuş esnasında görüntü aktarımının başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Yapılan literatür taramasında modüler yapıya sahip hem karada hem havada ilerleyebilen kanatları hareketli robot tespit edilememiştir. Prototipi gerçekleştirilen robot 4 modülden oluşmaktadır (Şekil 25). Afetin veya vakanın durum ve şekline göre gerekli modüller takılarak arama kurtarma yetkililerinin olaylara müdahale hızlarının artırılması, can ve mal kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Tasarlanan robot takılan modüller aracılığı ile insanların girmekte zorlandığı ya da girmesinin tehlikeli olduğu yerlere girerek yaralılara yük haznesindeki malzemeleri ulaştırabilmektedir. Bunun yanı sıra takılan modüller ile havada gözlem yapıp vaka tespit edildikten sonra karaya inip kanatlarını katlayıp yaralının en yakın noktasına ulaşabilmektedir. Ayrıca takılan farklı modüller ile havadan gözlem yapıp tespit edilen yere veya afetzedeye yukarıdan aşağıya gerekli olan malzeme iletimi gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 25. Modüler yapıya sahip robotun tüm modülleri (Figure 25. All modules of the robot with modular structure)

Prototipi gerçekleştirilen robotun yağışlı hava şartlarına karşı uyum sağlayabilmesi için robotun elektronik kısmının açıkta kalan bölümlerinin kapatılması uçuş ve kullanım güvenliğini arttıracaktır. Ancak bu kapatma işlemi “Kara Modülü” ile “Hava Kontrol Ünite Modülü” entegre edildiğinde 4285 gram, “Hava Kontrol Ünite Modülü” ile “Hava Modülü” entegre edildiğinde 2750 gram olan mevcut ağırlıklara ekstra yük getirecektir. Bunun sonucunda uçuş ve kullanım süresi azalacaktır. Robotun normal hava şartlarında “Hava Kontrol Ünite Modülü” ile “Hava Modülü” entegre edildiğinde 14 dakika, “Hava Kontrol Ünite Modülü” ile “Kara Modülü” entegre edildiğinde 9 dakika ve “Kara Kontrol Ünite Modülü” ile “Kara Modülü” entegre edildiğinde 28 dakika kullanımı test edilmiştir.

Çalışmanın “Gereç ve Yöntemler” bölümünde detaylı bahsedilen “Tasarım ve Montaj” kısmı çalışmanın en fazla vakit alan, maliyet yükü getiren kısmı olduğu görülmüş olup farklı alanlarda uzmanlık gerektiren bir ekip ile çalışmanın yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İlk örneği yapılan bu robotun başta arama-kurtarma operasyonları olmak üzere sıvı yalıtımı ve ağırlığı hafifletilip geliştirildiğinde birçok alanda etkin kullanımının mümkün olduğu değerlendirilmektedir.

#### Kaynakça

- Afad.(2019).DoğalAfetler.Erişim:https://www.afad.gov.tr/afadem/dogal-afetler, (Erişim Tarihi: 22.07.2021).
- Aksoy, R., & Kurnaz, S. (2009). İnsansız Kara Araçları ve Muharebe Gereksinimleri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4(1), 1–10.
- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A. E., Gülcü, S., & Öztürk, T. (2016). İnsansız Hava Araçları İle Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi Ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1). doi:10.17099/jffiu.23976
- Arduino.(2020).ArduinoNano.Erişim:https://store.arduino.cc/products/arduino-nano , (Erişim Tarihi: 28.05.2022).
- Ardupilot. (2022). Advanced Pixhawk Quadcopter Wiring Char. Erişim:https://ardupilot.org/copter/docs/advanced-pixhawk-quadcopter-wiring-chart.html, (Erişim Tarihi: 12.05.2022).
- Bayrakçeken, M. K. (2013). *Dikine İniş Kalkış Yapabilen Dört Rotorlu Hava Aracının (Quadrotor) Uçuş Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi,Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü, Eskişehir.

- Değirmen, S., Çavdur, F., & Sebatlı, A. (2018). Afet Operasyonlar Yönetiminde İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı: Gözetleme Operasyonları İçin Rota Planlama. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 11–26. doi:10.17482/uumfd.455146
- Eachine(2020).EachineTX805.Erişim:https://www.eachine.com/Eachine-TX805-5\_8G-40CH-25-or-200-or-600-or-800mW-FPV-Transmitter-TX-LED-Display-Support-OSD-or-Pitmode-or-Smart-Audio-RP-SMA-Female-p-1234.html, (Erişim Tarihi: 7.05.2022).
- Engineers.(2020). DC Motor Driver Module with Arduino Erişim: https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial, (Erişim Tarihi: 14.03.2022).
- Galindo, G., & Batta, R. (2013). Review of Recent Developments in OR/MS Research in Disaster Operations Management. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201–211. doi:10.1016/j.ejor.2013.01.039
- Grogan, S., Pellerin, R., & Gamache, M. (2018). The Use of Unmanned Aerial Vehicles by Urban Search and Rescue Groups. *Drones - Applications*, September. doi:10.5772/intechopen.73320
- Karaağaç, C. (2020). 21 . Yüzyıl da Sivil ve Ticari İHA. *Journal of National Security and Military Sciences*, 1(3), 181–211.
- Mirowski, P., Ho, T. K., Yi, S., & MacDonald, M. (2013). SignalSLAM: Simultaneous Localization and Mapping with Mixed WiFi, Bluetooth, LTE and Magnetic signals. *2013 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2013*. doi:10.1109/IPIN.2013.6817853
- Rabta, B., Wankmüller, C., & Reiner, G. (2018). A Drone Fleet Model For Last-Mile Distribution in Disaster Relief Operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 107–112. doi:10.1016/j.ijdr.2018.02.020
- Selamoğlu, A. (2014). *Güneş Enerjili Bir İnsansız Hava Aracının Kavramsal Tasarımı*. Gazi Üniversitesi.



# **Yüksek Kapasiteli Raylı Sistemler ve İstanbul Trafikğine Çözüm Yollarının İncelenmesi**

Ömer Faruk Kültür<sup>1\*</sup>, Mehmet Çağrı Kızıldaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0712-7517)

<sup>1</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428)

(İlk Geliş Tarihi 7 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 29 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141943)

**ATIF/REFERENCE:** Kültür, Ö. F. & Kızıldaş, M. Ç. (2023). Yüksek Kapasiteli Raylı Sistemler ve İstanbul Trafikğine Çözüm Yollarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 97-104.

## **Öz**

Kentleşme, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik çağımızın hareketlilik olgularıdır. Yenilikçi teknolojiler ulaştırmada bu bağlamda yüksek oranda kullanılmaya başlamıştır. Ulaştırmanın yeni eğilimleri kontrol edip iyileştirebilmesi için yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı taşımacılık talebine cevap vermesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak günümüz ulaştırmasındaki küresel eğilimlerden bahsedilmiş olup ardından ise yüksek hız ve yüksek kapasiteli sistemler ele alınmıştır. Akabinde ise İstanbul ulaştırması Avrasya Tüneli ve boğaz geçişleri özelinde ortaya konulmuştur. Bu bağlamda da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Toplu ulaştırma, yenilik, trafik verimliliği

## **An Analysis of High Capacity Railway Systems and Solutions for Istanbul Traffic Congestion**

### **Abstract**

Urbanization, digitalization and sustainability are mobility phenomena of these century. In this context innovative technologies are begun to use on high proportions. It is a necessity that supplying to high capacity and high speed transport demand for control and rehabilitate of new trends by transportation system. In this paper firstly global trends of nowadays transportation are mentioned, after this high speed and high capacity transportation systems are evaluated. Then Istanbul transportation is revealed specific to Eurasia Tunnel and Bosphorus accesses. In this context conclusions and recommendations are shared.

**Keywords:** Mass transport, innovations, traffic efficiency

## 1. Giriş

Ulaştırma içinde bulunduğumuz çağda yeni bir evreye girmiş görünmektedir. Kentleşme ve kentleşmedeki hızlı artış 21. yüzyılın olgusuna dönüşmüş durumdadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kentli (ya da kentte yaşayan) nüfusun toplam nüfusa oranı her geçen gün artmaktadır. Bu oran Türkiye’de de %90’larda seyretmektedir. Bunun yanı sıra kentleşmedeki hız ve kentsel alanların kapsadığı nüfus da artmakta olup ayrıca belirli bir bölgedeki, ülkedeki ve/ya küresel ölçekteki kentlerin sayısı da günden güne artış göstermektedir [1]. İnsanlar artık daha fazla, belki de tarihte hiç olmadığı kadar kentlerde yaşama eğilimi göstermektedirler. Bu da gündelik yaşamı derinden etkilemekte, tüketim kültürüne sirayet etmekte, hatta kentsel yaşamın mahiyetini de yeniden şekillendirmeye başlamaktadır. Belirli bir kentsel alanda yaşama eğiliminin sürekli olarak artması demek, diğer parametrelerde aynı süreçte kayda değer bir değişim olmadığı sürece, nüfus yoğunluğunun sürekli artışına da bağlı olarak insanların daha yoğun ve dar alanlarda birlikte yaşaması da demektir. Bu da trafik tıkanıklığından ortak yaşama, yeşil alanlardan konutlaşma ve iskân şekline, yaşam alanlarının sınıflandırılmasına, ulaşım ve erişilebilirlik şekillerine kadar birçok unsura tesir etmekte ve yer yer de yeniden yorumlanmasını gerektirmektedir. Bütün bu süreçler ulaştırma ve kentleşmeyi yeni mahiyetlere teşvik etmektedir. Öte yandan 50 yıldan fazla bir geçmiş olan ancak son 20 yılda küresel ölçekte ciddi anlamda gündem olmaya başlayan sürdürülebilirlik konusu bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik artık sadece çevreci ve kimi insani kümelenmelerin gündemi olmaktan çıkmış olup küresel düzenin birçok bileşeninin bilinçli ve/ya zorunlu olarak gündemine girmiş bir durumdur [2]. Sürdürülebilirlik kaygıları da bu yüzyılın ana etkenlerinden birisini teşkil etmektedir. Bütün bu durumlar ise ulaştırmanın yenilikçilik ve teknolojik ilerlemelere olan ihtiyacını hiç olmadığı kadar arttırmıştır. Bu yüzyılın hareketlilik unsurunun üç ana olgusu şu şekildedir:

- Kentleşme
- Sürdürülebilirlik
- Dijitalleşme

Ulaştırma, sürdürülebilirlik kaygıları dâhilinde dijital devrimden faydalanmak sureti ile kentleşme olgusunu doğru yöne yönlendirecek bir konumdadır. Kentleşme ve ulaştırmanın yeniden teşekkülü yenilikçi teknolojilerin ulaştırmaya dahlini hızlandırmış ve arttırmıştır. Bu bağlamda akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) ciddi anlamda gündem, uygulama, yaygınlık ve ilerleme kazanmıştır. Bunun ülkemizdeki ilk örnekleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) öncülüğünde elektronik denetim sistemleri (EDS) olup on yıldan fazla bir uygulama ve tecrübenin ardından Türkiye’nin birçok muhtelif büyükşehir belediyesinde de yaygınlık kazanmıştır [3]. Hâlihazırda yine İstanbul’da boğaz köprüsü geçişlerinde hızlı geçiş sistemleri (HGS) ve otomatik geçiş sistemleri (HGS) uygulamaları bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) 2020 yılı başı itibarıyla metrobüs uyarı sistemlerini devreye alacağını duyurmuş olup bu sistemler ise metrobüs sürücülerinin hız denetim, takip mesafesi ve şerit disiplini gibi konularda önceden, görsel ve işitsel olarak uyarılmasını içermektedir [4]. Yine İstanbul İl Emniyet Müdürlüğü başta olmak üzere T.C. İçişleri Bakanlığı bünyesinde yüz tanıma sistemlerinden trafikteki muhtelif çok sayıdaki otomatik denetim-okuma ve tespit sistemlerine kadar bir dizi son teknoloji akıllı uygulamanın kullanıldığı da bilinmektedir. Akıllı ulaştırma sistemlerini de (AUS) ihtiva eden akıllı şehirler, akıllı binalar, akıllı şebekeler, akıllı altyapı yönetim sistemleri, akıllı çevre uygulamaları, akıllı atık yönetimi ve bir dizi temin sistemleri ve teşekküller küresel ölçekteki akıllı teknolojileri olgusunun birer çıktısıdır ve artarak devam edeceği görülmektedir. Öte yandan otonom araçlar (OA) başta olmak üzere ve yanı sıra yüksek kapasiteyi ve yüksek hızı haiz kent içi ve kentler arası, toplu ve bireysel taşımacılıkta, muhtelif ulaştırma türlerinde yeni gelişme ve çalışmaların olduğu da bilinmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Ulaştırma; tarih boyunca kentlerle olan karşılıklı ilişkisi bağlamında ekonomik, teknik, politik, kültürel ve sosyal gelişmelerin odağında yer almıştır. Diğer taraftan da bütün bu unsurları etkileyen başat parametrelerden birisi olmuştur. Bir diğer deyişle de ulaştırma, ekonomik kalkınmanın itici gücü konumundadır. Zira ulaştırma; altyapı türlerinin en önceliklilerinden birisidir. Özellikle de gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarının yıllık yatırım bütçelerinden aldıkları paylar oldukça büyüktür. Bu söz konusu altyapı yatırımlarında ise en büyük kalemi ulaştırma altyapıları oluşturmaktadır [5]. Diğer altyapılar ise özetle elektrik, su, doğalgaz, sağlık, atık su ve internet olarak zikredilebilir. Bu duruma Türkiye bir örnek olarak verilebilir. Öyle ki gelişmekte olan ülkeler sınıfında bulunan ülkemizde altyapı yatırımları devasa paylara ulaşmakta olup ulaştırma altyapılarının bunlar içerisinde aldığı pay ise emsallerinin bile üzerindedir. Ülkemizde son yıllarda küre ölçeğinde ses getiren büyük projelerden sadece bazıları; İstanbul 3.Boğaz Köprüsü, Marmaray, Metrobüs, 18 Mart Çanakkale Köprüsü, Osmangazi Körfez Köprüsü, Ankara-Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı, Ankara-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ve İstanbul 3.Havalimanı olarak anılabilir. Söz konusu projeler dahi ülkemizdeki hummalı ulaştırma yatırımları süreci adına fazlasıyla bir fikir vermektedir. Ancak ne var ki ülkemizde ulaştırma sisteminde sürgit devam eden problemler varlığını korumaya devam etmektedir. Bunların bir kısmında ise kısmi iyileştirmeler kaydedilmiştir. Bu problemlerden önemli bir tanesi karayolu trafik güvenliği ile ilgili olanlardır. Bir diğeri ise İstanbul başta olmak üzere metropollerdeki trafik tıkanıklığı düzeyleridir. Bir diğeri ise türler arası bütünleşme noktasındaki eksikler iken bir başkası ise dengeli türel dağılımın temini ile ilgilidir. Ayrıca ülkemizde İstanbul başta olmak üzere kent içi ulaştırmada özel araçların hızla artan yüksek payı ve istenilen seviye ve verimin aşağısında seyreden toplu ulaştırma sistemi performansının varlığı da ortadadır [6]. Bu bağlamda kaydedilen gelişmeler özetle şu şekilde sıralanabilir:

- Türler arası entegrasyonun sağlanması yolunda ilk adım olarak demiryollarına yapılan yatırımlar ile sistem çeşitlendirilmesi artırılmıştır. Akabinde ise kent içinde bilet, hat, fizik entegrasyon noktasında atılan önemli adımlar söz konusu olmuştur.

- Dengeli türeli dağılım adına ise hem kent içi ve hem de kentler arası ulaştırmada, hem yük ve hem de yolcu taşımacılığında %90'ların üzerinde olan karayolu ulaştırma türel payları kademeli olarak düşürülmüş ve ortalama olarak bu pay %85-90 aralıklarına indirilmiştir. Ancak halen dengeli türel dağılım adına yapılması gereken çok şey bulunmaktadır.
- Karayolu trafik güvenliği konusu zaten hâlihazırda dengeli türel dağılım ve türler arası entegrasyonun temininden bağımsız değildir. Bu iki başlıkta kaydedilen somut gelişmeler doğrudan ya da dolaylı olarak karayolu trafik güvenliği düzeyine de iyileştirme olarak yansımaktadır. İyileştirmeye yönelik diğer çalışmalar ise sinyalizasyon, trafik işaretlemeleri, kontrol ve denetim merkezli olarak akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) başlığında toplanabilir. Ancak trafik kazası sayısı ve trafik kazası kaynaklı ölüm ve yaralanma sayılarında da nispi iyileştirmeler kaydedilse de halen rakamlar Avrupa ülkelerinin ciddi anlamda gerisindedir. Bu noktada yapılabilecek diğer iyileştirmeler ise karayolu sınıflarının standartlarının artırılması, altyapı iyileştirmeleri, geometrik düzenlemeler, fiziksel engellemelerin (orta kaldırım, oto korkuluk, gürültü ve görüntü duvarları vs.) tesisi ve temini olarak sayılabilir. Bu anlamda da kayda değer gelişimlerin kaydedildiği ifade edilebilir.
- Günümüzde Türkiye'de nüfusun %93,2'si kentlerde yaşamaktadır [6]. Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye'de hareketlilik değerleri çok yüksektir. Ülkenin büyük kentlerinde trafik tıkanıklığı ve bundan kaynaklı problemlere geliştirilen çözümlerden birisi de trafik sakinleştirici önlemler olmaktadır. Bunlar araç ortalama hızlarını indirmeye yönelik olup çoğu zaman yolun geometrik düzenlemeleri ile ilgili olmaktadır. Trafik sakinleştirme önlemleri kentin muhtelif yerlerinde hızları azaltmayı hedeflemekte olup böylelikle trafik güvenliğinin artmasına bir katkı sağlanmaktadır. Bu da trafik tıkanıklığını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Trafik kazalarının azalması, bir kentteki trafik tıkanıklığı probleminin çözümünde olumlu katkı sunar. Sakinleştirme önlemleri çoğu zaman fizikseldir. Bunlar yolun tasarımı esnasında devreye sokulduğu gibi sonradan da yol üzerinde geliştirilebilen uygulamalardır. Bunlar yolun kademeli daraltılması, buna bağlı tümse banket tasarımları ve benzeri hususları içermektedir.
- Özel araç sayılarında önlenemeyen bir artış görülmektedir. Bu eğilim kısa vadede kırılmayacak gibi görülmektedir. Bu noktada yapılması gereken, ilk etapta aracın trafikte kaldığı saatin düşürülmesine yönelik tedbirleri ihtiva edebilir [7]. Bu anlamda da toplu ulaştırmanın verimli ve işler yapısının geliştirilmesi ve bu sistemin bireysel taşımacılık ile olabildiğince entegrasyonu (en başta fiziksel entegre) başat unsur konumundadır. Akabinde ise orta ve uzun vadeli çalışmalarda daha ziyade tüketim kültürüne yönelik yönetim bazlı tedbir ve planlamaları içerebilir.
- Trafik tıkanıklığı artarak devam eden bir problemdir. Sistemsel iyileştirmeler ya da yerel ya da genel müdahalelerin ve proje bazlı gelişimlerin belirli iyileştirmeler sağlamadığı söylenemez. Ancak tıkanıklık düzeylerinde nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH) ve araç sahipliğindeki artışa paralel olarak sürekli bir artış söz konusudur. Dolayısı ile yapılan müdahaleler o anda ya da belirli bir süreç içerisinde söz konusu tıkanıklık düzeylerinde kayda değer düşüşler sağlamıştır. Ancak genel artış eğilimini ortadan kaldıramamıştır. Söz gelimi metrobüsün açılması tıkanıklık düzeylerine ciddi anlamda etkimiştir. Benzer durum kısmen de olsa Marmaray'da görülmüş olup muhtemelen Gebze-Halkalı hat rehabilitasyonunun tamamlanması ile birlikte tam kapasite sistem ile birlikte daha da hissedilecektir. Ancak genel eğilim varlığını korumaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere söz konusu yatırımlar durumun daha da kötüleşmesine engel olmuş, bir nevi bunu ertelemiştir [8]. Ancak sistemsel düzeyde ve hatta anlayış düzeyinde, uzun vadeli planlamalar dâhilinde yapılması gerekenler olduğu anlaşılmaktadır.
- Toplu ulaştırma kullanım oranları kayda değer seviyelerdedir. Ancak ister istemez otomobil sahipliği ve bireysel taşımacılıktaki gelişmeler payını almaktadır. Bu noktada söz gelimi İstanbul gibi bir kentte toplu ulaştırmanın halen ciddi seviyelerde kullanıldığı söylenebilir. Ancak bireysel taşımacılık ve toplu ulaştırma arasındaki entegrasyonlar yetersizdir. Ve toplu ulaştırmanın sürekli kullanıcılarının büyük çoğunluğu otomobili olmadığı için toplu ulaştırmayı tercih etmektedir. Bu noktada bilinçli tüketici profilinin geliştirilmesi noktasında da çalışmalar yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan, bu yönde çalışmalar olsa da otobüs, şehir hatları vb. filoların yenilenmesi ve geliştirilmesi yönündeki çalışmalar hızlanarak devam ettirilmelidir. Ayrıca da toplu ulaştırma sisteminin; konfor, güvenlik, dakiklik, güvenilirlik, sıklık, maliyet, hız, erişilebilirlik gibi parametrelerinin her birisinde aynı anda belirli bir miktarlarda artışa yönelik odak hedefleri konulmalıdır. Öyle ki örneğin metrobüs kullanıcı namına hız ve maliyet hizmet parametrelerini maksimize eder iken konfor ve güvenlik hizmet parametrelerini ise minimize etmektedir. Bu durumun önüne geçici çalışmalar yapılmalıdır. Şöyle ki aynı andan birçok parametrede iyileştirme sağlanmasa dahi en azından hiçbir parametre belirlenen bir seviyenin altına düşmemelidir. Diğer taraftan ise kent içi raylı sistem yatırımları sürgit ve iyi bir hızla devam etmektedir. Bu yatırımlar; ifade edilen sistemsel unsurların hepsindeki iyileştirme ile aynı anda ilgilidir. Bu yatırımlar aynı zamanda toplu ulaştırma sisteminin merkezindeki yatırımlardır. Bu bağlamda Marmaray-Havalimanı metro bağlantısı, Haliç metro köprüsü, Kadıköy-Kartal ve Tavşantepe uzantısı ile Üsküdar-Ümraniye metrolarının tamamlanması İstanbul'a önemli kazanımlar sunmuştur. Bu yatırımların sıklaşarak devamı bir zaruret olarak görülmelidir [9].

Toplu ulaştırma sistemlerini birden fazla türe ayırmak mümkündür. İstanbul gibi kentlerde bu birçok alt türe de ayrılabilen bir duruma işaret etmektedir. Öyle ki İstanbul için söz konusu türleri; şehir hatları vapurları, Marmaray, kent içi raylı sistemler, metrobüs, İETT, özel halk otobüsü, dolmuşlar ve minibüsler olarak zikretmekte mümkündür. Bütün bu ulaştırma türlerini kendi içerisinde hız ve kapasitesine göre tasnif etmek de mümkündür. Söz konusu tasnif, kendi içerisinde doğru orantılı ve ters orantılı değerlendirmeleri de beraberinde getirecektir. Tasnif birden fazla olup hız, kapasite, tür ve işlev başta olmak üzere birçok unsura göre sınıflandırma yapmak uygun ve anlamlı olmaktadır. Söz gelimi kent içi raylı sistemleri kendi içerisinde metro, hafif raylı sistemler (HRS), ağır raylı sistemler (ARS), tramvay ve füniküler gibi alt başlıklara ayırmak mümkündür. Diğer taraftan raylı sistemleri çelik tekerlekli toplu ulaştırma diye de adlandırmak söz konusu olabilir. Bu durumda lastik tekerlekli toplu ulaştırma türleri ise İETT, özel halk otobüsleri, dolmuşlar ve minibüsler olarak telakki edilebilir [10]. Ayrıca trafik akışlarına göre ayrık ve karma sistemlerden bahsetmek de mümkün olabilecektir. Buna göre de metrobüs ve kent içi raylı sistem türlerinin hepsi ayrık sistemlere girecektir. Minibüs, İETT, özel halk otobüsü, dolmuş vb. ise karma trafik akımları içerisinde yerini almaktadır. Trafik akımı ayrıklaştıkça hizmet düzeyleri, hız ve trafik güvenliği kabaca artar. Bir diğer tasnif de izli sistemler bağlamında yapılabilir. Raylı sistemlerin her çeşidi doğrudan izli sistemler bağlamında ele

alınabilir. Bunun yanı sıra motorlu araç ve motorsuz araç ayrımı yapılabilir. Bu noktada motorsuz taşımacılığa örnek olarak Türkiye’de ve İstanbul’da henüz yaygınlık kazanmamış olan bisikletlerden bahsetmek söz konusu olacaktır. Ayrıca CO<sub>2</sub> salım (emisyon) miktarları bazlı olarak çevreci ve çevreci olmayan tasnifinden söz edilebilir. Bu durumda da kabaca en çevreci toplu ulaştırma türleri olarak kent içi raylı sistemlerden söz edilebilir. Akabinde ise şehir hatları vapurları ve diğer boğaz yolu işletmecilerinden bahsetmek mümkün olacaktır. Yine bisiklet ulaştırma türü bu noktada en çevreci tür olmakta olup en düşük performans ise lastik tekerlekli toplu ulaştırmanın olacaktır. Bu bağlamda en temel tasniflerden birisi ise hız ve kapasiteye ve buna bağlı hizmet düzeyine göre olandır. Bu noktada yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli ulaştırma sistemlerinden söz edilebilir. Bunları tasnif etmek gerekir ise söz konusu özelliklere göre 1.sınıfı teşkil edenler, toplu ulaştırma söz konusu olduğunda metrobüs ve kent içi raylı sistemler (en başta metro) olmaktadır [11].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İstanbul, gerek sosyo-ekonomik ve demografik yapısı, gerekse ulaştırma sistemi açılarından çok hızlı bir değişim süreci içindedir. Göç çekmesi nedeniyle çok hızlı nüfus artışı, buna paralel olarak hızla artan bir yapılaşma, motorlu araç sayısındaki çok hızlı artış ve bunların bir sonucu olarak her geçen gün daha fazla ihtiyacı büyüyen bir ulaştırma altyapısı ile karşı karşıyadır. 2015 yılı sonu itibariyle İstanbul’un nüfusu 14.657.434 kişidir. Aşağıda Tablo 1’de ise İstanbul’un yıllık nüfus artışı ve artış hızı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü üzere İstanbul’un nüfus artış hızında son yıllarda nispi düşüş görülmekle birlikte, yüksek miktarlarda nüfus artışı devam etmektedir. İstanbul’da 1. ve 2. Boğaz köprülerinin inşa edilmesi, şehrin yapısında ve ulaşım sisteminde önemli ölçekte değişimleri beraberinde getirmiş olup 29 Ekim 2013 itibariyle bir bölümünün açılış gerçekleştirilen Marmaray da şehrin ulaşımında ve köprü trafiğinde belirgin bir etki oluşturmaya başlamıştır. Daha önce de birçok defa ifade edildiği üzere, banliyö hatlarının da tamamlanmasıyla Gebze-Halkalı arasında İstanbul’un güney aksında doğu-batı hattı boyunca Marmaray önemli bir trafik talebini karşılamaya başlamıştır. İstanbul’da ulaştırma sisteminde karayolu ulaştırma türünün türel dağılımında ağırlıklı bir payı olup bu ağırlık boğaz köprülerinin inşasıyla birlikte daha da artmıştır. Bir diğer etken ise, boğaz köprülerinin inşasının, şehrin her iki yakasının hem Boğaziçi ekseninde ve hem de Marmara kıyıları ve iç bölgelerde gelişimini hızlandırmasıdır. Bu noktada ana ekseninde metrobüs, Marmara kıyı ekseninde ise Gebze-Halkalı İstanbul raylı sistemi ön plana çıkmaktadır. Şekil 1’de metrobüsün güzergâhı verilmektedir [12].

Veriler incelendiğinde İstanbul’daki hareketlilik oranları ger geçen gün daha da artmaktadır. Örneğin Batı Avrupa ülkelerindeki kentlerde, araçlı yolculuklarda hareketlilik oranları 2,50 – 3,00 arasındadır [13]. İstanbul için de bu oranları hedef olarak aldığımızda, alternatif ulaşım sistemlerini geliştirmemizin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İstanbul’da bu değer 1,74 düzeyindedir [13]. TÜİK’e göre ülkemizde 2006 yılında motorlu araç sayısı 12.227.393 iken 2016 yılı Haziran Ayı Sonu İtibariyle 20 milyon 559 bin 243 olmuştur. İstanbul’da ise 2006 yılında motorlu araç sayısı 2.430.560 iken 2016 Yılı Haziran ayı Sonu itibariyle 3.751.547 olmuştur. Son on yılda Ülkemizdeki motorlu araç sayısı %68 oranında artarken, İstanbul’da son on yılda motorlu araç sayısı % 55 oranında artmıştır [13]. Köprülerin planlanmasında günde yaklaşık 250.000 otomobil eşdeğerinde araç geçişinin gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ancak geldiğimiz noktada günlük her iki köprüden geçen araç sayısı 600.000 otomobil eşdeğerine ulaşmış durumdadır [13].

İstanbul’da Boğaz köprüsü geçişlerinde Anadolu yakasından itibaren, metrobüsü de dikkate almak sureti ile şu önlemler dikkate alınabilir:

- 1.Boğaz Köprüsü Anadolu yakası Beylerbeyi girişine sol eksene ilave bir şerit inşası düşünülebilir
- Geliş şeritlerinin birer şerit sola kaydırıp köprüye girişin bir şerit daha arttırılması söz konusu olabilir.
- Şişe boynuna doğru, köprü girişine sağdan bir şerit ilavesi düşünülebilir.
- Köprü girişindeki gişelerin tamamen iptali ve tek merkezli bir ödeme okuyucu sistem kurulumu gereklidir.
- Metrobüsün 44 durağı var 37’si Avrupa 7’si Anadolu yakasındadır. Ağırlık Avrupa yakasında oluşmaktadır.
- Anadolu yakasında 7 duraktan yoğun olan ikisinde de (Boğaz Köprüsü durağı ve Altunizade durağı) ciddi yaya erişilebilirliği ve entegrasyon problemleri bulunmaktadır.
- Boğaz Köprüsü durağına daha sağlıklı bağlantı yolları düşünülmelidir.
- Üsküdar-Ümraniye metrosunun Altunizade’deki istasyonundan Altunizade metrobüs durağına entegrasyon daha iyi bir şekilde tasarlanmalıdır.
- Boğaz Köprüsü metrobüs durağından geçen 34 AS’lerin (Avcılar-Söğütluçeşme) sayısı arttırılmalıdır, ayrıca Anadolu yakasından esas talep Zincirlikuyu’ya değil Mecidiyeköy’e, kısmen de Çağlayan’a olduğu göz önünde bulundurulup hat alternatiflendirmeleri geliştirilmelidir. Yani ilgili metrobüslerin hepsi Zincirlikuyu son uçlu değil bir kısmı Çağlayan son uçlu bir kısmı da Mecidiyeköy son uçlu olarak planlanabilir.

Tablo 1. 2009-2015 yılları arasında İstanbul’un yıllık nüfus artışı ve artış hızı (Table 1. 2009-2015 Years Yearly Population Change and Increase Speed of Istanbul)[14]

	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Artış(Kişi)	340.527	368.555	230.500	305.727	216.551	280.416
Artış(%)	26	27,4	16,8	21,8	15,2	19,3





Şekil 1. Metrobüs güzergâhı ve durak yerleşimleri (Figure 1. BRT Route and Station Locations) [15]

Tablo 2’de ise 2017 yılında metrobüs hattında yoğun kullanılan istasyonlarda günlük binış değerleri verilmektedir [16].

Tablo 2. Şubat 2017 metrobüs istasyon kullanım değerleri (Table 1. February 2017 BRT Station Usage Values) [16]

Metrobüs İstasyonu	Yolculuk (kişi)
Cevizlibağ	978.969
Çağlayan	419.215
Mecidiyeköy	1.260.572
Zincirlikuyu	1.901.849
Boğaz Köprüsü	193.172
Altunizade	528.135

#### Avrasya Tünelinin İstanbul Ulaştırma ve Trafığı Üzerindeki Etkileri

Somut faydalar şu şekilde öngörülebilir:

- İstanbul’da şehir yapısı doğuda Gebze’den batıda Çorlu’ya birleşmekte olup en yoğun aksı güneyde Marmara sahiline komşu olan akstır. Buraya çekirdek aks da denilebilir. İkinci aks doğu-batı hattı boyunca 1. Köprü’nün kuzeyine kadar olan akstır. 3. aks ise ikinci köprüden sonrasındır. Avrasya tüneli çekirdek akstadır. Yani İstanbul’un en yoğun trafik yükünün olduğu yerlerden birisine kurulmuştur.
- Avrasya Tüneli, buradaki seyahat süresini 105 dakikadan 15 dakikaya indirmektedir, bulunduğu aks itibariyle bu ciddi bir katkıdır [17].
- 3.köprü’nün işleme alınmasıyla şehir trafiğine potansiyel katkıları daha orta vadeli ve yer yer de dolaylıdır [18]. Ancak Avrasya tünelinin katkısı daha kısa vadede somutlaşacaktır. 3.köprü’nün nispeten 2. köprü’nün pik (zirve, yoğun) saatlerindeki trafik tıkanıklığını iyileştirici etkisi olmuştur (zirve saatleri de kapsayan saat aralıklarında 2. köprüden geçiş yapan ağır taşıtlar 3. köprüye yönlendirilmiştir) ancak Avrasya tünelinin katkısı daha çok 1. köprüye olacaktır. Bu noktada her iki yapının beraber çalışılması çok önemlidir [19].
- Avrasya tüneli için belirlenen genel fiyat Yavuz Selim ve Osmangazi köprülerine göre daha makuldür ancak daha da makul olabilecek bir fiyat düşünülebilirdi. Ama bu haliyle de kısa ve orta vadede boğaz geçişleri trafiğinde kayda değer bir iyileştirme sağlayabilir [20].

- Avrasya tünelinin bir diğer avantajlı noktası da ilgili bağlantı yollarının, yeterli kapasite ölçeklerinde tamamlanmış olmasıdır. Bu; sistemin bütüncül çalışması, trafik disiplininin korunması ve şişe boyunlarının engellenmesi açısından oldukça önemlidir.
- Bu noktada Avrasya tüneli ile aynı aksta bulunan Marmaray'ın hat rehabilitasyonu tamamlanarak Gebze'den Halkalı'ya tam kapasite işletiminin gerçekleştirilmesi önemlidir zira aksi takdirde sadece Boğaziçi köprüsü güzergâhından değil toplu taşımadan da yolcu alınmış olur. Burada Marmaray'ın tam kapasite, tam hat (Gebze-Halkalı) çalışmaya başlaması ile birlikte olumlu sonuçlar alınmaya başlamıştır.
- Avrasya tünelinin gerçek işletim kapasitesi ve performansını göstermesi için birkaç yıl geçmiş olması gerekir. Mevcut durumda, Kadıköy-Kartal- Ataşehir bölgesinden Avrupa yakasına ev-iş yolculuğu yapan ve belirli bir alım gücünde olan bir kitle söz konusudur. Bunlar Avrasya tüneli kullanıcılarının kayda değer bir bölümünü oluşturacaktır. Tünelin çift yönlü kullanıcıları olduğu gibi, kayda değer rakamlarda tek yönlü kullanıcıları da olacaktır.
- Mevcut Marmaray ve metrobüsün gün, saat ve talep bazlı, işletim etaplarının ve buna göre istasyonlar arası çalıştırılan araç yoğunluğunun tekrar elden geçirilmesinde fayda olabilir [21].

Ana noktalar:

- İstanbul trafiğinin ana akslarından birisinde yer almaktadır [22]. Geçiş ücreti yüksektir. Ama bu haliyle de trafik tıkanıklığında iyileştirme sağlar. Kötü hava koşullarından etkilenmeyecek olması da bir avantajdır. Köprüde yağmur dolayısıyla da tıkanmalar olmaktadır, Avrasya Tünelinde bu durum söz konusu olmayacaktır. 1.köprü trafiğinde de nispi bir iyileşme sağlayacaktır. Ancak Avrasya, Marmaray, 1. Boğaz Köprüsü için entegre çalışmalar yapılmalıdır.
- Fiyatı köprülerden yüksek olmasına karşın, yakıttan sağlanan tasarruf, ana akstaki yolculukların kayda değer bir oranını Avrasya tüneline çekecektir, kilometreyi oldukça kısaltmaktadır. Ayrıca ülke ekonomisine de ciddi katkı sağlayacaktır. Yolculukta 'zaman' değeri ve 'parasallaşması' gün geçtikçe İstanbul'un algısında daha çok yer tutacaktır. Bu proje üzerinden de bunu daha net görmeye başlanacaktır.
- Marmaray'ın hat rehabiliteleri bir an önce bitirilip Gebze-Halkalı başlatılmasının faydaları da orta vadede görülecektir.
- Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy ve Dudullu-Bostancı metro hatları İstanbul trafiğine önemli katkı sağlayacaktır. Bu nedenle Dudullu-Bostancı hattında da artık ivedilikle mesafe kat edilmelidir. 3.köprünün faydaları daha çok orta vadede ortaya çıkacaktır. Kısa vadede, ağır tonajlı taşıtları çekerek 2. köprüde önemli bir rahatlama sağlamıştır. Gayrettepe-3. Havaalanı metrosu ve 3. köprüden geçecek demiryolu projelerinin tamamlanması, şehirdeki raylı sistem entegrasyonunun tamamlanmasına ciddi katkı sağlayacak. 2019 ve 2023 yılları için konan raylı sistem km hedefleri çok önemlidir, daha da önemlisi ise bu noktadaki başarı oranının, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı arasında iyi bir koordinasyonla sağlanabileceğidir [23].

## 4. Sonuç

Otomobil odaklı formun yapısal çözümlerine bakıldığında bunun;

- Kentiçi yollarda trafik hacmini arttırıcı lokal geometrik düzenlemeler, müdahaleler ve yeni kısmi planlamalar
- Özel şerit uygulamasının yoğun ve ana arterlerde (köprü geçişleri başta olmak üzere) uygulanması
- Boğaz Köprüleri arası dengeli bir dağılımla saat, yön ve araç tipi bazlı sınıflandırmaya dayalı dönüşümlü düzenlemeler
- Karayolu kapasitesi kaynaklı talebi karşılayıcı yeni çözümler geliştirilmesi
- Önemli ana arterler yerinde ve etkili ara taşıyıcı hatlar ile beslenmesi

Çerçevesinde sorunların hafifletilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Öte yandan İstanbul başta olmak üzere ana arterlerde trafik akımının ortalama hızında kaydedilecek nispi artışlarla trafik, yavaş da olsa sürekli bir akıcılığı yakalayabilir. Böylelikle trafik zirve saatlerde ana arterlerde sürekli ve ağır bir tıkanıklık durumunun dışına çıkmış olacaktır. Bunun ise psikolojik ve ekonomik birçok kazanımı ve de yakıt tasarrufuna katkıları olacaktır. En alt sınırından da olsa trafik akım düzeni ve sürekliliğinin temin edilebilmesi yakıt ve zamanda ciddi kazanımları beraberinde getirebilmektedir. Bunun yolu da ana artere ayrılma ve katılmaların çok iyi teşekkülü, doğru yerlerde ve yeterli sayı ve kapasitede tasarlanmış olan cepler, otobüs duraklarının şeritleri işgal etmeyecek şekilde tasarımı ve akıllı sistemlerin etkin kullanımından geçmektedir.

Çağımızda teknolojik ilerlemelerin hızı daha da artmıştır. Sürdürülebilirlik kaygıları ise artık karar alıcı mekanizmaya yansımaktadır. Ekonomik kalkınma ise bütün bu gelişmeler bağlamında artarak devam etmektedir. Elbette ki bu kalkınmada küresel ölçekte dengesizlikler olduğu görülmektedir. Ancak genel bir kalkınma eğiliminden, farklı bölgelerde farklı ivmelerde olsa da, bahsedilebilir. Öte yandan bütün bu kalkınma, ilerleme ve alım gücü artışı, çeşitli yan eğilim ve unsurların da desteğiyle insanları kentlere yığan bir süreci ortaya çıkarıp tahkim etmektedir. Bu da kentlerde yeni olguları, problemleri ve fırsatları doğurur iken bir diğer taraftan ise mevcut kimi pozitif ve negatif unsurları da arttırabilmektedir. Otomobil odaklı kentlerde trafik tıkanıklığı, karayolu trafik güvenliği, trafik verimi ve akım hızındaki düzensizlik ve süreksizlikler, sera gazı salımları, gürültü, ses ve diğer muhtelif çevre kirlilikleri, bireysel tüketimdeki (trafikteki de dâhil olmak üzere) artış, petrole bağımlılık, insan odaklı anlayışın dışarıda bırakılması ve daha bir dizi problem söz konusu olmaktadır [24]. Yeni ve/ya büyüyen kentlerin çoğunluğu otomobil odaklıdır. Küresel kentleşme fenomeninde de otomobil odaklılık ağır basmaktadır. Dolayısı ile ilgili süreçte otomobil odaklılığın kendi içerisinde hafifletici ve geciktirici çözümleri bulunmalıdır [25].

Öte yandan da orta vadede otomobil odaklılık ile rekabet edebilecek diğer ulaştırma ve kentleşme odaklarının desteklenmesi ve yeni odakların ve stratejilerin de teşekkülünün gerekli olduğu görülmektedir. Bu bağlamda İstanbul gibi büyük kentlerde dengeli türel dağılım ve türler arası entegrasyonun temininin önemi ortadadır [26]. Söz konusu entegrasyon ise mekânsal, bilet olarak, fiziksel, teknik, ekonomik vs. birçok anlamda gerçekleştirilmelidir. Öte yandan bu çerçevede demiryollarına yatırım yapılması fikri ilkesel olarak doğrudur. Niceliksel olarak da iyi denilebilecek bir performans ile söz konusu kenti içi raylı sistem yatırımları son on yılda etkin bir şekilde gerçekleştirile gelmiştir. Marmaray, Avrasya Tüneli gibi önemli yatırımlar net bir şekilde İstanbul ulaştırma ve trafiği için hayati artılar olmuştur. Yine Marmaray'ın Gebze'den Halkalı'ya kadar tam kapasite işleme alınması, açılan muhtelif metro hatları ve diğer birçok önemli yatırım vardır. Ancak İstanbul'da 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nün aynı zamanda İstanbul'un boydan boya ana trafik aksından geçtiği unutulmamalıdır. Dolayısı ile buradaki ana etken köprü'nün kendisi değil üzerinde bulunduğu yüksek yoğunluklu ana aksın kendisidir [27]. Dolayısı ile çözümler bu aksı merkeze alacak şekilde düşünülmelidir. Metrobüs, Marmaray ve Avrasya Tüneli yatırımları İstanbul'un artan trafik tıkanıklığı eğrisine kayda değer ivmeler kaybettirmiştir [28]. Ancak bu eğilimi durdurmaya yetmemiştir. İstanbul'da trafik tıkanıklığı ve kaynaklı problemler ortadan kaldırılamaz ancak hâlihazırda bunların katlanılabilir düzeylere çekilmesine yönelik olarak ve İstanbul'un genelindeki ve de ana akstaki günlük ortalama trafik akım hızlarını daha makul değerlere arttırmaya yönelik olarak bir strateji belirlenmek sureti ile kısa, orta ve uzun vadeli çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir [29].

İstanbul'un trafik tıkanıklığı probleminin katlanılabilir düzeylere çekilmesinin yolu 3 ana aşamada toplanabilir. Bunlar, operasyonel, taktik ve stratejiktir. Operasyonel önlemler kısa vadeli ve sathidir. Taktik önlemler orta vadeli ve daha kapsamlıdır. Uzun vadeli ve en kapsamlı olanı ise stratejik önlemlerdir. Stratejik önlemlerin ana çerçevesini İstanbul Ulaşım Ana Planı, İstanbul Master Planı ve devletin kalkınma ve strateji ile ilgili bakanlıklarının çalışmaları çizmektedir. Taktik önlemler ise İstanbul'a yapılan nitelik ve nicelik açısından önemli ulaştırma yatırımları ile ilgilidir. Bu yatırımlar hâlihazırda İstanbul trafik tıkanıklığı problemini birkaç yıllığına pik noktadan uzaklaştırmaktadır. Ancak bunun ötesinde İstanbul'a aciliyetle göç, imar ve barınma hususlarındaki kapsamlı stratejilerle müdahale edilmelidir. İstanbul'da ulaşımda operasyonel önlemler için ise Boğaz Köprüsü ve bağlantılı yolları, D100 karayolu, Bakırköy-Beylikdüzü bağlantıları kapsamında geliştirilmelidir. Bunun için;

- Metrobüs hattında sabah ve akşam pik (zirve) saatlerde Çağlayan ve Mecidiyeköy son duraklı ara hatların konulması
- Metrobüs hattında daha yüksek kapasiteli araçların satın alınarak filonun zenginleştirilmesi
- Marmaray ve Metrobüs ara istasyonlarının birbirleri ile entegrasyonunun daha fazla noktada güçlendirilmesi ve sağlanması
- Minibüs hatlarının mümkün olduğunca ana akslardan uzak tutulması (özellikle pik saatlerde)
- Minibüs hatlarına yönelik denetimin, standardizasyonun ve sübvansenin artırılması
- Altunizade (Üsküdar)-Ümraniye-Kavacık (Beykoz)-2.Boğaz Köprüsü-Seyrantepe (Sarıyer)-Şişli- Kâğıthane-Eyüpsultan-Gaziosmanpaşa-Bayrampaşa-Esenler-Bağcılar-Başakşehir arasında 2.bir metrobüs hattının ivedilikle uyarlanıp hizmete açılması
- Şehir hattı vapurlarının daha küçük boyuttaki gemi filoları teşkil edilerek Marmaray'ın kimi istasyonlarına sık sefer saatleri ile tamamlayıcı şekilde ikame edilmesi
- Otobüs duraklarının kentin yoğun noktaları ve ana aksları olan yerler başta olmak üzere mümkün olduğunca cep şeklinde yeniden tasarımı ve ivedilikle yapımı

Gibi önlemler trafik tıkanıklığı problemlerinin hafifletilmesinde etkin bir rol oynayabilir.

## Kaynakça

- [1] Kızıldaş, M, Ç, (2015). Traffic Safety and Railway Applications, Transportation World Newspaper
- [2] İlçalı, M., Çatbaş, N., Öngel, A., Kızıldaş, M. Ç., 2013, 'Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation', Hong Kong
- [3] TR 10. Government Plan Transportation and Traffic Safety Ö.İ.K. Report, Ankara (2012).
- [4] Kızıldaş, M, Ç, 2018. Uluslararası Çerçevde Kentleşme ve Ulaştırma Örnekleri, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım
- [5] Kızıldaş, M, Ç, Tekin, A, Ç, 2017. İstanbul'da Raylı Sistem Hatlarının Hat ve Sefer Entegrasyonlarının İncelenmesi, Transist 2017, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2-4 Kasım
- [6] Wang, F.Z., Google released the product of smart home: Google Home. Available from <http://tech.163.com/16/0519/01/BND3AHMH000915BD.html> (in Chinese) (2016)
- [7] Sak, H., Senior, A., Beaufays, F., (2014) Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling. INTERSPEECH, p.338-342.
- [8] Langford, B., Cherry, C., Yoon, T., Worley, S., Smith, D., (2013) North America's first ebike share: a year of experience. Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board (In Press)
- [9] Takatsu T, (2007) "The history and future of high-speed railways in Japan". *Japan Railway & Transport Review*, 48, 6-21
- [10] TÜİK nüfus verileri, 2015
- [11] Golobić, M., & Marot, N., (2011) Territorial impact assessment: Integrating territorial aspects in sectoral policies. Evaluation and program planning, 34(3), 163–173. doi:10.1016/j. evalprogplan.2011.02.009
- [12] Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2018) A Review In Term Of Service Parameters On The Modal Choice sand Mass Transport, İzmir
- [13] İBB Ulaşım Daire Başkanlığı, (2011) İUAP Özet Rapor

- [14]Simonyan, K., Zisserman, A., (2014) Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv:1409. 1556.
- [15]Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2017) Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- [16]Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., (2018) Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM
- [17]Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., (2020) Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [18]Dill, J., Rose, G., (2012) E-Bikes and transportation policy: insights from early adopters. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- [19]García-Palomares, J.C., Gutiérrez, J., Latorre, M., (2012) Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach. Appl. Geogr. 35, 235e246.
- [20]Theurel, J., Theurel, A., Lepers, R., (2012) Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. Ergonomics 55, 773e781.
- [21]Kızıldaş, M, Ç, 2018. Küresel Örnekleri ile Toplu Ulaştırma, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım
- [22]Dianov V.N., Gevondian T.A., (2014) Parking system of high reliability innovation technologies. Vol. 2. pp 531-535.
- [23]Granado, F.J., Coady, D. and Gillingham, R., (2012) The Unequal Benefits of Fuel Subsidies: A Review of Evidence for Developing Countries, World Development Vol. 40, No. 11.
- [24]Veneri, P., & Burgalassi, D., (2012) Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. European Planning Studies, 20(6), 1017–1037. doi:10.1080/09654313.2012.673566
- [25]Kızıldaş M.Ç., ‘Ulaştırma Yatırımları ve Marmaray-1’, [http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-1/\(25.05.2014\)](http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-1/(25.05.2014))
- [26]J. Fujie, “An advanced arrangement of the combined propulsion, levitation and guidance system of superconducting Maglev,” IEEE Trans. Magn., vol. 35, no. 5, pp. 4049–4051, Sep. 1999.
- [27]P. Burke, R. Turton, and G Slemon, “The calculation of eddy losses in guideway conductors and structural members of high-speed vehicles,” IEEE Trans. Magn., vol. MAG-10, no. 3, pp. 462–465, Sep. 1974.
- [28]B.-T. Ooi, “Electromechanical dynamics in superconducting levitation systems,” IEEE Trans. Magn., vol. MAG-11, no. 5, pp. 1495–1497, Sep. 1975.
- [29]G. Bohn, “Calculation of frequency responses of electro-magnetic levitation magnets,” IEEE Trans. Magn., vol. MAG-13, no. 5, pp. 1412–1414, Sep. 1977.



# Deep Learning-Based Ischemic Stroke Segmentation on Brain Computed Tomography Images

Simge Uçkun<sup>1\*</sup>, Mahmut Ağralı<sup>1</sup>, Volkan Kılıç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0009-0003-8183-4065, 0000-0002-5508-2854, 0000-0002-3164-1981 ), [simgeuckun1@gmail.com](mailto:simgeuckun1@gmail.com), [y210207002@ikcu.edu.tr](mailto:y210207002@ikcu.edu.tr), [volkan.kilic@ikcu.edu.tr](mailto:volkan.kilic@ikcu.edu.tr)

(First received 1 March 2023 and in final form 25 March 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1258247)

**ATIF/REFERENCE:** Uçkun, S., Ağralı, M., & Kılıç, V., (2023). Deep Learning-Based Ischemic Stroke Segmentation on Brain Computed Tomography Images. *European Journal of Science and Technology*, (50), 105-112.

## Abstract

Stroke is brain cell death because of either lack of blood flow (ischemic) or bleeding (hemorrhagic) that prevents the brain from functioning properly in both conditions. Ischemic stroke is a common type of stroke caused by a blockage in the cerebrovascular system that prevents blood from flowing to brain regions and directly blocks blood vessels. Computed tomography (CT) scanning is frequently used in the evaluation of stroke, and rapid and accurate diagnosis of ischemic stroke with CT images is critical for determining the appropriate treatment. The manual diagnosis of ischemic stroke can be error-prone due to several factors, such as the busy schedules of specialists and the large number of patients admitted to healthcare facilities. Therefore, in this paper, a deep learning-based interface was developed to automatically diagnose the ischemic stroke through segmentation on CT images leading to a reduction on the diagnosis time and workload of specialists. Convolutional Neural Networks (CNNs) allow automatic feature extraction in ischemic stroke segmentation, utilized to mark the disease regions from CT images. CNN-based architectures, such as U-Net, U-Net VGG16, U-Net VGG19, Attention U-Net, and ResU-Net, were used to benchmark the ischemic stroke disease segmentation. To further improve the segmentation performance, ResU-Net was modified, adding a dilation convolution layer after the last layer of the architecture. In addition, data augmentation was performed to increase the number of images in the dataset, including the ground truths for the ischemic stroke disease region. Based on the experimental results, our modified ResU-Net with a dilation convolution provides the highest performance for ischemic stroke segmentation in dice similarity coefficient (DSC) and intersection over union (IoU) with 98.45 % and 96.95 %, respectively. The experimental results show that our modified ResU-Net outperforms the state-of-the-art approaches for ischemic stroke disease segmentation. Moreover, the modified architecture has been deployed into a new desktop application called *BrainSeg*, which can support specialists during the diagnosis of the disease by segmenting ischemic stroke.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Deep Learning, Ischemic Stroke Disease, Convolutional Neural Network.

## Beyin Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Derin Öğrenme Tabanlı İskemik İnme Hastalığı Segmentasyonu

### Öz

İnme, beyindeki işlevlerin doğru şekilde yerine getirilmesini engelleyen ve kan akışı eksikliği (iskemik) ya da kanama (hemorajik) gibi nedenlerle ortaya çıkan beyin hücre ölümüdür. İskemik inme, kan akışının beyin bölgelerine akmasını önleyen serebrovasküler sistemdeki bir tıkanıklık nedeniyle ortaya çıkan yaygın bir inme türüdür. İnme değerlendirmesinde sıklıkla Bilgisayarlı Tomografi (BT) taraması kullanılmaktadır ve BT görüntüleriyle iskemik inmenin hızlı ve doğru teşhisi, uygun tedavinin belirlenmesi için kritik öneme sahiptir. Uzmanların yoğun programları ve sağlık tesislerine başvuran çok sayıda hastanın olması gibi çeşitli faktörler nedeniyle iskemik inmenin manuel teşhisi hataya açık olabilmektedir. Bu nedenle, bu makalede, BT görüntüleri üzerinden segmentasyon yoluyla iskemik

<sup>1\*</sup> Corresponding Author: [simgeuckun1@gmail.com](mailto:simgeuckun1@gmail.com)

inmeyi otomatik olarak teşhis etmek için derin öğrenme tabanlı bir arayüz geliştirilmiş; bu sayede uzmanların teşhis süresi ve iş yükünün azaltılması hedeflenmiştir. İskemik inme segmentasyonunda otomatik özellik çıkarımını sağlayan Evrişimli Sinir Ağları (CNN'ler), BT görüntülerindeki hastalıklı bölgeleri işaretlemek için kullanılmıştır. U-Net, U-Net VGG16, U-Net VGG19, Attention U-Net ve ResU-Net gibi CNN tabanlı mimariler, iskemik inme hastalığı segmentasyonunu karşılaştırmak için kullanılmıştır. ResU-Net, segmentasyon performansını daha da artırmak için mimarinin son katmanından sonra bir genişletme evrişim katmanı eklenerek modifiye edilmiştir. Ek olarak, iskemik inme hastalığı bölgesi için gerçek referans değerleri de içeren veri setindeki görüntü sayısını artırmak için veri artırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara dayanarak, genişletme evrişimli olarak modifiye edilmiş ResU-Net, zar benzerlik katsayısı (DSC) ve Jaccard benzerlik katsayısı (IoU) açısından sırasıyla 98.45 % ve 96.95 % ile en yüksek performansı sağlamıştır. Deneysel sonuçlar, modifiye edilmiş ResU-Net mimarisinin iskemik inme hastalığı segmentasyonu için modern yaklaşımlardan daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Ayrıca modifiye edilmiş mimari, iskemik inme bölgesini segmente ederek hastalığın teşhisinde uzmanlara destek sağlayabilen yeni bir masaüstü uygulaması olan *BrainSeg*'e entegre edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zekâ, Derin Öğrenme, İskemik İnme Hastalığı, Evrişimsel Sinir Ağı.

## 1. Introduction

Brain disorders affect the daily routine of the individual and appear as severe physical symptoms, including motor function impairments, memory loss, tremors, seizures, vision problems, speech difficulties, and changes in behavior. Brain disorders are caused by a wide range of diseases that gradually disable brain abilities, such as Alzheimer, Parkinson, dementia, brain cancer, stroke, transient ischemic attack, and epilepsy. Among these diseases, stroke, a major abnormality of the brain, is the leading cause of severe long-term disability worldwide. The World Health Organization reports that stroke is responsible for about 11 % of human diseases and is the second leading cause of death worldwide (Khezpour, Seyedarabi, Razavi, & Farhoudi, 2022). Typically, there are two types of stroke: hemorrhagic and ischemic stroke. A hemorrhagic stroke is caused by a ruptured cerebral blood vessel that bleeds into or around the brain, while an ischemic stroke occurs predominantly due to a lack of blood flow in parts of the brain (Kirshner & Schrag, 2021). Of these two types, ischemic stroke accounts for about 85 % of all strokes, so diagnosing ischemic stroke is vital for the recovery of patients. Several approaches are available to diagnose ischemic stroke, including a cerebral angiogram, echocardiogram, carotid ultrasound, and medical imaging (Karthik, Menaka, Johnson, & Anand, 2020). Among these approaches, medical imaging methods such as computed tomography (CT), X-rays, and magnetic resonance imaging (MRI) have become functional since they visualize the brain, making it easier to diagnose the disease. X-rays produce low-quality imaging, while CT and MRI provide less noisy images for diagnosing ischemic stroke disease. CT is less time-consuming and cost-effective during imaging, making it the primary medical imaging technique. Therefore, CT is widely used in medical centers as it greatly improves the imaging resolution and diagnosis speed of ischemic stroke disease. However, the quality of diagnosis also depends on the expertise of the specialists, causing an increased likelihood of misdiagnosis when manually detecting ischemic stroke disease on CT images due to factors such as lack of awareness or overwork. Besides detecting the presence of ischemic stroke disease, the specific region affected on a CT image is crucial in the diagnostic process. An automated system that can accurately diagnose the disease region can help specialists and ease their workload. Therefore, artificial intelligence-based approaches such as machine learning and deep learning have been proposed to detect ischemic stroke disease (Tursynova, Omarov, Sakhipov, & Tukenova, 2022). Machine learning approaches can perform a task utilizing manually extracted features with small-scale datasets (Doğan, Isık, Kılıç, & Horzum, 2022; Doğan, Yüzer, Kılıç, & Şen, 2021; Gölcez, Kilic, & Şen, 2021; V. Kilic & Şen, 2019). In contrast, deep learning approaches have advanced structures that perform automatic feature extraction in various complex tasks, including segmentation and classification (Castiglioni et al., 2021; Volkan Kılıç, Mercan, Tetik, Kap, & Horzum, 2022). The automatic extraction of features with deep learning approaches leads to a strong learning ability that improves the prediction performance on the test set. Therefore, deep learning approaches have gained popularity in segmenting ischemic stroke disease regions on CT images. For feature extraction, deep learning uses network architectures, such as convolutional neural networks (CNNs) (Ağralı et al.; Akosman, Öktem, Moral, & Kılıç, 2021; Çaylı, Kılıç, Onan, & Wang, 2022; Doğan & Kılıç, 2021; Keskin, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; B. Kilic, Dogan, Kilic, & Kahyaoglu, 2022; Mercan & Kılıç, 2020; Sayraci, Agrali, & Kilic, 2023; Şen et al., 2022; Yüzer, Doğan, Kılıç, & Şen, 2022), reinforcement learning (Agrali, Soydemir, Gökçen, & Sahin, 2021), and recurrent neural networks (RNNs) (Aydın, Çaylı, Kılıç, & Onan, 2022; Fetiler, Caylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Gölcez, Kiliç, & Şen, 2019; Keskin, Çaylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Kılıç, 2021; Volkan Kılıç; Kökten & Kılıç, 2021; Mercan, Doğan, & Kılıç, 2020; Mercan & Kılıç, 2021; Palaz, Doğan, & Kılıç, 2021). Among these architectures, CNN offers remarkable performance on ischemic stroke disease segmentation.

Various CNN approaches have been proposed for ischemic stroke segmentation. Hui *et al.* proposed a partitioning-stacking prediction fusion (PSPF) method based on an improved Attention U-Net (Hui, Zhang, Li, Mei, & Guo, 2020). Liu *et al.* introduced a deep residual attention network (DRANet) that embeds residual blocks into U-Net architecture to segment ischemic stroke disease and white matter hyperintensity lesions in multi-modal MRIs (Liu, Kurgan, Wu, & Wang, 2020). Kumar *et al.* employed a classifier-segmenter network (CSNet), including a classifier followed by a segmentation network, which takes advantage of Fractal-Net and U-Net for ischemic stroke disease (Kumar, 2020). Wu *et al.* utilized an architecture based on a fully-convolutional network (FCN) with 3D convolution for automatically segmenting subcortical structures in different neural formations within the brain (Wu & Tang, 2019). Rajinikanth *et al.* proposed an approach using the cuckoo search algorithm, Tsallis entropy-monitored multilevel thresholding, and regularized level set technique, to improve segmentation performance (Rajinikanth, Fernandes, Bhushan, & Sunder, 2018). The

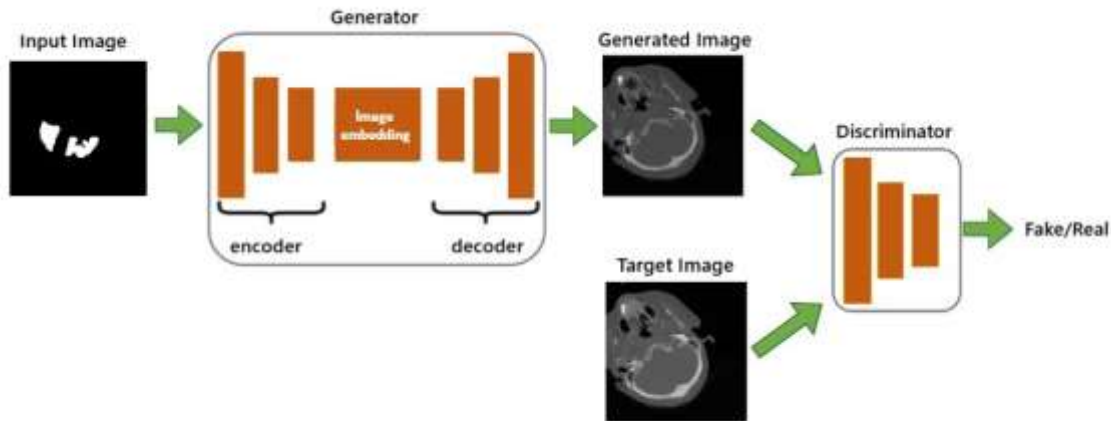


Figure 1: The schematic of Pix2Pix Generative Adversarial Network (GAN) architecture.

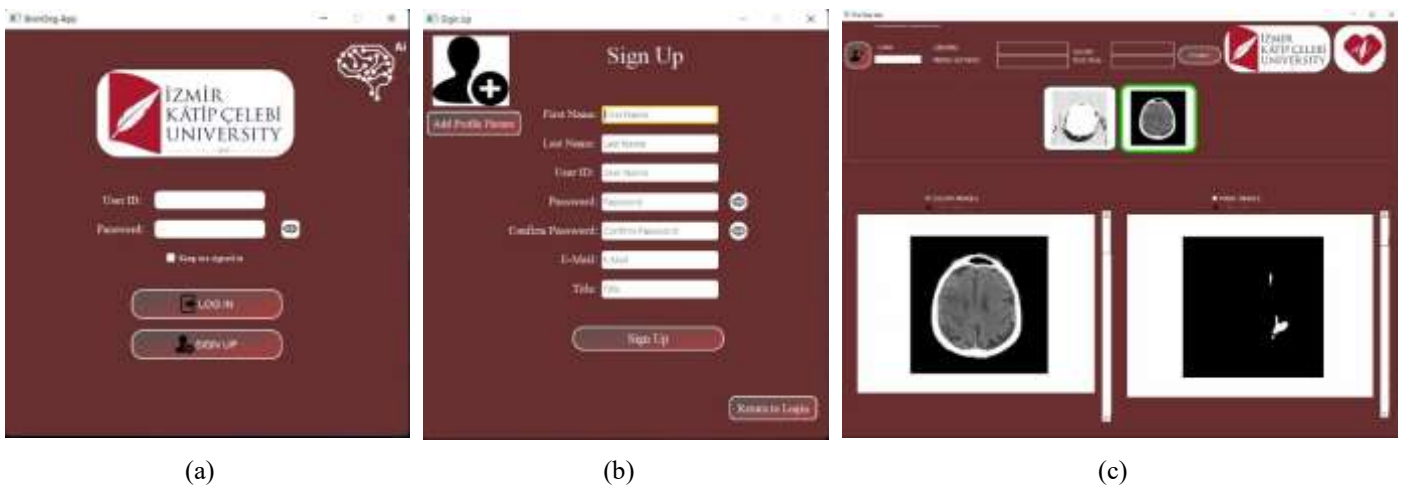


Figure 2: The login screen of the BrainSeg desktop application is shown in (a), and the sign-up screen is illustrated in (b). On the left side of the main screen in (c), brain CT images are displayed, and the predicted mask belonging to ischemic stroke disease is on the right.

partition process utilizes the 3D context that can effectively improve the generalization ability of their proposed method on unseen images for ischemic stroke segmentation. The approaches in (Kumar, 2020; Liu et al., 2020) employed relatively small-scale datasets to segment ischemic stroke disease, leading to the poor generalization ability of their models. Moreover, the model in (Hui et al., 2020) is computationally expensive, which causes the stroke lesion segmentation task to be time-consuming. On the other hand, the use of atlas-based segmentation for ischemic stroke in (Wu & Tang, 2019) resulted in being time-consuming and error-prone due to the image registration step.

In this study, the publicly available dataset (Koç et al., 2022) has been utilized for ischemic stroke disease segmentation. However, the dataset, including the brain CT images and the corresponding masks on which the disease region is marked, is relatively small for training CNN architectures. Therefore, several data augmentation approaches, such as Pix2Pix Generative Adversarial Network (GAN), varying brightness, applying Gaussian and blur filters, and adding salt & pepper and Gauss noise, were used to increase the number of images in the dataset. These augmentation approaches reduce the overfitting problem in small-scale datasets and increase the diversity of images, improving the generalization ability of CNN architectures. After dataset augmentation, several CNN architectures were trained, including ResU-Net modified with a dilation convolution to improve the segmentation performance of ischemic stroke disease. Finally, our approach has been integrated into the *BrainSeg* desktop application, which facilitates diagnosis based on the segmentation of the ischemic stroke in brain CT images.

## 2. Methods

CNN architectures can automatically extract the image features through various layers, such as convolution, pooling, and fully connected. The shallow layers of CNN architectures can capture simple features, while the deep layers process them to learn complex components of the image. Common CNN architectures, including U-Net, ResU-Net, U-Net (VGG-16), U-Net (VGG-19), ResU-Net

with a dilation convolution, and Attention U-Net, have been employed for ischemic stroke disease segmentation. CNN-based Pix2Pix GAN architecture was also used to increase the number of images in the dataset.

## **2.1. Pix2Pix GAN**

Pix2Pix GAN, which creates new synthetic data from source images, is a robust architecture for image-to-image translation (Aljohani & Alharbe, 2022). It is particularly useful for data augmentation to increase dataset size and improve segmentation performance. The architecture summarized in *Figure 1* is based on CNN, which consists of generator and discriminator networks. The generator network uses a ground truth including the region of interest as input to generate new realistic images, and typically uses an encoder-decoder structure known as the U-Net architecture, described in the next section. The discriminator produces a single output representing the probability that the generated image is real, and distinguishes between the image generated by the generator network and the real brain image as the target. The output of the discriminator network helps the generator to produce a synthetic image that is very similar to a real image with high probability and classified as fake with low probability.

## **2.2. U-Net**

CNN-based U-Net has a symmetrical structure consisting of an encoder and decoder, leading to a robust architecture for pixel-wise image segmentation even with small-scale dataset (Ronneberger, Fischer, & Brox, 2015). The encoder includes blocks with 3x3 convolutional layers to extract the feature maps of the images at different spatial resolution levels. Each convolution layer follows a rectified linear unit (ReLU) activation function for non-linearity. At the last of each convolution block, a 2x2 max-pooling layer is applied for down-sampling the feature maps. The decoder is responsible for restoring the spatial resolution of the image through up-sampling, 2x2 convolution, and concatenation layers using the corresponding feature maps provide the spatial information. The fact that U-Net combines an encoder and decoder offers a highly-refined segmentation that can capture the spatial information in the input image. Therefore, CNN-based architectures such as VGG-16 and VGG-19 can be used as backbones added to the input of the encoder in U-Net.

### **2.2.1. VGG-16 as backbone:**

VGG-16 consists of five blocks, including 13 convolutional layers with a 3x3 filter (Simonyan & Zisserman, 2014). A ReLU activation function maintains non-linearity at each convolution to guarantee the architecture does not act like a single layer. A 2x2 max-pooling layer is used at the last of each block to reduce the spatial resolution of hidden layers and increase the number of filters. Each convolution in the blocks is equipped with 64, 128, 256, 512, and 512 filters, respectively. The fully connected layers of VGG-16 are removed to take advantage of as a backbone in the segmentation task since they are originally added for classification tasks. Thus, the blocks in VGG-16 can capture low-level segmentation features for segmentation.

### **2.2.2. VGG-19 as backbone:**

VGG-19 architecture has five blocks containing 16 convolutions with a 3x3 filter size to capture small information in the input image (Das, Bhat, & Gogate, 2021). A ReLU activation function is used after each convolution layer, while each block follows a max-pooling. The three fully connected layers are located after the blocks are removed to perform the segmentation

## **2.3. Attention U-Net**

The architecture comprises a traditional U-Net and attention mechanism to dynamically focus on relevant regions of the input image during the segmentation process (Oktay et al., 2018). The attention U-Net consists of a symmetric encoder-decoder structure with skip connections. The encoder part uses multiple convolutional blocks to reduce the spatial dimensions and increase the number of filters, capturing the hierarchical features of the input image. Each convolution layer contains two convolutions, batch normalization, and maximum pooling, with LeakyReLU as activation. Batch normalization is employed to normalize the activation of convolution layers for improving segmentation performance. In the decoder part, the feature maps are up-sampled to their original dimensions through transposed convolutions. The attention mechanism is incorporated into the decoder, using self-attention blocks that adaptively assign weights to the feature maps from the encoder. These weights selectively concatenate the feature maps from the encoder and decoder for pixel-wise prediction.

## **2.4. ResU-Net**

The CNN-based ResU-Net architecture combines the strengths of U-Net, and residual connections (Zhang, Liu, & Wang, 2018). U-Net is known for its satisfactory segmentation performance by extracting features in medical images, while residual connections address the issue of gradient vanishing or exploding gradients, which badly affects the predictive performance in deep layers. In order to improve the flow of gradients and reduce vanishing or exploding gradients, the residual connection aggregates the information from previous layers to the current layer. The ResU-Net architecture consists of an encoder, a bridge, and a decoder where the encoder extracts high-level features from the input images at different spatial resolutions through several convolutional and max-pooling layers. The bridge is located in the middle of the architecture to maintain the connection between the encoder and decoder. The decoder employs convolutions, upsampling, and concatenation layers, which combine the output of convolutions and corresponding features from the encoder to reconstruct the feature maps to the original resolution. The final layer of the decoder is a 1x1 convolution and sigmoid activation to produce a semantic segmentation output.



On the other hand, a dilation convolution has been added to the ResU-Net to improve segmentation performance. Dilation convolution utilizes a dilation rate parameter, which controls the spacing between the values in the kernel. The dilation convolution expands the receptive field in each kernel without increasing the parameters, thereby allowing for larger contextual feature extraction from the feature maps. Dilation convolution is particularly useful in tasks such as semantic segmentation and object detection, where preserving the spatial context of features is essential. Therefore, convolution with a dilation rate of 10 has been used at the last layer of ResU-Net to capture large contextual features of the feature maps.

## 2.5. Desktop Application: *BrainSeg*

In this study, a user-friendly desktop application called *BrainSeg* was developed using ResU-Net with a dilation convolution to help specialists detect ischemic stroke disease, as shown in *Figure 2*. *BrainSeg* has a sign-up screen to register a user, while a login screen presents a confident way to the specialists using the application. The screens ensure that the application is logged in with a username and password specified only for specialists. Brain CT images of patients with suspected ischemic stroke disease can be uploaded to the application through the patient selection button on the main screen. It is divided to left and right to locate the images captured from different angles of the brain so that all CT images can be examined via the slider. The segmentation process can be started via the predict button on the main screen after uploading the images. After the process is completed, the ischemic stroke disease mask produced by ResU-Net with a dilation convolution is displayed on the right side of the main screen. Besides, specialists can simultaneously examine the images and corresponding masks in detail through the zoom key. Thus, *BrainSeg* for the segmentation of ischemic stroke makes it easier to detect the disease and can reduce the burden of specialists.

Table 1: The number and percent of the images in the train, validation, and test sets.

Dataset	Train	Validation	Test
Number	3601	1127	900
Percent	64	16	20

## 3. Experimental Evaluations

The section describes the dataset, the evaluation metrics, and the performance of CNN architectures for ischemic stroke segmentation.

### 3.1. Dataset

In deep learning, the dataset is essential to make the model robust for previously unseen images. The publicly available dataset (Koç et al., 2022), including 1,130 brain CT images with ischemic stroke in digital imaging and communications in medicine (DICOM) format, was employed to perform segmentation for the disease diagnosis. Data augmentation, which creates modified versions of existing data samples, was performed on the dataset with limited training images to improve the robustness and generalization ability of CNN architectures. The number of images in the dataset was doubled using the Pix2Pix GAN architecture for data augmentation. In addition to this approach, basic image processing approaches, such as varying brightness, applying Gaussian and blur filters, and adding salt & pepper and Gauss noise, were applied to the dataset. After the augmentation, the dataset was enlarged to 5,628 images for the training of CNN architectures. The images in the augmented dataset have been resized from a resolution of 512x512 to 256x256 after cropping them without disturbing the brain region. Next, the images were normalized using the min-max scaler (Abdulkareem et al., 2021). Finally, the dataset has been divided into the train, validation, and test sets for ischemic stroke segmentation, as presented in *Table 1*.

### 3.2. Evaluation Metrics

Metrics are quantitative measures used to evaluate the performance of CNN architectures through the output image and corresponding ground truth. IoU and DSC are common evaluation metrics to interpret segmentation performance. The DSC, which denotes the similarity between the output image and ground truth, is mathematically explained as follows:

$$DSC = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FN + FP} \quad (1)$$

where true positive (TP) indicates the overlap between the output image and the ground truth, while false positive (FP) represents regions included in the output image but not in the ground truth. True negative (TN) denotes the regions outside the union of the output image and ground truth. False negative (FN) stands for the regions included within the ground truth but not in the output image. The overlap ratio between the output image and ground truth is quantified by the IoU metric, which is calculated by

$$IoU = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (2)$$

The DSC and IoU metrics provide values in the range of zero to one, with a larger value indicating greater similarity in the segmented region.

## 4. Results and Discussion

The CNN-based architectures, including U-Net, ResU-Net, U-Net (backbone VGG-16), U-Net (backbone VGG-19), and ResU-Net with a dilation convolution and attention U-Net, were trained and tested on the dataset as mentioned in the method section. The experiments for the CNN architectures were performed in a Python environment using TensorFlow with the parameters Adam optimizer, learning rate=0.0005, he-normal kernel initializer, batch size=32, and the sum of dice and focal losses as the loss function (Dina, Siddique, & Manivannan, 2023). The CNN architectures showed higher performance with these parameters based on the experiments. In addition, batch normalization was used instead of dropout in the CNN architectures to further improve the robustness of the model.

The results of the CNN architectures for the ischemic stroke disease segmentation with respect to DSC and IoU are listed in *Table 2*. Based on the evaluation results, ResU-Net with dilation convolution outperforms other architectures in terms of DSC and IoU scores, achieving 98.45 % and 96.45 %, respectively. The superior performance of ResU-Net with a dilation convolution can be attributed to its use of dilation convolution, which allows the extraction of larger contextual features from the images.

*Table 2: The empirical results of the ischemic stroke disease segmentation.*

Method	IoU (%)	DSC (%)
U-Net	86.16	92.41
U-Net (VGG-19)	88.44	93.80
ResU-Net	88.94	94.10
U-Net (VGG-16)	91.25	95.41
Attention U-Net	94.77	97.30
<b>ResU-Net with a dilation convolution</b>	<b>96.95</b>	<b>98.45</b>

*Table 3: The comparison of our approach with the state-of-the-art architectures for ischemic stroke disease segmentation.*

Method	IoU (%)	DSC (%)
PSPF (Hui et al., 2020)	-	75.40
DRANet (Liu et al., 2020)	-	76.39
CSNet (Kumar, 2020)	-	82.14
FCN (Wu & Tang, 2019)	-	91.86
Tsallis Entropy (Rajinikanth et al., 2018)	-	95.18
<b>Our approach</b>	<b>96.95</b>	<b>98.45</b>

The fact that Attention U-Net can automatically focus on ischemic stroke regions in brain images without additional supervision lead to showing the second-highest score. The U-Net with VGG-16 architecture achieved the third highest result due to its shallower depth compared to the U-Net (VGG-19). Next, U-Net (VGG-19) followed ResU-Net since the residual connections in ResU-Net deal with the problem of vanishing or exploding gradients observed in deep layers. Finally, U-Net shows the poorest results for ischemic stroke segmentation due to the gradient vanishing or exploding gradient problems.

In addition, the modified ResU-Net with a dilation convolution architecture was compared with the latest studies on the segmentation of ischemic stroke disease with respect to the DSC and IOU values in *Table 3*. The model in (Hui et al., 2020) is unsuitable for embedding in a desktop application that can assist specialists since the architecture requires more computation power, causing more time consumption. The fact that the approaches in (Kumar, 2020; Liu et al., 2020) use relatively small-scale datasets for ischemic stroke disease segmentation; causes the poor generalization ability of the model. The method in (Wu & Tang, 2019) is time-consuming and error-prone due to the image registration approach in the atlas-based ischemic stroke disease segmentation.

Our approach has also been embedded into the user-friendly *BrainSeg* desktop application, which can easily detect ischemic stroke after segmenting the disease region on brain CT images. Thus, specialists who segment the ischemic stroke disease with CT images on *BrainSeg* can pick whether the disease is present. Besides, the desktop application speeds up the diagnosis time of ischemic stroke disease and relieves the burden of specialists.

## 5. Conclusion

In this study, CNN architectures were compared using the evaluation metrics to segment ischemic stroke disease on brain images and deployed into a user-friendly desktop application called *BrainSeg*. A public dataset with labeled ischemic stroke masks was used to train CNN architectures, including U-Net, ResU-Net, U-Net VGG-16, U-Net VGG-19, Attention U-Net, and ResU-Net with dilation convolution. The modified ResU-Net with a dilation convolution achieved the highest segmentation performance with a 98.45 % DSC and a 96.95 % IoU score on the test set. Compared to the state-of-the-art methods, the experiments showed that the modified architecture had an advantage in detecting ischemic stroke disease. Thus, ResU-Net with a dilation convolution has been deployed into our *BrainSeg* application, which has great potential to assist specialists in diagnosing ischemic stroke disease on CT images.

## Acknowledgment

This study is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the 2209-A University Students Research Projects Support Program 2022/1 with project number 1919B012206384. This research also is supported by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (project nos. 2023-TYL-FEBE-0003).

## References

- Abdulkareem, K. H., Mohammed, M. A., Salim, A., Arif, M., Geman, O., Gupta, D., & Khanna, A. (2021). Realizing an effective COVID-19 diagnosis system based on machine learning and IOT in smart hospital environment. *IEEE Internet of things journal*, 8(21), 15919-15928.
- Agrali, M., Soydemir, M. U., Gökçen, A., & Sahin, S. (2021). Deep Reinforcement Learning Based Controller Design for Model of The Vertical Take off and Landing System. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26, 358-363.
- Ağralı, M., Kilic, V., Onan, A., Koç, E. M., Koç, A. M., Büyüktoka, R. E., . . . Adıbelli, Z. (2023). DeepChestNet: Artificial intelligence approach for COVID-19 detection on computed tomography images. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 1-13.
- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). *Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Aljohani, A., & Alharbe, N. (2022). Generating Synthetic Images for Healthcare with Novel Deep Pix2Pix GAN. *Electronics*, 11(21), 3470.
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-sequence video captioning with residual connected gated recurrent units. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 35, 380-386.
- Castiglioni, I., Rundo, L., Codari, M., Di Leo, G., Salvatore, C., Interlenghi, M., . . . Sardanelli, F. (2021). AI applications to medical images: From machine learning to deep learning. *Physica Medica*, 83, 9-24.
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). *Auxiliary Classifier based Residual RNN for Image Captioning*. Paper presented at the 2022 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO).
- Das, S., Bhat, A. P., & Gogate, P. R. (2021). Degradation of dyes using hydrodynamic cavitation: Process overview and cost estimation. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102126.
- Dina, A. S., Siddique, A., & Manivannan, D. (2023). A deep learning approach for intrusion detection in Internet of Things using focal loss function. *Internet of Things*, 100699.
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods*, 14(35), 3458-3466.
- Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Akıllı Telefon Kullanarak Yapay Zeka Tabanlı Farenjit Tespiti: Artificial Intelligence Based Pharyngitis Detection Using Smartphone. *Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka Dergisi ISSN*, 1(2), 14-19.
- Doğan, V., Yüzer, E., Kılıç, V., & Şen, M. (2021). Non-enzymatic colorimetric detection of hydrogen peroxide using a  $\mu$ PAD coupled with a machine learning-based smartphone app. *Analyst*, 146(23), 7336-7344.
- Fetiler, B., Caylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 221-226.
- Gölcez, T., Kilic, V., & Şen, M. (2021). A portable smartphone-based platform with an offline image-processing tool for the rapid paper-based colorimetric detection of glucose in artificial saliva. *Analytical Sciences*, 37(4), 561-567.
- Gölcez, T., Kılıç, V., & Şen, M. (2019). *Integration of a Smartphone Application with a  $\mu$ PAD for Rapid Colorimetric Detection of Glucose*. Paper presented at the 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Hui, H., Zhang, X., Li, F., Mei, X., & Guo, Y. (2020). A partitioning-stacking prediction fusion network based on an improved attention U-Net for stroke lesion segmentation. *IEEE Access*, 8, 47419-47432.
- Karthik, R., Menaka, R., Johnson, A., & Anand, S. (2020). Neuroimaging and deep learning for brain stroke detection-A review of recent advancements and future prospects. *Computer Methods Programs in Biomedicine*, 197, 105728.

- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 461-468.
- Keskin, R., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). *Multi-gru based automated image captioning for smartphones*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Khezrpour, S., Seyedarabi, H., Razavi, S. N., & Farhoudi, M. (2022). Automatic segmentation of the brain stroke lesions from MR flair scans using improved U-net framework. *Biomedical Signal Processing Control*, 78, 103978.
- Kilic, B., Dogan, V., Kilic, V., & Kahyaoglu, L. N. (2022). Colorimetric food spoilage monitoring with carbon dot and UV light reinforced fish gelatin films using a smartphone application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1562-1572.
- Kilic, V., & Şen, M. (2019). *Smartphone-based Colorimetric Analysis for the Detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Using a  $\mu$ PAD*. Paper presented at the 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Kılıç, V. J. (2021). Deep gated recurrent unit for smartphone-based image captioning. *Sakarya University Journal of Computer Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Kılıç, V. Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Telefon Uygulaması ile Kan Şekeri Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26, 289-294.
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences*, 38(2), 347-358.
- Kirschner, H., & Schrag, M. (2021). Management of intracerebral hemorrhage: update and future therapies. *Current Neurology Neuroscience Reports*, 21, 1-5.
- Koç, U., Sezer, E. A., Özkaya, Y. A., Yarbay, Y., Taydaş, O., Ayyıldız, V. A., . . . Beşler, M. S. (2022). Artificial Intelligence in Healthcare Competition (Teknofest-2021): Stroke Data Set. *The Eurasian journal of medicine*, 54(3), 248.
- Kökten, A., & Kılıç, V. (2021). Detection of COVID-19 Cases with Fuzzy Classifiers Using Chest Computed Tomography. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26, 68-72.
- Kumar, A., et al. (2020). CSNet: A new DeepNet framework for ischemic stroke lesion segmentation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 193.
- Liu, L., Kurgan, L., Wu, F.-X., & Wang, J. J. (2020). Attention convolutional neural network for accurate segmentation and quantification of lesions in ischemic stroke disease. *Medical Image Analysis*, 65, 101791.
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). *Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels*. Paper presented at the 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). *Deep Learning based Colorimetric Classification of Glucose with Au-Ag nanoparticles using Smartphone*. Paper presented at the 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2021). *Fuzzy classifier based colorimetric quantification using a smartphone*. Paper presented at the Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS 2020 Conference, Istanbul, Turkey, July 21-23, 2020.
- Oktaç, O., Schlemper, J., Folgoc, L. L., Lee, M., Heinrich, M., Misawa, K., . . . Kainz, B. J. (2018). Attention u-net: Learning where to look for the pancreas. *arXiv preprint arXiv*.
- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. J. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 1168-1174.
- Rajinikanth, V., Fernandes, S. L., Bhushan, B., & Sunder, N. R. (2018). Segmentation and analysis of brain tumor using Tsallis entropy and regularised level set. In *Proceedings of 2nd International Conference on Micro-Electronics, Electromagnetics and Telecommunications: ICMEET 2016*, (pp. 313-321).
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*. Paper presented at the Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18.
- Sayraci, B., Agrali, M., & Kilic, V. J. (2023). Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 46, 109-115.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. J. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv*.
- Şen, M., Yüzer, E., Doğan, V., Avcı, İ., Ensarioğlu, K., Aykaç, A., . . . Kılıç, V. J. (2022). Colorimetric detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Chi nanozyme modified  $\mu$ PADs using artificial intelligence. *Microchimica Acta*, 189(10), 373.
- Tursynova, A., Omarov, B., Sakhipov, A., & Tukenova, N. J. (2022). Brain Stroke Lesion Segmentation Using Computed Tomography Images based on Modified U-Net Model with ResNet Blocks. *International Journal of Online Biomedical Engineering*, 18(13).
- Wu, J., & Tang, X. (2019). Brain segmentation based on multi-atlas guided 3D fully convolutional network ensembles. *arXiv preprint arXiv*, 1901.01381.
- Yüzer, E., Doğan, V., Kılıç, V., & Şen, M. J. (2022). Smartphone embedded deep learning approach for highly accurate and automated colorimetric lactate analysis in sweat. *Sensors Actuators B: Chemical*, 371, 132489.
- Zhang, Z., Liu, Q., & Wang, Y. J. (2018). Road extraction by deep residual u-net. *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters*, 15(5), 749-753.



## Buharlı Pişirme Kazanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği

Süleyman Şimşek<sup>1</sup>, Nurşah Olsun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0593-8036),

<sup>2\*</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, İstanbul, Türkiye, (ORCID:0000-0003-2078-815X), nursaholsun@stu.aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1132222)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, S. & Olsun, N. (2023). Buharlı Pişirme Kazanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 113-120.

### Öz

Buharlı pişirme kazanları büyük çaplı endüstrilerde ve küçük çaplı işletmelerde sıkça kullanılmaktadır. Buharlı pişirme kazanlarının kullanım alanına ve ihtiyaca bağlı olarak birçok çeşidi bulunmaktadır. Hacimsel ve kullanılan basınca göre değerlendirildiğinde kazanların endüstriyel ekipman haline gelmesi ile birlikte kullanım alanında ortaya çıkan risklerin daha çok arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple yapılan çalışma da buharlı pişirme kazanları kullanım sebebi ile ortaya çıkabilecek risklerin önlenmesi ve kontrolünün sağlanması için uygulanması gereken önlemler, standartlar incelenmiştir. Standartlar kapsamında yapılacak çalışmaların neler olduğu, yapılmadığı takdirde uygulanacak yaptırımların neler olduğu araştırılmıştır. Buharlı pişirme kazanlarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden standartlar haricinde oluşabilecek riskleri, ramak kala olaylarını ve iş kazalarını önlemek için işletme içi yapılması gereken adımlar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buharlı pişirme kazanları, İş kazası, Kontrol Çalışmaları

## Occupational Health and Safety in Steam Cooking Boilers

### Abstract

Steam cooking boilers are frequently used in large-scale industries and small businesses. There are many types of steam cooking boilers depending on the usage area and need. When evaluated in terms of volume and pressure used, it has been observed that the risks arising in the field of use have increased more with the boilers becoming industrial equipment. For this reason, in this study, the measures and standards that should be applied in order to prevent and control the risks that may arise due to the use of steam cooking boilers were examined. It has been researched which studies to be done within the scope of the standards and the sanctions to be applied if they are not done. In order to prevent the risks that may occur outside the standards in terms of occupational health and safety of steam cooking boilers, near misses and work accidents, the steps to be taken in the enterprise have been examined.

**Keywords:** Steam cooking boiler, Work accident, Control Studies

## 1. Giriş

Buhar genellikle katı veya sıvı fazdaki suyun sublimasyon veya buharlaşma yolu ile ortaya çıkar. Buhar, ideal bir ısı taşıyıcı olması, küçük çaplı borularla daha fazla ısı taşıyabilmesi, çevre dostu olması, geri kazanım sebebi ile enerji tasarrufu sağlaması gibi sebeplerden dolayı kullanımı tercih edilen bir üründür. Buhar, petrokimya, termik santrallerinde, elektrik üretiminde, sterilizasyon amacı ile, ilaç ve gıda endüstrisi gibi bir çok endüstriyel üretim alanında kullanımı tercih edilen bir üründür. Özellikle gıda sanayisinde buharlı pişirme kazanları ve buhar basınçlı kaplar sıkça kullanılır.

Buharlı pişirme kazanları gaz basınçlı kapalı kazan tipleridir. Buharlı pişirme kazanlarının gıda sanayisinde kullanımını basitçe tanımlamak gerekirse, düdüklü tencerelerin endüstriyel hali olarak tanınması uygun görülür [1].

Buharlı pişirme kazanlarının üzerinde termometre, manometre gibi ölçüm cihazları bulunur [2]. Bu cihazlar yardımı buharlı pişirme kazanlarında ile istenilen basınç ve sıcaklık ayarlanır. Basınç ve sıcaklık ayarlarına göre buharlı pişirme kazanlarının kullanım alanları ve kullanım sırasında sağladığı avantajlar çeşitlilik gösterir.

Buharlı pişirme kazanları basınç ayarlarına göre genellikle üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar, düşük basınçlı, yüksek basınçlı ve üç farklı basınç ayarı ile kullanılan buharlı pişirme kazanlarıdır [3]. Düşük basınçlı buharlı pişirme kazanlarında buhar sıcaklığı 104 ile 109°C, buhar basıncı ise 0.3-0.5 bar arası olarak kullanılır [1]. Büyük çapta üretimi yapılacak gıdaların suda pişirmeden daha kısa sürede pişirilmesini sağlama amacı ile kullanılır. Yüksek basınçlı buharlı pişirme kazanlarında buhar sıcaklığı 120°C ve buhar basıncı 1 bar olarak ayarlanır [4]. Bu pişirme kazanında buhar basıncı yüksek olduğu için pişirme süresi çok hızlıdır. Süper kritik basınçlı buharlı pişirme kazanları ise üç farklı basınç ayarında pişirme sağlar. Bu kazan tipi istenilen basınç ve sıcaklık ayarında ve bazı firmaların özel üretimi ile yapılır [5]. En çok kullanılan süper kritik basınçlı buharlı pişirme kazanlarında basınç, 1 bar, 0.4 bar ve basınçsız olacak şekilde ayarlanır.

Aynı şekilde buharlı pişirme kazanları ocak tipine göre, hacmine göre, kullanılan yakıt cinsine göre ve kullanım yerine göre olmak üzere birden fazla değişken kritere göre sınıflandırılır [6].

Genellikle yüksek basınç ve sıcaklık altında kullanılan buharlı pişirme kazanları, yüksek risk taşıyan ekipman grubu içerisinde ele alınır [7]. Bu sebeple kontrol sağlamak amacı ile termostat ve presostat gibi kontrol cihazları bulunmaktadır [8]. Ayrıca olası bir risk durumunda da kullanılmak üzere her buharlı pişirme kazanının üzerinde güvenlik ventili bulunur [9]. Fakat kontrol ve ölçüm cihazları oluşabilecek riskleri önleme ve engelleme çalışmalarında yeterli olmaz. Buharlı pişirme kazanlarında kullanıma süresine bağlı olarak kazan materyalinde metal yorgunluk oluşabilmektedir [10]. Yetersiz bakım, hatalı kullanım sonucu iş kazaları ortaya çıkar ve ciddi yaralanmalara sebebiyet verir. Buharlı pişirme kazanının periyodik kontrollerinin yapılması hem güvenli çalışma koşullarının gereği, hem de yasal mevzuatlar gereğince zorunludur [11].

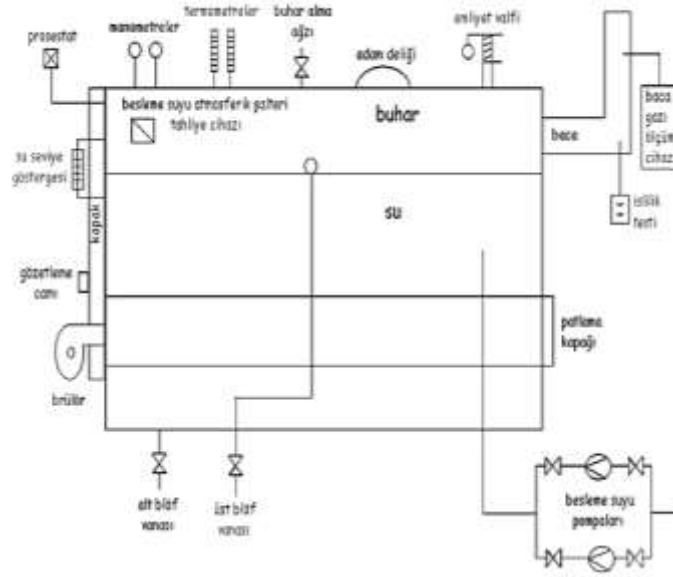
Buharlı pişirme kazanı periyodik muayene ve kontrolleri, "6331 Sayılı İş Sağlığı Ve Güvenliği Kanunu" gereğince oluşturulan 25.04.2013 tarih ve 28628 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "iş ekipmanlarının kullanımında sağlık ve güvenlik şartları yönetmeliği" kapsamında yapılmaktadır. "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği" Ek-III Tablo.1 de "Buharlı Pişirme Kazanları TS 11673:2016 Standardına" bağlı olarak aksi belirtilmediği sürece senede minimum 1 kere periyodik kontrollerinin yaptırılması zorunludur [12].

Bu çalışmada buharlı pişirme kazanlarının kullanım sırasında zamana bağlı olarak ortaya çıkabilecek riskler ve iş kazaları incelenmiştir. Ortaya çıkabilecek risklerin önlemesi amacı ile yapılması gereken çalışmaların uygulama şeması hazırlanmıştır. Yasal zorunluluklar gereği yapılması gereken periyodik bakım çalışmalarının kimler tarafından yapılabileceği ve uygulamaları yaptırma sorumluluğunun kimlerde olduğu işlenmiştir. Bu hususta yapılan tetkik ve kontrol sonuçlarında kullanıma uygun bulunmayan kazanlar da ne gibi bir yol izlendiği ve konu hakkında ki yasal düzenlemeler araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Buharlı pişirme kazanı

Buharlı pişirme kazanları genellikle yüksek basınç ve sıcaklık altında çalıştırılır. Kazanlarda bulunan yüksek sıcaklık ve basınç etkisi kullanım sırasında risklere yol açar. Buharlı pişirme kazanları üzerinde kullanılan basınç, sıcaklık değerlerinin kontrolünün ve takibinin sağlanması için emniyet-kontrol ekipmanları ve göstergeler bulunmaktadır [13].



Şekil 1.1 Buharlı Pişirme Kazanı Gösterge-Kontrol Elemanları Şablonu

### 2.1.1. Emniyet valfleri

Herhangi bir nedenle kazan içindeki basıncın istenilen değer üzerine çıkması durumunda otomatik olarak açılarak kazan basıncının istenilen düzeye gelmesini sağlayan kontrol elemanıdır. İki türlü emniyet valfi vardır, bunlar ağırlıklı emniyet valfi ve yaylı emniyet valfidir. Emniyet valfleri, maksimum çalışma basıncının %6 üzerine çıkılmadan, kazan tam kapasitede iken buharı dışarı atabilecek ölçüde olmalıdır.

### 2.1.2. Presostatlar

Sıcaklık ve basınç değerlerini hissedip ilgili cihazın kontrolünü sağlayan elemanlardır. Kazan içindeki basıncı belirli bir noktada tutmamızı sağlayan ve basınç sinyalini elektrik sinyaline çeviren eleman olup ayarlanan noktada kontak vererek brülörün devreden çıkmasını sağlar. Ayarlanan fark basıncı sağlandığında tekrar devreye girer.

### 2.1.3. Manometreler

Kazan içerisinde ki basıncı gösterir. Kazan üzerinde iki manometre kullanılır ve iki manometre de aynı değer okunmalıdır. Kazanda ayarlanmak istenen basınç manometre üzerinde işaretlenir. Manometreler farklı değer gösteriyorsa birisi mutlaka arızalı demektir.

### 2.1.4. Termometreler

Kazan içerisinde sıcaklık ölçen ve sıcaklığın gösterilmesini sağlayan göstergedir.

### 2.1.5. Patlama Kapağı

Patlama kapağı patlamalara karşı alınan bir önlemdir ve kazan üreticisi sorumluluğundadır. Gaz basıncının arttığı durumda gerçekleşen patlama da kapak geri itilerek basıncı alır.

Buhar basınçlı kazanların oluşturduğu risklerin gerçekleşme olasılığı kullanım süresine bağlı olarak kazan sisteminde oluşan yıpranmalar, iş körlüğü ve periyodik kontrollerin düzenli uygulanmaması ile birlikte artış gösterir. Bu sebeple ciddi yaralanmalara ve iş kazalarına sebebiyet veren durumlar ortaya çıkar. Ortaya çıkabilecek riskleri ve iş kazaları ortadan kaldırmak amacı ile proses içerisinde kazan kullanan operatörlere 4 adımda kontrol eğitimleri verilir.

### 2.1.6. Genel Kontroller

Kazan kullanımını sağlayan operatöre eğitim verilir. Kazan sicil kartı, bakım onarım kayıtları, kullanma talimatları, uyarı ve kapasite levhaları ve fonksiyonlara ilişkin işaretlemeler kontrol edilir.

Basınç Kaynağı ve Ortam Kontrolleri: Kazanların kullanıldığı tesisteki iş sağlığı ve güvenliği uzmanları işverene gerekli öneri ve tavsiyeleri verir. Ortam uygunluğu, elektrik tesisatı ve aydınlatma, gider kontrolleri ve yer süzgeçleri kontrol edilir [14].

### 2.1.7. Pişirme Kazanı Kontrolleri

Kazan yerleşimi, yalıtım durumu, ısı ve buhar kaynağı ve muhafazası, kaynak dikişleri uygunluğu, hücre, ceket ve deformasyon durumu, doldurma ve boşaltma vanaları, vana bağlantı noktaları kontrol edilir.

## 2.1.8.Fonksiyon Kontrolleri

Su besleme ve tahliyesi, kapak, ölçü aletleri, presostat ayar değerleri ve çalışması, kontrol cihazları, alarm cihazları, emniyet ventili kontrol edilir. Bağlantılar ve emniyet ventili körlük kontrolü yapılır. Kazan, içinde hava kalmayacak şekilde suyla doldurulur ve etikette belirtilen tasarım basıncı değerini aşmamak üzere belirlenen, işletme basıncının 1,5 katına kadar basınç yavaş yavaş ve tankta gözlem yapılarak uygulanır. Basıncı tank test basıncında, en az 30 dakika olmak üzere, incelemeye yeterli olacak süre kadar tutulur. Bu süre içinde basınç düşmesi olması durumunda mümkünse kaçakların yerleri tespit edilir.



Şekil 1.2 Buharlı pişirme kazanı

4 aşamadan oluşan kontroller yetersiz bakım, metal yorgunluk ve hatalı kullanım kaynaklı oluşabilecek riskleri önlemek amacı ile tesis içerisinde aylık olarak yapılır. Bu kontroller haricinde “İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği” gereği buharlı pişirme kazanlarının periyodik kontrolünün yapılması gerekmektedir.

“İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği” Ek-III Tablo 1. de basınçlı ekipmanların bir parçası olan risk analizleri ve standartlarda aksi belirtilmediği sürece senede minimum 1 kere yapılır.

Bakımları 4 Nisan 2017 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazetesi'nin 30047'nci sayısında “İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” gereği, Bakanlık tarafından yetkilendirilen eğitim kurumlarından eğitimlerini almış kişiler, hizmet yeterlilik belgesi almış uzman ve bakanlık yetki numarası bulunan malzeme mühendisleri, makine veya metal eğitimi bölümü mezunu teknik öğretmenler ya da makine tekniker veya yüksek teknikerleri veya akredite olmuş periyodik kontrol yapan firmaların yetkili olduğu bildirilir.

17 Haziran 2021 tarihinden itibaren, yalnızca kalıcı Ekipnet numarasına sahip olan personeller tarafından periyodik kontrol ve muayene işlemi yapılabilir.

“İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği” Madde 14.3. Fıkrasında; net bir şekilde ‘periyodik kontrol yapacak kuruluşların hizmet yeterliliği belgesi alması veya akredite olması zorunluluğu’ belirtilir.

“İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği” göre buharlı pişirme kazanı periyodik kontrolünü yaptırma sorumluluğu işverene aittir. İlgili yönetmelikte “işyerinde kullanılacak iş ekipmanının yapılacak işe uygun olması ve bu ekipmanın çalışanlara sağlık ve güvenlik yönünden zarar vermemesi için işveren gerekli tüm tedbirleri alır.” maddesi bulunur.

Buharlı pişirme kazanı periyodik kontroller tamamlandıktan sonra kontrol formu tutulur.

Buharlı pişirme kazanı periyodik kontrol formu yönetmelikte belirtilen ulusal ve uluslararası imalat, test ve deney standartları doğrultusunda ürünün teknik bilgilerinin de bulunduğu bir ön kayıt belgesi niteliği taşır. Standardın istediği tüm fiziksel, mekanik ve görsel testler deneyler ile yapılır. Alınan sonuçlar forma işlenir. Bu işlemlerin sonucunda oluşturulan buharlı pişirme kazanı periyodik kontrol raporu, ilgili periyodik kontrol teknik uzanın bulguları ve teknik yöneticinin de onayıyla hazırlanmış olur.

İş Sağlığı ve Güvenliği yönünden uygun bulunmayan hususların tespit edilmesi ve bu hususlar giderilmeden iş ekipmanının kullanılmasının sakıncalı olduğu belirtilmesi halinde, bu hususlar giderilinceye kadar iş ekipmanı kullanılmaz.

Söz konusu eksikliklerin giderilmesinden sonra yapılacak ikinci kontrol sonucunda, eksikliklerin giderilmesi için yapılan iş ve işlemler ile iş ekipmanının bir sonraki kontrol tarihine kadar ‘UYGUNDUR’ ibaresinin de yer aldığı ikinci bir rapor düzenlenir. Buharlı pişirme kazanlarına uygulanan bakımlar ve periyodik kontroller düzenli olarak yapılmadığında veya kontrolden geçilmemesine rağmen kazan kullanımının devam edilmesi gibi durumlarda bir çok iş kazasına sebebiyet veren durumlar ortaya çıkar [15].

Ortaya çıkan bu durumlar iş kazalarını ciddi boyutlara taşır ve yaralanmalara, yaşamlar kayıplara sebebiyet verir.

2020-2022 yılları arası Türkiye de kazan patlaması kaynaklı iş kazaları araştırıldığında 7 ayrı ilde farklı sebeplerden dolayı kaza gerçekleşen kazalara dair internet haberleri bulunmuştur. Bu veriler Tablo 1.1.’de verilmiştir.



Tablo 1.1. 2020-2022 Yıllarında gerçekleşen iş kazaları

İL	TESİS	KAZA SEBEBİ	KAZA SONUCU ORTAYA ÇIKAN KAYIPLAR
İZMİR	Konserve Fabrikası	Yüksek basınç	1'i ağır 10 kişi yaralı
MERSİN	Süt Ürünleri İmalatı	Yüksek basınç	1 kişi ağır yaralı
MANİSA	Konserve Fabrikası	Sebebi bilinmiyor	1'i ağır 9 kişi yaralı
KONYA	Meyve Suyu İmalatı	Sebebi bilinmiyor	3 kişi yaralı
ANTALYA	Süt İşleme Tesisi	Buhar sıkışması	1'i ağır 2 kişi yaralı
URFA	Süt ve Yoğurt Üretimi	Aşırı ısınma	2 kişi yaralı
RİZE	Çay Üretim Tesisi	Susuz kalması	2 kişi vefat etmiştir

Tabloda sıralanan verilere göre bir çok gıda üretim tesisinde sebebi bilinmeyen, buhar sıkışması veya yüksek basınç kaynaklı, kazanlarda kuruma ve aşırı ısınma sebebi ile bir çok patlama gerçekleştirilmiştir. Kaza kayıtları tutulmuştur ve incelemeler yapılmıştır. Bunların sonucunda gerçekleşen kazaların önlenmesi ve tekrarlanmaması için de çalışmalar yapılmalıdır. Onarım-bakım çalışmaları ve İş sağlığı ve güvenliği bilincinin oluşturulması, ortaya çıkabilecek kaza ve kaza sonucu oluşacak yaralanmaların önlenmesinde büyük fayda sağlar.

Her tesisdeki kaza ve risklerin ayrı bir dinamiği bulunmaktadır. Bu sebeple her tesis kendine özgü olacak şekilde risk haritası oluşturmalıdır. Risk haritasına bağlı olarak gerekli acil durum planları oluşturmalı ve bu planlar kapsamında riskleri ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmalıdır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. 5x5 Matris

5x5 Matris yöntemi L tipi matris olarak da bilinmektedir. Bu yöntem risk değerini; tehlikenin gerçekleşme ihtimali ve gerçekleşme sonucu ortaya çıkacağı etkinin çarpımı ile belirlemektedir.

Risk = (Olasılık x İhtimal)

Tablo 2.1. Olayın Gerçekleşme Skorları

OLASILIK	PUAN	SKORUN DERECELENDİRİLMESİ
Çok Küçük	1	Hemen hemen hiç
Küçük	2	Çok az(sadece anormal şartlarda (yılda bir defa))
Orta	3	Az( yılda bir kaç defa)
Yüksek	4	Sık sık (ayda bir)
Çok Yüksek	5	Çok sık (normal şartlarda (haftada bir, hergün))


Tablo 3.1 Olayın gerçekleşmesi sonucu oluşacak etki

ŞİDDET	PUAN	SKORUN DERECELENDİRİLMESİ
Çok Küçük	1	İlk yardım desteği, iş saat kaybı yok
Küçük	2	İlk yardım gerektiren kalıcı etkisi olmayan tedavi, iş günü kaybı yok
Orta	3	Yatarak tedavi, hafif yaralanma
Yüksek	4	Uzun süreli tedavi, ciddi yaralanmalar, meslek hastalığı
Çok Yüksek	5	Ölüm, iş göremezlik hali

Tablo 4.1. Olasılık x Şiddet Değerleri

		ŞİDDET				
		5	4	3	2	1
OLASILIK	x					
	5	25	20	15	10	5
	4	20	16	12	8	4
	3	15	12	9	6	3
	2	10	8	6	4	2
	1	6	4	3	2	1

Tablo 6. 1. Buharlı pişirme kazanlarında risk analizi

RİSK OLUŞTURAN MAKİNE	TEHLİKE TANIMI	TEHLİKE TÜRÜ	MARUZ KALANLAR	RİSKE BAĞLI YAŞANABİLECEKLER	ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER	İLK RISK DEĞERLENDİRİLMESİ			
						OLASILIK	ŞİDDET	RİSK SINIFI	
	KontROLSÜZ KULLANIM	Tehlikeli durum	Bölüm çalışanı	Yaralanma, maddi kayıp, yanma, makine hasarı	Makine talimatları hazırlanmalı, kullanım hakkında eğitim verilmeli	4	2	8	DÜŞÜK
	Periyodik bakımların yapılmaması	Tehlikeli hareket, tehlikeli durum	Bölüm çalışanı	Makine hasarı, yaralanma,	Bakımların yönetmeliklere uygun periyotlarda yapılması sağlanmalı, kontrol formları doldurulmalı	3	3	9	ORTA
	Basınç testinin yapılmaması	Tehlikeli hareket, tehlikeli durum	Tüm çalışanlar	Yanma, yaralanma, uzuv kaybı, yangın	Gösterge kontrolü yapılmalı	3	4	12	ORTA
	Uyarıcı levhaların bulunmaması	Tehlikeli hareket, tehlikeli durum	Tüm çalışanlar	Yanma, iş kazası	Uyarıcı levhalar asılmalı	3	3	9	ORTA
	Gaz kaçağı olması	Tehlikeli durum	Tüm çalışanlar	Zehirlenme, maddi kayıp	Gaz dedektörleri kullanılmalı, acil durum yönlendirmeleri eklenmeli	3	5	15	YÜKSEK
	Ölçüm cihazları ve göstergelerde arıza olması	Tehlikeli durum	Bölüm çalışanı	Yaralanma, makine hasarı	Denetleme ve periyodik kontroller yapılmalı, acil durum yönlendirmeleri eklenmeli	3	4	12	ORTA
	Besleme pompalarında arıza olması	Tehlikeli durum	Tüm çalışanlar	Yanma, yaralanma, uzuv kaybı, yangın, maddi kayıp, makine hasarı	Denetleme ve periyodik bakımlar yapılmalı, acil durum yönlendirmeleri eklenmeli	3	5	15	YÜKSEK
	Patlama kapaklarında arıza olması	Tehlikeli durum	Bölüm çalışanı	Yangın, tesis tahribatı, yaralanma, yanma, ölüm, maddi kayıp, makine hasarı	Denetleme ve periyodik bakımlar yapılmalı, acil durum yönlendirmeleri eklenmeli	3	5	15	YÜKSEK

5x5 Matris formülü ve ihtimal, şiddet skor tabloları kullanarak yapılan çarpım sonucunda ortaya çıkan risk değerleri belirlenmiştir. Bu risk değerleri sonucu alınması gereken önlemler Tablo 5.1. de verilmiştir.

Tablo 5.1 Sonuç değerine göre alınacak tedbirler

SONUÇ	ALINACAK TEDBİRLER
<b>Yüksek (15,16,20,25)</b>	Kabul edilemez risk grubudur. Çalışma Kabul edilebilir limite çekilene kadar çalışma durdurulur ve çalışmaya başlanmaz.
<b>Orta (8,9,10,12)</b>	Dikkat edilmesi gereken risk grubudur. Değerlendirilmeye alınan risk için hızlı ve kontrollü tedbirler alınmalıdır.
<b>Düşük (1,2,3,4,5,6)</b>	Kabul edilebilen sınırdaki risk grubudur. İyileştirilmelere devam edilmelidir.

Tüm bu veriler kullanılarak buharlı pişirme kazan çalışmalarında L tipi matris yöntemi kullanılarak risk değerlendirme çalışması yapılmıştır.

Analiz sonuçları ve ortaya çıkabilecek riskler sonucu alınması gereken önlemler Tablo 6.1 de yer almaktadır.

Yapılan risk analizi sonucunda 1 tanesi düşük risk, 4 tanesi orta risk, 3 tanesi yüksek risk olmak üzere 8 risk tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Buharlı pişirme kazanları endüstriyel uygulamalarda çokça tercih edilen ekipmanlardan biridir. Kazanlar genellikle toplu yemek üretimi yapan firmalarda ve süt ve süt ürünleri, konserve, meyve suyu, çay gibi birçok gıda ürününün üretimini yapan tesislerde rastlanmaktadır.

Kazanların üretim sırasında prosesi hızlandırma, kullanılan yakıt miktarını ve ortaya çıkacak atıkları azaltma gibi birden fazla avantajı bulunmaktadır. Fakat kazanlar kullanımında ortaya çıkabilecek riskler için gerekli tedbirler alınmadığında ve bakımların yapılmadığı durumlarda, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık etkisi ile çalışan bir mekanizması olması sebebi ile yüksek risk bulundurmaktadır. Bu da kazanların dezavantajı olarak sayılabilmektedir.

Kazanların kullanımında genel olarak kullanım ve kontrol bilincinin düşük olduğu kanısına varılmıştır. Sadece son 2 yıl içerisinde kazan patlaması sebebi ile oluşturulan kayıtlara bakıldığında sonucu çalışanların hayatına mal olan veya kalıcı hasar bırakan birçok iş kazası görülmüştür.

Buharlı pişirme kazanı için 5x5 matris metodu ile risk analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda risk skroununun oldukça yüksek olduğu ve iş güvenliği uzmanının tecrübesi ve dikkati risk skorunun doğru belirlenmesi açısından çok önemli olduğu tespit edilmiştir.

Bu sebeple "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği" Ek-III Tablo 1. de basınçlı ekipmanların bir parçası olan risk analizleri ve standartlarına bağlı olarak aksi belirtilmediği sürece senede minimum 1 kere periyodik bakımının yapılması, uygunsuzluk bulunduğu takdirde bu durum giderilene kadar takibinin sağlanması ve kullanıma kapatılması gerekmektedir.

Kazan operatörleri için oluşabilecek riskler giderilmelidir ve periyodik bakımlar düzenli olarak yapılmalıdır. Bu önleyici-düzeltilici faaliyetlerin devamlılığının sağlanması ve risklerin öncelikle azaltılıp daha sonra ortadan kalkmasını sağlama amacı ile risk değerlerine bağlı olarak tesislerde İş sağlığı ve güvenliği uzmanı bulundurulmalıdır. İSG uzmanı işveren ile eş zamanlı olarak çalışmalıdır. İşverenin kontrolleri periyodik olarak yaptırma zorunluluğu bulunmaktadır.

#### Kaynaklar

1. VAROL, E. and Y. SEÇİM, *Gastronomi ve Mutfak Sanatları Uygulama Mutfağının Tasarım ve Tetkiki: İstanbul Örneği*. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi. **11**(2): p. 763-782.
2. Durukafa, D., *Buhar üretim merkezlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve bir endüstriyel tesisin analizi*. 2010.
3. Batu, A. and B. Kırmacı, *Lokum üretimi ve sorunları*. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006. **3**: p. 37-49.
4. Sürücüoğlu, M.S. and F. Balgamış, *Beslenme eğitiminin yiyecek hazırlama ve pişirme yöntemlerine etkisi*. Beslenme ve Diyet Dergisi, 1987. **16**(1): p. 39-50.
5. ERGÜLEN, A. and H. KAZAN, *TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE MALİYETİN OPTİMİZE EDİLMESİ: Gıda Sektöründe Örnek Uygulama*. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. **10**(1): p. 101-116.
6. Serinkaya, E.Y., *Mutfak kültürünün Gaziantep'in geleneksel konutlarında incelenmesi*. Artium, 2017. **5**(1): p. 27-41.
7. Alsaffar, A. and Z.B. Kalyoncu, *Pişirme yöntemleri*. 2015: Beta.
8. AKTÜRK, T.B. and U. FİDAN, *Buhar Kazanı Otomasyon Sistemi için Uzakta Görüntüleme Sistemi Tasarımı*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2009. **9**(1): p. 71-78.

9. YARALI, E. and Ş. ÇETİNER, *İnkübasyon Çıkış Asitliğinin Geleneksel Olarak Üretilen Süzme Yoğurtların Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi*. Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 2020. **17**(3): p. 297-302.
10. Parlak, T., *Gıda sanayinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları sakız-şekerleme üretim fabrikası örneği*. 2017, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
11. Keskin, C., *Endüstriyel enerji yönetiminde değer akış haritalarının kullanımı*. 2013, Enerji Enstitüsü.
12. MEZARCIÖZ, S. and R.T. Oğulata, *Makale: 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu-Tekstil İşletmelerinde İSG İş Sağlığı ve Güvenliği Sorunları*. Mühendis ve Makina: p. 73-76.
13. Özgenç, A., *Makale: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Üzerine Değerlendirmeler*. Mühendis ve Makina: p. 81-90.
14. GÖNÜL, E. and B. BAYRAKTAROĞLU, *İŞ EKİPMANLARININ İŞLETME AŞAMASINDAKİ YORULMA DURUMLARININ BELİRLENMESİNDE TAHRİBATSIZ MUAYENENİN ÖNEMİ*.
15. ÜNER, M.H. and H.S. AYBERK, *Düzce ilindeki mutfak çalışanlarının genel bilgileri ile kaza geçirme oranlarının incelenmesi*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019. **7**(1): p. 849-860.
16. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1033869>
17. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/907731>



# Eminönü Hanlar Bölgesi'nin Tarihsel Süreç İçinde Gelişimi\*

Şeyma Kiraz Ekşi<sup>1†</sup>, Leyla Suri<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık ABD, Koruma ve Restorasyon Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5064-7492), [seyma.eksi@istanbulticaret.edu.tr](mailto:seyma.eksi@istanbulticaret.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Koruma ve Restorasyon, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3225-1221), [lsuri@ticaret.edu.tr](mailto:lsuri@ticaret.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 23 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 14 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1223667)

**ATIF/REFERENCE:** Ekşi, Ş. & Suri, L. (2023). Eminönü Hanlar Bölgesi'nin Tarihsel Süreç İçinde Gelişimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 121-133.

## Öz

Toptan ve perakende ticari faaliyetlerin merkezi niteliğindeki Hanlar Bölgesi, Haliç'in korunaklı bir liman olma özelliğine bağlı olarak M.Ö bölgede oluşum başlamış ve günümüze dek kademeli olarak gelişimini sürdürmüştür. Günümüzde aktif olarak işleyişini sürdürse de 19. Yüzyılın son döneminde uygulanan şehircilik kararları ile dokuda meydana gelene değişimler, ticari faaliyetlerin farklı alanlara yönelmesine neden olmuş ve yapılarda boşluklar meydana gelmiş olup, yapılar tam kapasite kullanılmamaktadır. Han yapılarının büyük bir kısmı günümüze ulaşmış ancak; bölgenin süreç içinde yaşadığı değişimlere ayak uyduramamıştır. Yapılara eklenen özgün olmayan ekler, özgün fonksiyon dışı kullanımlar ve atmosferik olaylar sonucu meydana gelen bozulmalar nedeniyle doku ve yapı ölçeğinde bölgenin yeniden değerlendirilmesi ihtiyacını açığa çıkartmıştır. Çalışma kapsamında bölgenin oluşumu, gelişim süreci, günümüze dek yaşadığı değişimler incelenmiş ve mevcut durumu tespit edilerek özgün karakterinin uğradığı değişimlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Eminönü, Tarihi Yarımada, Hanlar Bölgesi, Han, Tarihçe.

## The Historical Development of Eminönü in The Historical Process

### Abstract

The Hanlar Region, which is the center of wholesale and retail commercial activities, started to form in the region in BC due to the Golden Horn's feature of being a sheltered port and has continued its development gradually until today. Although it continues to operate actively today, the urbanization decisions implemented in the last period of the 19th century and the changes in the texture caused commercial activities to turn to different areas and gaps occurred in the buildings, and the buildings are not used at full capacity. Most of the inn structures have survived to the present day, but; could not keep up with the changes experienced by the region in the process. The non-original additions added to the buildings, the original non-functional uses and the deteriorations caused by atmospheric events revealed the need for re-evaluation of the region on the texture and structure scale. Within the scope of the study, the formation of the region, its development process, the changes it has experienced until today were examined and it was aimed to evaluate the changes in its original character by determining its current situation.

**Keywords:** Eminönü, Historical Peninsula, Inns Area, Inn, History

\* Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Koruma ve Restorasyon Tezli Yüksek Lisans Programında, Doç. Dr. Leyla Suri danışmanlığında, Şeyma Kiraz Ekşi tarafından yürütülecek olan, "Tarihi Yapıların sürdürülebilirlik Bağlamında Eminönü Hanlar Bölgesinin Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

† Sorumlu Yazar: [seyma.eksi@istanbulticaret.edu.tr](mailto:seyma.eksi@istanbulticaret.edu.tr)

## 1. Giriş

Eminönü hanlar bölgesi, İstanbul tarihi Yarımada'da asırlar boyunca işleyen deniz ve kara yoluyla ticaretinin kesişim noktasında konumlanmıştır. Bölge, asırlar içinde katmanlı ve özgün şekilde oluşmuş kültürel yapısı ve siyasi önemi dolayısıyla ticaretin de merkezi olmuştur (Çeçener 2011). Asya ile Avrupa aynı zamanda Akdeniz ile Karadeniz ticaret yollarının kesişim noktası olmuştur (Kiper 2015). Bu ticari işlevin gerekliliği olarak *han* yapıları inşa edilmiştir. Konumu itibarıyla doğal liman özellikleri taşıyan Haliç ilk yerleşim zamanlarından itibaren limanları ve rıhtımları ile ticari faaliyetlere imkân sağlayan işlevi Bizans'tan Türk dönemine dek sürmüştür (Kuban 2016). Venedik, Ceneviz ve deniz ticareti yapan diğer Avrupa ülkelerine ait iskele ve depolama yapıları Haliç girişinde yer almakta olup, mal aktarımı ve konaklamayı sağlayan *tarihi han* yapıları ise yoğun olarak Kapalıçarşı ve Sultanahmet meydanına yönelen yolların bulunduğu bölgede yer almaktadır (Güran 1978).

Hanlar bölgesi 15. yüzyılda Oluşmaya başlamış sonraki yüzyıllarda gelişmiş, 19 yüzyılın sonunda oluşumunu tamamlamıştır. Kentin ticaret merkezi olan bölge Endüstri devrimi ile kentsel rolü değişime uğramıştır. 20. Yüzyıl itibarı ile farklılaşan ihtiyaçlar, alım satım yöntemleri, lojistik yöntemler hanlar bölgesinin değişim sürecini hızlandırmıştır. Bölgede, hala yoğun olarak ticari ve turistik faaliyetler gerçekleşmesine rağmen fiziksel koşullar nedeniyle yenilenmeye ayak uyduramamıştır (Benli 2007).

Bu çalışma, Tarihi Yarımada Eminönü bölgesinde, hanların oluşum ve gelişim sürecini inceleyerek, özgün dokuyu tespit ederek, günümüzde bölgenin ve yapıların özgün karakterinin uğradığı değişimlerin değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Belirtilen kapsamda, bölgenin tarihi araştırılmıştır. Ulaşılabilen tüm yazılı ve görsel kaynaklar, imar-nazım planları, Pervititch sigorta haritaları incelenerek bölgenin oluşum -gelişim süreci ve bu sürece etki eden faktörler incelenmiştir. Elde edilen veriler ile değişen özellikler saptanmış, tablolar ve görseller ile çalışmaya eklenmiştir. 20. Yüzyıl itibarı ile bölgede meydana gelen değişimlerin bölgeye etkileri değerlendirilmiştir. Bölgede han yapıları ile ilgili kısmi restorasyon çalışmaları yapılmış, yapısal ölçekte çalışmalar yapılmış ancak bölge bütüncül olarak değerlendirmeye tabi tutulmamıştır (Resmî Gazete 2007). Tarihi çevrenin sürdürülebilmesi için bölgenin hem yapısal hem de kentsel ölçekte bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi, kentsel ölçekte çok fazla çalışmanın yer almadığı alanı besleyeceği düşünülmektedir.

## 2. Eminönü Hanlar Bölgesinin Tarihsel Gelişimi

Hanlar Bölgesi; İstanbul tarihi Yarımada'nın Eminönü ilçesinde, Haliç limanından Beyazıt yönüne doğru uzanan aksın üzerinde konumlanan alandır. Rüstem Paşa, Tahtakale, Mercan, Sururi, Daya Hatun, Beyazıt mahallelerini kapsar (Harita 1).



Harita1: Tarihi yarımada haritası ve hanlar bölgesi, çalışma alanı  
(Map1: Historical peninsula map and inns area, study area), (Ekşi,2022)

İstanbul'da ilk yerleşik hayatın M.Ö. 30 yıllarında Lygos halkı ile başladığına dair bulgular elde edilmiştir (Güran, 1978). Grekler, Yunan adalarından ayrılarak M.Ö. 7. Yüzyıl başlarında Kadıköy (Chalcedon), ardından Üsküdar (Chyrsapdis) ve son olarak Galata'yı (Sykae) kurmuşlardır (Kutlu ve Ergün, 2021). Byzantion kolonisinin kurulması ve ilk surların inşası ise M.Ö. 658 yılına tarihlenir. Günümüze dek ulaşan bilgiler Grek şehrinin oldukça gelişmiş olduğu yönündedir. 2. Yüzyıl başlarında Septimus Severus, Byzantion'u ele geçirdikten sonra şehrin sınırlarını genişletmiştir (Kuban, 1970). Konstantin'in 324 yılında Bizans'ı ele geçirmesiyle şehir daha da genişler. Bu genişlemeyle birlikte şehrin sınırları günümüzdeki Hanlar Bölgesi'ni de kapsar duruma gelir. Kentin o dönemde iki kat daha büyüdüğü ve bu büyümenin M.S. 439' a, II. Teodosyüs'ün IV. Kara surlarının inşasına dek, devam ettiği düşünülmektedir (Çeçener, 2011).

## 2.1. Fetihden Sonra

Fatih Sultan Mehmet İstanbul'u 1453'te başkent yapmak üzere fethetmiştir. Ancak kuşatma sırasında surlar ve Bizans sarayı epey zarar görmüştür. Fatih şehri ağır tahribattan kurtarmak için; surların onarılmasını sağlamış, Altınkapı'ya iç kale ve Teodosyus Forumu'nun Haliç yönünde bir saray yaptırmıştır. Şehrin gelişimini sağlamak adına nüfusun arttırılması için bazı teşviklerde bulunarak şehrin nüfusu arttırılmıştır. İstanbul'a, Anadolu'dan ve Rumeli'den gelen Türkler, Yahudiler, Ermeniler ve Rumlar; Haliç, Beyazıt, Aksaray, Samatya semtlerine yerleştirilmişlerdir (Kuban, 1970).

Haliç 15. Yüzyıl'da Bizans döneminde olduğu gibi Fatih döneminde de cazibe merkezi olmuştur. Çarşının merkezi Fatih'in inşa ettirdiği "İç Bedesten" dir. İç Bedesten 'in çevresinde ahşap tek katlı yapılar bulunmaktadır. Ancak bu alan tüm çarşısı oluşturmamaktadır. Diğer dükkânlar günümüzde olduğu gibi, Büyük Çarşı'dan ve Mercan'dan, Haliç ve surlara doğru yayılım göstermişlerdir. Ayrıca demirci ve saraçlardan oluşan bir diğer çarşı da fatih külliyesinin çevresinde konumlanmıştır. "Kürkçü Han" o dönemden günümüze ulaşan tek yapıdır (Güran 1978).

16. Yüzyıl'da ticari merkezler Sirkeci-Unkapanı yönünde gelişme gösterir. Bizans döneminde kullanılan deniz yolları ve depolama alanları Fatih döneminde de Beyazıt döneminde de fonksiyonlarını aktif olarak sürdürmüşlerdir. Kara yollarının gelişmesiyle Trakya'dan gelen malların kara yolu ile Topkapı ve Edirne kapıdan şehre girişi sağlanır. Böylece ticari faaliyetler deniz yolu ve kara yolu kullanılarak devam edilmiştir.

17. Yüzyıl'da şehir daha da kalabalıklaşmıştır. Buna bağlı olarak ticari faaliyetlerde de artış olmuştur. Beyazıt, Aksaray, Saraçhane'ye dek uzanan ticaret alanları, Eminönü-Beyazıt arası "hanlar ve kervansarayların" inşasını gerektirmiştir. Bu bölgede inşa edilen hanlar için ahşap yapı malzemesi kullanılmamış farklı yapı teknikleri uygulanmıştır. 17. yüzyılın sonuna doğru günümüze dek ulaşan han yapıları oluşmaya başlamışlardır (Can, 1996).

18. Yüzyıl'da batıyla gelişen ilişkiler ve etkileşimler şehircilik alanında değişimleri beraberinde getirmiştir. Ancak bu etkiler ticari yapılara pek yansımamıştır. Eminönü, Laleli ve Beyazıt arasında konumlanan hanlar; çok sayıda tüccara, denizciye ve malların aktarımını sağlayan kişilere ve kullanılan binek hayvanlarına hizmet vermektedir. Yapılar, işlevsel ihtiyaçlara yönelik tek ya da iki katlı tasarlanmıştır. Hiçbir han yapısı boyut olarak, çevresinde bulunduğu külliyeler ile rekabet etmemektedir. Kent dokusu içinde yapılar birbirlerini tamamlayıcı mimari öğeler olarak inşa edilmişlerdir (Güran, 1978).

19. Yüzyıl'da batılılaşma süreciyle birlikte ticaret işleyişte de değişiklikler meydana gelmiştir. 1945 yılında inşa edilen Galata köprüsü ile Eminönü-Galata arası ticari faaliyetler artmıştır (Şekil 1). Sanayileşmenin etkisiyle Sirkeci ve Galata'da yeni rıhtımlar, büyük boyutlu kagir yapılar, depolar şehrin dokusunu epey değiştirmiştir. Han yapıları özellikle 17. ve 18. yüzyıl aralığında gelişiminin zirvesine ulaşmışlardır ancak XIX. yüzyıl başlarında duraklama dönemine girmiştir. Aynı yüzyılın sonu, 20. yüzyıl başında ise tamamen han dönemi kapanmıştır (Kuban, 2020), (Şekil 1).



Şekil 1: 19.yüzyılda Hanlar Bölgesi'nin genel görünümü

(Figure 1: General view of the Hanlar Region in the 19th century), (BİMTAŞ, 2005-2007).

Cumhuriyet dönemi, deniz yönünden Yeni Cami'nin tam görünebilmesi amacıyla caminin önüne denk gelen yapılar 1938-1949 yılları arasında kaldırılarak Eminönü meydanı açılmıştır. Bu süreçte balık pazarı yok olmuş, alanın geleneksel dokusu bozulmuştur. 1984-1989 yılları arasında Yemiş İskelesi ve çevresindeki yapılar tamamen kaldırılmıştır. Geriye sadece Zindan Han ve Değirmen Han kalmıştır. Unkapanı yolu açılınca bölgedeki trafik yoğunluğu artmıştır. Bu uygulamalar sonucunda arkada kalan iş merkezleri ile kıyının bağlantısı epey zayıflamıştır. Trafik sorununun artması ve mevcut köprünün eskimesi nedeniyle yeni bir köprü inşa edilmiştir. Ayrıca deniz ve çarşı ilişkisini yeniden canlandırmak için alt geçitler inşa edilerek yapılan tahribatların etkisi hafifletilmeye çalışılmıştır (Kuban, 2020).

## 2.1. Haliç'in Konumu ve Hanların Gelişimine Etkisi

Topografyanın özgün yapısı gereği haliç kıyıları, ilk yerleşimden itibaren doğal ve korunaklı liman özelliği göstermektedir. Bu nedenle liman, rıhtım ve iskeleler bu kıyılara konumlandırılmış, şehrin ticaret merkezi bu bölgede gelişmiştir. Haliç, mal ve insan aktarımının önemli transfer noktası olmuştur. Doğal coğrafi özellik kaynaklı bu yerleşim Bizans'tan Osmanlı dönemine dek sürmüştür (Göktan, 2005), (Harita 2).



Harita 2: Mısır Çarşısı'nın iki antik aksın üzerinde konumlanması, (Map 2: The location of the Spice Bazaar on two ancient axes), (Kiper, 2022 referans alınarak yazar tarafından düzenlenmiştir), Ekşi,2022).

Kara surlarından daha alçak ve dayanıksız olan Haliç kıyılarındaki surlar günümüzde mevcut değildir. Ancak o dönemde surların limana yakın olması, sur kapılarının her biri için ayrı iskelenin olması gibi nedenlerle, limana ulaşan malların sur içine aktarımı kolaylıkla sağlanmıştır (Hürel, 2005).

### 3. Hanların Fonksiyonlarına Göre Gruplandırılması

#### 3.1. Yolcu Hanları

Şehirlerarası kervansaray özelliklerini taşıyan ancak şehir içi fonksiyonlara göre şekillenen bu yapılar yolcuların şehir içi konaklamasına elverişli şekilde inşa edilmişlerdir. Ahırlı ve ahırsız örnekleri mevcuttur. Ahırlı yolcu hanları, şehirlerarası yolculuklarda hayvanlar ile konaklayabilme imkânı sağlamaktadırlar. Ahırsız yapılar ise, şehirde çalışma amaçlı bulunan, ikamet edecek konuta sahip olmayan çalışanlara yönelik hizmet vermektedirler (Güran, 1978).

#### 3.2. Ticaret Hanları

Batılılaşma süreciyle kentin ticari faaliyetlerinin işleyişinde de değişim meydana gelmiştir. İthalat ve ihracat artmıştır. Yeni ticari fonksiyonları karşılayabilecek yapılara ihtiyaç doğmuştur (Özkan, 2003). Bu değişimin sonucu olarak bu yüzyıl han yapılarını üç türde sınıflandırılabilir. Ticaret hanları konum ve işlevleri dolayısıyla “şehir hanları” olarak nitelendirilmektedirler. Şehir hanlarını yapıları itibariyle üç şekilde gruplandırılmaktadırlar.

- Klasik Han Yapıları:** Tek avlulu han yapılarıdır. Ahırlar avluya bitişik olarak konumlanmıştır.
- Geçiş Hanları:** Avlu çevresi revaklarla çevrilidir. Zemin kat ikamet amaçlı kullanılır. Ahırlar avlunun ayrı bir bölümünde bulunmaktadır.
- Büro Hanları:** İki katlı olan yapıların zemin katı revaklı galerilerle avluyu çevrelemektedir. Bu katta depo olarak kullanılan penceresiz odalar bulunmaktadır. Üst kat, alt katta olduğu gibi revaklı galerilerle avluya açılır. Bu kattaki odalar büro olarak kullanılır (Gülenaz 2011).

#### 3.3. Misafirhane Hanları

Yapısal olarak şehir hanları ile aynı özellikleri gösterirler. Devlet misafirlerinin konaklaması için inşa edilen yapılarıdır. Şehir hanları ile yapısal olarak aynı özellikleri gösterirler. 16. Yüzyılda inşa edilen Elçi Han, bu nitelikte bir yapıdır. Yapıda o dönemin koşullarına uygun olarak ahır mevcuttur ancak yapı günümüze ulaşmamıştır. 18. Yüzyılda inşa edilen Hasan Paşa hanı ahırsızdır, sadece konaklamaya yönelik hizmet vermektedir. günümüze ulaşan misafirhane hanlarına örnek niteliğindedir. (Güran, 1978).

#### 3.4. Külliye Hanları

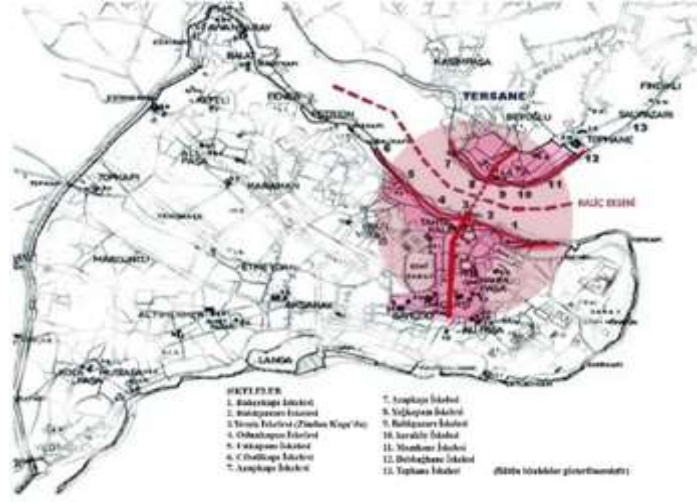
Dönemin şehir yaşamının gereği olarak inşa edilen külliye, bünyelerinde kervansarayda bulundurmaktadırlar. Külliyelerin bir parçası olarak inşa edilen hanlar bu grupta yer almaktadır. Ait oldukları yapı ile entegre bir şekilde kendi özgün fonksiyonları ile hizmet veren yapılarıdır. (Müller 1920).

### 4. Eminönü Hanlarının Tarihsel Gelişimi

Eminönü hanları, şehir ticaretinin Bizans'tan İstanbul'un fethine dek süregelen ticaret merkezi üzerinde konumlanmıştır. Haliç in doğal liman olma özelliği mevcut ticaret akslarının kesişim noktası olması nedeniyle Fatih sultan Mehmet çarşının konumunu



değiştirmemiş, mevcut yapıyı geliştirmiştir. Han yapıları, 15yüzyıl- 20yüzyıl aralığındaki dönem içinde ihtiyaçlara göre hem işlev hem de plan şeması olarak en yüksek verim elde edilecek şekilde kademeli olarak gelişim göstermektedirler (Harita 3).



Harita 3: Osmanlı dönemi İstanbul'un XVII. yüzyıl sonuna kadar aktif olan ticaret eksenini. \* Ticaret eksenini XVII. Yüzyılın ikinci yarısında batıya doğru kaymaya başlar (Map 3: Ottoman period Istanbul XVII. trade axis active until the end of the century. \* Trade axis XVII. Begins to shift westward in the second half of the century),(Ekşi,2022), (Kiper, 2022' den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir).

İstanbul, tarih sahnesinde yer alışından bu yana katmanlı bir şekilde gelişerek ve büyüyerek günümüze ulaşmıştır. Şehre ilk yerleşim M.Ö 30. Yüzyılda Lygos topluluğu tarafından yapılmıştır. M.Ö 658'de surlar inşa edilerek Byzantion koloni şehri kurulmuş, M.S. 196'da Roma İmparatorluğu kurulmuştur. Roma İmparatorluğu'nun kuruluşuna dek pek işlevsel olmayan şehir, İmparatorluğun Bizans surlarını yıkıp genişletmesi ve İstanbul'u merkez şehir seçmesi üzerine, dünya şehri olarak gelişmeye ve önem kazanmaya başlamıştır. Konstantin 324'te Bizans'ı ele geçirmiş ve mevcut surları yıkıp daha geniş alana yeni surlar yaptırmıştır. Böylece çeperin genişlemesiyle beraber şehir nüfusu kalabalıklaşmıştır (Çeçener 2011). Mevcut topraklardaki ürünler nüfusa yetmediğinden şehir dış ticarete gereksinim duymuştur. Şehirde gıda ve zorunlu ihtiyaç maddelerinin temini üzerine kurulu bir ticaret anlayışı gelişmiştir. İstanbul'un doğal coğrafi konumu kenti Asya ile Avrupa ve Akdeniz ile Karadeniz ticaret yolunun kavşak noktası haline getirmiştir. İmparatorluk merkezi olması dolayısıyla daha da önem kazanan şehir artık ticaretin de merkezi olmuştur (Gökten, 2005).

16. Yüzyıl'a dek kara yolları ve kara taşıtları gelişmediğinden ticaret, deniz yolları kullanılarak yapılmaktaydı. İstanbul'un doğal liman olma özelliği deniz ticaretine bağlı olarak şehrin gelişimini etkilemiş, ticari işleve bağlı inşa edilen yapılar tarihi yarımadada *Hanlar Bölgesi*'ni oluşturmuştur (Can, 1996).

İlk dönem han yapıları geleneksel Osmanlı han mimarisi özelliklerini göstermektedirler. Malzeme ve plan şeması yönünden Bursa hanlarının devamı niteliğindedirler. Genel olarak iki katlı olan yapıların, kare veya dikdörtgen avlusu, avluyu çevreleyen revaklı galerileri mevcuttur. Alt katlar depo ahır ve üst katlar ise ikamet amaçlı kullanılmaktadır. 17. Yüzyıl itibariyle nüfusun kalabalıklaşması ve ticari faaliyetlerin çoğalmasıyla şehir hanlarının artış meydana gelmiştir. Dönemsel ihtiyaçlara göre şekillenen yapılar sadelik ilkesi doğrultusunda gelişim göstermişlerdir. Bu yüzyılda Geometrik plan şeması yerine araziyle uyumlu organik formlu plan şemaları gözlemlenir. Yine bu dönemde ahırsız sadece çalışanların barınma ihtiyacını karşılamaya yönelik ikamet amaçlı han yapıları inşa edilmiştir (Güran,1978).

Şehir hanları ait oldukları vakıflara gelir sağlamak amacıyla işletilmişlerdir. Dükkanlardan Yüksek gelir elde edilmesi nedeniyle de 18.yüzyıldan 19. yüzyıl sonuna dek sayıları yüksek oranda artış göstermiştir.20. yüzyıl itibari ile yeni han yapısı inşa edilmemiştir. (Özkan 2003).

#### 4.1 15. Yüzyıl Han Yapıları

İstanbul'un Fetih'i ile Eminönü han yapıları gelişim göstermeye başlamıştır (Kuban 2016). Bu yüzyılda hanların tek avlulu hanların yanısıra ikinci bir avlunun planlanması, plan şemalarının geometrik düzgün formlar yerine arsa ve yollar ile uyumlanarak şekillenmesi, avluda mescitlerin bulunması, ahırların bodrum kata konumlandırılması dönemin yenilikleridir. Günümüzde varlığını sürdüren Kirazlı Han, Kürkçü Han ve Şeyh Davut Han dışındaki yapılar günümüze ulaşmamışlardır (Şekil 2). Tablo 1 'de dönemin han yapılarının mevcut durumları belirtilmiştir (Tablo 1). Günümüze ulaşan Kürkçü Han döneminin tüm özelliklerini yansıtır niteliktedir (Güran 1978), (Şekil 3, Şekil 4). Ancak günümüzde yapıda özgün olmayan ekler eklenmiş olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca avluda bulunan mescit yapısında da değişim gözlenmektedir (Plan 1). Günümüzde özgün plan şemasını korumaktadır ancak avluya yapılan ek yapılar yapının özgünlüğünün bozmaktadır.



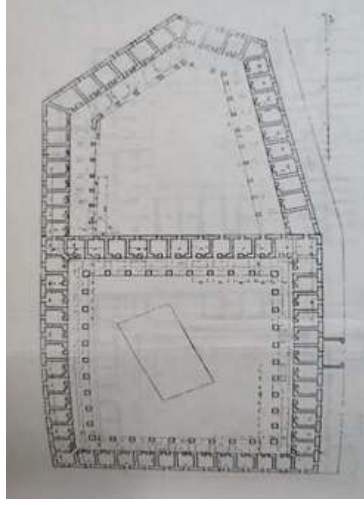
Şekil 2: Şeyh Davut Han (URL 1)  
(Shape 2: Şeyh Davut Han)



Şekil 3: Kürkçü Han (URL 1)  
(Shape 3: Kürkçü Han)



Şekil 4: Kürkçü Han (URL 1)  
(Shape 4: Kürkçü Han)



Plan 1: Kürkçü Han (Güran 1976), (Plan 1: Kürkçü Han), (Orijinal plan şeması ve günümüzdeki plan şeması görsel Google eart programından edinilmiştir).

Tablo 1. 15. Yüzyıl Han Yapıları (Table 1. 15th Century Inn Buildings)

(Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Pervitich haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir), (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları
<i>Bey Kervansarayı</i>	Yok
<i>Kirazlı Han</i>	Var
<i>Kürkçü Han</i>	Var
<i>Odun Kapısı Han</i>	Yok
<i>Murad Paşa</i>	Yok
<i>Şeyh Davud Han</i>	Var
<i>Yemiş Kapanı Han</i>	Yok
<i>Eski Han</i>	Yok
<i>Elçi Han</i>	Yok
<i>Mercan Ağa Hanı</i>	Yok
<i>Manisalı Mehmet Paşa Hanı</i>	Yok

#### 4.2 16. Yüzyıl Hanları

16. Yüzyıl İstanbul'da nüfusun artması beraber ticaretin de gelişim gösterdiği gözlemlenmektedir. Haliç kıyıları; Sirkeci ve Unkapanı'nda deniz yoluyla gelen malların kabulünü sağlayan iskeleler, ürünlerin türlerine göre ayrıştırılıp muhafaza edildikleri

depolar bulunmaktadır. Bu yüzyılda yeni bir bedesten (Sandal Bedesteni) inşa edilir. Böylece, Cevahir bedesteni ile Sandal bedesteni arasında konumlanmış sıralı ahşap dükkanlar ve satılan ürünlerin türüne göre kategorize edilmiş sokaklar ile merkezi çarşı oluşmuştur. Ticaret yollarının gelişmesiyle, deniz yolları üzerinden süregelen işleyişe ek olarak karayolları üzerinden gelişen ticaret aksları eklenmiştir. Bu yüzyıla ait günümüze ulaşan hanların hepsi Kanuni dönemine aittir. Süleymaniye, Rüstem Paşa Burmalı Han, Küçük Çukur Han aynı isimle inşa edilen külliyelerin bünyesinde yapılmış olan hanlardır. Bu yüzyıla ait hanlar da iki katlı inşa edilmişlerdir. Yine alt katlar depo, üst katlar ikamet amaçlı kullanılmaktadır. Sadece Süleymaniye Han'ı tek katlıdır. Külliyelerden bağımsız olarak inşa edilen hanlar da mevcuttur. Plan şemalarında düzgün formlar (kare, dikdörtgen) gözlemlenmektedir (Güran, 1978), (Tablo 2).

Tablo 2. 16. Yüzyıl Hanları/ Table 2. 16th Century Inns

(Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Pervittich haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir), (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları
Balkapanı Han	Var
Bahçeli Han	Yok
Burmalı Han	Var
Büyük Çukur Han	Var
Kızıl Han	Var
Kurşunlu Han	Var
Küçük Çukur Han	Var
Lelebici Han	Var
Rüstem Paşa Hanı	Var
Süleymaniye Han	Var
İbrahim Paşa Hanı	Yok
Zindan Han	Var

#### 4.3 17. Yüzyıl Hanları

17. yüzyıl Osmanlı ile batılı ülkeler arasında diplomatik ve ticari ilişkiler gelişmeye başlamıştır. Batının Osmanlıya karşı duyduğu merak İstanbul'u ilgi odağı haline getirmiştir. Bu tarihlerde Fener Rum Patrikhanesi'nin Fener'e yerleşmesi ile Rum nüfusunun artarak Haliç bölgesinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Haliç bu dönemde de önemini koruyor olması, ticari ve sanayi tüccarları için öncelikli tercih edilen alan olduğundan dolayı iş sahiplerinin yerleşim bölgesi olmuştur (Çelik 1998).

17. yüzyıl han yapılarının inşasında kullanılan yapı malzemeleri ve inşaat tekniği açısından 15 ve 16. yüzyılda kullanılan yöntemlerin devamı niteliğindedir. Ancak plan şemalarında düzgün geometrik formlar yerine araziyle uyumlu organik formlar kullanılmaya başlanır. Nüfusun artışıyla beraber ticari faaliyetlerde de artış meydana gelmiştir. Şehirde ikamet etmesi gereken evsiz çalışanların barınma ihtiyaçlarını gidermek üzere ahırsız, sadece konaklama hizmeti veren ticaret hanların inşası bu dönemin yeniliklerindedir. Bir başka yenilik ise bodrum katta konumlanan ahırların ikamet ve depo alanlarından farklı bir avlu ile ayrılmasıdır (Güran, 1978), (Tablo 3).

Tablo 3. 17. Yüzyıl Hanları/ Table 3. 17th Century Inns

(Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Pervittich haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir), (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları
Büyük Valide Han	Var
Kiraz Han	Var
Sağır Han	Var
Vezir Han	Var
Nasuhiye Han	Yok
Şekerci Han	Var
Yelkenciler Hanı	Var

#### 4.5 18. Yüzyıl Hanları

18. yüzyılda Osmanlı'nın batılı devletlerle yaptığı antlaşmalarla imparatorluk bir takım siyasi değişimler yaşamış, bunun sonucunda Viyana ve Paris'e daimi elçilikler kurulmuştur (Eldem 1997),

İmparatorluğun gerileme dönemi olmasına rağmen, kentin ticari hacmi oldukça yüksektir. Tüketicinin fazlaşmasıyla birlikte ürün sirkülasyonunun sağlanabileceği depo alanlarına duyulan gereksinim çoğalmıştır. Tüm bu ticari faaliyetlerin organize edilebilmesi için ofis ihtiyacı doğmuştur. Bu talebin karşılanabilmesi için bu yüzyılda ticari han yapılarının sayısı oldukça artmıştır (Benli 2007).

Han mimarisinin, uygulanan inşa tekniği, kullanılan malzeme açısından en gelişmiş olduğu dönemdir. Günümüzde varlığını sürdüren hanların çoğu bu yüzyıla tarihlenir. Plan tipi ve yapı bazı değişimlere uğramıştır. Yapı malzemesi bakımından önceki yüzyıllara ait han yapılarıyla benzerdirler. 17. yüzyılda görülmeye başlayan organik formda plan şemaları bu yüzyılda daha yaygın olarak gözlemlenir. Ahırsız sadece misafirhane olarak işlevlendirilen hanlar bu yüzyılda da görülmektedir. Önceki dönemlerde iç yapının dışarıya yansımaları olan cepheler bu dönemde değişime uğramıştır. Arsa ve yollarla tam uyum içinde olan organik formlu yapıların dış cephede oluşturdukları eğriler üst katlarda çıkıntılarla düzeltilmiş ve dış cephe estetiğine de önem verilmeye başlanmıştır.

Üç katlı han yapılarının inşası ilk kez bu dönemde gözlemlenmektedir. Ticaret hacminin artmasıyla beraber, daha fazla depolama alanı, konaklama ve ofis ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu talebe karşılık bu yüzyılda inşa edilen han sayısı diğer yüzyıllara göre bir hayli artış göstermiştir (Akça, 2008), (Tablo 4).

Tablo 4. 18. Yüzyıl Hanları/ Table 4. 18th Century Inns

(Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Pervititch haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir), (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları	Han İsimleri	Mevcut Durumları
Ağa Han	Var	Kaşıkçı Han	Var
Ali Paşa Hanı (Kapalıçarşı)	Var	Kepaçı Han	Var
Ali Paşa Hanı (Küçükpazar)	Var	Kızlar Ağası han	Var
Ali Paşa Hanı (Tığcılar Sokak)	Var	Kızılay Han	Var
Astarıcı Han	Var	Kilit Han	Var
Aşır Efendi HanBaktacı Münheddim Han	Var	Kumrulu Han	Var
Baltacı Münheddim Han	Yok	Kuşakçı Han	Var
Basiret Han	Var	Küçük Ahtar Han	Var
Bodrum Han	Var	Küçük Ticaret Han	Var
Boncukçu Han	Var	Küçük Yeni Han	Var
Büyük Safran Han	Var	Lütfullah Han	Yok
Büyük Yeni Han	Var	Mercan Ağa Han	Var
Büyük Yolgeçen Han	Yok	Mercan Çukur Han	Var
Cebeci Han	Var	Pastırmacı Han	Var
Çinili Han	Var	Perdahçılar Han	Yok
Çuhacı Han	Var	Saksı Han	Var
Çukur Han	Var	Sarnıçlı Han	Var
Darbhane Han	Yok	Serpuş Han	Var
Emiroğlu Han	Var	Silahtar Han	Yok
Erzurum Han	Var	Sofcu Han	Var
Eski Pazar	Yok	Sorguçlu Han	Var
Evliya Han	Var	Sümbüllü Han	Var
Halil Ağa Han	Var	Taşhan	Var
İmam Ali Han	Yok	Yağcı Han	Var
İmameli Han	Var	Yaldızlı Han	Var
Kalcılar Han	Var	Zincirli Han	Var

#### 4.6 19. Yüzyıl Hanları

Eminönü hanları 15. yüzyılda gelişmeye başlamış, 18. yüzyılda gelişiminin zirvesine ulaşmıştır. 19. yüzyıla dek kentin aktif ticaret merkezi olan Hanlar bölgesinin endüstri devrimi etkileri ile kent içindeki rolü değişime uğramıştır. 19. yüzyıl han yapılarının gelişiminin duraklama evresidir. Batılılaşma süreciyle kentin ticari faaliyetlerinin işleyişinde de değişim meydana gelmiştir. İthalat ve ihracat artmıştır. Bu değişimin sonucu olarak “büro hanları” ortaya çıkmıştır (Özkan, 2004). Büro hanları, klasik han yapılarından mimari özellikleri ve işlevleri yönünden farklıdır. Dar parsellere konumlanmış en az üç katlı olmak üzere yüksek katlı, cephelerinde eklektik üslup gözlemlenir (Gülenaz, 1998), (Tablo 5).

Tablo 5. 19. Yüzyıl Hanları/ Table 5. 19th Century Inns

(Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Pervititch haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir), (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları
Abud Efendi Han (Rüstempaşa)	Var / Özgün
Abud Efendi Han (Dayahatun)	Var / Özgün
Agopyan Han	Var / Özgünlüğünü kısmen yitirmiş
Altıparmak (Mataracı) Han	Var / Özgün
Amerikan Han	Var / Özgün
Ankara (Rıza Bey) Han	Var / Özgün
Boyacı Han	Var / Özgün
Büyük Ticaret Han	Var / Özgün
Camcıbaşı Han	Var / Özgün
Cedid Han	Var / Özgün
Emin (Yeni) Han	Yok
Prevuayanas Han	Var / Özgün
Sepetçi Han	Var / Özgünlüğünü kısmen yitirmiş
Yıldız Han	Var / Özgün

## 5. Günümüz Hanlarının Mevcut Durumlarının Mimari Açısından İncelenmesi

Han yapıları, avluyu dört bir yandan çevreleyen revaklı galeriler ve bu galerilere açılan mekanların oluşturduğu plan şemasına sahiptirler. Yapılara giriş, cephede kendini belli eden ancak abartılı olmayan taş kemerli açıklıktan avluya beşik tonoz ile bağlanan koridor ile sağlanmaktadır. Avlu kare veya düzgün dikdörtgen şeklindedir. Zemin katlar depo olarak işlevlendirilmiştir. Mekanların dışarıya açılan pencereleri yoktur. Zeminden üst kata revaklı galerinin girişine yakın konumda olan merdivenlerle ulaşılır. Üst katlar ikamet, büro amaçlı kullanılır. Her kat avluya bakar. Her katta revaklı galeriler mevcuttur. Genel olarak örtü sistemi kalın payeler üzerine oturan beşik tonozdur (Güran, 1978), (Şekil 5), (Şekil 6).



Şekil 5: Büyük Yıldız Han Girişi (Ekşi,2022)  
(Shape 5: Büyük Yıldız Han Entrance)



Şekil 6: Büyük Yıldız Han Merdivenleri (Ekşi,2022)  
(Shape 6: Büyük Yıldız Han's Stairs)

Han yapılarının avlularında gözlemlenen mimari hareketlilik ve estetik detayların aksine cepheler son derece sadedir. Taş ve tuğla karışımı cepheler hanların karakteristik özelliklerini oluşturmaktadır. Girişler cephede çıkıntı yapmayan sade açıklıklar olarak tasarlanmışlardır. 17. yüzyıl sonrası inşa edilen hanlarda bindirmelik gözlemlenir ve bu dönem sonrası hanların çoğunda bu öge mevcuttur. Plan eğrilikleri, üst kat cephelerinde taş konsollar üzerine oturan çıkmalar ile düzeltilerek cephe düzeni sağlanmıştır. Zemin katlarda dış cephe açıklıkları gözlemlenmemekle beraber, pek çok hanın dış cephesinde dükkânlar bulunmaktadır.

Hanlar bölgesindeki hanların hemen hepsi avluludur. Avlusuz han çok az sayıda mevcuttur. Yapının büyüklüğüne göre avlu boyutu değişkenlik göstermektedir. Avluya geçişler direkt olarak değil geçit ile sağlanmaktadır. Avluyu çevreleyen revaklar her katta

bulunur. Revaklar sivri kemerli olduğu gibi, yuvarlak kemerli de olabilmektedir. Çoğu handa tahribata uğramış olan revakların tamiratları orijinallerine uygun yapılmadığından ya izleri kaybolmuş ya da büyük değişime uğramışlardır.

Han odaları, yapılarının plan şemalarını oluşturan aks sistemine uygun olarak boyutlandırılarak yerleşimleri sağlanmıştır. Pencereleer, güvenlik nedeniyle dar açıklıklı ve parmaklık korumalı tasarlanmıştır.

## 5.1 Hanların Mevcut Durumlarının İşlevsel Açından İncelenmesi

Hanlar bölgesi günümüzde merkez çarşı olmamakla beraber hala aktif bir ticaret merkezi konumundadır. Ancak zamanla değişen alışveriş alışkanlıkları bununla beraber değişen ticari akslar hanlar bölgesinin cazibesini yitirmesinde etkili olmuştur. Ticari Hanların zemin katlarında cephe dükkanları ve girişe yakın dükkanlar aktif kullanımda olmasına rağmen alt katların iç kesimlerde kalan dükkanlar ve üst kat dükkanlarının çoğu kullanılmamaktadır. Büro hanları, hala büyük çoğunlukla özgün işlevlerini sürdürmektedirler. Zaman içinde yapılara eklenen muhdes ekler (ara katlar, ek merdivenler, pano, tabela, ek tuvaletler, çay ocakları, klima vb.) nedeniyle yapıların mekânsal kimliklerinde değişimler meydana gelmiştir (Benli,2007).

## 5.2 Hanların Tadilat Restorasyon ya da Bütüncül Kayıplarının Tespit ve Değerlendirilmesi

Hanlar bölgesi, dönemin ihtiyaçlarına yönelik yapıda ve sayıda çokça han yapısına ev sahipliği yaptığından ötürü bölge bu ismi almıştır. Han sayıları döneme göre artış göstermiş XIX. yüzyıla dek inşaları devam etmiştir. Bu yüzyıldan günümüze dek varlığını devam ettiren özgünlüğünün koruyan yapılar olduğu gibi zaman içinde, tahribata uğramış, değişim geçirmiş, özgünlüğünü kısmen veya tamamen yitirmiş yapılar da mevcuttur. Bir kısım han yapıları ise süreç içerisinde yok olmuştur. Orijinalliğini yitiren yapılar, kullanıcıların zaman içinde yapıya uygun olmayan müdahaleleri, yağmur kar gibi iklim olayları, deprem, yüzey bitkilenmeleri gibi doğal nedenlerle tahribata uğramışlardır. Kimi yapılara uygulanan tadilatlar ve uygunsuz eklenen ekler sonrası yapıların karakterini değiştirmiştir (Tablo 6)

Tablo 6: Günümüzde Yok Olmuş ya da Özgünlüğünü Yitirmiş Hanlar Listesi (Table 6: List of Hans Extinct or Lost Their Originality Today) (Pamukciyan, Ayverdi, Güran, Fatih kaymakamlığı ve Perwititch haritalarından elde edilen verilerle düzenlenmiştir (Ekşi,2022).

Han İsimleri	Mevcut Durumları	Han İsimleri	Mevcut Durumları
Aktarbaşı Han	Yok olmuş	İbrahim Paşa Hanı	Yok Olmuş
Ali Paşa Hanı	Özgünlüğünü yitirmiş	İğneci Han	Yok Olmuş, Yerinde Yeni Yapı Mevcut
Bahçeli Han	Yok Olmuş	İplikçi Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Baklalı Han	Yok Olmuş	Kadı Kumrulu Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Baltacı Han	Yok Olmuş	Kebabçı Han	Yok Olmuş
Baltacı Münheddin Han	Yok Olmuş	Kuşakçı Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Bey Kervansarayı	Yok Olmuş	Küçük Han	Yok Olmuş
Bodrum Kervansarayı	Yok Olmuş	Lütfullah Han	Yok Olmuş
Boncukçu Han	Özgünlüğünü Yitirmiş	Manisalı Mehmet Paşa Hanı	Yok Olmuş
Büyük Safran Han	Özgünlüğünün Yitirmiş	Mercan Ağa Hanı	Yok Olmuş
Büyük Kutucu Han	Yok Olmuş	Mercan Çukur Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Büyük Şişeci Han	Özgünlüğünü Yitirmiş	Molla Gürani Han	Yok Olmuş
Büyük Yolgeçen Han	Özgünlüğünü Yitirmiş	Murad Paşa Hanı	Yok Olmuş
Cafer Ağa Hanı	Yok Olmuş	Odun Kapısı Han	Yok Olmuş
Çadırcı Han	Yok Olmuş	Pasturmacı Han	Yok Olmuş
Darbhane Han	Yok Olmuş	Perdahçılar Han	Yok Olmuş
Davut Paşa Hanı	Yok Olmuş	Rabia Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Deve Han	Yok Olmuş Temel İzleri Mevcut	Sarnıçlı Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Emin (Yeni) Han	Yok Olmuş	Sarraç Han	Yok Olmuş
Elçi Han	Yok Olmuş	Sepetçi Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Eski Han	Yok Olmuş	Silahtar Han	Yok Olmuş
Esir Pazarı Han	Yok Olmuş	Şeyh Davut Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Evliya Han	Özgünlüğünü Yitirmiş	Şark Han	Özgünlüğünün Yitirmiş
Güllekeş Hanı	Yok Olmuş	Sümbüllü Han	Özgünlüğünü Yitirmiş
Haznedar Han	Yok Olmuş	Yemiş kapanı Han	Yok Olmuş

## 6. Sürecin İçinde Yaşanan Değişimler

19. yüzyıla dek kentin ticaret merkezi olan Hanlar bölgesinin endüstri devrimi ile kent içindeki rolü değişime uğramıştır. İstanbul'da ilk şehir planlama çalışmaları, 1836-1837 yıllarında Moltke tarafından hazırlanan imar planları haritası ile başlamıştır. Osmanlı'da 1848 yılında ilk mevzuat düzenlemesi yapılmış, aynı yıl ilk kez Ebniye Nizamnamesi (yapılar tüzüğü) hazırlanmıştır. 1864 Hocaapaşa yangınından sonra 1864 yılında ise Turuk Ebniye nizamnamesini yürürlüğe konulmuştur. Bu uygulamalar; kent dokusu ve ihtiyaçları incelenmeden, Avrupa planlamalarının taklit edilerek hazırlandığından ötürü çalışmalar işlevsel olmamıştır. 1936 yılında İstanbul nazım planı uygulaması için Henry Prost ülkeye davet edilmiştir. Prost, günümüzde de hala kullanılan planlamalar ve uygulamaları hayata geçirmiştir. Bu çalışmalar kapsamında Haliç ve çevresinin sanayi bölgesi olarak işlev kazanması ile bölgenin çehresi değişime uğramıştır. 1845 yılında açılan Galata Köprüsü ile Galata Eminönü arasındaki deniz yolu ilişkisini farklılaşmış, kent dokusu bu yeni bağlantının getirileriyle yeniden kurgulanmıştır. Aynı zamanda buharlı gemilerin kullanılmaya başlanması, Sirkeci'ye demir yolunun ulaşması, tramvay ve Tünel'in açılması Eminönü'nü geleneksel dokunun içinde modern dönüşümlerin bir arada yaşandığı mekân haline getirmiştir. Eminönü meydan düzenlemesi kapsamındaki uygulama ile Yeni Cami önündeki kent dokusu tamamen yok olmuştur. 1955 yılında Unkapanı-Eminönü yolu açılması planlanmış, bu nedenle Balıkpazarı ortadan kaldırılmıştır. Yemiş iskelesi ve çevresi birkaç anıtsal yapı hariç tümüyle temizlenmiştir. Bu uygulamalar sonucunda Eminönü'nü kıyıların iç kesimlerle bağlantısı kesilmiştir. Tüm bu değişimlerle beraber 'Hanlar Bölgesi'nin dönüşümü başlamıştır (Göktaş, 2005).

1986 yılında Haliç Planları düzenlenmiş, planlama kararları gereği sanayi birimleri haliç dışına çıkartılmıştır. Ancak bu planlamalar sanayi tesislerinin taşınmasına yönelik olarak hazırlanıp, tarihi yapıyı koruma amaçlı yapılmadığından, uygulama esnasında pek çok anıt eser ve sivil mimari örneği yapı yok olmuştur.

Endüstri devrimiyle farklılaşan ekonomik yapı İstanbul'da tarihi ticaret merkezinin dışında yeni kent merkezlerinin gelişimine neden olmuştur. Yeni iş kollarının ortaya çıkmasıyla hanlar, fiziksel olarak bu iş kollarının ihtiyaçlarına karşılık verememiştir. Bu nedenle esnaf, hanları bırakarak daha konforlu iş alanı sunan organize sanayi bölgelerine geçiş yapmıştır. Diğer yandan varlık vergisi kapsamında azınlık halka mensup tüccarlar da bölgeden ayrılmak durumunda kalmışlardır.

Böylece hanlarda boşluklar oluşmuştur. O dönem, göç ederek İstanbul'a gelenler bu boşlukları kendilerine ticarethane açarak işgal etmişlerdir. Bölgenin fonksiyon değişimi 1950 yılı itibarıyla hızlanmıştır (Benli, 2007).

## 7. Sonuç

Fatih Sultan Mehmet, hali hazırda kurulu ticaret merkezi olan haliç bölgesini yine aynı amaç doğrultusunda işlevlendirmiştir. Ticaret yollarının kavşak noktası olan alan geliştirilerek muhafaza edilmiştir. Osmanlı şehirlerinde ticaret bölgesini meydana getiren yapılar bedesten merkez olarak gelişim göstermektedir. Bu şablon İstanbul'da da uygulanmıştır. Günümüzde 'İç Bedesten' olarak bildiğimiz Bedesten-i Atik, dönemin merkez çarşısıdır. Aynı zamanda Fatih külliyesi etrafında da çarşı konumlanmıştır. Böylece çarşayı oluşturan diğer; cami, çeşme, sebil, hamam, gibi hizmet yapılarıyla birlikte kent dokusu gelişmiştir.

Han yapıları etrafında oldukları hiçbir anıt yapı ile yarışmamış tüm yapılara uyumlu bir şekilde eşlik ederek var olmuşlardır. İstanbul Han yapıları geleneksel mekânsal kurgu ile inşa edilmişlerdir. Temelde aynı olan kurgu zaman içinde ihtiyaca yönelik yenilikler eklenerek gelişim göstermiştir. Kentin ticaret merkezi olan hanlar bölgesi endüstri devrimi ile kent içindeki önemini yitirmeye başlamıştır.

1936-1950 yılları arasında yapılan plan uygulamaları sonrasında hanlar bölgesinde değişim başlamış, konut alanları imalat ve depolama alanlarına dönüşmüştür. Bölgedeki konutlar alandan çekilince alanda gece ve gündüz arası nüfus yoğunluğu farkı artış göstermiş, mesai bitimi ile bölge tenhalaşmaktadır (Benli 2007). Bölgede kültürel ve sosyal ihtiyaçları karşılayacak işlevlere sahip alanların oluşturulması bu farkın azalmasına olanak sağlayacaktır.

Endüstri devrimi ile yeni iş kolları ortaya çıkmış, ekonomik yapı değişmeye başlamıştır. Hanlar bölgesi, fiziki koşulları gereği yeni ekonomik faaliyetlerin sürdürüleceği mekanlara cevap veremediğinden, yeni ticari alanlar tarihi kent merkezinin dışında gelişim göstermiştir. Kentin ticari odaklarının değişmesi Hanlar bölgesinin doluluk oranına etki etmiştir (Can 1996). Müşterisine daha kolay ulaşmak isteyen esnaf Alt katlara yerleşmiştir. Esnafa destek sağlanarak han yapılarının üst katlarının kullanılması teşviki sağlanarak yapıların bütünüyle kullanımı sağlanabilir.

Haliç Galata arasında deniz yolu ile sağlanan ulaşım ve ticari etkileşimler 1945 yılında Galata köprüsünün açılması ile farklı bir boyut kazanmıştır. İki yaka arası karayolu ilişkisinin kurulmasıyla kentsel doku değişime uğramıştır. Şirketi Hayriye'nin kurulması, buharlı gemilerin yapılması, demir yolunun Sirkeci'ye ulaşması, tramvay ve tünelin açılışıyla beraber Eminönü şehir içi transit merkezi konumuna gelmiştir (Aksu 2010). Böylece bölgenin insan yoğunluğu artış göstermiştir. Meydanda bulunan şehir içi otobüs hatları farklı bir bölgeye taşınarak meydana transit geçiş için oluşan yaya yoğunluğu azaltılabilir.

1955 Eminönü meydan düzenlemesi kapsamında yapılan uygulamalar Haliç kıyıların iç kesimlerle bağlantısının kesilmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda hanlar bölgesindeki işinin ehli esnafın birçoğunun sektör değiştirmesine ve daha konforlu iş yerlerine, yeni ticaret merkezlerine yönelmelerine neden olurken, varlık vergisi kapsamında bölgeyi terk eden azınlıklar ile de bölgede boşluklar oluşmuştur. Tarımda makinalaşma ile kırsaldan İstanbul'a yoğun bir göç başlamış, bölgede boşalan yerler göç edenler tarafından işgal edilmiştir (Kuban 1970).

Her ne kadar alışveriş alışkanlıklarımız ve ticari faaliyet yöntemlerimiz geçmişten günümüze çokça değişmiş olsa da Hanlar bölgesi, imalathaneleriyle, depolama alanlarıyla toptan ve perakende ticaretin merkezi olarak günümüzde işlevini sürdürmektedir. Ziyet eşyasından giyime, aksesuardan züccaciyeye, oyuncaktan elektroniğe sayısız çeşitte ürünü bölgeden temin etmek mümkündür. Bölge, ulaşım kolaylığı, merkezi bir konumda olması, ihtiyaca ve her bütçeye yönelik ürünlerin temini gibi nedenlerden ötürü her gün yoğun ziyaretçi akınına uğramaktadır. Ancak bölgenin denetimsiz olarak kullanılması tarihi han yapılarının daha da yıpranmasına neden olmaktadır.

Günümüzde han yapılarının çoğu tam kapasite ile kullanılmamaktadır. Esnaf zemin katlarda aktif faaliyet gösterirken, han yapılarının üst katları büyük çoğunlukla boştur. Kullanımda olan dükkanların hemen hepsinde tarihi dokuya ve han yapılarının özgünlüğüne uygun olmayan öğelere rastlamak mümkündür. Dükkanların genişletilen cepheleri, ürünlerin sergilenebilmesi için cephelere açılan vitrin boşlukları, asılan tabela ve reklam panoları, iklimlendirme cihazları, cephede görülen tesisat boruları, elektrik kabloları, gibi etmenlerin yanı sıra iç mekanlara eklenen/kaldırılan duvarlar, inşa edilen ara katlar yapıların özgünlüğünü tehdit etmektedir. dokusal tahribatın en aza indirilebilmesi için yapıların özgün karakterine uygun onarımların yapılması için planlamaların geliştirilmesi ve periodik düzenli titizlikle uygulanması uzun vadede büyük onarım ihtiyacını ortadan kaldıracaktır.

20. yüzyıl itibariyle kısım kısım satılmaya başlanmıştır. Şahsi mülk haline gelen kısımlar, mülk sahiplerinin keyfe keder eklemelerine maruz kalmıştır. Öyle ki, ara kat eklenmesi, revakların kapatılması, yeni mekân oluşturulması, asma kat ekleri gözlemlenmektedir. Ayrıca tarihi han yapılarının ihtiyaç duyduğu tadilat, tamirat işlemlerine mal sahiplerinin bilinçsizce yaklaşımları, yapılarda geri dönüşümü olmayan tahribatlara neden olmaktadır. Yanlış malzeme ve yöntem seçimi yapıların karakterini değiştirmekle kalmayıp köhneleşmeyi hızlandırmaktadır. Bu kapsamda 23.7.2004 tarihinde yürürlüğe giren 5216 sayılı kanun gereğince yapıların bu eklerden arındırılması elzemdir. Mülk sahipleri bu uygulamalar için yerel yönetimler ile iş birliği yapılabilir. İşbirliğinin olmadığı noktalarda yaptırımlar uygulanabilir. Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi için tarihi çevre bilincinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Yüzyıllar boyunca kentin ticari faaliyetlerine ev sahipliği yapmakta olan hanlar bölgesi, yaşadığı tüm bu değişimlere rağmen varlığını sürdürme çabası içindedir. Bölge gün içinde hem yerli hem yabancı binlerce insana hizmet vermektedir. Köhnemeye başlayan, atıl bölümleri gün geçtikçe artan, yer yer metruklaşan bu alanın yüklerinden kurtarılarak yeniden canlandırılması hem bölgenin cazibesini daha da arttıracaktır hem de ekonomik olarak kente büyük katkı sağlayacaktır. Yerel halkın aktif olarak hem toptan hem de perakende alışveriş için kullandığı bu alan ülkemize gelen turistlerin de ilgisini çokça çekmektedir. Han yapılarının mevcut işlevlerini sürdürmesi ya da özgün yapısını tehdit etmeyecek yeni fonksiyonlarla yaşatılması, yüzyıllardır süregelen geleneksel ticaret aksının daha yüzyıllar boyu varlığını sürdürmesine olanak sağlayacaktır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkış sürecinde benden desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Leyla Suri'ye, Gerekli belge ve bilgilere ulaşmamda destek sağlayan Fatih Belediyesi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynakça

- Akça, Melek. (2008). Tarihi yarımada içerisinde bulunan Hanlar Bölgesi'nin kentsel tasarım ilkeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aksu, L., E., (2010) "Yerel Yönetimlerde Ulaşım ve Kent Estetiği İlişkisi: Eminönü Meydanı ve Çevresindeki Ulaşım Sistemi Öğeleri Üzerine Bir Değerlendirme" Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Mahalli İdareler ve Yerinden Yönetim Bilim Dalı, İstanbul,63,158-164
- Ayverdi, Z. (1972). İstanbul Han Mimarisi. İstanbul: Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Benli, G. (2007). İstanbul Tarihi yarımadada bulunan han yapıları ve avlulu hanların koruma sorunları. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Rölöve-Restorasyon, Doktora Tezi, İstanbul.
- BİMTAŞ, 2005-2007. Tarihi Yarımada Eminönü ve Fatih İlçeleri Sit Alanları 1/500 ve 1/1000 Ölçekli Koruma Planları Doğrultusunda Kentsel Koruma-Yenileme-Dönüşüm Kapsamında Ekonometrik Model Oluşturulması Amaçlı Kentsel Tasarım Projesi Arşivi
- Can, S., 1996. İstanbul Yarımadası Tarihi Ticaret Bölgesinin Analizi ve Bozulan Dokunun Yeniden Kurulmasında Tasarım Önerileri, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bina Bilgisi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Çeçener, H. B. (2011). Eminönü Hanlar Bölgesi Anıtsal Eserler Kılavuzu. İstanbul: TMMOB Mimarlar Odası.
- Çelik, Z., 1998, 19. Yüzyılda Osmanlı Başkenti Değişen İstanbul, Tarih Vakfı Yurt yay., İstanbul
- Eldem, E., 1997, "Osmanlı Dönemi İstanbul'u". İstanbul'a Armağan III: Gündelik Hayatın Renkleri. Ed. Mustafa Armağan. İstanbul: İ.B.B Kültür İşleri Daire Başkanlığı Yayınları
- Fidan, M. S. (2009). Geçmişten Günümüze İstanbul Hanları. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası.
- Gökten, Didem. (2005). Eminönü Küçükpazar'da Arap Hanı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güran, C. (1978). Türk Hanlarının Gelişimi ve İstanbul Hanları Mimarisi. Ankara: Vakıflar Genel Müdürlüğü.
- Gülenaz, N., 2011, Batılılaşma Dönemi İstanbul'unda Hanlar ve Pasajlar, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul
- Hakyemez, B. ve Gönül, B. (2014). Eminönü Hanlarının Yeniden İşlevlendirilmesi Kapsamında Değerlendirilmesi: IV. Vakıfhan. Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 101-129.



- Hürel, H. (2005). İstanbul'un Ansiklopedik Öyküsü. İstanbul: Kapı Yayınları. İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (1917). İstanbul Bilad-ı Selase Haritası.
- Kiper, N., (2015) Osmanlı İstanbul'unda Kentsel Mekânın Değişim Süreci, Antik Çağdan XXI. Yüzyıla Büyük İstanbul Tarihi, İstanbul
- Kuban, D. (1970). İstanbul'un tarihî yapısı, Mimarlık dergisi, 5.
- Kuban, D. (2020). İstanbul 1600 Yıllık Bir Müzedir. İstanbul: Yem Yayın.
- Kuban, D., 2016, Doğan Kuban Yazıları Antolojisi 1. Cilt, İstanbul
- Kutlu, İ. & Ergün, R. (2021). Tarihi Yapılarda Yeniden İşlevlendirme Süreçlerine Sistemik Bir Yaklaşım; Atik Valide Külliyesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 172-184.
- MÜLLER, K., (1920) Die Karawanseraim im Vorderen Orient, Berlin.
- Sefer, N. ve Ahunbay, Z. Eminönü'nün Haliç Kıyı Bölgesindeki Vakıf Kültür Mirası'nın 1920- 2015 Arasında Geçirdiği Onarımlar ve Uğradığı Kayıplar. *Restorasyon*.
- Özgüç, N., 1994. "Eminönü İş Merkezi Alanı" maddesi, Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi, Kültür Bakanlığı ve Tarih Vakfı, c.3. İstanbul
- Özkan, A., 2003. Eminönü Hanlar Bölgesinin Cumhuriyetten Günümüze İzlenen Değişimi ve Yeniden Değerlendirilmesinde Öncelikli Bölgenin Saptanması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Pervititch Haritaları, İstanbul, Eminönü kazasının rehber planı 2. Kısım. 1940-1941, 1942-1943
- Pamukciyan, K. (1994). 1868'de Mevcut İstanbul Hanları. *Tarih ve Toplum*, 128.
- Resmî Gazete, 2007, Sayı:26737, Karar: 2007/12893
- İNTERNET KAYNAKLARI
- URL1: Şekil 2, Erişim tarihi:20 Eylül 2022, <https://kulturenvanteri.com/tr/#16/41.017162/28.967144>
- URL2: Şekil 3, Şekil 4, Karakaşlı, K. ve A. Berge. Darbenin darbesini yemiş Kürkcü Han. Erişim tarihi:18 Eylül 2022, <https://www.agos.com.tr/tr/yazi/16074/darbenin-darbesini-yemis-kurkcü-han>
- URL3: Kiper, N. Osmanlı İstanbul'unda Kentsel Mekânın Değişim Süreci. Erişim tarihi: 15 Eylül 2022, <https://istanbultarihi.ist>



# Kalite Yönetim Sisteminde Kullanılan İç ve Dış Tetkik Faaliyetlerinin Etkinliğinin Ölçümüne Yönelik Bir Ölçek Geliştirme Çalışması\*

Ümit Sönmez<sup>†1</sup>, Mehmet Aytekin<sup>2</sup>

1\* Gaziantep Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Gaziantep, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5670-6334), [umitsonmez60@gmail.com](mailto:umitsonmez60@gmail.com)  
2 Gaziantep Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Gaziantep, Türkiye,, (ORCID: 0000-0001-5464-0677), [aytekin@gantep.edu.tr](mailto:aytekin@gantep.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 21 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1178362)

**ATIF/REFERENCE:** Sönmez, Ü. & Aytekin, M. (2023). Kalite Yönetim Sisteminde Kullanılan İç ve Dış Tetkik Faaliyetlerinin Etkinliğinin Ölçümüne Yönelik Bir Ölçek Geliştirme. *European Journal of Science and Technology*, (50), 134-144.

## Öz

Kalite yönetim sistemi uygulamalarında iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliği; kalite yönetim sistemi performansına olumlu etki etmektedir. Dolayısıyla kalite yönetim sistemi performansının ölçümünde kullanılan araçlardan iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümü önemlidir. Literatürde iç ve dış tetkiklerin ölçümüne yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktadan hareketle çalışmada; kalite yönetim sistemi performansı ölçümünde kullanılan iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümüne yönelik bir ölçek geliştirilmiştir. Bu kapsamda çalışmada öncelikle ilgili literatür taranarak soru havuzu oluşturulmuş ve kapsam geçerliliği için uzman görüşleri alınmış ve akabinde ölçekte anlaşılmayan maddelerin olup olmadığını test etmek için bir pilot çalışma yapılmıştır. Daha sonra geçerlilik ve güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Bu araştırma, Türkiye'de ISO 9001:2015 belgesine sahip işletmelerde anket yöntemi ile toplanan verilerin ile yapılmıştır. Analizlerin sonucuna göre; ölçeğin KMO değeri 0,958, Bartlett testi sonucu  $\chi^2=4887,780$ -df=120 ( $p<0,001$ ) olarak bulunmuştur. Keşfedici faktör analizine göre; toplam 16 maddeden iki faktörlü bir yapı olduğu görülmüştür. Bu yapıdaki iç tetkik değişkenine ait maddelerin faktör yükleri 0.606 ile 0.798 arasında ve dış tetkik değişkenine ait maddelerin faktör yükleri de 0,700 ile 0,855 arasında olduğu ve iki faktöre ait maddelerin toplam varyansın %72,340'ını açıkladığı tespit edilmiştir. Cronbach Alfa katsayısı ( $\alpha$ ) iç tetkik ölçeği için  $\alpha=0,922$  ve dış tetkik ölçeği için  $\alpha=0,953$  değerleri bulunmuştur. Ayrıca doğrulayıcı faktör analizine göre iki faktörlü ölçeğin yapısı doğrulanmış olup uyum değerlerine ilişkin CMIN/df, CFI, TLI değerlerinin iyi uyum, GFI ve RMSEA değerlerinin ise kabul edilebilir uyum değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar; iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümünde kullanılabilir olan bu ölçeğin güvenilir ve geçerli bir ölçüm aracı olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Kalite Yönetim Sistemi, İç Tetkik, Dış Tetkik, Ölçek Geliştirme

## Measuring the Efficiency of Internal and External Audit Activities Used in the Quality Management System: Developing a Scale Study

### Abstract

In quality management system applications; Internal and external audit activities have a positive effect. The effectiveness of these activities is more important. So, we should measure the effectiveness of internal and external audit activities and this is one of the tools used to measure the performance of the quality management system. We haven't seen more studies in the literature on the measurement of internal and external audit effectiveness. As a result of this study; A scale has been developed to measure the internal audit and external audit activities' effectiveness used in the measurement of quality management system performance. In this context, first of all, questions of the item pool were created by scanning the related literature, and opinions of experts were taken to ensure content validity. Later, a pilot study was made to test whether there were items that were not understood on a possible scale or that

\* Bu makale, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yürütülmekte olan doktora çalışmasından türetilmiştir.

† Sorumlu Yazar: [umitsonmez60@gmail.com](mailto:umitsonmez60@gmail.com)

could cause misunderstanding. Then, reliability and validity analyzes of the scale were made. This study confirmed the data obtained by using the technique of the survey in the companies which have got ISO 9001:2015 certificate in Turkey. The result of the analysis; The value of KMO was found to be 0.958, and the result of the Bartlett test was found as  $\chi^2=4887,780 \sim df=120$  ( $p<0.001$ ). According to the exploratory factor analysis, We obtained this two-factor structure of 16 items in total. We saw that the factor loads of the internal audit variable were between 0.606 and 0.798, and the factor loads of the external audit variable were between 0.700 and 0.855. And also we saw these two factors explained 72,340 % of all the variance. The coefficient of Cronbach's Alpha ( $\alpha$ ) was found  $\alpha=0.922$  for the internal audit scale and  $\alpha=0.953$  for the external audit scale. In addition, according to the factor analysis confirmatory, the scale of two-factor structure was obtained  $\chi^2=207,911$ ;  $Df=99$ ;  $CMIN/df=2,100$ ;  $GFI=0.926$ ;  $CFI=0.978$ ;  $TLI=0.973$ ; It was calculated as  $RMSEA=0.059$ . In this context, it was determined that  $CMIN/df$ ,  $CFI$ , and  $TLI$  values of the scale provided good consistency, and  $GFI$  and  $RMSEA$  values provided acceptable consistency values. According to these results; We can use this scale to measure the effectiveness of internal and external audit activities and it is also a valid and reliable measurement tool.

**Keywords:** Quality Management System, Internal Audit, External Audit, Scale Development

## 1. Giriş

Kalite yönetimi; ilgili tarafların ihtiyaçları, beklentileri ve yasal şartlarını yerine getirerek müşteri memnuniyet seviyesinin artırılmasına yönelik dünyada onaylanmış bir yönetim sistemi biçimidir. Kalite yönetimi; işletmenin örgütsel yapısından müşterilerin memnuniyet düzeyine, elde edilen verilerin analizinin yapılmasından proseslerin etkili ve verimli kontrol edilmesine, iç ve dış tetkiklerden ürün tasarımıyla, satın alma ve pazarlamaya kadar birçok faaliyet alanında sahip olunması gereken şartları belirlemektedir (Başaran, 2016:34). Kalite yönetim sisteminin amacı; kusur ve hataları azaltarak ortadan kaldırmak ve en önemlisi meydana gelebilecek kusur ve hataların oluşmasının önceden engellemektir. Kalite yönetim sistemindeki asıl amaç, İyi bir yönetim sistemi kurarak müşterilere her defasında aynı kalitede ürünler sağlamaktır. (Guion, 2010:18). Kaliteli ürün ve hizmetlerin gerçekleşmesi için işletme içerisindeki bütün proseslerin kontrol altına alınması ve yapılan faaliyetlerin kayıt altına alınması gerekmektedir. Kalite yönetim sistemi ile ilgili yapılan faaliyetlerin doğruluğunu ispatlamak, varsa aksayan noktaları tespit etmek ve iyileştirme noktalarını belirlemek, daha da önemlisi kurulan sistemin ISO 9001:2015 standardına uygun olup olmadığını gözlemek için de tetkikler yapılmalıdır.

İşletmeler sundukları ürün ve hizmetleriyle ilgili müşterilerine kalite güvencesi verebilmek için kalitelerini ispatlamak durumundadırlar. Bunun içinde en iyi yöntemlerden birisi yönetim sistemlerinin sertifikalandırılmasıdır. Çok sayıda sertifikalandırma standardı bulunmasına rağmen uluslararası arenada en çok kullanılan kalite standartları serisi ISO 9000'dir. İşletmelerin kalite yönetim sistemi sertifikası alabilmesi, bağımsız akredite bir kuruluşun değerlendirme ve denetim süreci ile mümkündür. İşletmelerin kalite yönetim sistemi ISO 9001 sertifikası alabilmesi için üçüncü bir kuruluş vasıtasıyla ISO 9001 standardının şartlarına uygun olup olmadığı düzenli aralıklarla tetkikler yapılarak onaylanmalıdır (Lopez-Mielgo vd., 2009:538).

ISO 9001 kalite yönetim sistemi standardının sürdürülebilirliği sadece sertifikasyonun sağladığı faydalara göre değil, aynı zamanda tetkiklerinin etkinliğine de bağlıdır. Dolayısıyla ISO 9001'nin etkinliği üzerinde, sertifikasyon kuruluşlarının önemli bir rolü bulunmaktadır. Ayrıca tetkikçilerin kalite yönetim sistemine bakış açısı, sistemin işleyiş şekli etkilemektedir. Tetkikçilerin dokümantasyona aşırı yönelimi, işletme için kalite yönetim sisteminin sağlayacağı faydanın önüne geçebilmesine neden olabilir (Poksinska vd., 2006:510). Ayrıca tetkiklerin düzenli bir şekilde yapılmaması, sertifikasyon sonrasında karşılaşılan diğer bir sorundur (Chow-Chua v.d., 2003:950). Bazı işletmeler ISO 9001 sertifikasını özel danışman şirketleri ile anlaşarak almaktadırlar. Onu yerine işletmeler kendileri bile bu yönetim sistemini kurabilirler. ISO 9001 kalite yönetim sistemi, işletmelerin faaliyetlerini yürütmede rehberlik yapan bir standarttır. Diğer taraftan işletmelerin faaliyetlerini yürütme şeklini çalışanlarından daha iyi kimse bilemez bu yüzden işletmelerin kendi iç denetim mekanizması kurması tavsiye edilmektedir (Huang, 1998:378).

Kalite yönetim sistemi tetkikleri, iç ve dış tetkikler olarak iki şekilde gerçekleşmektedir. İç tetkikler; işletme içerisinde iç tetkikçi eğitimi almış yetkin kişiler tarafından yapılan tetkiklerdir. Dış tetkikler; yurtiçi ya da yurtdışı akreditasyon kuruluşları tarafından akredite olmuş kuruluşlar tarafından yapılan tetkiklerdir. Dış tetkikler; sertifikalandırma başvurusu yapan işletmelerin kalite yönetim sisteminin, üçüncü bir göz tarafından sistematik bir şekilde değerlendirilmesidir. Tetkik ekiplerinin her tetkik başlangıcında belirttikleri gibi asıl amaç uygunsuzluk bulmak değil; katma değer sağlayan ve işletmenin kalite yönetim sistemi performansını arttırmaya yönelik tetkikleri gerçekleştirmek ve örnekleme metodu çerçevesinde sistemin uygunluğunun değerlendirilmesini sağlamaktır (Juran ve Godfrey, 1999:1179-1181).

Tetkiklerin temel prensibi, ISO komiteleri tarafından belirlenen standart maddelerine göre sistemler kurulmasıdır. Bu prensipler, yönetimin politikasını ve kontrolünü destekler, tetkiklerin güvenilir ve etkin olmasını sağlar ve işletmenin kalite yönetim sistemi performansının iyileştirilmesi için yapabilecek bilgiler sunar. Benzer sonuçlara ulaşabilmek için tetkikçilerin bu prensiplere göre hareket etmeleri gerekmektedir. Tetkikler; sınırlı kaynakların verimli ve maksimum fayda sağlayacak şekilde değerlendirilmesinde ve kalite performansının artırılmasında, en fazla katkı sağlayacak unsurların başında gelmektedir (Başaran, 2016:34). Dolayısıyla verimliliği ve etkinliğin artırılabilmesi için çağdaş tetkik yaklaşımlarının ön planda tutulması gerekir.

Literatürde kalite yönetim sistemi ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle kalite yönetim sistemi ile işletme performansı arasındaki ilişkilerin analizine yöneliktir. Literatürde, kalite yönetim sisteminin doğru uygulanıp uygulanmadığı ve kalite yönetim sistemi performansı değerlendirilmesine ve iyileştirilmesinde etkin bir şekilde kullanılan iç ve dış tetkiklerin değerlendirilmesine yönelik çok fazla çalışma yapılmadığı görülmüştür. Buradan hareketle çalışmada; kalite yönetim sistemi performansı ölçümünde kullanılan iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümüne yönelik bir ölçek geliştirilmiştir. Bu kapsamda çalışmada öncelikle ilgili literatür taranarak soru havuzu oluşturulmuş ve kapsam geçerliliğinin sağlanması için uzman görüşleri alınmıştır. Sonra bir pilot çalışma yapılmış ve daha sonra ölçeğin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri yapılmıştır.

## 1.1. Kalite Yönetim Sistemi Performansı Ölçümünde Kullanılan Tetkikler

Kalite yönetim sistemi (KYS) uygulamaya karar veren kuruluşlar sistemin uygunluğunu, sürekli geliştirilmesini ve sürdürülebilir olmasını kontrol etmek için performansını ölçerler. KYS sistemi performans ölçülmesi; ISO 9001:2015 KYS standardı 9.maddesinde belirtildiği gibi yapılmalıdır. KYS performans değerlendirilmesi; 1) Ölçme, izleme ve analizin değerlendirilmesi, 2) İç tetkikler ve 3) Yönetimin gözden geçirmesi üç başlık doğrultusunda kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. İzleme, ölçme, analiz ve değerlendirme: Kalite yönetiminde tespit edilen uygunsuzlukların giderilerek sürekli iyileştirilme noktalarının nerelerde yapılabileceğini belirlemek ve KYS uygunluğunu sağlamak için ihtiyaç duyulan iyileştirme, ölçme, izleme ve analiz proseslerini kapsar. Bu süreçte; ortaya çıkan uygunsuzlukların nedenleri tespit edilir ve iyileştirme fırsatları belirlenir, düzeltici ve iyileştirici faaliyetlere yönelik plan ve programlar kuruluşlar tarafından oluşturularak uygulanır (Kim, 2010:54). İç tetkikler: Kalite yönetiminin uygunluğunu ve performansını ölçmek için sistemin şartlarının etkili olarak uygulandığını ve sürekliliğinin takip edildiği objektif kayıtlarla ispatlandığına dair belirlenen şartların yerine getirildiğinin tetkikçiler tarafından kontrolüdür. Yönetimin gözden geçirmesi: Kalite yönetiminin amacına uygunluğu, yeterliliği, etkinliği ve kuruluşun stratejik tarafı ile uyumlu olmasını güvence altına alarak, kuruluşun üst yönetiminin planlı aralıklarla kalite yönetim sistemi toplantıları yapması ve yapılan bu toplantılarda belirlenen konuları gözden geçirmesidir (TS EN ISO 19011 Kalite ve Çevre Yönetim Sistemleri Tetkik Kılavuzu).

Kalite yönetim sisteminde tetkikler; iç tetkik, tedarikçi tetkiki ve belgelendirme tetkikleri olmak üzere üç grupta gerçekleştirilmektedir. İç tetkikler; işletmenin gerçekleştirdiği faaliyetlerin denetlemesidir. İkinci taraf tetkikler olan tedarikçi tetkikleri, işletmelerin ürün ve hizmetlerini gerçekleştirmek için hammadde ve malzeme satın aldığı tedarikçilerin denetlenmesidir. Üçüncü taraf tetkikler de belgelendirme kuruluşlarının yaptığı dış tetkik denetlemesidir. İşletmeler iç tetkiki kendileri gerçekleştirebileceği gibi dışarıdan bir başka kuruluştan destek alarak da gerçekleştirebilir. Üçüncü taraf tetkiklerini belgelendirme kuruluşları gerçekleştirilmektedir ve dış tetkikler olarak değerlendirilmektedir. İkinci taraf tetkiklerde tedarikçi tetkikleri yani dış tetkikler gibi düşünülüp karıştırılmamalıdır. Bu çalışmada birinci ve üçüncü taraf tetkikler, iç ve dış tetkik olarak değerlendirilmiştir. Bu anlamda iç ve dış tetkik yönetimi için oluşturulan TS EN ISO 19011 standardı tetkik prensipleri, bir tetkik programının yönetilmesi ve kalite yönetim sistemi tetkiklerinin gerçekleştirilmesi için yol göstermektedir.

İç tetkikler, işletmenin kendi bünyesinde çalışan ve bu işin eğitimini almış iç tetkikçileri tarafından gerçekleştirilen çok yönlü ve ayrıntılı denetleme mekanizmasıdır. İşletmede üst yönetim tarafından görevlendirilmiş, sonuçları sadece işletme çalışanlarıca bilinen ve işletme birim sorumlularına ve üst yönetime raporlanmak için yapılan bir tetkiktir. İç tetkikler; geçmişe dönük yapılan tetkikleri de kapsamalı, mutlaka geleceğe dönük planlamalarda yapılarak, daha da ileriye ve gelişime dayalı faaliyetleri hedef almalıdır. Maliyet azaltıcı, yenilik (inovasyon) getiren, sistemleri sorgulayan, hizmetlerin ve ürünlerin kalitesini iyileştiren, eğiten, etkinliği ve verimliliği artıran olmalıdır. Yeniliklere ve değişimlere yol gösteren dinamik bir yapıya sahip olmalıdır. Tüm işletme faaliyetleri ile ilgili iş akışlarının ve sistemin kendi kontrol mekanizmasının yürütülmesine bağlı olarak ortaya çıkabilecek riskleri önceden görmeyi sağlayacak proaktif bir yapıya sahip olmalıdır.

Dış tetkikçiler geçmiş veriler kullanarak değerlendirme yaparken, iç tetkikçiler de mevcut ve gelecekte yapılması planlanan faaliyetlerin verimli ve etkili olmasına odaklanırlar. (Fraser 2004). Dış tetkikçilerin önemli rollerinin başında risklerin kontrol edildiğini görebilen denetimlerin yürütülmesini sağlamaları gelmektedir (Shantz 2002). Dış tetkik yapan tetkikçilerin görevlerini zamanında, etkili ve güvenli bir şekilde yapabilmeleri daha çok denetlenen işletmelerin kendi iç kontrol mekanizmalarının güvenilir ve gelişmiş olması sayesinde mümkündür. Fakat iç kontrol mekanizmasının sağlıklı bir şekilde yapılmaması işletme içindeki bürokrasiyi artırıp, kârlılık ve verimliliği negatif yönde etkilemektedir (Sanal 2002).

Gerçekleştirilen iç ve dış tetkiklerin planlama, hazırlık, uygulama, raporlama, takip ve kapatma safhaları bulunmaktadır. Bu safhaları ve tetkikleri uygun bir şekilde gerçekleştirmek istenen amaca ulaşılmasında önemli bir yer tutar. Etkin bir şekilde gerçekleştirilen tetkikler için yalnızca objektif delillere itibar edilmelidir. İç ve dış tetkikler için hazırlanan sorular açık uçlu ve net olmalı, uygunluğun veya uygunsuzluğun mevcudiyeti ve doğruluğu teyit edilmelidir. Tetkikler sonucunda elde edilen bulgulara göre sistemin bir fotoğrafı çekilmeli, aksiyon planları belirlenmeli ve iyileştirme gereken noktalar tespit edilip üst yönetime bilgi verilmelidir.

## 1.2. Kalite Yönetim Sistemi Performans Ölçümü İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yönetim sistemi performansının ölçülmesine yönelik literatürde çok az çalışma bulunmaktadır. Bu kapsamda çalışma konusu ile ilgili; “quality management system, internal audit, external audit, quality audit, quality performance of the audits” anahtar kelimeler Science Direct, ProQuest, Emerald, Business Source Premier (EBSCO) ve Elsevier online veri tabanlarında 1990 ve 2021 yılları arasında yapılan çalışmaları incelenmiştir. Bu incelemeler sonrasında konu ile ilgili on tane makale bulunabilmiştir. Bu makalelerin 5 tanesinin araştırma konusu ile ilgili olmadığı tespit edilmiş ve çıkarılmıştır. Çıkarılan bu çalışmalarda; Rezaee (1996) Toplam kalite yönetimi (TKY) ile muhasebe alanında kullanılan iç denetim işlev kalitesini araştırmış, Kluse (2012) doktora çalışmasında yönetim temsilcilerinin üçüncü parti denetim sürecini nasıl algıladıklarını dair bir araştırma yapmış, Mardijuwono ve Subianto (2018) muhasebe denetim kalitesi ile birlikte; profesyonellik, serbestlik ve şüpheli yaklaşım arasındaki ilişkiyi araştırmış, Ağ ve Çil (2019) TKY ve muhasebede kullanılan iç denetimini araştırmış ve son olarakta Hassan, Zailani ve Hasan (2021) etkili iç denetim muhasebe yönetimini etkileyen içsel ve dışsal faktörleri sınıflandıran meta-analiz araştırması yapmışlardır.

Bu taramalar sonucunda; muhasebe ve finansman alanında yapılan iç ve dış denetimlerle ilgili literatürde bulunan makalelerin çok fazla olduğu ancak kalite yönetim sisteminde gerçekleştirilen iç ve dış denetimlerin etkinliği ile ilgili yapılan çalışmaların yeteri kadar fazla olmadığı tespit edildi. Az sayıda yapılan bu çalışmalarda da iç ve dış denetimlerin faydaları ve aralarındaki ilişkiye

yönelik olduğu görüldü. Bazı makalelerinde iyi bir kalite yönetim sisteminin nasıl olması gerektiğine yönelik yapılan çalışmalar olduğu görülmüştür. Literatürde yapılan bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Simon vd., (2014) yapmış olduğu çalışmalarında; iç ve dış tetkiklerin yönetim sistemi entegrasyonu üzerindeki etkisini İspanyol şirketlerin üzerinde araştırmışlardır. Çalışmada iç ve dış tetkikler arasındaki ilişki üzerinde durmuşlar ve iç ve dış tetkikler arasındaki ilişkide önemli görülen dokuz değişkeni araştırmışlardır. Bu değişkenler; tetkik takımı, programı, stratejisi, planı, raporu, metodoloji, rehber dokümanı, sıklığı ve çıktılarıdır. Çalışmada; iç ve dış tetkikler arasında bu değişkenlerin önemli farklılıklar olmadığı belirtilmiştir. Ancak tetkik takımı, rehberi ve sıklığın iç ve dış tetkiklere göre farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir (Simon vd., 2014).

Karapetrovic ve Willborn (2000) çalışmalarında, yönetim sistemlerinin genel denetim esaslarını araştırmışlardır. Kapsamlı muhasebe, finans, kalite ve çevre sistemleri denetimlerini tanımlamayı amaçlamışlardır. Bunun için genel esaslar, ilkeler, kavramlar ortaya konulurken yaygın denetim uygulamaları olduğu ve birbirleriyle etkileşim içerisinde oldukları görülmüştür. Bu çalışmada, kalite, çevre ve muhasebe disiplinlerinden denetim ilkeleri derlenmiş ve genel bir denetim için bir dizi kural açıklanmıştır. Ortak denetim uygulamaları da tasvir edilmiş ve ardından genel bir denetim kılavuzunun ana hatları verilmiştir. Bu kılavuzun, yönetim sistemlerini ve muhasebe finans sistemlerini; ilgili denetimlerle ilişkilendirdiğinden, yönetim ve denetçiler için bir aracı yardım işlevi görebileceğini belirtmişlerdir.

Williamson vd., (1996) çalışmalarında; dünyadaki seçkin belgelendirme firmalarındaki (BVQI ve BSI gibi) tetkikçilerin tutum ve davranışlarına yönelik anket yoluyla, ISO 9001 kalite yönetim sisteminin işlevi ve rolü araştırılmıştır. Çalışmada iyi bir kalite yönetim sistemi uygulamasının gerçekleşmesinde; üst yönetimin taahhüdü, sisteme destek çıkması ve sürekli iyileştirme yapmasının çok önemli olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca iyi yönetim sistemi uygulamalarının olabilmesi için kurulan sistemin kanıtlarla desteklenmesinin ve yapılan tetkiklere gelen tetkikçilerin tutum ve davranışlarının önemli olduğu ve tetkiklerin nitelikli ve bağımsız uzmanlar tarafından yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Venter ve DyBruyn (2002) muhasebe ve finans ile ilgili yapılan iç denetim ile kalite yönetim sistemi uygulamalarının Güney Afrika'daki yansımalarını incelemişler ve çalışmalarında; çoğu işletmenin kalite yönetim sistemi ile ilgili resmi bir prensip geliştirmediğini ve denetimlerin muhasebe ve finans faaliyetlerini olumlu etkilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında iç denetimleri yapan baş denetçilerin rolünün önemine vurgu yapılmıştır. Hassan vd. (2021) çalışmalarında; etkili iç denetim muhasebe yönetimini etkileyen içsel ve dışsal faktörleri sınıflandırmaya yönelik bir meta-analizi yapmışlardır. Çalışmalarında insan kaynakları, kalite yönetim sistemi ve teknoloji imkanlarını içsel faktörler olarak; müşteriler, tedarikçiler ve yasa/yönetmelikleri de dışsal faktörler olarak sınıflandırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında entegre yönetim sisteminin sürdürülebilirlik performansına olumlu etki ettiğini de tespit etmişlerdir.

Hawkes ve Adams (1994) çalışmalarında; iç tetkikçilerin karşılaşabileceği durumların başında, işletmedeki kültürel ve organizasyonel değişimlerin TKY sistemini etkilemesiyle şekillenebileceğinden bahsetmiştir. Toplam kalite yönetimi (TKY) ile iç tetkik işlev kalitesini güçlendirmek için Rezaee (1996) TKY sürecinden daha fazlası gerektiğini belirtmiştir. Kluse (2012) çalışmasında; işletmelerin üçüncü taraf dış tetkiklerinden yeterince faydalanılmadığını tespit etmişlerdir. Bunun sebebinin de ISO/TS16949 standardının işletmenin kalite yönetim sistemini değerlendirmede yeterli olduğu ancak üçüncü taraf tetkiklerin etkin yapılamaması nedeniyle üçüncü taraf tetkik sürecinin işletmeye istenilen katma değeri sağlamadığını belirtmişlerdir. Ağ ve Çil (2019) çalışmalarında TKY ve iç denetimin birbirlerini dolaylı ya da doğrudan etki ettiğini ve iç denetimin TKY açısından maliyeti azalttığı, verimliliği artırdığını tespit etmişlerdir.

Literatürde kalite yönetim sistemi performansı değerlendirme sürecinin en önemli aşaması olan iç ve dış tetkiklerin performanslarını ölçmeye yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu kapsamda çalışmada, kalite yönetim sistemi performansının ölçümünde gerçekleştirilen iç ve dış tetkiklerin performansının ölçülmesine yönelik bir ölçek geliştirmek amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada; kalite yönetim sistemi performansının ölçümünde kullanılan iç ve dış tetkiklerin etkinliğinin ölçülmesine yönelik bir ölçek geliştirmek amacıyla nitel ve nicel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında; araştırma konusu çerçevesinde literatür taraması, uzman görüşlerine başvuru ve olası soru maddelerini (soru havuzu) oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında ise taslak ölçek yardımı ile veri toplama ve elde edilen verilerinin analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda geliştirilecek ölçeğe ilişkin pilot uygulama, geçerlilik ve güvenilirlik analizleri yapılmıştır.

### 2.1. Ölçek Geliştirme Süreci

Ölçek geliştirme süreci; soru havuzunun oluşturulması, ölçeğin yapılandırılması ve ölçeğin değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Soru havuzu-taslak ölçek oluşturma; ölçülmek istenen yapıyı ölçtüğü varsayılan maddelerin belirlenerek bir ölçme aracının tasarımıdır. Madde geliştirmede, esas olarak ölçeğin uygunluğu için minimum psikometrik gereklilik olan içerik geçerliliğinin sağlanması gerekmektedir. İçerik geçerliliği, ölçülmesi amaçlanan bileşenin temsil edici bir örnekleme sisteminin ölçeğin maddelerince sağlanıp sağlanmadığını test eder. Ayrıca bu aşamada uzman görüşlerine başvurulmaktadır. İçerik geçerliliği sağlandığı takdirde kapsam geçerliliği de sağlanmış olur. Uzman görüşlerine başvurulup ölçek son şeklini aldıktan sonra pilot uygulamaya geçilir. Son olarak pilot uygulamadan elde edilen veriler geçerlilik ve güvenilirlik yönünden istatistiksel analize tabi tutularak orijinal ölçek son şeklini alır (Bayık v.d., 2016: 193-196).

### 2.1.1. Madde Havuzunun Oluşturulması

Kalite yönetim sistemi performansının ölçümünde gerçekleştirilen iç ve dış tetkiklerin performansının ölçülmesine yönelik madde havuzunun oluşturulması; ilgili literatür taraması yapılarak kavramsal çerçeve ortaya konmuştur. Ayrıca belgelendirme sektöründe faaliyet gösteren 5 şirket yöneticisine ile yapılan görüşmelerle elde edilen bilgiler doğrultusunda olası ölçek maddeleri oluşturulmuştur. Literatür taraması ve yöneticilerin hazırladıkları metinlerle oluşturulan maddeler karşılaştırılmış, benzer ya da tekrar eden maddeler çıkarılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda 18 adet iç tetkik ve 16 adet dış tetkik sorusu olmak üzere toplam 34 maddelik bir havuz oluşturulmuştur. Tekrara düşmemek için oluşturulan madde havuzu burada verilmemiş fakat kapsam geçerliliğine ilişkin değerler Tablo 1’de görülebilir.

### 2.1.2. Uzman Görüşlerinin Alınması

Madde havuzundaki maddelerin kapsam geçerliliğine bakmak için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu kapsamda öncelikle havuzda yer alan maddelerin anlam, imla ve yazım açısından uygunluğu değerlendirilmiş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Sonra alandaki 12 uzman kişi tarafından havuzdaki her bir madde “gereksiz”, “gerekli” ve “yararlı” şeklinde değerlendirmişlerdir. Uzman görüşlerinin değerlendirilmesinde Lawshe Tekniği kullanılmış ve her madde ile ilgili kapsam geçerlik oranları (KGO) ve kapsam geçerlilik indeksleri (KGİ) hesaplanmamıştır. Yapılan analizler sonucunda KGO değerleri 0.59’dan düşük olan maddeler havuzdan çıkarılmıştır (Lawshe, 1975: 567-568; Şencan, 2005: 754). Bu kapsamda madde havuzundaki iç tetkik maddelerinden 8 madde, dış tetkik maddelerinden 6 madde KGO değerlerine uymadığı için çıkarılmış ve ölçek 20 madde olarak sadeleştirilmiştir. Ayrıca uzman değerlendirmeleri sonucunda geçerlilik indeksi (KGİ)=0.95 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Maddelere İlişkin Uzman Görüşleri ve Kapsam Geçerliliği

Maddeler	G	S	Y	KSO
<b>İç Tetkik</b>				<b>0,81</b>
1. Yönetimin belirlediği periyotlar dışında da iç tetkikler gerçekleştirir.	12			1
2. İç tetkikler yapılmadan, birimlere duyurular yapılır.	10		2	0,66
3. Tetkikçiler, standartlara uygun olarak soru listeleri oluşturur ve bu sorularla ilgili birimleri denetler.	11		1	0,83
4. İç tetkiklerde tetkikçiler ISO 9001 KYS standardının bütün maddelerini ilgili birimlere göre standart soru listeleri doğrultusunda kontrol ederler.	4	3	5	-0,33
5. Tetkikçiler; ilgili birimlere standart soru listesi dışında farklı sorularda sorabilir.	11		1	0,83
6. Tetkikçiler; standartların ne derece uygulandığını görmek için objektif deliller ister.	12			1
7. İç tetkik soru listelerine standardın istediği soruların dışında denetimi yapılan bölüme ait ekstra soru eklenir.	5	4	3	-0,16
8. İç tetkikler; iç tetkikçi eğitimi almış, uzman kişiler tarafından yapılır.	10		2	0,66
9. İç tetkiklerin başlangıcında açılış toplantısı yapılır.	4	5	3	-0,33
10. Açılış toplantısına belirlenen birim sorumlularının tamamı katılır.	3	5	4	-0,50
11. Açılış toplantısında yapılacak iç tetkik faaliyetiyle ilgili gerekli bilgilendirme yapılır.	4	3	5	-0,33
12. Kapanış toplantısı programda belirtilen saatler içerisinde gerçekleşir.	5	2	5	-0,16
13. Kapanış toplantısına her birimin sorumlusu katılır.	2	6	4	-0,66
14. Kapanış toplantısında uygunsuzlukların raporlanması ve gözlemler programda belirtilen saatler içinde gerçekleşir.	2	5	5	-0,66
15. Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.	11		1	0,83
16. Tetkikçiler; tetkikler sonrasında hazırladığı raporu üst yönetime sunar.	12			1
17. Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesine için gerekli takipleri yapar	10		2	0,66
18. Belirlenen sürelerde eksikler düzeltilmez ise ilgili birimlere cezai müeyyideler uygulanır.	10		2	0,66
<b>Dış Tetkik</b>				<b>0,79</b>
1. Dış tetkikler; belgelendirme firması tarafından her yıl, belirlenen periyotlarda yapılır.	10		2	0,66
2. Dış tetkikler gerçekleşmeden önce tetkik plan ve programı hakkında belgelendirme kuruluşu tarafından firmamızla iletişim kurularak yazılı ya da sözlü bilgilendirme yapılır.	4	5	3	-0,33
3. Dış tetkikler belirlenen plan ve programa göre gerçekleştirilir.	10		2	0,66
4. Açılış toplantısında yapılacak dış tetkikle ilgili gerekli bütün bilgilendirmeler gelen tetkikçiler tarafından yapılır.	3	2	7	-0,50
5. Dış tetkikçiler iş sağlığı ve güvenliği kurallarına ve firmamızın belirlemiş olduğu diğer kurallara göre denetimleri gerçekleştirir.	4	2	6	-0,33
6. Dış tetkikler firmamızın sektörel yapısına uygun uzman tetkikçiler, tarafından yapılır.	11		1	0,83
7. Dış tetkikçiler, firmamızda standartların uygulandığını dair objektif deliller ister.	12			1
8. Dış tetkikçiler denetime gelmeden önce standartlar hakkındaki firmamızın dokümanlarını inceler.	12			1
9. Dış tetkikçiler tetkik planında belirtilen programa uygun şekilde tetkikleri gerçekleştirir.	10		2	0,66
10. Kapanış toplantısı programda belirtilen saatte gerçekleşir.	5	2	5	-0,16
11. Kapanış toplantısına her birimin sorumlusu katılır.	4	2	6	-0,33
12. Kapanış toplantısında uygunsuzlukların raporlanması ve gözlemler programda belirtilen saatler içinde gerçekleşir.	4	5	3	-0,33
13. Dış tetkikçilerin tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için firmamızın üst yönetimi isteklidir.	10		2	0,66
14. Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.	10		2	0,66

15. Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların belirlenen sürelerde düzeltilmesine için gerekli takipleri yapar.	12			1
16. Belgelendirme firması aynı dış tetkikçileri diğer yıllarda denetim için firmamıza göndermez.	11		1	0,83
<b>G=Gerekli, S=Gereksiz, Y=Yararlı, KSO= Kapsam Geçerlilik Oranı</b>				

Tablo 1’de görüldüğü üzere madde havuzundaki her maddenin kapsam geçerlik oranları  $KGO = \frac{Ne-N/2}{N/2}$  formülü ile hesaplanmıştır. Formülde “Ne” gerekli , “N” ise toplam uzman sayılarını göstermektedir (Lawshe, 1975: 567). KGO’ların hesaplanması sonucunda KGO=0,59 değerinin altında kalan iç tetkik sorularından 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14. maddeler, dış tetkik sorularından ise 2, 4, 5, 10, 11 ve 12. maddeler madde havuzundan çıkartılmıştır. Daha sonra geri kalan maddelerin ortalaması hesaplanarak kapsam geçerlik indeksleri bulunmuştur. Bu kapsamda ölçüğe ait iç tetkikler boyutunun kapsam geçerlik indeksi (KGİ)=0,81 ve dış tetkikler boyutunun KGİ=0,79 değeri elde edilmiştir. Dolayısıyla ölçüğün istatistikte anlamlı olduğu (p<0,05) söylenebilir.

### 2.1.3. Pilot Uygulama

Pilot uygulama, uzman görüşleri ve kapsam geçerlilik sonrasında 59 kişi üzerinde yapılmıştır. Pilot uygulama araştırmacı tarafından, 2021 yılı Mart ayında yüz yüze görüşme yoluyla gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulamada; ölçüğe ait soruların yaklaşık 5 dakikada cevaplandığı, katılımcılarının cevap vermektan kaçındığı, anlaşılmayan veya yanlış anlaşılmaya neden olabilecek maddelerin bulunmadığı görülmüştür. Dolayısıyla ölçüğün analiz aşamasına geçilmesi için anket formu oluşturulmuştur.

### 2.1.4. Evren ve Örneklem

Bu çalışmanın evrenini; Türkiye’deki ISO 9001:2015 sistem belgesi sahibi işletmeler oluşturmaktadır. TURKAK Akreditasyon Kurumundan akredite edilmiş özel belgelendirme kuruluşlarından alınan ISO 9001:2015 belgesine sahip üretim ve hizmet sektöründeki işletme sayısı, 2021 yılı verilerine göre yaklaşık 4000’dir. Dolayısıyla araştırmamızın evrenini bu işletmeler oluşturmaktadır. Araştırmada evreni tamamına ulaşmak çok zor olduğu için evreni temsil edebilecek örneklem alma yöntemine başvurulmuştur. DeVellis (2014: 157)’te iyi bir veri analizi yapmak için ölçekteki madde sayısının yaklaşık 5 ila 10 katı örneklem olması beklenir. Comrey ve Lee (1973); 100 örnekleme “az”, 200 örnekleme “normal”, 300 örnekleme “uygun”, 500 örnekleme “çok uygun” ve 1000 örnekleme ise “süper” olarak kategorize etmektedir. Dolayısıyla; bizim araştırmamızdaki ölçekte 20 madde olduğundan, örneklemin en az 200 olması gerekmektedir.

Araştırmada kolayda örneklem yöntemi kullanılmış olup bu yöntem ile Türkiye’de ISO 9001:2015 belgesine sahip 300 işletmeden veri toplanmıştır. Veriler 2021 yılı Mart, Nisan ve Mayıs aylarında işletmelerin kalite yönetim temsilcilerine ön telefon görüşme sonrası online anket uygulaması yoluyla elde edilmiştir.

### 2.1.5. Ölçeğin Hatasızlık Kontrolü

Bu aşamada ölçüğe ait yapılacak analiz sonuçlarının etkilenmemesi için elde edilen verilerin frekans dağılımlarına bakılmış, veri giriş hatası ve cevapsız sorulara ilişkin eksik veri kontrolleri yapılmış ve normal dağılım olup olmadığı incelenmiştir.

Tablo 2. Verilere Ait Ortalama, S.Sapma, Çarpıklık ve Basıklık Değeri

Maddeler	Ort.	St.Sp.	Çarpıklık	Basıklık
Yönetimin belirlediği periyotlar dışında da iç tetkikler gerçekleştirir.	3,629	1,228	-,694	-,524
İç tetkikler yapılmadan, birimlere duyurular yapılır.	4,079	1,107	-1,291	1,052
Tetkikçiler, standartlara uygun olarak soru listeleri oluşturur ve bu sorularla ilgili birimleri denetler.	4,289	0,975	-1,684	1,884
Tetkikçiler; ilgili birimlere standart soru listesi dışında farklı sorularda sorabilir.	3,943	1,072	-,993	,370
Tetkikçiler; standartların ne derece uygulandığını görmek için objektif deliller ister.	4,346	0,950	-1,908	1,827
İç tetkikler; iç tetkikçi eğitimi almış, uzman kişiler tarafından yapılır.	4,349	0,954	-1,813	1,296
Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.	4,429	0,869	-1,152	1,431
Tetkikçiler; tetkikler sonrasında hazırladığı raporu üst yönetime sunar.	4,387	0,922	-1,023	1,386
Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için gerekli takipleri yapar.	4,298	0,954	-1,690	1,834
Belirlenen sürelerde eksikler düzeltilmez ise ilgili birimlere cezai müeyyideler uygulanır.	3,375	1,323	-0,333	-1,016
Dış tetkikler; belgelendirme firması tarafından her yıl, belirlenen periyotlarda yapılır.	4,375	0,996	-1,050	1,015
Dış tetkikler belirlenen plan ve programa göre gerçekleştirilir.	4,400	0,954	-1,021	1,197
Dış tetkikler firmamızın sektörel yapısına uygun uzman tetkikçiler, tarafından yapılır.	4,368	0,980	-1,021	1,018
Dış tetkikçiler denetime gelmeden önce standartlar hakkındaki firmamızın dokümanlarını inceler.	4,187	1,077	-1,555	1,915
Dış tetkikçiler, standartların ne derece uygulandığını görmek için objektif deliller ister.	4,463	0,871	-1,359	1,915
Dış tetkikçiler tetkik planında belirtilen programa uygun şekilde tetkikleri gerçekleştirir.	4,413	0,907	-1,096	1,818
Dış tetkikçilerin tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için firmamızın üst yönetimi isteklidir.	4,232	1,003	-1,544	1,152
Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.	4,362	0,949	-1,950	1,925
Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukları belirlenen sürede düzeltilmesi için gerekli takibi yapar.	4,321	0,945	-1,796	1,359
Belgelendirme firması aynı dış tetkikçileri diğer yıllarda denetim için firmamıza göndermez.	3,508	1,298	-506	-827

Araştırma kapsamında elde edilen verilerde herhangi eksiklik görülmemiş, hatalı ve yanlış veri girişi gibi sebeplerden oluşabilecek uç verilere rastlanmamıştır. Tablo 2’de verilerin basıklık ve çarpıklık değerleri incelenerek normal bir dağılım olup olmadığı görülmektedir. Elde edilen verilerin basıklık ve çarpıklık değerlerinin -2 ile +2 arasında olduğu (George and Mallery: 2010) için verilerin normal dağılım gösterdiği kabul edilmiştir.

### 2.1.6. Ölçeğin Yapı Geçerliliği ve Güvenirliği

Bu çalışmada ölçeğin yapı geçerliliğini belirlemek amacı ile önce keşfedici faktör analizi yapılmış sonra belirlenen yapılarına göre doğrulayıcı faktör analizi yapılmıştır. Çalışmada ayrıca benzeşim ve ayrışım geçerliliği ile ölçüte dayalı geçerlilik analizleri yapılmıştır. Daha sonra ölçeklerin güvenirlilikleri analiz edilmiştir.

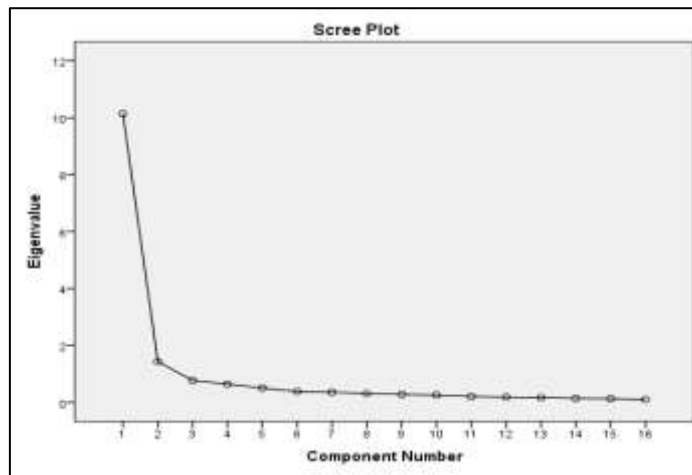
#### 2.1.6.1. Ölçeğe İlişkin Açımlayıcı (Keşfedici) Faktör Analizleri

Faktör analizi, kendi aralarında ilgisi olan fazla sayıdaki değişkeni daha az sayıda, anlamlı bir ilişki olduğunu belirten ve birbirlerinden bağımsız faktörlere dönüştüren istatistiksel analiz yöntemidir. Keşfedici faktör analizi; yeni oluşturulmuş model, yapı ya da başka bir dilden tercüme edilmiş ölçek değişkenlerinin altındaki faktör yapısını belirlemeyi ve keşfetmeyi amaçlamaktadır. Keşfedici faktör analiziyle, ölçülmek istenen değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkileri ve kaç boyut altında kümeleneceği belirlenmektedir. Keşfedici faktör analizinde, her bir önerme faktör yüklerine göre gruplara ayrılarak hangi faktör yükünün altında ise o faktöre dahil edilir. Araştırmada faktör analizine başlamadan önce bu verilerin analiz için uygun olup olmadığını tespit edilmesi gerekir. Verilerin faktör analizi için uygun bir yapıya sahip olup olmadığı Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) “Örnekleme Yeterliliğinin Ölçümü Testi” ve Bartlett’s Test of Sphericity “Bartlett’s Küresellik Testi” kullanılarak belirlenmektedir. KMO testi ile verilerin, faktör analiz için örnekleme yeterliliğine sahip olup olmadığı belirlenir. KMO; 0 ile 1 arasında değerler almaktadır ve bu değerinin kabul edilir olması için 0,70’in üzerinde olması gerekmektedir. Faktör analizinin yapılabilmesinin ön şartlardan biriside değişkenler arasında belirli bir korelasyon olmasıdır. Değişkenler arasındaki korelasyonu belirlemek için Bartlett Küresellik testi kullanılır ve bu testin anlamlı olması beklenmektedir. Bu çalışmada ölçeklerinin yapı geçerliliğini belirlemek ve keşfedici faktör analizi ile birlikte verilerin faktör analizine uygun bir yapıya sahip olup olmadığını test etmek için KMO ve Bartlett’in yapılmıştır. Yapılan analizlere ilişkin sonuçlar aşağıda sırası ile verilmiştir.

Tablo 3. Ölçeğe ait KMO ve Bartlett's Testi

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,958
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	4887,780
	df	120
	Sig.	,000

Tablo 3’te görüldüğü üzere ölçeğin içsel özelliklerine ilişkin, ölçeğin KMO testi sonrasında örneklem yeterlilik değeri 0,958 olarak elde edilmiştir. Bu değer faktör analizi için örneklem büyüklüğünün kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığını göstermektedir. Ayrıca tabloda Bartlett Küresellik İlişki Testinin sonucunda anlamlı olması ( $\chi^2=4887,780 \sim df=120, \rho<0,001$ ); maddeler arasında korelasyon ilişkisi bakımından faktör analizine uygun bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla çalışmada kullanılan örneklem büyüklüğü, yeterli ve faktör analizine hazır olduğunu söylenebilir.



Şekil 1 Ölçeğe Ait Eğim Grafiği

Şekil 1’de yamaç eğim grafiğinde dikey eksenle öz değer miktarları ve yatay eksenle faktörler gösterilmiş olup grafikte ilk ilk hızlı düşüş ikinci faktörden sonra gerçekleşmiştir. Grafikte görüldüğü üzere daha sonra maddeler kararlı olarak tek bir çizgi üzerinde



toplanmıştır. Dolayısıyla çalışmanın amacı kapsamında analiz edilen maddeler iki faktörle sınırlandırılabilir. Ayrıca iki faktörden oluşan bu yapının toplam varyansın % 72,340'ını açıkladığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. Ölçeğe ait bileşenler matrisi ve Faktör Yük Değerleri

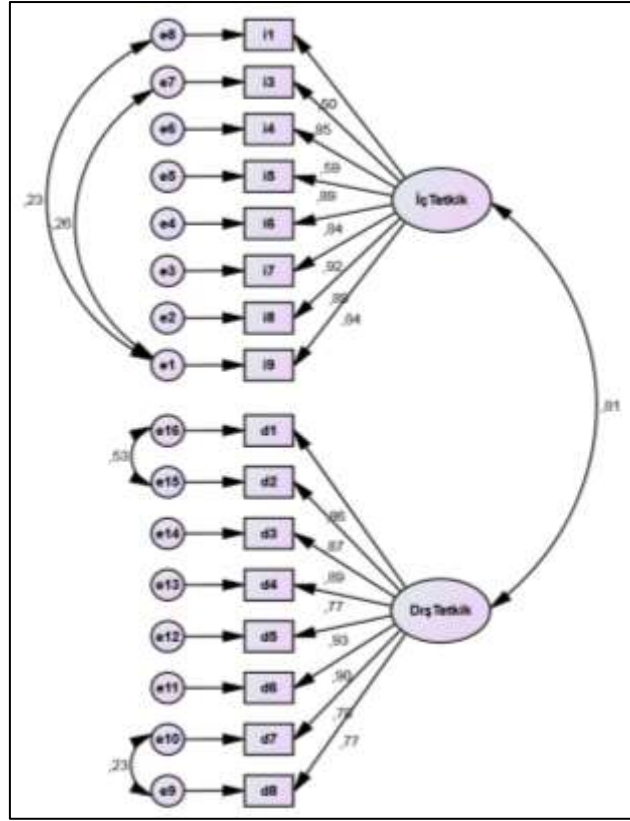
Maddeler	Faktör Yükleri	
	Dış Tetkik	İç Tetkik
Yönetimin belirlediği periyotlar dışında da iç tetkikler gerçekleştirir.		0,673
Tetkikçiler, standartlara uygun olarak soru listeleri oluşturur ve bu sorularla ilgili birimleri denetler.		0,694
Tetkikçiler; ilgili birimlere standart soru listesi dışında farklı sorularda sorabilir.		0,606
Tetkikçiler; standartların ne derece uygulandığını görmek için objektif deliller ister.		0,768
İç tetkikler; iç tetkikçi eğitimi almış, uzman kişiler tarafından yapılır.		0,752
Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.		0,798
Tetkikçiler; tetkikler sonrasında hazırladığı raporu üst yönetime sunar.		0,789
Tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için gerekli takipleri yapar.		0,773
Dış tetkikler; belgelendirme firması tarafından her yıl, belirlenen periyotlarda yapılır.	0,855	
Dış tetkikler belirlenen plan ve programa göre gerçekleştirilir.	0,852	
Dış tetkikler firmamızın sektörel yapısına uygun uzman tetkikçiler, tarafından yapılır.	0,855	
Dış tetkikçiler denetime gelmeden önce standartlar hakkındaki firmamızın dokümanlarını inceler.	0,760	
Dış tetkikçiler, standartların ne derece uygulandığını görmek için objektif deliller ister.	0,822	
Dış tetkikçiler tetkik planında belirtilen programa uygun şekilde tetkikleri gerçekleştirir.	0,827	
Dış tetkikçilerin tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için firmamızın üst yönetimi isteklidir.	0,700	
Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili birimleri bilgilendirir.	0,726	

Tablo 4’de ölçeğe ait keşfedici faktör analizi sonucu elde edilen döndürülmüş bileşenler matrisi verilmiştir. Keşfedici faktör analizi sonucunda ilgili faktörlere yüklenemeyen veya faktör yük değerleri düşük olan ifadeler analizden çıkarılmıştır. Bu kapsamda iç tetkik ölçeğine ilişkin; “İç tetkikler yapılmadan, birimlere duyurular yapılır.” ve “Belirlenen sürelerde eksikler düzeltilmez ise ilgili birimlere cezai müeyyideler uygulanır.” İfadeleri; dış tetkik ölçeğine ilişkin ise “Dış tetkikçiler; tespit ettiği uygunsuzlukları belirlenen sürede düzeltilmesi için gerekli takibi yapar” ve “Beygelendirme firması aynı dış tetkikçileri diğer yıllarda denetim için firmamıza göndermez.” ifadeleri analizden çıkarılmıştır. Böylece ölçeğin 2 boyutlu yapısı doğrulanmış ve analizlere 16 madde ile devam edilmiştir. İç tetkik ölçeğinin faktör yükleri, 0,606 ile 0,798 aralığında ve dış tetkik ölçeğinin faktör yüklerinde 0,700 ile 0,855 aralığında değerler aldığı tespit edilmiştir.

#### 2.1.6.2. Ölçeğe İlişkin Doğrulayıcı Faktör Analizleri

Bu çalışmada geliştirilen ölçekteki ifadelerden oluşan faktör yapısı keşfedici faktör analizi kullanarak belirlendikten sonra geliştirilen ölçeğin yapısal doğruluğunu test etmek için doğrulayıcı faktör analizi yapılacaktır. Doğrulayıcı faktör analizi (DFA); Bulunan ve gizlenen değişkenler arasındaki ilişkiyi tespit etmeye yarayan yapısal eşitlik modelidir ve ölçek geliştirme ile ilgili yapılan çalışmalarda önemli bir yeri vardır. Doğrulayıcı faktör analizinde araştırma modelinin uygunluğunu ölçmek amacıyla farklı uyum indeksleri kullanılmaktadır. Uyum iyiliği, araştırmada tahmini kovaryans matrisiyle çalışmacı tarafından gözlenen matris arasındaki örtüşme değeri olarak ifade edilmektedir (Raykov ve Marcoulides, 2020: 27). Bu araştırmada uyum iyiliği testi için RMSEA, CMIN/df, GFI, CFİve TLI değerleri kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında geliştirilen iç ve dış tetkik ölçeklerindeki ifadelerden oluşan faktör yapısı, keşfedici faktör analizi sonrasında ölçeğin yapısı bakımından doğruluğunu kontrol etmek için DFA yapılmıştır. Şekil 2’de, bulunan uyum iyiliği değerleri verilmiştir.



Şekil 2 Ölçeğe İlişkin Doğrulayıcı Faktör Analizi

Şekil 2’de görüldüğü üzere doğrulayıcı faktör analizi sonucu faktör yükleri; iç tetkik ölçeğinin 0,50 ile 0,92 aralığında ve dış tetkik ölçeğinin 0,77 ile 0,93 aralığında olduğu görülmüştür. Doğrulayıcı faktör analizi sonucunda regresyon analizine ait p değerleri 0,05’den küçük olduğu görülmüştür. Bu sonuç ölçekteki ifadelerin ilgili faktörlere doğru bir şekilde yüklendiğini göstermektedir. Ayrıca bütün varyans değerlerine ait p değerinin 0,05’den küçüktür. Tablo 5’te ölçeğe ait doğrulayıcı faktör analizi uyum iyiliği değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Ölçeğe ait Doğrulayıcı Faktör Analizi uyum iyiliği Değerleri

	X <sup>2</sup>	Df	CMIN/df	GFI	CFI	TLI	RMSEA
<b>Uyum Değerleri</b>	<b>207,911</b>	<b>99</b>	<b>2,100</b>	<b>0,926</b>	<b>0,978</b>	<b>0,973</b>	<b>0,059</b>
Kabul Edilebilir			≤ 5	> ,900	> ,950	> 900	≤ ,080
İyi Uyum Değerleri			≤ 3	> ,950	> ,970	> ,950	≤ ,050

Doğrulayıcı faktör analizinde modelin bir iyileştirme yapılmasına ihtiyaç duyup duymadığına CMIN/df, GFI, CFI, TLI ve RMSEA uyum iyiliği indeksi değerleri bakılarak kontrol edilmiştir. Yapılan incelemede doğrulayıcı faktör analizine ait modelin uyum değerlerini kabul edilebilir seviyede olmadığı görülmüştür. Model uyum iyiliği değerlerini sağlaması için iç tetkik değişkeninde “e1 ile e7” ve “e1 ile e8” arasında, dış tetkik değişkeninde ise “e9 ile e10” ve “e15 ile e16” arasında modifikasyon yapılmıştır. Yapılan modifikasyonlar sonrasında tekrar doğrulayıcı faktör analizi yapılmış ve ölçeğinin uyum değerleri sağlanmıştır. Bu kapsamda ölçeğe ait uyum iyi değerlerinin tümü tablo de görüldüğü gibi CMIN/df, CFI, TLI değerlerinin iyi uyum, GFI ve RMSEA değerlerinin ise kabul edilebilir uyum değerlerini sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 6’da ölçeğe ait boyutlar arasındaki korelasyon katsayıları, AVE ve CR değerleri sunulmuştur. Tabloda görüldüğü üzere iç tetkik ve dış tetkik değişkenleri birbirleri ile olumlu ve istatistiksel olarak anlamlı ilişki içindedir. Her bir değişkene ait AVE değerlerinin karekökü, diğer yapıların korelasyonlarından büyüktür, bu durum yapıların birbirinden ayrıştığını göstermektedir.

Tablo 6. Ölçeği Ait Ayrışma ve Benzeşme Geçerliği

	İç Tetkik	Dış Tetkik	AVE	CR
İç tetkik	<b>0,728</b>		0,530	0,899
Dış Tetkik	0,717**	<b>0,802</b>	0,643	0,934
			AVE>0,50	CR>0,70

Diğer taraftan faktörlerin açıklanan ortalama varyans (AVE) değerlerinin 0,50 ve üstünde; güvenilirlik değeri (CR) de 0,70'in üstündedir. Bu sonuçlar ilgili faktörlerin benzeşme geçerliğinin olduğunu göstermektedir. Zira ölçekteki ifadelerle ilgili faktör yüklerinin anlamlı, 0,7 ve üstünde olması, yapı güvenilirliğinin (CR) 0,7 değerini geçmesi ve her yapı ile ilgili açıklanan varyansın (AVE) 0,5 değerini geçmesi geçerliliğinin belirlenmesinde önemli etkenlerdendir (Hair vd., 2014: 618-619).

Tablo 7. Ölçeğe Ait Güvenilirlik Analizleri

	Cronbach's Alpha Katsayısı ( $\alpha$ )	İkiye Bölme Yöntemi (İlk Yarı)	İkiye Bölme Yöntemi (İkinci Yarı)	Madde Sayısı
İç tetkik	0,922	0,787	0,928	8
Dış Tetkik	0,953	0,927	0,914	8

Güvenilirlik, ölçümün tutarlılığıdır veya temelde aynı sonuçların elde edilmesi gereken farklı koşullarda ölçümün kararlılığıdır (Bollen, 1989). Güvenilirlik analizlerinde; Cronbach Alpha yöntemi, ikiye bölme yöntemi, tekrar test yöntemi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Cronbach Alfa ve ikiye bölme yöntemleri kullanılmıştır. Tabloda görüldüğü üzere iç tetkik ölçeği Cronbach Alfa katsayısı;  $\alpha=0,922$  ve dış tetkik ölçeği için  $\alpha=0,953$  değeri elde edilmiştir. Bunların yanında ölçeğe uygulanan ikiye bölme yöntemi (split half) sonrasında iç tetkik ölçeğinin ilk yarısına ait alfa katsayısı, 0,787 ikinci yarısına ait 0,928 katsayısı ve dış tetkik ölçeğinin ilk yarısına ait alfa katsayısı, 0,927 ikinci yarısına ait 0,914 katsayısı elde edilmiştir.

### 3. Sonuç

Dünyada işletmeler arası rekabetin artmasından dolayı müşterilerine her zaman aynı standartlarda ürün ve hizmeti sağlandığını kontrol etmek ve onların güvenini kazanmak isteyen işletmeler, kalite yönetim sistemi uygulamalarında iç ve dış tetkik faaliyetlerine çok önemsemelidir. Etkin gerçekleştirilen iç ve dış tetkikler için, işletmenin yönetim sistemlerini etkin bir şekilde sürdürme ve sürekli iyileştirmesi açısından oldukça önemli olduğu söylenebilir. İşletmelerde gerçekleştirilen iç ve dış tetkikler üst yönetim ve süreç sorumlularına, kalite yönetim sistemlerinin uygun bir şekilde işletilip işletilmediğine ve sistemin uygunluğunun değerlendirilmesinde ve sistemin performansı ile ilgili veri sağlamaktadır. Etkin yapılan iç ve dış tetkiklerin sonucunda sistemin durumu hakkında bilgi vermekle birlikte, sürekli iyileştirme alanını da belirlenecek yeni hedeflere ve kriterlere yol göstermektedir. İşletmelerin sağlıklı bir organizasyon yapısına erişmesi, sürekli karşılaşılan değişimler nedeni ile ortaya çıkabilecek sorunları gidermek için iç ve dış tetkik mekanizmalarının sağlam bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bununla birlikte literatürde iç ve dış tetkik faaliyetleri ve tetkiklerin etkinliğinin ölçümüne yönelik çok fazla çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu noktadan hareketle çalışmada; iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümünde kullanılabilecek bir ölçek geliştirilmiştir.

Bu çalışma; 2021 yılı Mart, Nisan ve Mayıs aylarında Türkiye'de ISO 9001:2015 belgesine sahip 300 işletmenin kalite yönetim temsilcilerinden toplanan veriler kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda; ölçeğin KMO değeri 0,958, Bartlett testi sonucu  $\chi^2=4887,780 \sim df=120$  ( $p<0,001$ ) olarak bulunmuştur. Keşfedici faktör analizi sonucunda ölçeğe ait maddelerden 8 madde iç tetkik değişkeni ve 8 madde de dış tetkik değişkeni altında, toplam 16 maddeden meydana gelen iki faktörlü bir yapı bulunmuştur. İç tetkik değişkenine ait maddelerin faktör yükleri 0.606 ile 0.798 arasında ve dış tetkik değişkenine ait maddelerin faktör yükleri de 0,700 ile 0,855 arasındadır. Bu iki faktöre ait maddelerin toplam varyansın %72,340'ını açıkladığı tespit edilmiştir. Ölçeğin güvenilirlik analizi için Cronbach Alfa katsayısına ( $\alpha$ ) bakılmıştır. İç tetkik ölçeği için  $\alpha=0,922$  ve dış tetkik ölçeği için  $\alpha=0,953$  değeri bulunmuştur. Ayrıca ölçeğe ilişkin doğrulayıcı faktör analizi sonrasında ölçeğin iki faktörlü yapıya sahip olduğu doğrulanmış ve uyum değerlerine ilişkin;  $\chi^2=207,911$ ; Df=99; CMIN/df=2,100; GFI=0,926; CFI=0,978; TLI=0,973; RMSEA=0,059 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda ölçeğe ait CMIN/df, CFI, TLI değerlerinin iyi uyum, GFI ve RMSEA değerlerinin ise kabul edilebilir uyum değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca her bir değişkene ait açıklanan ortalama varyans (AVE) değerinin karekökü, diğer yapıların korelasyon değerlerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yapıların birbirinden ayrıştığını göstermektedir. Diğer taraftan faktörlerin AVE değerlerinin 0,50 ve üstünde; birleşik güvenilirlik değerinin (CR) de 0,70'in üstünde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, ilgili faktörlerin benzeşme geçerliğinin olduğunu göstermektedir. Zira ölçekteki ifadelerle ait faktör yüklerinin anlamlı ve 0,70'in üstünde olması, yapı güvenilirliğinin (CR) 0,70 değerini geçmesi ve her yapıya ait açıklanan varyansın (AVE) 0,5 değerini geçmesi geçerliliğin sağlanmasında önemli bir etkidir. Elde edilen bu sonuçlara göre; iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkinliğinin ölçümünde kullanılabilecek olan bu ölçeğin güvenilir ve geçerli bir ölçüm aracı olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada geliştirilen ölçeğin puanlaması 1 ile 5 arasında likert türünde ve iç tetkik ve dış tetkik faktörleri olarak toplam 16 maddeden oluşmaktadır. Ölçeğin kullanılmasında her bir katılımcının ölçekten alacağı en düşük not 16, en yüksek 80'dir. İşletmelerin iç ve dış tetkik faktörlerinden alacağı toplam puanın yüksek olması durumu; iç ve dış tetkik faaliyetlerinin etkin yapıldığını, düşük olması durumu ise bu faaliyetlerin etkin yapılmadığını gösterir.

### Kaynakça

- Alırza, A. Ğ. ve Elif, Ç. İ. L. (2019). Toplam Kalite Yönetimi Açısından İç Denetimin Değerlendirilmesi. OPUS International Journal of Society Researches, 12, 983-1006.
- Başaran, B. (2016). The effect of ISO quality management system standards on industrial property rights in Turkey. World Patent Information, 45, 33-46.

- Bayık, M. E. ve Gürbüz, S. (2016). Ölçek uyarlamada metodoloji sorunu: Yönetim ve örgüt alanında uyarlanan ölçekler üzerinden bir araştırma. *İş ve İnsan Dergisi*, 193-196.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables* (Vol. 210). John Wiley ve Sons.
- Chow-Chua, C., Goh, M. and Wan, T. B. (2003). Does ISO 9000 certification improve business performance? *International journal of quality ve Reliability management*.
- Comrey, A. L. and Lee, H. (1973). *A first course in factor. Analysis*, Academic Press. New York.
- DeVellis, R. F. (2014). *Ölçek geliştirme: Kuram ve uygulamalar*.
- Fraser, J. and Hugh, L. (2004). *20 Questions Directors Should Ask About İnternal Audit*, Canada: The İnstitute Of İnternal Auditors, s. 6.
- George, D. and Mallery, P. (2010). *SPSS for Windows step by step. A simple study guide and reference* (10. Baskı). GEN, Boston, MA: Pearson Education, Inc, 10.
- Guion, C. L. (2010). *The Impact of TQM and Six Sigma Improvement Methodologies on Organizational Performance*. (Yayımlanmamış doktora tezi). Capella University, School of Business and Technology
- Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Hopkins, L. and Kuppelwieser, V. G. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research. *European business review*.
- Hassan, N. A., Zailani, S. H. M. and Hasan, H. A. (2021). A meta-analysis of integrated internal audit management effectiveness towards business sustainability. *Pertanika Journals Social Science ve Humanities*, 29(2), 233-252.
- Hawkes, L. C. and Adams, M. B. (1994). Total quality management: Implications for internal audit. *Managerial Auditing Journal*, 9(4), 11-18.
- Huang, H. and Goodhart, C. A. (1998). Time inconsistency in a model with lags, persistence, and overlapping wage contracts. *Oxford Economic Papers*, 50(3), 378-396.
- Juran, J. M. and Godfrey, A. B. (1999). *The quality control process* (4. bs.). McGraw-Hill.
- Karapetrovic, S. and Willborn, W. (2000). Generic audit of management systems: Fundamentals. *Managerial Auditing Journal* 15(6), 279-294.
- Kim, D. Y. (2010). *The impact of quality management practices on innovation*. (Yayımlanmamış doktora tezi). Carleton University
- Kluse, C. (2012). *Third-party quality management audits for automotive component manufacturing: perceptions and insights into a necessary yet debatable practice*. PhD Dissertation, Eastern Michigan University, ABD.
- Lopez-Mielgo, N., Montes-Peón, J. M. and Vázquez-Ordás, C. J. (2009). Are quality and innovation management conflicting activities? *Technovation*, 29(8), 537-545.
- Poksinska, B., Eklund, J. A. and Dahlgaard, J. J. (2006). ISO 9001: 2000 in small organisations: Lost opportunities, benefits and influencing factors. *International Journal of Quality ve Reliability Management*.
- Raykov, T., Marcoulides, G. A., Harrison, M. and Zhang, M. (2020). On the dependability of a popular procedure for studying measurement invariance: A cause for concern? *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 27(4), 649-656.
- Rezaee, Z. (1996). Improving the quality of internal audit functions through total quality management. *Managerial Auditing Journal*, 11(1), 30-34.
- Sanal, R. (2002). *Türkiye de Yönetmel Denetim ve Devlet Denetleme Kurulu*, Ankara: TODAİE Yayınları.
- Shantz, P. (2002). "Enron'un Hatalarından Ders Almak", *İç Denetim*, Sayı.3, Bahar, s. 41.
- Simon, A., Yaya, L. H. P., Karapetrovic, S. and Casadesús, M. (2014). An empirical analysis of the integration of internal and external management system audits. *Journal of Cleaner Production*, 66, 499-506.
- TS EN ISO 19011 Kalite ve Çevre Yönetim Sistemleri Tetkik Kılavuzu, Türk Standartları Enstitüsü
- Venter, J. and DuBruyn, R. (2002). Reviewing the internal auditing function: Processes and procedures. *Meditari Accountancy Research*, 11, 227-241.
- Williamson, A., Rogerson, J. H. and Vella, A. D. (1996). Quality system auditors' attitudes and methods: A survey. *International Journal of Quality ve Reliability Management*, 13(8), 39-52.



# İnce Toprak İçeriğın Zeminin Kayma Mukavemeti Parametrelerine Etkisi

Ayşe Pekrioğlu Balkıs<sup>1\*</sup>, Gudissa Gelana Negessu<sup>2</sup>, Aya Ahmad<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Cyprus International University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Nicosia, TRNC, Mersin 10 Turkey, (ORCID: 0000-0001-7400-7211), [apekrioglu@ciu.edu.tr](mailto:apekrioglu@ciu.edu.tr)

<sup>2</sup> Cyprus International University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Nicosia, TRNC, Mersin 10 Turkey, (ORCID: 0000-0002-8339-7562), [gudissagelanaj@yahoo.com](mailto:gudissagelanaj@yahoo.com)

<sup>3</sup> Final International University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Gime, TRNC, Mersin 10 Turkey, (ORCID: 0000-0002-3167-9939), [aya.ahmad@final.edu.tr](mailto:aya.ahmad@final.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1166983)

**ATIF/REFERENCE:** Pekrioğlu Balkıs, A., Gelana Negessu, G. & Ahmad, A. (2023). Effect of Fine Content on Shear Strength Parameters of Soil. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 145-153.

## Öz

Zeminin kayma mukavemeti, yapının göçmesine neden olan önemli bir faktördür. Zemin üzerine herhangi bir mühendislik yapısı inşa edilmeden önce, yapısal çökme felaketini en aza indirmek için kesme mukavemeti özelliklerinin derinlemesine araştırılması gerekir. Bu çalışma, farklı ince daneli toprak içerik yüzdelerinin zeminin kesme mukavemeti parametreleri üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Çalışılan zemin örnekleri esas olarak kumlu ve killi topraktır. Bu araştırma, ince tanelerin kesme mukavemeti parametreleri (sürtünme açısı ve zeminin kohezyonu) üzerindeki etkisini araştırıyordu. Bu çalışmada, literatürde yer alan birçok makale gözden geçirilmiştir. Farklı makalelerden elde edilen sonuçlara dayanarak, zeminde bulunan ince zemin içeriğinin kesme mukavemeti parametrelerini nasıl etkilediğini açıklamak için akış şeması oluşturulmuştur. Kumlu zemin için, kesme mukavemeti parametreleri, karışımın sahip olduğu ince tanelerin yüzdesine ve ince mineralojik bileşimin tipine büyük ölçüde bağlıdır. Killi zeminde ince tane içeriği ve katkı maddesi arttıkça, zemin kesme mukavemeti parametrelerinin her ikisi de önemli ve görünür bir oranda artar. Sonuç olarak, kum ve silt içerikli parçacıkların sürtünme açısı arasında ters bir ilişki vardı. Sürtünme açısı, silt parçacıklarının sayısı arttıkça artar. Değişken parçacıklar (iyi derecelendirilmiş parçacıklar) için sürtünme açısı, düşmeye başlamadan önce ince içerik için %10'dan %20'ye yükselir. Ayrıca ince tane miktarının özellikle %5'in altında olduğu durumlarda sürtünme açısı üzerinde etkisi olmadığı gözlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İçsel sürtünme açısı, kil, kohezyon,, ince zemin içeriği, kum, kesme mukavemeti.

## Effect of Fine Content on Shear Strength Parameters of Soil

### Abstract

The shear strength of the soil is a crucial factor in the structure's failure. Before any engineering structure is built on the soil, the shear strength characteristics must be thoroughly examined in order to reduce the calamity of structural collapse. The current study investigates the influence of varied percentages of fine material on soil shear strength. The soil sample consists primarily of sandy and clay soil. The study looked into the impact of fines on shear strength metrics (friction angle and soil cohesion). Several journal papers and articles were reviewed for this study. Based on the findings of several papers, the flow chart was created to describe the effect of the percentage of fine content in the soil and how it affects shear strength parameters. The shear strength parameters of sandy soil are significantly dependent on the percentage of fines in the mixture and the type of fine mineralogical composition. Both soil shear strength parameters increase at a substantial and apparent pace as compared to the particle content and additive increases in clay soil. As a result, there was an inverse relationship between the angle of friction of sand and silt-content particles. The angle of friction rises as the number of silt particles does. The angle of friction for variable particles (well-graded particles) rises from 10% to 20% for fine content before starting to decline. Furthermore, the amount of fines, especially when it is less than 5%, has no effect on the angle of friction.

**Keywords:** Angle of friction, Clay, Cohesion, Fines content, Sand, Shear strength

\* Sorumlu Yazar: [apekrioglu@ciu.edu.tr](mailto:apekrioglu@ciu.edu.tr)

## 1. Introduction

The study of fines' effects on soil shear strength and shear strength parameters is a very wide field of study. The soil is the main natural platform that directly imposed to carry and transfer load systems from the superstructure and substructure surrounding it. Since the numerous soil components (clay, silt, sand, and gravel) have various physical and engineering properties when they are pure, these components exist as an inhomogeneous mixture in most natural soils or as banded layers because of the nature of their formation. Even at some points, it is very difficult to identify the soil as sand or clay in a sand and clay combination as it has both sand and clay properties. It was developed by Al-Shayea (2001) that clay minerals, even if they are only present as small fractions of the soil, have a dominant effect on the behavior of the whole soil mass. Also, in assessing its geotechnical characteristics such as strength and compressibility, the amount of clay fraction in a soil is important.

The existence of fines in any soil affects the soil's shear strength in a positive or negative way. Some fine material changes the original characteristics of soil mechanics and leads to structural failure. While others improve the soil strength by improving the major parameters of the soil shear strength. To ascertain how fine material affects the shear strength parameter of the soil, the actual behavior of the sample must first be determined. This step assists us in understanding the effect that was brought about by the addition of those fine materials and comparing to what extent the soil parameters were affected, to what extent the effect will continue, and to what maximum point this effect reaches.

One of the important characteristics addressed for granular soil reconnaissance is the internal friction angle. A derivative of soil shear strength is used to compute soil friction angle, which is constantly changing in contrast to pore pressure and cohesion. They are closely examined because fines in coarse soils have an impact on the structure and composition of the soil and affect particular soil properties, including porosity, friction of particles, and cohesiveness. According to Georgiannou et al. (1990), it has also been observed that fines have an impact on liquefaction abilities, compression properties, and stress-strain behavior of the soil. The fine content of soils can have a considerable impact on their dynamic responsiveness. Soil particles are also important in phase conditions such as void and porosity ratios (Wang et al., 2009). Ayodele (2015) explored how fines impact soil's performance as a sub-base material for road building and discovered that as the fines concentration of the soil samples tested increased, the engineering characteristics of the soil samples studied decreased.

A soil mass's shear strength is the internal resistance per unit area that the soil mass may provide to withstand failure and sliding along any plane inside it (Das and Sobhan, 2014).

According to Norsyahariati, N. D. N., and Hui, K. R. (2016), samples with 40% silt have higher shear stress. As the sand's silt content rises and the friction angle falls, the soil becomes more cohesive. The results showed that the decrease in internal friction angle with increasing fineness modulus was significant for fineness modulus up to 1.50, while the angle of internal friction remained nearly constant for fineness modulus greater than 1.70 (Islam et al., 2017). Previous research has shown that raising the silt content in the sand to a certain level reduces shear resistance. However, a portion of the silt that is put on the sand grain contact surfaces contributes to grain separation and slippage during loading. This causes increased soil compressibility and a decrease in the resistance of undrained soil (Bellinaso, 2010).

Soil liquefaction is one of the most important and dynamic processes explored in earthquake geotechnical engineering. The behavior of soils under repeated (mainly earthquake-induced) loading is the central theme of the related studies, and many contentious topics are included in the associated studies. For many years, liquefaction was assumed to be limited to sand. Fine-grained soils, which are generally associated with soil liquefaction, are considered unable to produce high pore pressures. Therefore, much of the previous soil liquefaction research work has concentrated on relatively clean sands. However, a large number of fines are present in many natural sandy soils (passing sieve No. 200, particle size less than 0.074 mm). The influence of fines on the liquefaction resistance of soil mixtures has therefore been integrated into the current requirements for susceptibility to liquefaction.

Avci et al. (2011) demonstrated that cohesiveness rises with increasing clay concentration in a sandy soil. With increased clay concentration in the samples, the friction angle drops." Al-Shayea (2001), Tiwari et al. (2005) reported similar annotations of decreasing friction angle of sandy soils with increasing clay content. Unless the density of the silty sand is particularly high, a silty sand with a fine content greater than roughly 30% may behave similarly to the host fine-grained soil at an analogous void ratio of  $e_f$  (Rogers and Glendinning, 1997). The fines achieve more secure arrangements as shearing progresses and gradually increase interlocking, dilatancy, and shear strength (Lu and Huang 2018). The volumetric strain, cohesion, internal friction angle, deviator tension, and shear stress for the consolidated drained shear measure all increased as the fine content increased instantaneously. For specimens with a constant void ratio and constant density, the critical state ratio dropped and appeared steady for same-peak-deviator-stress specimens (Islam et al., 2017).

Scharifi et al. (2019) proved that as the percentage of nano-silica increased, the parameters of soil shear strength mainly increased, then decreased. Assuming the shear strength parameters, the results exhibited that an increment of sand additives on fine-grained soils resulted in a decrease in the cohesion of the soils and an increase in their angle of friction (Al Rawi, Assaf, and Hussein, 2018).

Shear strength tests are defined below shortly:

### 1.1 Direct Shear Test

A soil sample is evaluated in a square cross-section of a confined metal box in this test. The box is divided into two halves horizontally, with a little gap between them. Figure 1 depicts a direct shear test arrangement. The upper half of the box is fixed, and the lower half is pushed or pulled horizontally in relation to the fixed half. A shear is thus used in the soil sample. Throughout the operation, the sample is subjected to a constant normal force (vertical). Before the breakdown occurs, horizontal force, or shearing is applied. Shearing is usually done at a steady strain rate. The sum of the shear load is calculated using a proving ring. The vertical and horizontal deformations are measured using dial gauges. The method is repeated for several common pressures (four to five normal stresses). The failure shear pressure is displayed against various normal stresses (as shown in Figure 2). The shear strength parameters are calculated using the best-fit straight line that passes through the test locations. The test is appropriate for sandy soils. Porous stones are put below and on top of the sample to facilitate free drainage, whether the sample is partially or entirely saturated (Liu et al. 2014).

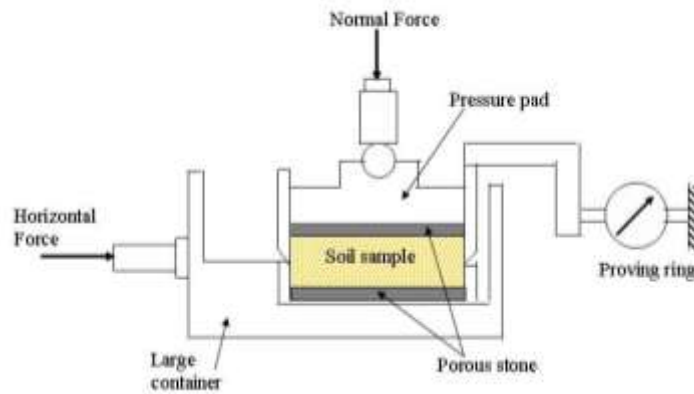


Figure 1. Direct shear test

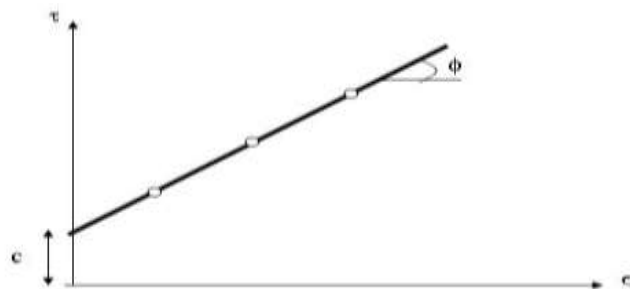


Figure 2. Shear stress-normal stress plot

### 1.2 Unconfined Compression Test

The test is appropriate for saturated clay ( $\phi_u = 0$ ). Under zero cell strain, the test is performed. Pending failure, a cylindrical specimen is subjected to axial tension. The Mohr circle for unconfined test compression is shown in Figure 3. The subscript u is used for strictly artificial soil,  $\phi_u = 0$ , since the test is undrained. The key stress ( $\sigma_1$ ) is equivalent to the soil's unregulated compressive power ( $q_u$ ) (Chae et al. 2010).

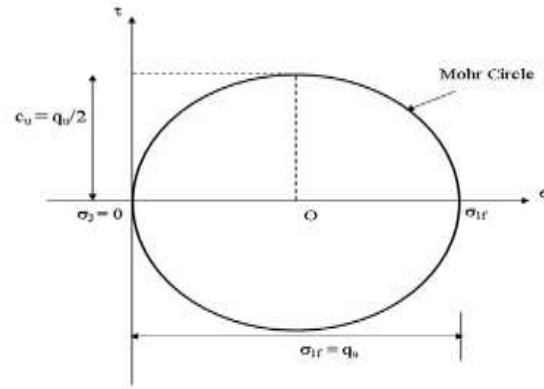


Figure 3. Mohr-Coulomb plot for a saturated clay unconfined compression test

The undrained cohesion can be determined as:

$$c_u = \frac{q_u}{2}$$

The complete cross-section of the given soil sample at failure load ( $A_f$ ) is calculated in the calculation procedure of unconfined compressive strength of the soil ( $q_u$ ) (the direct applied load at failure point across the total cross-sectional area of the given sample).

$$A_f = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

### 1.3 Triaxial Shear Test

Solid cylinders of soil are used as test specimens for triaxial shear. Typically, "the height of the test specimen is about twice its diameter." It has a diameter of around 25 mm. Alternatively, or (33 mm to 100 mm) for specimens that are more common. In a conventional triaxial cell, the soil specimen is held in place by the triaxial cell's base pedestal and top cap and is laterally limited by a narrow, impermeable rubber barrier. The membrane uses silicone grease and rubber O-rings to seal the top cap and base pedestal, as illustrated in Figure 4 (Wu, Li, and Niu, 2014).

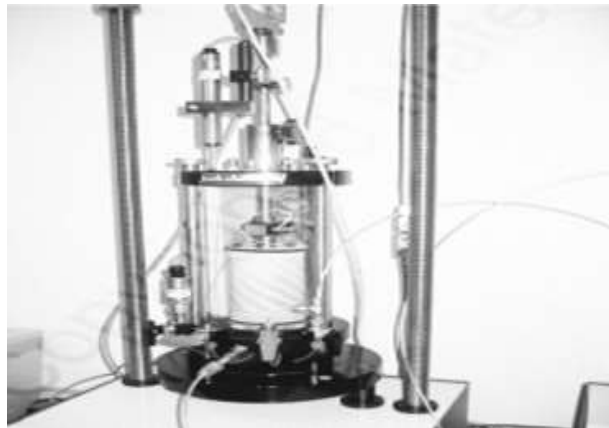


Figure 4. Photograph of a triaxial cell.

Based on the combination of flow conditions under which confining loads are applied and when shear is induced, there are three different types of triaxial analyses that are conceivable. Consolidated-drained, consolidated undrained, and unconsolidated-undrained are the three ways of conducting research. It is accompanied by brief explanations of these kinds of triaxial tests.



## 2. Material and Method

The previous studies of different journal papers and the most cited articles recommended by geotechnical researchers on the effects of fines content on shear strength parameters were reviewed for this study.

### 2.1. Shear Strength Parameters

#### 2.1.1. Angle of Friction, $\phi$

A significant parameter in the static and dynamic stability studies of hydraulic fill is friction angle. In underground mines, traditional penetration or cone penetration test rigs are frequently impractical; hence, direct shear or triaxial testing on reconstituted hydraulic samples in the laboratory to replicate in-situ densities is the most usual approach. Cyclic triaxial tests are advised for testing dynamic loading caused by blasting, liquefaction potential, and other factors.

The tests should be performed on reconstituted fills that replicate the in-situ grain packing in the stope, which can range from 45 to 80% relative density. Cohesion is zero since there is no clay percentage. "The hydraulic fill friction angles calculated by direct shear testing are significantly higher than those determined for common granular soils" (Rankine et al., 2006). This could be because the waste rock crushing produces very angular grains, which interlock more than less angular, ordinary granular soils. Table 1 shows the friction angle and relative density of soil packing, and Table 2 demonstrates the friction angle of sandy soil.

Table 1. Friction angle and Relative density

Soil packing	Relative Density [%]	Friction angle [°]
<i>Very loose</i>	< 20	< 30
<i>Loose</i>	20-40	30-35
<i>Compact</i>	40-60	35-40
<i>Dense</i>	60-80	40-45
<i>Very Dense</i>	> 80	> 45

Table 2. Friction angle of sandy soil

Type of sand	USCS	Friction angle [°]
<i>Sand</i>	SW, SP	37-38
<i>Loose sand</i>	(SW, SP)	29-30
<i>Medium sand</i>	(SW, SP)	30-36
<i>Dense sand</i>	(SW, SP)	36-41
<i>Silty sand</i>	SM	32-35

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. The Influence of Fines Content on Sandy Soil Shear Strength

Shear stress is greater in the sample containing 40% silt (Norsyahariati et al., 2016). As the sand's silt concentration increases, so does soil cohesiveness, while the angle of friction drops. This is attributed to soil particle shape and the grading of soil samples. The gradation will be compared because the shape of the soil particles in all samples is the same. The 20% silt content sample contained enough fines to assist the sand particles and keep them from slipping and rolling. However, silt particles have a greater influence on stress behaviors, accounting for 40% of the total. At this moment, the friction angle is lower. Table 3 demonstrates that the 20% silt content sample's cohesiveness is considerably lower than that of the 40% silt content sample. Obviously, this is due to the presence of more tiny particles with a larger surface area.

Table 3. Silty sand sample, shear strength parameters

Silt Content	Cohesion, $c'$ (kPa)	Friction angle, $\phi'$	Shear strength, $\tau_f$ (kPa)		Normal stress, $\sigma_f$ (kPa)	
			100	300	100	300
20%	38.407	31.479	150	350	180	500
40%	60.235	27.686	180	380	210	530

Source: Norsyahariati et al. (2016)

The effects of non-plastic silt, intergranular void ratio, and initial confining stress on undrained shear strength were studied, and considering the findings of (Thevanayagam), sand-silt having more than 30% silt exhibited the same behavior as silt. Thian and Lee (2011) found that as the clay content rose, the undrained shear strength, soil modulus, and pore pressure all dropped. Kim et al. (2005) conducted a series of triaxial compression tests on soil mixed with varying silt concentrations, and the findings revealed that as the amount of fine aggregate material increased, the critical state friction dropped. Maleki et al. (2011) found that "an equivalent void ratio which takes into account the non-plastic fine participation ratio in the soil-bearing skeleton can be used to describe the undrained conductivity of sand mixed with different non-plastic silt contents."

Belkhatir et al. (2013) examined the relationship between undrained shear strength, permeability of sand-silt mixes, and soil void ratio. According to other studies, the steady-state strength at the same void ratio was initially reduced as the silt content rose, then increased in shear strength as the silt content rose further to values greater than 30%. According to recent research, the fines effect of a soil varies depending on the type and amount of fines present in the soil's mixture. So, using the aforementioned information as row data and correlating the data with the unified soil classification system, the flow chart for sandy soil and the effect of fines on shear strength parameters, as shown in Figure 6, were established.

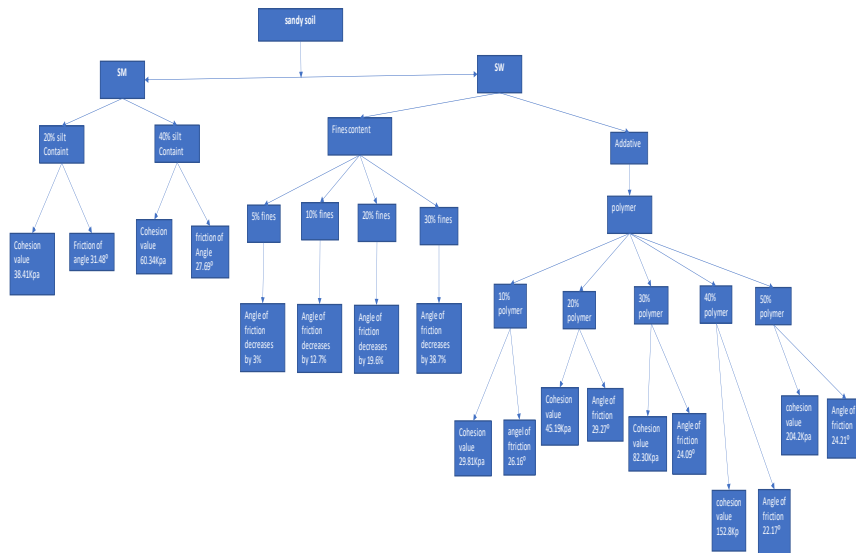


Figure 6. Flowchart showing fines content effect on sandy soil shear strength

### 3.2. The Influence of Fines Content on Clay Soil Shear Strength

Using nanosilica particles to enhance the mechanical and resistance qualities of soft clay was researched by Changizi and Haddad (2017). Characteristics including the Atterberg limit, ideal moisture content, maximum dry weight, and compressive strength have all been measured in the presence of nanosilica. The ratio of nanosilica to soil was 0.5, 0.7, and 0.1%. With an increase in nanosilica content, the constraint has improved. A decrease in the plasticity index and an increase in contraction limitation were caused by increasing ratios (Phan et al., 2016).

The natural soil that remains at the site of the structures is not always appropriate for proper support. Clay minerals can cause a variety of issues in various projects due to their high water absorption and retention, as well as their fine-grained nature. In other words, most of the problematic soils are made up of clay minerals, except for liquefiable soils, so they need to be reclaimed. In this report, clay soils with a low plasticity index (CL) were investigated. One of the strategies for soil alteration is the use of additives. Figure 7 represents the flowchart of fines' effect on clay soil shear strength material.

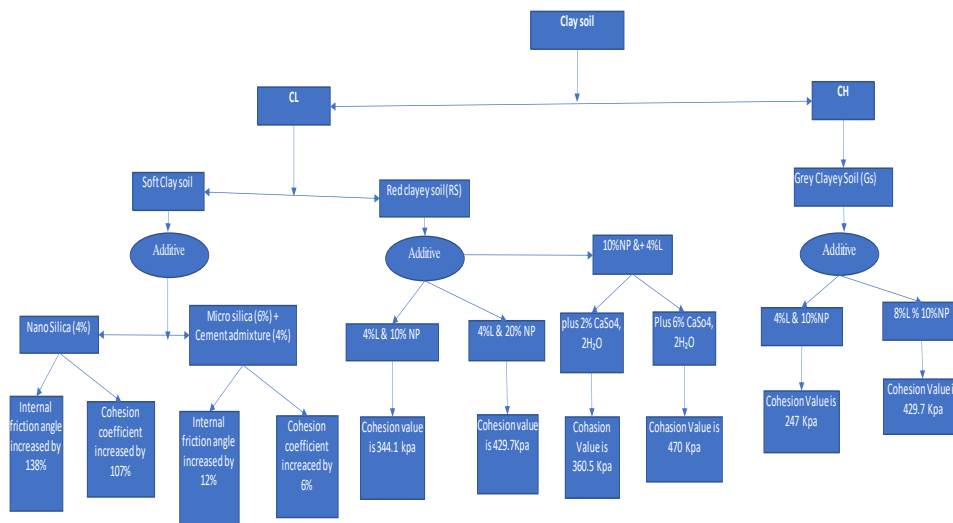


Figure 7. Flowchart showing fines content effect on clay soil shear strength

## 4. Conclusions and Recommendations

When assessing any engineering structure, primarily focus is on soil engineering properties. All design plans and funds are dependent on the approval of soil strength and compatibility for resistance to liquefaction potential.

The phenomenon of "liquefaction" takes place when quick loading from an earthquake or another source lessens the intensity and rigidity of the ground. Liquefaction and related phenomena have caused significant quantities of damage in past earthquakes all around the world. Liquefaction happens in saturated soils, or soils where water entirely fills the area between separate particles. This water presses down on the soil's particles, changing how tightly they are packed together. Prior to the earthquake, the water pressure was not particularly high. On the other hand, water pressure might increase as a result of an earthquake's shaking, allowing soil particles to move freely in relation to one another.

However, shear strength parameters such as cohesion and angle of internal friction are highly influenced by the percentage of fines that exist inside a given soil mixture. Depending on the percentage of fines in the soil, the value of cohesion and angle of internal friction vary accordingly.

Based on a review of reliable materials, an attempt was made to estimate the impact of fine content on soil shear strength. In the case of sandy soil shear strength characteristics, the particles changed the direction of the soil's angle of friction and cohesion. This is determined by the fines percentage in the mixture and the type of fine mineralogical composition. The angle of friction of sand with silt-content particles was thus inversely proportionate to each other. As the amount of silt particles increases, so does the angle of friction. For varied particles (well graded particles), the angle of friction increases from 10% to 20% for fine content and then begins to fall. Furthermore, fine content, especially less than 5%, has little effect on the angle of friction. In most cases, it is negligible. The mineralogical composition and fines of clay soil have great importance and play an important role in the stabilization and shear strength of the soil. In clay soil, both soil shear strength parameters increase at a rapid and visible rate.

## 5. Limitation

The importance of this study is to explain how fine content affects shear strength, how to increase soil strength by using different fines content, and whether or not the current fines content reduces shear strength by controlling the parameters that govern shear strength. These findings provide guidelines for soil improvement.

The impact of fine content on sandy and clay soils is the subject of considerable investigation. They concentrated on the cohesiveness and angle of friction of the two soils as well. Give an explanation of how fines content affects both natural combinations and additives.

## References

- Al Rawi, O. S., Assaf, M. N., & Hussein, N. M. (2018). Effect of sand additives on the engineering properties of fine grained soils. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(9), 3197-3206.
- Al-Shayea, N. A. (2001). The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. *Engineering geology*, 62(4), 319-342.
- Avci, E., & Mollamahmutoglu, M. (2016). UCS properties of superfine cement-grouted sand. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(12), 06016015.
- Ayodele, AL (2015). A study of the effect of fines content on the performance of soil as sub-base material for road construction (Doctoral dissertation).
- Belkhatir, M., Schanz, T., & Arab, A. (2013). Effect of fines content and void ratio on the saturated hydraulic conductivity and undrained shear strength of sand-silt mixtures. *Environmental earth sciences*, 70 (6), 2469-2479.
- Bellinaso, H., Demattê, J. A. M., & Romeiro, S. A. (2010). Soil spectral library and its use in soil classification. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 861-870.
- Chae, J., Kim, B., Park, S. W., & Kato, S. (2010). Effect of suction on unconfined compressive strength in partly saturated soils. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14(3), 281-290.
- Changizi, F., & Haddad, A. (2017). Improving the geotechnical properties of soft clay with nano-silica particles. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*,
- Das, B. & Sobhan, K. (2014) "Principles of Geotechnical Engineering" 8th ed. USA. Cengage Learning.
- Georgiannou, V. N., Burland, J. B., & Hight, D. W. (1990). The undrained behaviour of clayey sands in triaxial compression and extension. *Geotechnique*, 40(3), 431-449.
- Islam, T., Islam, M. A., Islam, M. S., & Abedin, M. Z. (2017, February). Effect of fine content on shear strength behavior of sandy soil. In *Proceedings of 14th Global Engineering and Technology Conference*. BIAM Foundation (Vol. 63).
- Kim, B., Prezzi, M., & Salgado, R. (2005). Geotechnical properties of fly and bottom ash mixtures for use in highway embankments. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 131(7), 914-924.
- Liu, J., Lv, P., Cui, Y., & Liu, J. (2014). Experimental study on direct shear behavior of frozen soil-concrete interface. *Cold regions science and technology*, 104, 1-6.

- Lü, X., Huang, M., & Andrade, J. E. (2018). Modeling the static liquefaction of unsaturated sand containing gas bubbles. *Soils and foundations*, 58(1), 122-133.
- Maleki, M., Ezzatkah, A., Bayat, M., & Mousivand, M. (2011). Effect of physical parameters on static undrained resistance of sandy soil with low silt content. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(10), 1324-1331.
- Norsyahariati, N. D. N., & Hui, K. R. (2016). The effect of soil particle arrangement on shear strength behavior of silty sand. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 47, p. 03022). EDP Sciences.
- Phan, V. T. A., Hsiao, D. H., & Nguyen, P. T. L. (2016). Effects of fines contents on engineering properties of sand-fines mixtures. *Procedia engineering*, 142, 213-220.
- Rankine, K. J., Sivakugan, N., & Cowling, R. (2006). Emplaced geotechnical characteristics of hydraulic fills in a number of Australian mines. *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(1), 1-14.
- Rogers, C. D. F., & Glendinning, S. (1997). Improvement of clay soils in situ using lime piles in the UK. *Engineering geology*, 47(3), 243-257.
- Sharifi, E., Danilenko, A., Weidig, U., & Steinhoff, K. (2019). Influence of plastic deformation gradients at room temperature on precipitation kinetics and mechanical properties of high-strength aluminum alloys. *J.Eng. pic. Appl* , 9 (1), 24-29.
- Thian, S. Y., & Lee, C. Y. (2011). Undrained response of mining sand with fines contents. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 1(4), 844.
- Tiwari, B., Tuladhar, GR, & Marui, H. (2005). Variation in residual shear strength of the soil with the salinity of pore fluid. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , 131 (12), 1445-1456.
- Wang, S., Chan, D., & Lam, KC (2009). Experimental study of the effect of fines content on dynamic compaction grouting in completely decomposed granite of Hong Kong. *Construction and Building Materials* , 23 (3), 1249-1264.
- Wu, TH (1996). Soil strength properties and their measurement. *Landslides, Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report , 247 , 319-336.
- Wu, Y., Li, Y., & Niu, B. (2014). Assessment of the mechanical properties of sisal fiber-reinforced silty clay using triaxial shear tests. *The Scientific World Journal*, 2014.



# Determination of Protection Measures Against Fall Risks in Working at Heights by Multi-Criteria Decision Making Methods

Tolga Barışık<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0946-8534), [tolga.barisik@yeniyuzvil.edu.tr](mailto:tolga.barisik@yeniyuzvil.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2023 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1245888)

**ATIF/REFERENCE:** Barışık, T. (2023). Determination of Protection Measures Against Fall Risks in Working at Heights by Multi-Criteria Decision Making Methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 154-161.

## Abstract

Work at heights is common, especially in very dangerous sectors such as construction. The most fatal occupational accidents in the construction sector are seen as the work at height. There is a need for measures to be taken against the dangers and risks that may occur during work at height. In this way, fatal work accidents will be prevented. There are measures to be taken against these risks. However, in some cases there may be confusion about which measures are prioritized, more important and beneficial. Measures should be evaluated in terms of Occupational Health and Safety. To ensure a proactive approach, the measures need to be clear. In this study, the most appropriate measure was selected with multi-criteria decision making methods. Criteria and alternatives were determined and the most appropriate measure was chosen. SWARA method was integrated while evaluating the criteria and SAW method was integrated while evaluating the alternatives.

**Keywords:** Working at Height, Occupational Health and Safety, SWARA, SAW, Multi-Criteria Decision Making, Risk Assessment.

## Yüksekte Çalışmalarda Düşme Risklerine Karşı Korunma Tedbirlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi

### Öz

Yüksekte yapılan çalışmalar özellikle inşaat gibi çok tehlikeli sektörlerde sıkça görülmektedir. İnşaat sektöründe en çok ölümlü iş kazası yüksekte yapılan çalışmalar olarak görülmektedir. Yüksekte yapılan çalışmalarda meydana gelebilecek tehlike ve risklere karşı alınacak tedbirlere ihtiyaç vardır. Bu sayede ölümlü iş kazalarının önüne geçilmiş olunacaktır. Bu risklere karşı alınacak tedbirler mevcuttur. Ancak hangi tedbirlerin daha öncelikli olduğu, daha önemli ve yararlı olduğu konusunda bazı durumlarda karışıklık olabilmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği açısından önlemler değerlendirilmelidir. Proaktif yaklaşım sağlanması için önlemlerin net olması gerekmektedir. Bu çalışma içerisinde çok kriterli karar verme yöntemleri ile en uygun önlemin seçimi yapılmıştır. Kriterler ve alternatifler belirlenerek en uygun önlem seçimi gerçekleştirilmiştir. Kriterler değerlendirilirken SWARA ve alternatifler değerlendirilirken SAW yöntemi entegre edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksekte Çalışma, İş Sağlığı ve Güvenliği, SWARA, SAW, Çok Kriterli Karar Verme, Risk Değerlendirmesi.

\* Sorumlu Yazar: [tolga.barisik@yeniyuzvil.edu.tr](mailto:tolga.barisik@yeniyuzvil.edu.tr)

## 1. Introduction

Construction is one of the world's most hazardous sectors despite ongoing attempts to increase workplace safety (Choi and Lee, 2022). Work at heights is typical, particularly in industries like construction that are extremely risky (Choi and Lee, 2017). Work at height is thought to be the cause of the majority of fatal work accidents in the construction industry. The risks and dangers that could arise while performing work at height must be addressed. Fatal workplace accidents can be avoided in this way. There are steps that can be performed to reduce these hazards. There may, however, occasionally be a misunderstanding as to which actions are more necessary, useful, and prioritized. The steps must be defined in order to guarantee a proactive approach.

Many nations have also suffered significant economic, productive, and human losses as a result of falls from great heights (Umar et al., 2018, Yang et al., 2017). According to beliefs on what causes accidents, unsafe workplace conditions and worker behavior can interact to cause safety problems (Hunsang et al., 2023). According to some accident models indicate that unsafe environments, risky behaviors, and other failures interact to cause accidents. Organizational factors, dangerous supervision, the environment that leads to unsafe activities, and unsafe acts themselves are a few examples (Abdelhamid and Everett, 2000). Working at height is a dangerous activity that can result in falls from height on construction sites; risky behavior is represented by employees at heights failing to correctly secure their safety hook to an anchor point (Khosravi et al., 2014). Therefore, risky conditions (such as working at heights) and unsafe conduct (such as when the safety hook is not correctly attached to or detached from an anchor point) must be regularly monitored in order to prevent falls from height at construction sites (Shin et al., 2014).

When a worker is working over a specific height, the US's the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) enforces obligatory safeguards to avoid falls from height (Reason, 1990). At construction sites, a number of measures are used to prevent falls from height, including safety education and training, safety (capture) nets or guardrail (exterior railings e.t.c.) systems and personal protection equipment (PPE) (Khan et al., 2022).

Studies on wearable inertial measurement unit-based semi-supervised near miss detection for ironworkers have been conducted (Yang et al., 2016). However, the final step should be to offer the necessary actions. Employees should receive fundamental training in occupational health and safety, as well as help developing a pro-safety mindset (Loosemore and Malouf, 2019). There should be training for working at heights. There are basic elements for the utilization or non-utilization of individual defensive hardware among development laborers (Wong et al., 2020). It is for the most part expressed by laborers that PPE is an exercise in futility in taking care of works.

In other words, precautions must be made to avoid the dangers and risks associated with work at height. Fatal occupational accidents can be avoided in this way. There are steps that can be performed to reduce these risks. There may, however, occasionally be a misunderstanding as to which actions are more necessary, useful, and prioritized. The steps must be defined in order to guarantee a proactive approach. In this study, multi-criteria decision making techniques were used to choose the best measure. The most appropriate measure has been selected after criteria and alternatives were established. When assessing the criteria and the alternatives, the SWARA and SAW methods, respectively, have been combined. The SWARA approach was used to calculate the weights of the criteria. The alternatives generated by applying these weights using the SAW method were ranked in order to select the best one. Alternatives outline the necessary actions. The criteria present crucial factors that must be considered when taking action.

## 2. Material and Method

In this study, it was decided to choose the most appropriate measure by using multi-criteria decision making methods. It is very important for the execution of the business to make the most accurate and timely decisions for important or critical problems. All managers have to make strategic and operational decisions in the short, medium and long term. Being able to make correct and timely decisions provides important advantages to decision makers (Gavcar et al., 2011). In this study, three decision makers were studied. These decision makers are occupational safety experts with construction industry experience. Decision making is choosing the most suitable one among these alternatives when decision makers are faced with different alternatives (Tekin, 2008). The options that may have been considered, the information at hand, and the criteria utilized to make the decision all have a role in how good or poor a choice is (Timor, 2010). Figure 1 shows the decision making process (Erdem, 2013).

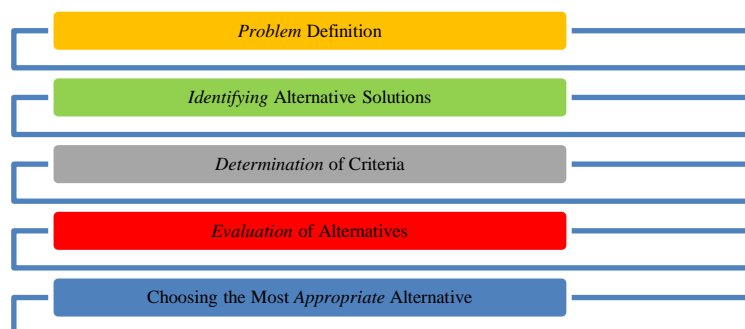


Figure 1. Decision Making Process

Within the scope of this study, four criteria have been determined in the protection measures to be determined for the works carried out at height. These criteria were evaluated with three decision makers. Decision makers determined the order of importance and ratings of the criteria.

Evaluation and weighting of the criteria were done with the SWARA method. Then, the most suitable alternatives were evaluated according to these criteria. Five alternatives were considered. These alternatives represent the most appropriate protection measures for work at height. The SAW method was used to evaluate the alternatives and determine their priorities. Table 1 includes the criteria and Table 2 contains the alternatives.

Table 1. Criteria

Criteria	Number of Criterion
Cost	C1
Safety	C2
Technical Specifications	C3
Ease of Use	C4

Table 2. Alternatives

Alternatives	Number of Alternative
Exterior Railings	A1
Capture Nets	A2
Closing Gaps	A3
Health and Safety Signs	A4
Parachute Type Seat Belt	A5

## 2.1. SWARA Method

SWARA is known as the Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis Method. It consists of the initials of these words. In the SWARA method, criterion weights can be determined in five steps.

**Step 1:** The criteria are ordered from the most important to the most important.

**Step 2:** Relative relevance levels are defined for each criterion, beginning with the second. In order to determine this, criteria  $j$  is compared to the prior criterion ( $j-1$ ). Keršulienė et al. (2010) called this ratio “comparative significance of the mean value” and represented it with the symbol  $s_j$  (Veršulienė et al., 2010).

**Step 3:** The coefficient ( $k_j$ ) is determined by the following equation.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

The notation  $s_j$  shows proportionally how important the one above criterion is than the one below.

**Step 4:** Significance vector  $q_j$ , with the following equation calculated:

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

The notation  $x_{j-1}$  points to  $q_{j-1}$ .

**Step 5:** Calculation of the weights ( $w_j$ ) of the criteria is provided by the following equation:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (3)$$

$w_j$  shows the relative importance of the  $j$  criterion.

## 2.1. SAW Method

SAW is known as the Simple Additive Weighting method. It consists of the initials of these words. (Hwang, 1981; Pimerol, 2000). In the SAW method, alternative weights can be determined in four steps (Savitha, 2011).

**Step 1:** It is constructed a decision matrix. The decision matrix is built as shown in Equation (4).

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0, m ; j = 1, n \quad (4)$$



Here;  $x_{ij}$  indicates the value of the  $i$ th alternative according to the  $j$ th criterion.  $n$  indicates the number of alternatives to be compared, while  $m$  indicates the number of criteria.

**Step 2:** The decision matrix is normalized. In the normalization process, the decision matrix is standardized by using Equation (5) or (6), depending on whether the criteria are maximization or minimization oriented.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

**Step 3:** Alternatives are listed. The performance value of each alternative is calculated using Equation (7) from the normalized matrix. Performance values are ordered from largest to smallest.

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (7)$$

**Step 5:** Alternatives are listed. Using Equation (8), the percentages of each alternative are calculated.

$$S_j\% = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (8)$$

### 3. Results and Discussion

As stated in the previous sections, the weighting of the criteria with the SWARA method, the ranking of the alternatives with the SAW method and the determination of the best alternative were made. Decision makers scored between 0-100 for alternatives. In the same way, they scored for the criteria. Information on the criteria for decision makers is given in Table 3.

Table 3. Information on the Criteria for Decision Makers

<i>Decision Maker-1</i>					
<i>Criteria</i>	<i>Rank of Importance</i>	<i>sj</i>	<i>kj</i>	<i>qj</i>	<i>wj</i>
<b>C2</b>	1		1	1	0,289805
<b>C4</b>	2	0,15	1,15	0,869565	0,252005
<b>C1</b>	3	0,05	1,05	0,828157	0,240004
<b>C3</b>	4	0,1	1,1	0,75287	0,218186
<i>Decision Maker-2</i>					
<i>Criteria</i>	<i>Rank of Importance</i>	<i>sj</i>	<i>kj</i>	<i>qj</i>	<i>wj</i>
<b>C2</b>	1		1	1	0,325165
<b>C1</b>	2	0,25	1,25	0,8	0,260132
<b>C3</b>	3	0,15	1,15	0,695652	0,226202
<b>C4</b>	4	0,2	1,2	0,57971	0,188501
<i>Decision Maker-3</i>					
<i>Criteria</i>	<i>Rank of Importance</i>	<i>sj</i>	<i>kj</i>	<i>qj</i>	<i>wj</i>
<b>C3</b>	1		1	1	0,30039
<b>C2</b>	2	0,1	1,1	0,909091	0,273082
<b>C4</b>	3	0,25	1,25	0,727273	0,218466
<b>C1</b>	4	0,05	1,05	0,692641	0,208062

Average information regarding the criteria is given in Table 4.

Table 4. Average Information Regarding the Criteria

<b>Final Weights</b>					
<b>Criteria</b>	<b>Decision Maker-1</b>	<b>Decision Maker-2</b>	<b>Decision Maker-3</b>	<b>Final Criterion Weight</b>	<b>Rank</b>
<b>C1</b>	0,240004	0,260132	0,208062	<b>0,235073</b>	3
<b>C2</b>	0,289805	0,325165	0,273082	<b>0,295235</b>	1
<b>C3</b>	0,218186	0,226202	0,30039	<b>0,245661</b>	2
<b>C4</b>	0,252005	0,188501	0,218466	<b>0,218123</b>	4

C1 and C4 criteria were determined as maximum, and C2 and C3 criteria as minimum. The weights were made in this way. Information on the decision matrix is given in Table 5.

Table 5. Decision Matrix

<b>Decision Matrix</b>				
<b>Criteria</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Alternatives</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>min</b>	<b>max</b>
<b>A1</b>	100	60	60	50
<b>A2</b>	70	85	40	65
<b>A3</b>	60	90	70	70
<b>A4</b>	90	100	80	85
<b>A5</b>	80	65	90	90

Table 6 contains information about the normalized decision matrix.

Table 6. Normalized Decision Matrix

<b>Normalized Decision Matrix</b>				
<b>Criteria</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Alternatives</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>min</b>	<b>max</b>
<b>A1</b>	1	1	0,666667	0,555556
<b>A2</b>	0,7	0,705882	1	0,722222
<b>A3</b>	0,6	0,666667	0,571429	0,777778
<b>A4</b>	0,9	0,6	0,5	0,944444
<b>A5</b>	0,8	0,923077	0,444444	1

Table 7 contains information about the weighted normalized decision matrix.

Table 7. Weighted Normalized Decision Matrix

<b>Weighted Normalized Decision Matrix</b>				
<b>Criteria</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Alternatives</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>min</b>	<b>max</b>
<b>A1</b>	0,235073	0,295235	0,163774	0,12118
<b>A2</b>	0,164551	0,208401	0,245661	0,157533
<b>A3</b>	0,141044	0,196823	0,140378	0,169651
<b>A4</b>	0,211565	0,177141	0,12283	0,206005
<b>A5</b>	0,188058	0,272524	0,109183	0,218123

Performance values and their percentages were calculated as a result of all alternative values. The ranking of the alternatives is given in Table 8.

Table 8. Ranking of Alternatives

Alternatives	<i>Si</i>	<i>Si (%)</i>	Ranking
<b>A1</b>	0,815261	0,217709	1
<b>A2</b>	0,776146	0,207263	3
<b>A3</b>	0,647896	0,173015	5
<b>A4</b>	0,717542	0,191614	4
<b>A5</b>	0,787889	0,210399	2
<b>Total</b>	3,744734	1	

As can be seen in Table 8, there are alternative *Si* values and Rank values. The values are respectively; A1 alternative; 0.815261 (22%), A2 alternative; 0.776146 (21%), A3 alternative; 0.647896 (17%), A4 alternative; 0.717542 (19%) and A5 alternative; It is seen that it is 0.787889 (21%). In Figure 2, there is a bar chart of the comparison of the alternatives. The values 1, 2, 3, 4 and 5 on the alternatives axis in Figure 2 represent the alternatives A1, A2, A3, A4 and A5, respectively. In Table 1 and Table 2, explanations of alternatives and criteria are given.

In line with these values, a decision can be made about the best alternative measure. Precautionary precaution was determined in the works at height from the best alternative to the last alternative. In Figure 3, there is a pie chart showing the percentiles of the alternatives.

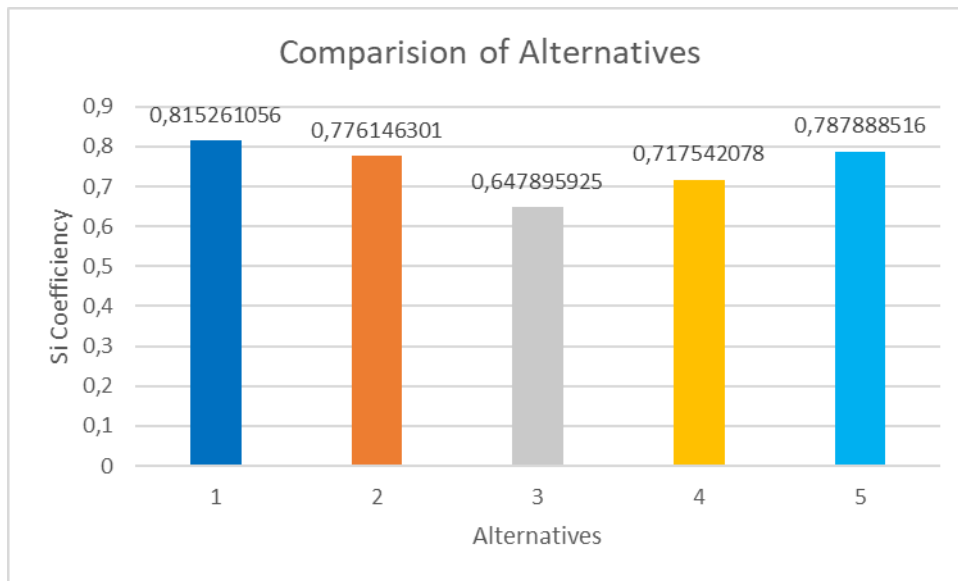


Figure 2. Comparison of Alternatives

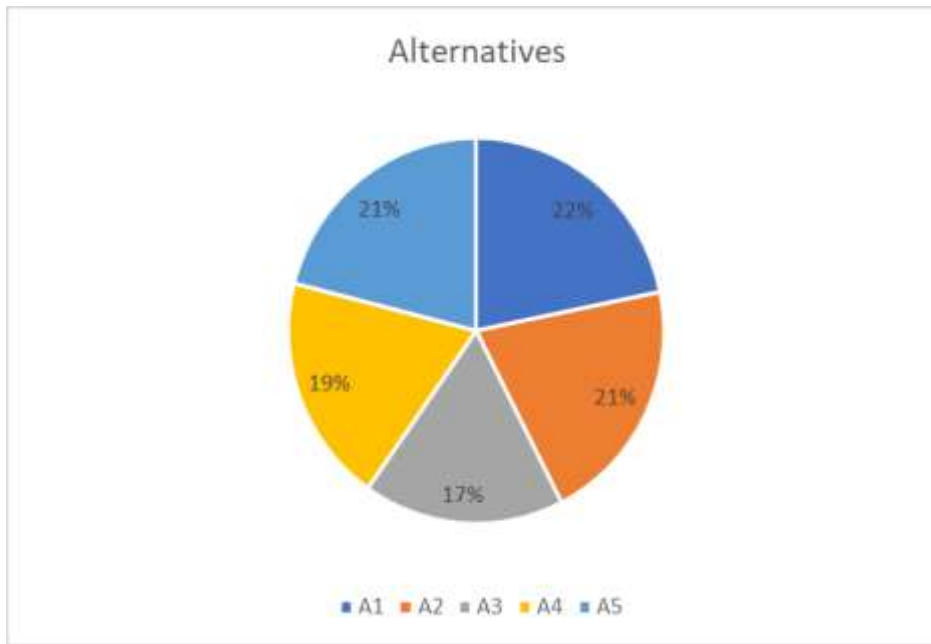


Figure 3. Percentages of Alternatives

Alternatives based on the  $S_i$  coefficients' magnitudes; The criteria show that A1 (Exterior railings) is the most appropriate alternative measure because it is given as A1- A5 - A2 -A4 -A3. The following solutions are mentioned in order: A5 (Parachute type seat belt), A2 (Capture nets), A4 (Health and safety signage), and A3 (Closing gaps). A1 is the top substitute technique for working at heights dangers. The most effective defense against these hazards is the A1 alternative.

#### 4. Conclusions and Recommendations

A more effective solution has emerged in the evaluation of the measures to be taken in working at heights, in the calculation of the best alternatives to the criteria, the measurements and weights of the decision makers. The weighting and ranking of the criteria were made by applying SWARA, and the weighting and ranking of the alternatives was done by applying the SAW Method.

The best protection measures have been considered according to the criteria of cost (C1), safety (C2), technical specifications (C3) and ease of use (C4) against the risks of falling that may occur while working at height. In this study, considering these criteria, the best alternative protection measure was found in line with the decisions of the three decision makers. Based on the information in Table 4, it is possible to comment on the ranking of the criteria. As a result of the values given by the three decision makers to the criteria, it is seen that the general average is in the form of C2-C3-C1-C4, respectively. Respectively, safety (C2), technical specifications (C3), cost (C1) and ease of use (C4) criteria are listed. The values are respectively; C1 criterion; 0,235073 (23,5%), C2 criterion; 0,295235 (29,5%), C3 criterion; 0,245661 (25%) and C4 criterion; It is seen that it is 0,218123 (22%).

To summarize again; alternatives, according to the magnitudes of the  $S_i$  coefficients; Since it is listed as A1 - A5 - A2 -A4 - A3, considering the criteria, it is seen that the most suitable alternative measure is A1 (Exterior railings). Then, respectively; A5 (Parachute type seat belt), A2 (Capture nets), A4 (Health and safety signs) and A3 (Closing gaps) alternatives are listed. The best alternative method for working at height risks is A1. The A1 alternative is the most successful measure against these risks. Criterion and alternative based methods can be used for many fields. Multi-criteria decision making methods can be used for the precautions to be taken especially in large industrial fires such as BLEVE. For example, a study was conducted using Quality Function Deployment (QFD) for noise-canceling equipment design (Cinar, 2020). Different methods can be integrated in the assessment of risks. A risk assessment model was developed with Dematel, Fuzzy AHP, and QFD methods (Cinar, 2022).

There are some artificial intelligence studies available. Negative effects have been estimated with artificial neural networks (Barisik, 2022). In another study, he investigated the environmental effects of BLEVE (Barisik, 2021). Different studies can be created by integrating these methods with artificial neural network models. It is possible to choose more reasonable alternatives and apply measures corresponding to the risks identified. Especially in risk assessment studies, this etc. More accurate alternative measurements can be listed by using multi-criteria decision making methods. Also, the best solution can be calculated. This study will shed light on risk assessment studies fall risks in working at height in the future.

This study will contribute to the priority given to deaths occurring in work at height, especially in the construction sector, while taking precautions, and to determine the best way when giving priority.

## References

- Abdelhamid, T.S., Everett, J.G. (2000). Identifying Root Causes of Construction Accidents, *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1), 52–60.
- Barisik, T., Guneri, A.F. (2021). Calculation The Environmental Impacts of BLEVE Using Artificial Neural Networks, *Fresenius Environmental Bulletin*, 40, 9611-9616.
- Barisik, T., Guneri, A.F. (2022). BLEVE Risk Effect Estimation Using The Levenberg-Marquardt Algorithm in An Artificial Neural Network Model, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(4), 877-893.
- Cinar, U., Ugurlu, O.F., Cebi, S. (2020). Design of Noise-Canceling Earmuff with Quality Function Deployment, *Customer Oriented Product Design*, 279, 23-34.
- Cinar, U., Cebi, S. (2022). A Novel Approach to Assess Occupational Risks and Prevention of Hazards: The House of Safety & Prevention, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 517-528.
- Choi, B., Ahn, S., Lee, S. (2017). Construction Workers' Group Norms and Personal Standards Regarding Safety Behavior: Social Identity Theory Perspective, *Journal of Management in Engineering*, 33(4).
- Choi, B., Lee, S. (2022). The Psychological Mechanism of Construction Workers' Safety Participation: The Social Identity Theory Perspective, *Journal of Safety Research*, 82, 194–206.
- Choo, H., Lee, B., Kim, H., Choi, B., (2023). Automated Detection of Construction Work at Heights and Deployment of Safety Hooks Using IMU with A Barometer, *Automation in Construction*, 147.
- Erdem, I. (2013). *Operational Research and WinQSB Practices*, Seçkin Publishers, Ankara.
- Gavcar, E., Coşkun, E., Paksoy, T., Eleren, A., Sulak, H., Özdemir, M., Aytemiz, T., Özceylan, E., Keskin, R. (2011). *Operational Research*, Lisans Publishers, Istanbul.
- Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications – A State-of-the-Art Survey*, Berlin, Heidelberg, New York.
- Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara), *Journal of Business Economics and Management*, 11(2),243–258.
- Khan, M., Khalid, R., Anjum, S., Khan, N., Cho, S., Park, C. (2022). Tag and IoT Based Safety Hook Monitoring for Prevention of Falls from Height, *Automation in Construction*, 136.
- Khosravi, Y., Asilian-Mahabadi, H., Hajizadeh, E., Hassanzadeh-Rangi, N., Bastani, H., Behzadan, A.H. (2014). Factors Influencing Unsafe Behaviors and Accidents on Construction Sites: A Review, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 20(1), 111–125.
- Loosemore, M., Malouf, N. (2019). Safety Training and Positive Safety Attitude Formation in the Australian Construction Industry, *Safety Science*, 113, 233–243.
- Pimerol, J.C., Romero, S.B. (2000). *Multi Criteria Decision in Management: Principles and Practic*, Kluwer Academic Publishers.
- Reason, J. (1990). *Human Error*, Cambridge University Press, BO9781139062367.
- Savitha, K., Chandrasekar, C. (2011). Vertical Handover Decision Schemes Using SAW and VPM for Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks, *Global Journal of Computer Science and Technology*, 11(9), 21-22.
- Shin, M. Lee, H.S., Park, M., Moon, M., Han, S. (2014). A System Dynamics Approach for Modeling Construction Workers' Safety Attitudes Behaviors, *Accident Analysis & Prevention*, 68, 95–105.
- Tekin M. (2008). *Numerical Methods*, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selcuk University, Konya.
- Timor, M. (2010). *Operational Research*, Türkmen Bookstore, Istanbul.
- Umer, W., Li, H., Lu, W., Szeto, G.P.Y., Wong, A.Y. (2018). Development of A Tool to Monitor Static Balance of Construction Workers for Proactive Fall Safety Management, *Automation in Construction*, 94, 438–448.
- Wong, T.K.M., Man, S.S., Chan, A.H.S. (2020). Critical Factors for The Use or Non-Use of Personal Protective Equipment Amongst Construction Workers, *Safety Science*, 126.
- Yang, K., Ahn, C.R., Vuran, M.C., Aria, S.S. (2016). Semi-Supervised Near Miss Fall Detection for Ironworkers with a Wearable Inertial Measurement Unit, *Automation in Construction*, 68, 194–202.
- Yang, K., Ahn, C.R., Vuran, M.C., Kim, H. (2017). Collective Sensing of Workers' Gait Patterns to Identify Fall Hazards in Construction, *Automation in Construction*, 82, 166–178.



# Doğu Karadeniz Yöresinde Üretilen Bazı Çayların Mineral Beslenme Durumunun Değerlendirilmesi\*

Mehmet Alkayın<sup>1</sup>, Nesrin Yıldız<sup>2†</sup>

<sup>1</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Rize İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Rize. [orcid.org/0000-0001-6183-2458](https://orcid.org/0000-0001-6183-2458)

<sup>2,\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum. [nyildiz@atauni.edu.tr](mailto:nyildiz@atauni.edu.tr) [orcid.org/0000-0002-8179-6228](https://orcid.org/0000-0002-8179-6228)

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2023 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1247234)

**ATIF/REFERENCE:** Alkayın, M. & Yıldız, N. (2023). Doğu Karadeniz Yöresinde Üretilen Bazı Çayların Mineral Beslenme Durumunun Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 162-170.

## Öz

Çay (*Camellia sinensis*) ülkemizde ve dünyada en popüler içeceklerden biridir. Bu araştırmanın amacı; Doğu Karadeniz bölgesinde yaygın olarak üretilen bazı çay marka ve çeşitlerinin, makro-mikro besin elementi içeriğinin belirlenmesidir. Bu amaçla, 54 farklı siyah çay örneği toplanmıştır. Toplam azot ve toplam besin elementi içerikleri belirlenmiştir. Çay yapraklarının mineral madde içerikleri laboratuvar koşullarında belirlenmiştir.

Doğu Karadeniz yöresinde yaygın olarak tüketilen ve ülke çapında pazarlanan 54 çay örneğinin makro besin elementi analiz sonuçlarında; N içeriği %58 az, %42 yeterli; P % 4 az, %96 yeterli; K %7 az, %89 yeterli % 4 fazla; Ca % 2 az, %96 yeterli, %2 fazla; Mg %20 az, %80 yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir

Mikro element analiz sonuçlarının besin elementi içeriği bakımından; Fe içeriği %2 az %5 yeterli, %93 fazla; Cu %91 az, %9 yeterli, Mn %2 az, %96 yeterli; B %62 az, %36 yeterli, %2 fazla; Zn %15 az, %78 yeterli, %7 fazla olduğu tespit edilmiştir.

Besin elementi kapsamlarının yetersi olduğu çay örneklerinde ( özellikle N ,Cu ve B ) ideal düzeye gelip gelmediği düzenli toprak ve bitki analizleri ile kontrol edildikten sonra gübreleme ( toprağa / yaprağa) yapılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Çay, mineral içerik, kuru çay analizi, kritik değer

## Evaluation of Mineral Nutrition status of Some Tea Produced in Eastern Black Sea Region

### Abstract

Tea (*Camellia sinensis*) is one of the most popular beverages all over the world. The aim of this research was to determine content of macro-micro nutrients of tea leafs consumed widely in the Eastern Black Sea region and marketed to our country. For this purpose, 54 different marked of black tea which commonly consumed in Eastern Black Sea region were collected from local markets . Mineral nutrient contents of tea leafs of mineral contents were determined in laboratory conditions.

In the macro nutrient analysis results of 54 tea samples, which are widely consumed in the Eastern Black Sea region and marketed throughout the country ; N content 58% low, 42% sufficient; P 4% low, 96% sufficient; K 7% low, 89% sufficient, 4% more; Ca 2% low, 96% sufficient, 2% more; Mg was found to be 20% low and 80% sufficient .

In the content of micro element analysis results of 54 tea samples ; Fe content 2% low, 5% sufficient, 93% more; Cu 91% low, 9% sufficient, Mn 2% low, 96% sufficient; B 62% low, 36% sufficient, 2% more; It was determined that Zn was 15% low, 78% sufficient, 7% more. After checking with regular soil and plant analyzes whether the nutrient content (especially N , Cu and B) is at the ideal level, fertilizer (soil / leaf) should be applied.

**Keywords:** Tea, Mineral Content, dry leaf Analyses, Critical Value.

\* Bu araştırma makalesi Mehmet Alkayın'ın Yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

† Sorumlu Yazar: [nyildiz@atauni.edu.tr](mailto:nyildiz@atauni.edu.tr)

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

## 1. Giriş

*Angiospermae* sınıfından olan çay bitkisi (*Camellia sinensis*), Dicotyledonea alt sınıfı içerisinde Theaceae (*Camellia*) familyasındandır. 1950 yılında çayın ismi *Thea sinensis* L. olarak kabul edilmiştir. Daha sonra yapılan sistematikte çay *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze olarak isimlendirilmiştir. *Camellia* familyasındaki bitkiler genel anlamda tüm mevsimlerde yeşil renkli, sık yapraklı ve boyları 1,5 metreye kadar yükselebilir özelliktedirler. Çay bitkisi 100 yıla kadar yaşayabilir ancak 50. senenin üzerinde verim düşmeye başlar. Çay bitkisinde çiçek açma dönemi Temmuz-Ocak, Ağustos-Aralık veya Ekim-Aralık aylarında olabilmektedir. Çay çiçekleri, genellikle yabancı çiçek tozları ile döllenirler (Kacar, 1987).

Çay bitkisi dünya üzerinde geniş bir coğrafyada yetişen yarı tropik denilebilecek çok yıllık bir bitkidir. 1.000 m rakıma kadar rahatlıkla yetiştirilebilen çay bitkisi, bazı ülkelerde 1.000 m üzerinde de yetiştirilmektedir. 14-40 °C arasında sürgün gelişimi görülen çay bitkisinde 12,5 °C'nin altındaki sıcaklık derecelerinde sürgün gelişimi tamamen durmakta, -15 °C'nin altında ve 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise çay bitkisinde zarar oluşmaktadır. Çay bitkisi asit tepkimeli, kumdan kile kadar değişen bünyelerde yetişebilen, kalsiyum sevmeyen pH 4,5-6,0 arasında en uygun gelişim gösteren, normal bitki besin elementlerinin yanında Alüminyuma (Al) özel ihtiyaç duyan (nadir görülür) bir bitkidir (Kacar, 2010). Latince adıyla *Camellia sinensis* olarak bilinen çay bitkisi, dünyada sudan sonra en fazla tüketilen içecektir. Bugün Hindistan, Çin, Sri Lanka, Japonya ve Tayvan başta olmak üzere yaklaşık 30 ülkede çay üretilmektedir (Üstün ve Demirci, 2013).

Horuz ve Korkmaz (2006) Artvin Borçka İlçesi Karşıköy Beldesinden 1999 yılı üretim sezonunda alınan I. Sürgün, II. Sürgün ve III. Sürgün çay yaprakları üzerinde yaptıkları çalışmada; İlk hasatta çayda N, Ca, Mg, Zn yeterli düzeyde bulunurken, P, Fe noksan K ise aşırı noksan, ikinci hasatta çayda N, P, Fe noksan iken K orta derecede noksan, Ca, Mg, Zn, Cu yeterli düzeyde, üçüncü hasatta ise N, P, Fe noksan, K orta derecede noksan ve Ca, Mg, Zn ve Cu yeterli düzeyde bulunduğunu genel olarak çay bitkisinin topraktan sırasıyla çoktan aza doğru, Azot, Kalsiyum, Potasyum, Magnezyum, Fosfor, Çinko, Demir ve Bakır şeklinde besin elementlerini aldığını belirlemiştir.

Özdemir vd (1999) yaptıkları çalışmada; 1995 üretim sezonunda üç sürgün döneminde Ortodoks ve ÇAYKUR yöntemleriyle üretilen 7 nevi çayın Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Fosfor, Mangan, Demir, Bakır ve Çinko içeriklerini belirlemiş, kullanılan 42 numuneden elde edilen sonuçlara göre Ca, P, Cu ve Zn içeriği üzerine sürgün dönemi, yöntem ve sınıfın, K ve Fe içeriği üzerine sürgün dönemi ve sınıfın, Mn içeriği üzerine yöntem ve Mg içeriği üzerine ise sadece sürgün döneminin istatistiki olarak önemli etkisi olduğunu ifade etmiştir.

Uzuner ve Bilgin (2015) Çay yapraklarında trafik faktörüne bağlı olarak ağır metal birikiminin olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; Artvin-Kemalpaşa'dan başlayarak Giresun'un Tirebolu ilçesine kadar Karadeniz sahil yolu boyunca sekiz farklı lokaliteden ve trafiğin olmadığı Karadeniz sahil yoluna uzak sekiz farklı lokaliteden çay ve toprak numuneleri alındığını, ICP-OES cihazında Co, Pb, Ni, Cr, Cu, Fe, Zn ve Mn değerleri okunduğunu, sonuçlara göre Karadeniz sahil yolu kenarından ve trafikten uzak bölgelerden alınan numunelerin ağır metal içeriklerinin trafikten uzak lokalitelerden alınan numunelere göre daha yüksek çıktığını ancak toprak numunelerinin Pb, Cr, Cu, Ni ve Zn içeriklerinin normal sınırlar içerisinde yer aldığı ve oldukça düşük olduğunu, yaprakları yıkanan numunelerde Fe içeriğinin daha düşük olduğu tespit edildiğini, sonuçlara göre trafiğin Karadeniz sahil yolu yakınında bulunan topraklarda ve çay bitkisinde bir ağır metal birikimine dolaylı olarak neden olduğunu ifade etmiştir.

Olivier ve ark (2012) yaygın olarak tüketilen sekiz çayın mineral bileşimlerini (Na, Mg, K, Ca, P, S, Fe, Mn, Zn, Cu ve Al) incelemek ve karşılaştırmak amacıyla üç geleneksel siyah veya yeşil çayı (Afrika, Çin ve Sri Lanka'dan) ve ikisi Güney Amerika'dan (maté ve koka) ve üçü Güney Afrika'dan (rooibos, honeybush ve *Athrixia phylicoides*) olmak üzere beş kuru çay yaprağı numunesinde ve bunların infüzyonları (demleme süresi: 6 dakika) üzerinde yaptıkları çalışmada ; Kuru çay yaprakları ve ilgili infüzyonları da farklı mineral profilleri sergilediğini belirtmişlerdir. Geleneksel siyah ve yeşil çaylarda yüksek seviyelerde alüminyum bulunurken, rooibos çayında sodyum yüksek bulunmuştur. Çaylar zengin besin kaynakları olmasa da, maté tüketimi diyetdeki manganez gereksinimlerine önemli ölçüde katkıda bulunabilir.

Salahinejad ve Aflaki (2010), Dördü İran'da yetiştirilen ve yedisi ithal edilen 11 siyah çay örneğinin metal içerikleri ve çay infüzyonları belirlemek amaçlı yaptıkları çalışmada; Toksik metaller (Al, As, Pb, Cr, Cd ve Ni) ve temel mineral elementlerden (Fe, Zn, Cu, Mn, Ca ve Mg) oluşan on iki element, endüktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-AES) kullanılarak analiz edilmişlerdir. Siyah çay yapraklarında Al, Ca, Mg ve Mn mg g<sup>-1</sup> (ppm), Cr, Fe, Ni, Cu, Zn ise µg g<sup>-1</sup> (ppb) konsantrasyon birimleriyle belirlenmiştir. Varyans analizi, Ni ve Cu dışında İran'da yetiştirilen ve ithal edilen siyah çaylarda belirlenen çoğu element arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermedi. Her elementin çay infüzyonlarına ekstraksiyon etkinliği değerlendirildi. İnfüzyon ekstraktlarında ölçülen metallerin çözünürlüğü geniş ölçüde değişkenlik gösterdiği ve %0 ile %59,3 arasında değişmiş olduğu sonucuna varmışlardır

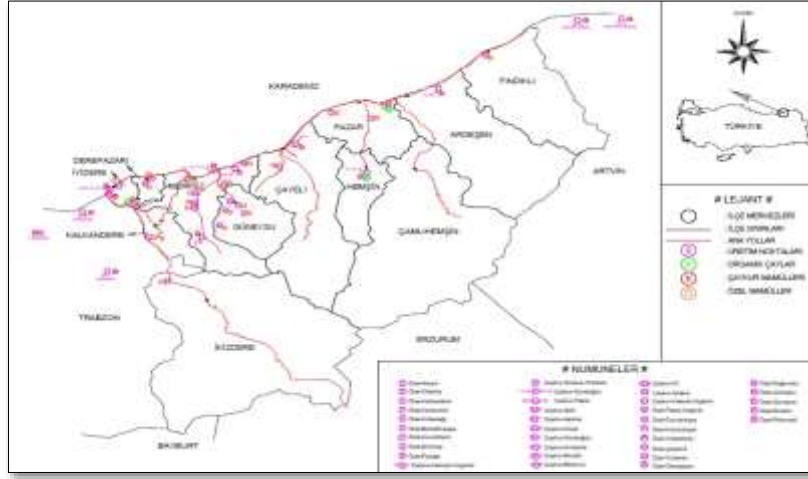
Siyah çaylar üzerine yapılan araştırmaların çoğu organik bileşime odaklanmış ve mineral bileşime daha az önem verilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Karadeniz yöresinde yaygın olarak tüketilen bazı çayların mineral bileşimlerini (N, Mg, K, Ca, P, Fe, Mn, Zn, Cu) incelemek ve referans değerlerle karşılaştırmaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma sahası, 3092 Sayılı Çay Kanunu (Anonim, 2019) ile ve bu kanuna göre çıkarılan yönetmeliklerle I. Kalite Çay Üretim bölgesi olarak belirlenen, Artvin, Rize, Trabzon ve Giresun İllerindeki çay üretim bölgelerinden oluşmaktadır. Şekil 1. Deki haritada

illere denk düşen çayların çeşit isimleri görülmektedir. Üretim alanından alınan örnekleri her fabrikadan iki numune olacak şekilde genellikle 2 ve 3 nevi çaylar (2 ve 3 numaralı elekten geçen) tercih edilmiştir.

Araştırmada kullanılan kuru çayların temin edildiği örnekleme noktaları şekil.1 de verilmiştir. Çaykur'a ait Kamelya Çayı Organik Hemşin Çayı, Altınbaş Klasik, Organik Zümrüt Yeşil Çay, Rize Turist Çayı, Organik Rize Çayı, Çay Çiçeği, 42 Nolu Tirebolu Çayı, Burcum Yeşil Çay, Anadolu Filiz Çayı, Ayder Çayı, Gap Çayı, Nadidem Misafir Çayı, Her Dem Yeşil çayı, özel sektöre ait Rize Güneysu Örnek Çay, Nalkıran Çay Rize Merkez, Doğu Çay Salarha Rize Merkez, Hantal Çay Rize Derepazarı, Özgür Çay Dağsu Rize Merkez, Of Çay Rize Pazar (Organik), Karali Çay, Alkan Çay, Nergiz Çay Güneysu Merkez, Kader Çay (Dağımksu) Rize Merkez, Zülfikar Çay, Nur Çay Doğu Çay, Altınbaşak Çay, Karali Çay, Ocak Çay, Erdinç Çay, Kardeşler Çay, Güneyce Çay, Bey Çay, Lipton marka çaylardır ( Çizelge.1).



Şekil 1. Siyah Çay Örnek Alma Noktaları

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan Çay örnekleri

1	Bey Çay	28	Çaykur Artvin Hopa Fab.
2	Zülfikar Çay	29	Çaykur Artvin Hopa Fab.
3	Doğu Çay	30	Çaykur Rize Merkez Gündoğdu Fab.
4	Altınbaşak Çay	31	Çaykur Rize Merkez Gündoğdu Fab.
5	Karali Çay	32	Çaykur Rize Merkez Ambarlık Fab.
6	Nur Çay	33	Çaykur Rize Merkez Ambarlık Fab.
7	Kardeşler Çay	34	Çaykur Artvin Borçka Muratlı Fab.
8	Ocak Çay	35	Çaykur Artvin Borçka Muratlı Fab.
9	Erdinç Çay	36	Çaykur Trabzon Of Bölümlü Fab.
10	Çaykur Ayder Çayı	37	Çaykur Trabzon Of Bölümlü Fab.
11	Çaykur Çay Çiçeği	38	Çaykur Trabzon Of Bölümlü Fab.
12	Çaykur Organik Hemşin Çayı	39	Çaykur Trabzon Of Bölümlü Fab.
13	ÇaykurOrganik Zümrüt Yeşil Çay	40	Çaykur Rize İyidere Çay Fab.
14	Çaykur Her Dem Yeşil Çay	41	Çaykur Rize Kalkandere Organik Çay Fab.
15	Çaykur 42 Nolu Tirebolu Çayı	42	Rize Pazar Of Çay Organik Çay Fab.
16	Çaykur Organik Rize Çayı	43	Rize Merkez Alkan Çay Fab.
17	Çaykur Kamelya Çayı	44	Rize Merkez Karali Çay Fab.
18	Çaykur Rize Turistik Çay	45	Rize Merkez Özgür Çay Fab.
19	Çaykur Nadidem Misafir Çayı	46	Rize Merkez Nalkıran Çay Fab.
20	Çaykur Altınbaşak Klasik	47	Rize Merkez Doğu Çay Fab.
21	Çaykur Anadolu Filiz Çay	48	Rize Derepazarı Hantal Çay Fab.
22	Çaykur Gap Çayı	49	Rize Merkez Kader Çay Fab.
23	Çaykur Burcum Yeşil Çay	50	Rize Güneysu Örnek Çay Fab.
24	Çaykur Rize Ardeşen Işıklı Fab.	51	Rize İkizdere Güneyce Çay
25	Çaykur Rize Ardeşen Işıklı Fab.	52	Lipton Çay
26	Çaykur Rize Çayeli Aşıklar Fab.	53	Rize Merkez Nergiz Çay
27	Çaykur Rize Çayeli Aşıklar Fab.	54	İran Çayı



Çalışmada; Ortodoks yöntemiyle (Özdemir vd., 1999) üretilmiş çay numuneleri analize hazırlık sürecinde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar 70 °C derecede bekletildikten sonra, 0,5 gr tartılıp üzerine 10 ml Nitrik-perklorik asit eklenmiş optimum 240 °C de renksiz çözelti elde edince ye kadar yakılmış ve Yakma ürünleri Whatman 42 filtre kâğıdı ile süzülüp saf su ile süzükler 25 ml tamamlanmıştır. Hazırlanan süzüklerde (yaş yakma yöntemi ile oluşturulan) makro besin elementleri (P, K, Ca, Mg), mikro besin elementleri (Fe, Cu, Mn, B, Zn) belirlemek üzere ICP-MS cihazında DAYTAM (Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi) 'da okumalar yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

Siyah Çay örneklerinde toplam N miktarı, standart Mikro Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Siyah çay örneklerinin toplam azot içerikleri salisilik-sülfürik asit ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra mikro kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (AOAC 1990). Bu yöntemde yaş yakma ile organik azot, Amonyum sülfat'a çevrilerek amonyum, borik asit içerisine damıtılmış ve daha sonra geri titrasyonla damıtılan örnek H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilmiştir. Nötralizasyon için sarf edilen sülfürik asit miktarından toplam azot hesaplanmıştır.

Siyah Çay örneklerinde belirlenen kimyasal analiz sonuçları arasında ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla örnekler arasında korelasyon yapılmış ve %0,05 ve %0,01'e göre (Jump 11.2.0 ver. İstatistik programı) önemlilik düzeyleri değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çay bitkisine geçen besin elementleri analizleri yapılmış, istatistiki açıdan önemli çıkan değerler Reuter ve Robinson (1997), Chu ve Juneja (1997)' a göre yorumlanmıştır.

**Çizelge 2.** Çay Bitkisinin Mineral İçeriğini Karşılaştırmada Kullanılan Referans Değerler (Chu ve Juneja, 1997)

	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>S (%)</b>
<b>AZ</b>	< 3,5	< 0,20	< 1,6	< 0,12	< 0,12	< 0,24
<b>YETERLİ</b>	3,5-7,1	0,20-0,70	1,60-2,50	0,12-0,57	0,12-0,30	0,24-0,48
<b>FAZLA</b>	7,10 >	0,70 >	2,50 >	0,57 >	0,30 >	0,48 >
	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
	<b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b>	
<b>AZ</b>	< 100	< 15	< 30	< 500	< 20	
<b>YETERLİ</b>	100-200	15-20	30-50	500-3000	20-30	
<b>FAZLA</b>	200 >	20 >	50 >	3000 >	30 >	

#### 3.1. Siyah Çay örneklerinde Makro Besin Elementi Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Siyah Çay örneklerinde kuru madde esasına göre belirlenen, makro besin elementleri (%); N için en yüksek değer 6,3 en düşük değer 1,8 ortalama 3,4 (az), P için en yüksek değer 0,30 en düşük 0,18 ortalama 0,24 (yeterli), K için en yüksek 2,52 en düşük 1,54 ortalama 2,01 (yeterli), Ca için en yüksek 1,18 en düşük 0,23 ortalama 0,35 (yeterli), Mg için en yüksek 0,35 en düşük 0,18 ortalama 0,22 (yeterli) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). Yapılan benzer çalışmalarda elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir. Özkutlu vd. (2015) de Rize ilinden aldıkları 50 çay yaprağının %70'i N bakımından, %96'sı K bakımından noksan ve %100'ünün N bakımından yeterli olduğunu belirlemiştir. Taşkın vd. (2015), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yaptıkları bir araştırmaya göre; çay bitkisinin % 3,46'sında azotun, % 81,77'sinde fosforun, % 99,62'sinde potasyumun, % 17,48'inde kalsiyumun ve % 39,06'sında ise magnezyumun noksan düzeyde olduğunu belirlemişlerdir.

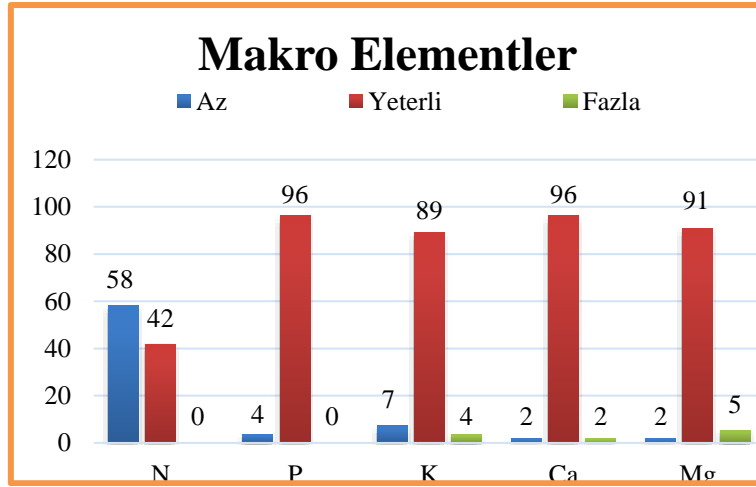
Çizelge 1.de isimleri belirtilen kuru çay çeşitlerinin esansiyel makro besin elementi içerikleri değerlendirildiğinde; 7,10,12,13,14,16,17,19,21,22,24, 25,27,28,29, 33,34, 38, 39, 41, 43, 45 , 48, 49, 50, 51 , 52, 53 ve 54 nolu çay örneklerinde azot içeriği yeterli seviyenin altında (az) bulunmuştur. Kuru çay örnekleri arasında sadece 47 nolu (Rize Doğu çay) hariç bütün çay örneklerinin fosfor içeriği yeterli düzeyde bulunmuştur. Kuru çay örneklerinin 1, 2, 13 nolu ( Bey çay, Zülfikar çay, Rize organik zümrüt yeşil çay) hariç bütün örneklerin potasyum içeriği yeterli düzeydedir. Çay örneklerinin tamamında kalsiyum düzeyi yeterli seviyededir. Benzer şekilde çay örneklerinin magnezyum içeriği de bütün örneklerde yeterli düzeydedir.

Çizelge 3. Siyah Çay örneklerinin Esansiyel Makro Besin Elementi Konsantrasyon Değerleri\*

Örnek No	N (%)	Yorum	P (%)	Yorum	K (%)	Yorum	Ca (%)	Yorum	Mg (%)	Yorum
1	1,8	Az	0,24	Yeterli	1,60	Az	0,24	Yeterli	0,20	Yeterli
2	4,3	Yeterli	0,20	Yeterli	1,54	Az	0,28	Yeterli	0,18	Yeterli
3	5,9	Yeterli	0,22	Yeterli	1,67	Yeterli	0,27	Yeterli	0,19	Yeterli
4	6,3	Yeterli	0,27	Yeterli	2,14	Yeterli	0,36	Yeterli	0,25	Yeterli
5	4,2	Yeterli	0,23	Yeterli	1,97	Yeterli	0,35	Yeterli	0,24	Yeterli
6	5,3	Yeterli	0,27	Yeterli	2,17	Yeterli	0,39	Yeterli	0,25	Yeterli
7	3,2	Az	0,22	Yeterli	1,89	Yeterli	0,32	Yeterli	0,23	Yeterli
8	3,5	Yeterli	0,23	Yeterli	2,11	Yeterli	0,46	Yeterli	0,26	Yeterli
9	3,9	Yeterli	0,25	Yeterli	2,19	Yeterli	0,34	Yeterli	0,22	Yeterli
10	3,1	Az	0,25	Yeterli	1,89	Yeterli	0,37	Yeterli	0,20	Yeterli
11	4,0	Yeterli	0,22	Yeterli	1,78	Yeterli	0,30	Yeterli	0,20	Yeterli
12	2,7	Az	0,28	Yeterli	2,02	Yeterli	0,87	Fazla	0,28	Yeterli
13	2,9	Az	0,22	Yeterli	1,59	Az	0,38	Yeterli	0,21	Yeterli
14	3,2	Az	0,22	Yeterli	1,76	Yeterli	0,31	Yeterli	0,22	Yeterli
15	3,5	Yeterli	0,20	Yeterli	1,86	Yeterli	0,30	Yeterli	0,22	Yeterli
16	3,2	Az	0,28	Yeterli	2,16	Yeterli	0,40	Yeterli	0,23	Yeterli
17	3,4	Az	0,22	Yeterli	1,87	Yeterli	0,30	Yeterli	0,20	Yeterli
18	3,6	Yeterli	0,25	Yeterli	2,08	Yeterli	0,35	Yeterli	0,23	Yeterli
19	2,8	Az	0,27	Yeterli	2,10	Yeterli	0,36	Yeterli	0,24	Yeterli
20	3,6	Yeterli	0,25	Yeterli	2,09	Yeterli	0,34	Yeterli	0,23	Yeterli
21	3,2	Az	0,27	Yeterli	2,28	Yeterli	0,38	Yeterli	0,26	Yeterli
22	3,5	Az	0,30	Yeterli	2,52	Fazla	0,37	Yeterli	0,27	Yeterli
23	3,6	Yeterli	0,27	Yeterli	2,15	Yeterli	0,38	Yeterli	0,27	Yeterli
24	2,9	Az	0,30	Yeterli	2,51	Fazla	1,18	Yeterli	0,35	Fazla
25	3,4	Az	0,22	Yeterli	1,96	Yeterli	0,38	Yeterli	0,23	Yeterli
26	3,6	Yeterli	0,25	Yeterli	2,05	Yeterli	0,39	Yeterli	0,31	Fazla
27	3,2	Az	0,27	Yeterli	2,24	Yeterli	0,42	Yeterli	0,30	Fazla
28	2,8	Az	0,20	Yeterli	1,77	Yeterli	0,31	Yeterli	0,17	Yeterli
29	3,1	Az	0,25	Yeterli	2,24	Yeterli	0,40	Yeterli	0,26	Yeterli
30	3,7	Yeterli	0,23	Yeterli	1,79	Yeterli	0,29	Yeterli	0,17	Yeterli
31	3,9	Yeterli	0,27	Yeterli	2,41	Yeterli	0,37	Yeterli	0,28	Yeterli
32	3,8	Yeterli	0,25	Yeterli	2,20	Yeterli	0,32	Yeterli	0,26	Yeterli
33	2,9	Az	0,23	Yeterli	1,96	Yeterli	0,27	Yeterli	0,20	Yeterli
34	3,1	Az	0,21	Yeterli	1,87	Yeterli	0,31	Yeterli	0,20	Yeterli
35	4,0	Yeterli	0,25	Yeterli	2,08	Yeterli	0,38	Yeterli	0,25	Yeterli
36	3,5	Yeterli	0,27	Yeterli	2,06	Yeterli	0,31	Yeterli	0,17	Yeterli
37	4,5	Yeterli	0,25	Yeterli	2,32	Yeterli	0,36	Yeterli	0,26	Yeterli
38	3,2	Az	0,28	Yeterli	2,36	Yeterli	0,38	Yeterli	0,28	Yeterli
39	3,2	Az	0,23	Yeterli	1,92	Yeterli	0,31	Yeterli	0,23	Yeterli
40	3,5	Yeterli	0,25	Yeterli	2,20	Yeterli	0,31	Yeterli	0,25	Yeterli
41	2,4	Az	0,24	Yeterli	2,01	Yeterli	0,37	Yeterli	0,25	Yeterli
42	3,9	Yeterli	0,22	Yeterli	2,08	Yeterli	0,30	Yeterli	0,24	Yeterli
43	2,8	Az	0,22	Yeterli	1,90	Yeterli	0,29	Yeterli	0,24	Yeterli
44	3,5	Yeterli	0,24	Yeterli	1,93	Yeterli	0,34	Yeterli	0,18	Yeterli
45	3,2	Az	0,23	Yeterli	1,96	Yeterli	0,32	Yeterli	0,18	Yeterli
46	2,8	Yeterli	0,21	Yeterli	1,68	Yeterli	0,29	Yeterli	0,15	Yeterli
47	3,7	Az	0,18	Az	1,64	Yeterli	0,26	Yeterli	0,13	Yeterli
48	3,2	Az	0,28	Yeterli	2,31	Yeterli	0,37	Yeterli	0,23	Yeterli
49	3,0	Az	0,22	Yeterli	1,81	Yeterli	0,30	Yeterli	0,17	Yeterli
50	3,4	Az	0,21	Yeterli	1,91	Yeterli	0,34	Yeterli	0,21	Yeterli
51	3,4	Az	0,23	Yeterli	1,72	Yeterli	0,27	Yeterli	0,15	Yeterli
52	2,1	Az	0,24	Yeterli	2,06	Yeterli	0,33	Yeterli	0,23	Yeterli
53	2,8	Az	0,29	Yeterli	2,28	Yeterli	0,23	Yeterli	0,21	Yeterli
54	3,0	Az	0,23	Yeterli	2,06	Yeterli	0,30	Yeterli	0,22	Yeterli
Ort.	3,4		0,24		2,01		0,35		0,22	

\*: Azot analizi mikro kjeldahl yakma yöntemi ile yapılmıştır, diğer elementler nitrik perklorik asit yakma çözeltisinde analiz edilmiştir.

Karadeniz Bölgesini temsilen, 10 farklı noktadan ve piyasadan alınan toplam 54 siyah çay örneklerinde kuru madde esasına göre ; analiz sonuçlarının besin elementi içeriği bakımından N içeriği %58 az, %42 yeterli, P %4 az, %96 yeterli, K %7 az, %89 yeterli, %4 fazla, Ca %2 az, %96 yeterli, %2 fazla Mg %20 az, %80 yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir ( Şekil.2)

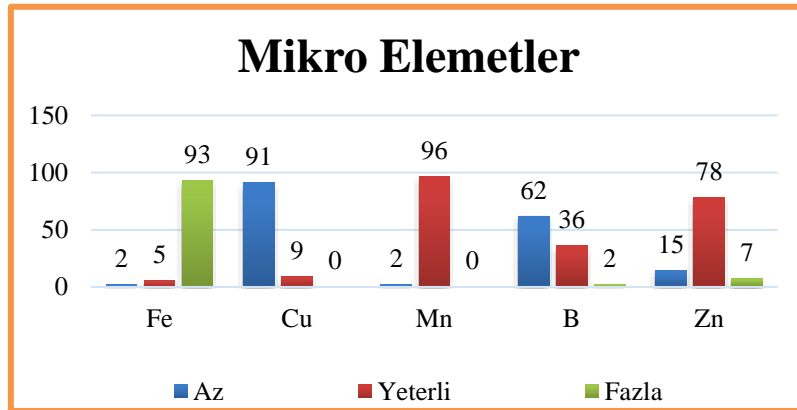


Şekil 2. Siyah çay örneklerinde makro besin elementi yeterlilik düzeyleri

### 3.2. Mikro besin elementi analiz sonuçları ve değerlendirilmesi

Mikro Besin Elementleri (ppm); Fe için en yüksek değer 846,11ppm, en düşük 177,93ppm, ortalama 284,27ppm (Fazla), Cu için en yüksek 19,75ppm, en düşük 5,97ppm, ortalama 11,90ppm (az), Mn için en yüksek 2190,64ppm, en düşük 580,05ppm, ortalama 1477,32ppm (yeterli), B için en yüksek 50,71ppm, en düşük 14,37ppm, ortalama 19,71 (yeterli), Zn için en yüksek 66,38ppm, en düşük 25,74ppm, ortalama 38,96ppm (yeterli), olduğu tespit edilmiştir. Mikro element analiz sonuçlarının besin elementi içeriği bakımından Fe içeriği %2 az %5 yeterli, %93 fazla, Cu %91 az, %9 yeterli, Mn %2 az, %96 yeterli, B %62 az, %36 yeterli, %2 fazla, Zn %15 az, %78 yeterli, %7 fazla, olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4). Balcı ve ark (2016) da Doğu Karadeniz Bölgesinde topladığı 532 çay yaprak örneklerinde toplam demirin 20,8-1931 mg kg<sup>-1</sup>, toplam bakırın 0,62-25,7 mg kg<sup>-1</sup>, toplam çinkonun 0,98-53,5 mg kg<sup>-1</sup> ve toplam manganın 146-5013 mg kg<sup>-1</sup> arasında değiştiği, ortalama olarak toplam demirin 136 mg kg<sup>-1</sup>, toplam bakırın 7,66 mg kg<sup>-1</sup>, toplam çinkonun 12,7 mg kg<sup>-1</sup> ve toplam manganın 1608 mg kg<sup>-1</sup> olduğu belirlenmiştir. Çay yapraklarında mangan konsantrasyonunun yeterli olduğu belirlenirken, yaprak örneklerinin %98,9'sinde toplam demirin, %97,0'unda bakırın, %97,6'sında çinkonun noksan olduğu belirlenmiştir (Şekil.3). Ayrıca Özkutlu vd., 2015, Özkutlu vd., 2016 yıllarında yaptığı çalışmalarda da benzer bulgulara rastlanmaktadır

Çizelge 1.de çay çeşitleri ve numaraları belirtilen örneklerin esansiyel mikro besin elementi içerikleri incelendiğinde ; Bütün kuru çay örneklerinin demir içerikleri yeterli düzeyinde üzerinde (fazla) bulunmuştur. Çay örneklerinin büyük bir çoğunluğunda ( 22, 24,26, 53 hariç ) bakır , yetersiz seviyededir. Çay örneklerinin mangan içeriği tüm örneklerde yeterli düzeyde bulunmuştur. Çay örneklerinin büyük bir çoğunluğunda (5,6,7,8,11,15,18,19,21,22,23,25,26,27,28,29,30,32,33,34,36,39,42,43,44,46,47,48,51,52,53,54) bor içeriği yeterli düzeyin altında (az ) bulunmuştur. Çay örneklerinin çinko içerikleri ise, büyük bir çoğunluğunda (43, 45,46,47,51 hariç) yeterli düzeydedir.



Şekil.3. Siyah Çay örneklerinin Mikro Besin Elementi İçerikleri

Çizelge 4. Siyah Çay Örneklerinin Mikro Bitki Besin Elementi Konsantrasyon Değerleri (ppm)

Örnek No	Fe (ppm)	Yorum	Cu (ppm)	Yorum	Mn (ppm)	Yorum	B (ppm)	Yorum	Zn (ppm)	Yorum
1	275,19	Fazla	12,96	Az	936,83	Yeterli	23,05	Yeterli	42,59	Yeterli
2	253,08	Fazla	11,01	Az	1274,54	Yeterli	21,83	Yeterli	40,03	Yeterli
3	219,81	Fazla	10,81	Az	1390,43	Yeterli	23,40	Yeterli	39,55	Yeterli
4	295,67	Fazla	14,90	Az	1660,76	Yeterli	20,21	Yeterli	43,71	Yeterli
5	246,71	Fazla	12,61	Az	1765,88	Yeterli	16,97	Az	42,63	Yeterli
6	315,49	Fazla	14,48	Az	1634,21	Yeterli	17,40	Az	38,63	Yeterli
7	251,79	Fazla	11,71	Az	1513,37	Yeterli	16,08	Az	35,08	Yeterli
8	231,99	Fazla	13,44	Az	1343,92	Yeterli	19,42	Az	39,97	Yeterli
9	316,55	Fazla	14,83	Az	1869,34	Yeterli	22,25	Yeterli	44,64	Yeterli
10	310,92	Fazla	13,88	Az	1655,30	Yeterli	27,82	Yeterli	41,30	Yeterli
11	321,94	Fazla	11,02	Az	1332,40	Yeterli	15,78	Az	36,52	Yeterli
12	236,66	Fazla	14,29	Az	1450,30	Yeterli	21,20	Yeterli	41,01	Yeterli
13	277,13	Fazla	12,55	Az	1117,63	Yeterli	21,62	Yeterli	40,43	Yeterli
14	<b>177,93</b>	Yeterli	10,81	Az	1146,02	Yeterli	18,44	Yeterli	35,06	Yeterli
15	325,05	Fazla	10,97	Az	1536,17	Yeterli	17,37	Az	38,99	Yeterli
16	243,11	Fazla	13,94	Az	1330,31	Yeterli	22,43	Yeterli	38,68	Yeterli
17	245,58	Fazla	11,20	Az	1550,94	Yeterli	17,30	Az	39,25	Yeterli
18	294,33	Fazla	12,48	Az	1751,04	Yeterli	18,90	Az	40,38	Yeterli
19	352,02	Fazla	13,65	Az	1689,04	Yeterli	17,94	Az	38,09	Yeterli
20	288,14	Fazla	14,07	Az	1619,39	Yeterli	21,25	Yeterli	41,38	Yeterli
21	311,48	Fazla	14,82	Az	1589,83	Yeterli	17,21	Az	42,57	Yeterli
22	244,82	Fazla	15,17	Yeterli	1830,23	Yeterli	18,69	Az	42,06	Yeterli
23	231,56	Fazla	14,10	Az	1572,05	Yeterli	19,88	Az	47,38	Yeterli
24	578,31	Fazla	15,96	Yeterli	2089,91	Yeterli	23,89	Yeterli	<b>66,38</b>	Yeterli
25	227,65	Fazla	13,05	Az	1722,43	Yeterli	18,97	Az	47,67	Yeterli
26	252,12	Fazla	15,24	Yeterli	1083,81	Yeterli	18,95	Az	62,50	Fazla
27	379,57	Fazla	16,57	Yeterli	1293,36	Yeterli	18,83	Az	57,43	Fazla
28	288,51	Fazla	10,63	Az	1148,66	Yeterli	17,64	Az	46,02	Yeterli
29	199,78	Fazla	14,56	Az	1452,11	Yeterli	18,69	Az	54,45	Fazla
30	247,66	Fazla	10,13	Az	1001,00	Yeterli	17,25	Az	52,57	Fazla
31	763,87	Fazla	12,79	Az	1542,70	Yeterli	24,84	Yeterli	34,00	Yeterli
32	218,84	Fazla	11,88	Az	1656,30	Yeterli	17,70	Az	36,42	Yeterli
33	239,85	Fazla	10,92	Az	1425,90	Yeterli	14,97	Az	28,95	Az
34	284,54	Fazla	10,24	Az	1555,66	Yeterli	16,53	Az	29,36	Az
35	273,75	Fazla	12,04	Az	1823,14	Yeterli	<b>50,71</b>	Yeterli	34,20	Yeterli
36	306,68	Fazla	10,44	Az	1623,03	Yeterli	17,18	Az	34,41	Yeterli
37	279,82	Fazla	12,24	Az	<b>2190,64</b>	Yeterli	20,79	Yeterli	38,77	Yeterli
38	224,13	Fazla	11,69	Az	1945,06	Yeterli	20,22	Yeterli	42,05	Yeterli
39	180,34	Yeterli	9,19	Az	1699,22	Yeterli	16,57	Az	31,83	Yeterli
40	252,17	Fazla	12,00	Az	2059,78	Yeterli	20,13	Yeterli	36,09	Yeterli
41	254,80	Fazla	10,05	Az	1614,51	Yeterli	25,76	Yeterli	42,04	Yeterli
42	219,22	Fazla	10,63	Az	1763,63	Yeterli	17,63	Az	42,99	Yeterli
43	226,77	Fazla	8,61	Az	1224,92	Yeterli	17,94	Az	28,23	Az
44	223,02	Fazla	8,31	Az	1899,17	Yeterli	15,07	Az	30,03	Yeterli
45	254,77	Fazla	9,47	Az	1382,50	Yeterli	34,74	Fazla	28,04	Az
46	223,32	Fazla	8,54	Az	1502,81	Yeterli	<b>14,37</b>	Az	<b>25,74</b>	Az
47	220,82	Fazla	<b>5,97</b>	Az	1222,04	Yeterli	16,18	Az	25,99	Az
48	308,81	Fazla	11,89	Az	1688,57	Yeterli	20,01	Yeterli	36,42	Yeterli
49	333,58	Fazla	10,27	Az	985,21	Yeterli	16,05	Az	33,74	Yeterli
50	<b>846,11</b>	Fazla	9,27	Az	1454,68	Yeterli	21,19	Yeterli	36,82	Yeterli
51	231,51	Fazla	7,94	Az	1568,53	Yeterli	16,78	Az	29,50	Az
52	275,17	Fazla	10,02	Az	1440,62	Yeterli	18,17	Az	32,25	Yeterli
53	191,44	Yeterli	<b>19,75</b>	Yeterli	<b>580,05</b>	Yeterli	19,90	Az	43,16	Yeterli
54	346,05	Fazla	8,11	Az	1052,36	Yeterli	16,06	Az	35,42	Yeterli
Ort	284,27		11,90		1477,32		19,71		38,96	

Çizelge.5. Siyah Çay Örneklerinin Mineral Besin Elementleri Korelasyon Analiz Sonuçları

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	B
P	0,117								
K	0,069	0,818**							
Ca	-0,103	0,475*	0,413*						
Mg	0,119	0,795**	0,762**	0,614*					
Fe	0,063	0,305*	0,241	0,288	0,352*				
Cu	0,137	0,684*	0,587*	0,377*	0,675*	0,146			
Mn	0,315	0,569*	0,480*	0,319*	0,565*	0,245	0,183		
B	0,127	0,375*	0,124	0,169	0,354*	0,230	0,246	0,314*	
Zn	0,126	0,580*	0,365*	0,502*	0,705**	0,238	0,707**	0,246	0,197

\* İşaretili F değeri  $p < 0,05$ ; \*\*işaretili F değerleri ise  $p < 0,01$  olasılık düzeyinde önemlidir.

Çizelge 5 de çay örneklerinin makro ve mikro besin elementi içerikleri arasındaki korelasyon analizleri ; K'un P ile, Mg'un , P ve K ile  $p < 0,01$  olasılık düzeyinde aralarında olumlu pozitif ilişkisi olduğunu gösterirken, çay örneklerinin Zn içeriğinin Mg ve Cu içerikleriyle aralarında  $p < 0,01$  olasılık düzeyinde olumlu pozitif ilişkisi olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan çay örneklerinin Fe, Cu, Mn ,B ve Zn içeriklerinin P,K,Ca ile aralarında  $p < 0,05$  olasılık düzeyinde aralarında olumlu pozitif ilişkiler olduğu görülmüştür.

#### 4. Sonuç ve öneriler

Doğu Karadeniz yöresinde yaygın olarak tüketilen veya ülke çapında pazarlanan gerek piyasadan temin edilen ve gerekse üretim sahasından alınan 54 siyah çay örneğinin makro besin elementi analiz sonuçlarında; N içeriği %58 az, %42 yeterli; P % 4 az, %96 yeterli; K %7 az, %89 yeterli % 4 fazla; Ca % 2 az, %96 yeterli, %2 fazla; Mg %20 az, %80 yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Mikro element analiz sonuçlarının besin elementi içeriği bakımından; Fe içeriği %2 az %5 yeterli, %93 fazla; Cu %91 az, %9 yeterli, Mn %2 az, %96 yeterli; B %62 az, %36 yeterli, %2 fazla; Zn %15 az, %78 yeterli, %7 fazla, olduğu tespit edilmiştir.

Çay yapraklarındaki metal birikimine toprak ,organik madde içerikleri , üretim süreci ve çevre kirliliği gibi birçok faktör katkıda bulunabilir. Metal içeriğinin çay çeşitleri ve coğrafi kökenleri için yeterli bir belirleyici faktör olabileceği doğrulanmış bir gerçektir (Salahinejad ve Aflaki 2010).

Araştırma konusu çay örneklerinin çoğunluğunda özellikle azot, bakır ve bor beslenmesinin yetersizliğine ait bulgular elde edilmiştir. Azot çay bitkisinin gelişmesinde yaşamsal önemi olan besin maddesidir. Bunun nedeni içtiğimiz çayın genç ve körpe çay yapraklarından yapılmasıdır. Üstün nitelikli ve bol çay yaprağı elde edilmesinde ise azot temel maddedir. Azot çay bitkisinin kök gelişmesi ve tepe/kök oranı üzerine de önemli etki yapar. Yeterli azot beslenmesi olan çay bitkilerinin budama aralıklarını da uzatır. Çay bitkisinin gelişmesinde özellikle solunum olayında ve klorofil oluşumunda etkin rol oynadığı bilinmektedir. Bakır ayrıca çay bitkisinin protein metabolizmasında önemli rol oynar. Borun çay bitkisindeki işlevleri üzerinde yeterli bilgiye sahip olmasak da , yapılan araştırmalar borun çay bitkisi protein sentezinde önemli işlevleri olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan karbonhidrat metabolizmasında da etkisi büyüktür. Siyah çayın tad ve kokusunda önemli etkisi olması nedeniyle niteliğini de etkilediğine dair bulgular vardır (Kacar, 2010).

Esansiyel makro elementler; N, P, K, Ca, S ve Mg olmak üzere altı minerali içerir. Bitkiler bu elementleri mineral formda alırken, insanlar N ve S'yi proteinler ve amino asitler olarak alır ve geri kalan dördü tahıllarda, sebzelerde, meyvelerde, yumurtalarda, balıklarda ve ette bulunan çeşitli bileşikler olarak emilir. Esansiyel mikro elementler, demir (Fe), çinko (Zn), manganez (Mn), bakır (Cu), molibden (Mo) ve bor (B) olmak üzere altı mineral bulunur.

Bazı Japon diyet uzmanlarına göre ; Diyet mineralleri sağlığımız için çok önemlidir. Belirli bir mineralin sürekli eksikliği, vitaminlerde olduğu gibi, ilgili bir hastalığa neden olur. Zengin bir kaynak olmasa da yeşil çay yaprakları birçok mineral içerir. İşin püf noktası, önemli miktarda almanın tek yolu, yaprakları demlemek değil, yemektir (Anonim, 2023) . Çay yapraklarında en çok bulunan mineraller potasyum, kalsiyum, fosfor ve magnezyumdur. Daha az miktarda manganez, çinko, bakır ve demir içermektedir.

Araştırmada kullanılan siyah çay örneklerinin toplam azot içerikleri dikkate alındığında , en az yarısının protein içeriğinin düşük olduğu görülmektedir. Potasyum , kalsiyum, fosfor ve Mg yeterli seviyelerde olsa da , özellikle potasyum yüksekliği ve çaya diffüze olan miktar arttıkça, sağlık açısından olası kan basıncı yüksekliğini tolere edebileceği noktaya vurgu yapılmaktadır. Nitekim, Bitki çaylarının ve yeşil çayların potasyum seviyelerinin sodyumdan daha yüksek olduğundan bahsedilmektedir. Bu durumun, Arteriyel hipertansiyonun kontrolü üzerindeki sodyum kısıtlamasının yararlı etkisi, potasyum alımındaki eş zamanlı artışla arttığına değinen kaynak araştırmalar vardır (Geleijnse ver ark, 2003; Adepoju ve Oyewole, 2008; Adroque, H.J. and Madias, 2007 )

Çayın, kanser ve kardiyovasküler hastalıklarda usulüne uygun hazırlanıp kullanıldığında yararlı etkisinden bahsedilmektedir. Anemi hastalığı olanlarda özellikle yemeklerle birlikte tüketilmesi demir emilimini azaltacağından ve kansızlığı tetikleyeceğinden

dolay yemeklerle birlikte tüketilmemesi önerilmektedir. Ayrıca böbrek taşı oluşumunu çayla önlemek de mümkün (Mckay and Blumberg, 2002)

## 5. Teşekkür

Bu tez çalışmasında Atatürk Üniversitesi BAP Projeleri konseptinde (Proje kodu; 6890 FYL-2018-6890) destek alınarak, DAYTAM merkezinde analizlerin yapılmasında emeği geçenlere ve Üniversitemize teşekkürü borç biliriz

## Kaynaklar

- Adepoju, O.T. and Oyewole, E.O. (2008) Nutritional Importance and Micronutrient Potentials of Two Non-Convectional Indigenous Green Leafy Vegetables from Nigeria. *Agricultural Journal*, 3, 362-365.
- Adroge, H.J. and Madias, N.E. (2007) Sodium and Potassium in the Pathogenesis of Hypertension. *The New England Journal of Medicine*, 356, 1966-1978. <https://doi.org/10.1056/NEJMra064486>
- Anonim, (2019). Çay Kanunu (3092 Sayılı). 19.12.1984 tarihli ve 18610 sayılı Resmi Gazete. Erişim: 01.02.2019, 14:00.
- Anonim, (2023). <http://museum.ichikawaen.co.jp/health/mineral.php>. (Erişim, 07.04.2023)
- AOAC, (1990). Association of Official Analytical Chemists-International, In: Helrich, K (Ed.), *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC.
- Balcı, M. Taşkın, M. B. Kaya, E. C. Soba, M. R. Özer, P. Kabaoğlu, A. Turan, M. A. ve Taban, S. (2016). Doğu Karadeniz bölgesinde çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin demir, bakır, çinko ve mangan durumları. *Toprak ve Su Dergisi*, 5:2, 65-74.
- Chu, D. C. and Juneja & L. R. (1997). General chemical composition of green tea and its infusion. In: Yamamoto, T., Juneja, L.R., Chu, D.C. and Kim, M., Eds., *Chemistry and Applications of Green Tea*, CRC Press, Boca Raton, 13-22.
- Çaykur, (2017). 2017 Yılı Çay Sektör Raporu. <http://www.caykur.gov.tr> Erişim tarihi ve saati 10.11.2018, 21:15
- Geleijnse, J.M., Kok, F.J. and Grobbee, D.E. (2003) Blood Pressure Response to Changes in Sodium and Potassium Intake: A Metaregression Analysis of Randomised Trials. *Journal of Human Hypertension*, 17, 471-480. <https://doi.org/10.1038/sj.jhh.1001575>
- Horuz, A., Korkmaz, A., 2006. Farklı Sürgün Dönemlerinde Hasat Edilen Çayın Verimi, Azot İçeriği ve Mineral Madde Kompozisyonu. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, Sayı:21, Cilt:1, Sayfa: 49-54, 2006, Samsun.
- Kacar, B. Przemec, E. Özgümüş, A. Turan, C. Katkat, A. V. ve Kayıkçıoğlu, İ. (1979). Türkiye’de çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin mikro element gereksinimleri üzerinde bir araştırma. S. 1-67. TÜBİTAK, TOAG-321.Ankara
- Kacar, B. (1987). Çayın biyokimyası ve işleme teknolojisi. Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Çay-Kur Yayınları, No:6 S:1-71.Ankara.
- Kacar, B. (2010). Çay bitkisi, biyokimyası, gübrelemesi ve işleme teknolojisi. Nobel Yayınları, Yayın No: 1549, Sayfa 17-26, Ankara.
- Kacar, B. ve İnal, A. (2008). Bitki analizleri, Cilt 1., Nobel yayını, 892 s, Ankara.
- Mackay.D and Blumberg. J.B. (2002). The Role of Tea in Human Health: *Journal of the American College of Nutrition*. 21(1):1-13 DOI: 10.1080/07315724.2002.10719187
- Olivier J, Symington EA, Jonker CZ, Rampedi IT, VanEeden TS. Comparison of the mineral composition of leaves and infusions of traditional and herbal teas. *S Afr J Sci*. 2012;108(1/2), Art. 623, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i1/2.623>
- Özdemir, F. Topuz, A. & Erbaş, M. (1999). Ortodoks ve Çaykur yöntemleri ile üretilen farklı sınıf siyah çayların mineral içerikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(supp4), 809-815.
- Özkutlu, F. Akkaya, Ö. H. Ete, Ö. Şahin, Ö. & Korkmaz, K. (2015). Rize ilindeki bazı çay bahçelerinin toprak ve yaprak analizi ile besin element düzeylerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(2), 94-103.
- Özkutlu, F. Akkaya, Ö. H. Ete, Ö. & Akgün, M. (2016). Bazı çay bahçelerinin B(bor) beslenmesi ve toprak özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1).
- Salahinejad. M and F. Aflaki. 2010. Toxic and Essential Mineral Elements Content of Black Tea Leaves and Their Tea Infusions Consumed in Iran *Biol Trace Elem Res* (2010) 134:109–117 DOI 10.1007/s12011-009-8449-z
- Reuter, D. J. and Robinson, J. B. (1997). *Plant analysis. An interpretation manual*. 2nd Edition, CSIRO Publishing, Melbourne.
- Taşkın, M. B. Balcı, M. Soba, M. R. Kaya, E. C. Özer, P. Tanyel, G. Kabaoğlu, A. Turan, M. A. Taban, S. (2015). Doğu Karadeniz Bölgesinde çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt durumları. *Toprak Dergisi*, 4(2), 30-40.
- Uzuner, P., Bilgin A., 2015. Doğu Karadeniz Sahil Yolu Boyunca *Camellia Sinensis* Var. *Sinensis* (L.) Kuntze (Çay)’ de Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Rize.
- Üstün, Ç. & Demirci, N. (2013). Çay bitkisinin (*Camellia sinensis* L.) tarihsel gelişimi ve tıbbi açıdan değerlendirilmesi. II. Rize Kalkınma Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı, Sayfa 175-186, 3-4 Mayıs 2013. Rize.



# Soliton Solutions of the Generalized Dullin-Gottwald-Holm Equation with Parabolic Law Nonlinearity

Melih CINAR<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, Department of Mathematical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4684-3631), [mcinar@yildiz.edu.tr](mailto:mcinar@yildiz.edu.tr)

(First received 24 March 2023 and in final form 30 April 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1270371)

**ATIF/REFERENCE:** Cinar M. (2023). Soliton Solutions of the Generalized Dullin-Gottwald-Holm Equation with Parabolic Law Nonlinearity. European Journal of Science and Technology, (50), 171-177.

## Abstract

In this paper, soliton solutions of the generalized Dullin-Gottwald-Holm (gDGH) equation with parabolic law nonlinearity are investigated. The gDGH describes the behavior of waves in shallow water with surface tension. There are only a few studies in the literature regarding gDGH equation with parabolic law nonlinearity, and to our best knowledge, the unified Riccati equation expansion method (UREEM) has not been applied to this equation before. Many soliton solutions of the considered gDGH equation are successfully attained using the UREEM, which is a powerful technique for solving nonlinear partial differential equations. We verify that the obtained analytical solutions satisfy the gDGH equation using Mathematica. Furthermore, some plots of the acquired solitons are demonstrated with the aid of Matlab to examine the properties of the soliton solutions. The obtained results show that the considered gDGH equation admits dark, bright, singular, and periodic solutions. This study may contribute to a comprehensive investigation of the soliton solutions of the gDGH equation, which has practical applications in fields such as oceanography and nonlinear optics.

**Keywords:** Soliton solutions, shallow water, nonlinear wave dynamics, dark soliton.

## Parabolik Doğrusal olmayan Kanunlu Genelleştirilmiş Dullin-Gottwald-Holm Denkleminin Soliton Çözümleri

### Öz

Bu makalede, parabolik yasalı genelleştirilmiş Dullin-Gottwald-Holm (gDGH) denkleminin soliton çözümleri incelenmiştir. İlgili denklem yüzey gerilimli sığ sularda dalga davranışını modellemektedir. Literatürde doğrusal olmayan parabolik kanuna sahip gDGH denkleminin ile ilgili sadece birkaç çalışma vardır ve literatür araştırmalarından görüldüğü üzere bu makalede kullanılacak olan birleştirilmiş Riccati denklemi genişletme (BRDG) yöntemi daha önce bu denkleme uygulanmamıştır. Bu çalışmada gDGH denkleminin birçok soliton çözümü, doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için güçlü bir teknik olan BRDG yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Elde edilen analitik çözümlerin gDGH denklemini sağladığı Mathematica kullanarak doğrulanmıştır. Ayrıca, soliton çözümlerinin özelliklerini ve davranışını incelemek için elde edilen solitonların bazı grafikleri Matlab yardımıyla çizdirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, gDGH denkleminin karanlık, parlak, tekil ve periyodik gibi farklı türlerde çözümler içerdiğini göstermektedir. Bu çalışma, okyanus bilimi ve doğrusal olmayan optik gibi alanlarda uygulamaları olan gDGH denkleminin soliton çözümlerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesine katkı sunabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Soliton çözümleri, sığ su, doğrusal olmayan dalga dinamiği, karanlık soliton.

\* Corresponding Author: [mcinar@yildiz.edu.tr](mailto:mcinar@yildiz.edu.tr)

## 1. Introduction

Nonlinear partial differential equations (NLPDEs) are mathematical equations that describe physical phenomena in a wide range of scientific fields, including physics, engineering, chemistry, biology, and economics (Farlow, 2012), (Levy & Shearer 2015), (Braun, 1983b), (Zachmanoglou & Thoe, 1986). The ability to model complex systems and predict their behavior is critical in modern science and engineering and NLPDEs are a powerful tool for achieving this goal. NLPDEs can be used to model a variety of physical phenomena, such as fluid flow, heat transfer, wave propagation, and electromagnetism (Farlow, 2012), (Levy & Shearer 2015), (Braun, 1983b), (Zachmanoglou & Thoe, 1986).

In 2001, Dullin et al. introduced an equation that models shallow water waves with surface tension, later called the DGH equation (Dullin et al., 2001). Due to advances in physics and mathematics, various extensions of the DGH equation have been generated and investigated. For example; the dimensionless form of the generalized DGH (gDGH) equation was studied by (Biswas & Kara, 2010). Zhang, Y., & Xia, Y. (2021) dealt with the gDGH equation with parabolic law nonlinearity.

This paper aims to obtain the soliton solutions of the gDGH equation with parabolic law nonlinearity. The equation can be given by (Zhang & Xia, 2021b):

$$z_t - \alpha z_{xxt} + 2\beta z_x + (\gamma z + \sigma z^2)z_x + \mu z_{xxx} = \alpha(2z_x z_{xx} + z z_{xxx}), \quad (1)$$

where  $z = z(x, t)$ . Here,  $x, t$  denote spatial and temporal variables, respectively.  $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ , and  $\mu$  are constants with real values. The term  $\gamma z + \sigma z^2$  stands for parabolic law nonlinearity. Besides,  $\gamma$  and  $\sigma$  are coefficients of the parabolic law nonlinearity form that occurs in optical fibers.

Yang et al. (2022) studied exact soliton solutions of the gDGH equation with cubic power law nonlinearity. They also investigated the bifurcations of the solutions. Yin et al. (2013) presented painleve analysis of gDGH and KdV equations. In a study by Leta and Li (2017), the authors investigated the soliton solutions of the various exact soliton solutions and bifurcations. These studies highlight the importance of the gDGH equation and its soliton solutions in understanding nonlinear wave dynamics in various physical systems and exploring their practical applications in fields such as oceanography and nonlinear optics.

In the literature, to obtain soliton solution of the NLPDEs, there are powerful methods such as new Kudryashov (Kudryashov, 2020), auxiliary equation technique (Ozisk et al., 2022b), sine-Gordon equation (Yildirim, 2021), F-expansion method (Zhou et al., 2003b), modified F-expansion method (Ozisk et al., 2023), the generalized unified method (Osman & Wazwaz, 2018), modified extended tanh-function method (El-Wakil et al., 2002), generalized Kudryashov (Cakicioglu et al., 2023) and Kudryashov's integrability approaches (Ozisk et al., 2022). In this paper, UREEM (Sirendaoreji, 2017), (Zayed et al., 2020) is used to extract soliton solutions of gDGH equation with parabolic law nonlinearity.

The rest of the paper is structured as follows: In Section 2, we provide a wave transformation and apply UREEM to the considered model. In section 3, we present some plots of the soliton solutions of the gDGH equation and give explanations of the figures. In conclusion, we summarize our main findings and contributions.

## 2. Method

### 2.1. Wave Transformation

The following transformation in eq. (2) is employed to convert the gDGH with parabolic law nonlinearity into an ordinary differential equation (ODE) that can be solved.

$$z(x, t) = Z(\xi), \quad \xi = x - v t, \quad (2)$$

in which  $v$  denotes the speed of the wave. So, we obtain:

$$(\mu - \alpha Z + \alpha v) Z^{(3)} + (2\beta - 2\alpha Z'' + Z(\gamma + \sigma Z) - v)Z' = 0, \quad (3)$$

where  $Z = Z(\xi)$ . Here,  $Z', Z''$ , and  $Z^{(3)}$  are the first, second, and third order derivatives with respect to  $\xi$ , respectively.

### 2.2. Unified Riccati Equation Expansion Method

Assume that the eq. (3) possesses the solutions as follows (Sirendaoreji, 2017), (Zayed et al., 2020):

$$Z(\xi) = A_0 + \sum_{i=1}^N A_i \varphi^i(\xi), \quad (4)$$

in which  $A_N \neq 0$  and  $N$  denotes a balance number. Balancing the terms  $Z Z^{(3)}$  and  $Z^2 Z'$  in Eq. (3), we get  $N = 2$ . So, Eq. (4) is converted into:

$$Z(\xi) = A_0 + A_1 \varphi(\xi) + A_2 \varphi(\xi)^2, \quad (5)$$

where  $A_2 \neq 0$  and  $\varphi(\xi)$  represents the solution of the following equation:

$$\varphi'(\xi) = c_0 + c_1 \varphi(\xi) + c_2 \varphi^2(\xi), \quad (6)$$



in which Eq. (6) has the following solutions (Sirendaoreji, 2017), (Zayed et al., 2020):

$$\begin{aligned} \varphi_1(\xi) &= -\frac{c_1}{2c_2} - \frac{\sqrt{\Delta} \left( k_1 \tanh \left( \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \xi \right) + k_2 \right)}{2c_2 \left( k_1 + k_2 \tanh \left( \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \xi \right) \right)}, \quad \text{if } \Delta > 0, \\ \varphi_2(\xi) &= -\frac{c_1}{2c_2} - \frac{\sqrt{\Delta} \left( k_1 \coth \left( \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \xi \right) + k_2 \right)}{2c_2 \left( k_1 + k_2 \coth \left( \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \xi \right) \right)}, \quad \text{if } \Delta > 0, \\ \varphi_3(\xi) &= -\frac{c_1}{2c_2} - \frac{1}{c_2 \xi + k_3}, \quad \text{if } \Delta = 0, \\ \varphi_4(\xi) &= -\frac{c_1}{2c_2} + \frac{\sqrt{-\Delta} \left( k_4 \tan \left( \frac{\sqrt{-\Delta}}{2} \xi \right) - k_5 \right)}{2c_2 \left( k_4 + k_5 \tan \left( \frac{\sqrt{-\Delta}}{2} \xi \right) \right)}, \quad \text{if } \Delta < 0, \\ \varphi_5(\xi) &= -\frac{c_1}{2c_2} - \frac{\sqrt{-\Delta} \left( k_4 \cot \left( \frac{\sqrt{-\Delta}}{2} \xi \right) - k_5 \right)}{2c_2 \left( k_4 + k_5 \cot \left( \frac{\sqrt{-\Delta}}{2} \xi \right) \right)}, \quad \text{if } \Delta < 0, \end{aligned}$$

where  $\Delta = c_1^2 - 4c_0c_2$  and  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  are arbitrary constants. The solutions  $\varphi_1(\xi)$  and  $\varphi_2(\xi)$  are non-trivial and nondegenerate if and only if  $k_2 = \pm k_1, k_1^2 + k_2^2 \neq 0$ . The solutions  $\varphi_4(\xi)$  and  $\varphi_5(\xi)$  are non-trivial and nondegenerate if and only if  $k_4^2 + k_5^2 \neq 0$ . By collecting all terms with the same power of  $\varphi(\xi)$  in Eq. (3) and setting all coefficients to zero, the following system of equations is obtained:

The coefficient of  $\varphi^0(\xi)$ :

$$\begin{aligned} c_0(-2\alpha A_1^2 c_0 c_1 + A_1(A_0(-\alpha c_1^2 - 2\alpha c_0 c_2 + \gamma) - 4\alpha A_2 c_0^2 + A_0^2 \sigma + 2\beta + c_1^2 \mu + 2c_0 c_2 \mu + \alpha c_1^2 v + 2\alpha c_0 c_2 v - v) \\ + 6A_2 c_0 c_1(-\alpha A_0 + \mu + \alpha v)) = 0. \end{aligned} \tag{7}$$

The coefficient of  $\varphi^1(\xi)$ :

$$\begin{aligned} A_1^2 c_0(2A_0 \sigma - 5\alpha c_1^2 - 6\alpha c_0 c_2 + \gamma) \\ + A_1 c_1(A_0(-\alpha c_1^2 - 8\alpha c_0 c_2 + \gamma) - 26\alpha A_2 c_0^2 + A_0^2 \sigma + 2\beta + c_1^2 \mu + 8c_0 c_2 \mu + \alpha c_1^2 v + 8\alpha c_0 c_2 v - v) \\ + 2A_2 c_0(A_0(-7\alpha c_1^2 - 8\alpha c_0 c_2 + \gamma) - 4\alpha A_2 c_0^2 + A_0^2 \sigma + 2\beta + 7c_1^2 \mu + 8c_0 c_2 \mu + 7\alpha c_1^2 v + 8\alpha c_0 c_2 v - v) = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

The coefficient of  $\varphi^2(\xi)$ :

$$\begin{aligned} A_1^2 c_1(2A_0 \sigma - 3\alpha c_1^2 - 20\alpha c_0 c_2 + \gamma) + A_1^3 c_0 \sigma \\ + A_1(A_2 c_0(6A_0 \sigma - 43\alpha c_1^2 - 46\alpha c_0 c_2 + 3\gamma) \\ + c_2(A_0(-7\alpha c_1^2 - 8\alpha c_0 c_2 + \gamma) + A_0^2 \sigma + 2\beta + 8c_0 c_2 \mu + 7c_1^2(\mu + \alpha v) + 8\alpha c_0 c_2 v - v)) \\ + 2A_2 c_1(A_0(-4\alpha c_1^2 - 26\alpha c_0 c_2 + \gamma) - 19\alpha A_2 c_0^2 + A_0^2 \sigma + 2\beta + 4c_1^2 \mu + 26c_0 c_2 \mu + 4\alpha c_1^2 v + 26\alpha c_0 c_2 v - v) = 0. \end{aligned} \tag{9}$$

The coefficient of  $\varphi^3(\xi)$ :

$$\begin{aligned} A_1^2(c_2(2A_0 \sigma - 15\alpha c_1^2 - 16\alpha c_0 c_2 + \gamma) + 4A_2 c_0 \sigma) + A_1^3 c_1 \sigma \\ + 2A_2(A_2 c_0(2A_0 \sigma - 27\alpha c_1^2 - 28\alpha c_0 c_2 + \gamma) \\ + c_2(A_0(-19\alpha c_1^2 - 20\alpha c_0 c_2 + \gamma) + A_0^2 \sigma + 2\beta + 20c_0 c_2 \mu + 19c_1^2(\mu + \alpha v) + 20\alpha c_0 c_2 v - v)) \\ + 3A_1 c_1(A_2(2A_0 \sigma - 7\alpha c_1^2 - 44\alpha c_0 c_2 + \gamma) + 4c_2^2(-\alpha A_0 + \mu + \alpha v)) = 0. \end{aligned} \tag{10}$$

The coefficient of  $\varphi^4(\xi)$ :

$$\begin{aligned} 2A_1^2 c_1(2A_2 \sigma - 11\alpha c_2^2) + A_1^3 c_2 \sigma + A_1(A_2 c_2(6A_0 \sigma - 89\alpha c_1^2 - 92\alpha c_0 c_2 + 3\gamma) + 5A_2^2 c_0 \sigma + 6c_2^3(-\alpha A_0 + \mu + \alpha v)) \\ + 2A_2 c_1(A_2(2A_0 \sigma - 12\alpha c_1^2 - 74\alpha c_0 c_2 + \gamma) + 27c_2^2(-\alpha A_0 + \mu + \alpha v)) = 0. \end{aligned} \tag{11}$$

The coefficient of  $\varphi^5(\xi)$ :

$$A_2^2(2c_2(2A_0\sigma - 47\alpha c_1^2 - 48\alpha c_0 c_2 + \gamma) + 5A_1 c_1 \sigma) - 10\alpha A_1^2 c_2^3 + 2A_2^3 c_0 \sigma + 2A_2 c_2(-59\alpha A_1 c_1 c_2 + 12c_2^2(-\alpha A_0 + \mu + \alpha v) + 2A_1^2 \sigma) = 0. \quad (12)$$

The coefficient of  $\varphi^6(\xi)$ :

$$A_2(A_2 c_2(5A_1 \sigma - 118\alpha c_1 c_2) - 50\alpha A_1 c_2^3 + 2A_2^2 c_1 \sigma) = 0. \quad (13)$$

The coefficient of  $\varphi^7(\xi)$ :

$$2A_2^2 c_2(A_2 \sigma - 24\alpha c_2^2) = 0. \quad (14)$$

When the system of algebraic equations that is given above is solved utilizing a computer algebra system, the following set is obtained:

**SET 1<sup>±</sup>.**

$$\begin{aligned} \mu &= -\frac{\alpha(\gamma + 2\sigma v + 3\sqrt{\gamma^2 - 8\beta\sigma - 8\alpha^2 c_1^4 + 64\alpha^2 c_0 c_2 c_1^2 - 128\alpha^2 c_0^2 c_2^2 + 4\sigma v})}{2\sigma}, \\ A_0 &= \pm \frac{4\alpha c_1^2 + 32\alpha c_0 c_2 - \gamma + \sqrt{-8\beta\sigma + \gamma^2 - 8\alpha^2 c_1^4 + 64\alpha^2 c_0 c_2 c_1^2 - 128\alpha^2 c_0^2 c_2^2 + 4\sigma v}}{2\sigma}, \\ A_1 &= \frac{24\alpha c_1 c_2}{\sigma}, \\ A_2 &= \frac{24\alpha c_2^2}{\sigma}, \end{aligned}$$

where

$$\gamma^2 - 8\beta\sigma - 8\alpha^2 c_1^4 + 64\alpha^2 c_0 c_2 c_1^2 - 128\alpha^2 c_0^2 c_2^2 + 4\sigma v > 0.$$

Substituting the set above to Eq. (4) along with Eq. (2), we derive the following solutions of the gDGH equation in Eq. (1):

$$z_1^\pm(x, t) = A_0 + \frac{24\alpha c_1 c_2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tanh(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_2)}{2c_2(k_2 \tanh(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right) + 24\alpha c_2^2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tanh(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_2)}{2c_2(k_2 \tanh(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right)^2}{\sigma},$$

$$z_2^\pm(x, t) = A_0 + \frac{24\alpha c_1 c_2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right) + 24\alpha c_2^2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right)^2}{\sigma},$$

$$z_3^\pm(x, t) = A_0 + \frac{24\alpha c_1 c_2 \left( -\frac{1}{c_2(x-tv) + k_3} - \frac{c_1}{2c_2} \right) + 24\alpha c_2^2 \left( -\frac{1}{c_2(x-tv) + k_3} - \frac{c_1}{2c_2} \right)^2}{\sigma},$$

$$z_4^\pm(x, t) = A_0 + \frac{24\alpha c_1 c_2 \left( \frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) - k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right) + 24\alpha c_2^2 \left( \frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) - k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right)^2}{\sigma},$$

$$z_5^\pm(x, t) = A_0 + \frac{24\alpha c_1 c_2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) - k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right) + 24\alpha c_2^2 \left( -\frac{\sqrt{\Delta}(k_1 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) - k_2)}{2c_2(k_2 \tan(\frac{1}{2}\sqrt{\Delta}(x-tv)) + k_1)} - \frac{c_1}{2c_2} \right)^2}{\sigma}.$$

### 3. Results and Discussion

We successfully derived the soliton solutions of the gDGH equation with parabolic law nonlinearity using the UREEM. The results of our study show that the gDGH equation admits dark, bright, singular, and periodic solutions.

Figure 1 presents diverse plots of the  $z_1^+(x, t)$  using the parameters  $v = 2, \alpha = \frac{1}{10}, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 4, \mu = \frac{1}{2} \left( -\frac{3}{25} \sqrt{\frac{201}{2}} - \frac{4}{5} \right), \sigma = 1, c_0 = 1, c_1 = 3, c_2 = \frac{1}{2}, k_1 = 2,$  and  $k_2 = 1$ . It admits a dark soliton. Fig. (1-a) shows 3D demonstration of the soliton while Fig. (1-b) illustrates 2D plot of the soliton for  $t_f = 1, 2,$  and  $3$ . As can be deduced from Fig. (1-b), the soliton goes to the right on the horizontal axis.

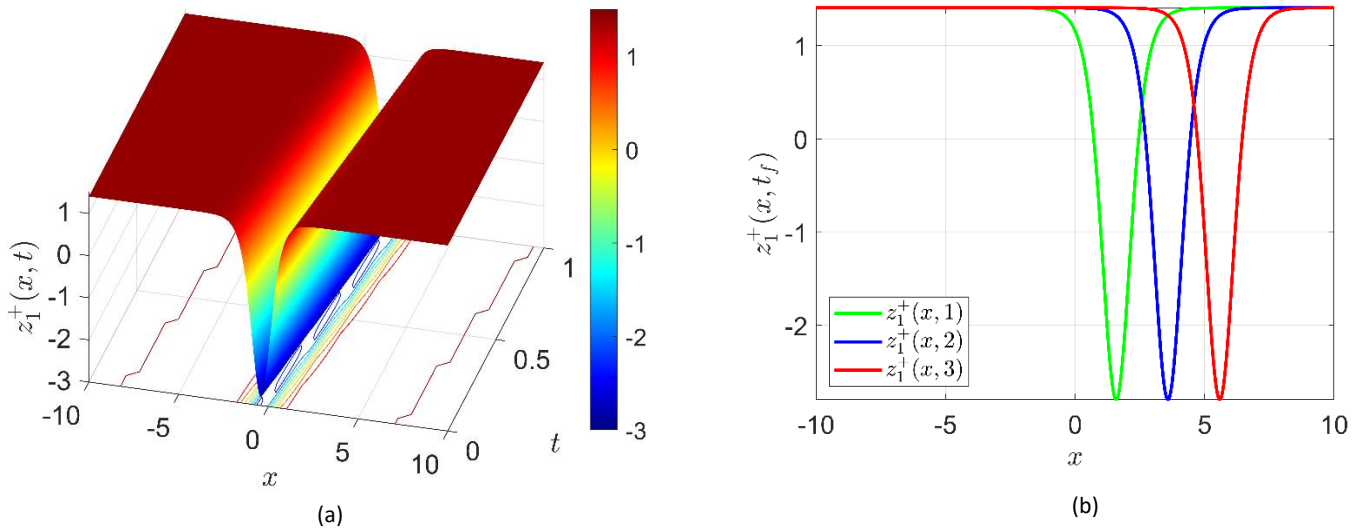


Figure 1. Three and two-dimensional plots of  $z_1^+(x, t)$  (dark soliton)

Fig. (2-a) and Fig. (2-b) illustrate the effect of the parameters  $\gamma$  and  $\sigma$  on  $z_1^+(x, t)$  utilizing the parameters  $v = 2, \alpha = \frac{1}{10}, \beta = \frac{1}{2}, \mu = \frac{1}{2} \left( -\frac{3}{25} \sqrt{\frac{201}{2}} - \frac{4}{5} \right) c_0 = 1, c_1 = 3, c_2 = \frac{1}{2}, k_1 = 2,$  and  $k_2 = 1$ . Soliton amplitude increases in absolute value when  $\gamma$  takes both negative and positive increasing values. There is a downward displacement in the wings of the soliton (Fig. (2-a)). While the soliton has a dark appearance for positive values of  $\sigma$ , the soliton turns into a bright soliton character in the case of negative values of  $\sigma$ . In this respect,  $\sigma$  has an important effect that changes the type of soliton. For positive increasing values of  $\sigma$ , the amplitude decreases depending on the increment. While it takes negative increasing values, the amplitude increases.

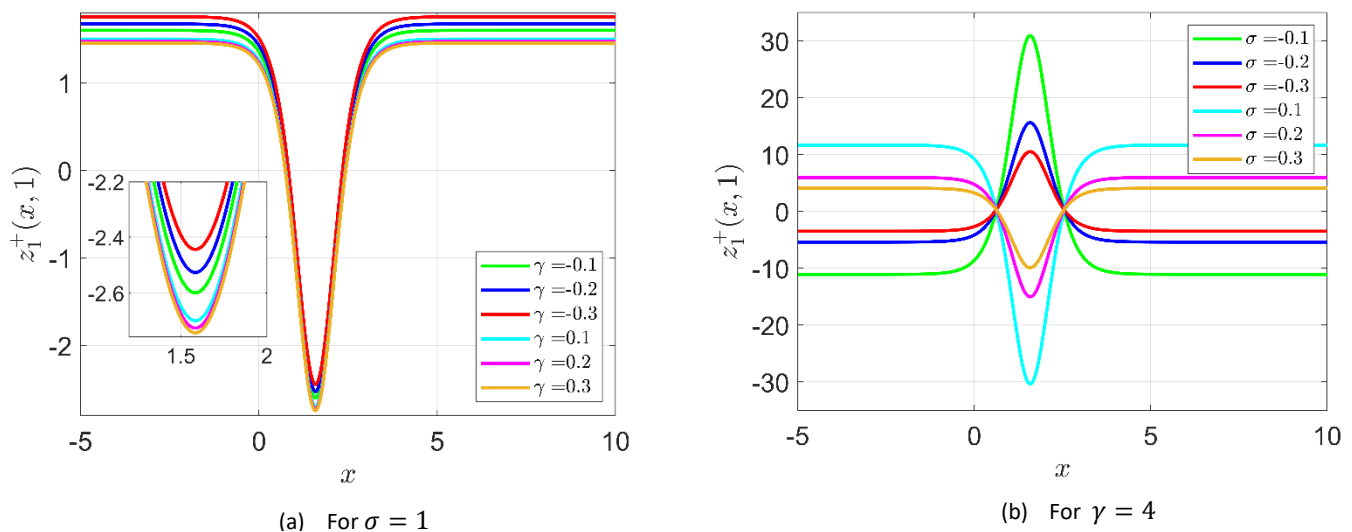


Figure 2. The effect of the parameters  $\gamma$  and  $\sigma$  on  $z_1^+(x, t)$

In Figure 3, we show the singular solutions  $z_2^+(x, t)$  of the gDGH equation for  $v = 2, \alpha = \frac{1}{10}, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 4, \sigma = 1, \mu = \frac{1}{2} \left( -\frac{3}{25} \sqrt{\frac{201}{2}} - \frac{4}{5} \right), c_0 = 1, c_1 = 3, c_2 = \frac{1}{2}, k_1 = 2,$  and  $k_2 = 1$ . Fig. (1-a) and Fig. (1-b) represent 3D and 2D demonstrations of the solution, respectively. The wave goes to the right on the horizontal axis while  $t_f = 1, 2,$  and  $3$ .

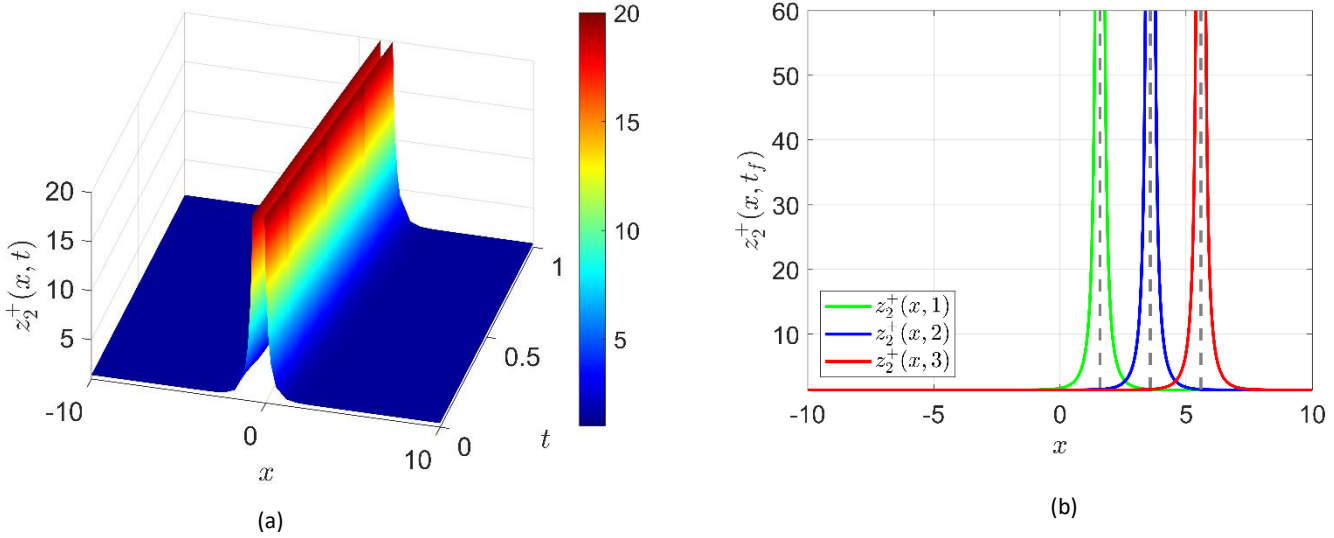


Figure 3. Three and two-dimensional plots of  $z_2^+(x, t)$  (singular solution)

Finally, in Figure 4, we plot the solution  $z_4^+(x, t)$  of the gDGH equation for  $v = 2, \alpha = \frac{1}{10}, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 4, \mu = \frac{1}{2} \left( -\frac{4}{5} - \frac{3}{\sqrt{5}} \right), \sigma = 1, c_0 = 1, c_1 = 2, c_2 = 1, k_4 = 2,$  and  $k_5 = 1$ . It is a periodic solution.

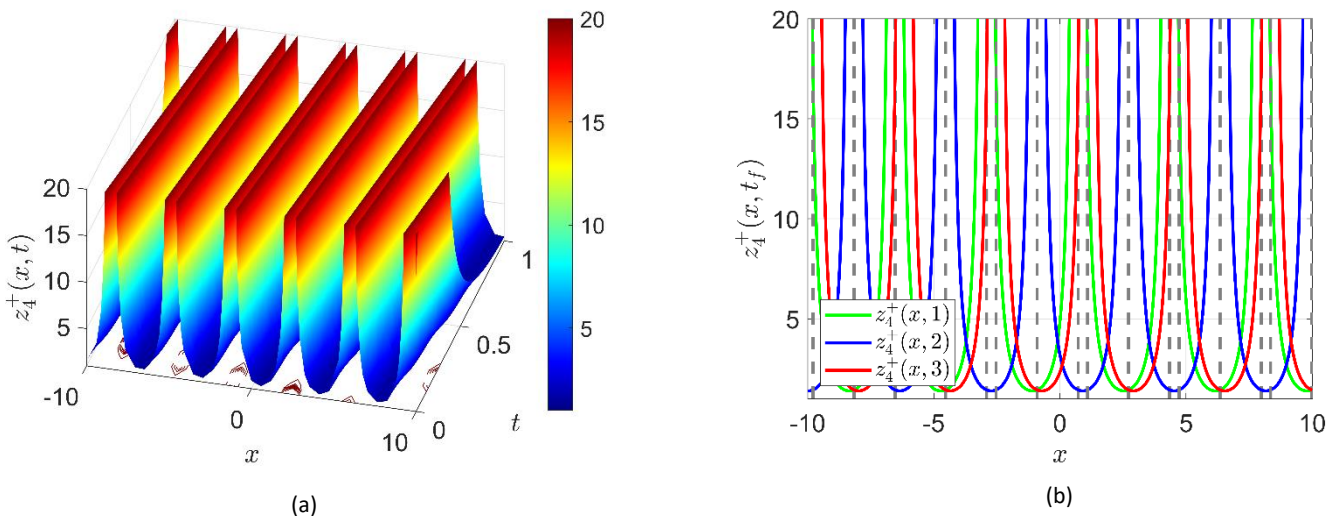


Figure 4. Three and two-dimensional plots of  $z_4^+(x, t)$  (periodic solution)

#### 4. Conclusions and Recommendations

The UREEM was used in this paper to produce many analytical solutions of the gDGH equation with parabolic law nonlinearity, that models shallow water waves. This work effectively provides dark, bright, singular, and periodic solutions. We tested that all extracted solutions satisfied the main equation with the aid of Mathematica, which is a computer algebraic system. Moreover, 2D and 3D schemes are presented for a physical explanation of the obtained solutions. According to the results of the study, for future works, the approach may be utilized to find analytical solutions to nonlinear evolution equations that model real-life problems.

## References

- Biswas, A., & Kara, A. (2010). 1-Soliton solution and conservation laws of the generalized Dullin–Gottwald–Holm equation. *Applied Mathematics and Computation*, 217(2), 929–932. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.05.085>
- Braun, M. (1983b). *Differential Equations and Their Applications*. In Springer eBooks. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0164-6>
- Cakicioglu, H., Ozisik, M., Secer, A., & Bayram, M. (2023). Optical soliton solutions of Schrödinger–Hirota equation with parabolic law nonlinearity via generalized Kudryashov algorithm. *Optical and Quantum Electronics*, 55(5). <https://doi.org/10.1007/s11082-023-04634-x>
- Dullin, H. R., Gottwald, G. A., & Holm, D. D. (2001). An Integrable Shallow Water Equation with Linear and Nonlinear Dispersion. *Physical Review Letters*, 87(19). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.87.194501>
- El-Wakil, S., El-Labany, S. K., Zahran, M., & Sabry, R. (2002). Modified extended tanh-function method for solving nonlinear partial differential equations. *Physics Letters*, 299(2–3), 179–188. [https://doi.org/10.1016/s0375-9601\(02\)00669-2](https://doi.org/10.1016/s0375-9601(02)00669-2)
- Farlow, S. J. (2012). *Partial Differential Equations for Scientists and Engineers*. Dover Publications.
- Kudryashov, N. A. (2020). *Method for finding highly dispersive optical solitons of nonlinear differential equations*. *Optik*, 206, 163550. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2019.163550>
- Leta, T. D., & Li, J. (2017). Various Exact Soliton Solutions and Bifurcations of a Generalized Dullin–Gottwald–Holm Equation with a Power Law Nonlinearity. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. <https://doi.org/10.1142/s0218127417501292>
- Levy, R., Shearer, M. (2015). *Partial Differential Equations: An Introduction to Theory and Applications*. Princeton University Press.
- Osman, M. N. M., & Wazwaz, A. (2018b). An efficient algorithm to construct multi-soliton rational solutions of the (2+ 1)-dimensional KdV equation with variable coefficients. *Applied Mathematics and Computation*, 321, 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2017.10.042>
- Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., & Aydin, H. (2022). An encyclopedia of Kudryashov’s integrability approaches applicable to optoelectronic devices. *Optik*, 265, 169499. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2022.169499>
- Ozisik, M., Secer, A., & Bayram, M. (2022b). On the examination of optical soliton pulses of Manakov system with auxiliary equation technique. *Optik*, 268, 169800. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2022.169800>
- Ozisik, M., Secer, A., & Bayram, M. (2023). On solitary wave solutions for the extended nonlinear Schrödinger equation via the modified F-expansion method. *Optical and Quantum Electronics*, 55(3). <https://doi.org/10.1007/s11082-022-04476-z>
- Sirendaoreji. (2017). Unified Riccati equation expansion method and its application to two new classes of Benjamin–Bona–Mahony equations. *Nonlinear Dynamics*, 89(1), 333–344. <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3457-6>
- Yang, D., Lou, Q., & Zhang, J. (2022). Bifurcations and exact soliton solutions for generalized Dullin–Gottwald–Holm equation with cubic power law nonlinearity. *European Physical Journal Plus*, 137(2). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02462-8>
- Yıldırım, Y. (2021). Optical solitons in birefringent fibers with Biswas–Arshed equation by sine–Gordon equation method. *Optik*, 227, 165960. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2020.165960>
- Yin, J. H., Ding, S., Tian, L., & Fan, X. (2013). A New Method for Generating Traveling-Wave Solutions of Coupled Nonlinear Equations. *Ukrainian Mathematical Journal*, 64(10), 1553–1561. <https://doi.org/10.1007/s11253-013-0734-5>
- Zachmanoglou, E. C., Thoe, D. W. (1986). *Introduction to partial differential equations with applications*. New York: Dover Publications.
- Zayed, E. M., Biswas, A., Asma, M., Ekici, M., Alzahrani, A. K., & Belic, M. R. (2020). Pure-cubic optical soliton perturbation with full nonlinearity by unified Riccati equation expansion. *Optik*, 223, 165445. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2020.165445>
- Zhang, Y., & Xia, Y. (2021). Traveling Wave Solutions of Generalized Dullin–Gottwald–Holm Equation with Parabolic Law Nonlinearity. *Qualitative Theory of Dynamical Systems*, 20(3). <https://doi.org/10.1007/s12346-021-00503-8>
- Zhou, Y., Wang, M., & Chen, X. (2003b). Periodic wave solutions to a coupled KdV equations with variable coefficients. *Physics Letters*, 308(1), 31–36. [https://doi.org/10.1016/s0375-9601\(02\)01775-9](https://doi.org/10.1016/s0375-9601(02)01775-9)



# Uçak Bakım-Onarım Hangarlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Etkileri

Süleyman Şimşek<sup>1\*</sup>, Hüseyin Uslu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, İSTANBUL, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0593-8036), suleymansimsek@aydin.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, İSTANBUL, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1171-1791), huslu@stu.aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 3 Şubat 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1213814)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, S. & Uslu, H. (2023). Uçak Bakım -Onarım Hangarlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (50), 178-189.

## Öz

Sanayi ve teknolojik alandaki gelişmeler sonucunda sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı meydana getirilmesi, çalışma yaşamında temel ve en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği kültürünün oluşturulması ve geliştirilmesi, dünya çapında bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sayede toplumsal farkındalığın sağlanması ve bilinç düzeyinin artışı sağlanabilmekte, iş kazaları ve meslek hastalıkları çok büyük oranda engellenebilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği uçak bakım ve onarım atölyeleri ve bu çalışmaların yürütüldüğü tüm alanlarda hayati öneme sahiptir. Uçak teknisyenleri ve diğer çalışanlar zor ve oldukça riskli şartlarda çalışmakta olup uçak bakım ve onarım alanında iş sağlığı ve güvenliği kriterlerinin gerçek manada ve verimli biçimde uygulanması hem çalışan güvenliği hem de iş süreçlerinin emniyeti açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada uçak bakım ve onarım hangarlarında mevcut ya da muhtemel olan tehlike ve risklerin tespit edilmesi, bunlar için alınabilecek tedbirlerin ortaya konması amaçlanmaktadır. Bu çerçevede bakım ve onarım faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda hâlihazırdaki riskler üzerine araştırma ve tespitlere yer verilmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalarda yüksekte çalışma, gürültü, titreşim, kimyasal malzeme kullanımı, haberleşme eksiklikleri ve iletişimsel sorunlar gibi hayati risk(Aydemir 2008)ler bulunmakta olup bunlara yönelik önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçak Bakım, Onarım, Hangar, İş Sağlığı ve Güvenliği

## Occupational Health and Safety in Aircraft Maintenance-Repair Hangar Applications and Effects

### Abstract

As a result of the developments in the industrial and technological fields, creating a healthy and safe working environment has become one of the basic and most important elements in working life. The creation and development of an Occupational Health and Safety culture is emerging as a worldwide requirement. In this way, it is possible to ensure social awareness and increase the level of consciousness, and occupational accidents and occupational diseases can be prevented to a very large extent. Occupational health and safety is of vital importance in aircraft maintenance and repair workshops and in all areas where these studies are carried out. Aircraft technicians and aircraft maintenance and repair difficult and quite risky working conditions and other employees in the field of Occupational Health and safety and employee safety and the efficient implementation of the criteria and for the safety of real business processes is extremely important. In this study, it is aimed to identify the existing or possible hazards and risks in aircraft maintenance and repair hangars and to put forward the measures that can be taken for them. Within this framework, research and determinations on the current risks in the areas where maintenance and repair activities are carried out are included. In studies in this area, working at height, noise, vibration, chemical materials, the use of vital issues such as lack of communication and communicative risks it is vital to take measures against them.

**Keywords:** Aircraft Maintenance, Repair, Hangar, Occupational Health and Safety.

## 1. Giriş

Üretimde sürekliliğin sağlanması, yüksek kaliteye sahip ürün ve hizmet oluşturulması, işletmelerde rekabetin güçlü tutulması için bakım faaliyetleri kaçınılmazdır (Aydemir 2008). Düzenli biçimde gerçekleştirilen bakım faaliyetleri esasında çalışma ortamı, ekipman ve makinelerin güvenli, sağlam kalabilmesi amacıyla planlanmaktadır. Yetersiz ya da eksik faaliyetler sağlık sorunlarına, kazalara ve risklere yol açabilmektedir. Uçak bakımlarının hatalı veya eksik yapıldığı durumlarda ise oluşabilecek hasar ve felaketin boyutları can ve mal kaybına yol açacak düzeyde olabilmektedir (Çoban 2019).

Uçak bakım ve onarım faaliyetleri uçaklarda uçuş emniyeti ve kullanım süresi için hayati önem taşımakta olup uçak bakım teknisyenleri insan hayatı için üst düzey risklerden sorumlu olarak çalışmaktadırlar(Çoban 2019). Bütün sektörlerde mevcut olan yüksek risk ve tehlikeler uçak teknisyenleri açısından da oldukça önemlidir. Uçak teknisyenleri yapılan iş ve faaliyetler gereği psikolojik ve fiziksel risk unsurları ile iç içe çalışmak durumundadır. Bu risk ve tehlikelerin minimize edilmesi ya da ortadan kaldırılması çalışma ortamlarının güvenli hale gelmesini sağlamakta ve çalışma ortamında bulunan olumsuzluklar konusunda bir bilinç geliştirilmesi için verilen temel iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri teknisyenlerin farkındalık kazanmasına yardımcı olmaktadır (Zorbacı 2011).

Genel itibarıyla uçak bakım hangarları oldukça büyük ve geniştir. Ancak sistemli ve düzenli bir ortam olarak değerlendirilemeyen bu alanlarda çalışma biçimleri genel olarak dağınıktır. Bunun için uçakların her birinin bakım ve onarım faaliyetlerinin yürütüldüğü alanda korunaklı hale getirmektir (Alper).

İşe girişlerde ve devam eden iş süreçlerinde verilen iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ile amaçlanan teknisyen ve diğer personellerin bilgilendirilmesi, böylelikle güvenli çalışma ortamı oluşturulmasıdır (ŞİMŞEK, AĞSEREN et al.). Hangar içinde ve atölye alanlarında sürdürülen faaliyetlerin daha güvenli bir hale gelebilmesi için uygulamaya konan faaliyetlerin ve güvenlik önlemlerinin artırılması, risk düzeyinin minimize edilmesidir (ŞİMŞEK 2020). Uçak bakım hangarlarında alınan tedbirlerin tamamı, iş sağlığı ve güvenliği ve eğitimlerle ilgili uygulamalar OHSAS 18001 kriterleri de gözetilerek belirlenmektedir(ŞİMŞEK and DOĞAN 2019). Bu çerçevede uçak bakım ve onarım alanlarında yürütülen işlemlerin İSG kriterlerine uygun olarak sürdürülmesi, çalışanların ve teknisyenlerin güvenliği, dolayısıyla uçak kullanıcılarının güvenliği bakımından hayati önem taşımaktadır.

## 2. Uçak Bakım ve Onarım Faaliyetleri

Uçak bakımları farklı amaçlarla ve farklı zamanlarda gerçekleştirilmektedir. Bazı bakımlar önleyici tedbirler de içermektedir. Uçakta yer alan farklı bölümlerde, deneyimli ve eğitilmiş teknisyenler tarafından sürdürülen bakım ve onarım faaliyetleri, karmaşık ve organizasyon el faaliyetlerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Uçak bakım ve onarım alanında iki meslek personeli çalışmaktadır. Bunlar uçuş emniyetinin sağlanması için oldukça önemli bir role sahiptir. Uçak gövde-motor ve uçak elektroniği (aviyonik) teknisyenleri olarak ifade edilmektedir.

### 2.1 Uçak Bakım ve Onarım Hangarları

Uçak bakım hangarları genel olarak alan bakımından geniştir ve içinde aynı anda birden fazla uçağın bakım faaliyetleri yürütülebilmektedir(Cinel 2006). Hangarlar yapısal olarak gereksinimlere hitap etmektedir. İş jeti ya da küçük uçaklar için yapılan hangarlar ise boyut olarak daha küçüktür(Akkor 2015). Yolcu uçakları için yapılan hangarlar ise uçak tiplerine uygun olarak inşa edilmektedir.



Şekil 1. Uçak bakım-onarım hangarı

Uçak bakım hangarları henüz inşaat aşamasında iken ergonomik koşulların sağlanması ve çalışma şartlarına uygun inşa edilmesi açısından değerlendirilmekte ve bu kriterler çerçevesinde tasarlanmaktadır. Termal konfor ve aydınlatma koşullarının en iyi biçimde

ortaya konabilmesi için hangar çatıları şeffaf malzemeden, arka ve yan duvarları ise geniş pencerelerle tasarlanmaktadır (ŞİMŞEK, AĞSEREN et al.).

### 3. Uçak Bakımında Fiziksel Risk Unsurları

Birçok atölye ve birimde bakım ve onarım uygulamaları sırasında fiziksel risk unsurları meydana gelebilmektedir (ŞİMŞEK and ERCAN). Yapısal atölyesinde yüksek desibelde ses, vibrasyon, motor testleri esnasında meydana gelen 140 db üstü gürültü, teknisyenler için oldukça risklidir. Bunlar haricinde sıcaklık, nem, termal konfor, aydınlatma gibi unsurlar da diğer risk ve tehlikelerin oluşmasında önemli bir yere sahiptir.

#### 3.1 Gürültü Maruziyeti

Bütün çalışanları etkileyen temel problemlerden biri gürültüdür. Yüksek düzeyde gürültülü olan ortamlarda uzun müddet geçiren bireylerde kalıcı işitme eşiği değişimleri söz konusudur. Gürültü temel olarak herkesi farklı düzeylerde ve farklı biçimlerde etkilemektedir (LAÇİNER). Yüksek düzeyde gürültülü olan ortamlarda uzun zaman geçirilmesi, bireylerde kalıcı işitme eşiğinin zarar gördüğü tespit edilmiştir. Düşük düzeyde veya kısa vadeli olarak etkilenmelerde duyuşsal ciddi düzeyde bir zarar saptanmamıştır(LAÇİNER).

Uçak bakım ve onarım işlemlerinde ortaya çıkan risk unsurlarından en önemlisi gürültü maruziyeti olup bakım işlemi sonrasında gerçekleştirilen motor testleri, perçin tabancası ile gövdede yapılan çalışmalar, hidrolik sistemlerin çalışmasında oluşan yüksek gürültü vb. pek çok unsur ciddi riskler meydana getirmektedir (ŞİMŞEK and AYDOĞDU).

Yine apron sahasında harici hava jeneratörleri ve APU da uçak bakım işlemleri sırasında yüksek düzeyde gürültüye neden olmaktadır. APU'nun çalışmadığı durumlarda veya test yapmak maksadı ile kullanılan hava üreten jeneratörlerin gürültüsü yaklaşık 110 desibel düzeyine ulaşabilmektedir. Bu durumda kulaklık kullanılması çok önemlidir aksi halde işitme kayıpları meydana gelebilmektedir.



Şekil 2. Harici Hava Üreten Jeneratör

İşitme kaybı oluşmaması için kullanılan kulaklığa ait özellikler son derece önemlidir. kulak koruyucunun kaliteli olması gürültü düzeyini önemli miktarda azaltmakta olup kullanım açısından da kullanıcıya rahatlık sağlamalıdır. Epidemiology adlı dergide yayımlanan bir araştırmaya göre gün içinde en az 60 desibel gücünde gürültüye maruz kalan bireylerin 45 desibelden daha az gürültüye maruz kalan kişilere göre kalp krizi riskinin %30 fazla olduğunu göstermektedir.

Aynı araştırmada ayrıca on beş yıl ve daha fazla zaman boyunca yüksek desibelde gürültüye maruz kalan kişilerde kalp krizi riskinin %50 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İsviçre'de yapılan bir araştırmada 100 metreye kadar bir otoban yakınında yaşayan kişilerde kalp krizi riskinin arttığı saptanmıştır. OECD tarafından 1996'da yayımlanan raporda şu verilere yer verilmiştir:

Tablo 1. Gürültü Seviyelerinin Etkileri

Gündüz (Leq) (dBA)	Etki
55-60	Gürültü rahatsız eder
60-65	Rahatsızlık belirgin bir şekilde artar
65 üzeri	Davranış biçiminde engellemeler oluşur, gürültü kaynaklı zararlı semptomlar oluşur



Tablo 2. Gürültü Derecelerinin Sağlık Üzerindeki Etkileri

Gürültü Derecesi	Etkilenme Aralığı (dBA)	Sağlık Üzerine Etkileri
1.Derece gürültüler	30 - 65	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku düzensizliği ve konsantrasyon bozukluğu.
2.Derece gürültüler	65 - 90	Fizyolojik reaksiyonlar; kan basıncı artışı, kalp atışlarında ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3.Derece gürültüler	90 - 120	Fizyolojik reaksiyonlar, baş ağrıları.
4.Derece gürültüler	120 - 140	İç kulakta devamlı hasar, dengenin bozulması
5.Derece gürültüler	> 140	Ciddi beyin tahribatı, kulak zarının patlaması

Yasal mevzuata göre ortama yapılan ölçümler çerçevesinde yılda bir defa yapılması gereken gürültü düzeyi ölçümleri, mevcut risk düzeyini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.Uçak Bakımlarında Kullanılan Bazı Kulaklık Çeşitleri

Gürültü seviyesi için uluslararası birçok kuruluş tarafından standartlar belirlenmiştir. Bunların üstüne çıkılması durumunda sağlık risklerine ilişkin sınır değerleri saptanmıştır. İş sağlığı ve Güvenliği Kanunu çerçevesinde de yer verilen gürültü sınır değerleri, tespit edilen sınır değerler ile paraleldir. Mesleki Sağlık ve Güvenlik Yasası (Anlaşması) gereği, OSHA'ya ve ILO'ya göre değişik düzeydeki sürekli gürültülerin etkisi altında kalılabilecek maksimum süreler aşağıdaki tabloda görüldüğü gibidir:

Tablo 3. (A)OSHA ve (B)ILO Standardı

En yüksek gürültü düzeyi (dBA)	İzin verilen süre (saat/gün)	En yüksek gürültü düzeyi (dBA)	İzin verilen süre (saat/gün)
90	8	80	16
92	6	85	8
95	4	90	4
97	3	95	2
100	2	100	1
102	1,5	105	0,5
105	1	110	0,25
110	0,5	115	0,125
115	0,25		

### 3.1.1. Gürültünün Çalışma Performansına Etkileri

Gürültü sonucunda bireylerin iş verimi zarar görebilir ve aynı zamanda iletişimde de sorunlar ve kopukluklar meydana gelebilir. Konuşmaların anlaşılabilirliği gibi fonksiyonların engellenmesi arka planda bulunan gürültü ile doğrudan ilişkilidir. Gürültünün iş verimi ve üretkenlik üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda karmaşık işlerin yürütüldüğü ortamların sessiz, nispeten kolay işlerin yapıldığı ortamların bir miktar gürültülü olması gerektiği saptanmıştır. Ortamda bir fonksiyon veya iş için belirlenen arka plan gürültüsünün yüksek olması halinde performans düzeyi ve iş verimi kaybı yaşanmaktadır.

### 3.2. Titreşim Maruziyeti

Gün içinde insan vücudu farklı düzeylerde titreşimlere maruz kalabilmektedir. Gündelik yaşamda kullanılmakta olan titreşimli cihazların sağlığa zararlı etkilerine ilişkin yeterli düzeyde bilinç geliştiğini söylemek doğru değildir (KORKMAZ 2021). Uçak bakım ve onarım çalışmalarında da özellikle motor testleri sırasında kokpitte bulunan teknisyenler sıklıkla yüksek düzeyde titreşime maruz kalmaktadır (ARITAN and TÜMER 2018). Yapısal Atölyesi'nde havalı perçin tabancasıyla yapılan işlemler de yüksek düzeyde titreşim meydana gelmektedir.



Şekil 4. Motor Testi



Şekil 5. Havalı Perçin Tabancası

Buna ek olarak hidrolik boru ve yakıt test cihazlarında tüm bedenin titremesine yol açan bir titreşim ortaya çıkmaktadır. Gürültülü her ortamda gürültü düzeyine göre bir titreşim ortaya çıkmaktadır. Uçak bakım alanlarının bütün bölgelerinde gürültü olması nedeniyle çalışanların hepsinin belli düzeylerde titreşime maruziyeti söz konusu olduğu görülmektedir.

#### 3.2.1. Titreşimden Korunma Yöntemleri

Gürültü ve titreşim pilotları, teknisyenleri, havaalanı personelini, kule görevlilerini, yer görevlilerini, yolcuları, havaalanının yakınlarında yaşamakta olan sivil halkı etkilemektedir. Titreşimden korunmak teknik ve önemli bir konudur. Uçak motorlarının sofistikasyonu, titreşimi vücuda aktaran koltuk, zemin gibi parçaların titreşim emici özellikte olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra kullanılmakta olan yalıtım araçları da önem taşımaktadır.

Çalışanların vücut ısısının korunması için uygun kıyafetler giymeleri, periferik dolaşımı etkileyen bazı ilaçların kullanılması, zararlı alışkanlıklardan uzak durulması önemlidir. Cihaz bakımı ve periyodik titreşim ölçümleri yapılırken dikkatli hareket edilmelidir. Titreşime maruz kalmış olan çalışanların işe giriş muayeneleri ve periyodik muayeneleri ihmal edilmemelidir.

### 3.3. Işıklandırma

Çalışanların aydınlatma bakımından rahat ve aydınlık bir alanda çalışması iş kazalarının en aza indirilmesi, önlenmesi, çalışan motivasyonunun yükseltilmesi açısından oldukça önemlidir. Aydınlatmanın yeterli olması iş veriminin de net biçimde artmasını sağlamaktadır. Aydınlatmanın yetersiz olduğu durumlarda iş verimi ve çalışanların fiziksel-ruhsal durumu olumsuz yönde etkilenmektedir(LAÇİN, ÇOBAN et al. 2016). Yapılan araştırmalara göre en uygun ve sağlıklı ışık, gün ışığı olarak tespit edilmiştir. Gün ışığı yeterli olmadığında ise bu ışığa yakın olan floresan ve mavi camlı ışıklar kullanılmalıdır. Çalışılmakta olan yüzeyin her yerinde eşit düzeyde aydınlatma sağlanmalıdır.

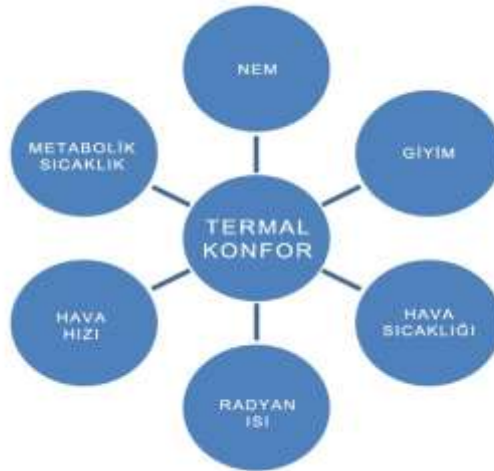


Şekil 6. Uygun ışık kaynağı, Zemin ve Çatı Dizaynı ile Aydınlatılmış Uçak Bakım Hangarı

Uçak bakım alanlarındaki kapılar aydınlatma açısından avantaj sağlayabilmektedir. Gün ışığını yansıtıcı özellikteki kapılar ve aynı zamanda çatının da buna uygun olması yeterli aydınlatma düzeyine ulaşılmasını sağlamaktadır. Yetersiz aydınlatma, son derece dikkatli yürütülmesi gereken uçak bakım faaliyetlerinde hata ve iş kazası olasılığını arttırmaktadır.

### 3.4. Termal Konfor

Beşeri ve fiziksel unsurların bir bileşimi konumundaki çalışma ortamlarının uygunluğu; ışık, hava akımı ses, titreşim, ısı, hijyen gibi unsurların dikkate alınması ile mümkün olabilmektedir. Bu bileşenlerin birlikte uygunluğu termal konforu oluşturmaktadır. Termal konfor hem bireysel hem de çevresel unsurlardan etkilenmektedir:



Şekil 7. Termal Konfor Bileşenleri

Uçak bakım alanlarında termal konfor bileşenlerinin tamamen mevcut olması oldukça zordur. Özellikle kış aylarında hava sıcaklığının azalması bakım-onarım uygulamalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Olumsuz hava şartları sebebiyle oluşan iş kazaları en fazla hat bakım ve apron alanlarında meydana gelmektedir. Birçok teknisyen gribal enfeksiyona maruz kalmakta, bakım alanları soğuk havalarda buz tutmakta, bu da yaralanma ihtimalini arttırmaktadır. Buna ek olarak kapalı ve dar alanlarda da yüksek ısı nedeniyle

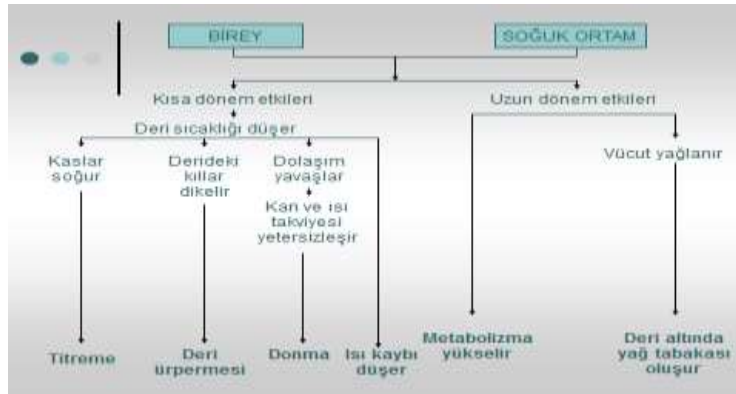
termal konfor şartları sağlanamayabilir. Aşırı terleme, bunalma gibi unsurlar çalışma koşullarını zorlaştırmakta, teknisyenlerin hata olasılığını arttırmaktadır.

### 3.4.1. Uygun Olmayan Sıcaklığın Etkileri

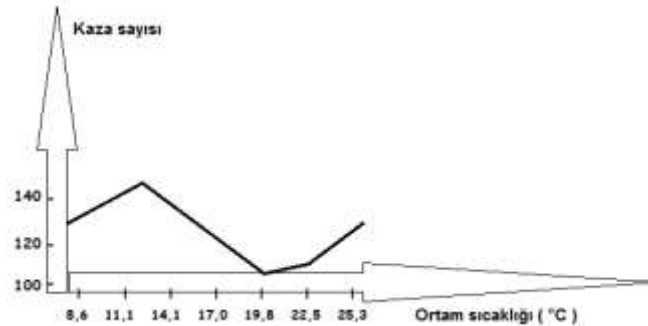
Yüksek sıcaklık sonucunda kalp atışları vücut ısısının düşük tutulması amacıyla hızlanmakta, deride yer alan kılcal damarların taşıdığı kan miktarı artmakta, böylelikle vücut sıcaklığı ve soğuma hızı yavaş yavaş artmaktadır. Termal alan dayanılabilecek gibi ise bu ölçüler bir süre sonra dengelenmektedir. Ancak ortam şartları elverişli değilse vücudun kendisi soğutması mümkün olmaz ve dolayısıyla sıcak çarpması riski ortaya çıkar. Bu noktada baş dönmesi, kuruluk, şiddetli baş ağrısı, bilinç kaybı, görme bozuklukları meydana gelir. Aşırı sığağa maruziyet bulunan işlerde dinlenme periyotları bulunması ve dönüşümlü çalışma sistemi riski en aza indirmektedir. Soğuk ortamlarda ise titreme, deri soğuması, vücut iç ısısında artış, zihinsel verim kaybı, dikkat dağınıklığı gibi etkiler görülmektedir.



Şekil 8. Sıcak Çalışma Ortamının Etkileri



Şekil 9. Soğuk Çalışma Ortamının Etkileri



Şekil 10. Ortam Sıcaklığının Kaza Sayılarına Etkisi

## 4. Uçak Bakımında Özel Risk Unsurları

Her sektör risk gruplarına ve risk unsurlarına sahiptir. Uçak bakım alanında da bu riskler söz konusu olup bununla ilgili bilgi düzeyi yeterli değildir. Kimyasal ve fiziksel riskler çerçevesinde olan fakat detaylı olarak bilinmeyen uçak alanı risk unsurları havacılık alanı dışında çok fazla görülmez. Bakım ve onarım işlemlerinde fiziksel güç kullanımı, uçak çekme, yüzey çalışmaları bu riskler arasında sayılabilir.

### 4.1. Uçak Çekme İşlemlerinde Karşılaşılan Riskler

Uçağın bakım yapılmak üzere aprondan veya hangardan bakım alanına çekilmesi işlemi “aircraft towing” olarak adlandırılmaktadır. Uçak çekme işlemi birçok adımdan ve farklı risk unsurlarından meydana gelmektedir. Bu işlem sırasında personel arasındaki haberleşme ve iletişim son derece önemli bir yere sahiptir.

Uçak çekme işleminde kullanılmakta olan araçların hidrolik kaldırma mekanizmasına sahip olan ve tow barlı (çeki demirli) iki türü vardır. Hidrolik sistemli push back araçları diğerlerine kıyasla daha güvenli olup uçak çekmeye uygundur.



Şekil 11.Çeki Demirli Push Back Aracı

Çeki demiri aracılığıyla uçak çekme işlemi pek çok risk taşımaktadır. Push back aracı ve uçak arasında demir köprü görevi görmekte olup çekim sırasında yerinden çıkabilir ve uçak kontrolü yitirilebilir. Herhangi bir kaza ortaya çıkmaması için uçağa uygun çeki demiri kullanılması önem taşımaktadır. Çeki demirinin push back aracına ve uçağa bağlanması ve sökülmesi işlemleri esnasında da fiziksel zorlanma durumları ortaya çıkabilmektedir. Hidrolik sisteme sahip push back araçları daha ziyade havaalanı içinde yer hizmeti veren şirketler tarafından tercih edilmektedir. Çeki demirli push back araçları ise uçağı park alanından hangara, hangardan aprona çeken uçak bakım işletmelerinin tercih ettiği bir ekipmandır.

Her iki çekme aracının kullanılması esnasında dikkat edilmesi gereken steering piminin, uçağın ön iniş takımlarında yer alan steering yuvasına takılmış olmasıdır. Steering çekim sırasında uçağın ön iniş takımlarının kazıklanmasını engelleyen ve rahatlıkla sağa ve sola dönmesini sağlayan bir sistemdir. Steering pimi ise çekim sırasında mekanizmanın serbest kalabilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 12. Steering Pimi ve mekanizması

Steering pimi doğru biçimde ayarlanmaz ve yerine doğru biçimde oturtulmaz ise ön iniş takımlarında hareketin kısıtlanmasına ve kazıklanmaya neden olabilmektedir. Ortaya çıkan bir arızanın ya da iş kazalarının oluşmaması için steering piminin muhakkak kullanılması gerekmektedir. Bir kaza meydana gelmemesi için önce çeki demirinin ve ardından pimin çıkarılması gerekmektedir.

Uçak çekme işlemlerinde personel arası haberleşme de son derece önemlidir. Aynı zamanda hidrolik sistemlerin test edilmesi, kumanda yüzeylerinin test edilmesi, motor çalıştırma gibi uygulamalar sırasında da çalışanlar iletişim halinde kalabilmelidir. Bu işlemler esnasında haberleşme genel olarak headset adı verilen ekipmanlar aracılığıyla yapılmaktadır. Headset ile teknisyenler, uçağın ve kokpitin etrafında yer alan diğer çalışanlarla irtibat kurabilmektedir. Kokpitteki teknisyene bu ekipmanlar aracılığıyla sistemi kullanma bilgisi verilmektedir.

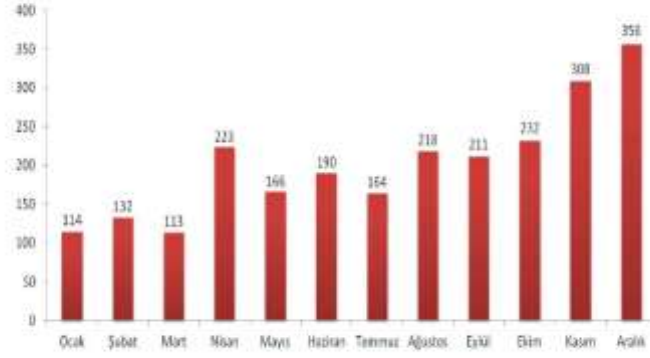
#### 4.2. Uçak Bakımlarında Ergonomi ve Fiziksel Güç Kullanımı

Uçak bakım ve onarım sektöründeki işletmelerde bakım ve çalışma periyotlarında ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri fiziksel zorlanma ve ergonomi eksikliğidir. Oldukça büyük boyutlara sahip olan parçalar uçak söküm ve takım işlemleri sırasında teknisyenleri zorlayabilmektedir.

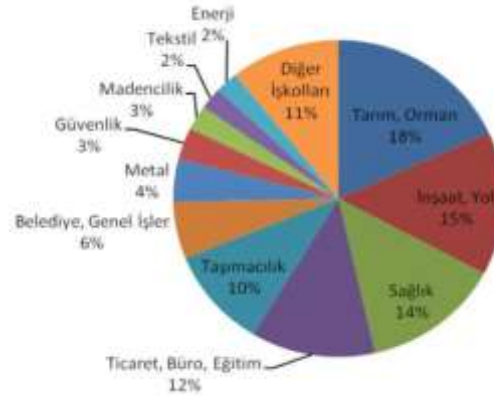
Kanat, gövde ve kuyruk bölgelerinde sürdürülen çalışmalarda kullanılan sehpa ve platformların ergonomik olmaması, alana uzak kalmak, çalışma alanlarında ulaşım platformlarının yetersiz olması ergonomik sorunlar oluşturmaktadır.

Özellikle bakım yapılacak olan alana takım çantalarının götürülmesi, uçak içine alınması gibi durumlarda fiziksel zorlanma ortaya çıkmaktadır. Yine motor kapaklarının açılıp kapatılmasında ciddi zorlanmalar meydana gelebilmektedir. Teknisyenler yüksek düzeyde yüke maruz kalmamak için bu tür işlerde muhakkak yardımlaşmalıdırlar.

Aşağıdaki grafiklerde, bir ülke genelinde 2020 yılı içerisindeki işkollarına göre kazaların aylara göre dağılımı gösterilmiştir:



Şekil 13. 2020 Yılı Aylık Kaza Bilgileri



Şekil 14. 2020 Yılı İş Kollarına Göre Kaza Bilgileri

## 5. Çalışma Şartları Sebebiyle Ortaya Çıkan Riskler

Yoğun çalışma temposu, çalışma alanının düzensizliği uçak bakım personelinin en sık karşı karşıya kaldığı sorunlar arasında yer almaktadır. Yinelenen işler, uyku düzensizlikleri, yorgunluk gibi faktörler de iş performansını ve iş güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle yıllık izin öncesinde, yıllık izinden dönüşlerde ve vardiya geçişlerinde iş kazası olasılığı artmaktadır.

### 5.1. Uyku Sorunları

Uçak bakım alanlarındaki teknisyenlerde kazaların temel muhtemel nedenlerinden biri uyku sorunlarıdır. Bakım işleri son derece hassas ve dikkat gerektiren süreçler olup dikkatsizlik ve uykusuzluk sebebiyle ciddi düzeyde riskler ortaya çıkabilmektedir.

### 5.2. Yorgunluk

Yeterli düzeyde dinlenememe, uzun müddet devam eden zihinsel veya fiziksel limitin aşılması sonucunda yorgunluk oluşmaktadır. Yorgunluk, dikkatsizlik ve uykusuzluk ile ilişkilidir. Yüksek düzeyde dikkat istene bir işte yorgunluk oluşması kaçınılmazdır. Yorgunluk geçici veya duruma göre kronik olarak ortaya çıkabilmektedir. Yorgunluk nedeniyle bedensel ritmin bozulması önemli bir hata kaynağıdır ve aşırı yorgunluk uzun vadeli görevlerden veya gereğinden daha kısa sürecek görevlerden sonra da meydana gelebilir.

### 5.3. Vardiyalı Çalışma

Vardiyalı çalışma genel olarak iş performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Vardiya sistemi uyku düzeninin bozulmasına ve beslenme alışkanlıklarının düzensiz hale gelmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda sosyal yaşamda uyumsuzluklar nedeniyle stres oluşmakta, bu da iş performansına önlem alınmaması durumunda önemli ölçüde yansıtılmaktadır. Uçuş işletme, uçak bakım ve diğer çalışanlar iş süreçleri nedeniyle vardiyalı bir çalışma süreci içindedir. Özellikle gece vardiyalarında ortaya çıkan sorunlar gece çalışmama isteği ve uykusuzluk sebebiyle pek çok iş kazası riski ortaya çıkarmaktadır. İnsan bedeni bu tür durumlarda biyolojik açıdan denge kuramadığı için dikkat düzeyi azalmakta ve performansta düşüş meydana gelmektedir.

## 5.4. Tekrarlanan Görevler

Uçak bakım işlemleri sırasında yorgunluk ve dikkatsizliğe neden olan unsurlardan bir tanesi sürekli tekrarlanan görevlerdir. Rutin biçimde aynı işlerin yürütülmesi bu işler sırasında teknisyenlerin yüksek düzeyde dikkat göstermelerinin gerekmesi zamanla hem yorgunluğa hem de bıkkınlığa neden olmaktadır. Bunun yanında tekrarlanan işlerin özelliklerine göre fiziksel rahatsızlıklar da oluşabilmektedir. 1995'te gerçekleştirilen bir araştırmaya göre çalışanların %57'si sürekli tekrarlanan hareketler yapmak zorunda olduklarını, %33'ü ise bu hareketleri devamlı yinedediklerini belirtmişlerdir. 2000 yılında yapılan araştırmalara göre ise oranların benzer olduğu ancak yinelenen hareketleri sürekli yapmak durumunda olanların oranının %31'e düştüğü görülmüştür.

Tablo 4. Tekrarlanan Hareketlerle Bağlantılı Sağlık Sorunlarının Yüzdeleri

%	Sırt Ağrısı	Boyun ve Omuzlarda Kas Ağrısı	Belden Yukarıdaki Kas Ağrıları	Belden Aşağıdaki Kas Ağrıları
<b>Tekrarlanan Hareketler</b>	48	37	24	21
<b>Tekrarlanmayan Hareketler</b>	19	11	4	5
<b>Ortalama</b>	33	23	13	11

Yinelenen işler sorunu 2000'de değiştiği için değerlendirme yapılması da oldukça zorlaşmıştır. Araştırma kapsamında yer alan çalışanların %32'si gün içinde devamlı yinelenen hareketler yapmaya mecbur oldukları sürenin on dakikadan daha az olduğunu ifade ederken %22'si bir dakikadan daha az olduğunu belirtmiştir. Yinelenen hareketleri yapmaya mecbur olanların arasında kas ve iskelet hastalıklarının oranında artış olduğu bilinmektedir.

## 6. Sonuç

Uçaklar insan yaşamında gitgide önem kazanmaktadır. Uçak bakımı ve onarımına ilişkin faaliyetler de bu çerçevede gittikçe önemli hale gelmektedir. Bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan birtakım sorunlar, uçuş güvenliği açısından etkilidir. Uçak bakımları esnasında ortaya çıkan sorunların giderilmemesi ve teknolojik gelişmelere ayak uydurulamaması, bakımlarda ortaya çıkan söz konusu sorunların ve risklerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmayacaktır.

Günümüzde havacılık sektörü birçok sektöre kıyasla oldukça hızlıdır. Bu hıza ayak uydurulması ise teknolojik olanaklardan yararlanma düzeyi işe doğrudan ilişkilidir. Bilindiği gibi hız, havacılığın sembolüdür ancak aynı zamanda çalışanlar için riskli bir silah konumundadır.

Uçak bakım - onarımlarının hızı, uçuş operasyonlarına paralel olarak artmaktadır. Uçaklarda ve havalimanı operasyonlarında kullanılan teknolojik imkanların, uçak bakım işlemlerinde de aynen kullanılması gerekmektedir. Zira, bakım faaliyetlerinin, uçuş operasyonları hızına ayak uydurabilmesi ancak bu şekilde mümkün olabilir. Maalesef, ülkemizdeki uçak bakım operasyonlarında uygulanan yöntemler, günümüz teknolojisinin ve Avrupa'da yapılan uçak bakım operasyonlarında kullanılan teknolojinin epeyce gerisinde kalmıştır. Bakım işlerinin yürütüldüğü çalışma alanlarında, iş güvenliğinin tam anlamıyla sağlanması bu teknolojik gelişmelere kayıtsız kalındığı sürece mümkün olamayacaktır.

Uygun bakım yöntemlerinin dikkate alınmaması, çalışanların ağır iş yüküne maruz kalmasına yol açmaktadır. Bunun yanında iş kazaları ve meslek hastalıklarına yol açan uçak bakım sektörü risk unsurları da birçok açıdan iş sağlığı ve güvenliğini tehdit etmektedir.

Uçak bakım ve onarım sektörü, iş kazalarının ve ciddi risklerin bulunduğu, dikkat gerektiren emek yoğun bir sektör olup bu nedenle mutlak surette iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin doğru-düzenli biçimde verilmesi, bu eğitimlere uygun biçimde uygulamalar yapılması gerekmektedir. bunun yanında çalışanların ve teknisyenlerin iş kazalarından olabildiğinde uzak kalabilmesi için teknik ekipman kullanımını iyi bilmesi, koruyucu ekipman kullanmayı da ihmal etmemesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak çalışma koşullarının da teknolojik gelişmelere uygun bir biçimde geliştirilmesi, uçak bakım ekipmanlarının en ergonomik biçimde tasarlanması ve çalışanların psikososyal ve fiziksel sağlıklarının korunması hayati önem taşımaktadır.

## Kaynaklar

- Akkor, H. (2015). Jet motoru hava kanalları yıkama sistemi tasarım ve otomasyonu, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alper, E. "HAVA ARACI BAKIM KURULUŞLARINDA ÖRGÜT KÜLTÜRÜ İÇİNDE OLUMLU EMNİYET KÜLTÜRÜNÜN ÖNEMİ VE UYGULAMA TEKNİKLERİ." **BİLDİRİ KİTABI**: 25.
- ARITAN, A. E. and M. TÜMER (2018). "Doğaltaş Ocaklarında Martopikör Kullanımında El-Kol Titreşim Maruziyetinin İncelenmesi." **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi** **33**(4): 57-66.



- Aydemir, B. A. (2008). "İşletmelerin yeni rekabet aracı olarak kurumsal itibar." ISGUC The Journal of Industrial Relations and Human Resources **10**(2): 27-53.
- Cinel, A. (2006). Kafes Kirişli Bir Uçak Hangarının Karşılaştırılmalı Deprem Hesabı Kullanılarak Eurocode 3 E Göre Boyutlandırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çoban, R. (2019). "Uçak bakım sektöründe iş yükü ve zaman baskısı üzerine bir örnek olay araştırması." Journal of Aviation **3**(1): 45-60.
- KORKMAZ, A. V. (2021). "Metal Sektöründe İş Kazaları ve İşçiler Üzerindeki Etkileri: Magnezyum Metal Üretim Tesisi Örnek Çalışması." Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi **9**(4): 1570-1591.
- LAÇİN, E., et al. (2016). "Sürekli ve Sabit Işıklandırma Programlarının Broilerlerde Organ Gelişimi Üzerine Etkisi." Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi **11**(1).
- LAÇİNER, V. "İş Sağlığı ve Güvenliği Hukukunda Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunması." Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi **20**(1): 749-766.
- ŞİMŞEK, S. (2020). "İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Değerlendirme Metotlarından Fine Kinney Metodunun Bir Örnekle Değerlendirilmesi." İsg Akademik **2**(2): 91-99.
- ŞİMŞEK, S., et al. "İŞ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ UYGULAMALARINDA SENSÖR KULLANIMININ İNCELENMESİ." İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi **12**(1): 41-53.
- ŞİMŞEK, S. and M. AYDOĞDU "Bilgisayarlı Freze Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Önlemlerinin Değerlendirilmesi." İsg Akademik **2**(1): 27-34.
- ŞİMŞEK, S. and F. DOĞAN (2019). "Otel Çalışanlarının Psikososyal Risk Etmenleri Açısından Mobbinge Maruz Kalmalarının Araştırılması." İsg Akademik **1**(1): 59-67.
- ŞİMŞEK, S. and B. ERCAN "İnternet Üzerinden Satın Alma Davranışlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi." İsg Akademik **1**(1): 37-47.
- Zorbacı, B. (2011). Uçak bakım işletmesinde iyileştirme öneri ve uygulamaları, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



# Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi

Durmuş Akkaya<sup>1\*</sup>, Mehmet Çağrı Kızıлтаş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> T.C. Uşak Belediye Başkanlığı, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9234-9047)

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428)

(İlk Geliş Tarihi 16 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 27 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1074796)

**ATIF/REFERENCE:** Akkaya, D. & Kızıлтаş, M. Ç. (2023). Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 90-97.

## Öz

Kentleşme çağımızın en önemli olgularından bir tanesidir. Hareketlilik, sürdürülebilirlik ve dijitalleşme ile birlikte bulunduğumuz yüzyılın ulaştırma eğilimlerini şekillendirecektir. İnsanlar artık hem dünyada hem de Türkiye’de büyük kentlerde kalabalık nüfuslar halinde yaşamakta ve bu durum dünyanın pek çok ülkesinde yaygınlık kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında ilk olarak kent ile ilgili bilgi verilmiş olup ardından ise kentsel kararlarda ulaştırmanın etkisi irdelenmiş sonrasında ise ulaştırma ve türel dağılımda insan merkezli bakış açısı çözümlenmiştir. Karayolu, raylı sistemler ve deniz ulaşımı İstanbul özelinde detaylı bir şekilde değerlendirilmiş olup bu bağlamda son olarak da sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Türel Dağılım, ulaşım, kentlerde toplu ulaşım

## Analyzing the Effect of Transportation on Urbanization According to the Generic Distribution in Urban Transportation

### Abstract

Urbanization is one of the most important facts of our era. Mobility will shape the transportation trends of the century with sustainability and digitalization. People now live in urban with large populous both in the world and Turkey and this situation has gained prevalence in many countries of world. Within the scope of this study, information was firstly given about the city and then the effect of transportation in urban decisions was examined, and then a human-centered perspective in transportation and generic distribution was analyzed. Road, rail systems and sea transportation have been evaluated in detail in Istanbul, and in this context, conclusions and recommendations have been presented.

**Keywords:** Modal distribution, transportation, urban mass transport

\* T.C. Uşak Belediye Başkanlığı, Uşak, Türkiye ORCID: 0000-0001-9234-9047, [akkayadurmus@gmail.com](mailto:akkayadurmus@gmail.com)

## 1. Giriş

Şehir kelimesi uzun yıllar önce Farsça'dan dilimize geçmiş ve yapı kökeni itibarıyla "civilization" kelimesi ile benzer içeriklere sahiptir. Günümüzde kent ile eş anlamlı olarak kullanılan şehir kelimesi yerleşik hayatı temsil eden uygarlık ve medeniyet kavramlarıyla anılmaktadır. Uygarlık ve medeniyet bir kentte öncelikle kent yapısı ve düzeni içerisinde hayat bulur. Dolayısıyla kent planlaması, farklılıkları uyumlu bir şekilde yapısında bulundurma yeteneği açısından medeniyet göstergesi olarak söylenebilir. Kentlerin planlanması, teknik imkânlar ve yöneticilerin vizyonları ve verilen önem çerçevesinde yapılmaktadır. Örneğin, Cumhuriyet dönemi başkenti olan Ankara günümüze kadar daha planlı bir kentleşme süreci geçirmiş, ancak denize kıyısı olması ve ikliminden kaynaklı olarak, sürekli göç alan İzmir için aynı başarıya ulaşamamıştır. Bunun yanında topografya ve yatırımların da etkisiyle sürekli göç almasına rağmen son 30 yılda Kayseri ve Gaziantep ile birlikte Konya da kent planlaması oldukça başarılı görülebilir.

Tarihinde coğrafi konumunun da etkisiyle sürekli dış etkenlere maruz kalarak hem işgaller ve kuşatmalar görmüş, hem engebeli topografyasına rağmen sürekli-hızlı göç almış bir mega kent olan İstanbul, şehirleşmenin doğal kriterlerinin yanı sıra özellikle göç, kamu hizmeti, siluet vb. parametreleri gibi konularla da değerlendirilmelidir.

Mevcut durumda, düzenli kentleşmenin en büyük göstergesi ulaşım ağlarının düzenliliği ve yeterliliğidir denilebilir. Bir kentin iç nüfus dağılımının dengeleyecek politikalarla birlikte planlanacak ulaşım ağları, mevcut göç olgusunu destekleyici değil, düzenleyici nitelikte olmalıdır. Bu açıdan şehir ve şehirlik olgusu sosyal-tekniik-ekonomik-kültürel birçok arka plana sahip, daha komplike bir konu olduğu için, yapılan ve yapılacak olan yatırımların niceliğinin yanı sıra niteliğinin düzeyi de stratejik bir konudur.

Bu açıdan doğru planlama, ulaştırma sistemleri ile kopmaz ve sürekli birbirini etkileyen bir bağlama sahip olmakla birlikte, sorunların minimize edildiği, hizmet parametrelerinin üst düzeye çıkarıldığı, entegre, çok türlü ve sağlıklı türel dağılıma sahip ve aynı zamanda da genele yayılı bir ulaştırma sistemine sahip olmakla mümkün olabilecektir [1].

Şehir planlamalarının ayrılmaz iki parçası olan şehirleşme olgusu ile ulaşım planlamaları incelendiğinde birbiri ile oldukça kuvvetli bağ olduğu görülecektir. Bu açıdan, yapılması düşünülen yatırımların verimliliği, ulaştırma sistemleri üzerinden de değerlendirilebilir. Ulaşım yapılan her yatırım şehirleşmeye olumlu ya da olumsuz etkilerini, şehirleşmenin ne tarafa evrileceğini direk olarak belirler. Uzun bir süre planlama eksikliğinden dolayı niteliksiz yapılaşma, ticari kargaşa, düzensiz şehirler ve bir sürü sorunlar hâsıl olmuştur. Bu durumun üstesinden ancak nitelikli bir planlama yaklaşımı geliştirilerek gelinebilir. Nitelikli planlama yaklaşımı yukarıda bahsedilen sürdürülebilir karşılıklı etkileşim kriterleri dikkate alınarak ortaya konulup çok katımlı, koordineli ve organizasyonel bir yapı ile desteklenmelidir. Yapılması düşünülen bir yatırımın niceliğinin büyük olması, çok katımlı, koordineli ve organizasyonel bir yaklaşıma sahip değilse, aynı oranda verim sağlayamayacağı ve çözümden ziyade yeni problemler ortaya çıkaracağı düşünülmelidir. Yapılan ulaşım yatırımları buldukları bölgelere çok hızlı bir şekilde oldukça büyük değerler katmaktadır. Örneğin, birçok merkezin ve merkezi aktarma istasyonlarının bulunduğu İstanbul'da, şehrin gelişimine göre planlanmış hatlar olduğu anlaşılan kablolu sistem yatırımları için önceliklendirilen Çamlıca-Altunizade-Zincirlikuyu-Mecidiyeköy Teleferik Hattı ve daha sonraki süreçte boğaz boyunca uzanan teleferik hatları, bölgede radikal değişikliğe sebep olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan bakılırsa, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nün yapımı ile paralel olarak gelişimi hızlanan Altunizade bölgesinin metrobüs hattındaki ana istasyonlardan birine dönüştüğü, alınan planlama kararları ve yatırımlarla da bölgenin merkezi konumunun güçlendiği görülebilir. Bunun yanında bölge, Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe metro hattı ile, bölgenin gelişiminde şüphesiz büyük desteği olan ve yüzyılım projesi olarak adlandırılacak, Londra ile Pekin arasındaki kesintisiz ağın belki de en büyük bileşeni olan Marmaray'ın açılmasıyla da, 2 ana transfer merkezinin bir tanesine ev sahipliği yapan Üsküdar'a komşuluğundan dolayı, doğrudan etkilenmiştir. Bölgede yapılan çalışmalara ek olarak Çamlıca Camii ve çevresi yatırımları ile bağlantıyı kuracak ana istasyonlarından biri Altunizade olan teleferik projesi de düşünülmektedir (Şekil 1). Böylece bölge, Boğaz köprüsü ile karayolu ve metrobüs, Marmaray ve metro projeleri ile teleferik hatlarının toplanma - dağılma merkezi haline gelmiş olacaktır [2].



Şekil 1. Altunizade Merkezli Teleferik Hat Projesi (Figure 1. Altunizade Centered Cableway Line Project) [3]

Benzer olarak, Kadıköy ulaşmış olduğu günlük 2 milyonluk nüfus cazibesi kapasitesi dâhilinde Anadolu yakasında ana merkezlerden birisini teşkil etmekte olup münhasıran bir yenileşme prosesini ciddi çekim imkânlarına haiz projeler dâhilinde



ulaştırma türü, kentler arası ölçekte, konvansiyonel demiryolu, hızlı demiryolu ve yüksek hızlı demiryolu gibi alt türlere ayrılır iken diğer taraftan kent içi ölçekte ise raylı sistemler olarak değerlendirilmekte olup kent içi raylı sistemler ise metro, ağır raylı sistemler, hafif raylı sistemler, tramvay gibi alt türlere ayrılmaktadır. Belirli bir alanın (alt kent, kent, yöre, bölge, ülke, ülkeler ötesi) ulaştırma sistemi de söz konusu türlerin taşımacılık miktarlarına göre bir türel (modal) dağılıma sahip olmaktadır. Bu türel dağılımın dengeli olması beklenmekte olup bu da türlerden bazılarında anormal yüklenme ve bazılarında da önem verilmemesi durumlarından kaçınmak anlamına gelmektedir. Her ulaştırma sisteminin türel dengesinin münhasıran özellikleri bulunmaktadır ancak dengeli olmayan bir türel dağılım genelde çoğu zaman açık bir şekilde müşahade edilebilmektedir. Türel dengenin yanı sıra söz konusu türlerin birbirine entegre olması da, verimli ve güvenli bir ulaştırma sisteminin gereklerindedir. Burada kast edilen entegrasyon ise çok boyutludur. Fiziksel, mekânsal, işleme dair, idari ve bilet entegrasyonu gibi birçok entegrasyon çeşidinden bahsedilebilir.

Son yıllarda entegrasyoneksikliğin giderilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle İstanbul'da son zamanlarda 'türler arası uyum ve dengeli türel dağılım' konularında oldukça verimli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Fakat yapılan çalışmaların, çözüm noktasında orta ve uzun vadeli hedefler açısından iyileştirmeler olsa da, halen yeterli seviyeye ulaşmadığı görülmektedir. Örneğin; İstanbul'un çoğu bölgesinde yapılan raylı sistemler bu iyileştirmeyi gösterir. Ancak bu iyileştirme, diğer ulaşım yollarının türel dağılımdaki payının olması gerektiği seviyenin çok altında kalmasının önüne geçememektedir.

Kent içi deniz ulaşımının, kendine ait bir iç su yolu ve suya olan kıyısı oldukça fazla olan bir İstanbul'a göre, türel dağılımdaki payı %20'ler seviyesinde olması gerekirken, tam tersine %1.5'ler seviyesinde olması deniz yolundan yeterince faydalanılmadığının göstergesidir. Bu düşük seviyeye, ulaşımın diğer şekillerde daha fazla imkân ile sağlanmasının yanı sıra kentin karasal yeni alanlara çok yönlü ve çok merkezli olarak büyümesinin de seviyeyi aşağı çektiği göz ardı edilmemelidir.

İstanbul'daki türel dağılıma göre raylı sistem yapı %30 ve daha yukarılarda olduğu görülmekte ve bu oran yeterli düzeydedir. Deniz yolu ulaşımı için de olması gereken %20 civarındadır. Ancak tüketim kültürünü destekleyici çalışmaların türel dağılım ile ilgili olumsuz bir etkileşim yapacağı öngörülerek İstanbul ulaşım ağı ile ilgili türel dağılım çalışmaları yapılmalıdır [6]. Ulaştırma Sistemleri arası dengeli türel dağılım ve türler arası entegrasyon; bütün ulaştırma argümanlarından maksimum düzeyde faydayı, üst düzey hizmet parametrelerini, erişilebilirliği oldukça büyük ölçekte desteklemektedir ki bu da şehirleşmenin, bir bölgenin atar damarını, toplar damarını ve kılcal damarlarını oluşturan ulaşım ağlarının ve insan odaklı ulaşım planlamalarının doğru yürütülmesi için elzemdir.

Geçmiş 15 yılda tüm ilke veya lokal ölçekte gerçekleştirilen ulaşım hizmetleri, süregelen ulaşım sorunlarının çözümünde alternatifler sunmuştur. Bununla birlikte, farklı büyük problemler ve fırsatlar ortaya çıkabilmektedir. Birlikte ve katılımcı yönetim mekanizmalarının desteklenmesi ve Dünya'daki değişimlerin, teknik-ekonomik-sosyal boyutlarının doğru okunabildiği bir politika ile sorunların çözülmesi, halkın doğru tüketim bilincine yönlendirilmesi, ulaşım sisteminin gerçek manada bir hizmet sektörüne dönüştürülmesi, şehirlerimizin daha yaşanılabilir hale getirilmesi ve hayat standartlarımızın, gerçek manada, yükseltilmesi gibi olumlu çalışmalar artan bir ivmeyle devam edecektir.

Türel dağılımda en büyük paya sahip 3 ulaşım sistemi;

- Karayolu
- Raylı Sistemler
- Deniz Ulaşımı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ulaştırmada türel dağılım konusunda şüphesiz en büyük pay karayollarına aittir. Ülkemizde nüfusun yaklaşık olarak %90'ı şehirlerde yaşamaktadır dolayısı ile de ileri düzeyde bir şehirleşmeden bahsedilebilir. Bu oranda özellikle son 20 yıllık süreçte, artış ivmelenecek devam etmiş ve oransal olarak Avrupa Birliği'ne (AB) yakınsamıştır. Bütün bunların sonucunda ileri düzeylerde trafik hacimleri ile karşılaşmaktadır zira şehirleşmede artış ortaya çıkmış olup şehir bölgelerinin başlangıç ve bitiş noktaları arasında da çok sayıda alternatif meydana gelmiştir. Bunun ile de beraber ekonomik büyüme ve satın alma gücü artışına paralel olarak talep ve tüketim artmış olup özel otomobil sahipliği iki misline yükselmişti ve de özel araç sahipliği halen Avrupa'nın büyük kentlerinin gerisinde olmasına karşın ciddi miktarlara ulaşmış bir durumdadır. Şehir içi ulaştırmanın sürdürülebilirliği bağlamında problemler öne çıkmıştır çünkü trafik tıkanıklığında bahse konu nedenler ile ciddi artışlar meydana gelmiştir [6].

Özel otomobillerdeki artış, nüfus yoğunluk düzeylerinin yüksek seyri ve iş etkinliği miktarları ile çeşitlilikleri şehir merkezlerindeki trafik tıkanıklıklarının asli nedenlerini teşkil etmektedir. Yollardaki aşırı yüklemeler, şişe boynu teşekkülleri ve geçici trafik tıkanıklıklarında, yolcu ve yük ulaştırmasındaki halen devam eden dengesiz karayolu türünün önemli bir etkisinden bahsetmek mümkündür. Söz konusu özel otomobil sahiplenme trendi bu şekilde sürdükçe mevcut trafik tıkanıklığı potansiyeli her zaman ağırlaşma potansiyelini korur. Öte yandan ise kısıtlı ekonomik imkanlara ve fiziksel engellere haiz toplum kesimleri başta olmak üzere indirgenmiş yoğunluk ve fiziksel sınırlılıklar ayrıca lokal toplu ulaştırmayı erişim miktarlarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu konularda kapsamlı bir çalışma yapılmaması durumunda, sonraki yıllarda, zaten hali hazırda sorun olan trafik problemlerinin daha da artacağı öngörülebilir. Bu da ulaşım konusunda oldukça büyük bir problem olacağını gösterir.

Çeşitli yöntemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Çözüm olarak genel yaklaşım olan yol kapasitesinin artırılmasında, arazi planlaması açısından zorluklarla ve içinden çıkılmaz durumlarla karşılaşılması için şehrin gelecek perspektifi bağlamında

hâlihazırdaki ulaştırma ağlarının daha verimli ve etkili bir şekilde istifadesi yeni otoyolların yapılandırılmasından daha ziyade bir öneme sahip olmaktadır. İnşaat mühendisliği için hâlihazırdaki altyapılarda verimlilik artışı çalışmaları kısa vadeli tedbirler bağlamında telakki edilmektedir. Bu anlamda trafik ile ilgili yapıların münhasıran alanlarındaki kısa erimli çalışmaları ise şu şekilde ele alınabilir: Mevcut şartların iyileştirilerek ulaşım sistemlerinin daha da verimli bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi, yeni ulaşım ağlarının yapılmasından çok daha uygun ve şehrin geleceği için daha isabetli olacaktır. Ulaşım mühendisliğinin kısa vadeli uygulamalar sınıfında bulunan verimliliği artırma çalışmalarını, örneğin trafik biriminde;

- Geometrik standartlar ve iyileştirmeleri
- Trafik sinyal işleri,
- Farkındalık etkinlikleri
- Trafik denetleme işleri

olmak üzere dört başlıkta toplayabiliriz.

Ülkemizde meydana gelen kazaların oldukça büyük bir kısmı karayollarında olduğu bilinmektedir. Bu kazaların da oldukça büyük bir kısmı sürücü hatasından meydana gelmektedir. Trafik denetimi çalışmaları, yol güvenliğinin artırılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar ise T.C. Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) ve TSK Jandarma Genel Komutanlığı marifeti ile icra edilen işleri teşkil etmektedir. Sıkça denetim yapılması sonucu sürücülerin daha dikkatli davrandığı ve kurallara uyma konusunda pozitif artışın olduğu anlaşılmaktadır [7].

Denetimlerin düzenli ve sürekli yapılması kaza istatistiklerinde olumlu ölçüde düşüş yaşanmasına katkıda bulunmasının yanında, trafikteki kapasite miktarını da dolaylı olarak artırmaktadır. Ancak, denetimlerin insan gücüyle yapılması ve farklı birimlerin zaman zaman birbirinden habersiz uygulama yapması sonucunda denetim çalışmalarında birçok noktada yetersiz kalınmaktadır. Teknolojiden de faydalanılarak her an denetim yapıldığı hissi uyandırmak, sürücü hareketlerinin iyileştirilmesi ve denetim etkinliği konusunda önemli bir adım olarak düşünülebilir.

Türkiye’de öncü belediye olarak İBB bünyesinde şehir trafiğinin yolcu, yaya ve sürücüler için daha güvenli bir hal almasının bir parçası olarak trafik müdürlüğü tarafından ilgili sorumluluk alanındaki yollar dâhilinde Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS) 2006’da kurulmuş olup etkin bir şekilde devreye alınmıştır. Sistemin işlerlik şekline bakılacak olur ise T.C. EGM ortaklığında polislerin cezai işlem yetkisinden faydalanmak sureti ile ihlallerin tespit ve işlemi şeklinde EDS’nin icra edildiği görülmektedir. Tabi bu konuda en çok tavsiye toplu ulaşımaya yönlendirme konusundadır. Toplu ulaştırma trafik güvenliğindeki artışa ciddi bir katkı temin edebilir olup bunun nedeni ise konforlu ve daha sistematik bir yapıyı ortaya çıkartabilme imkânı olup bu da denetleme kabiliyeti ve güzergâh disiplini daha yüksek bir hat üzerinde daha az yer işgal ediyor olması ile bağlantılı olarak değerlendirilebilir bir husustur.

Türkiye’de olduğu gibi İstanbul özelinde de arazi yapısı, tarihi, coğrafi konumu, beşeri yapısı, ekonomisi, kültürü ve benzeri özellikleri itibariyle günümüzde kablolu sistemler, denizyolları, demiryolları ve iç suyuolları gibi çoklu türel dağılıma uygun ulaşım araçlarına ait yatırımlara oldukça elverişlidir. Geçtiğimiz yıllara bakıldığında İstanbul’un göç verdiğini ancak, 2019 yılında oldukça fazla göç aldığı söylenebilir. Tablo 1 ‘deki verilere göre net göç hızı, pozitif olma eğiliminde devam etmektedir. Genellikle göç kaynaklı yerleşimlerin “memleketli, hemşeri mahallesi” olarak tabir edilen bir anlayışla belirli bölgelerde yoğunlaşması ve nüfusa karşı iş istihdamının farklı konumda olmasından kaynaklanan durum, zaten yoğun olan İstanbul’da ulaşım problemlerinin katlanması, toplu taşıma araçlarına olan ihtiyacın artması anlamına gelmektedir.

Tablo1. İstanbul Göç Bilgileri (Table 1. Istanbul Immigration Data) [8]

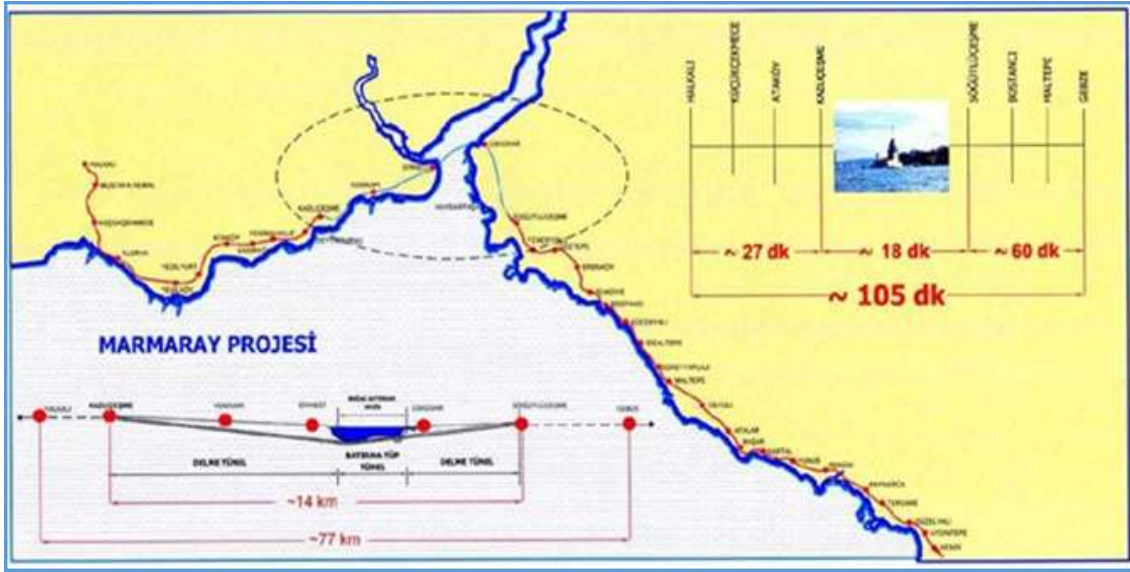
Dönem	Aldığı göç	Verdiği göç	Net göç	Net göç hızı (%)
2016	369582	440889	-71307	-4,81
2017	416587	422559	-5972	-0,4
2018	385482	595803	-210321	-13,86
2019	498676	378305	120371	7,79

Bu ve benzeri sorunların çözümünün verimli çalışan ve sorunları en aza indirgenmiş bir Ulaştırma Sistemi ile sağlanabileceği açıktır. Bütüncül bir yaklaşımı gerektiren sorunun çözüm adımları, ekonomik büyümeyle birebir ilişkili olan ulaştırma sistemlerinin yanı sıra, şehirleşme, ekonomik, sosyal, kültürel ve benzer etmenler de dikkate alınarak, mevcut büyümenin niteliksel olarak da içinin doldurulması ile başarılı sayılabilir.

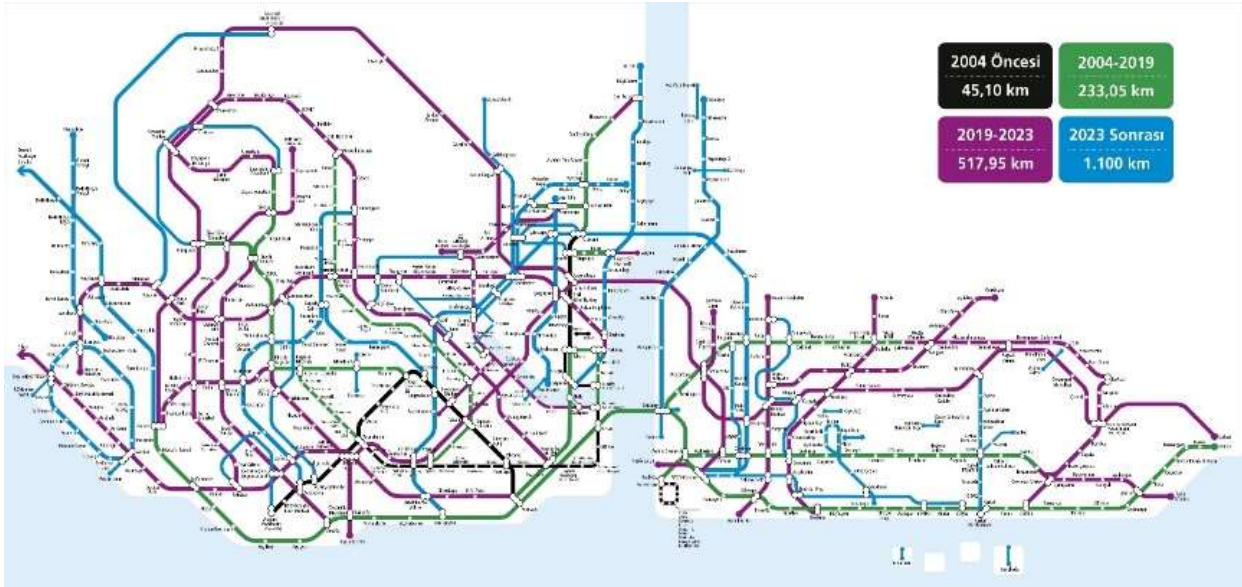
Yapılan çalışmalar incelendiğinde, oldukça büyük bir yatırım ve sorunun çözümündeki en büyük adımlardan biri olan ve işleme 2013’te alınan Marmaray hattı kentsel, ulusal ve bölgesel ulaştırma üzerinde ciddi tesir oluşturabilecek bir potansiyele haizdir. Marmaray’ın entegre bir yaklaşım ile telakki edildiğini ise bu hatta bağlanan ve bağlanması planlanan milli yüksek hızlı tren (YHT) hat projelerinin ve kentteki yoğun kent için raylı sistem projelerinin varlığında, miktarından ve bütüncül ağ planlarından anlamak mümkündür. Bu bağlamda Marmaray’ın tam kapasiteye haiz çalışmasının, buna paralel olarak açılan ve açılacak olan kent için ve kentler arası raylı sistem hatları dâhilinde de entegrasyonları çerçevesinde ne kadar kapsayıcı bir alandaki yolculuk potansiyeli üzerinde tayin edici olduğu ortadadır. Marmaray yolculuk güzergahının 2019 yılında tam kapasite Gebze-Halkalı metro işletimi ile birlikte ulaştığı yolculuk hattı da şekilde gösterilmektedir.

Söz konusu tam kapasite çalışmalarının bitirilmesiyle beraber Halkalı'dan Gebze'ye Küçükçekmece, Ataköy, Kazlıçeşme, Ataköy, Söğütlüçeşme, Bostancı ve Maltepe istasyonlarının kat edilmesi sureti ile 105 dakikalık bir süre içerisinde erişim mümkün olmaktadır. Mevcut durumda zaten İstanbul-Ankara yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı Pendik üzerinden tam kapasite Marmaray hattına bağlanmaktadır. Ayrıca mevcut durumda inşa halinde olan Halkalı-Edirne yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının tamamlanıp işleme alınması sureti ile Marmaray'a ikinci YHD hat bağlantısı da gerçekleştirilmiş olacaktır. Halkalı'dan Gebze'ye kadar tüm istasyonlar dâhilinde 77 kilometrelik bir seyir uzunluğundan söz edilebilir. Yenikapı-Taksim metrosu ise 2014 yılında bağlantısı tamamlanmak sureti ile Kabataş-Bağcılar raylı sistemi üzerinden de Marmaray ile bir bütünleşme gerçekleştirmiştir (Şekil 3).

Aşağıdaki şekilde, mevcut ve planlanan metro hatları verilmiş olup, 2023 itibariyle planlanan hatların (Şekil 4) tamamlanmasıyla birlikte İstanbul'un ulaşacağı metro hattının kilometresi New York, Tokyo ve benzeri dünya mega kentleri ile birlikte değerlendirilecek düzeye ulaşacaktır.



Şekil 3. Marmaray Yolculuk Güzergâhı ve Etki Alanı (Figure 3. Marmaray Passenger Route and Effect Zone) [9]



Şekil 4. Tamamlanan ve Tamamlanması Öngörülen Raylı Sistem Hatları (Figure 4. Opened and Continuing Railway Lines) [10]

2023 itibariyle bu hatların tamamlanmasıyla İstanbul'da bulunan metro uzunluğu, bu konuda kendinden sıkça söz ettiren diğer büyük dünya şehirleri ile eşdeğer bir seviyeye ulaşacağı söylenebilir. Yapılan çalışmaların tüm raylı sistemlerin yanında türel dağılımda belirtilen ulaşım sistemleriyle entegre halde çalışması sonucunda İstanbul için trafik sorununun çözümünde oldukça verimli bir iyileştirme yapılmış olacaktır.

Bütüncül bakış açısıyla planlanan bu sistemlerin işletmesi de yapımı kadar önemlidir. İşletimde kullanılan akıllı sistemler ülkemizde genellikle yabancı menşeli üreticilerden elde edilmektedir. Ancak özellikle savunma sanayi ve demiryolu alanında önemli Ar-Ge çalışmaları yapan bir yerli firmamız raylı sistem araçları için birçok akıllı sistemi geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir. Bu

çalışmalar yüksek hızlı trenler de dâhil, birçok araçta başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Yerli sistemlerin kullanılması ile daha başarılı ve kendi yapımıza hitap eden ulaşım sistemleri ile ilgili çalışmalar sürdürülebilir.

#### 4. Sonuç

Ulaşım konusunda en az yararlanan alan deniz ulaşımıdır. İstanbul türel dağılımı incelendiğinde, karayolu çok yüksek paya sahipken, karayolunda da ‘özel otomobil’ kullanım oranı oldukça fazladır. Bu durum trafikteki güvenliğin doğal olarak azalmasına ve vatandaşın konfor, güvenlik ve dakiklik gibi parametrelerden sürekli olarak yararlanamaz hale getirmektedir.

Bütün ulaşım modlarında toplu ulaşımı aktif hale getirmek için entegre, konforlu, dakik, güvenli bir hizmet sunmak kısa ve uzun vadede oldukça etkili sonuçlar doğurabilir. Örneğin, genel verilere bakıldığında Şehir Hatları Genel Müdürlüğü’ nün rakamlarına göre şehir içi deniz yollarımızın ancak 1/10 oran ile hizmet verdiği görülmektedir. En basit çözümlerle bile bu kapasitenin, %50’lik düzeylerde kullanılmasının sağlanması ile yaklaşık 1.000.000 yolcunun denizyolunu tercih etmeye yöneltebilir. Ortalama, bir otomobilin 1-2 yolcu taşıdığı düşünülürse, bu çözümle bile İstanbul’ da trafikten yarım milyon civarında aracın çekilmesi anlamına gelir [11].

Maalesef, İstanbul türel dağılımında deniz ulaşımı %20-25 seviyelerinde olması gereken iken, hali hazırda %1-2’lik bir seviyeye bunun çok gerisinde kalmıştır. Bu durum, ulaşım bazlı olarak “denizin kıyısında denize bakmadan yaşamak” gibi bir söz ile örneklenebilir. Bu konuda yetkili kişilerin acilen çözüm üretmesi, sürdürülebilir ve yaşanılabilir bir İstanbul için elzemdir. Daha önceki dönemlerde uygulanan, Boğaz’da kıyıya boyunca seferler (Beşiktaş-Ortaköy-Arnautköy-Bebek v.b.) gerekli olduğu kadar, her ne kadar istenen sonuçlar alınmasa da daha planlı ve çok katımlı bir çözüm anlayışla devam ettirilseydi çözüme de katkı sunabilecekti. İstenilen sonuçların alınmamasında kıyı boyunca boyunca sefer yapacak olan araçların boyutları, talebin iyi analiz edilmesi ve buna benzer durumlar oldukça önem kazanmaktadır. Örneğin, boğaz sahil boyunca birçok noktada yeterli genişlikte olmayan karayolu hatları üzerinde özellikle de yoğun saatlerde; yaya olarak on dakika civarında olan Beşiktaş-Ortaköy güzergâhı araçla birkaç kat daha uzun sürebilmektedir. Bu açıdan Beşiktaş’tan iyi tasarlanmış bir sürecin ve hizmetin sonucu olarak, minimum bekleme süreleriyle kalkacak optimum büyüklükteki bir Şehir Hatları aracı 15-20 dakika civarında bir yolculuk sürecinde, gerekli duraklara uğrayarak yolcu taşıyabilir [12].

Ulaşım sistemlerinde en büyük paya şüphesiz karayolu ulaşımı sahiptir. Karayolu toplu taşıma sistemlerine örnek olarak Güney Amerika ülkeleri başta olmak üzere küre ölçeğinde başarılı uygulamaları olan hızlı otobüs taşımacılığının (HOT\_BRT) İstanbul’da ki uygulaması olan metrobüs verilebilir olup bu hat zaman tasarrufu başta olmak üzere çeşitli hizmet parametreleri itibari ile kentte öne çıkan bir ulaşım türünü teşkil etmiştir. Metrobüs hattı güvenlik, emniyet ve konfor özellikleri nedeni ile tartışma konusu olup tam kapasite ile süreden ciddi tasarruflar dâhilinde işletilmektedir. Metrobüs boğazı geçen bir işleme sahip olup kentin batı doğu aksındaki en önemli arterinde yüksek düzeylerdeki yolculuk taleplerini karşılamaktadır.

Bunun yanında denizi çevreleyen ve denizle çevrili bir İstanbul için deniz ulaşımı da oldukça önemli olmalıdır. Ancak günümüzde türel dağılımda, denizyolu %20-25 gibi beklenen seviyenin çok altında olup %1-2 civarında görülmektedir. Kıyıya paralel hat vb. uygulamalar, doğru arz - talep dengesinin oluşturularak, bütüncül bir yönetim anlayışıyla yeniden hayata geçirilmelidir. Sadece şehir hatları çalışma kapasitesi %10 gibi düşük bir kapasiteden %40-50’lere çıkarılması ile boğaz köprülerinde ve bağlantılarındaki trafiği önemli ölçülerde düşürecek [13]. Aşağıda Şekil 5’te 2010 yılı günlük yolculuk değerlerinin türel dağılımı, 2014, 2018 ve 2023 yılları için öngörülen yolculuk değerleri ve türel dağılımı detaylı olarak verilmiştir.

Şekil 5’te belirtildiği üzere; 2010’da İstanbul’da verilen yolculuk değerlerinde türel dağılımda karayolu taşıma türünün %78,4’lük ağırlığı olup 2014’te %67,7’ye, 2018’de %50,7’ye, 2023’te %26,5’a düşmesi öngörülmektedir. 29 Ekim 2013 itibariyle kısmen açılışı yapılan Marmaray’ın 2014 itibariyle türel dağılımda %7,4, 2018’de %7,9, 2023’te ise %5,7’lik paya ulaşması öngörülmektedir [14].

Hareketlilik Değerleri			
2010 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCUGÜN	ORAN%	
LASTİK TEKERLEKLİ	8.841.488	78,4%	
RAYLI	1.338.372	18,9%	
DENİZ	188.088	2,8%	
TOPLAM	7.871.884	100,0%	
2014 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCUGÜN	ORAN%	
LASTİK TEKERLEKLİ	10.719.888	67,7%	
MARMARAY	1.178.178	7,4%	
RAYLI	3.748.397	23,7%	
DENİZ	188.878	1,2%	
TOPLAM	18.817.748	100,0%	
2018 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCUGÜN	ORAN%	
LASTİK TEKERLEKLİ	8.427.438	50,7%	
MARMARAY	1.212.888	7,9%	
RAYLI	6.722.828	48,4%	
DENİZ	178.871	1,8%	
TOPLAM	16.833.288	100,0%	
2023 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCUGÜN	ORAN%	
LASTİK TEKERLEKLİ	7.728.228	28,8%	
MARMARAY	1.872.092	5,7%	
RAYLI	18.828.848	68,9%	
DENİZ	240.024	0,8%	
TOPLAM	28.182.288	100,0%	

Şekil 5. 2010-2014-2018-2023 Hareketlilik Değerleri ve Türel Dağılım Öngörülmesi (Figure 5. 2010-2014-2018-2023 Mobility Values and Modal Distribution Possibilities) [14]



Trafik Güvenliği ile ilgili çalışmalar, ulaşım modları arasındaki dengeli dağılım ve entegrasyon baz alınarak yapılmalıdır. Bu açıdan, tercih edilen mod ne olursa olsun, toplu ulaşımın güçlendirilmesi, ulaşım araçlarıyla çeşitlendirilmesi ve öne çıkarılması oldukça önemlidir. Toplu ulaşımın tercih edilebilirliği, ihtiyacı karşılayabilir olması (arzın yönlendirilmesi vb.), yenilikçi ve teknik donanımlı olması ve hizmet parametreleri (dakiklik, konfor, güvenlik, maliyet vb.) ile doğrudan ilişki içerisindedir. Örneğin, tüketim kültürü açısından Japonya'daki bir işadınının metroyu kullanması olağan karşılanmaktadır. Ancak, bahsedilen toplu ulaşımında vatandaşın güvenliği ve konfor gibi konular başta olmak üzere hizmet kalitesi üst düzeyde sağlanmaktadır. Bu durum, bütüncül algının ve entegrasyon yaklaşımının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır [15].

## Kaynakça

- [1] T.C. 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012, Ankara
- [2] Kızıldaş, M. Ç. "Raylı Sistemlerde Küresel Ölçekteki Gelişmeler ve İstanbul-3, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [3] Chen, Z., (2017) Impacts of high-speed rail on domestic air transportation in China. J. Transp. Geogr. 62, 184–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.04.002>.
- [4] Sürdürülebilir Kent içi Hareketlilik Planları (SUMP) Çalıştay Raporu, 2015, Yaşanabilir Şehirler Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)
- [5] Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2018, A Review In Term Of Service Parameters On The Modal Choice sand Mass Transport, İzmir
- [6] Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2017, Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- [7] Bachand-Marleau, J., Lee, B., El-Geneidy, A., 2012. Towards a better understanding of the factors influencing the likelihood of using shared bicycle systems and frequency of use. Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board 2314, 66e71.
- [8] İstanbul Göç Bilgileri (TUİK, 2020)
- [9] Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., 2018, Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM
- [10] Ulaşım, Emlak Kulisi (2019). <https://emlakkulisi.com/ev-alacaklar-bu-lokasyonlara-dikkat/602286>, (Erişim Tarihi: 22.05.2020)
- [11] Litman, T., 2013, Understanding transport demands and elasticities, How prices and other factors affect travel behavior. Victoria Transport Policy Institute: Litman <http://www.Vtpi.Org/elasticities>.
- [12] Liu, Y., Zhang, X., Zeng, J., Zhang, X., Zhang, P., & Zhong, Z. (2007). Technology of Sound Intensity Theory in High Speed Railway Car Noise Controlling. In International Conference on Transportation Engineering 2007 (pp. 1243-1248).
- [13] Wong, W. G., Han, B. M., Ferreira, L., Zhu, X. N., & Sun, Q. X. (2002). Evaluation of management strategies for the operation of high-speed railways in China. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36(3), 277-289.
- [14] Haluk Gerçek, Orhan Demir, 2015, Eskişehir Ulaştırma Ana Planı Revizyon Çalışması
- [15] Kızıldaş M. Ç., 2016, "Avrupa Birliği ve Ulaştırma Politikaları-5", URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).