

ISSN: 2645-8969



İstanbul Ticaret Üniversitesi



# Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi

Cilt VII- Sayı-II  
Şubat 2025

Adres : Küçükaly E5 Kavşağı İnönü Cad. No: 4, Küçükaly 34840, İstanbul  
Telefon : +904440413#3300  
Faks : +902164890269  
İnternet : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/icujtas> |  
tub@ticaret.edu.tr

 ticaretedutr

**İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi** Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK  
*Owner on behalf of Istanbul Commerce University* *Rectör / Rector*

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI Editör / *Editor-in-Chief*

## Editörler

### Editors

Engin ÇETİN Türkçe Editörü / *Turkish Editor*  
Fatih TANRIVERDİ İngilizce Editörü / *English Editor*  
Derya İGDE Alan ve Yardımcı Editör/  
*Field and Vice Editor*  
Leyla SÜRİ Alan Editörü / *Field Editor*

## Sorumlu Yazı

### İşleri Müdürü

*Publishing Manager*

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Engin ÇETİN

## Yönetim Yeri

*Head Office*

İstanbul Ticaret Üniversitesi

## Yazışma Adresi

*Corresponding  
Address*

Örnektepe Mah. İmrahor Cad. No: 88/2, Beyoğlu 34445 / İSTANBUL  
Tel: +90 212 444 0 413 E-posta: tub@ticaret.edu.tr

## İnternet Adresi

*Web Address*

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/icujtas>

## Yayın Türü

*Publication Type*

Yerel Süreli / *Periodical*  
Şubat ve Ağustos aylarında olmak üzere yılda iki sayı yayımlanır  
*Published twice a year, in February and August e-ISSN: 2645-8969*

## Yayın Tarihi

*Publication Date*

30.08.2024

## Yayın Kurulu

*Editorial Board*

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI Baş Editör (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hanifi PARLAR (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Rahmi Deniz ÖZBAY (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Celalettin AKTAŞ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Abdul Halim ZAİM (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Muammer KALYON (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Gülay ÖZTÜRK (Fenerbahçe Üniversitesi)  
Prof. Dr. Elçin AYKAÇ ALP (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Elammaran JAYAMANİ (Swinburne University of Technology, Sarawak, Malaysia)  
Doç. Dr. P. SENTHAMARAIKANNAN (Kamaraj College of Engineering and Technology, Tamilnadu, India)  
Doç. Dr. Erdem YAVUZ (Bursa Teknik Üniversitesi)  
Doç. Dr. Can EYÜPOĞLU (Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp

Okulu)  
Doç. Dr. Buket DOĞAN (Marmara Üniversitesi)  
Doç. Dr. Önder DEMİR (Marmara Üniversitesi)  
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Dr. Indran SUYAMBULINGAM (King Mongkut's University of  
Technology, Bangkok, Thailand)  
Dr. Divya DIVAKARAN (King Mongkut's University of Technology  
North Bangkok, Bangkok, Thailand)  
Dr. Mohit Hemanth KUMAR (Alliance University, Bengaluru, Karnataka,  
India)  
Dr. Sumesh Keerthiveetil RAMAKRISHNAN (Czech Technical  
University in Prague, Czech Republic)

---

**Danışma  
Kurulu**  
*Advisory Board*

Prof. Dr. Celalettin AKTAŞ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Ömer TORLAK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Ömer ÇAHA (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Abdul Halim ZAİM (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Muammer KALYON (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Gülay ÖZTÜRK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Elçin AYKAÇ ALP (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. Rıfat YAZICI (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Prof. Dr. İsmail TORÖZ (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Kadir GÜLER (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Şehabettin Taha İMECİ (University of Sarajevo)  
Prof. Dr. Şükrü Yıldız (İbn Haldun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Cihat DEMİRLİ (Milli Eğitim Bakanlığı)  
Prof. Dr. Emine Esra KASAPBAŞI (Haliç Üniversitesi)  
Doç. Dr. Mustafa Emre CİVELEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Buket Doğan (Marmara Üniversitesi)  
Doç. Dr. Elif Kısar KORAMAZ (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Doç. Dr. Ebru Şensöz MALKOÇ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Hanifi PARLAR (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI (İstanbul Ticaret Üniversitesi)  
Doç. Dr. Erdem YAVUZ (Bursa Teknik Üniversitesi)  
Doç. Dr. Can EYÜPOĞLU (Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu)  
Doç. Dr. Önder DEMİR (Marmara Üniversitesi)  
Doç. Dr. Gül Aslı AKSU (Kastamonu Üniversitesi)

---

**Cilt 7 Sayı 2**  
**Hakem Listesi**  
*Volume 7 Issue 2*  
*Reviewers List*

Leyla Suri, Özdemir Sönmez, Burhan Satıcı, Damla Altuncu, Selim Bayraklı, Erdem Yavuz, Yaprak Özel, Tuğba Baskan, Ali Akın Akyol, Hacer Bilgilioğlu, Burcu Balaban Ökten, Sıbkat Kaçtıoğlu, Berk Ayvaz, Can Güngör, Nurgül İnan, İlker Salih Ebrem, Fatih Ergezer, Ufuk Kırbaş, Mahmut Esad Ergin, Serhat Özekes, Buket Doğan, Can Eyüpoğlu, Mustafa Nevzat Örnek

Değerli Okurlar,

İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi VII Cildinin 2. Sayısı tamamlanmış olup, siz saygıdeğer ve değerli okurlarımıza sunmaktan büyük onur ve mutluluk duyuyoruz.

Dergimizin bu sayısında, Bilgisayar Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, İç Mimarlık, Mimarlık, Kentsel Çalışmalar orijinal araştırma ve derleme makalelerine yer verilmiştir.

Dergimize çalışmalarını göndererek katkı sağlayan tüm yazarlarımıza, bu çalışmalarını değerlendirerek yorumlarını bildiren hakemlerimize ve derginin hazırlanmasında emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarımıza teşekkürü bir borç biliriz.

Dergimizin bu sayısının siz okurlarımıza yararlı olmasını diler, saygılar sunarız.

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI

Baş Editör

İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi

Dear Readers,

The VII. volume II. issue of the İstanbul Ticaret University Journal of Technology and Applied Sciences has been completed, and we are honored and pleased to present it to our esteemed and valuable readers.

In this issue of our journal, original research and survey articles in the fields of Computer Engineering, Industrial Engineering, Interior Architecture, Architecture, Urban Studies are included.

We would like to thank all our authors who contributed to our journal by submitting their studies, our referees who evaluated these studies and gave their comments, and all our colleagues who contributed to the preparation of the journal.

We hope this issue of our magazine will be useful to you, our readers, and we present our respect.

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI  
Editor-in-Chief  
Istanbul Commerce University  
Journal of Technology and Applied Sciences

## **Amaç ve Kapsam**

Teknoloji Ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, araştırmaları altı ayda bir uluslararası yayınlayan hakemli bir dergidir. Gönderilen çalışmaların teknolojinin tüm alanları, mühendislik, uygulamalı bilimler, mimarlık kentsel çalışmalar alanında olması, mutlaka çalışmalarda özgünlük, önem, güncel duruma katkı içermesi beklenmektedir.

Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi ayrıca bilimi, bilim adamlarını ve daha geniş halkı etkileyen güncel ve gelecek bilimsel yönelimlerin de bulunduğu hızlı, yetkili, anlayışlı ve dikkat çekici haberleri ve yorumları da içermektedir.

### ***Aim and Scope***

*The Journal of Technology and Applied Sciences is a peer-reviewed journal that publishes research internationally every six months. It is expected that the submitted works will be in all fields of technology, engineering, applied sciences, architecture, urban studies, and necessarily include originality, importance and contribution to the current state of art.*

*Journal of Technologies and Applied Sciences also provides rapid, authoritative, insightful and arresting news and interpretation of topical and coming scientific trends affecting science, scientists and the wider public.*

# İçindekiler

## Araştırma Makaleler

## Sayfa

<i>KENT AYDINLATMASI KAPSAMINDA YAPI YÜZÜ AYDINLATMASINA YÖNELİK İNCELEMELER</i>	1-16
<i>ÇİZGE ÖĞRENMEDE ÇİZGE SINIR AĞLARI</i>	17-56
<i>NARA-GRİD ESASINA DAYALI ÖZGÜNLÜK DEĞERLENDİRMESİ</i>	57-72
<i>MEKÂNDANIN YAPAY AYDINLATMANIN İNSAN ALGISI ÜZERİNE ETKİSİ</i>	73-95
<i>TARİHİ KİREÇ HARÇLARI VE KARAKTERİZASYONU ÇALIŞMALARI ÜZERİNE İNCELEMELER</i>	97-115
<i>DOĞAL FORMLARIN MİMARİ TASARIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ</i>	117-143
<i>İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ TEKNİKLERİ ÜZERİNE BİR PARFÜM ÜRETİM HATTINDA ÖRNEK UYGULAMA ÇALIŞMASI</i>	145-161
<i>KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞININ TÜRKİYE EKONOMİSİNE ETKİLERİNE SWOT ANALİZİ EKSENİNDE GÜNCEL BİR YAKLAŞIM</i>	163-183
<i>BANKACILIK SEKTÖRÜNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ UYGULAMALARI VE SÜREÇLERE ETKİLERİNİN MONTE CARLO YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ</i>	185-201
<i>ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNİN FİZİKSEL ERİŞİLEBİLİRLİK KAVRAMI YÖNÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	203-212
<i>ALTERNATİF DLT SİNYALİZE KAVŞAĞIN SİMÜLASYON İLE ANALİZ EDİLMESİ</i>	213-235
<i>BALIKESİR SANAYİ 1-2 NOLU KAVŞAKLARIN SUMO İLE KENTSEL HAREKETLİLİK ANALİZİ</i>	237-249
<i>SOHBET ROBOTU İLE KULLANICI YÖNETİMİ</i>	261-274
<i>HİBRİT MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİ YOLUYLA GELİŞTİRİLMİŞ DDoS SALDIRISI TESPİ</i>	275-308




# ***Index***

## ***Research Papers***

	<b><i>Page</i></b>
<i>FACADE LIGHTING REVIEWS WITHIN THE SCOPE OF URBAN LIGHTING</i>	1-16
<i>GRAPH NEURAL NETWORKS IN GRAPH LEARNING</i>	17-56
<i>THE ASSESSMENT OF AUTHENTICITY BASED ON THE NARA-GRID</i>	57-72
<i>THE EFFECT OF ARTIFICIAL LIGHTING IN SPACE ON HUMAN PERCEPTION</i>	73-95
<i>INVESTIGATIONS OF STUDIES ON HISTORICAL LIME MORTARS AND THEIR CHARACTERIZATIONS</i>	97-115
<i>EFFECTS OF NATURAL FORMS ON ARCHITECTURAL DESIGN</i>	117-143
<i>CASE STUDY BASED ON STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQUES ON A PERFUME MANUFACTURING LINE</i>	145-161
<i>A CURRENT APPROACH TO THE EFFECTS OF ROAD FREIGHT TRANSPORTATION ON THE TURKISH ECONOMY IN SWOT PERSPECTIVE</i>	163-183
<i>INVESTIGATION OF PROCESS MINING APPLICATIONS IN THE BANKING SECTOR AND ITS EFFECTS ON THE PROCESSES USING THE MONTE CARLO METHOD</i>	185-201
<i>EVALUATION OF UNIVERSITY CAMPUSES FOR PHYSICAL ACCESSIBILITY</i>	203-212
<i>ANALYSIS OF ALTERNATIVE DLT SIGNALIZED INTERSECTION WITH SIMULATION</i>	213-235
<i>URBAN MOBILITY ANALYSIS OF BALIKESİR INDUSTRY INTERSECTIONS NUMBER 1-2 WITH SUMO</i>	237-249
<i>USE OF LIGHT TEXTILE PRODUCTS IN INDOOR</i>	251-260
<i>USER MANAGEMENT WITH CHATBOT</i>	261-274
<i>ENHANCED DDoS ATTACK DETECTION THROUGH HYBRID MACHINE LEARNING TECHNIQUES</i>	275-308

## Araştırma Makalesi

**KENT AYDINLATMASI KAPSAMINDA YAPI YÜZÜ  
AYDINLATMASINA YÖNELİK İNCELEMELER****Elif POLAT<sup>†</sup>, ŞENSİN YAĞMUR<sup>††</sup>**<sup>†</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye<sup>†</sup> [mimarelifpolat@gmail.com](mailto:mimarelifpolat@gmail.com) , <sup>††</sup> [sensinay@hotmail.com](mailto:sensinay@hotmail.com) 0009-0000-6124-2685, 0000-0001-7975-6801**Atıf/Citation:** POLAT, E., YAĞMUR, E., (2024). Kent Aydınlatması Kapsamında Yapı Yüzü Aydınlatmasına Yönelik İncelemeler, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.1-16, DOI: 10.56809/icutas.1460215**ÖZET**

Kentsel aydınlatma uygulamaları, kent yaşamının kesintisiz, güvenli ve konforlu devamını sağlayan işlevsel aydınlatmaların yanı sıra, kentin kimliğini doğru şekilde yansıtan ve kenti daha çekici hale getiren mimari aydınlatmalardan oluşmaktadır. Yapı yüzü aydınlatması, kent aydınlatması alanındaki önemli konulardan biridir ve bir binayı gece boyunca görünür kılmakla kalmayıp aynı zamanda binayı tanıtmak amacıyla da uygulanır. Özellikle kent için kültürel, tarihi ve simgesel değeri olan yapılar için, doğru şekilde aydınlatılmış bir yapı, değerini yansıtan etkili bir tanıtım aracı olmanın yanı sıra güvenlik önlemi olarak da hizmet eder. Çalışmanın ilk aşamasında kent aydınlatması kapsamında, yapı yüzü aydınlatması ve yapı yüzü aydınlatma teknikleri örneklerle incelenerek aktarılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Kadıköy için önemli yapılardan biri olan Süreyya Operası binası için inceleme yapılmış ve yapı yüzü aydınlatma teknikleri ile alternatif öneriler oluşturulmuştur. Oluşturulan yapı yüzü aydınlatma çalışmaları, hem tasarım teknikleri açısından hem de makale kapsamında hazırlanan ankette alternatif yapı yüzü aydınlatma tasarımlarının öznel olarak değerlendirilmesi amaçlanarak, beğenilere göre puanlanması istenilerek kullanıcı değerlendirilmesi sağlanmış ve en çok beğenilen öneriler sonuç bölümünde sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** kent aydınlatma, yapı yüzü aydınlatma teknikleri, Süreyya Operası binası.**FACADE LIGHTING REVIEWS WITHIN THE SCOPE OF URBAN LIGHTING  
ABSTRACT**

Urban lighting works consist of functional illuminations that ensure the continuous safe and comfortable continuation of urban life, as well as architectural illuminations that accurately reflect the identity of the city and make it more appealing. Illumination of building facades is one of the significant subjects in urban lighting, aimed not only at making a building visible throughout the night but also at promoting and introducing the building. Especially for buildings with cultural, historical, and symbolic significance to the city, appropriately illuminated structures serve not only as effective promotional tools reflecting their value but also as security measures. In the initial phase of the study, within the scope of urban lighting, the focus was narrowed down to building facade, and the techniques of building facade illumination were examined and conveyed with examples. The created facade lighting designs are aimed both in terms of design techniques and in the questionnaire prepared within the scope of the article, subjective evaluation of alternative structure face lighting designs. User evaluation was provided by asking to rate the designs according to the likes and the most appreciated suggestions were listed in the result section.

**Keywords:** urban lighting, facade lighting techniques, Sureyya Opera building.

Geliş/Received : 28.03.2024

Gözden Geçirme/Revised : 17.04.2024

Kabul/Accepted : 22.04.2024

## 1. GİRİŞ

Kentler, tarihi, kültürel, sosyal ve ekonomik katmanlara yönelik çeşitliliği içinde barındırırlar. Bu farklı katmanlar günümüze kadar devam etmiş ve tarih boyunca kent olgusunun evrimine katkıda bulunmuştur. Bu katmanlara örnek olarak; parklar, yollar, kültürel ve sosyal alanlar, meydanlar, tarihi yapılar, tarihi kalıntılar verilebilir. Bir kent, tarihi ve çağdaş zenginlikleri, önemli meydanları, yeşil alanları ve çeşitli kuruluşlarıyla bir değerler bütünüdür. Kentsel değerler, buldukları kentin kimliğini belirler. Kentsel aydınlatma, sistematik olarak ele alınıp, şehrin mevcut tarihi, kültürel ve doğal özelliklerini öne çıkararak görsel etkiye önemli bir katkı sağlayabilir. Aydınlatılan kent katmanları, kentin gece görüntüsünü daha etkili ve çekici hale getirmektedir. Bu katmanların aydınlatılmasının amacı, sadece görünür olmasını sağlamak değil, aynı zamanda mimari özelliklerin öne çıkmasını da sağlamaktır.

### 1.1 Amaç

Bu çalışmada; yapı yüzü aydınlatması hakkında literatür taraması yapılarak güncel bilgilerin elde edilmesi, konumu ve işlevi kentsel değeri açısından aydınlatılması gerekli yapılardan biri olan Süreyya Operası binası için yapı yüzü aydınlatma tasarım önerilerini yapı yüzü aydınlatma tekniklerini irdeleyerek geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu önerileri yapı yüzü aydınlatma kriterleri doğrultusunda ve öznel değerlendirmelerin yapıldığı bir anket ile örnek bir yapı yüzü aydınlatma tasarımı oluşturulması amaçlanmıştır.

### 1.2 Yöntem

Makale çalışması 4 aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle kent-aydınlatma kavramları ve kent aydınlatma uygulamaları aktarılmıştır. Kent aydınlatma, yeşil alanlar, yollar, yaya yolları, köprüler ve tüneller; kamu yapıları ve kamu alanları, kentin önemli yapıları, tarihi eserler ve anıtları kapsayan kent için simgesel değeri olan yapılar gibi pek çok kent öğesinin aydınlatılması uygulamalarını içermektedir. Bu uygulamalardan biri olan yapı yüzü aydınlatma tekniklerine yönelik teorik ve kavramsal bilgiler konulu literatür taraması yapılmış olup yapı yüzü aydınlatma tekniklerine yer verilmiştir. Bu teknikler doğrultusunda kentsel değeri olan Süreyya Operası binası için aydınlatma tasarım önerileri geliştirilmiştir. Bu öneriler geliştirilirken Photoshop ve IES viewer programları kullanılarak tasarımlar oluşturulmuştur. Uygulanan teknikler yapının mimarisi ile uyumluluğu açısından değerlendirilmiş olup ayrıca geliştirilen öneriler çalışma sonunda toplam 60 kişinin katıldığı bir anket çalışmasıyla kullanıcıların öznel değerlendirmelerine sunulmuştur. Kullanıcılara, alternatif yapı yüzü aydınlatmalarını beğenilerine göre 1 ile 5 arasında puanlama yapmaları istenilmiş ve oluşturulan önerilerden hangilerinin daha çok tercih ettikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. KENT AYDINLATMA

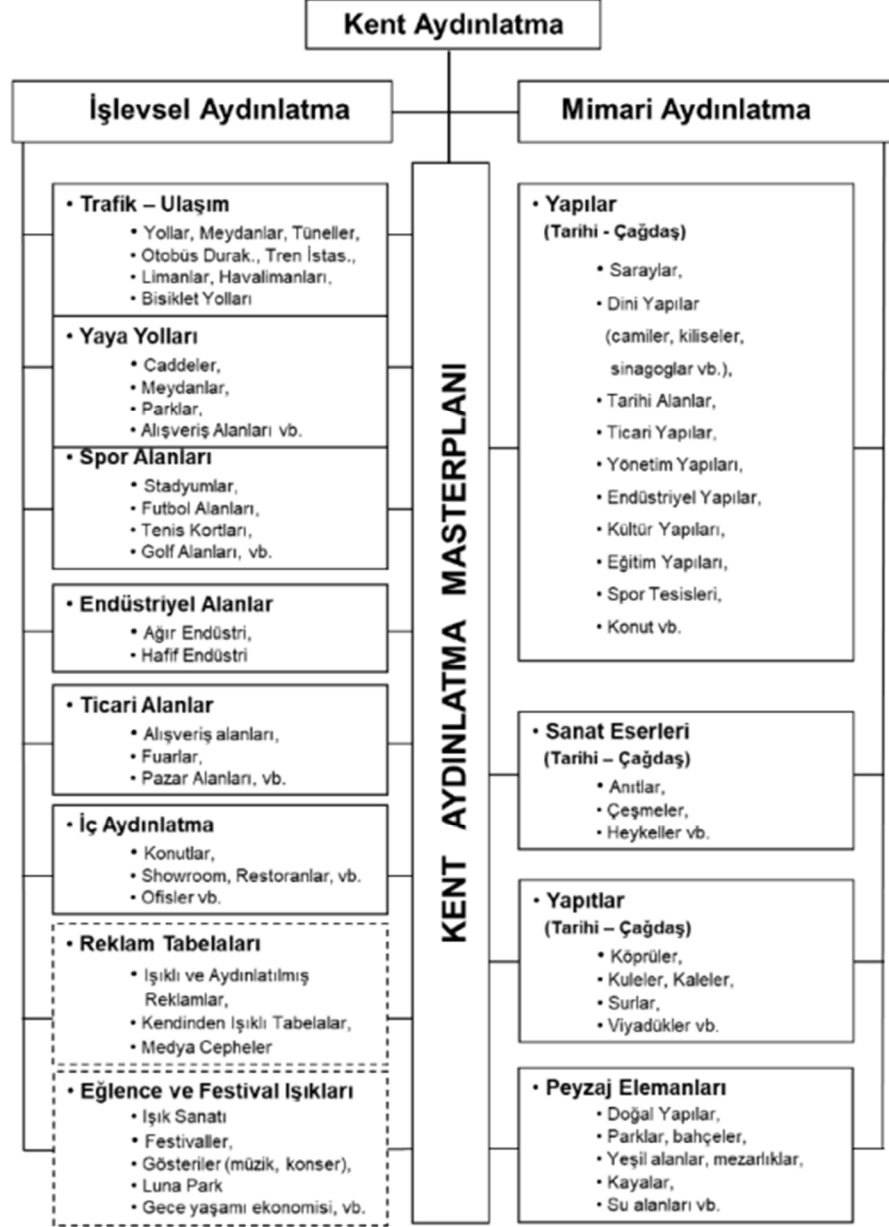
Kentler, günün farklı zamanlarında farklı dinamiklere sahip kompleks mekanizmalardır. Kent yaşamının sürekliliği için gerekli olan görsel konfor koşullarının sağlanması kent içinde önemli bir gerekliliktir. Gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda, kent yaşamının devamlılığı için yapay aydınlatma önem kazanmaktadır. Bu yapay aydınlatma uygulamaları, sadece işlevsel ve güvenlik için değil, aynı zamanda kent kimliğini yansıtmak, görsel olarak estetik kılmak ve tanıtmak için de gereklidir. Kent kimliği, yalnızca gündüz saatleriyle sınırlı kalmaz, aynı zamanda gece saatlerinde de algılanabilir olmalıdır.

Aydınlatmanın tanımı, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından, “nesnelere, bunların çevrelerine, ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine, görülebilmeleri için ışık uygulanması” olarak yapılmıştır (Sirel, 1997). Görme olayının etkili bir şekilde oluşması ve insanların fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarının karşılanması, başarılı bir aydınlatma tasarımının temel koşullarındandır. Aydınlatma, aydınlatılan ortamın koşullarına göre iç ve dış aydınlatma olmak üzere iki başlığa ayrılmaktadır. İç aydınlatma; kapalı mekânların aydınlatılması konularını, dış aydınlatma ise, kapalı mekânların dışında kalan alanların aydınlatılması konularını kapsamaktadır.

Göze giren ışığın doğurduğu duymusal izlerle dış çevredeki ayrıntıların algılanması yani görmenin gerçekleşmesini sağlayan aydınlatma uygulamaları, geceleri kent için önem kazanmaktadır (Sirel, 1997). Gün içinde doğal günışığı altında algılanan kentler, genellikle bir bütün olarak görülür. Bu bütün içinde, kentteki önemli yapıların algılanması, genellikle kentin dokusuyla ilişkilidir. Günışığının olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda, kent yaşamının devamı ve kentin algılanabilirliği, yapay aydınlatmaya bağlı hale gelir.

Kentsel aydınlatmanın bütüncül bir şekilde düşünülüp tüm kent değerlerinin ortaya çıkması için iyi bir kent analizi ve planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kapsamlı bir aydınlatma planı kent morfolojisinin, topoğrafyasının, kentsel

doku ve kimliğin, gece de anlamlandırılması kapsamlı bir aydınlatma master planı ile sağlanmaktadır (Brandt&Geissmar, 2007). Aydınlatma master planı kentin aydınlatılmasıyla alakalı olan konuları ve temel kararları içerir. Kentin detaylı analiz edilmesi kente dair potansiyellerin aydınlatılarak gece görünümünde de ortaya çıkarılması hedefiyle yapılmaktadır (Şerefhanoglu Sözen, 2005). Şekil 2,1’de aydınlatma master planındaki aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kent Aydınlatma Masterplanı Aşamaları (Şerefhanoglu, M. S., Bostancı, T. B. 2019)

## 2.1 İşlevsel Aydınlatma Uygulamaları

İşlevsel aydınlatma, kent ölçeğindeki aydınlatma teknik konularının hakim olduğu aydınlatma çeşididir (Özkaya, Tüfekçi, 2011). Gün ışığının yeterli olmadığı durumlarda, işlevsel aydınlatma kentleri daha yaşanabilir hale getirirken aynı zamanda insanların ulaşım, zorunlu eylemler ve spor etkinliklerini güvenli ve rahat bir ortamda gerçekleştirmelerine olanak sağlar. Araç ve yaya trafik yolları, otoparklar, tüneller, alt geçitler ve köprüler, demiryolları, havaalanları, açık spor alanları, ticari alanlar ve sanayi alanları gibi alanların aydınlatılması işlevsel aydınlatma konu başlığının altında toplanmaktadır (Özkaya, Tüfekçi, 2011). Şekil 2.2’de işlevsel aydınlatmanın kullanıldığı örnekler verilmiştir. Yapılacak aydınlatmanın belirli bir işlevi yerine getirmesi için gereken konfor koşullarını sağlamak işlevsel aydınlatmanın temel amacıdır.



Şekil 2.2 İşlevsel kent aydınlatma örnekleri, (Philips Outdoor Lighting, 2014, aydinlatma.org)

## 2.2 Mimari Aydınlatma Uygulamaları

Mimari kent aydınlatma uygulamaları, gün ışığı altında açıkça sergilenemeyen kent imgesi imajı, aydınlatma ile ortaya konarak akılda kalıcılık sağlar. Bu, kent kimliğinin sergilenmesini, sosyal, kültürel, sanatsal ve ticari ilişkilerin sağlanmasını ya da yaygınlaştırılmasını, yerli ve yabancı turistler için kentin çekici kılınmasını amaçlar. Bu bağlamda, kentteki mimari ve sanatsal değerleri olan önemli yapıtların, tarihi kalıntıların, parklar, bahçeler, yaya mekanları gibi alanların ve çeşitli açık hava etkinliklerinin yapıldığı yerlerin aydınlatılması olarak tanımlanmaktadır. (Şerefhanoglu Sözen, 2005). Geceleri de kentin etkin bir biçimde kullanımını sağlayan bu aydınlatma uygulamaları:

- Yapı Yüzü Aydınlatması
- Park ve Bahçe Aydınlatması
- Plastik Öge Aydınlatması
- Meydan Aydınlatması

olarak sıralanmaktadır. Bu çalışma kapsamında “Yapı Yüzü Aydınlatması” başlığı detaylandırılmaktadır.

## 3. YAPI YÜZÜ AYDINLATMASI

Mimari aydınlatmanın bir alt başlığı olan yapı yüzü aydınlatması; sosyal, kültürel, çağdaş, tarihi birçok özelliğe sahip önemli yapıların dış cephelerine, yerli ve yabancı kullanıcılar için gece etkili bir görüntü sağlamak amacıyla uygulanan aydınlatma olarak tanımlanmaktadır (Şerefhanoglu, 1991).

### 3.1 Yapı Yüzü Aydınlatma Tasarımı

Mimari aydınlatma uygulamalarının alt başlıklarından biri olan yapı yüzü aydınlatması, yapıların mimari ve işlevsel özelliklerini öne çıkaran ve bunların gece görünürlüğünü sağlayarak kentin çekiciliğini arttıran aydınlatma uygulamaları olarak tanımlanmaktadır (Şerefhanoglu, 1991). Günün aydınlık saatlerinde kentteki tüm yapıların biçimleri algılanabilirken, akşam saatlerinde binalar sadece aydınlatıldıklarında kent içinde görünür hale gelir. Yapı yüzü aydınlatmasındaki temel amaçlar;

- Yapıların daha çekici görünmesini sağlamak,
- Yapıların mimari formlarını öne çıkararak vurgulamak,
- Yapıların güvenliklerini sağlayarak geceleri açık alanların kalitesini artırmak,
- Gece zamanına yönelik yaşam saatlerini artırmak ve olarak ekonomiye potansiyel katkıda bulunmak,

olarak sıralayabiliriz. Yapı yüzü aydınlatma tasarımı bu amaçlara yönelik olarak, literatürdeki yapı yüzü aydınlatma teknikleri göz önüne alınarak ele alınmalıdır. Yapı yüzü aydınlatması hem işlevsel hem de estetik

görünüme katkı sağlayarak, enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasına ve ışık kirliliğinin önlenmesine dikkat edilerek tasarlanmalıdır. Yapı yüzü aydınlatma tasarımı; çevresel faktörler ve kullanıcı ihtiyaçları gibi unsurlar, aynı zamanda yapının dış cephe malzemesi ve rengi, mimari formu, süslemeleri, yüksekliği, çatı biçimlenişi gibi özellikler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

### 3.2 Yapı Yüzü Aydınlatma Teknikleri

Şehir içinde çeşitli mimari özelliklere sahip bina cephelerinin aydınlatılmasında istenen etkiyi elde etmek için birçok teknik kullanılmaktadır. Bu teknikler;

- Uzaktan aydınlatma
- Yakından aydınlatma / duvar sıyırma tekniği
- Vurgu aydınlatması
- Silüet aydınlatması
- Kapalı mekanların aydınlatılması/ geçen ışıklılık tekniği
- Kontur aydınlatması
- Medya cephe teknikleri

olarak sıralanmaktadır (Çam Gün, Öztürk, 2015; Ünver, 2017, CIE, 1993; IES, 2011; IES, 2014;).

Belirtilen yapı yüzü aydınlatma teknikleri statik (durağan) ya da dinamik (hareketli) karaktere sahip olacak şekilde tasarımıyla bütünleştirilebilir. Statik aydınlatmada ışık rengi, yapı yüzündeki aydınlık düzeyi dağılımı ve ışıklılık karşıtlıkları zaman içerisinde değişiklik göstermeyen aydınlatma tasarımıdır. Dinamik aydınlatmada ise ışık rengi, yapı yüzündeki ışıklılık karşıtlıkları ve aydınlık düzeyi dağılımı zaman içerisinde istenilen etkiye göre değişiklik gösteren aydınlatma tasarımıdır (Ünver, 2017).

#### Uzaktan Aydınlatma Tekniği

Uluslararası Aydınlatma Sözlüğü'nde ışıklandırmanın tanımı 'bir nesnenin ya da bir görünümün, çevresine göre ışıklılığını güçlü bir biçimde artırmak üzere, çoğu kez projektörler ile yapılan aydınlatma' olarak yapılmıştır. "The Society of Light and Lighting" başlıklı kitapta, ışıklandırma projektörünün yapı yüzünde kullanılmasıyla ilgili "büyük bir yüzeyi ışık ile yıkamak ya da bir yapının belirli bir özelliğini vurgulayarak ortaya çıkarmak" şeklinde anlatım yapılmaktadır (The Society of Light and Lighting, 2009). Uzaktan aydınlatma tekniği, aydınlatma aygıtları yapı yüzeyinden uzağa yerleştirilerek uygulanmaktadır (CIE, 1993). Aydınlatma aygıtının konumunu belirlemek için, yapının en belirgin ve dikkat çekici görüneceği ana bakış doğrultusu, mimari özellikler, vurgulanmak istenen unsurlar ve yapıya bakış uzaklığı gibi kriterler göz önünde bulundurulur (Şekil 3.1).

#### Yakından Aydınlatma / Duvar Sıyırma Tekniği

Bakış doğrultusu ve bakış uzaklığı gibi kriterlere göre, yakından aydınlatmada aygıtlar, yapı yüzeyine yakın bir konuma yerleştirilerek cephe dokusundaki derinlikler ve üç boyutluluk vurgulanır (Şekil 3.1 ve 3.2). Yüzeydeki dokuyu vurgulayan ışık, küçük çıkıntıların gölgesini yapı yüzeyine düşürerek bu etkiyi sağlar (Ünver, 2017).



Şekil 3.1 Uzaktan ve yakından aydınlatma çalışma tekniği (Çam Gün, 2015)



**Şekil 3.2** Duvar sıyrma tekniği ile aydınlatılan yapılara bir örnek: Hotel Bristol, Polonya (wiprolighting.com)

### **Vurgu Aydınlatması Tekniği**

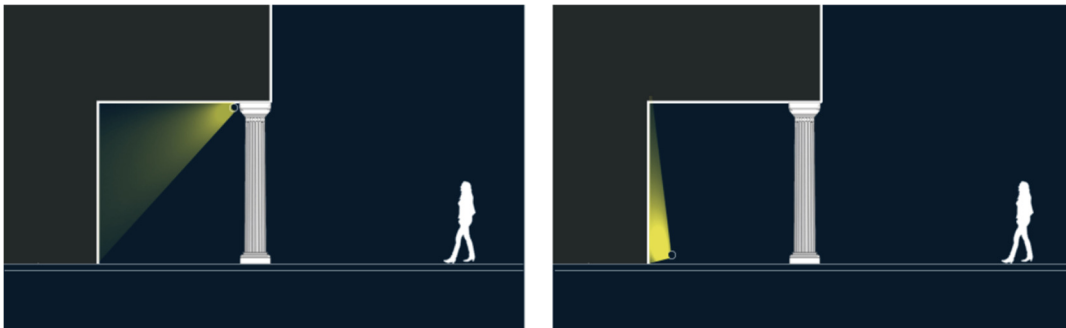
Yapıda öne çıkarılmak istenilen detayların daha belirgin bir şekilde vurgulanarak aydınlatıldığı tekniktir (Şekil 3.3). Aydınlatma tasarımına göre aygıtlar; yapı yüzüne, direklere veya zemine yerleştirilebilir (Ünver, 2017). Tarihi camilerde sütunlar, minareler, kubbeler gibi yapı öğeleri vurgu aydınlatması ile aydınlatılabilmektedir. Vurgu aydınlatması tekniği, ışıklandırma tekniğiyle benzer özellik göstermektedir. Vurgu aydınlatmasında, aydınlatılması amaçlanan yüzey alanları genelde daha küçük olduğundan, diğer yapı yüzü aydınlatma tekniklerine göre daha düşük güçte aydınlatma aygıtları ile uygulanabilir.



**Şekil 3.3** Vurgu aydınlatması tekniğine bir örnek: Cuyahoga County Court House (cleveland.com)

### **Silüet Aydınlatması Tekniği**

Yapı yüzeyi karanlıkta bırakılarak yapının silüetini ortaya çıkaracak şekilde aydınlatma tasarımı yapılması olarak tanımlanmıştır (CIE, 1993). Ana öğenin aydınlatılmadığı bu teknikte arka plan aydınlatılarak uygulama yapılmasıdır (Şekil 3.4 ve 3.5) (Ok, 2022)



**Şekil. 3.4** Silüet aydınlatma arka planın aydınlatılması gösterimi (Çam Gün, 2015)



Şekil. 3.5 Silüet aydınlatmasına bir örnek: Blenheim Sarayı (dpalighting.com)

### **Kapalı Mekânların Aydınlatılması / Geçen Işıklılık Tekniği**

Kapalı mekânların aydınlatılması/ geçen ışıklılık tekniği, iç mekan aydınlatılarak yapının görünür hale getirilmesi tekniğidir (Ünver, 2017). Yapının pencereleri ve diğer açıklıkları kullanılarak iç aydınlatmanın dış mekandan algılanmasıdır (Şekil 3.6).



Şekil. 3.6 Geçen ışıklılık tekniğine bir örnek Art Gallery, Almanya (erco.com)

### **Kontur Aydınlatması Tekniği**

Bir yapının formundaki hatların ışık kullanılarak vurgulanması, kontur aydınlatma tekniği olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.7), (CIE, 1993).



Şekil. 3.7 Kontur aydınlatma tekniği örneği: Double Tree by Hilton Hotel, İstanbul (charmingled.net)

### **Medya Cephe Aydınlatması Tekniği**

Medya cephe tekniği, yapı yüzünde görsel ve işitsel medya araçlarının kullanılmasıyla oluşturulan bir aydınlatma tekniğidir. (Şekil 3.8). Bu aydınlatma tekniği yalnızca dinamik aydınlatma özelliği taşımaktadır.





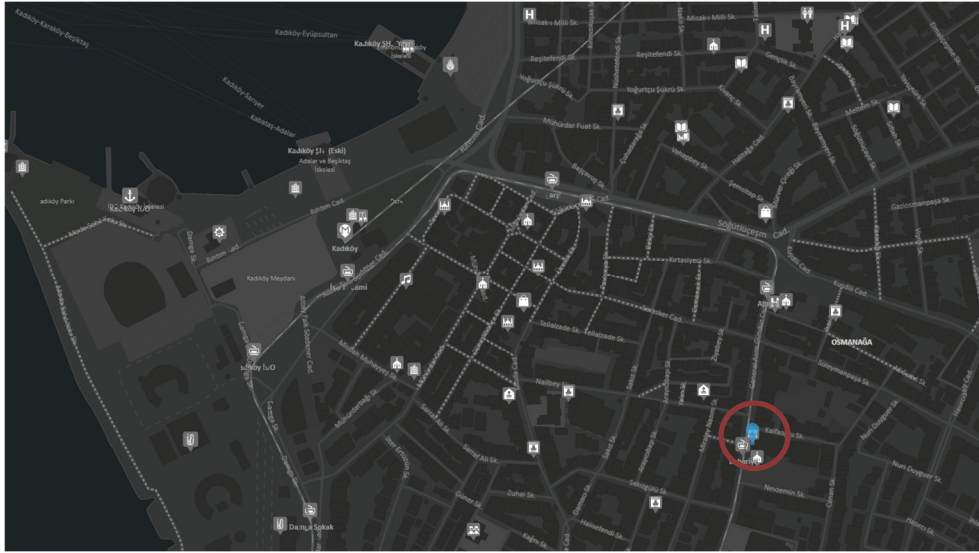
Şekil. 3.8 Medya cephe tekniğine bir örnek (mgbarahona.wordpress.com)

#### 4. YAPI YÜZÜ AYDINLATMA TEKNİKLERİNİN ÖRNEKLEM ÜZERİNDEN İNCELENMESİ ve UYGULANMASI

Çalışmanın bu bölümünde, mevcut bir yapı üzerinden alternatif yapı yüzü aydınlatma önerilerinde bulunulmuştur. Alternatif aydınlatma tasarımı oluşturmak üzere Kadıköy’de bulunan, Tarihi ve kültürel değeri olan “Süreyya Operası” binası ele alınmıştır.

Süreyya opera binası 1924 yılında, Süreyya İlmen tarafından, sanat şehri olması hedeflenen İstanbul’da, kültürel ve sanatsal ihtiyaçları karşılayacak bir eser olarak yaptırılmıştır (Akbaş, 2022). İstanbul’un Anadolu yakasındaki birinci opera binası olarak sanatseverlere kapılarını açan Süreyya operası tarihi bakımından 100 yıllık bir serüvene sahiptir (Akbaş, 2022).

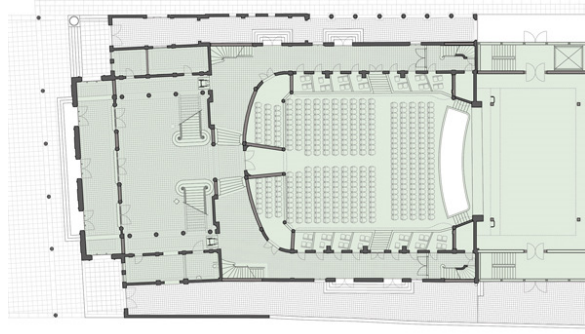
Süreyya Opera binası, İstanbul’un Kadıköy ilçesinde Bahariye Caddesi üzerinde bulunmaktadır. Süreyya Operası, Kadıköy için buluşma noktası niteliğine sahiptir. Ayrıca, Kadıköy’ün önemli bölgelerinden biri olan Bahariye Caddesi, tarihi dokulara da ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil. 4.1 Süreyya Operasının konumu (sehirharitasi.ibb.gov.tr)

##### 4.1 Süreyya Operası’nın Mimari Özellikleri

Binanın yapısal ve iç mekân tasarımında Avrupa’dan esinlenmeler görülmektedir. Binanın yapısında, merdiven alanları, girişler ve genel yapı strüktürü gibi unsurlarda belirgin bir Avrupa etkisi görülmektedir (Şekil 4.2), (Katoğlu, 2007; Akbaş, Salbacak, 2022).



Şekil. 4.2 Süreyya Operasının planı (cba-ist.com)

1927-2005 yılları arasında Süreyya Operası binasında sinema faaliyetleri devam etmiştir. Asıl amacı opera sanatını geliştirmek olan opera binası istediğini gerçekleştirememiştir. Süreyya operasının gelişimi için vakıfta olan binanın belediyeye kiralanmasını sağlamıştır. Yıllarca Süreyya sineması olarak anılan ve kullanılan bu yapı için değiştirilme adımları atılmıştır. Süreyya İlmen'in gerçekleştirmek istese de başarılı olamayan sahne işlevini opera sanatını uygun hale getirilmesi için orkestra alanı, ses, akustik, mekân içi ışıklandırma, sanatçı odaları gibi eksiklikler giderilmiştir. Süreyya Operası binası 2007 yılında restore edilerek sanatseverlerle buluşmuştur. Kültürel kimlik açısından önemli bir eser ortaya çıkarılmıştır (Şekil 4.3) (Akbaş, Salbacak, 2022).



Şekil. 4.3 Süreyya Operasının restorasyon öncesi ve sonrası (Akbaş, 2022)

#### 4.2. Süreyya Operası'nın Mevcut Yapı Yüzü Aydınlatma Düzeninin İncelenmesi

Kadıköy'ün en önemli noktalarından biri olan Bahariye Caddesinde bulunan Süreyya Operası, Kadıköy için simgesel bir değer taşımaktadır. Işık renk sıcaklığı (Kelvin) değerlerinin farklı olduğu ışık kaynaklarının kullanılması ile dinamik bir aydınlatma tasarımı görülmektedir (Şekil 4.3).



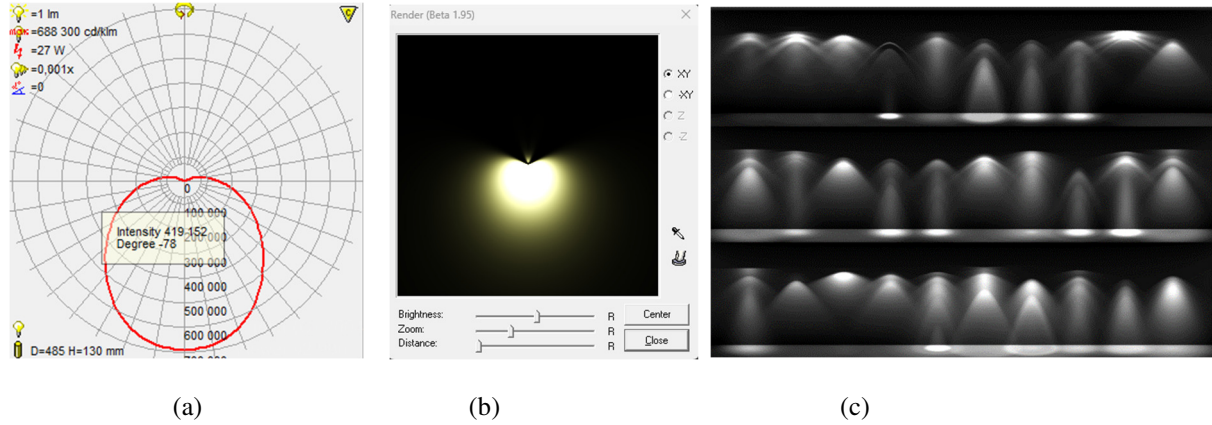
Şekil. 4.3 Süreyya Operası'nın yapı yüzü aydınlatması (gazetekadikoy.com.tr, haberturk.com)

Şekil 4.3'te gördüğümüz aydınlatma düzeninde birden fazla tekniğin birleştirilerek kullanıldığını görmekteyiz. Yapı yüzünde bulunan motiflere odaklanan "Vurgu Aydınlatması" düzenini görürken yapının cephesinde yukarılara doğru bakıldıkça "Kontur Aydınlatması" tekniğinin kullanıldığını görmekteyiz. Yapının kapalı çıkma yaptığı alan dışında kalan bölgelerde ise pencerelere ışık verildiğini görmekteyiz. Birden fazla tekniği

harmanlayarak kullanıldığı bu düzen yerine alternatif yapı yüzü aydınlatma tasarımlarının etkilerini incelemek üzere yapı yüzü aydınlatma teknikleri Süreyya Operası binası için uygulanmıştır.

### 4.3. Çalışma Kapsamında Yapılan Görselleştirmeler

Görselleştirmeler için Photoshop programı kullanılarak, Süreyya Operası yapısının öncelikle gündüz çekilen fotoğrafının üzerinden karşıtlık, açıklık, koyuluk gibi değerleri düzenlenerek gece görüntüsü verilmeye çalışılmıştır. Sonrasında, gece görünümü verilen fotoğrafa ışık etkileri eklenmiştir. Bu efektlerin eklenmesinde, aydınlatma aygıtlarının ışık yeğinlik dağılımını gösteren .ies (ya da .ldt) dosyaları, IES viewer 299n programıyla iki boyutlu .jpg dosyası kullanılmıştır (Şekil 4.4). Örnek ışık yeğinlik dağılımına ilişkin .ies dosyası Şekil 4.4 (a) ile bu dosyanın .jpg dosyasına render komutu ile dönüştürüldüğü hali Şekil 4.4 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Bir aygıt ışık yeğinlik dağılımına ilişkin IES ve JPEG dosyaları (biofreear.live)

IES dosyadan render işlemi yapılarak elde edilen .jpg görüntüsünün ışıklı alanı siyah renkli arka planından ayrıştırılarak fotoğraf üzerine işlenebilmekte ve ışık etkisi sağlanabilmektedir. Belirtilen yol ile çeşitli IES dosyalardan elde edilmiş .jpg görüntüleri Şekil 4.4 (c)'de gösterilmiştir. Aydınlatma tasarımında uygulanacak tekniğe göre istenilen etkiyi verecek .jpg dosya verilen örnekler arasından seçilebilir kullanılabilmesi gibi belli bir aygıtta ait .ies dosya da IES viewer programı ile kolaylıkla oluşturulmaktadır. Elde edilen JPG dosyasındaki ışık etkisi hiç değiştirilmeden kullanılabilmesi gibi, bu ışık etkisinin rengi, ışıklılığı, boyutu amaca uygun olarak da değiştirilebilmektedir (Çam Gün, Öztürk, 2015)

### 4.4. Yapı Yüzü Aydınlatma Tekniklerinin Örneklem Üzerinden Uygulanması

#### Duvar Sıyırma Tekniği

Bu örnekte yapının düşey elemanları aydınlatılarak duvar sıyırma tekniği uygulanmıştır. Bu aydınlatma tekniğinde, ışık renk sıcaklığı 5000 K olan beyaz ışık kullanılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Beyaz ışık ile duvar sıyırma tekniği

### **Vurgu Aydınlatması Tekniği**

Bu örnekte yapı yüzünün aydınlatması vurgu aydınlatması tekniği ve duvar sıyrma tekniği kullanılarak görselleştirilmiştir. Yapının cephesinde bulunan motiflere beyaz ve mavi ışık rengi kullanılarak vurgu aydınlatması yapılmıştır (Şekil 5.2). Yapı yüzünün sadece vurgu aydınlatması ile yeterli görünürlük etkisinin verilemediği görülerek, yan ve alt duvarlar duvar sıyrma tekniği kullanılarak da aydınlatılmıştır.



Şekil 5.2 Vurgu aydınlatması tekniği

### **Kapalı Mekanların Aydınlatılması / Geçen Işıklılık Tekniği**

İç mekan aydınlatılarak yapının görünür hale getirilmesi amaçlanarak, pencere açıklıkları aracılığı ile iç aydınlatmanın dış mekandan algılanması sağlanmıştır (Şekil 5.3).



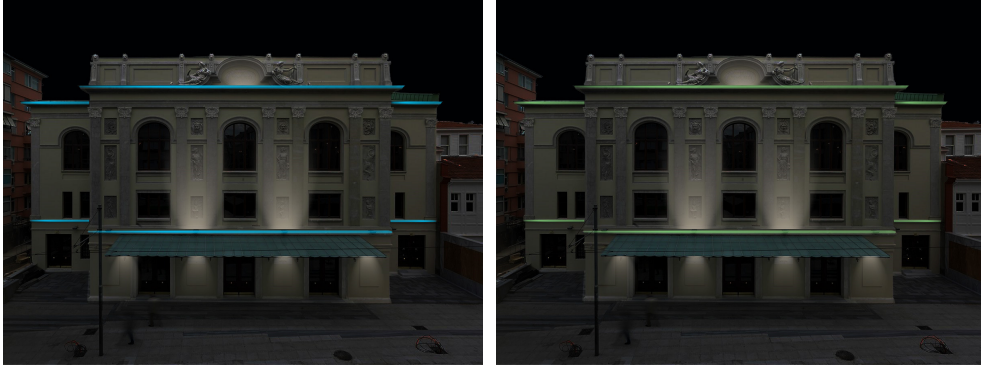
Şekil 5.3 Geçen ışıklılık tekniği uygulaması

### **Kontur Aydınlatma Tekniği**

Bu alternatif yapı yüzü aydınlatma çalışmasında yapının kendi formunda olan kat silmelerinde kontur aydınlatma tekniği kullanılarak yatayda aydınlatma sağlanırken, giriş bölümünde ise vurgu aydınlatması tekniği kullanılmıştır. Kontur aydınlatması, statik ve dinamik olarak düşünölmüştür. Statik aydınlatmada beyaz ve renkli ışıklar kullanılmış (Şekil 5.4), dinamik aydınlatma ise renkli ışıkların değişmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 5.5).



Şekil 5.4 Kontur aydınlatma tekniği uygulaması



Şekil 5.5 Kontur aydınlatma tekniğinin renkli ışıklarla uygulanması

### Uzaktan Aydınlatma Tekniği

Bu alternatifte yapının tamamı ışıklandırma tekniği olarak aydınlatılmıştır. Bu aydınlatma tasarımında renk sıcaklığı 3500 K olan beyaz ışık kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Uzaktan aydınlatma tekniği uygulaması

## 5. YAPI YÜZÜ AYDINLATMA TASARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ANKET UYGULAMASI

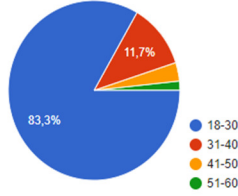
Yapılan anketlerle dördüncü bölümde sunulan alternatif yapı yüzü aydınlatma tasarımlarının öznel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Makale kapsamında yapılan anket çalışması, minimal düzeyde sorularla katılımcıların en çok puanı hangi tasarımı beğeneceklerini görmek amacıyla uygulanmıştır. 60 kişinin katıldığı ankette, Öncelikle değerlendirmenin sonucunu hangi yaş grubu ve eğitim seviyesindeki kitleye hitap ettiğini belirleyebilmek için

- Yaş aralığı
- Eğitim durumu

Soruları sorulmuştur. Sonrasında Süreyya Operası binası için çalışılan tekniklerin öznel beğenilere göre, en beğenilen 5 olacak biçimde, 1 ile 5 arasında puanlanması istenmiştir. Katılımcıların %83,3 oranında 18-30 yaş aralığında bulunmaktadır. Katılımcıların %58,3'ü üniversitelerin ön lisans veya lisans bölümlerinden, %33,3'ü yüksek lisans eğitim durumlarına sahiptir. Puanlanan tekniklerin anket soru ve sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir:

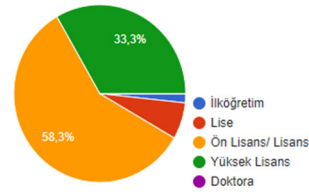
1)

Yaş Aralığınız  
60 yanıt



2)

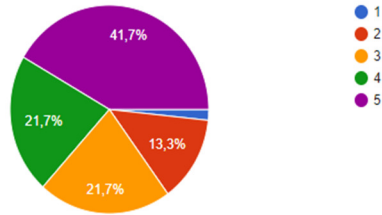
Eğitim Durumu  
60 yanıt



### 3) Duvar Sıyırma Tekniği

Yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin beğeninizi 1 ile 5 arasındaki bir sayı ile belirtiniz.

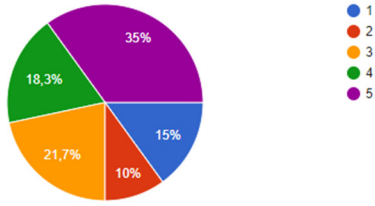
60 yanıt



### 4) Vurgu Aydınlatması Tekniği

Yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin beğeninizi 1 ile 5 arasındaki bir sayı ile belirtiniz.

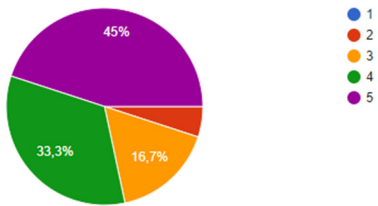
60 yanıt



### 5) Kapalı Mekanların Aydınlatılması / Geçen Işıklılık Tekniği

Yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin beğeninizi 1 ile 5 arasındaki bir sayı ile belirtiniz.

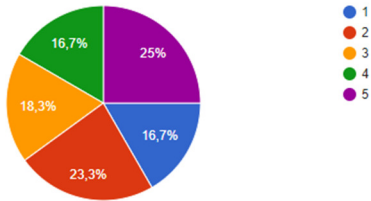
60 yanıt



### 6) Kontur Aydınlatma Tekniği

Yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin beğeninizi 1 ile 5 arasındaki bir sayı ile belirtiniz.

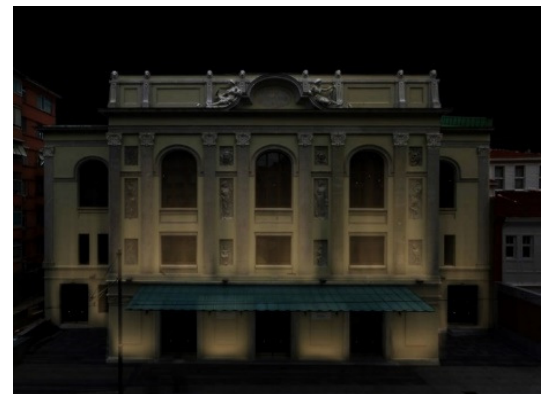
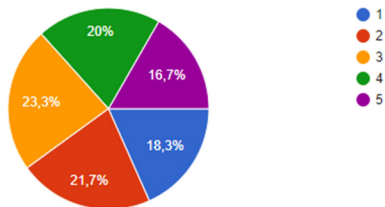
60 yanıt



### 7) Uzaktan Aydınlatma Tekniği

Yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin beğeninizi 1 ile 5 arasındaki bir sayı ile belirtiniz.

60 yanıt



Öznel beğenilere göre 60 kişinin katıldığı, eğitim seviyesi ön lisans / lisans ağırlıklı olduğu, 18-30 yaş aralığındaki genç kesimin çoğunlukta olduğu puanlamada %45 oranında “Geçen Işıklılık Tekniği” uygulamasının diğer yapı yüzü aydınlatmasına çalışmalarına göre daha çok beğenildiği belirlenmiştir. Geçen ışıklılık tekniğini “Duvar Sıyırma Tekniği” ve “Vurgu Aydınlatması Tekniği” en çok beğenilen tasarımlar olarak takip etmektedir. En az beğeni alan çalışma ise “Uzaktan Aydınlatma Tekniği” çalışması olmuştur. Bu üç teknikte puanlama sonuçları arasındaki farklarla ne derecede beğenildiği net bir şekilde okunmaktadır fakat “Kontur Aydınlatma Tekniği” ve “Uzaktan Aydınlatma Tekniğinin” puanlama sonuçlarına baktığımızda 1-5 arası puanlamalarda birbirine yakın değerler ortaya çıktığını dolayısıyla katılımcıların bu çalışmalar için kararsızlık içinde oldukları şeklinde yorumlanmıştır.

## 6. SONUÇ

Kadıköy, Bahariye caddesinde bulunan Süreyya Operası binasının, Bahariye Caddesinin hareketliliğinin yanı sıra gece saatlerinde güvenlik önlemini ve Kadıköy’deki simgesel değerini artırmak, ayrıca görsel olarak daha çekici hale getirmek amacıyla yapı yüzü aydınlatma tasarımına yönelik model üzerinde uygulamalar denenmiştir. Sunulan öneriler, kent aydınlatması kapsamında yapı yüzü aydınlatmasına yönelik yapılan incelemeler ve yapı yüzü aydınlatma teknikleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Uygulanan her bir aydınlatma tekniği yapının mimari özellikleri göz önünde bulundurularak yapı formuna uygun bir şekilde çalışılmıştır. Yapının düşey elemanlarını ön plana çıkarmak için “Duvar Sıyırma Tekniği” kullanılmıştır. Yapı yüzündeki motif ve süslemelerin ön plana çıkarılması ve süslemeleri vurgulamak amacıyla “Vurgu Aydınlatması Tekniği” kullanılmıştır. “Kapalı Mekanların Aydınlatılması / Geçen Işıklılık Tekniği” tekniği kullanılarak pencere ve kapı gibi açıklıkların formları belirginleştirilmiştir. Kat silmelerinin vurgulanması amacıyla yatay olarak “Kontur Aydınlatma Tekniği” kullanılmıştır. Kat yüksekliğinden dolayı yapının daha belirgin aydınlatılması için “Duvar Sıyırma Tekniği” ile “Kontur Aydınlatma Tekniği” beraber uygulanmıştır. Son olarak “Uzaktan Aydınlatma Tekniği” ile yapı yüzü aydınlatması çalışması tamamlanmıştır. Bu çalışmalar yapılırken ele alınan yapının mimari özellikleri aydınlatma teknikleri ile bütün düşünülmüş olup doğru yapı yüzü aydınlatma tasarımı yapılması konusunda altlık olmuştur.

Uygulanan bu teknikler doğrultusunda, Kadıköy için simgesel bir değer taşıması nedeniyle Süreyya Operası binasının mimari özellikleri, sanatsal ve kültürel değerinin vurgulanması, cadde silüetini zenginleştirilmesi ve mimari formunun ön plana çıkarılması için, öznel anket değerlendirmelerinin sonucuna bağlı olarak;

- duvar sıyırma tekniği,
- geçen ışıklılık tekniği

Önerilebilir. Mimari açıdan açıklayacak olursak; yapı yüzünde bulunan düşey elemanların vurgulanması veya geçen ışıklılık tekniği ile yapı açıklıklarının vurgulanması mimari tasarımın daha çekici durmasını sağlanması amacıyla ve yapının kent aydınlatması açısından ve mimari özelliklerini de vurgulamak açısından bu tasarımları önerilebilir. Çünkü Kadıköy’ün sokak dokusu içerisinde var olan yapı, mimarisine uygun aydınlatma tasarımı ile öncelikli olarak mimari formlarının görsel olarak daha çekici olmasını, sonrasında semtin gece hayatının daha etkin olmasını ve dolayısıyla yapının güvenliğini sağlayarak mevcut çevrenin kalitesini artırmaya yönelik katkı sağlayacaktır.

Yapılan anket çalışması sonucunda ise

- duvar sıyırma tekniği,
- geçen ışıklılık tekniği
- vurgu aydınlatması tekniği

Kullanılan tasarımların en çok beğeni alan tasarımlar olduğu 5. Bölümde aktarılmıştır. Öznel olan değerlendirmelerde görsel açıdan değerlendirildiği için mimarının daha çekici ve etkili görüldüğü yapı yüzü aydınlatma tasarımları şeklinde yorumlanmıştır.

Gelecekte İstanbul aydınlatma masterplanı çalışmalarına bağlı olarak, Süreyya Operası binasına yönelik çalışılan yapı yüzü aydınlatmasına ilişkin önerilerin, masterplan kapsamında tekrar değerlendirilmesi uygun olacaktır. Bu kapsamda, İstanbul’un Kadıköy ilçesinde önemli bir konuma ve değere sahip olan tüm yapıların bütüncül olarak değerlendirilmesi ve çevreyle olan etkileşimlerinin göz önünde bulundurulması önemlidir.



**KAYNAKLAR**

Akbaş, E.(2022)., Operanın Tarihsel Gelişimi ve Osmanlı Dönemi'nden Cumhuriyet Dönemi'ne Opera Yapıları: Süreyya Operası Örneği, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, LEE, YL. Tezi, İstanbul

Ok H , Kutlu R, (2022). Balat Sementi İçin Bir Aydınlatma Tasarım Önerisi, İstanbul Kültür Üniversitesi, LEÜ, YL. Tezi, İstanbul.

Brandi, Ulrike; Geissmar-Brandi Christoph. (2007). "Light for Cities, Lighting Design for Urban Spaces A Handbook".

Bostancı Başkan, M. T., & Şerefhanoglu Sözen M., (2019). *Kentsel Mimari Aydınlatmalarda Yaşayan Etki ve Enerji Kullanımı* . ATMK 12.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul.

Çam Gün S, Öztürk L , (2015). Yapı Yüzü Aydınlatma Teknikleri ve Uygulama Örnekleri, VIII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.

Çam Gün S, Öztürk L, (2015). Led Temelli Yapı Yüzü Aydınlatmalarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, YL. Tezi, İstanbul.

Highlighting South Bethelam, (2002). Architectural Lighting Master Plan.

IESNA. (2011). The Lighting Handbook Tenth Edition: Reference and Application. Illuminating Engineering of North America, United States of America

IES. (2014). Lighting for Exterior Environments, Illuminating Engineering of North America, United States of America

Katoğlu, M, (2007). Kadıköy Belediyesi Süreyya Opera Binası. Ofset Yayınevi, İstanbul

Özkaya, Muzaffer., Tüfekçi, Turgut. (2011). Aydınlatma Tekniği. Birsen Yayınevi, İstanbul

Öztürk, L, (1992). Kent Aydınlatma İlkeleri. İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Baskı İşbirliği, İstanbul.

Philips, Outdoor Lighting. "Create the Livable City". 2014

Sirel, Ş, (1997). Aydınlatma Sözlüğü. YEM Yayın (Yapı Endüstri Merkezi Yayınları), İstanbul.

Şerefhanoglu, M. (1991), Kentsel Tasarımda Aydınlatmanın Rolü, 1. Kentsel Tasarım ve Uygulamaları Sempozyumu, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul, 23-24 Mayıs.

Şerefhanoglu Sözen, M. (2005). Kent Güzelleştirme ve Aydınlatma Master Planı, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Ankara

The Society of Light and Lighting, (2009). The SLL Lighting Handbook, London.

Ünver, R. (2017). Bölüm 3.2 Aydınlatma. İstanbul Kentsel Tasarım Rehberi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.

**TEŞEKKÜR ve BEYANLAR / ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS**

"1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır." "Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır."

**Not:** Bu makale, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Fiziği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Doç.Dr.Şensin Yağmur danışmanlığında, Elif Polat tarafından yürütülen, "Yapı Yüzü Aydınlatma Kriterlerinin İstanbul'da Bulunan Yapı Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Derleme Makalesi

## ÇİZGE ÖĞRENMEDE ÇİZGE SINIR AĞLARI

**Hamza Talha GÜMÜŞ<sup>†</sup>, Can EYÜPOĞLU<sup>††</sup>**<sup>†</sup> Milli Savunma Üniversitesi, Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye**hamzatalhagumus@gmail.com, caneyupoglu@gmail.com**

0000-0001-7360-8138, 0000-0002-6133-8617

**Atıf/Citation:** GÜMÜŞ, H.T., EYÜPOĞLU, C., (2024). Çizge Öğrenmede Çizge Sinir Ağları, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.17-56, DOI: 10.56809/icujtas.1442504

### ÖZET

Sinir ağları, alt alanlarında geniş bir aileyi sahiptir. Sinir ağlarının kendi içerisinde karşılaştığı kısıtlar ve limitler gelişimini olumlu yönde etkilemiş ve yeni sinir ağı modellerinin oluşmasını sağlamıştır. Bunun en büyük örneği bazı üç boyutlu verilerde yüksek başarı sergilemeyen evrişimli sinir ağı (Convolutional Neural Network-CNN) modellerine ek olarak çizge sinir ağı (Graph Neural Network-GNN) modellerinin geliştirilmesi olmuştur. Bir derin öğrenme modeli olan GNN, temelde çizge öğrenmeyi kullanmaktadır. GNN'ler bir nevi çizge derin öğrenmedir. Ancak bilinmelidir ki GNN'ler sinir ağları ailesinin bir üyesi olduğu gibi çizge öğrenmenin de alt modellerinden birisidir. Bu çalışmada çizge öğrenme ve GNN'ler ile ilgili temel kavramlar, ortak özellikler, farklılıklar, avantajlar, dezavantajlar ve uygulama alanlarından bahsedilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çizge Sinir Ağları, Çizge Öğrenme, Yapay Sinir Ağları, Derin Öğrenme

## GRAPH NEURAL NETWORKS IN GRAPH LEARNING

### ABSTRACT

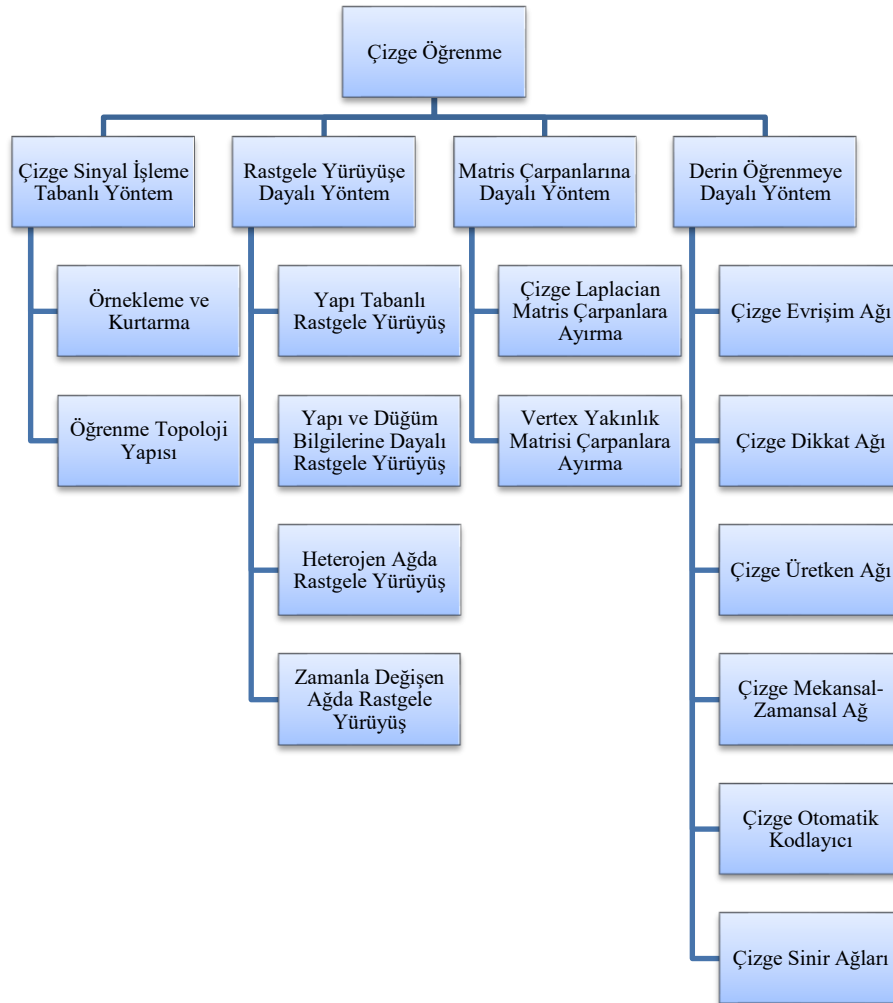
Neural networks have a large family of sub-fields. The constraints and limitations that neural networks face within themselves have positively affected their development and led to the creation of new neural network models. The biggest example of this is the development of graph neural network (GNN) models in addition to convolutional neural network (CNN) models, which do not perform well in some three-dimensional data. GNN, a deep learning model, basically uses graph learning. GNNs are a kind of graph deep learning. However, it should be noted that GNNs are a member of the neural network family and a sub-model of graph learning. In this study, the basic concepts, common features, differences, advantages, disadvantages and application areas of graph learning and GNNs are discussed.

**Keywords:** Graph Neural Networks, Graph Learning, Artificial Neural Networks, Deep Learning

Geliş/Received	:	24.02.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	01.04.2024
Kabul/Accepted	:	06.05.2024

## 1. GİRİŞ

Çizgeler, günümüzde sosyal sistem, biyolojik ağ, bilgi çizgesi ve bilgi sistemleri, ilişkilendirme ile ekosistemler gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve yapay zeka içerisinde ağ olarak da adlandırılan “graph” kavramı, iki farklı küme ile tanımlanmaktadır. Bu kümelerden birincisi olan köşe kümesi varlık temsili, kenar kümesi ise varlıklar arası ilişki temsili gerçekleştirilmektedir (Zia ve ark., 2021). Çizge öğrenme kavramı her geçen gün gelişerek derin öğrenme, güçlü öğrenme, temsil öğrenme ve öğrenme verimliliği gibi konuların da önemini artırmasını sağlamaktadır. Bir tanım ve anlam olarak ifade edilirse çizge öğrenme, çizgesel sistemlerin odağında makine öğrenmesi gerçekleştirme işlemidir. Öğrenme gerçekleştirilmesi için farklı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden birisi GNN (Graph Neural Networks – Çizge Sinir Ağları) modelidir. GNN’ler çizge öğrenmenin alt dalı olarak tanımlanabilmektedir. Çizge öğrenme yöntemlerinin çoğu derin öğrenme teknikleri ile gerçekleştirilmektedir. Amaç olarak çizgelerden istenilen veya ihtiyaç duyulan özelliklerin çıkarılmasını sağlayan çizge öğrenme, çizge analizi için geliştirilen güçlü, aynı zamanda da anlamlı bir yöntem olmaktadır. Çizgeleri odak noktası olarak gerçekleştirilen yöntemlerin sınıflandırılması Şekil 1’de görülmektedir (Zia ve ark., 2021).



Şekil 1. Çizge öğrenme yöntemlerinin sınıflandırılması.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de GNN ve çizge öğrenme kavramları ile ilgili ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir. Bölüm 3’te çizge modellerin uygulama alanları açıklanmıştır. Bölüm 4’te GNN’lerin avantajları, dezavantajları ve kısıtları ele alınmıştır. Son olarak Bölüm 5’te ise çalışmanın genel sonuçlarından bahsedilmiştir.

## 2. ÇİZGE SİNİR AĞLARI VE ÇİZGE ÖĞRENME

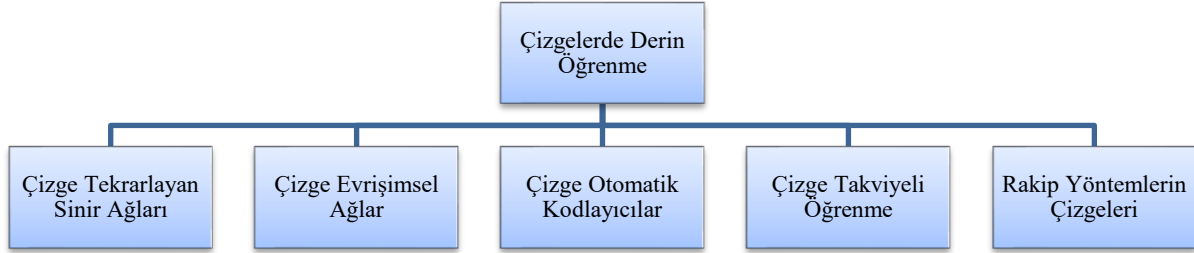
Çizge öğrenmede öznelik vektörleri girdi olarak kullanıldığında çıktı, tahmin sonuçları olmaktadır. Derin öğrenme yöntemleri hem yapay zekanın hem de çizge öğrenmenin en başarılı yöntemlerinden olduğundan iki alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır. En bilinen teknikleri GNN, GCN (Graph Convolutional Network – Çizge Evrişimli Ağ) ve GAE (Graph Auto-Encoders – Çizge Otomatik Kodlayıcılar) modelleri olmaktadır. Bu çalışmada ilk incelenecek yöntem olan GSP (Graph Signal Processing – Çizge Sinyal İşleme) tepe noktası bulabilmekte ve bu noktaları birbirine bağlayabilmektedir. Bu sayede GSP sinir ağlarında başarı yakalamıştır (Zia ve ark., 2021).

Sinyal işleme, Fourier dönüşümü ve filtre gibi klasik sinyal işleme teknikleri ile kullanılmaya başlanmıştır ve tanımlı sinyalleri işleyebilen geleneksel bir konudur. İşleme, çizge analizi için önerilmesi ile çizge öğrenme de önem kazanmıştır. İşlenmesi zor ve düzensiz veri olarak adlandırılan çizgeler spektral analize bir bakış getirmiştir. Bağlanabilirlik ve benzetme ile özellik açıklaması elde edilebilmektedir. Çizge sinyal işleme çizgelerde temsil, örnekleme-kurtarma ve öğrenme topolojisinin yapısı olarak üç başlık altında incelenmektedir. Çizgelerde temsil, anlamlı bir niteleme olarak tanımlanmaktadır. Burada temsil, komşuluk matrisi tabanlı ve Laplacian tabanlı olacak şekilde iki farklı GSP modeli üzerinden tanıtılacaktır. Komşuluk matrisi tabanlı GSP'ler ASP (Algebraic Signal Processing – Cebirsel Sinyal İşleme) yönteminden elde edilmektedir. Bu yöntem, cebirsel teorilerin yorumlanarak lineer sinyal oluşturulması ile elde edilmektedir. Laplacian tabanlı GSP'ler ise, spektral teoriden yararlanmaktadır. Temelde yüksek boyutlu verilerin düşük boyuta aktarılması ile gerçekleştirilen yöntem, yönsüz çizgeleri de analiz edebilmektedir. Örnekleme yöntemi, geleneksel sinyal işlemede olduğundan biraz daha farklıdır. Geleneksel sinyal işlemede tüm bilgiler saklanırken çizgelerde ise yüksek boyut sebebiyle örnekleme teorilerinin çizgelere uyarlanması ile elde edilmektedir. Bu sayede az sayıda örnekleme ile daha iyi kurtarma gerçekleştirilmektedir. Kurtarma ise orijinal çizgeden bilgi kaybı olmadan bilgi çıkarımı yapılması ve verimin düşmemesi olarak adlandırılabilir. Çizge sinyal işlemede verilerden topoloji yapısını öğrenme, bağlantılar yardımıyla gerçekleştirilen analiz işlemidir (Zia ve ark., 2021).

Matris çarpanlarına dayalı yöntemler, matrislerin bileşenlerine ayrılarak basitleştirme yöntemidir. Basitleştirme işlemiyle bileşenler daha düşük boyuta gelir ve orijinal bilgilerde kayıp olmamasıyla temsil işleminde kullanılır. Laplacian matris çarpanlarına ayırma ve köşe yakınlık matris çarpanlarına ayırma olarak iki farklı türü bulunmaktadır. Laplacian matris çarpanlarına ayırma, çizge özelliklerinin korunması ile ikili tepe benzerliği olarak adlandırılır. Laplacian matris çarpanlarına ayırma, dönüştürücü ile endüktif olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Dönüştürücü işlemlerde sadece eğitim kümesinde köşelerde gömme kullanırken endüktifte ise eğitim kümesinde olmayan köşelere gömme işlemi uygulanmaktadır. Köşe yakınlık matrisinde ise ilişkisel olmayan çizgeler ve homojen çizgelerde öğrenme için kullanılmaktadır. Köşe yakınlığı korunarak en az hata alınmakta ayrıca köşe yakınlığı da tahmin edilebilmektedir. Yaygın olarak kullanılsa da Gauss matris çarpanlarına ayırma ve düşük sıralı matris çarpanlarına ayırma yöntemleri de vardır (Zia ve ark., 2021). Büyük ölçekli ayrışma ve çıkarım için kullanılan Gauss matris çarpanlarına ayırma yöntemi, kenar yerine komşu köşelerde sayıları en aza indirerek çizge bölümlenmesi yapmaktadır (Ahmed ve ark., 2013). Düşük sıralı matris çarpanlarına ayırma yöntemi ise köşe metin özelliklerini ağ öğrenimine dâhil etmektedir. Modelin işlenmesi için DeepWalk modeli geliştirilmiştir. Modelin sorunlarından birisi ise eğitim süreci ile denetimli veya yarı denetimli görevlere uygulanamamasıdır (Zia ve ark., 2021).

Bir diğer yöntem olan rastgele yürüyüşe dayalı yöntemler, ağ örnekleme için kullanılan etkin yöntemlerdir. Ağ yapısı bağımlılığı ile NRL (Network Representation Learning – Ağ Temsil Öğrenimi) tepe noktası özellik vektörünü oluşturabilmektedir. Yapı tabanlı rastgele yürüyüşlerde, çizge yapısı ve köşe niteliklerine odaklanılmaktadır. Önem arz eden köşelere tahmin yapılmaktadır. Aynı şekilde öneme sahip olan ağ oluşum ve ağ evrimi modelleme işlemleri de yapılmaktadır. Yapı ve köşe bilgisine dayalı rastgele yürüyüşler, zengin köşe bilgilerini kullanarak analiz gerçekleştirmektedir. Köşe metin bilgileri, tepe noktası etiket bilgisi ve benzer düğümler dikkate alınarak ağ temsili öğrenmektedir. Heterojen ağlarda rastgele yürüyüşler ise farklı köşelerde ve köşeler arasında bulunan ilişkileri muhafaza ederek ağ temsil öğrenimi gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Köşe ve bağlantı ilişkisi içerisinde bulunan anlamsal dikkatler gerçekleşmektedir. Bilgi çizgeleri ve sosyal ağlar heterojen çizgelere örnek olduğu gibi yaygın olarak da kullanılmaktadır. Bilgi çizgeleri ilişkisel çıkarım olarak adlandırılırken üç tür ilişkisel çıkarım bulunmaktadır. SRL (Statistical Relational Learning – İstatistiksel İlişkisel Öğrenme), LFM (Latent Factor Models – Gizli Faktör Modeller) ve RWM (Random Walk Models – Rastgele Yürüyüş Modelleri) ilişkisel çıkarım için kullanılan yöntemlerdir. SRL'de genelleme ve ölçekleme olmadığı için LFM ve RWD modelleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Zamanla değişen ağlarda rastgele yürüyüşler ise bulunan ağın zamanla gelişmesi ve değişmesi sonucu köşe ve ilişkilerin ortaya çıkmasına karşı geliştirilmiş analiz yöntemidir. Bu yöntemde zamansal değişiklikler ve bu değişikliklerin yakalanması önem arz etmektedir (Zia ve ark., 2021).

Çizgelerde derin öğrenme ise RNN (Recurrent Neural Networks – Tekrarlayan Sinir Ağları) ve CNN (Convolutional Neural Networks – Konvolüsyonel Sinir Ağları) modellerinin çizgeler üzerinde geliştirilmeye çalışılması ile gerçekleşmektedir. Şekil 1’de görülen derin öğrenmeye dayalı yöntemlere ek olarak Şekil 2’de çizgelerde derin öğrenme metotları görülmektedir.



**Şekil 2.** Çizgelerde derin öğrenme metotları.

Şekil 1’e göre altı farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; çizge evrişim ağları, çizge dikkat ağı, çizge üretken ağı, çizge mekânsal-zamansal ağ, çizge otomatik kodlayıcı ve GNN şeklindedir. Çizge evrişim ağları, ızgara alanları ve çizge alanları üzerinde çalışmaktadır. Spektral çizge teorisinin zamansal olarak kullanıldığı zaman alanı ve spektral yöntemler ile birinci yöntemin geliştirilerek uzaysal geçerlilik ile analizin yapıldığı uzay alanı ve uzaysal yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çizge dikkat ağları GCN’nin geliştirilmesiyle oluşturulmuş dikkat mekanizmaları gelişmiş çizge modellerdir. Çizge otomatik kodlayıcılar GNN yapısını kullanarak düşük boyutlu vektör gömme işlemlerinde kullanılmaktadır. Çizge üretken ağlar, elde olan çizge kümelerine göre yeni çizgeler elde etmektedir. Doğal dil işlemede kullanılan ağ modelleri, anlam ve bilgi çizgeleri elde etmektedir. Son yöntem olan çizge mekânsal-zamansal ağlar ise çizgelerde mekânsal ve zamansal bağımlılığı aynı anda yakalamaktadır. Trafik ağlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zia ve ark., 2021). Şekil 2’de farklı olarak çizge tekrarlayan sinir ağları, çizge takviyeli öğrenme ve rakip yöntemlerin çizgeleri bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında bulunan temel ayrımlar Tablo 1’de (Zhang ve ark., 2015a) gösterilmektedir.

Tekrarlayan sinir ağlarının çizgelere uyarlanması ile ortaya çıkan GRNN (Graph-based Recursive Neural Network – Çizge Tabanlı Özyinelemeli Sinir Ağı) modelleri genel olarak, düğüm düzeyinde tekrarlayan sinir ağları ve çizge düzeyinde tekrarlayan sinir ağları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Düğüm düzeyinde öğrenmenin çizgeler üzerinde kullanımı derin öğrenme öncesi zaman olarak adlandırılmaktadır. Çizge temsillerinde çizgenin tamamının temsili için düğüm ekleme önerisi ile ortaya çıkan model, düğüm durumlarının özyinelemeli bir tanımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çizge düzeyinde tekrarlayan sinir ağlarında ise düğüm düzeyinde olduğunun aksine bir düğüme uygulamak yerine tüm çizgeye bir RNN uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Tablo 2’de bu iki farklı grubun özellikleri görülmektedir.

**Tablo 1.** Yöntemler arasında bulunan temel ayrımlar.

Yöntem	Temel Amaç	Ana Fonksiyon
Çizge Yinelenen Sinir Ağları	Özyinelemeli ve sıralı çizge desenleri	Düğümler veya çizgeler için durum tanımları
Çizge Evrimsel Ağlar	Çizgelerin ortak yerel ve küresel yapısal kalıpları	Çizge evrişim ve okuma işlemleri
Çizge Otomatik Kodlayıcılar	Çizgelerin düşük sıralı yapıları	Denetimsiz düğüm temsili öğrenimi
Çizge Pekiştirmeli Öğrenme	Çizge görevlerinin geri bildirimleri ve kısıtlamaları	Çizge tabanlı eylemler ve ödüller
Çizge Çekişmeli Yöntemler	Çizge tabanlı modellerin genelleme yeteneği ve sağlamlığı	Rakip eğitimlerin ve saldırıların çizgelerini çizin

Pekiştirmeli öğrenme, güçlendirme öğrenimi ya da takviye öğrenme olarak adlandırılan model, yapay zeka görevlerinde başarı elde etmektedir. Odak noktası kısıtlama ve ayırt edilmeyen hedefler olmasına rağmen geri bildirimlerden gerçekleşen öğrenmede de verimli olduğu bilinmektedir. Kısaca çizge pekiştirmeli öğrenme makine öğrenmesi yöntemlerinden olan pekiştirmeli öğrenmenin çizgelere uyarlanarak elde edilmesiyle oluşturulmaktadır. Tablo 3’te çizge pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin özellikleri gösterilmektedir.

**Tablo 2.** RNN model özellikleri.

Grup	Model	Özyinelemeli/Sıralı Çizge Desenleri	Uygulama
Düğüm Düzeyinde Tekrarlayan Sinir Ağları	GNN	Düğüm durumlarının özyinelemeli bir tanımı	(Scarselli ve ark., 2009)
	GGs-NNs		(Li ve ark., 2015)
	SSE		(Dai ve ark., 2018a)
Çizge Düzeyinde Tekrarlayan Sinir Ağları	GraphRNN	Otoregresif bir şekilde düğümler ve kenarlar oluşturma	(You ve ark., 2018a)
	DGNN	Düğümün ve kenarların oluşumunun zaman dinamiklerini yakalama	(Ma ve ark., 2018a)
	RMGCNN	Çizgeyi yinelemeli olarak yeniden oluşturma	(Monti ve ark., 2017)
	Dynamic GCN	Farklı zaman dilimlerinde düğüm temsillerini toplama	(Manessi ve ark., 2020)

Moleküler çizgeler oluşturmak için kullanılan GCPN (Graph Convolutional Policy Network – Çizge Evrimsel Politika Ağı) hedeflemeleri ve kısıtlamaları ele alarak modellenmede ve düğüm temsili için GCN kullanılmaktadır. MolGAN modeli de moleküler çizge oluşturmak için kullanılmaktadır. MolGAN, GCPN’den farklı olarak çizgeyi parça parça yerine tam bir şekilde oluşturulması gerektiğini savunmaktadır. GTPN (Graph Transformation Policy Network – Çizge Dönüşüm Politika Ağı), düğüm temsili öğrenmesinde GCN, tahmin verilerini ezberlemede ise RNN kullanarak kimyasal reaksiyon tahmini gerçekleştirmektedir. GAM (Graph Attention Model – Çizge Dikkat Modeli) modeli rastgele yürüyüşler için pekiştirmeli öğrenme gerçekleştiren modeldir. Bilgi çizgelerinde akıl yürütme ile birlikte yol bulma hedefleyen DeepPath ve soru yanıtlama görevine odaklanan MINERVA modeli ise akıl yürütme düğüm tahmini ile gerçekleştirmektedir (Zhang ve ark., 2015a).

**Tablo 3.** Çizge pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin özellikleri.

Model	Görev	Eylemler	Ödüller	Çalışma
GCPN	Çizge oluşturma	Bağlantı tahmini	GAN + Alan bilgisi	(You ve ark., 2018b)
MolGAN	Çizge oluşturma	Çizge oluşturma	GAN + Alan bilgisi	(Cao ve Kipf, 2018)
GTPN	Kimyasal reaksiyon tahmini	Düğüm çiftlerini ve yeni bağ türlerini tahmin etme	Tahmin sonuçları	(Do ve ark., 2019)
GAM	Çizge sınıflandırma	Çizge etiketlerini tahmin edin ve sonraki düğümü seçme	Sınıflandırma sonuçları	(Lee ve ark., 2018b)
DeepPath	Bilgi çizgesi akıl yürütme	Akıl yürütme yolunun bir sonraki düğümünü tahmin etme	Akıl yürütme sonuçları + Çeşitlilik	(Xiong ve ark., 2017)
MINERVA	Bilgi çizgesi akıl yürütme	Akıl yürütme yolunun bir sonraki düğümünü tahmin etme	Akıl yürütme sonuçları	(Das ve ark., 2018)

Çizge karşılaştırma yöntemlerinin temeli GAN (Generative Adversarial Nets – Üretici Hasım Ağları) modeline dayanmaktadır. Bu yöntemler hasım yani düşman eğitimi ve düşman saldırısı olarak iki farklı alt gruba ayrılmaktadır. Düşman eğitimi, GAN modellerinin ayrımcı ve üretici modellerinin üretici kısmının oluşturulması ile gerçekleştirilmektedir. Düşman saldırısı ise veriler içerisinde bozulmalar ekleme ile gerçekleştirilerek kandırma amacı taşıyan ayrımcı kısmını oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin özellikleri Tablo 4’te görülmektedir (Zhang ve ark., 2015a).

**Tablo 4.** Çizge karşılaştırma yöntemlerinin özellikleri.

Grup	Model	Düşman Modeller	Çalışma
Düşman Eğitimi	ARGA/ARVGA	GAE için düzenleme	(Pan ve ark., 2018)
	NetRA	GAE için düzenleme	(Yu ve ark., 2018b)
	GCPN	Çizge RL için ödüller	(You ve ark., 2018b)
	MolGAN	Çizge RL için ödüller	(Cao ve Kipf, 2018)
	GraphGAN	Negatif örneklerin oluşturulması (düğüm çiftleri)	(Wang ve ark., 2018a)
	ANE	Ağ gömme için düzenleme	(Dai ve ark., 2019b)
	GraphSGAN	Çizgeler üzerinde yarı denetimli öğrenmeyi geliştirme	(Ding ve ark., 2018)
	NetGAN	Rastgele yürüyüşler yoluyla çizgelerin oluşturulması	(Shchur ve ark., 2018)
Düşman Saldırısı	Nettack	Çizge yapılarına ve düğüm özelliklerine yönelik hedefli saldırılar	(Zügner ve ark., 2018)
	AAGSD	Çizge yapılarının hedefli saldırıları	(Dai ve ark., 2018b)
	AAGNN	Çizge yapılarının hedeflenmemiş saldırıları	(Zügner ve Gunnemann, 2019a)

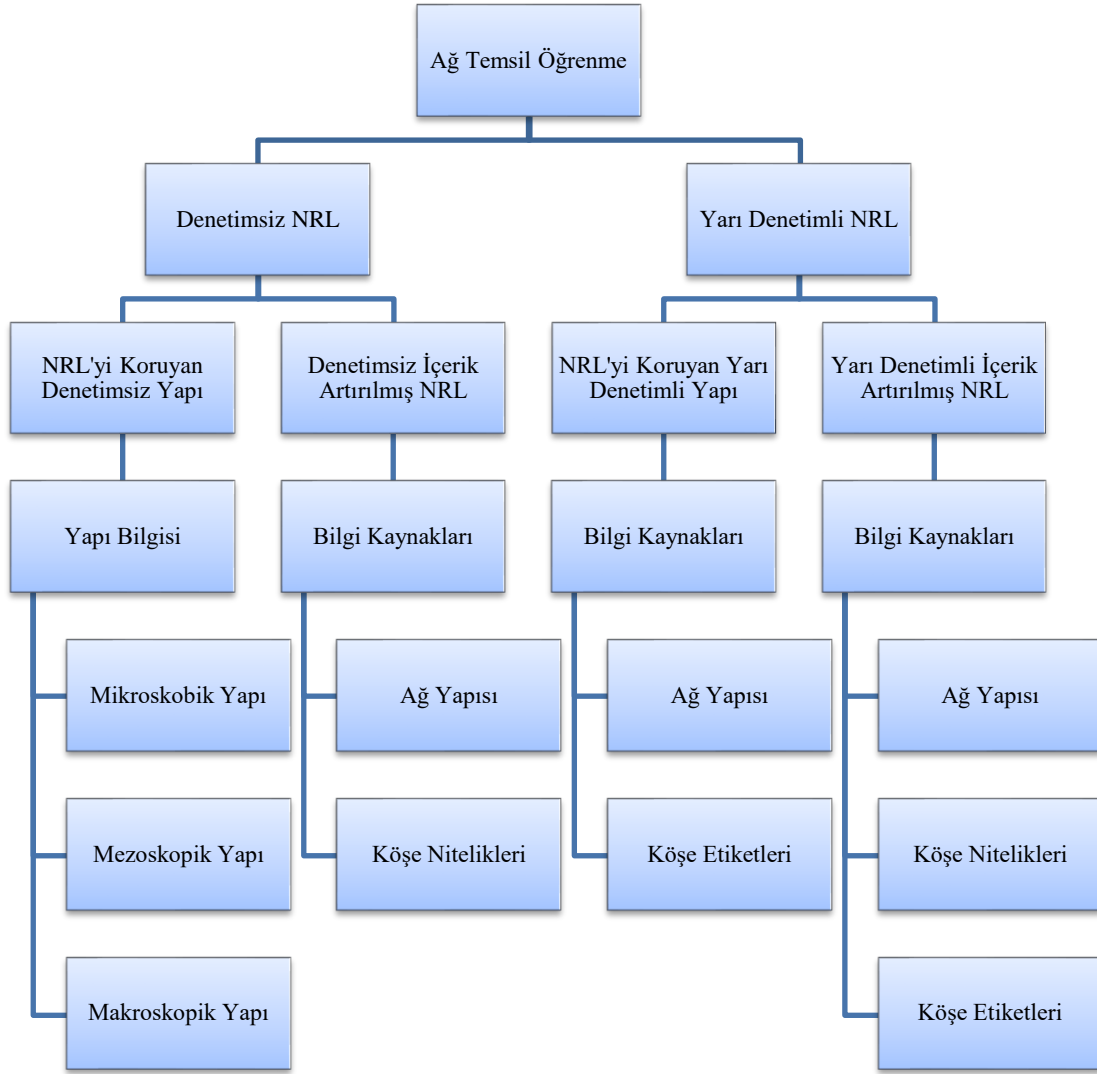
Bir diğer durum ise bu düşman saldırıları genelinde gerçekleştirilen görevlerdir. Bu görevler çizgelerde sağlam öğrenme olarak adlandırılmaktadır. Tablo 5'te çizgelerde sağlam öğrenme uygulamalar görülmektedir (Xu ve ark., 2021).

**Tablo 5.** Çizgelerde sağlam öğrenme uygulamaları.

Görev	Alt Görev	Uygulama
Anomali Tespiti	Statik Çizge	(Wang ve ark., 2020c) (Jiang ve ark., 2019)
	Dinamik Çizge	(Du ve ark., 2017)
Düşmanca Eğitim	Rakip Hedefler	(Jin ve ark., 2020) (Li ve ark., 2020b)
	Rakip Örnekler	(Deng ve ark., 2019) (Zhu ve ark., 2019) (Tang ve ark., 2020)
Dikkat Mekanizması	Dikkat Mekanizması	(Zhu ve ark., 2019) (Tang ve ark., 2020) (Entezari ve ark., 2020)
Sertifika Sağlamlığı	Sadece Özellikler	(Zügner ve Gunnemann, 2019b)
	Sadece Yapı	(Zügner ve Gunnemann, 2019b) (Bojhevski ve Gunneman, 2019a)
	Özellik + Yapı	(Zügner ve Gunnemann, 2020)
Ön İşleme	Ön İşleme	(Zügner ve ark., 2018) (Deng ve ark., 2019) (Entezari ve ark., 2020) (Xu ve ark., 2018) (Zhang ve ark., 2019e) (Ioannidis ve ark., 2019) (Xu ve ark., 2020) (Wu ve ark., 2019a) (Said ve ark., 2010)

Çizge öğrenmede bir diğer alan ise NRL (Network Representation Learning – Ağ Temsil Öğrenimi)'dir. Ağ öğrenimi, ağın topolojisini, tepe içeriklerini ve diğer bilgilerini koruyarak gömme işlemi gerçekleştirebilmektedir. Şekil 3'te ağ temsil öğrenme teknikleri görülmektedir (Zhang ve ark., 2018a).

Denetimsiz ağ temsili öğrenme Şekil 3'ten de anlaşıldığı gibi iki alt gruptan oluşmaktadır. İlk bölüm olan denetimsiz yapıyı koruyan NRL, ağ yapısı korunarak birbirlerine yakı olan köşelerin yeniden yerleştirme sağlayarak benzer şekilde temsil edileceğini savunmaktadır. Yapısal olarak üç farklı tipte ortaya çıkmaktadır. NRL'yi koruyan mikroskobik yapıda derecesel olarak yakınlık ile birlikte köşeler arasındaki yapı bilgileri korunması amaçlanmaktadır. Bu işlemde köşeler arasındaki benzerlik yakalanmaktadır. DeepWalk, LINE (Large-scale Information Network Embedding – Büyük Ölçekli Bilgi Ağı Gömme), GraRep (Graph Representations – Çizge Temsilleri), DNNGR (Deep Neural Networks for Graph Representations – Çizge Temsilleri için Derin Sınır Ağları), SDNE (Structural Deep Network Embedding – Yapısal Derin Ağ Gömme), HOPE (High-Order Proximity Preserved Embedding – Yüksek Dereceli Yakınlık Korunmalı Gömme), APP (Asymmetric Proximity Preserving Graph Embedding – Asimetrik Yakınlık Koruma Çizgeyi Gömme) ve GraphGAN modellerinden oluşmaktadır. NRL'yi koruyan yapısal rol yakınlığında ise birbirleri arasında uzaklık bulunan sadece yapısal rolleri birbirine benzeyen köşelerde yerleştirme yapmaktadır. Bu işlem ile aşağıdaki görevleri basitleştirirken, mikroskobik yapı da geliştirilmektedir. NRL'yi koruyan yapısal rol yakınlığı, struct2vec, GraphWave ve SNS (Structural and Neighborhood Similarity Preserving Network Embedding – Ağ Yerleştirmeyi Koruyan Yapısal ve Komşuluk Benzerliği) modellerinden oluşmaktadır. Gerçek dünyada ağlar tepe noktaları aynı gruplar içinde birbirlerine bağlıdır fakat başka bir gruptan gelen ağlarda tepe noktalarının seyrek bağlı olduğu topluluk içi yakınlık koruma, temelinde köşe özellikleri ile karakterizasyon gerçekleştirmektedir. Bu yöntemde LLSD (Learning Latent Social Dimensions – Gizli Sosyal Boyutları Öğrenmek) ve M-NMF (Modularized Nonnegative Matrix Factorization – Modülerleştirilmiş Negatif Olmayan Matris Çarpanlara Ayırma) modelleri bulunmaktadır. Makroskobik yapı korumada ise makroskobik görünüm ile koruma amaçlanmaktadır. Hedef küresel ağ özellikleridir. Bu yöntemde DP (Degree Penalty Principle – Derece Ceza İlkesi) ve HARP (Hierarchical Representation Learning for Networks – Ağlar için Hiyerarşik Temsil Öğrenimi) modelleri bulunmaktadır. Denetimsiz içerikler için artırılmış ağ temsili öğrenmede ağ yapısı ile birlikte web ağları, alıntı ağlar ve sosyal ağlarda bulunan köşe niteliklerde zenginlik sağlanmaktadır. Bu nitelikler köşe arası için benzerlik ölçmede bir ölçüt sayılmaktadır. Öğrenme köşe öznelik bilgisi ile doğru orantılıdır. DeepWalk modelinin metin ile ilişkilendirilmesi ile gerçekleştirilen TADW (Text-Associated DeepWalk – Metinle İlişkili DeepWalk), köşe içerik ve yapısal bağlam içeriklerini eş zamanlı entegre etmeyi gerçekleştiren HSCA (Homophily, Structure, and Content Augmented Network Representation Learning – Homofil, Yapı ve İçerikle Artırılmış Ağ Temsili Öğrenme), köşe niteliği ile bağlantı bilgisini birleştirmede kısıtlı Boltzmann makinesi kullanarak köşe temsili öğrenmede kullanılan pRBM (Paired Restricted Boltzmann Machine – Eşleştirilmiş Kısıtlı Boltzmann Makinesi), gürültü filtrelemenin yanında kullanıcı profillerinden bilgi çıkarmayı gömülü öğrenme ile gerçekleştiren, bu işlemi de kullanıcıların profil bilgileri ile yapan UPP-SEN (User Profile Preserving Social Network Embedding – Sosyal Ağ Gömmesini Koruyan Kullanıcı Profili) ve öznelik güdümlü amaç ile yapı güdümlü amacı optimize ederek içerik ile artırılmış köşe temsil öğrenimi gerçekleştiren PPNE (Property Preserving Network Embedding – Mülkiyet Koruma Ağı Gömme) modellerinden oluşmaktadır (Zhang ve ark., 2018a).



Şekil 3. Ağ temsil öğrenme teknikleri.

Yarı denetimli öğrenmede köşelere iliştilmiş etiket bilgileri kullanılmaktadır. Ağın yapısı ve nitelikler hakkında bilgi vermesi ile temsillerde kolaylık sağlayan bu etiketler için yarı denetimli algoritmalar da kullanılmaktadır. Bu algoritmalar NRL'yi koruyan yarı denetimli yapı ve yarı denetimli içerik artırılmış NRL olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. NRL'yi koruyan yarı denetimli yapı, ağ yapısı ile ayırt edici öğrenme eş zamanlı olarak optimize edilmesi sonucunda köşe etiketler sayesinde elde edilen bilgiler köşe temsili ve ayırt etme gücünde verimi artırmaktadır. DDRW (Discriminative Deep Random Walk – Ayrımcı Derin Rastgele Yürüyüş), MMDW (Max-Margin DeepWalk – Maksimum Marj DeepWalk), TLINE (Transductive LINE – İletken LINE), GENE (Group Enhanced Network Embedding – Grup Gelişmiş Ağ Gömme) ve SemiNE (Semi-supervised Network Embedding – Yarı denetimli Ağ Gömme) modellerinden oluşmaktadır. Yarı denetimli içerik artırılmış ağ temsili öğrenmede ise içerik bilgisi dahil edilerek köşe temsili verimi artmaktadır. Etiketleme bilgilerinin de dikkate alınmasıyla sınıflandırma görevleri gerçekleştirilmektedir. TriDNR (Tri-Party Deep Network Representation – Üç Taraflı Derin Ağ Temsili), LDE (Linked Document Embedding – Bağlantılı Belge Gömme), DMF (Discriminative Matrix Factorization – Ayrımcı Matris Çarpanlara Ayırma), Planetoid (Predictive Labels and Neighbors with Embeddings Transductively or Inductively from Data – Verilerden Dönüştürücü veya Tümevarımsal Olarak Gömülü Öngörücü Etiketler ve Komşular) ve LANE (Label Informed Attribute Network Embedding – Etiket Bilgili Nitelik Ağ Gömme) modellerinden oluşmaktadır. Ayrıca Tablo 6'da ağ temsili öğrenme model-çalışma tablosu görülmektedir.



**Tablo 6.** Ağ temsili öğrenme model-çalışma tablosu.

Denetim	Yapı	Altyapı	Model	Çalışma	
Denetimsiz Ağ Temsili Eğitimi	Denetimsiz Yapı Koruma Ağı Temsili Öğrenme	NRL'yi Koruyan Mikroskopik Yapı	DeepWalk	(Perozzi ve ark., 2014)	
			LINE	(Tang ve ark., 2015)	
			GraRep	(Cao ve ark., 2015)	
			DNGR	(Cao ve ark., 2016)	
			SDNE	(Wang ve ark., 2016)	
			node2vec	(Grover ve Leskovec, 2016)	
			HOPE	(Ou ve ark., 2016)	
			APP	(Zhou ve ark., 2017a)	
			GraphGAN	(Zhou ve ark., 2017a)	
			Struct2vec	(Ribeiro ve ark., 2017)	
	Denetimsiz İçerik Artırılmış Ağ Temsili Öğrenme	Köşe Nitelikleri	Ağ Yapısı	GraphWawe	(Donnat ve ark., 2017)
				SNS	(Lyu ve ark., 2017)
				LLSD	(Tang ve ark., 2009a) (Tang ve ark., 2011) (Tang ve ark., 2009b)
				M-NMF	(Wang ve ark., 2017)
				DP	(Feng ve ark., 2018a)
				HARP	(Chen ve ark., 2018a)
Yarı Denetimli Ağ Temsili Eğitimi	NRL'yi Koruyan Yarı Denetimli Yapı	Ağ Yapısı	TADW	(Yang ve ark., 2015a)	
			HSCA	(Zhang ve ark., 2016a)	
			pRBM	(Wang ve ark., 2016)	
			PPNE	(Li ve ark., 2017b)	
			UPP-SEN	(Zhang ve ark., 2017b)	
	Yarı Denetimli İçerik Artırılmış NRL	Ağ Yapısı Köşe İçeriği Köşe Etiketleri	Ağ Yapısı	DDRW	(Zhu ve ark., 2012)
				MMDW	(Tu ve ark., 2016)
				TLINE	(Chen ve ark., 2016)
				GENE	(Pan ve ark., 2016)
				SemiNE	(Li ve ark., 2017a)
Yarı Denetimli İçerik Artırılmış NRL	Ağ Yapısı Köşe İçeriği Köşe Etiketleri	Ağ Yapısı	TriDNR	(Pan ve ark., 2016)	
			LDE	(Pan ve ark., 2016)	
			DMF	(Zhang ve ark., 2016c)	
			Planetoid	(Yang ve ark., 2016)	
			LANE	(Huang ve ark., 2017)	

Çizge öğrenmedeki incelenen son konu ise çizgelerde temsil öğrenme konusudur. Çizge gömme, çizge temsili için kullanılan yöntemlerden birisidir. Çizge gömme için sekiz farklı yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden ilki boyut küçültme yöntemleridir. Temel amaç veri boyutunu küçültürken bilgileri koruyarak temsil indirgemesi gerçekleştirmektir. Doğrusal ve doğrusal olmayan olarak iki farklı gruba ayrılmaktadır. Doğrusal yöntemler PCA (Principal Component Analysis – Temel Bileşen Analizi), LDA (Linear Discriminant Analysis – Doğrusal Diskriminant Analizi) ve MDS (Multidimensional Scaling – Çok Boyutlu Ölçekleme) olarak ayrılmaktadır. Doğrusal olmayan yöntemler ise Isomap (Isometric Feature Mapping – İzometrik Özellik Eşleme), LLE (Locally Linear Embedding – Yerel Olarak Doğrusal Gömme) ve Kernel Metodu şeklindedir. Rastgele yürüyüşe dayalı yöntemler, başlangıç noktasını rastgele belirleyerek çok sayıda ve farklı yolları içererek örnekleme gerçekleştirir. Bu yöntem ayrıca keşif ve küresel-yerel bilgi yakalama yeteneği vermektedir. DeepWalk ve node2vec gibi farklı modelleri bulunmaktadır. Matris çarpanlarına ayırma tabanlı yöntemler, zaman çizge gömme gerçekleştiren yöntemlerdendir. Düğüm gömme görevleri için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gömme elde edilmesi çizgesi de komşuluk matrisinin çarpanlarına ayrılması ile gerçekleşmektedir ve çizge yapısı korunmaktadır. GLE (Graph Laplacian Eigenmaps – Laplacian Öz Haritalarının Çizgesini Çizme), NPMF (Node Proximity Matrix Factorization – Düğüm Yakınlık Matrisi Çarpanlarına Ayırma), TADW (Text-Associated DeepWalk – Metinle İlişkili DeepWalk), HSCA (Homophily, Structure, and Content Augmented Network Representation Learning – Homofil, Yapı ve İçerikle Artırılmış Ağ Temsili Öğrenme), GraRep (Graph Representations – Çizge Temsilleri) ve HOPE (High-Order Proximity Preserved Embedding – Yüksek Dereceli Yakınlık Korunmalı Gömme) modelleri matris çarpanlara ayırma yöntemlerindedir. Sinir ağı tabanlı yöntemler, RNN ve CNN modellerinin genelleştirilmesi ve çizgelere uyarlanması ile gerçekleştirilmektedir. GCN, SGCN (Signed Graph Convolutional Network – İmzalı Çizge Evrişim Ağı), VGAE (Variational Graph Auto-encoders – Varyasyon Çizgesi Otomatik Kodlayıcılar), GraphSAGE ve SDNE (Structural Deep Network Embedding – Yapısal Derin Ağ Gömme) modellerinden oluşmaktadır. Büyük çizge gömme yöntemleri, daha önce bahsedilen yöntemler ile boyut sorununun çözülmemesi ile ortaya çıkmıştır. Yakınlık yakalayamama ve temsil verimsizliği sebebiyle geliştirilmiştir. LGCL (Learnable Graph Convolutional Layer – Öğrenilebilir Çizge Evrişimli Katmanını), GPNN

(Graph Partition Neural Networks – Çizge Bölümü Sinir Ağları) ve LINE (Large-scale Information Network Embedding – Büyük Ölçekli Bilgi Ağı Gömme) modellerinden oluşmaktadır. Hiper çizge gömme, çizgelerin kenar derecelerinin iki ve üstü olduğu durumlarda süper düğüm oluşturma amacıyla hiper kenarların bağlanması ile elde edilmektedir. SHGE (Spectral Hyper-Graph Embedding – Spektral Hiper Çizge Gömme), HGNN (Hyper-Graph Neural Network – Hiper Çizge Sinir Ağı) ve DHNE (Deep Hyper-Network Embedding – Derin Hiper Ağ Gömme) modellerinden oluşmaktadır. Dikkat çizgesi gömme, farklı görevlerde odaklanma için kullanılmaktadır. Ayrıca bu gömme yöntemi ile sinyal-gürültü oranı dengelenerek verim artırılırken gürültüden de kaçılabilir. GAT (Graph Attention Networks – Çizge Dikkat Ağı), AW (Attention Walks – Dikkat Yürüyüşleri) ve AGRNN (Attentive Graph-based Recursive Neural Network – Özenli Çizge Tabanlı Özyinelemeli Sinir Ağı) modellerinden oluşmaktadır. Bu yöntemlerin dışında çizge temsil öğreniminde üretken ve ayırt edici yerel modellerden GraphGAN ve üretken model olan GenVector modelleri de çizge temsili öğrenmede çizge gömme kullanılmaktadır. Tablo 7’de (Wang ve ark., 2019e) çizge temsili öğrenme modelleri ve uygulama tablosu görülmektedir. Tablo 8’de (Wang ve ark., 2019e) bu bölümde görülen farklı gömme yöntemlerinin karşılaştırma tablosu görülmektedir. Tablo 9-11’de ise çizge öğrenme uygulama alanları görülmektedir.

**Tablo 7.** Çizge temsili öğrenme modelleri ve uygulamaları.

Yöntem	Alt Yöntem	Model	Çalışma
Boyut Küçültme Yöntemleri	Doğrusal Boyut Küçültme Yöntemleri	PCA	(Jolliffe ve ark., 2016)
		LDA	(Jolliffe ve ark., 2016)
		MDS	(Robinson ve ark., 1995)
	Doğrusal Olmayan Boyut Küçültme Yöntemleri	Isomap	(Samko ve ark., 2006)
		LLE	(Roweis ve ark., 2000)
		Kernel	(Harandi ve ark., 2011)
Rastgele Yürüyüşe Dayalı Yöntemler		DeepWalk	(Perozzi ve ark., 2014)
		node2vec	(Grover ve Leskovec, 2016)
Matris Çarpınlarına Ayırma Tabanlı Yöntemler		GLE	(Belkin ve Niyogi, 2003)
		NPMF	(Singh ve Gordon, 2008)
		TADW	(Yang ve ark., 2015a)
		HSCA	(Zhang ve ark., 2016a)
		GraRep	(Cao ve ark., 2015)
		HOPE	(Ou ve ark., 2016)
Sinir Ağı Tabanlı Yöntemler		GCN	(Kipf ve ark., 2017)
		SGCN	(Derr ve ark., 2018)
		VGAE	(Kingma ve Welling, 2013)
		GraphSAGE	(Hamilton ve ark., 2017b)
		SDNE	(Wang ve ark., 2016)
Büyük Çizge Gömme Yöntemleri		LGCL	(Gao ve ark., 2018)
		GPNN	(Motsinger ve ark., 2006)
		LINE	(Tang ve ark., 2015)
Hiper Çizge Gömme		SHGE	(Zhou ve ark., 2007)
		HGNN	(Feng ve ark., 2018b)
		DHNE	(Tu ve ark., 2017)
Dikkat Çizgesi Gömme		GAT	(Velickovic ve ark., 2018)
		AW	(Abu-El-Haija ve ark., 2018) (Abu-El-Haija ve ark., 2018)
		AGRNN	(Xu ve ark., 2017)
Diğer		GrpGAN	(Wang ve ark., 2018a)
		GenVector	(Yang ve ark., 2015b)

**Tablo 8.** Farklı gömme yöntemlerinin karşılaştırması.

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj
Boyut Küçültme Tabanlı	Anlaşılabilir ve uygulanması kolay	Daha yüksek dereceli yakınlığı iyi yakalayamaz
Rastgele Yürüyüşe Dayalı	Tüm çizgeyi bir kerede almaz	Bazen küresel bilgileri çok iyi yakalayamaz
Matris Çarpanlarına Ayırma Tabanlı	Küresel yapıyı yakalayabilir	Yüksek zaman karmaşıklığı
Sınır Ağı Tabanlı	Son teknoloji performans	Donanım gerektiren, BP ile eğitim zaman alıcıdır
Büyük Çizge Yerleştirme	İyi ölçeklenebilirlik	Yüksek zaman karmaşıklığı
Hiper Çizge Gömme	Daha karmaşık verileri modeller	Uygulanması daha zor
Dikkat Çizgesi Yerleştirme	Daha iyi uzun mesafe düğüm modelleme	Yüksek zaman karmaşıklığı
Diğerleri	Daha fazla alternatif sağlama	Kavram kanıtı aşaması

**Tablo 9.** Çizge öğrenme uygulama alanları (1).

Uygulama	Çalışma
Topluluk Algılama	(Ding ve ark., 2001) (Chen, 2009) (Yuruk ve ark., 2009) (Zhang ve ark., 2015b) (Dourisboure ve ark., 2007) (Newman, 2004) (Girvan ve ark., 2002) (De Bacco ve ark., 2018) (Zheleva ve ark., 2008) (Fortunato, 2010) (Yang ve ark., 2009)
Öneri Sistemi	(Hamilton ve ark., 2017a) (Ying ve ark., 2018a) (Zhang ve ark., 2016b) (Kermarrec ve Leroy, 2011) (Zhang ve ark., 2017a)
Çizge Sıkıştırma ve Kabalaştırma	(Feder ve Motwani, 1995) (Liang ve ark., 2018) (Karypis ve ark., 1998)
Biyomedikal Uygulama	(Zhang ve ark., 2018a) (Yang ve ark., 2009) (Hamilton ve ark., 2017a) (Ying ve ark., 2018a) (Zhang ve ark., 2016b) (Kermarrec ve Leroy, 2011) (Zhang ve ark., 2017a) (Feder ve Motwani, 1995) (Liang ve ark., 2018) (Karypis ve ark., 1998) (Green ve Yang, 2009) (Hu ve ark., 2015) (Liu ve ark., 2018a)
Trafik Akışı Çıkarımı	(Thanou ve ark., 2017)
İnternet Haber Yayılım Çalışması	(Baingana ve Giannakis, 2016)
Bölgeler Arası Siyasi İlişki	(Dong ve ark., 2016)
İnsan Robotik Etkileşimi	(Li ve ark., 2018a)
Kavram Ontolojileri	(Lake ve Tenenbaum, 2010)
Sosyal Etkiyi Modelleme	(Qiu ve ark., 2018)
Kimya ve Biyoloji	(You ve ark., 2018b) (Duvenaud ve ark., 2015) (Gilmer ve ark., 2017) (Kearnes ve ark., 2016) (Cao ve Kipf, 2018)
Fizik	(Coley ve ark., 2017) (Xie ve Grossman, 2018)
Hastalık ve İlaç Tahmini	(Ktena ve ark., 2017) (Zitnik ve ark., 2018) (Parisot ve ark., 2017)
Gen İfadesi	(Dutil ve ark., 2018)
Doğal Dil İşleme	(Basting ve ark., 2017) (Marcheggiani ve ark., 2017)
Bilgisayarlı Görme	(Garcia ve Bruna, 2018) (Qi ve ark., 2018) (Marino ve ark., 2017) (Qi ve ark., 2017) (Jain ve ark., 2016)
Trafik Tahmini	(Yu ve ark., 2018a) (Li ve ark., 2018c)
Program Başlatma	(Allamanis ve ark., 2017)
Çizge Tabanlı Np Sorunları Çözme	(Li ve ark., 2018d) (Prates ve ark., 2019)
Çok Aracılı Yapay Zeka Sistemleri	(Sukhbaatar ve ark., 2016) (Battaglia ve ark., 2016) (Hoshen, 2017)

**Tablo 10.** Çizge öğrenme uygulama alanları (2).

Grup	Model	Bileşen	Görev	Çalışma
Zaman Alanı ve Spektral Yöntemler	SNLCN	GNN	Sınıflandırma	(Bruna ve ark., 2014)
	DCN	Spektral Ağ	Sınıflandırma	(Henaff ve ark., 2015)
	ChebNet	Evrişim Ağ	Sınıflandırma	(Defferrard ve ark., 2016)
	GCN	Spektral Ağ	Sınıflandırma	(Kipf ve ark., 2017)
	HA-GCN	GCN	Sınıflandırma	(Zhou ve ark., 2017b)
	D-GCN	GCN, LSTM	Sınıflandırma	(Manessi ve ark., 2020)
	DCRNN	DCN	Trafik Tahmini	(Li ve ark., 2018c)
Uzay Alanı ve Uzaysal Yöntemler	PATCHY-SAN	Evrişim Ağı	Çalışma Zamanı Analizi	(Niepert ve ark., 2016)
			Özellik Görselleştirme	
			Çizge Sınıflandırma	
	Neural FP	-	Alt Çizge Sınıflandırma	(Duvenaud ve ark., 2015)
	DCNN	DCNN	Sınıflandırma	(Atwood ve Towsley 2016)
	DGCN	GSBC, PPMI-BC	Sınıflandırma	(Zhuang ve ark., 2018)
	SSE	-	Köşe Sınıflandırması	(Dai ve ark., 2018a)
	LGCN	CNN	Köşe Sınıflandırması	(Gao ve ark., 2018)
	STGCN	GSC	Trafik Tahmini	(Yu ve ark., 2018a)

**Tablo 11.** Çizge öğrenme uygulama alanları (3).

Grup	Model	Bileşen	Görev	Çalışma
Derin Öğrenme Modeli Tabanlı Yöntemler	GATs	ANN	Sınıflandırma	(Velickovic ve ark., 2018)
	GAAN		Köşe Sınıflandırma	(Zhang ve ark., 2018b)
	GAM		Çizge Sınıflandırma	(Lee ve ark., 2018b)
	Aws	AENN	Bağlantı Tahmini	(Abu-El-Haija ve ark., 2018)
			Duyarlılık Analizi	
			Köşe Sınıflandırma	
	SDNE	AENN	Sınıflandırma	(Wang ve ark., 2016)
			Bağlantı Tahmini	
			Görselleştirme	
	DNGR	AENN	Kümeleme	(Cao ve ark., 2016)
			Görselleştirme	
	DRNE	AENN	Düzenli Denklik Tahmini	(Tu ve ark., 2018)
			Yapısal Rol Sınıflandırması	
			Ağ Görselleştirme	
	MoIGAN	GNN – Üretken Sinir Ağı	Üretici Model	(Schlichtkrull ve ark., 2018)
DGMG	Molekül Üretimi		(Li ve ark., 2018b)	
DCRNN	DCN	Trafik Tahmini	(Li ve ark., 2018c)	
STGCN	GSC	-	(Yu ve ark., 2018a)	
ST-GCN	GCNs	Eylem Tanıma	(Yan ve ark., 2018)	

Bu bölümde son olarak geliştirilme aşamasında olan iki farklı proje incelenecektir. Birleşik Devletler Ordusu, Ordu Araştırma Laboratuvarı ve Güney Kaliforniya Üniversitesi'nin geliştirdiği GraphSAINT modeli ile askeri çizge analizi gerçekleştirmek planlanmıştır. Model görüş ve görüntü işleme için geliştirilmesine rağmen GNN genelleştirilmesi ile hedef ve nesne tespiti yapabilmektedir. Bu sayede sadece siber istihbarat için değil, ajan kontrolü için de verimli olacaktır. Aynı zamanda GraphSAINT eylem tanıma ve hareket algılama gibi yetenekleri sayesinde durumsal farkındalık yaratacağı bilinmektedir. Daha sonra Birleşik Devletler Ordusu Savaş Yeteneği Geliştirme Komutanlığı (CCDC) Ordu Araştırma Laboratuvarı (ARL) Bağlama Duyarlı İşlem Şubesi tarafından GCN modelleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ordu içerisindeki derin ve geniş veritabanları sayesinde nitelik ve özellik temsili gerçekleştirme verimi ile hızlı, doğru, ayrıca ölçeklenebilen bir model geliştirmeye odaklanılmıştır. Aynı şekilde GrapSAINT modelinin yaratıcılarından olan Kannan, çizge örnekleme tabanlı

endüktif öğrenme yöntemi olarak tanımlamış ve derin öğrenme ile yüksek hız sağladığını belirtmiştir. Modelin ordu içerisinde kullanılması düşüncesi ile bilinmeyen çizgelerde öğrenme gerçekleşirken ayrıca istihbarat konusunda da gelişmeler gösterecektir. Bu durum dünya ordularının siber istihbarat kavramı ve dijital ordu düşüncesine geçtiğini göstermektedir (Army, 2022).

Birleşik Devletler Ordusu, GNN'leri yapay zeka ajanları olarak kullanmak istemektedir. İnsansız hava ve yer sistemlerinde haberleşme ve iş birliği gerçekleşmesi için kullanılması planlanan GNN modelleri son gelişmeleri kullanması ve sürekli gelişmesi ile dikkat çekmektedir. Projenin üç farklı aşamadan oluşması planlanmış fakat daha sonra geliştirilmesi durdurulmuştur. İlk aşamada Python üzerinden GNN temelleri oluşturulacak ve oyun motoru yardımıyla sürü robotlar için denetimli öğrenme simülasyonu yapılacaktır. Aşama ikide ise gelişmiş platforma geçiş işlemi yapılacak, geliştirilen GNN modeli öncelikle Python ve oyun motorları ile simüle edilirken NVIDIA ile gelişmiş ortama aktarılarak testler bu platformda devam edecektir. Üçüncü aşamada ise ticarileşme gerçekleşerek model üretilecek ve kontrol edilmiş güvenli bir yazılım halinde orduya teslim edilecektir. Bu teknolojinin en önemli özelliği ise Balistik Düşük Drone Sözleşmesi (BLADE) ve diğer C-UAS sistemlerini desteklemesidir. Sürü sistemlerde iletişim süresinin azalması ve bu sayede hızın artacağı düşünülmektedir (SAM, 2022).

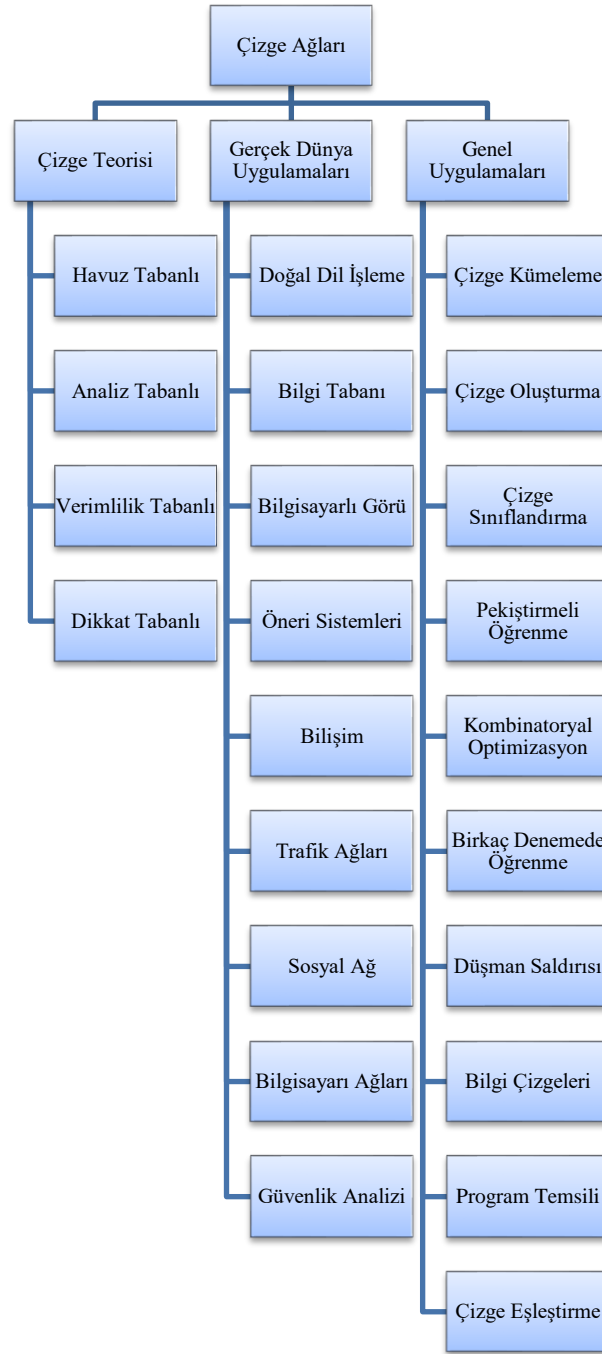
Farklı alanlarda kullanılan GNN modellerinin askeri alanlara giriş yapması ya da bu alanlarda farklı görevler için düşünülmesi GNN modellerinin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Gelecek yıllarda tahmin yeteneği sayesinde strateji belirleme, istihbarat önerisi ve iletişim esnekliği gibi konularda askeri sistemlerde görülebilecektir. Bu durum karşısında gelişimin sadece tek bir orduda kaldığı, diğer ülke ordularının bu konu hakkında bir çalışma yapmadığı görülmektedir. Sistem genel işleyişiyle hala yoğunluğunu akademik teorilere vermekte ve uygulama aşaması için bekleme süresini uzatmaktadır. GNN ve çizgelerden öğrenmenin geleceğin vazgeçilmez teknolojilerinden birisi olacağı sadece bu iki düşünce ile bile görülmektedir.

### 3. ÇİZGE MODELLERİN UYGULAMA ALANLARI

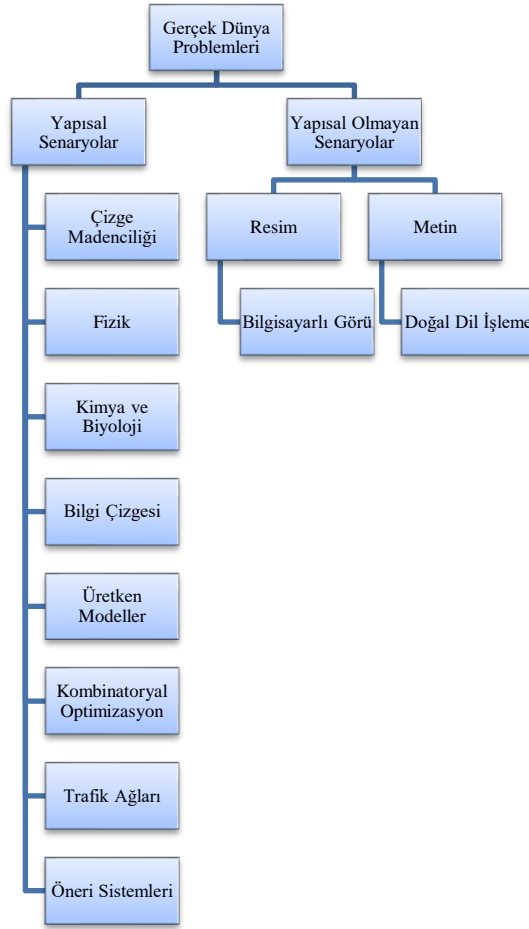
GNN'ler farklı alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 4'te (Asıf ve ark., 2021) görülen çizge ağları yöntemlerinden veriye dayalı yöntemler (çizge teorisi) ve genel uygulamalar daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Veriye dayalı yöntemler problemlerin teorik çözümler ile pratiğe dökülmeden çözüm önerileri geliştirilmesinden oluşmaktadır. Genel uygulamalar ise gerçek dünya problemlerinin çizgesel olgular ile teorik çözümlerinin geliştirilmesidir. Bu iki yöntem gerçek dünya problemlerinde geliştirilen uygulamaların öncülü olmaktadır (Asıf ve ark., 2021). Öncül örneklere bakıldığı zaman teorik yönler görülmektedir. Bu yönler, çizge sinyal işleme, genelleme, dışavurumculuk, değişmezlik, aktarılabilirlik ve etiket verimliliği olarak ayrılmaktadır. Bu teorik yönler ile deneylerin yapılması ve deneyler sonucu karşılaştırılması ise deneysel yön olarak adlandırılmaktadır (Zhou ve ark., 2019). Çizge sinyal işleme, giriş özelliklerinin evrişim geçirmesini teorik olarak incelemektedir. Genelleme, sınır ağlarındaki genelleştirme yeteneğidir. Dışavurumculuk, WL testi kullanılarak özellik öğrenme ve temsil yeteneğinin gelişmişlik seviyesidir. Düğüm sırası olmayan çizgelerde çıktılar giriş özelliklerine göre eşdeğer olma durumu değişmezlik olarak adlandırılmaktadır. Aktarılabilirlik, GNN özelliklerinden çizge ile çözülmüş bir parametrenin verim garantisini sunması ve iletim kabiliyeti kazanması olarak tanımlanmaktadır. Son teorik yön olan etiket verimliliği ise performansın artması için ihtiyaç duyulan etiketlerin güvenilir olma durumudur (Zhou ve ark., 2019). GNN modellerinin uyarlanması için ilk deneylerde gerekli olan veri setleri olmaktadır. Sonraki süreçte değerlendirme ve açık kaynak uygulamaları devreye girmektedir. Değerlendirme süreci çizge sınıflandırma ve düğüm sınıflandırma ile yapılmaktadır. Açık kaynak uygulamaları ise temel deneylerin gerçekleştirilmesi ve simülasyonların yapılmasıdır. GNN'lerde en yaygın kullanılan açık kaynak uygulamaları PyTorch ve MXNet derin öğrenme platformlarıdır (Wu ve ark., 2021).

GNN'ler gerçek dünyada kullanılabilen uygulamalar da geliştirmektedir. Belirli modellerin kullanımı ile geliştirilen uygulamalar gündelik yaşantı, askeri alanlar, bilişim teknolojileri ve doğa bilimlerinde kullanılmaktadır. Şekil 5'te görülen GNN uygulamaları gerçek dünya sorunlarını yapısal ve yapısal olmayan senaryolar olarak ele almaktadır (Zhou ve ark., 2019). Aynı şekilde Şekil 6'da görüldüğü gibi gerçek dünya problemlerinin uygulamaları gelecek çalışmalara da örnek olmaktadır. Yapısal senaryolar, açık veri ilişkisine sahip genellikle bilimsel çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Genelleştirilmesi ile endüstriyel uygulamalara da katkı sağlamaktadır. Yapısal olmayan senaryolar ise, ilişkisel yapının bulunmadığı, bulunuyorsa bile gizli olduğu uygulamalardır. Çoğunlukla yapay zeka araştırmaları için geliştirilmişlerdir. En bilinen yöntemleri ise bilgisayarlı görü ve doğal dil işleme alanlarındadır (Zhou ve ark., 2019).

Çizge madenciliği, temel zorluklar üzerinde GNN görevlerinden en bilinen çizge sınıflandırma, çizge eşleştirme ve çizge kümeleme gibi görevleri kullanarak çözüme ulaşmaya çalışmaktadır (Zhou ve ark., 2019).



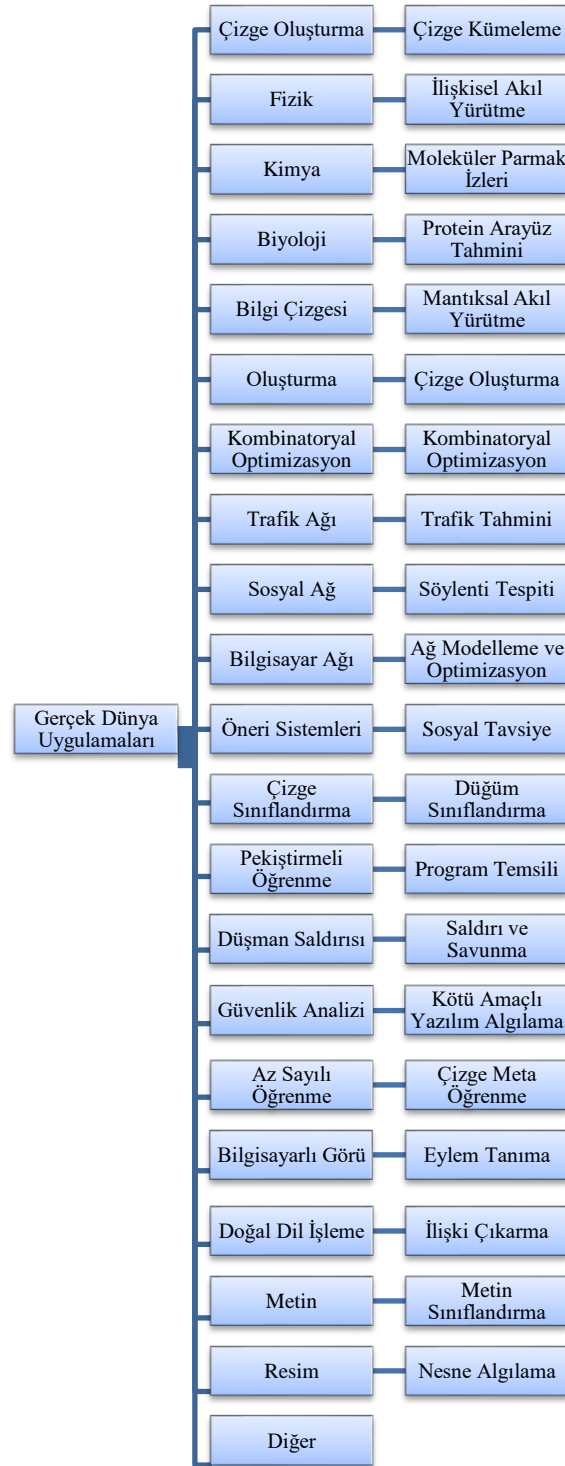
Şekil 4. Çizge ağları yöntemleri.



Şekil 5. Gerçek dünya problemleri.

Bilgi çizgeleri, algılanan gerçek dünya içerisindeki varlık ilişkilerini nitelemektedir. Kullanılan görevler sayesinde akıl yürütme ve tahmin etme yeteneğine sahiptir. Farklı diller arasında çizge eşitleme yapabilir ve eğitim kümesi sayesinde bilgi tabanı dışı varlıklar için de bilgi tabanı tamamlayabilmektedir. Bilgi çizgeleri, gerçek dünya için üretici modeller arasında da yer almaktadır. Üretici modeller, moleküler yapı keşfi ve sosyal etkileşim modelleme ile ön plana çıkmaktadır. Bu modellerden biri olan NetGAN gerçek dünyada ağ taklidi yapabilmektedir. GAN mimari modeli üzerine geliştirilen NetGAN, bağlantı tahmini görevi sayesinde de genelleştirme özelliğine sahiptir (Shchur ve ark., 2018). Bu modele ek olarak farklı sayılarda düğüme sahip ağ çıktısı gerçekleştiren GraphRNN (You ve ark., 2018a), oluşumu sıralama ile gerçekleştiren GraphAF (Shi ve ark., 2020), permütasyon değişmez ayırıcı ile bitişiklik matrisinde bulunan düğüm değişkeni sorununu çözen MolGAN (Cao ve Kipf, 2018), pekiştirmeli öğrenme kullanan GCPN (You ve ark., 2018b), normalizasyonu çizgeye uyarlayabilen GNF (You ve ark., 2018b) ve otomatik kodlayıcı sayesinde nitelik ve temsilleri gizli değişkenlere kodlayan Graphite (Grover ve ark., 2019) modelleri de üretici modeller arasındadır. Kombinatoriyal optimizasyon ise odak noktasını sıralamalara çevirmiştir. Önemli olan husus ise nesnelere bir sıralama durumunun olup olmaması değil en iyi sıralamanın nasıl olması gerektiğine bakılmaktadır. Bağlantılar arasında en kısa mesafeyi bularak çizge içerisinde genel en kısa mesafenin arandığı MST (Minimum Spanning Tree – Minimum Kapsayan Ağaç) algoritması ve belirli mesafeler arasında düğümlerden sadece bir kez geçecek şekilde başlangıç noktasına dönebilen bu işlem sırasında en kısa yolu kullanarak aynı zamanda en düşük maliyeti sağlamaya odaklı TSP (Traveling Salesman Problem – Gezgin Satıcı Problemi) algoritmalarına odaklanan kombinatoriyal optimizasyon, önemli bir uygulama alanı haline gelmiştir (Zhou ve ark., 2019). TSP sorunu için geliştirilen yöntemde sıralı giriş ve çıkış verisi sağlayan işaretçi ağı (pointer network) ile pekiştirmeli öğrenmede doğrudan optimizasyon için kullanılan ilke gradyan yöntemleri kullanılmıştır (Bello ve ark., 2017). Bir başka yaklaşım ise çizge ve dağıtık yerel algoritma bağlantısını sağlayarak teorik analiz ile optimal sonuca ulaşabileceğini belirtmiştir (Sato ve ark., 2019). Öneri sistemleri, çizge tabanında sosyal öneri ve bağlantı tahmininden yola çıkarak kullanıcı-öğre etkileşim tahmini görevlerini yapmaktadır. Düğüm bilgilerinden yararlanılarak gerçekleştirilen işlemlerde eksik bağlantılar tahmin edilebilmekte ve bu tahmin için otomatik kodlayıcı kullanılmaktadır (Wu ve ark., 2021). Sosyal öneri için ise asıl amaç öneri verimini

yükseltmektedir. Geliştirilen GraphRec (Fan ve ark., 2019) modeli ile öge ve kullanıcı için gizli faktör öğrenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu öğrenim sonrası yerleşme gerçekleşmekte ve tutarlı bir model ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. Gerçek dünya problemlerinin uygulamaları.

Trafik ağları da GNN modelleri için önemli bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur. Uzamsal-zamansal bağımlılık yakalama görevin odak noktasıdır. Bu durum için LSTM kullanmakta ve dikkat katmanı ile işlem yapmaktadır (Zhou ve ark., 2019). STGNN modeli de akıllı ulaşım sistemini hedeflemektedir. LSTM’de olduğu gibi uzamsal-zamansal çizgeler kullanmaktadır. Bu sayede trafik hızı tahmini, trafik hacmi ve yol yoğunluğu tahmin edebilmektedir (Wu ve ark., 2021). Bir başka tahmin ise taksi talebi tahminidir. Geçmiş talepler, konum, hava durumu ve özellikler kullanılarak konum-talep tahmini yapılabilmektedir (Yao ve ark., 2018).



GNN'ler doğa bilimlerinde de kullanılmaktadır. Özellikle kimya ve biyoloji alanlarında moleküler çizgelerde kullanılmaktadır. Bunların dışında yaygın uygulama alanları, moleküler parmak izleri, kimyasal reaksiyon tahmini ve protein arayüz tahminidir. GNN modelleri molekül yapısını kodlayarak daha iyi parmak izleri elde edebilmektedir. Bu durum ilaç keşfini geliştirmekte ve bilgisayarlı ilaç tasarımında kullanılmaktadır. Tahmin yeteneği yüksek olan GNN modelleri kimya biliminde reaksiyon tahmini için de kullanılmaktadır. Aynı şekilde öneri sistemleri de kimyasal reaksiyon tahminine bu durumda yardım etmektedir. Çizge içerisinde bulunan belirli düğümlerin protein parçası olup olmadığını anlamamızı sağlayan protein arayüz tahmini, kimya ve biyoloji alanlarında kullanılmaktadır. Biyoloji alanında kullanım yöntemlerinden bir diğeri de teknik kısım olan biyomedikal mühendisliğidir. Biyoloji uygulamalarında protein-protein etkileşimi ile kanser sınıflandırması yapılabilmektedir. İlaç yan etkileri için de tahmin yeteneği kullanılmaktadır (Zhou ve ark., 2019). Fizik alanında da sistem modellemesi için kullanılan sinir ağları, ikili etkileşim kullanılmaktadır. Öğrenme sonrası tahminlerde bulunarak sistemi simüle edebilmektedir. Aynı zamanda çizge temsil, güçlü öğrenme ve kontrol görevleri de fizik alanında kullanılmaktadır. Tüm bunların dışında yapısal senaryolarda finans, borsa, hisse senedi etkileşimi, piyasa endeksi, yazılım tabanlı ağlarda optimizasyon ve metin oluşturma uygulamaları da kullanılmaktadır (Zhou ve ark., 2019). Farklı alanlara bakıldığında, kapalı tekrarlayan kullanarak tümevarımlı önyargılara sahip program doğrulama (Li ve ark., 2015), kaynak kod odağında öğrenme düşünerek değişken adı tahmini yapabilen VarNaming ile kullanım amacı seçimi için geliştirilerek akıllı yürütme kullanan VarMisuse modelini kullanan program muhakemesi (Allamanis ve ark., 2017), bağımlılık ağaçları kullanarak oluşturulan havuzlama modeli ile olay algılama (Nguyen ve Grishman, 2018), klinik nöral gelişim sonuç tahmini olarak geliştirilmesi ile deneylerini 18 aylık - prematüre kapsamında gerçekleştiren beyin ağları uygulaması BrainNetCNN (Kawahara ve ark., 2017), sosyal ağlar üzerinde gizli etkiyi öğrenerek sosyal etki tahmini yapabilen DeepInf (Qiu ve ark., 2018), çizge yapısı ile düğüm özelliklerine odaklanarak ters işlemler ile düşman saldırısı önleme (Zügner ve ark., 2018), veri yetersizliği ile yorumlama sorunlarına odaklanarak elektriksel sağlık kayıtları (EHR) uygulaması gerçekleştiren ve yorum yeteneğini tıbbi onkoloji ile tamamlayabilen dikkat modeli GRAM (Choi ve ark., 2017) ve son olarak EHR kayıtları ile düğüm gömme işlemi gerçekleştirerek öğrenme gerçekleştiren, kalp ve sıralı hastalık test deneylerinde başarılı olan MiMe (Multilevel Medical Embedding – Çok Düzeyli Tıbbi Gömme) (Choi ve ark., 2018) uygulamaları da yapısal senaryolara örnek olarak verilebilir.

Yapısal olmayan senaryolarda ise performansı iyileştirme amaçlı yapısal senaryo dâhili ve ilişkisel yapı çıkarımı sonrasında metini çizge üzerinde modelleme durumları söz konusudur. Yapısal olmayan senaryolar resim, metin ve kaynak kod olarak ayrılmaktadır.

Resim bölümünde görüntü sınıflandırma, görsel akıl yürütme, nesnelere arası anlamsal ilişki tanıma, nokta bulutu sınıflandırması ve semantik segmentasyon uygulamaları bulunmaktadır. Birkaç çekimli görüntü sınıflandırması, eğitim örnekleriyle öğrenme gerçekleştirerek genelleme yapmaktadır. Bu durumda bilgi çizgelerini yönlendirici olarak kullanılabilir. Görsel akıl yürütme, uzamsal-anlamsal çalışmaktadır. Görsel soru cevaplama en bilinen uygulamalarındandır. Aynı zamanda nesne ve etkileşim algılama ile bölge sınıflandırması da görsel akıl yürütme uygulamalarındandır. Bilgisayarlı görme alanında sıklıkla kullanılan GNN modelleri insan-nesne etkileşimi ve anlamsal bölümlenme alanında da yapısal olmayan senaryolara yardımcı olmaktadır (Zhou ve ark., 2019; Wu ve ark., 2021).

Metin bölümünde ise metin sınıflandırma, dizileri kategori haline getirerek etiket atama işlemi olan sıra etiketleme, dizi etiketlemeyi söz dizimsel olarak gerçekleştiren semantik rol etiketleme, diller arası otomatik çeviri yapabilen NMT (Neural Machine Translation – Sinirsel Makine Çevirisi), anlamsal ilişki çıkarımı, olay çıkarma, eş anlam cümleler oluşturabilen çizgeden diziye öğrenme, kanıt çıkararak gerçekleştirilen gerçek doğrulama ve doğal dil işleme görevleri bulunmaktadır (Zhou ve ark., 2019). Tablo 12-16'da çizge modellerin uygulamaları görülmektedir.

**Tablo 12.** Çizge modellerin uygulamaları (1).

Kullanım Alanı	Uygulama	Model	Çalışma
Çizge Madenciliği	Çizge Eşleştirme	GNN	(Li ve ark., 2018a) (Riba ve ark., 2018)
	Çizge Kümeleme	GNN	(Zhang ve ark., 2019d) (Ying ve ark., 2018b) (Tsitsulin ve ark., 2020)
	Derin Çizge Eşleştirme	GCN (Bölünmüş GNN)	(Fey ve ark., 2020)
Fizik	Fiziksel Sistem Modelleme	GNN	(Sukhbaatar ve ark., 2016) (Battaglia ve ark., 2016) (Hoshen, 2017) (Fey ve ark., 2020) (Watters ve ark., 2017) (Kipf ve ar k., 2013) (Sanchez ve ark., 2018)
	Sahne Görüntülerini Tahmin Etme	GNN	(Raposo ve ark., 2017)
	Nesne Keşfi ve İlişkileri	VAE	(Raposo ve ark., 2017)
	İlişkisel Akıl Yürütme	İlişki Ağları	(Santoro ve ark., 2017)
	Videodan Fizik Simülasyonu	Etkileşim Ağları	(Watters ve ark., 2017)
	Etkileşim Sistemleri	GNN	(Xu ve ark., 2019f)
Kimya	İklim Gözlemi	GNN	(Wang ve ark., 2020b)
	Moleküler Parmak İzleri	GCN	(Duvenaud ve ark., 2015) (Kearnes ve ark., 2016)
	Kimyasal Reaksiyon Tahmini	GCN	(Do ve ark., 2019)
	Polieczacılık Yan Etkisinin Modellenmesi	GCN	(Zitnik ve ark., 2018)
	Moleküllerde Polieczacılık İstismarı	GCN	(Knyazev ve ark., 2018)
	Moleküler Optimizasyon	GAN	(Jin ve ark., 2018)
	Yapılandırılmış Varlık Etkileşimleri Tahmini	GCN	(Xu ve ark., 2019f)
Retrosentez Tahmini	GCN	(Dai ve ark., 2019a)	
Biyoloji	Protein Arayüz Tahmini	GNN	(Fout ve ark., 2017)
	Yan Etki Tahmini	GNN	(Zitnik ve ark., 2018)
	Hastalık Sınıflandırılması	GNN	(Rhee ve ark., 2018)
Bilgi Çizgesi – Bilgi Tabanı	Bilgiye Dayalı Tamamlama	GNN	(Schlichtkrull ve ark., 2018) (Hamaguchi ve ark., 2017) (Shang ve ark., 2019)
	Bilgi Çizgesi Hizalama	GNN	(Wang ve ark., 2018f) (Zhang ve ark., 2019b) (Xu ve ark., 2019e)
	İlişkisel Verileri Modelleme	GNN	(Schlichtkrull ve ark., 2018)
	Bilgi Çizgesi Hizalama	GCN	(Wang ve ark., 2018f)
	İlişkisel Bilgi Üretimi	DGNN	(Kim ve ark., 2018)
	Düğüm Önem Tahmini	GNN	(Park ve ark., 2019)
	İlişkisel Tahmin	GAT	(Nathani ve ark., 2019)
	Bilgi Çizgesi Hizalama	GMNN	(Xu ve ark., 2019e)
	Bilgi Çizgesi Akıl Yürütme	GNN	(Xu ve ark., 2019g)
	Bilgiye Dayalı Tamamlama	SACN	(Shang ve ark., 2019)
Bilgi Çizgesi Gömme	LABNAN	(Wang ve ark., 2018b)	
Mantıksal Akıl Yürütme	GNN	(Zhang ve ark., 2020b)	

**Tablo 13.** Çizge modellerin uygulamaları (2).

Kullanım Alanı	Uygulama	Model	Çalışma
Oluşturma	Çizge Oluşturma	GNN	(You ve ark., 2018a) (You ve ark., 2018b) (Cao ve Kipf, 2018) (Li ve ark., 2018b) (Shchur ve ark., 2018) (Shi ve ark., 2020) (Grover ve ark., 2019) (Nowak ve ark., 2018) (Ma ve ark., 2018b) (Liu ve ark., 2019a)
	Anlamsal Doğrulama	VAE	(Ma ve ark., 2018b)
	Çizge Oluşturma	GNN	(Li ve ark., 2018b)
	Küçük Moleküler Çizgeler	GAN	(Cao ve Kipf, 2018)
	Çizge Oluşturma	GAN	(Shchur ve ark., 2018)
	Çizge Oluşturma	VAE	(Grover ve ark., 2019)
	Kod Oluşturma	GNN	(Bojhevski ve Günneman, 2018)
	Çizge Oluşturma	RNN	(Liao ve ark., 2019)
Bilgisayar Ağı	SDN’de Ağ Modelleme ve Optimizasyon	GNN	(Rusek ve ark., 2019)
Program Temsili	Program Temsil Etme	Gated GNN	(Allamanis ve ark., 2017)
	Çizge Yapılı Önbellek	GNN	(Cvitkovic ve ark., 2019)
Sosyal Ağ	Haber Medyasında Siyasi Perspektif Tespiti	GNN	(Li ve ark., 2019a)
	İnci Taneli Olay Kategorizasyonu	GCN	(Peng ve ark., 2019)
	Sosyal Spam Gönderici Algılama	GCN	(Wu ve ark., 2020)
	Söylenti Tespiti	GCN	(Bian ve ark., 2017)
Öneri Sistemleri	Kullanıcı Ögesi Etkileşim Tahmini	GNN	(Ying ve ark., 2018a) (Berg ve ark., 2017)
	Sosyal Tavsiye	GNN	(Fan ve ark., 2019) (Wu ve ark., 2019b)
	Matris Tamamlama	GCN	(Berg ve ark., 2017)
	Web Ölçeğinde Öneri sistemleri	GCN	(Ying ve ark., 2018a)
	Öneri Sistemleri	Star-GCN	(Zhang ve ark., 2019c)
	İşbirlikçi Filtreleme	Distiling-GCN	(Wang ve ark., 2019a)
	Oturuma Dayalı Öneri	SAN	(Xu ve ark., 2019a)
	Birebir Aynı Öneri	MCO	(Gong ve ark., 2019)
	Birebir Aynı Öneri	GAT	(Wang ve ark., 2019c)
	Öneri Sistemleri	GCN	(Wang ve ark., 2019b)
Endüktif Matris Tamamlama		GNN	(Zhang ve ark., 2019a)
	İşbirlikçi Filtreleme	LRGCN	(Chen ve ark., 2020a)
Diğer (Yapısal)	Borsa	GNN	(Matsunaga ve ark., 2017) (Yang ve ark., 2019) (Chen ve ark., 2018b) (Li ve ark., 2020a)
	Yazılım Tanımlı Ağlar	GNN	(Rusek ve ark., 2019)
	Çizgeden Metne	GNN	(Beck ve ark., 2018) (Song ve ark., 2018c)
Diğer (Yapısal Olmayan)	Program Doğrulama	GNN	(Allamanis ve ark., 2017) (Li ve ark., 2015)
Bilgisayarlı Görü	Görsel Soru – Cevaplama	GRU	(Teney ve ark., 2017)
	Semantik Segmentasyon	3D GNN	(Qi ve ark., 2017)
	Durum Tanıma	GNN	(Li ve ark., 2017c)
	İnsan – Nesne Etkileşimi	GPNN	(Qi ve ark., 2018)
	Yorumlanabilir Görsel Soru Cevaplama	GCN + GLM	(Norcliffe-Brown ve ark., 2018)
	Gerçek Görsel Soru Cevaplama	GCN	(Narasimhan ve ark., 2018)
	Sosyal İlişki Anlayışı	GRM	(Wang ve ark., 2018e)
Eylem Tanıma	GCN	(Guo ve ark., 2018)	

**Tablo 14.** Çizge modellerin uygulamaları (3).

Kullanım Alanı	Uygulama	Model	Çalışma
Kombinatoriyal Optimizasyon	Kombinatoriyal Optimizasyon	GNN	(Bello ve ark., 2017) (Sato ve ark., 2019) (Nowak ve ark., 2018) (Khalil ve ark., 2017) (Kool ve ark., 2018) (Vinyals ve ark., 2015) (Sutton ve Barto, 2018) (Dai ve ark., 2016) (Gasse ve ark., 2019) (Zheng ve ark., 2020c) (Selsam ve ark., 2019)
	İkinci Dereceden Atama	GNN	(Nowak ve ark., 2017)
	Kombinatoriyal Optimizasyon	GCN	(Li ve ark., 2018d)
	Dikkat Çözücü	GAT	(Kool ve ark., 2018)
	Tam Problemler	GNN	(Prates ve ark., 2019)
	Kombinatoriyal Problemler	GNN	(Sato ve ark., 2019)
	Topolojik Gürültü Giderme	GNN	(Nowak ve ark., 2017)
Trafik Ağı	Trafik Durum Tahmini	GNN	(Yu ve ark., 2018a) (Lou ve ark., 2020b) (Zheng ve ark., 2020a) (Guo ve ark., 2019)
	Trafik Tahmini	GCN	(Yu ve ark., 2018a)
	Trafik Akış Tahmini	GCN	(Guo ve ark., 2019)
	Yolcu Talep Yönlendirme	GCN	(Wang ve ark., 2019d)
	Yüksek Çözünürlüklü Yönlendirme	GCN	(Hu ve ark., 2019)
	Çok Adımlı Yolcu Talep Tahmini	GCN	(Bai ve ark., 2019a)
	Şehir Çapında Park Yeri Durumu Tahmini	GNN	(Zhang ve ark., 2020a)
Az Sayılı Öğrenme	Çizge Yapılı Önbellek Yapılandırılmış Bilgi Çizgeleri	GRU	(Lee ve ark., 2018a)
	Sınıflandırma Ağırlığı Oluşturma	GNN	(Gidaris ve Komodakis, 2019)
	Çizge Meta Öğrenme	GAT	(Li ve ark., 2019b)
	Nitelik Yayılım Ağı	KNN	(Li ve ark., 2020c)
	Bilgi Aktarımı	GNN	(Yao ve ark., 2020)
	Çizge Spektral Ölçüm	GNN	(Chauhan ve ark., 2020).
	Bilgi Tahmini	GNN	(Baek ve ark., 2020)
Düşman Saldırısı	Çizge Yapılandırılmış Veri	GNN	(Zügner ve ark., 2018)
	Çizge Yapılandırılmış Veri	GNN	(Dai ve ark., 2018b)
	Saldırı ve Savunma	GCN	(Wu ve ark., 2019a)
	Topolojik Saldırı ve Savunma	GNN	(Xu ve ark., 2019d)
	Düşman Saldırısı	GCN	(Zhu ve ark., 2019)
	Düğüm Gömme	GNN	(Bojhevski ve Günneman, 2019a)
	Çizge Pertürbasyon	GNN	(Bojhevski ve Günneman, 2019b)
Güvenlik Analizi	Etkili Güvenlik Açığı Tanımlama	GNN	(Zhou ve ark., 2020)
	Mantık Şifresini Kırma	RNN	(Tehranipoor ve ark., 2019)
	Şaşırtma Politikasını Geliştirme	GCN	(Chen ve ark., 2020b)
	Veri Yönetimi ve Anormallik Algılama	GCN	(Wang ve ark., 2020d)
	Kötü Amaçlı Yazılım Algılama	GCN	(Pei ve ark., 2020)

**Tablo 15.** Çizge modellerin uygulamaları (4).

Kullanım Alanı	Uygulama	Model	Çalışma
Resim	Sosyal İlişki Anlama	GNN	(Wang ve ark., 2018e)
	Görüntü Sınıflandırma	GNN	(Garcia ve Bruna, 2018) (Marino ve ark., 2017) (Lee ve ark., 2018a) (Wang ve ark., 2018c) (Kampffmeyer ve ark., 2019)
	Görsel Soru Cevaplama	GNN	(Teney ve ark., 2017) (Wang ve ark., 2018e) (Narasimhan ve ark., 2018)
	Nesne Algılama	GNN	(Hu ve ark., 2018) (Gu ve ark., 2018)
	Etkileşim Algılama	GNN	(Qi ve ark., 2018) (Jain ve ark., 2016)
	Bölge Sınıflandırması	GNN	(Chen ve ark., 2018c)
	Semantik Segmentasyon	GNN	(Qi ve ark., 2017) (Liang ve ark., 2016) (Liang ve ark., 2017) (Wang ve ark., 2018d)
Doğal Dil İşleme	Hücrel Otomasyonu Yönetme Kurallarını Keşfetme	GST	(Johnson, 2016)
	Çapraz Cümle İlişki Çıkarma	GLSTM	(Peng ve ark., 2017)
	Makine Aktarımı	GCE	(Basting ve ark., 2017).
	Semantik Rol Etiketleme	GCN	(Marcheggiani ve ark., 2017)
	Olay Algılama	GCN	(Nguyen ve Grishman, 2018)
	Çok Atlamalı Okuduğunu Anlama	GNN	(Song ve ark., 2018a)
	İlişki Çıkarma	GCN	(Zhang ve ark., 2018d)
	İlişki Çıkarma	GSLSTM	(Song ve ark., 2018d)
	AMR'den Metne Dönüştürme	LSTM	(Song ve ark., 2018b)
	Metne Dönüştürme	GGNN	(Beck ve ark., 2018)
	Metin Temsili Öğrenme	SSLSTM	(Zhang ve ark., 2018c)
	Kullanıcı Coğrafi Konumu	GCN	(Rahimi ve ark., 2018)
	Soru Cevaplama	GGNN	(Sorokin ve Gurevych, 2018)
	Konuşma Modelleme	GSLSTM	(Zayats ve ark., 2018)
	Bulmaca Çözümü Soru Cevaplama	RRN	(Palm ve ark., 2018)
Metin	Metin Sınıflandırma	GNN	(Zhang ve ark., 2019b) (Peng ve ark., 2018) (Tai ve ark., 2015)
	Sıra Etiketleme	GNN	(Marcheggiani ve ark., 2017) (Zhang ve ark., 2019b)
	Sınırsal Makine Çevirisi	GNN	(Basting ve ark., 2017) (Marcheggiani ve ark., 2018)
	İlişki Çıkarımı	GNN	(Peng ve ark., 2017) (Zhang ve ark., 2018d) (Song ve ark., 2018d) (Miwa ve ark., 2016)
	Olay Çıkarımı	GNN	(Nguyen ve Grishman, 2018) (Liu ve ark., 2018b)
	Bilgi Doğrulama	GNN	(Nt ve ark., 2019) (Liu ve ark., 2019b) (Zhong ve ark., 2020)
	Soru Cevaplama	GNN	(Cao ve Kipf, 2018) (Song ve ark., 2018a) (Qiu ve ark., 2019) (Tu ve ark., 2019) (Ding ve ark., 2019)
	İlişkisel Okuma	GNN	(Santoro ve ark., 2017) (Palm ve ark., 2018) (Battaglia ve ark., 2016)

**Tablo 16.** Çizge modellerin uygulamaları (5).

Kullanım Alanı	Uygulama	Model	Çalışma
Çizge Sınıflandırma	Moleküler Özellik Tahmini ve Çizge Sınıflandırma	GCN	(Sun ve ark., 2019)
	Düğüm Sınıflandırma	GAN	(Zheng ve ark., 2020b)
	Keyfi Makine Öğrenimi Görevleri	GNN	(Lou ve ark., 2020a)
	Çizge Kümeleme ve Sınıflandırma	VAE	(Wang ve ark., 2020a)
	Düğüm Sınıflandırma	GRU + ATM	(Xu ve ark., 2019c)
	Bağlantı Tahmini Öğrenme	GAN + ATM	(Yu ve ark., 2019)
	Düğüm Sınıflandırma	GRU + ATM	(Xu ve ark., 2019b)
	Çizge Sınıflandırma	GAT	(Bai ve ark., 2019b)
	Çizge Sınıflandırma	GNN + ATM	(Al-Rfou ve ark., 2019)
	Çizge Sınıflandırma	GCN + ATM	(Peng ve ark., 2016)
Olasılıksal Tür Çıkarımı	GNN	(Ye ve ark., 2020)	

#### 4. AVANTAJ, DEZAVANTAJ VE KISITLAR

GNN, çizge öğrenme kullanan bir derin öğrenme yöntemidir. Kendi modelinde avantaj, dezavantaj ve kısıtları olduğu gibi çizge öğrenmeden gelen aynı özellikleri de bulunmaktadır. Şekil 7’de çizge öğrenmenin özellikleri görülmektedir.

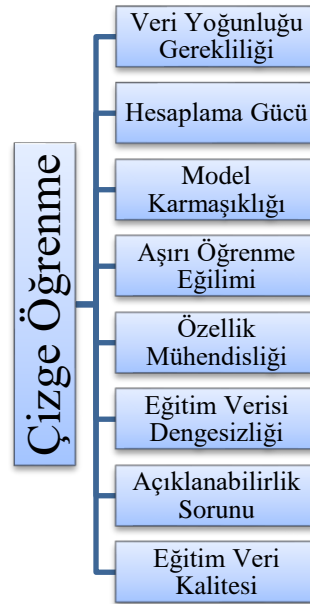
**Şekil 7.** Çizge öğrenmenin özellikleri.

Çizge öğrenme genellikle yapısal verileri işlemek, anlamlandırmak ve tahmin yeteneği için kullanılmaktadır. GNN’lerde olduğu gibi düğüm ve kenar öğrenmesi gerçekleştiren derin öğrenme yöntemlerini kullanmaktadır. Sosyal ve trafik ağları, biyolojik ve kimyasal molekül yapıları gibi çizgesel veriler için uygunluk oluşturmaktadır. Yapısında derin sinir ağlarını ve GNN’leri kullanması sebebiyle büyük ve karmaşık verilerin analizinde kullanılabilir. GNN’lerde olduğu gibi sınıflandırma, kümeleme, tahmin ve keşif gibi görevleri bulunmaktadır. İşlem gerçekleştirirken duyarlılığı ön planda tutmakta ve yapısal özellikleri dikkatle işlemektedir. Özellik çıkarma ve dönüşüm işlemlerinde, ham veri işlemlerinde yeni özellik çıkarma metotları olan özellik mühendisliğini kullanmaktadır. Büyük çizge verileri işleyebilir ve analiz için uygun modeller barındırmaktadır. Üretilen model diğer modeller tarafından anlaşılabilir ve birlikte kullanılabilir. Temel özelliklerine ek olarak çizge öğrenmenin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Modelden modele geçişle birlikte çizge öğrenmenin temel avantaj ve dezavantajları Tablo 17’de görülmektedir.

**Tablo 17.** Çizge öğrenmenin avantaj ve dezavantajları.

Avantaj	Dezavantaj
Yapısal Veri İşleme	Veri Yoğunluğu Gerekliliği
Özellik Mühendisliği	Hesaplama Gücü
Duyarlılık	Model Karmaşıklığı
Geniş Uygulama Alanları	Aşırı Öğrenme Eğilimi
Büyük Veri Setleri	

Çizge modeller yapısal verileri işleyebilmekte ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Yapının bağlantıları dikkate alınarak analiz yapar ve bütünlük sağlar, özellik mühendisliği otomatikleştirilmiştir, modeller kendi kendine öğrenme yeteneğine sahiptir. Karmaşık ve büyük boyutlu verilerde etkinlik göstermektedir. Bu durum hem avantaj sağlarken aynı zamanda modellerin büyük veri gereksinimi ve veri işleme maliyeti sebebiyle dezavantaj oluşturmaktadır. Aşırı öğrenme eğilimi ile model açıklanabilirliğini de etkilemektedir. Model genelleme yaparak dezavantaj oluşturmaktadır. Uygulama alanı oldukça geniş ve her geçen gün genişlemektedir. Çizge öğrenmenin gelişimi her gün devam etse de genel kısıtları bulunmaktadır. Çizge öğrenmenin kısıtları Şekil 8’de görülmektedir.

**Şekil 8.** Çizge öğrenme kısıtları.

Çizge öğrenmede en büyük kısıt büyük verilerin kalitesi olarak görülmektedir. Temelde tüm kısıtlar bu kısıta dayanmaktadır. Model kalitesiz ise sonuçlar yanlış üretilir, model genelleme yaparak açıklanabilirliği düşürmektedir. Aynı zamanda işlem sürecinde maliyeti artırmaktadır. GNN'lere bu durumlar genetik olarak geçmiştir. Genel karşılaştırma Tablo 18’de görülmektedir.

GNN'ler her ne kadar çizge öğrenme alt alanı olarak bilinse de benzerliklerinden çok farklılıkları bulunmaktadır. Geliştirilen her modelin kendine özgü olması bu durumun en büyük sebebidir. Modeller uygulamaya yönelik geliştirilmektedir. Genele bakıldığında bu durum en büyük avantajı sağlamakta ve gelişmiş bir uygulama alanı oluşturmaktadır. Modeller farklı alanları etkilemekte ve yeni alanların önünü açmaktadır.

**Tablo 18.** Çizge öğrenme ve GNN.

	Çizge Öğrenme	GNN
<b>Avantaj</b>	Yorumlanabilirlik	Etki Alanı Birleştirme
	Ölçeklenebilirlik	Uyarlanabilir
	Yapısal Öğrenme	Transdüktif Öğrenme
<b>Dezavantaj</b>	Basit Gösterim	Sınırlı Genelleme
	Varsayımsal Bağ	Yorumlanabilir Temsil
<b>Kısıt</b>	Çıkarım Karmaşıklığı	Uyum
	Sınırlı Anlatım	Maliyet
<b>Benzerlik</b>	Çizge Gösterimi	
<b>Farklılık</b>	Model Karmaşıklığı	
	Yorumlanabilirlik	
	Eğitim Paradigması	
	Veri Gereksinimi	

Çizge öğrenme ve GNN'ler ayrı kavramlar olsa da birbirlerini desteklemektedir. Geliştirilen modeller her geçen gün farklı alanlara yol göstermektedir. Öğrenme yol göstermede başta gelmektedir. Takviyeli öğrenme ile modeller durum ve ortamı analiz ederek geri bildirim sağlar. Karar verme aşamasında analizi ve geri bildirimini kullanmaktadır. Modeller öğrenmeyi de öğrenebilmektedir. Meta-öğrenme olarak bu durumla bir model başka bir modeli geliştirebilir ve analiz yeteneğini güçlendirebilir. Modeller yorumlama işlemlerini örneklerle açıklayabilmektedir. Yorumlama çizge öğrenmenin avantajlarından olsa da GNN'lerin dezavantajlarındandır. Bu sorun yeni modellerle aşılmaya çalışılmakta, kısıtı kaldırmak için yeni modeller üretmektedir. Modelsel durumda yorumlama yeteneği GNN modellerinde bulursa da çizge modeller karşısında daha az yorumlama yeteneği bulunmaktadır. Bu sebeple GNN'ler ile çizge öğrenme arasında etkileşimli alan oluşmaktadır. İki alan da fizik, kimya, metin sınıflandırma ve bilgi çizgilerinde etkili olmaktadır. Fakat burada ayrışan durum, GNN'lerin sinir ağı mimarisini kullanırken, çizge öğrenmenin rastgele yürüyüş ve matris faktörizasyonu kullanmasıdır. Bu sebeple GNN'ler göreve özgü modeli benimsemiştir. Her iki alan da kendi modellerini geliştirmektedir. Çizge öğrenme yaklaşımında çizgesel verileri sinir ağı mimarisi dışında mimariler kullanılarak da geliştirilebilir. GNN'lerin temeli olan derin öğrenme çizge öğrenmenin kullandığı metotlardan sadece birisidir. Bu sebeple daha geniş bir çerçeveye sunmaktadır (Gümüş ve Eyüpoğlu, 2023; Gümüş ve Eyüpoğlu, 2024; Wei ve ark., 2021; Zia ve ark., 2021).

## 5. SONUÇLAR

GNN'ler temelde CNN'ler ile ilişkilendirilmektedir. Bu durum CNN'lerin üç boyutlu verilerde performansının düşük olması sebebiyle oluşmuştur. GNN'ler CNN'lerin limitlerini aşmış ağlardır. Kullanımı her ne kadar dünya genelinde yaygın olsa da ülkemizde yaygınlaşmasının gelecek yıllarda olacağı düşünülmektedir. GNN'lerin avantaj ve dezavantajları hem CNN hem de çizge öğrenme olarak bilinen kavramlardan gelmektedir. Kavramlar her ne kadar farklı çalışmalarda birbirinin altında gösterilse de ayrı kavramların birbirleri ile ilişkilendirilmesi sonucu bu durum ortaya çıkmaktadır. Bu durum temel olarak doğrudur fakat kullanım alanları dahil olduğunda değişim göstermektedir. Bu çalışmada çizge öğrenme ve GNN arasındaki farklar ve benzerlikler ortaya koyulmaktadır. Ayrıca kullanım alanları ve yapılan çalışmalar özetlenerek gelecekte yapılacak araştırmalar için bir bibliyografya oluşturmaktadır. Avantaj, dezavantaj ve kısıtlar incelendiğinde iki kavramın da alan bazlı başarısının kendisini kanıtladığı görülmektedir. Araştırmacılar kavramların kısıtlarını ortadan kaldıracak çalışmalar üretmeye odaklanırken, dezavantajları avantaj haline getirmeye çalışmaktadırlar. Bu sayede gelecek yıllarda kavramların gelişiminin daha hızlı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, çizge öğrenme ve GNN arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak yeni çalışmaların gerçekleştirilmesi için kaynak oluşturmaktır. Bu sayede dünyada kullanımı yaygınlaşan GNN'ler ile ilgili çalışmaların artacağı ve çalışmamızın bu çalışmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

Abu-El-Haija, S., Perozzi, B., Al-Rfou, R., Alemi, A. (2018). Watch your step: learning graph embeddings through attention. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2018, pp. 9180–9190.

Ahmed, A., Shervashidze, N., Narayanamurthy, S., Josifovski, V., and Smola, A.J. (2013). Distributed large-scale natural graph factorization. In Proceedings of 22nd Int. Conf. World Wide Web, May 2013, pp. 37–48.



- Allamanis, M., Brockschmidt, M., Khademi, M. (2017). Learning to represent programs with graphs. In Proceedings of the 7th International Conference on Learning Representations 2017, arXiv:1711.00740.
- Al-Rfou, R., Perozzi, B., Zelle, D. (2019). DDGK: Learning graph representations for deep divergence graph kernels. In Proceedings of World Wide Web Conf., 2019, pp. 37–48.
- Army. (2022). Ordu araştırması, | son teknoloji siber güvenlik yöntemlerini geliştiriyor Madde | Amerika Birleşik Devletleri Ordusu. (army.mil).
- Asif, N.A., Sarker, Y., Chakraborty, R.K., Ryan, M.J., Ahamed, H., Saha, D.K., Badal, F.R., Das, S.K., Ali, F., Moyeen, S.I., Islam, R., Tasneem Z. (2021). Graph Neural Network: A Comprehensive Review on Non-Euclidean Space. IEEE Access, vol. 9, pp. 60588–60606.
- Atwood, J., Towsley, D. (2016). Diffusion-Convolutional Neural Networks. In Proceedings of the 29th Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2016), Barcelona, Spain, pp. 1993–2001.
- Baek, J., Lee, D.B., Hwang, S.J. (2020). Learning to extrapolate knowledge: Transductive few-shot out-of-graph link prediction. 2020, arXiv:2006.06648.
- Bai, L., Yao, L., Kanhere, S.S., Wang, X., Sheng, Q.Z. (2019). STG2Seq: Spatial-temporal graph to sequence model for multi-step passenger demand forecasting. 2019, arXiv:1905.10069.
- Bai, Y., Ding, H., Qiao, Y., Marinovic, A., Gu, K., Chen, T., Sun, Y., Wang, W. (2019). Unsupervised inductive graph-level representation learning via graph-graph proximity. 2019, arXiv:1904.01098.
- Baingana, B., Giannakis, G.B. (2016). Tracking switched dynamic network topologies from information cascades. IEEE Trans. Signal. Process., vol. 65, no. 4, 2016, pp. 985–997.
- Bastings, J., Titov, I., Aziz, W., Marcheggiani, D., Simaan, K. (2017). Graph convolutional encoders for syntax-aware neural machine translation. In Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2017, arXiv:1704.04675.
- Battaglia, P.W., Pascanu, R., Lai, M., Rezende, D., Kavukcuoglu, K. (2016). Interaction networks for learning about objects, relations and physics. In Proceedings of the 30th Conference on Neural Information Processing Systems, 2016.
- Beck, D., Haffari, G., Cohn, T. (2018). Graph-to-sequence learning using gated graph neural network. In Proceedings of ACL 2018, pp. 273–283. arXiv:1806.09835.
- Belkin, M., Niyogi, P. (2003). Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation. Neural Comput., vol. 15, no. 6, 2003, pp. 1373–1396.
- Bello, I., Pham, H., Le, Q.V., Norouzi, M., Bengio, S., (2017). Neural Combinatorial Optimization with Reinforcement Learning. arXiv preprint, 2017, arXiv:1611.09940.
- Berg, R.V.D., Kipf, T.N., Welling, M. (2017). Graph convolutional matrix completion. 2017, arXiv:1706.02263.
- Bian, T., Xiao, X., Xu, T., Zhao, P., Huang, W., Rong, Y., Huang, A. (2017). Rumor detection on social media with bi-directional graph convolutional networks. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 34, 2020, pp. 549–556.
- Bojchevski, A., Günnemann, S. (2019a). Adversarial attacks on node embeddings via graph poisoning. In Proceedings of Int. Conf. Mach. Learn., 2019, pp. 695–704.
- Bojchevski, A., Günnemann, S. (2019b). Certifiable robustness to graph perturbations. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2019, pp. 8319–8330.
- Brockschmidt, M., Allamanis, M., Gaunt, A.L., Polozov, O. (2018). Generative code modeling with graphs. 2018, arXiv:1805.08490.

- Bruna, J., Zaremba, W., Szlam, A., LeCun, Y. (2014). Spectral networks and locally connected networks on graphs. In Proceedings of the 2nd Int. Conf. Learn. Repres., Banff, AB, Canada 2014.
- Cao, S., Lu, W., Xu, Q. (2015). Grarep: Learning graph representations with global structural information. In Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management, 2015, ACM, pp. 891–900.
- Cao, N.D., Kipf, T. (2018). MolGAN: An implicit generative model for small molecular graphs. In Proceedings of ICML 2018 workshop on Theoretical Foundations and Applications of Deep Generative Models, 2018.
- Cao, S., Lu, W., Xu, Q. (2016). Deep neural networks for learning graph representations. In Proceedings of the 30th AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2016, pp. 1145–1152.
- Chauhan, J., Nathani, D., Kaul, M. (2020). Few-shot learning on graphs via super-classes based on graph spectral measures. 2020, arXiv:2002.12815.
- Chen, D. (2009). A novel clustering algorithm for graphs. In Proceedings of 2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, vol. 4, pp.279–283.
- Chen, H., Perozzi, B., Hu, Y., Skiena, S. (2018a). HARP: Hierarchical representation learning for networks. In Proceedings of the 32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2018, pp. 2127–2134.
- Chen, J., Zhang, Q., Huang, X. (2016). Incorporate group information to enhance network embedding. In Proceedings of the 25th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2016, pp. 1901–1904.
- Chen, J., Zhu, J., Song, L., (2018b). Stochastic Training of Graph Convolutional Networks with Variance Reduction. In Proceedings of the 35 th International Conference on Machine Learning, Stockholm, Sweden, PMLR 80.
- Chen, L., Wu, L., Hong, R., Zhang, K., Wang, M., (2020a). Revisiting Graph based Collaborative Filtering: A Linear Residual Graph Convolutional Network Approach. In Proceedings of the Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-20), 2020, pp. 27–35.
- Chen, X., Li, L.-J., Fei-Fei, L., Gupta, A. (2018c). Iterative visual reasoning beyond convolutions. In Proceedings of CVPR, pp. 7239–7248.
- Chen, Z., Kolhe, G., Rafatirad, S., Lu, C.T., Manoj, S.P.D., Homayoun, H., Zhao, L. (2020b). Estimating the circuit de-obfuscation runtime based on graph deep learning. In Proceedings of Design, Automat. Test Eur. Conf. Exhib. (DATE), Mar. 2020, pp. 358–363.
- Choi, E., Bahadori, M.T., Song, L., Stewart, W.F., Sun, J. (2017). Gram: graph-based attention model for healthcare representation learning. In Proceedings of KDD. ACM, 2017, pp. 787–795.
- Choi, E., Xiao, C., Stewart, W., Sun, J. (2018). Mime: Multilevel medical embedding of electronic health records for predictive healthcare. In Proceedings of NeurIPS, 2018, pp. 4548–4558.
- Coley, C.W., Barzilay, R., Green, W.H., Jaakkola, T.S., Jensen, K.F. (2017). Convolutional embedding of attributed molecular graphs for physical property prediction. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 57, no. 8, pp. 1757–1772.
- Cvitkovic, M., Singh, B., Anandkumar, A. (2019). Open vocabulary learning on source code with a graph-structured cache. In Proceedings of Int. Conf. Mach. Learn., 2019, pp. 1475–1485.
- Dai, H., Dai, B., Song, L. (2016). Discriminative embeddings of latent variable models for structured data. In Proceedings of ICML, 2016, pp. 2702–2711.
- Dai, H., Kozareva, Z., Dai, B., Smola, A., Song, L. (2018a). Learning Steady-States of Iterative Algorithms Over Graphs. In the 35th International Conference on Machine Learning, PMLR 80, pp. 1106–1114.

- Dai, H., Li, C., Coley, C., Dai, B., Song, L. (2019a). Retrosynthesis prediction with conditional graph logic network. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2019, pp. 8872–8882.
- Dai, H., Li, H., Tian, T., Huang, X., Wang, L., Zhu, J., Song, L. (2018b). Adversarial attack on graph structured data. In Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, 2018, arXiv:1806.02371.
- Dai, Q., Li, Q., Tang, J., Wang, D. (2019b). Adversarial network embedding, In Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence.
- Das, R., Dhuliawala, S., Zaheer, M., Vilnis, L., Durugkar, I., Krishnamurthy, A., Smola, A., McCallum, A. (2018). Go for a walk and arrive at the answer: Reasoning over paths in knowledge bases using reinforcement learning. In Proceedings of the 7th International Conference on Learning Representations.
- De Bacco, C., Power, E.A., Larremore, D.B., Moore, C. (2018). Community detection, link prediction, and layer interdependence in multilayer networks. Phys. Rev. E., vol. 95, no. 4, 2017, 042317.
- Defferrard, M., Bresson, X., Vandergheynst, P. (2016). Convolutional Neural Networks on Graphs with Fast Localized Spectral Filtering. In Proceedings of NeurIPS 2016, pp. 3844–3852.
- Deng, Z., Dong, Y., Zhu, J. (2019). Batch Virtual Adversarial Training for Graph Convolutional Networks. ArXiv abs/1902.09192 (2019).
- Derr, T., Ma, Y., Tang, J. (2018). Signed graph convolutional networks. In Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), IEEE, 2018, pp. 929–934.
- Ding, C.H., He X., Zha H., Gu M., Simon H.D. (2001). A min-max cut algorithm for graph partitioning and data clustering. In Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining, IEEE, 2001, pp. 107–114.
- Ding, M., Tang, J., Zhang, J. (2018). Semi-supervised learning on graphs with generative adversarial nets, In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2018.
- Ding, M., Zhou, C., Chen, Q., Yang, H., Tang, J. (2019). Cognitive graph for multi-hop reading comprehension at scale. In Proceedings of ACL, 2019, pp. 2694–2703.
- Do, K., Tran, T., Venkatesh, S. (2019). Graph transformation policy network for chemical reaction prediction. Proceedings of SIGKDD, pp. 750–760. J. Zhou et al. AI Open 1, pp. 57–81 77, In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2019.
- Dong, X., Thanou, D., Frossard, P., Vandergheynst, P. (2016). Learning Laplacian matrix in smooth graph signal representations. IEEE Trans. Signal. Process., vol. 64, no. 23, 2016, pp. 6160–6173.
- Donnat, C., Zitnik, M., Hallac, D., Leskovec, J. (2017). Spectral graph wavelets for structural role similarity in networks. arXiv preprint arXiv:1710.10321, 2017.
- Dourisboure, Y., Geraci, F., Pellegrini, M. (2007). Extraction and classification of dense communities in the web. In Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web, ACM, pp. 461–470.
- Du, M., Li, F., Zheng, G., Srikumar, V. (2017). Deeplog: anomaly detection and diagnosis from system logs through deep learning. In Proceedings of Acm Sigsac Conference on Computer & Communications Security 2017.
- Dutil, F., Cohen, J.P., Weiss, M., Derevyanko, G., Bengio, Y. (2018). Towards gene expression convolutions using gene interaction graphs. In Proceedings of International Conference on Machine Learning Workshop on Computational Biology, 2018.
- Duvenaud, D.K., Maclaurin, D., Aguileraiparraguirre, J., Gomezbombarelli, R., Hirzel, T.D., AspuruGuzik, A., Adams, R.P. (2015). Convolutional networks on graphs for learning molecular fingerprints. In Proceedings of NIPS, Neural Inf. Process. Syst., 2015, pp. 2224–2232.
- Entezari, N., Al-Sayouri, A.S., Darvishzadeh, A., Papalexakis, E.E. (2020). All you need is low (rank) - defending against adversarial attacks on graphs. In WSDM '20: the Thirteenth ACM International Conference on Web Search

and Data Mining, Houston TX USA February, 2020, pp. 169–177.

Fan, W., Ma, Y., Li, Q., He, Y., Zhao, E., Tang, J., Yin, D. (2019). Graph neural networks for social recommendation. In Proceedings of WWW, 2019, pp. 417–426.

Feder, T., Motwani, R. (1995). Clique partitions, graph compression and speeding-up algorithms. *J. Comput. Syst. Sci.*, vol. 51, no. 2, 1995, pp. 261–272.

Feng, R., Yang, Y., Hu, W., Wu, F., Zhuang, Y. (2018a). Representation learning for scale-free networks. In Proceedings of the 32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2018, pp. 282–289.

Feng, Y., You, H., Zhang, Z., Ji, R., Gao, Y., (2018b). Hypergraph neural networks. In Proceedings of AAAI, vol. 33, 2018, pp. 3558–3565.

Fey, M., Lenssen, J.E., Morris, C., Masci, J., Kriege, N.M. (2020). Deep graph matching consensus. Arxiv 2020, arXiv:2001.09621.

Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Phys. Rep.*, vol. 486, no. 3-5, 2010, pp. 75–174.

Fout, A., Byrd, J., Shariat, B., Ben-Hur, A. (2010). Protein interface prediction using graph convolutional networks. In Proceedings of NIPS, 2017, pp. 6533–6542.

Gao, H., Wang Z., Ji S. (2018). Large-scale learnable graph convolutional networks. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, ACM, 2018, pp. 1416–1424.

Garcia, V., Bruna, J. (2018). Few-shot learning with graph neural networks. In Proceedings of the 7th International Conference on Learning Representations, 2018.

Gasse, M., Chetelat, D., Ferroni, N., Charlin, L., Lodi, A. (2019). Exact combinatorial optimization with graph convolutional neural networks. In Proceedings of NeurIPS 2019, pp. 15580–15592.

Gidaris, S., Komodakis, N. (2019). Generating classification weights with GNN denoising autoencoders for few-shot learning. In Proceedings of IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR), Jun. 2019, pp. 21–30.

Gilmer, J., Schoenholz, S.S., Riley, P.F., Vinyals, O., Dahl, G.E. (2017). Neural Message Passing for Quantum Chemistry. In Proceedings of International Conference on Machine Learning, 2017. ArXiv, abs/1704.01212.

Girvan, M., Newman, M.E. (2002). Community structure in social and biological networks. In Proceedings of Natl. Acad. Sci., vol. 99, no. 12, pp. 7821–7826.

Gong, Y., Zhu, Y., Duan, L., Liu, Q., Guan, Z., Sun, F., Ou, W., Zhu, K.Q. (2019). Exact-K recommendation via maximal clique optimization. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, Jul. 2019, pp. 617–626.

Green, S.B., Yang Y. (2009). Reliability of summed item scores using structural equation modeling: an alternative to coefficient alpha. *Psychometrika*, vol. 74, no. 1, 2009, pp. 155–167.

Grover, A., Leskovec, J. (2016). node2vec: Scalable feature learning for networks. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, pp. 855–864.

Grover, A., Zweig, A., Ermon, S. (2019). Graphite: iterative generative modeling of graphs. In Proceedings of ICML, 2019, pp. 2434–2444.

Gu, J., Hu, H., Wang, L., Wei, Y., Dai, J. (2018). Learning region features for object detection. In Proceedings of ECCV, 2018, pp. 381–395.

Guo, M., Chou, E., Huang, D.A., Song, S., Yeung, S., Fei-Fei, A. (2018). Neural graph matching networks for fewshot 3D action recognition. In Proceedings of Eur. Conf. Comput. Vis. (ECCV), 2018, pp. 653–669.

- Guo, S., Lin, Y., Feng, N., Song, C., Wan, H. (2019). Attention based spatial temporal graph convolutional networks for traffic flow forecasting. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 33, 2019, pp. 922–929.
- Gümüş, H.T., Eyüpoğlu, C. (2023). Grafik Sinir Ağlarına Genel Bir Bakış. EMO Bilimsel Dergi, vol. 13, no. 2, pp. 39–56.
- Gümüş, H.T., Eyüpoğlu, C. (2024). Grafik Sinir Ağları Üzerine Bir İnceleme. Savunma Bilimleri Dergisi, vol. 20, no. 1, pp. 105–138.
- Hamaguchi, T., Oiwa, H., Shimbo, M., Matsumoto, Y. (2017). Knowledge transfer for out-of-knowledge-base entities: a graph neural network approach. In Proceedings of IJCAI, 2017, pp. 1802–1808.
- Hamilton, W.L., Ying, R., Leskovec, J. (2017a). Representation learning on graphs: methods and applications. 2017, arXiv preprint arXiv:1709.05584, 2017b.
- Hamilton, W.L., Ying, R., Leskovec, L. (2017b). Inductive representation learning on large graphs. In Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17), Red Hook, NY, USA, pp. 1025–1035.
- Harandi, M.T., Sanderson, C., Shirazi, S., Lovell, B.C. (2011). Graph embedding discriminant analysis on Grassmannian manifolds for improved image set matching. In Proceedings of CVPR 2011, IEEE, 2011, pp. 2705–2712.
- Henaff, M., Bruna, J., Lecun, Y. (2015). Deep Convolutional Networks on Graph-Structured Data. 2015, arXiv preprint arXiv:1506.05163.
- Hoshen, Y. (2017). Vain: attentional multi-agent predictive modeling. In Proceedings of NIPS, pp. 2698–2708, Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- Hu, C., Cheng, L., Sepulcre, J., Johnson, K.A., Fakhri, G.E., Lu, Y.M., Li, Q. (2015). A spectral graph regression model for learning brain connectivity of Alzheimer's disease. PLoS ONE, vol. 10, no. 5, 2015, e0128136.
- Hu, J., Guo, C., Yang, B., Jensen, C.S. (2019). Stochastic weight completion for road networks using graph convolutional networks. In Proceedings of IEEE 35th Int. Conf. Data Eng. (ICDE), Apr. 2019, pp. 1274–1285.
- Hu, R., Long, G., Jiang, J., Yao, L., Zhang, C. (2018). Adversarially regularized graph autoencoder for graph embedding. In Proceedings of IJCAI, 2018, pp. 2609–2615.
- Huang, X., Li, J., Hu, X. (2017). Label informed attributed network embedding. In Proceedings of the 10th ACM International Conference on Web Search and Data Mining, 2017, pp. 731–739.
- Ioannidis, V.N., Berberidis, D., Giannakis, G.B. (2019). Graphsac: Detecting Anomalies in Large-Scale Graphs. arXiv preprint arXiv:1910.09589.
- Jain, A., Zamir, A.R., Savarese, S., Saxena, A. (2016). Structural-rnn: deep learning on spatio-temporal graphs. In Proceedings of CVPR, 2016, pp. 5308–5317.
- Jiang, J., Chen, J., Gu, T., Choo, K.K.R., Liu, C., Yu, M., Huang, W., Mohapatra, P. (2019). Anomaly detection with graph convolutional networks for insider threat and fraud detection. In Proceedings of MILCOM 2019 - 2019 IEEE Military Communications Conference (MILCOM).
- Jin, W., Li, Y., Xu, H., Wang, Y., Tang, J. (2020). Adversarial Attacks and Defenses on Graphs: A Review and Empirical Study. ArXiv, abs/2003.00653.
- Jin, W., Yang, K., Barzilay, R., Jaakkola, T. (2018). Learning multimodal graph-to-graph translation for molecular optimization. 2018, arXiv:1812.01070.
- Johnson, D.D. (2016). Learning graphical state transitions. In Proceedings of Int. Conf. Learn. Represent. (ICLR), 2016.

- Jolliffe, I.T., Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 374, no. 2065, 2016, 20150202.
- Jørgensen, P.B., Jacobsen, K.W., Schmidt, M.N. (2018). Neural Message Passing with Edge Updates for Predicting Properties of Molecules and Materials. *ArXiv*, abs/1806.03146.
- Kampffmeyer, M., Chen, Y., Liang, X., Wang, H., Zhang, Y., Xing, E.P. (2019). Rethinking Knowledge Graph Propagation for Zero-Shot Learning. In *Proceedings of CVPR, 2019*, pp. 11487–11496.
- Karypis, G., Kumar, V. (1998). Multilevel k-way partitioning scheme for irregular graphs. *J. Parallel. Distrib. Comput.*, vol. 48, no. 1, 1998, pp. 96–129.
- Kawahara, J., Brown, C.J., Miller, S.P., Booth, B.G., Chau, V., Grunau, R.E., Zwicker, J.G., Hamarneh, G. (2017). Brainnetcn: convolutional neural networks for brain networks; towards predicting neurodevelopment. *NeuroImage*, vol. 146, pp. 1038–1049.
- Kearnes, S., McCloskey, K., Berndl, M., Pande, V., Riley, P. (2016). Molecular graph convolutions: moving beyond fingerprints. *J. Comput. Aided Mol. Des.*, vol. 30, pp. 595–608.
- Kermarrec, A.M., Leroy V., Trédan G. (2011). Distributed social graph embedding. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and Knowledge Management, ACM, 2011*, pp. 1209–1214.
- Khalil, E., Dai, H., Zhang, Y., Dilkina, B., Song, L. (2017). Learning combinatorial optimization algorithms over graphs. In *Proceedings of NIPS, 2017*, pp. 6348–6358.
- Kim, D., Yoo, Y., Kim, J., Lee, S., Kwak, N. (2018). Dynamic graph generation network: Generating relational knowledge from diagrams. In *Proceedings of IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, Jun. 2018, pp. 4167–4175.
- Kingma, D.P., Welling, M. (2013). Auto-encoding variational Bayes. *arXiv preprint arXiv:1312.6114*, 2013.
- Kipf, T.N., Fetaya, E., Wang, K., Welling, M., Zemel, R.S. (2013). Neural relational inference for interacting systems. In *Proceedings of ICML. PMLR, 2018*, pp. 2688–2697.
- Kipf, T.N., Welling, M. (2017). Semi-supervised classification with graph convolutional networks. In *Proceedings of 5th International Conference on Learning Representations, Toulon, France, April 24-26*.
- Knyazev, B., Lin, X., Amer, M.R., Taylor, G.W. (2018). Spectral multigraph networks for discovering and fusing relationships in molecules. *ArXiv abs/1811.09595*.
- Kool, W., Hoof, H.V., Welling, M. (2018). Attention, learn to solve routing problems!. *Arxiv*, 2018, arXiv:1803.08475.
- Ktena, S.I., Parisot, S., Ferrante, E., Rajchl, M., Lee, M., Glocker, B., Rueckert, D. (2017). Distance metric learning using graph convolutional networks: Application to functional brain networks. In *Proceedings of International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, 2017*.
- Lake, B., Tenenbaum, J. (2010). Discovering structure by learning sparse graphs. In *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society CogSci 2010, Portland, Oregon, United States, 11-14 August, 2010, Cognitive Science Society, Inc., 2010*. pp. 778–784.
- Lee, C., Fang, W., Yeh, C., Wang, Y.F. (2018a). Multi-label zero-shot learning with structured knowledge graphs. In *Proceedings of CVPR, Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, Jun. 2018, pp. 1576–1585.
- Lee, J.B., Rossi, R., Kong, X. (2018b). Graph classification using structural attention. In *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, pp. 1666–1674.
- Li, C., Goldwasser, D. (2019a). Encoding social information with graph convolutional networks for political perspective detection in news media. In *Proceedings of 57th Annu. Meeting Assoc. Comput. Linguistics, 2019*, pp. 2594–2604.

- Li, R., Wang, S., Zhu, F., Huang, J. (2018a). Adaptive graph convolutional neural networks. In Proceedings of Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2018.
- Li, C., Cao, Y., Hou, L., Shi, J., Li, J., Chua, T.S. (2019b). Semi-supervised Entity Alignment via Joint Knowledge Embedding Model and Cross-graph Model. In Proceedings of IJCNLP, 2019.
- Li, C., Li, Z., Wang, S., Yang, Y., Zhang, X., Zhou, J. (2017a). Semisupervised network embedding. In Proceedings of International Conference on Database Systems for Advanced Applications, 2017, pp. 131–147.
- Li, C., Wang, S., Yang, D., Li, Z., Yang, Y., Zhang, X., Zhou, J. (2017b). PPNE: Property preserving network embedding. In Proceedings of International Conference on Database Systems for Advanced Applications, 2017, pp. 163–179.
- Li, R., Tapaswi, M., Liao, R., Jia, J., Urtasun, R., Fidler, S. (2017c). Situation recognition with graph neural networks. In Proceedings of IEEE Int. Conf. Comput. Vis. (ICCV), Oct. 2017, pp. 4173–4182.
- Li, W., Bao, R., Harimoto, K., Chen, D., Xu, J., Su, Q. (2020a). Modeling the stock relation with graph network for overnight stock movement prediction. In Proceedings of IJCAI, 2020, pp. 4541–4547.
- Li, Y., Jin, W., Xu, H., Tang, J. (2020b). Deeprobust: A Pytorch Library for Adversarial Attacks and Defenses. arXiv preprint arXiv:2005.06149.
- Li, Y., Tam, D.S., Xie, S., Liu, X., Ying, Q., Lau, W., Chiu, D., Chen, S.Z. (2020c). GTEA: Representation Learning for Temporal Interaction Graphs via Edge Aggregation. 2020, ArXiv, abs/2009.05266.
- Li, Y., Tarlow, D., Brockschmidt, M., Zemel, R. (2016). Gated graph sequence neural networks. In Proceedings of the 5th International Conference on Learning Representations, 2016.
- Li, Y., Vinyals, O., Dyer, C., Pascanu, R., Battaglia, P. (2018b). Learning Deep Generative Models of Graphs. arXiv preprint, 2018, arXiv:1803.03324.
- Li, Y., Yu, R., Shahabi, C., Liu, Y. (2018c). Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting. In Proceedings of the 7th International Conference on Learning Representations, 2018.
- Li, Z., Chen, Q., Koltun, V. (2018d). Combinatorial optimization with graph convolutional networks and guided tree search. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2018, pp. 539–548.
- Liang, J., Gurukar, S., Parthasarathy, S. (2018). Mile: a multi-level framework for scalable graph embedding. 2018, arXiv preprint arXiv:1802.09612, 2018.
- Liang, X., Lin, L., Shen, X., Feng, J., Yan, S., Xing, E.P. (2017). Interpretable structureevolving lstm. In Proceedings of CVPR, 2017, pp. 2175–2184.
- Liang, X., Shen, X., Feng, J., Lin, L., Yan, S. (2016). Semantic object parsing with graph lstm. In Proceedings of ECCV, 2016, pp. 125–143.
- Liao, R., Li, Y., Song, Y., Wang, S., Hamilton, W., Kduvenaud, D., Urtasun, R., Zemel, R. (2019). Efficient graph generation with graph recurrent attention networks, In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2019, pp. 4255–4265.
- Liu, J., Kumar, A., Ba, J., Kiros, J., Swersky, K. (2019a). Graph normalizing flows. In Proceedings of NeurIPS, 2019, pp. 13578–13588.
- Liu, R., Nejadi H., Cheung N.M. (2018a). Joint estimation of low-rank components and connectivity graph in high-dimensional graph signals: application to brain imaging. arXiv preprint arXiv:1801.02303.
- Liu, X., Luo, Z., Huang, H. (2018b). Jointly multiple events extraction via attention-based graph information aggregation. In Proceedings of EMNLP, 2018, pp. 1247–1256.

- Liu, Z., Xiong, C., Sun, M., Liu, Z. (2019b). Fine-grained fact verification with kernel graph attention network. In Proceedings of ACL, 2019, pp. 7342–7351.
- Luo, D., Cheng, W., Xu, D., Yu, W., Zong, B., Chen, H., Zhang, X. (2020a). Parameterized explainer for graph neural network. Arxiv, 2020, arXiv:2011.04573.
- Luo, D., Cheng, W., Yu, W., Zong, B., Ni, J., Chen, H., Zhang, X. (2020b). Learning to drop: Robust graph neural network via topological denoising. Arxiv, 2020, arXiv:2011.07057.
- Lyu, T., Zhang, Y., Zhang, Y. (2017). Enhancing the network embedding quality with structural similarity. In Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management, 2017, pp. 147–156.
- Ma, T., Chen, J., Xiao, C. (2018b). Constrained generation of semantically valid graphs via regularizing variational autoencoders. In Proceedings of NeurIPS, 2018, pp. 7113–7124.
- Ma, Y., Guo, Z., Ren, Z., Zhao, E., Tang, J., Yin, D. (2018a). Streaming Graph Neural Networks. Arxiv, arXiv:1810.10627, October 2018.
- Manessi, F., Rozza, A., Manzo, M. (2020). Dynamic graph convolutional networks. Pattern Recogn. Pattern Recognition, vol. 97, 107000.
- Marcheggiani, D., Bastings, J., Titov, I. (2018). Exploiting semantics in neural machine translation with graph convolutional networks. In Proceedings of NAACL, 2018, pp. 486–492.
- Marcheggiani, D., I. Titov, I. (2017). Encoding sentences with graph convolutional networks for semantic role labeling. In Proceedings of EMNLP, 2017, pp. 1506–1515.
- Marino, K., Salakhutdinov, R., Gupta, A. (2017). The more you know: Using knowledge graphs for image classification. In Proceedings of CVPR, pp. 20–28.
- Matsunaga, D., Suzumura, T., Takahashi, T. (2019). Exploring Graph Neural Networks for Stock Market Predictions with Rolling Window Analysis. arXiv preprint, 2019, arXiv: 1909.10660.
- Miwa, M., Bansal, M., (2016). End-to-end relation extraction using lstms on sequences and tree structures. In Proceedings of ACL, 2016, pp. 1105–1116.
- Monti, F., Bronstein, B., Bresson, X. (2017). Geometric matrix completion with recurrent multi-graph neural networks, In Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- Motsinger, A.A., Lee S.L., Mellick G., Ritchie M.D. (2006). GPNN: Power studies and applications of a neural network method for detecting gene-gene interactions in studies of human disease. BMC Bioinf., vol. 7, no. 1, 2006, pp. 39–11.
- Narasimhan, M., Lazebnik, S., Schwing, A. (2018). Out of the box: Reasoning with graph convolution nets for factual visual question answering. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., pp. 2654–2665.
- Nathani, D., Chauhan, J., Sharma, C., Kaul, M. (2019). Learning attentionbased embeddings for relation prediction in knowledge graphs, arXiv:1906.01195, 2019.
- Newman, M.E. (2004). Detecting community structure in networks. Eur. Phys. J. B, vol. 38, no. 2, 2004, pp. 321–330.
- Nguyen, T.H., Grishman, R. (2018). Graph convolutional networks with argument-aware pooling for event detection. In Proceedings of 32nd AAAI Conf. Artif. Intell., pp. 5900–5907.
- Niepert, M., Ahmed, M., Kutzkov, K. (2016). Learning convolutional neural networks for graphs. In Proceedings of Int. Conf. Mach. Learn., pp. 2014–2023.
- Norcliffe-Brown, W., Vafeias, S., Parisot, S. (2018). Learning conditioned graph structures for interpretable visual question answering. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., pp. 8334–8343.



- Nowak, A., Villar, S., Bandeira, A.S., Bruna, J. (2017). A note on learning algorithms for quadratic assignment with graph neural networks. In Proceedings of 34th Int. Conf. Mach. Learn. (ICML), vol. 1050, 2017, p. 22.
- Nowak, A., Villar, S., Bandeira, A.S., Bruna, J. (2018). Revised note on learning quadratic assignment with graph neural networks. In Proceedings of IEEE DSW, pp. 1–5.
- Nt, H., Jin, C.J., Murata, T. (2019). Learning Graph Neural Networks with Noisy Labels. In Proceedings of ICLR Workshop LLD.
- Nt, H., Maehara, T. (2019). Revisiting Graph Neural Networks: All We Have Is Low-Pass Filters. arXiv preprint, 2019, arXiv:1905.09550.
- Ou, M., Cui, P., Pei, J., Zhang, Z., Zhu, W. (2016). Asymmetric transitivity preserving graph embedding. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 1105–1114.
- Palm, R., Paquet, U., Winther, O. (2018). Recurrent relational networks. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., pp. 3368–3378.
- Pan, P., Wu, J., Zhu, X., Zhang, C., Wang, Y. (2016). Tri-party deep network representation. In Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'16). AAAI Press, pp. 1895–1901.
- Pan, S., Hu, R., Long, G., Jiang, J., Yao, L., Zhang, C. (2018). Adversarially regularized graph autoencoder for graph embedding. In Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 2609–2615.
- Parisot, S., Ktena, S.I., Ferrante, E., Lee, M., Moreno, R.G., Glocker, B., Rueckert, D. (2017). Spectral Graph Convolutions for Population-based Disease Prediction. In Proceedings of International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention.
- Park, N., Kan, A., Dong, X.L., Zhao, T., Faloutsos, C. (2019). Estimating node importance in knowledge graphs using graph neural networks. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, 2019, pp. 596–606.
- Pei, X., Yu, L., Tian, S. (2020). AMalNet: A deep learning framework based on graph convolutional networks for malware detection. *Comput. Secur.*, vol. 93, Jun. 2020, p. 101792.
- Peng, H., Li, J., Gong, Q., Ning, Y., Wang, S., He, L. (2020). Motif-matching based subgraph-level attentional convolutional network for graph classification. In Proceedings of AAAI, 2020, pp. 5387–5394.
- Peng, H., Li, J., Gong, Q., Song, Y., Ning, Y., Lai, K., Yu, P.S. (2019). Fine-grained event categorization with heterogeneous graph convolutional networks. Arxiv, 2019, arXiv:1906.04580.
- Peng, H., Li, J., He, Y., Liu, Y., Bao, M., Wang, L., Song, Y., Yang, Q., (2018). Large-scale hierarchical text classification with recursively regularized deep graph-cnn. In Proceedings of WWW, 2018, pp. 1063–1072.
- Peng, N., Poon, H., Quirk, C., Toutanova, K., Yih, W.T. (2017). Crosssentence N-ary relation extraction with graph LSTMs. *Trans. Assoc. Comput. Linguistics*, vol. 5, pp. 101–115.
- Perozzi, B., Al-Rfou, R., Skiena, S. (2014). DeepWalk: Online learning of social representations. In Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 701–710.
- Prates, M., Avelar, P.H., Lemos, H., Lamb, L.C., Vardi, M.Y. (2019). Learning to solve np-complete problems: A graph neural network for decision TSP. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 33, 2019, pp. 4731–4738.
- Qi, S., Wang, W., Jia, B., Shen, J., Zhu, S.C. (2018). Learning humanobject interactions by graph parsing neural networks. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 401–417.
- Qi, X., Liao, R., Jia, J., Fidler, S., Urtasun, R. (2017). 3d graph neural networks for rgb-d semantic segmentation. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 5199–5208.

- Qiu, J., Tang, J., Ma, H., Dong, Y., Wang, K., Tang, J. (2018). Deepinf: Modeling influence locality in large social networks. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM, pp. 2110–2119.
- Qiu, L., Xiao, Y., Qu, Y., Zhou, H., Li, L., Zhang, W., Yu, Y. (2019). Dynamically fused graph network for multi-hop reasoning. In Proceedings of ACL, pp. 6140–6150.
- Rahimi, A., Cohn, T., Baldwin, T. (2018). Semi-supervised user geolocation via graph convolutional networks, vol. 1, pp. 2009–2019, arXiv:1804.08049.
- Raposo, D., Santoro, A., Barrett, D., Pascanu, R., Lillicrap, T., Battaglia, P. (2017). Discovering objects and their relations from entangled scene representations. Arxiv, 2017, arXiv:1702.05068.
- Rhee, S., Seo, S., Kim, S. (2018). Hybrid Approach of Relation Network and Localized Graph Convolutional Filtering for Breast Cancer Subtype Classification. In Proceedings of IJCAI, 2018, pp. 3527–3534.
- Riba, P., Fischer, A., Lladós, J., Fornes, A. (2018). Learning Graph Distances with Message Passing Neural Networks. In Proceedings of the 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 2239–2244.
- Ribeiro, L.F., Saverese, P.H., Figueiredo, D.R. (2017). struc2vec: Learning node representations from structural identity. In Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 385–394.
- Robinson, S.L., Bennett, R.J. (1995). A typology of deviant workplace behaviors: A multidimensional scaling study. *Acad. Manage. J.*, vol. 38, no. 2, 1995, pp. 555–572.
- Roweis, S.T., Saul, L.K. (2000). Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding. *Science*, vol. 290, no. 5500, pp. 2323–2326.
- Rusek, K., Suárez-Varela, J., Mestres, A., Barlet-Ros, P., Cabellos-Aparicio, A. (2019). Unveiling the potential of graph neural networks for network modeling and optimization in SDN. In Proceedings of ACM Symp. SDN Res., pp. 140–151.
- Said, A., De Luca, E.W., Albayrak, S. (2010). How social relationships affect user similarities. In Proceedings of the 2010 Workshop on Social Recommender Systems, pp. 1–4.
- SAM. (2022). <https://sam.gov/opp/178e0311b4d04df2bf25025d5c99473d/view>.
- Samko, O., Marshall, A.D., Rosin, P.L. (2006). Selection of the optimal parameter value for the isomap algorithm. *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 27, no. 9, pp. 968–979.
- Sanchez, A., Heess, N., Springenberg, J.T., Merel, J., Hadsell, R., Riedmiller, M.A., Battaglia, P. (2018). Graph networks as learnable physics engines for inference and control. In Proceedings of ICML, pp. 4470–4479.
- Santoro, A., Raposo, D., Barrett, D.G., Malinowski, M., Pascanu, R., Battaglia, P., Lillicrap, T. (2017). A simple neural network module for relational reasoning. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., pp. 4967–4976.
- Sato, R., Yamada, M., Kashima, H. (2019). Approximation Ratios of Graph Neural Networks for Combinatorial Problems. In Proceedings of NeurIPS, pp. 4081–4090.
- Scarselli, F., Gori, M., Tsoi, A.C., Hagenbuchner, M., Monfardini, G. (2009). The Graph Neural Network Model. *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 20, no. 1, pp. 61–80.
- Schlichtkrull, M., Kipf, T.N., Bloem, P., van den Berg, R., Titov, I., Welling, M. (2018). Modeling relational data with graph convolutional networks. In Proceedings of ESWC. Springer, pp. 593–607.
- Selsam, D., Lamm, M., Bünz, B., Liang, P., de Moura, L., Dill, D.L. (2019). Learning a SAT solver from single-bit supervision. In Proceedings of ICLR 2019.

- Shang, C., Tang, Y., Huang, J., Bi, J., He, X., Zhou, B. (2019). End-to-end structure-aware convolutional networks for knowledge base completion. In Proceedings of AAAI 33, pp. 3060–3067.
- Shchur, O., Zügner, D., Bojchevski, A., Gunnemann, S. (2018). Netgan: generating graphs via random walks. In Proceedings of ICML, pp. 609–618.
- Shi, C., Xu, M., Zhu, Z., Zhang, W., Zhang, M., Tang, J. (2020). Graphaf: a Flow Based Autoregressive Model for Molecular Graph Generation. In Proceedings of ICLR 2020.
- Singh, A.P., Gordon, G.J. (2008). Relational learning via collective matrix factorization. In Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM, pp. 650–658.
- Song, L., Wang, Z., Yu, M., Zhang, Y., Florian, R., Gildea, D. (2018a). Exploring GraphStructured Passage Representation for Multi-Hop Reading Comprehension with Graph Neural Networks. ArXiv, 2018, arXiv preprint arXiv:1809.02040.
- Song, L., Zhang, Y., Wang, Z., Gildea, D. (2018b). A graph-to-sequence model for AMR-to-text generation. ArXiv. 2018, arXiv:1805.02473.
- Song, L., Zhang, Y., Wang, Z., Gildea, D. (2018c). A graph-to-sequence model for amr-to-text generation. In Proceedings of ACL 2018, pp. 1616–1626.
- Song, L., Zhang, Y., Wang, Z., Gildea, D. (2018d). N-ary relation extraction using graph state lstm. In: Proceedings of EMNLP, 2018, pp. 2226–2235. arXiv:1808.09101.
- Sorokin, D., Gurevych, I. (2018). Modeling semantics with gated graph neural networks for knowledge base question answering. ArXiv. 2018, arXiv:1808.04126.
- Sukhbaatar, S., Fergus, R. et al. (2016). Learning multiagent communication with backpropagation. In Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems, 2016, pp. 2244–2252.
- Sun, F.Y., Hoffmann, J., Verma, V., Tang, J. (2019). InfoGraph: Unsupervised and semi-supervised graph-level representation learning via mutual information maximization. ArXiv. 2019, arXiv:1908.01000.
- Sutton, R.S., Barto, A.G. (2018). Reinforcement Learning: an Introduction. MIT press, 2018.
- Tai, K.S., Socher, R., Manning, C.D. (2015). Improved semantic representations from treestructured long short-term memory networks. In Proceedings of IJCNLP, 2015, pp. 1556–1566.
- Tang, J., Qu M., Wang M., Zhang M., Yan J., Mei Q. (2015). LINE: Large-scale information network embedding. In Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, pp. 1067–1077.
- Tang, L., Liu, H. (2009a). Relational learning via latent social dimensions. In Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2009, pp. 817–826.
- Tang, L., Liu, H. (2009b). Scalable learning of collective behavior based on sparse social dimensions. In Proceedings of the 18th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2009, pp. 1107–1116.
- Tang, L., Liu, H. (2011). Leveraging social media networks for classification. Data Mining and Knowledge Discovery, vol. 23, no. 3, pp. 447–478.
- Tang, X., Li, Y., Sun, Y., Yao, H., Mitra, P., Wang, S. (2020). Transferring robustness for graph neural network against poisoning attacks. In Proceedings of the 13th International Conference on Web Search and Data Mining, pp. 600–608.
- Tehranipoor, F., Karimian, N., Kermani, M.M., Mahmoodi, H. (2019). Deep RNN-oriented paradigm shift through bocanet: Broken obfuscated circuit attack. In Proceedings of Great Lakes Symp. VLSI, 2019, pp. 335–338.

- Teney, D., Liu, L., Den Hengel, A.V. (2017). Graph-structured representations for visual question answering. In Proceedings of CVPR, pp. 3233–3241, Jul. 2017, pp. 1–9.
- Thanou, D., Dong, X., Kressner, D., Frossard, P. (2017). Learning heat diffusion graphs. IEEE Trans. Signal Inform. Proc. Over Netw., vol. 3, no. 3, 2017, pp. 484–499.
- Tsitsulin, A., Palowitch, J., Perozzi, B., Müller, E. (2020). Graph Clustering with Graph Neural Networks. ArXiv. arXiv preprint, 2020, arXiv:2006.16904.
- Tu, C., Zhang, W., Liu, Z., Sun, M. (2016). Max-Margin DeepWalk: discriminative learning of network representation. In Proceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 3889–3895.
- Tu, K., Cui P., Wang X., Wang F., Zhu W. (2017). Structural deep embedding for hyper-networks. 2017, CoRR. abs/1711.10146, 2017.
- Tu, K., Cui, P., Wang, X., Yu, P.S., Zhu, W. (2018). Deep recursive network embedding with regular equivalence. In Proceedings of 24th ACM Int. Conf. Knowl. Discov. Data Mining, pp. 2357–2366.
- Tu, M., Wang, G., Huang, J., Tang, Y., He, X., Zhou, B. (2019). Multi-hop reading comprehension across multiple documents by reasoning over heterogeneous graphs. In Proceedings of ACL, 2019, pp. 2704–2713.
- Velickovic, P., Cucurull, G., Casanova, A., Romero, A., Lio, P., Bengio, Y. (2018). Graph attention networks. In Proceedings of Int. Conf. Learn. Representations. 2018.
- Vinyals, O., Fortunato, M., Jaitly, N. (2015). Pointer networks. In Proceedings of NIPS, 2015, pp. 2692–2700.
- Wang D., Cui P., Zhu W. (2016). Structural deep network embedding. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, 2016, 1225–1234.
- Wang, H., Wang, J., Wang, J., Zhao, M., Zhang, W., Zhang, F., Xie, X., Guo, M. (2018a). Graphgan: graph representation learning with generative adversarial nets. In Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence.
- Wang, H., Lian, D., Ge, Y. (2019a). Binarized collaborative filtering with distilling graph convolutional networks. ArXiv. 2019, arXiv:1906.01829.
- Wang, H., Zhang, F., Zhang, M., Leskovec, J., Zhao, M., Li, W., Wang, Z. (2019b). Knowledge-aware graph neural networks with label smoothness regularization for recommender systems. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining. Jul. 2019, pp. 968–977.
- Wang, L., Zong, B., Ma, Q., Cheng, W., Ni, J., Yu, W., Liu, Y., Song, D., Chen, H., Fu, Y. (2020a). Inductive and unsupervised representation learning on graph structured objects. In Proceedings of ICLR 2020, pp. 1–20.
- Wang, P., Han, J., Li, C., Pan, R. (2018b). Logic attention based neighborhood aggregation for inductive knowledge graph embedding. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 33, pp. 7152–7159.
- Wang, S., Li, Y., Zhang, J., Meng, Q., Meng, L., Gao, F. (2020b). PM2.5- GNN: A domain knowledge enhanced graph neural network for PM2.5 forecasting. ArXiv. 2020, arXiv:2002.12898.
- Wang, S., Tang, J. Morstatter, F., Liu, H. (2016). Paired restricted Boltzmann machine for linked data. In Proceedings of the 25th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, pp. 1753–1762.
- Wang, X., Cui, P., Wang, J., Pei, J., Zhu, W., Yang, S. (2017). Community preserving network embedding. In Proceedings of the 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 203–209.
- Wang, X., He, X., Cao, Y., Liu, M., Chua, T.S. (2019cv). KGAT: Knowledge graph attention network for recommendation. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, Jul. 2019, pp. 950–958.

- Wang, X., Jin, B., Du, Y., Cui, P., Yang, Y. (2020c). One-class Graph Neural Networks for Anomaly Detection in Attributed Networks. Fast Is Better than Free: Revisiting Adversarial Training. arXiv preprint arXiv:2001.03994.
- Wang, X., Ye, Y., Gupta, A. (2018c). Zero-shot Recognition via Semantic Embeddings and Knowledge Graphs. In Proceedings of CVPR 2018.
- Wang, Y., Sun, Y., Liu, Z., Sarma, S.E., Bronstein, M.M., Solomon, J.M. (2018d). Dynamic Graph Cnn for Learning on Point Clouds, ACM Transactions on Graphics, vol. 38.
- Wang, Y., Yin, H., Chen, H., Wo, T., Xu, J., Zheng, K. (2019d). Origin destination matrix prediction via graph convolution: A new perspective of passenger demand modeling. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, Jul. 2019, pp. 1227–1235.
- Wang, Y.C., Wang, B., Kuo, J. (2019e). Graph representation learning: a survey, SIP, vol. 9, e15.
- Wang, Z., Chen, T., Ren, J., Yu, W., Cheng, H., Lin, L. (2018e). Deep reasoning with knowledge graph for social relationship understanding. Proceedings of IJCAI, 2018, pp. 1021–1028. arXiv:1807.00504. Available: <http://arxiv.org/abs/1807.00504>.
- Wang, Z., Luo, N., Zhou, P. (2020d). GuardHealth: Blockchain empowered secure data management and Graph Convolutional Network enabled anomaly detection in smart healthcare. Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 142, August 2020, pp. 1–12.
- Wang, Z., Lv, Q., Lan, X., Zhang, Y. (2018f). Cross-lingual knowledge graph alignment via graph convolutional networks. In Proceedings of EMNL, pp. 349–357.
- Watters, N., Zoran, D., Weber, T., Battaglia, P., Pascanu, R., Tacchetti, A. (2017). Visual interaction networks: learning a physics simulator from video. In Proceedings of NIPS, 2017, pp. 4539–4547.
- Wei, S., Chen, X., Li, Q., Zhuang, F., Liu, J., Kou, G. (2021). Graph Learning and Its Applications: A Holistic Survey, ArXiv.
- Wu, H., Wang, C., Tyshetskiy, Y., Docherty, A., Lu, K., Zhu, L. (2019a). Adversarial Examples on Graph Data: Deep Insights into Attack and Defense. ArXiv, arXiv:1903.01610.
- Wu, Q., Zhang, H., Gao, X., He, P., Weng, P., Gao, H., Chen, G. (2019b). Dual graph attention networks for deep latent representation of multifaceted social effects in recommender systems. In Proceedings of WWW, 2019, pp. 2091–2102.
- Wu, Y., Lian, D., Xu, Y., Wu, L., Chen, E. (2020). Graph convolutional networks with Markov random field reasoning for social spammer detection. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 34, 2020, pp. 1054–1061.
- Wu, Z., S. Pan, S., Chen, F., Long, G., Zhang, C., Yu, P.S. (2021). A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 32, no. 1, pp. 4–24.
- Xie, T., Grossman, J.C. (2018). Crystal graph convolutional neural networks for an accurate and interpretable prediction of material properties. Physical Review Letters, 2018.
- Xiong, W., Hoang, T., Wang, W.Y. (2017). Deeppath: A reinforcement learning method for knowledge graph reasoning. In Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing.
- Xu, Q., Wang, Q., Xu, C., Qu, L. (2017). Attentive graph-based recursive neural network for collective vertex classification. In Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management. ACM, 2017, pp. 2403–2406.
- Xu, C., Zhao, P., Liu, Y., Sheng, V.S., Xu, J., Zhuang, F., Fang, J., Zhou, X. (2019a). Graph contextualized self-attention network for session-based recommendation. In Proceedings of IJCAI, Aug. 2019, pp. 3940–3946.

- Xu, D., Cheng, E., Luo, D., Liu, X., Zhang, X. (2019b). Spatio-temporal attentive RNN for node classification in temporal attributed graphs. In Proceedings of IJCAI. 2019, pp. 3947–3953.
- Xu, D., Cheng, W., Luo, D., Gu, Y., Liu, X., Ni, J., Zong, B., Chen, H., Zhang, X. (2019c). Adaptive neural network for node classification in dynamic networks. In Proceedings of IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM), Nov. 2019, pp. 1402–1407.
- Xu, J., Chen, J., You, S., Xiao, Z., Yang, Y., Lu, J. (2021). Robustness of deep learning models on graphs: A survey. *AI Open* 2, pp. 69-78.
- Xu, K., Chen, H., Liu, S., Chen, P.Y., Weng, T.W., Hong, M., Lin, X. (2019d). Topology attack and defense for graph neural networks: An optimization perspective. *ArXiv*, 2019, arXiv:1906.04214.
- Xu, K., Wang, L., Yu, M., Feng, Y., Song, Y., Wang, Z., Yu, D. (2019e). Cross-lingual knowledge graph alignment via graph matching neural network. In Proceedings of ACL (Association for Computational Linguistics), pp. 3156–3161.
- Xu, N., Wang, P., Chen, L., Tao, J., Zhao, J. (2019f). MR-GNN: Multiresolution and dual graph neural network for predicting structured entity interactions. *ArXiv*. arXiv:1905.09558.
- Xu, X., Feng, W., Jiang, Y., Xie, X., Sun, Z., Deng, Z.H. (2019g). Dynamically pruned message passing networks for large-scale knowledge graph reasoning. *ArXiv*. 2019, arXiv:1909.11334.
- Xu, X., Yu, Y., Li, B., Song, L., Liu, C., Gunter, C. (2018). Characterizing Malicious Edges Targeting on Graph Neural Networks.
- Xu, X., Yu, Y., Song, L., Liu, C., Kailkhura, B., Gunter, C., Li, B. (2020). Edog: Adversarial Edge Detection for Graph Neural Networks. Tech. Rep. Lawrence Livermore National Lab. (LLNL), Livermore, CA (United States).
- Yan, S., Xiong, Y., and Lin, D. (2018). Spatial temporal graph convolutional networks for skeleton-based action recognition. In Proceedings of the 32nd AAAI Conf. Artif. Intell., pp. 3634–3640.
- Yang, C., Liu, Z., Zhao, D., Sun, M., Chang, E. (2015a). Network representation learning with rich text information. In Proceedings of Twenty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence 2015.
- Yang, T., Jin, R., Chi, Y., Zhu, S. (2009). Combining link and content for community detection: a discriminative approach. In Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, 2009, pp. 927–936.
- Yang, Z., Tang, J., Cohen, W. (2015b). Multi-modal Bayesian embeddings for learning social knowledge graphs. *ArXiv*. arXiv preprint arXiv:1508.00715, 2015b.
- Yang, Y., Wei, Z., Chen, Q., Wu, L. (2019). Using external knowledge for financial event prediction based on graph neural networks. In Proceedings of CIKM, 2019, pp. 2161–2164.
- Yang, Z., Cohen, W.W., Salakhutdinov, R. (2016). Revisiting semisupervised learning with graph embeddings. In Proceedings of the 33rd International Conference on International Conference on Machine Learning (ICML), pp. 40–48.
- Yao, H., Wu, F., Ke, J., Tang, X., Jia, Y., Lu, S., Gong, P., Ye, J., Li, Z. (2018). Deep multi-view spatial-temporal network for taxi demand prediction. In Proceedings of AAAI, 2018. pp. 2588–2595.
- Yao, H., Zhang, C., Wei, Y., Jiang, M., Wang, S., Huang, J., Chawla, N., Li, Z. (2020). Graph few-shot learning via knowledge transfer. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 34, 2020, pp. 6656–6663.
- Ye, F., Zhao, J., Sarkar, V. (2020). Advanced Graph-Based Deep Learning for Probabilistic Type Inference. *ArXiv*, 2020, abs/2009.05949.
- Ying, R., He, R., Chen, K., Eksombatchai, P., Hamilton, W.L., Leskovec, J. (2018a). Graph convolutional neural networks for web-scale recommender systems. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl.

Discovery Data Mining, Jul. 2018, pp. 974–983.

Ying, Z., You, J., Morris, C., Ren, X., Hamilton, W., Leskovec, J. (2018b). Hierarchical graph representation learning with differentiable pooling. In Proceedings of the 32nd NeurIPS 2018.

You, J., Liu, B., Ying, Z., Pande, V., Leskovec, J. (2018b). Graph convolutional policy network for goal-directed molecular graph generation. In Proceedings of NeurIPS 2018, pp. 6410–6421.

You, J., Ying, R., Ren, X., Hamilton, W., Leskovec, J. (2018a). Graphrnn: Generating realistic graphs with deep auto-regressive models. In Proceedings of ICML, pp. 5694–5703.

Yu, B., Yin, H., Zhu, Z. (2018a). Spatiotemporal Graph Convolutional Networks: A Deep Learning Framework for Traffic Forecasting. In Proceedings of IJCAI, pp. 3634–3640.

Yu, W., Cheng, W., Aggarwal, C., Zong, B., Chen, H., Wang, W. (2019). Selfattentive attributed network embedding through adversarial learning. In Proceedings of IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM), Nov. 2019, pp. 758–767.

Yu, W., Zheng, C., Cheng, W., Aggarwal, C.C., Song, D., Zong, B., Chen, H., Wang, W. (2018b). Learning deep network representations with adversarially regularized autoencoders. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2018.

Yuruk, N., Mete, M., Xu, X., Schweiger, T.A. (2009). Ahscan: Agglomerative hierarchical structural clustering algorithm for networks. In Proceedings of 2009 International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining, IEEE, pp. 72–77.

Zayats, V., Ostendorf, M. (2018). Conversation modeling on reddit using a graph-structured LSTM. Trans. Assoc. Comput. Linguistics, TACL. vol. 6, pp. 121–132.

Zhang, C., Zhang, K., Yuan, Q., Peng, H., Zheng, Y., Hanratty, T., Wang, S., Han, J. (2017a). Regions, periods, activities: Uncovering urban dynamics via cross-modal representation learning. In Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web. 2017, pp. 361–370.

Zhang, D., Yin, J., Zhu, X., Zhang, C. (2016a). Homophily, structure, and content augmented network representation learning. In Proceedings of IEEE 16th International Conference on Data Mining (ICDM), pp. 609–618.

Zhang, D., Yin, J., Zhu, X., Zhang, C. (2018a) Network representation learning: a survey. IEEE Transactions on Big Data, 2018.

Zhang, F., Yuan, N.J., Lian, D., Xie, X., Ma, W.Y. (2016b). Collaborative knowledge base embedding for recommender systems. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, pp. 353–362.

Zhang M., Chen, Y. (2019a). Inductive matrix completion based on graph neural networks. ArXiv. 2019, arXiv:1904.12058.

Zhang Y., Wu B. (2015b). Finding community structure via rough k-means in social network. In Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), IEEE, pp. 2356–2361.

Zhang, D., Yin, J., Zhu, X., Zhang, C. (2016c). Collective classification via discriminative matrix factorization on sparsely labeled networks. In Proceedings of the 25th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2016. pp. 1563–1572.

Zhang, D., Yin, J., Zhu, X., Zhang, C. (2017b). User profile preserving social network embedding. In Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2017. pp. 3378–3384.

Zhang, F., Liu, X., Tang, J., Dong, Y., Yao, P., Zhang, J., Gu, X., Wang, Y., Shao, B., Li, R., et al. (2019b). Oag: toward linking large-scale heterogeneous entity graphs. In Proceedings of KDD 2019, pp. 2585–2595.

- Zhang, J., Shi, X., Xie, J., Ma, H., King, I., Yeung, D. (2018b). GaAN: Gated Attention Networks for Learning on Large and Spatiotemporal Graphs. In Proceedings of 34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence 2018, pp. 339–349.
- Zhang, J., Shi, X., Zhao, S., King, I. (2019c). STAR-GCN: Stacked and reconstructed graph convolutional networks for recommender systems. 2019, ArXiv. arXiv:1905.13129.
- Zhang, W., Liu, H., Liu, Y., Zhou, J., Xiong, H. (2020a). Semi-supervised hierarchical recurrent graph neural network for city-wide parking availability prediction. In Proceedings of AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 34, 2020, pp. 1186–1193.
- Zhang, X. Chen, W., Yan, H. (2016d). TLINE: scalable transductive network embedding. In Proceedings of the 12th Asia Information Retrieval Societies Conference, pp. 98–110.
- Zhang, X., Liu, H., Li, Q., Wu, X. (2019d). Attributed graph clustering via adaptive graph convolution. In Proceedings of IJCAI, pp. 4327–4333.
- Zhang, Y., Chen, X., Yang, Y., Ramamurthy, A., Li, B., Qi, Y., Song, L. (2020b). Efficient probabilistic logic reasoning with graph neural networks. ArXiv. 2020, arXiv:2001.11850.
- Zhang, Y., Khan, S., Coates, M. (2019e). Comparing and detecting adversarial attacks for graph deep learning. In Proceedings of Int. Conf. Representation Learning on Graphs and Manifolds Workshop, New Orleans, LA, USA.
- Zhang, Y., Liu, Q., Song, L. (2018c). Sentence-state LSTM for text representation. In Proceedings of ACL. 1, pp. 317–327 arXiv:1805.02474.
- Zhang, Y., Qi, P., Manning, C.D. (2018d). Graph convolution over pruned dependency trees improves relation extraction. In Proceedings of EMNLP, pp. 2205–2215. arXiv:1809.10185.
- Zhang, Z., Cui, P., Zhu, W. (2015a). Deep Learning on Graphs: A Survey. Journal of Latex Class Files, vol. 14, no. 8.
- Zheleva, E., Getoor, L., Golbeck, J., Kuter, U. (2008). Using friendship ties and family circles for link prediction. In International Workshop on Social Network Mining and Analysis. Springer, 2008, pp. 97–113.
- Zheng, C., Fan, X., Wang, C., Qi, J. (2020a). A graph multi-attention network for traffic prediction. In Proceedings of AAAI 34, 2020, pp. 1234–1241.
- Zheng, C., Zong, B., Cheng, W., Song, D., Ni, J., Yu, W., Chen, H., Wang, W. (2020b). Robust graph representation learning via neural sparsification. In Proceedings of Int. Conf. Mach. Learn., pp. 11458–11468.
- Zheng, X., Dan, C., Aragam, B., Ravikumar, P., Xing, E. (2020c). Learning sparse nonparametric dags. In Proceedings of AISTATS. PMLR, 2020, pp. 3414–3425.
- Zhong, W., Xu, J., Tang, D., Xu, Z., Duan, N., Zhou, M., Wang, J., Yin, J. (2020). Reasoning over semantic-level graph for fact checking. In Proceedings of ACL, 2020, pp. 6170–6180.
- Zhou, D., Huang, J., Schölkopf, B. (2007). Learning with hypergraphs: Clustering, classification, and embedding. In Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 1601–1608.
- Zhou, Z., Li, X. (2017b). Graph convolution: A high-order and adaptive approach. ArXiv. Jun. 2017, arXiv:1706.09916
- Zhou, C., Liu, Y., Liu, X., Liu, Z., Gao, J. (2017a). Scalable graph embedding for asymmetric proximity. In Proceedings of the 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 2942–2948.
- Zhou, J., Cui, G., Hu, S., Zhang, Z., Yang, C., Liu, Z., Wang, L., Li, C., Sun, M. (2020). Graph neural networks: A review of methods and applications. AI Open, vol. 1, 2020, pp. 57–81.



- Zhou, Y., Liu, S., Siow, J., Du, X., Liu, Y. (2019). Devign: Effective vulnerability identification by learning comprehensive program semantics via graph neural networks. In Proceedings of Adv. Neural Inf. Process. Syst., 2019, pp. 10197–10207.
- Zhu, D., Zhang, Z., Cui, P., Zhu, W. (2019). Robust graph convolutional networks against adversarial attacks. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, pp. 1399–1407.
- Zhu, J., Ahmed, A., Xing, E.P. (2012). MedLDA: Maximum margin supervised topic models. Journal of Machine Learning Research. vol. 13, no. pp. 2237–2278.
- Zhuang, C., Ma, Q. (2018). Dual graph convolutional networks for graphbased semi-supervised classification. in Proc. Web Conf., 2018, pp. 499–508.
- Zia, F., Sun, K., Yu, S., Aziz, A., Wan, L., Pan, S., Liu, H. (2021). Graph Learning: A Survey. IEEE Transactions On Artificial Intelligence, vol. 2, no. 2, pp. 109–127.
- Zitnik, M., Agrawal, M., Leskovec, J. (2018). Modeling polypharmacy side effects with graph convolutional networks. Bioinformatics, vol. 34, no. 13, i457–i466.
- Zügner, D., Gunnemann, S. (2019a). Adversarial attacks on graph neural networks via meta learning. In Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations, 2019.
- Zügner, D., Akbarnejad, A., Gunnemann, S. (2018). Adversarial attacks on neural networks for graph data. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, pp. 2847–2856.
- Zügner, D., Günnemann, S. (2019b). Certifiable robustness and robust training for graph convolutional networks. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, pp. 246–256.
- Zügner, D., Günnemann, S. (2020). Certifiable robustness of graph convolutional networks under structure perturbations. In Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, pp. 1656–1665.

## TEŞEKKÜR ve BEYANLAR

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

*Not: Bu çalışma, Milli Savunma Üniversitesi, Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Siber Güvenlik Tezsiz Yüksek Lisans Programına bağlı olarak yürütülen “Siber Güvenlikte Grafik Sinir Ağları” adlı dönem projesinin bir bölümüdür.*

## Araştırma Makalesi

**NARA-GRİD ESASINA DAYALI ÖZGÜNLÜK DEĞERLENDİRMESİ****F. Yasemin Saygıner<sup>†</sup>, Leyla Suri<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye**fyasemin.sayginer@ticaret.edu.tr, lsuri@ticaret.edu.tr**

0009-0005-3556-904X, 0000-0002-3225-1221

**Atıf/Citation:** SAYGINER, F.Y., SURI, L., (2024). Nara-Grid Esasına Dayalı Özgünlük Değerlendirmesi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.57-72, DOI: 10.56809/icujtas.1474330**ÖZET**

**Giriş:** Uyarlanabilir yeniden kullanım, kültür varlıklarının somut ve soyut özelliklerini gelecek nesillere anlatmayı ve aktarılmayı amaçlayan bir koruma stratejisidir. Mevcut binaların yeni işlevler için dönüştürülmesi ve restore edilmesi karmaşık bir süreçtir ve yapısal analiz, bir kültür varlığı olarak tanımlanmasına neden olan değerlerin belirlenmesi, yeni işlevlerin tanımlanması ve tasarım stratejilerinin geliştirilmesi gibi bir dizi faktörü dikkate almayı gerektirmektedir. Bu sürecin başarısı, yapının değerlendirilmesine bağlı olarak doğru işlevin ve yöntemin seçilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu yapıların, fiziki değerlerinin yanında özgünlüklerinin de korunması, giderek ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, özgünlüğün koruma bağlamında ne anlama geldiği ve nasıl ifade edilebileceğine ilişkin ortak bir görüş henüz oluşturulamamıştır. Nara Özgünlük Belgesi'ne dayanan Nara-Gridi, bu eksikliği gidermek için tasarlanmış bir araçtır. Bu çalışmada, söz konusu yöntem Teutonia Binası yeniden kullanım projesi bağlamında incelenmiştir.

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, uyarlanabilir yeniden kullanım bağlamında kültür varlıklarının soyut değerlerini vurgulayarak 'Nara-Grid'i yöntemini incelemek ve bir değerlendirme aracı olarak, nasıl kullanılabileceğini araştırmaktır. Ayrıca, yöntemin faydaları ve nasıl geliştirilebileceği konusunda bir örnek yapı üzerinden incelenmesi hedeflenmektedir.

**Araştırma Sorunu:** Çalışma, uyarlanabilir yeniden kullanımda özgünlüğün korunması için yapı özelinde özgünlüğün ne şekilde belirlenebileceğine odaklanmaktadır.

**Yöntem:** 'Nara-Grid'i yöntemi kullanılarak Teutonia Binası'nın yeniden kullanım projesi değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, sürece ilişkin genel bir anlayışa ulaşmak için uluslararası düzeyde bir literatür taraması yapılmış ve mevcut bilgi birikimi gözden geçirilmiştir. Bu bağlamda, mimari eğitim için geliştirilmiş 'Kültürel Değer Matris'i (Cultural Value Matrix) de incelenmiştir.

**Bulgular:** 'Nara-Grid'i, kültür varlıklarının somut olmayan değerlerinin ortaya çıkarmak için bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir ve bu bağlamda yapıların yeniden kullanımında, strateji belirleme sürecine rehberlik ederek benzer yapıların uyarlanabilir yeniden kullanımına katkıda bulunabilir. Yapı sahipleri, proje geliştiricileri ve koruma profesyonelleri, Nara Grid kullanarak somut olmayan sanatsal, tarihsel, sosyal ve bilimsel değerleri belirleyebilirler. Bu nedenle, kültür varlıklarının koruma sürecinde dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Kültür Varlıkları, Soyut Değerler, Uyarlanabilir Yeniden Kullanım, Nara-Grid, objektif değerlendirme

Geliş/Received : 28.04.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 09.05.2024  
Kabul/Accepted : 21.05.2024

## THE ASSESSMENT OF AUTHENTICITY BASED ON THE NARA-GRID

### ABSTRACT

**Introduction:** The goal of adaptive reuse as a conservation strategy is to pass on to future generations the tangible and intangible qualities of cultural assets. The conversion and restoration of existing buildings for new uses is a complex process that requires considering a number of factors, such as structural analysis, identifying the values that made the building eligible for designation as a cultural property, defining new functions, and developing design strategies. Choosing the appropriate function and approach based on the building's evaluation is crucial to the process's success. In addition to their physical worth, the preservation of these buildings' authenticity is becoming more and more important. However, a common view of what authenticity means regarding conservation and how it can be expressed has yet to be established. The Nara Grid, based on the Nara Document of Authenticity, is a tool designed to fill this gap. In this study, this method was examined in the context of the Teutonia Building adaptive reuse project.

**Objective:** By highlighting the intangible values of cultural assets in the context of adaptive reuse, this study aims to analyze the 'Nara Grid' method and investigate its potential applications as an assessment tool. Furthermore, it is aimed at examining the benefits of the method and how it can be improved through a case study.

**Research Question:** The study focuses on how authenticity can be determined for a building in order to preserve its authenticity in adaptive reuse.

**Method:** The Teutonia Building adaptive reuse project was assessed using the Nara Grid method. To this end, an international literature review was conducted, and existing knowledge was reviewed to gain a general understanding of the process. In this context, the Cultural Value Matrix, developed for the education of heritage architects, has also been studied.

**Findings:** The Nara Grid can be considered a step forward as an assessment tool to reveal the intangible values of cultural assets and, therefore, to guide the process of determining a strategy for their reuse in this context and to contribute to the adaptive reuse of similar structures. Building owners, project developers, and conservationists can determine intangible artistic, historical, social, and scientific values with the use of the Nara-Grid. Therefore, it should be taken into consideration in the conservation process of cultural assets.

**Keywords:** Cultural Heritage, Intangible Values, Adaptive Reuse, Nara-Grid, Objective Evaluation

### 1. GİRİŞ

Bir koruma stratejisi olarak uyarlanabilir yeniden kullanım, gelecek nesillere kültür varlıklarının somut ve soyut özelliklerinin korunmasını, anlaşılmasını ve aktarılmasını amaçlamaktadır. Tarihi yapıların yeni bir işlevle tekrar kullanıma sunulması, kültürel mirasın korunmasında etkili bir strateji ve yeni bir disiplin olarak mimarlık, iç mimarlık ve korumanın kesişiminde entelektüel bir faaliyet alanını temsil etmektedir (Plevoets, 2014).

Genelde, mevcut binaların yeni - bazen de aynı işlev için sağlıklılaştırması veya restorasyonunu içeren süreç, oldukça karmaşık adımları içerir. Yapının analiz edilmesi, bir kültür varlığı olarak tanımlanmasına neden olan değerlerin ortaya konması, yeni işlevinin belirlenmesi ve tasarım stratejisine karar verilmesi, bir dizi faktörü dikkate almayı gerektirmektedir. Bu sürecin başarısı, doğru işlevin ve müdahale yönteminin seçilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Ancak, kültür varlıklarının uyarlanabilir yeniden kullanımı için tanımlanmış bir karar süreci ne yazık ki henüz mevcut değil. Aynı zamanda somut olmayan değerlerin objektif olarak belirlenmesi ve daha sonra tasarıma dahil edilmesi, kendi içinde çok belirsiz bir süreçtir. Yorumla açık keyfi kararlarla kültür varlıklarının uygunsuz şekilde kullanılması, değer kayıplarına yol açabileceği için miras yapısına uygulanacak doğru işlevin ve uygulama stratejilerinin belirlenmesi, en önemli zorluklardandır.

Bu çalışma, uyarlanabilir yeniden kullanım bağlamında somut olmayan değerlerin belirlenmesi konusunda, iki değerlendirme yöntemini incelemeyi ve bir örnek yapı üzerinden uyarlanabilir yeniden kullanım süreçlerini analiz etmeyi hedeflemektedir.

1847 yılında kurulmuş bir Türk-Alman dostluk kulübünün kültür üretim mekânı olan “*Teutonia Binası*”nın işlev değişikliği ile yeniden kullanımı için yapılan proje ve restorasyon çalışmaları, ‘Nara-Grid’i ile değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, restorasyon sürecinde proje, uygulama ve belgeleme aşamalarında yapıda bizzat çalışan yazarın kendi deneyim ve bulgularından, beraber çalıştığı diğer meslek profesyonellerinden edindiği bilgilerden, Teutonia Kulüp arşivlerinden ve konuyu irdeleyen literatür taramalarından elde edilmiştir.

## 2. KORUMA VE UYARLANABİLİR YENİDEN KULLANIM (adaptive reuse)

### 2.1. Tanım, Kavramsal Bağlam ve Teorik Yaklaşımlar

“**Adaptive**” Türkçe karşılığı olarak, ‘uyum sağlayıcı davranış’, ‘değişen koşullara uyum sağlayacak şekilde değişebilme yeteneğine sahip olmak’ veya ‘farklı koşullara uyacak şekilde hızla değişebilme’, ‘*uyarlayıcı*’, ‘*uyarlanabilir*’, ‘*uyarlanır*’, ‘*uydurulabilir*’, ‘*uyarlamalı*’, ‘*uyumsal*’, ‘*uyumlu*’, ‘*uyum sağlayabilen*’ veya ‘*değişime uygun*’ şeklinde kullanılmaktadır; Latince adaptare=uyum sağlamak kelimesinden türetilmiştir. Adaptasyon (adaptation), adapte (adapted), gibi kelimeler Türkçe sözlükte bulunmakla beraber, yaygın olarak kullanılmamaktadır.

“**Adaptive reuse**”, Türkçe tez ve makalelerde çoğunlukla “**uyarlanabilir yeniden kullanım**” olarak geçtiği için, yerleşik bir terim olarak kabul edilmiş ve bu çalışmada kullanılmıştır (Aras, 2022; Bucak, 2023; Erdoğan, 2022; Erkoç, 2022; Geyyas, 2019; Gül, 2023; Uyumaz, 2023; Zakikeh, 2022). Sadece bir makalede “uyarlamalı yeniden kullanım” terimine rastlanmıştır (Atmaca, 2022). “Adaptif yeniden kullanım” ise, yabancı kökenli olduğu için tercih edilmemiştir.

İngilizce terim, literatüre yaklaşık elli yıl önce girmiş ve henüz tam anlamıyla bir tanımı sağlanamamıştır (Plevoets, 2013). Bu muğlaklığın nedenlerini Plevoets şöyle açıklıyor: “uyarlanabilir yeniden kullanım” adı altında yapılan müdahalelerin nevi çok değişkenlik göstermekte ve/veya amaçları tamamen farklı olabilmekte (estetik, teknik veya işlevsel) ve son olarak, terimin yıllardır özensiz bir şekilde kullanılmış olması, doğru bir tanımlamayı zorlaştırmaktadır (Giebeler, 2009; Plevoets 2013 aktardığı şekilde).

Kültür varlıklarının uyarlanabilir yeniden kullanımı, uluslararası miras koruma belgelerinde ve yasalarında önerilen bir çözüm olarak belirtilmiştir (Jokilehto, 2007; Machado, 1976; Venedik Tüzüğü, 1964). Yeniden kullanım, binaların tarihi özelliklerini korurken yeni kullanımlara uyum sağlayan bir süreç olarak tanımlanır (Bullen&Love, 2011a) ve yapıların sağduyu, sorumluluk ve sürdürülebilirlikle, esnek bir şekilde dönüştürülmesine yönelik bir stratejidir. Bu strateji, yenilikçi (yeniden kullanım) konseptlerle korumaya değer yapıların konservasyonunu sağlayarak, döküntü şehir bölgelerinin de canlandırılmasını sağlama potansiyelini barındırır. Ayrıca bir binanın ömrünü yapı, kabuk, hatta malzemeleri dâhil olmak üzere, tümünü veya bir kısmını koruyarak uzatabilir. Bu model, sadece tarihi değeri olan yapılarla sınırlı olmayıp, kullanım değeri kalmamış tüm yapılar için bir strateji olabileceği gibi, yine de her bina için uygun değildir. Uygunluğun kriterlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi, sağlıklı karar verebilmeyi kolaylaştırmaktadır.

Mevcut yapı stokunu kullanıma yönelik dönüştürmek, şehirlerin tarihi kimliklerinin korunmasının çok ötesinde, günümüzde ekonomik ve ekolojik bir zorunluluk olarak da görülmektedir. Var olanı yıkarak yenilemek yerine, tamir etmek, güçlendirmek ve güncel şartlara uygun iyileştirmek, yeşil alanların ve kaynakların korunmasını sağlamaktadır. Batı ülkelerinde, bu konuda daha yaygın bir bilinç hakim olduğundan, mevcut yapıların dönüştürülmesi şimdiden yaygınlaşmış durumda; gelecekte ise bu tür projelerin inşaat faaliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturacağı öngörülmektedir (Schittich, 2012). Tarihi yapıların bu süreçteki avantajı, sanayi öncesine ait olmalarından kaynaklanmıştır. Bu yapılar genellikle doğal, sağlıklı ve geri dönüştürülebilir elemanlardan kullanılarak inşa edildiği için zaten ekolojik niteliktedir.

**Orbaşlı ve Vellinga** (2020), (uyarlanabilir) yeniden kullanım kavramını, bir binanın işlevinin değişen ihtiyaçlarına uyum sağlamak veya yeni bir işlevle kullanılmak için, bilinçli ve planlı bir şekilde değiştirilmesi” olarak ifade eder. Bu süreç, ekonomik ve sosyal fayda amaçlanan planlı bir yenileme faaliyeti ve iç mekân,

mimari ve şehir planlama ölçeklerini kapsayan, ekonomik, ekolojik, kültürel, sosyal ve politik kaygılarla birleşen, yeni bir entelektüel ve uygulama alanı haline gelmiştir (Orbaşlı & Vellinga, 2020).

**Bullen** (2007)'e göre, uyarlanabilir yeniden kullanım kavramı, zorunlu olarak işlev değişikliğini gerektirmez. Örneğin konut olarak kullanılan bir ev, yeniden konut olarak kullanılmadan evvel kullanım standartlarını yükseltici ve yapının ömrünü uzatan 'yeniden modelleme', 'güçlendirme', 'dönüştürme', 'adaptasyon', 'rehabilitasyon' veya 'yenileme' gibi işlemlere tabi tutulabilir.

Yapının ana strüktürünün, genellikle ilk yapılış amacından daha uzun bir ömrü vardır. Bundan dolayı, nesiller boyunca yeniden kullanılmışlar ve böylece fiziksel çevrelerinde, süreklilik ve tutarlılık sağlamışlardır (Cantacuzino, 1975)

**Robiglio**, uyarlanabilir yeniden kullanımı: “tasarlandığı işlevini kaybetmiş anıtların, binaların veya altyapının, küçük ancak dönüştürücü araçlarla, yeni donanımlara ve kullanımlara uyarlanarak, yeniden kullanma süreci” olarak tanımlamış; mimaride ise, yapının şekli değişmeden işlevinin değişmesi, yeni ile eski işlev arasındaki bağlayıcı bir yol olarak ifade etmiştir (Mohamed&Alaudin, 2016).

Uyarlama, bakımın ötesinde yapının kapasitesini, işlevini veya performansını değiştiren, kısaca yapılan herhangi bir müdahaleye denir (Douglas, 2006). Gezegenin kaynakları azaldıkça, mevcut yer ve mekânların yeniden kullanılması ve bunlara yönelik tutum da, bir dönüşüm geçirmektedir.

Genel anlamda uyarlanabilir yeniden kullanım, mevcut bir yapının, ilk tasarım amacının dışında fiziksel ve genelde işlevsel değişikliklerle, yeniden kullanılması anlamına gelmektedir. Mimari mirasın birden fazla işlevle kullanılması ise, hizmetini en üst seviyeye çıkarmaktadır (Zhang ve Zhang, 2023). Günümüzde, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından, yeni yapılar inşa etmek yerine var olanları yeniden kullanmak çekici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede, mevcut yapılar ve hatta şehir bölgeleri, tarihi önemlerini korurken, aynı zamanda topluma da birçok fayda sağlamaktadırlar:

## 2.2. Uyarlanabilir Yeniden Kullanımın Faydaları:

- **Çevresel fayda:** Mevcut kaynakların yeniden kullanılması, inşaat sektörünün çevreye olan ağır yükünü azaltmaktadır. Mevcut yapı stokunun genelde şehir merkezlerine yakın olması ve alt yapılarının hazır olması, ekonomik bir avantajı da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, şehir merkezlerinden uzaklaşmaması, araç sirkülasyonunun azalması anlamına da gelmektedir (Dyson vd, 2016) .
- **Soyut faydalar:** Miras yapıları kültürel simgelerdir ve bunların korunmasının, toplumun refahı, yer duygusu ve dolayısıyla sosyal sürdürülebilirlik üzerinde etkileri vardır (Bullen & Love, 2011b; Dyson vd, 2016). Aidiyet duygusunun korunması, yerleşik mahallelerde daha yaygın olan sosyal ağlara erişim sağlayabildiğinden, sosyal networkun korunması kişilerin özgüven ve sağlık duygularına katkıda bulunmaktadır.
- **Ekonomik fayda:** Dyson vd, (2016), eski bir binayı uyarlamanın, yıkıp yeniden inşa etmekten, daha uygun bir maliyeti olduğunu savunmaktadır. Yeni binaların inşasının önemli miktarda hammadde ve enerji tükettiği ve yüksek karbon emisyonu yarattığı bilinmektedir. Özellikle eski yığma yapılar, genellikle daha uzun ömürlü malzemelerden oluşmakta ve bu nedenle, yeniden kullanılmaları gerçekçi bir alternatif oluşturmaktadır.
- **Estetik fayda:** “Eski” yapıların çağdaş bir tasarımla yeniden kullanıma sunulması, bu “eskimiş” yapıların, modern yaşamın bir parçası olarak takdir edilmesini sağlayabilmekte ve böylece, kültür varlıklarının kendine özgü hikâyesine saygılı yeni bir katman eklenmektedir.
- **Sürdürülebilirlik:** Uyarlanabilir yeniden kullanım stratejilerinin uygulanması, CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde düşürmede katkıda bulunabilir. Bir yapının ömrünü uzatarak malzeme, nakliye ve enerji kullanımı ve kirliliği azaltabilir ve bununla da, sürdürülebilirliğe katkı sunabilir (Bullen & Love, 2011b; Dyson vd, 2016).

Yapılı çevrenin yeniden işlevlendirilmesi, insanlık kadar eski bir olgudur. Teorisyenlerin bu sürece bir isim vermeden çok önce, uyarlanabilir yeniden kullanım, medeniyetlerin yapılı çevresinin sürekliliğini sağlamak için akılcı ve doğal bir yol olarak uygulanmaktaydı. Mağaraların yeniden kullanıldığı gibi, savaş zamanlarında okullar, kiliseler ve diğer yapılar hastane veya yönetim binaları olarak kullanılmıştır, Osmanlı İmparatorluğu birçok kiliseyi camiye dönüştürmüş ve terk ettikleri bölgelerde ise camiler kiliseye çevrilmiştir. Eski zamanlarda bu değişiklikler, koruma dürtüsünden ziyade maddi ve zaman tasarrufu için, bazen de politik nedenlerle gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise binaların yeniden kullanılmasının başlıca nedenleri işlev kaybı, işlevsel eskime ve buna bağlı ekonomik, çevresel, tarihsel ve kültürel faktörlerdir (Altınoluk, 1998).

### 3. ARAŞTIRMA VE ANALİZ

Yapının çevresi ve kentsel bağlamın incelenmesi, yapının strüktürel analizi, zemin etüdü, yapının tarihi ve geçirdiği süreçlerin araştırılması, fiziksel ve biçimsel özelliklerin, mekânsal organizasyonun, stil ve benzeri fiziksel unsurların yanı sıra, yapının sahip olduğu değerlerin belirlenmesi hazırlık sürecinin ilk adımlarıdır. Yatırımcının ihtiyaçları ile birlikte çevrenin sosyo-kültürel, ekonomik ve çevresel faktörlerinin de göz önünde bulundurulması, projenin başarısını arttıracaktır (Mısırlısoy ve Günçe, 2016).

#### 3.1. “Genius Loci” (mekânın ruhu):

Kültürel miras yapıları, çevremizin karakterini ve görünümünü belirlemekte ve genellikle, insan yaşamından daha uzun süre var olmaktadır. Yapılar ve/veya yapı toplulukları, bir yeri tanınabilir kılar ve bir yerin, “genius loci”- ruh ve kimliğini belirler, bir yerin tanınmasına yardımcı olur ve kolektif hafızada yer alırlar. Bu özelliklerin anlaşılması ve korunması, tasarım ve planlamada dikkate alınmalıdır. Kentsel dönüşüm projelerinin neden olduğu hızlı değişimler, şehirlerin tanınmaz hale gelmesine ve insanlarda yabancılaşmaya neden olmaktadır. Savaşlar ve büyük doğal afetler de, şehirlerin tarihi dokusunda büyük kayıplara neden olduğu için tarihselliğe ve tarihi yapıların korunmasına olan ilginin artmasına neden olmuşlardır. Tek bir yapı dahi, kolektif hafızaya katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, mimarın yapıyı ve genel anlamda tarihi ele alış şekli, bölgenin sosyal ve tarihsel bağlamda kolektif hafızasını güçlendirmekte veya zayıflatmaktadır.

#### 3.2. Özgünlük:

Boccardi (2018), özgünlük kavramını antik Yunan felsefesinden bir örnek olan Theseus’un Gemisi Hikayesi ile açıklar. Theseus Minotaur’u yenip Girit’ten döndükten sonra, Atinalılar zaferin sembolü olarak gemisini korumaya karar verirler. Yüzyıllar içinde, orijinal geminin eskimiş tahtaların bozulmasıyla tüm ahşap tahtaları yeni tahtalarla değiştirilmiştir. Plutark ve başkaları tarafından dile getirilen soru ise, bileşenleri birer birer ve uzun bir süre içinde değişmiş olan bir nesnenin, temelde hala aynı nesne olup olmadığıdır?

Özgün olan bir şey, ona atfedilen niteliklere gerçekten uyumlu olup olmadığı ile ilgilidir. Dolayısıyla, özgünlük nesnelere veya bireylere doğal olarak ait bir özellik değildir, daha çok onların doğasına ilişkin iddialarla ve/veya insanların onlar hakkındaki algısıyla ilgilidir. Bir başka deyişle, nesnelere kendi başlarına özgün veya sahte değildir. Nesnelere onlara atfedilen şey ile uyumlu ise, özgün sayılmaktadır. Bu nedenle, bir şeyin özgün olduğunu söylemek için, birinin onun doğası hakkında bir beyanda bulunması ve o şeyin gerçekten o doğaya sahip olması gerekmektedir (Boccardi, 2018).

Koruma bağlamında ise, bir kültür varlığının fiziksel özellikleriyle, kültürel değerleri arasında bir ayrım yapmak gerekmektedir. Fiziksel özelliklerin herhangi bir dış gözlemci olmadan var olacağı varsayılmaktadır. Ancak kültürel değerler insanlar tarafından atfedilir ve varlığı kimin değerlendirdiğine ve geçen zamana bağlı olarak değişebilmektedir. Değerler hakkındaki iddianın haklı olup olmadığını değerlendirmek için bu varsayımların doğrulanması gerekmektedir. Sonuç olarak, eğer bir kültür varlığı somut ve somut olmayan nitelikleriyle iddia edilen nitelikleri taşıyorsa ve kültürel önemi kanıtlanabiliyorsa, o zaman özgün kabul edilmektedir (Boccardi, 2018).

Dünya Miras Komitesi, kültürel mirasın tanımlanması, değerlendirilmesi ve izlenmesinde özgünlüğün temel bir unsur olduğuna dair genel bir fikir birliği olduğunu belirtmiştir (Nara, 1994). Nara Özgünlük Belgesi, Dünya Miras Listesi’ne önerilen kültür varlıklarının özgünlüklerinin incelenmesi için pratik bir temel sağlamıştır. Bir

kültür varlığının kültürel değeri, gelenekler, dil ve diğer somut olmayan miras unsurları gibi, nitelikler aracılığıyla doğru ve güvenilir bir şekilde ifade edilmesi halinde, özgünlük kriterlerini sağladığı kabul edilmektedir (Rössler, 2008).

Binalarda, özgünlük değerinin genelde ilk tasarlayan mimara özgü, sabit bir olgu olduğu düşünülebilir. Buradan hareketle, yeniden kullanım için yapılacak müdahalelerin bir özgünlük kaybına neden olabileceği varsayılabilir. Oysa pratikte (değerlere saygılı bir şekilde) yapılan müdahaleler, mevcut kimliğe yeni katmanlar ekleyebilme potansiyeline sahiptir (Upton, 2001 Orbaşlı ve Vellinga, 2020 aktarıldığı şekilde).

Nara Özgünlük Belgesi'nde (1994), kültürel çeşitliliğe saygı duyulması gerektiği ve tüm tarafların özgün değerlerinin tanınması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, Nara Belgesi, bir kültür varlığının değerine katkıda bulunan kullanım ve işlev, konum ve ortam, geleneksel yönetim sistemleri ve hatta korunacak yerin hissi ve ruhu gibi çok çeşitli maddi ve manevi nitelikleri dikkate alarak, özgünlüğün anlamının kapsamının genişletilmesini teşvik etmiştir.

Özgünlük kavramının genişletilmesi ve zamandan bağımsız olarak değerlendirilmesiyle, dünya genelindeki tüm kültür mirasının çeşitliliğini kapsayan, Batı kültürüne ait olmayan değerleri de içerebilecek bir anlayışın geliştirilmesi umulmaktaydı (Boccardi, 2018). Venedik Tüzüğü gibi, Nara Özgünlük Belgesi de entelektüel derinlik ve teori ile pratiğin yüzleşmesi için bir alan açmış ve koruma doktrinlerinde önemli ilerlemelere kültürler ve uzmanlıklar arasında diyaloga neden olmuştur (Luxen, 2019).

Kültürel mirasın tüm formlarının ve tarihsel dönemlerinin korunması, mirasa atfedilen değerlere dayanmaktadır. Bu değerleri anlayabilmemiz kısmen, değerlerle ilgili bilgi kaynaklarının güvenilirliğine bağlıdır. Bilgi kaynakları, fiziksel, yazılı, sözlü ve sembolik kaynaklar gibi mirasın niteliğini, özelliklerini, anlamını ve tarihini tanınamızı sağlayan her türlü kaynağı içermektedir. Bu kaynaklar, biçim ve tasarım, malzeme ve içerik, gelenekler ve teknikler, konum ve ortam, ruh ve duygu gibi unsurları ve diğer iç ve dış faktörleri içerebilir. Bu kaynakların kullanılması, incelenen kültür mirasının özgün sanatsal, tarihsel, sosyal ve bilimsel boyutlarının ayrıntılı bir şekilde ele alınmasına olanak tanımaktadır (Nara, 1994).

### 3.3. Nara-Grid

Raymond Lemaire Uluslararası Koruma Merkezi, 'Nara Grid' adı verilen bir metot geliştirmiştir. Özgünlük kavramına odaklanan van Balen (2008), Nara Özgünlük Belgesini (1994) temel alarak, mimari mirasa atfedilen değerleri kapsayan ve farklı boyutlarının ve yönlerinin belirlenmesine yardımcı olacak 'Nara-Grid'ini (Tablo 1) şekillendirmiştir. Bu kılavuz ile miras değerlerinin birçok ayırt edici boyutunun belirlenmesine olanak tanınmaktadır.

**Tablo 1.** Nara Grid – Özgün ve Türkçeleştirilmiş (Van Balen, 2008; çeviri: yazar)

	Ölçüt Sanatsal	Tarihsel	Sosyal	Bilimsel
Özellik				
Form ve Tasarım				
Malzeme ve İçerik				
Kullanım ve İşlev				
Gelenek, Teknik ve İşçilik				
Konum ve Ortam				
Ruh ve His				

**Table 1. The Nara Grid based on the Nara Document on Authenticity**

Aspects ↓	Dimensions →				
		Artistic	Historic	Social	Scientific
Form and design					
Materials and substance					
Use and function					
Tradition, techniques, and workmanship					
Location and setting					
Spirit and feeling					

Böylece miras yapının, farklı amaçlara yönelik daha geniş bir şekilde anlaşılmasını sağlayacak bir kontrol listesi sunulmuştur. Bir derecelendirme yerine, yapının farklı özellikleri, sanatsal, tarihsel, sosyal ve bilimsel boyutları gözetilerek, üzerinde düşünmeyi sağlamaktadır. Bu kılavuz sadece somut olmayan değerlerin belirlenmesinde kullanılması tavsiye edilmekte ve bir kültür varlığının, tam anlamıyla değerlendirilmesinde tek başına yetersiz kalmaktadır. Bu durum, yapının fiziksel analizine yönelik M&S yönteminin tamamlayıcısı olarak görülmelidir.

### 3.4. Miras Değerleri Matrisi:

2017’de, Clarke ve Kuipers tarafından, mimari eğitim alanındaki daha görsel ve tasarım odaklı bir araca duyulan ihtiyaçtan yola çıkılarak, Nara-Grid’i geliştirilmiş ve Tablo 2-3’de görülen *Miras Değer Matrisi* (Heritage Value Matrix) oluşturulmuştur.

**Tablo 2.** Heritage Value Matrix/ Miras Değerleri Matrisi – Özgün (Clarke ve Kuipers, 2017)

RIEGL+ → Brand+ ↓	AGE value	HISTORICAL value	INTENTIONAL COMMEMORATIVE value	NON INTENDED COMMORATIVE value	USE value	NEWNESS value	(relative) ART value	RARITY value	OTHER relevant values
SURROUNDINGS/ SETTING									
SITE									
SKIN (exterior)									
STRUCTURE									
SPACE PLAN									
SURFACES (Interior)									
SERVICES									
STUFF									
SPIRIT of PLACE									

**Tablo 3.** Miras Değer Matrisi –Türkçeleştirilmiş (Clarke ve Kuipers, 2017; çeviri: Yazar)

RIEGL	Yaş Değeri	Tarihi Değer	Kasıtlı Anma Değeri	Kasıtlı olmayan Anma Değeri	Kullanım Değeri	Yenilik Değeri	Sanatsal Değer	Nadirlik Değeri	Başka Değerler
BRAND									
Çevre, Ortam									
Alan									
Kabuk (Dış)									
Strüktür									
Mekan Planı									
Yüzeyler (iç mekan)									
Teknik Alt Yapı									
Şeyler									
Mekanın Ruhü									

Z






































Bu çizelgede, yine yapının somut bileşenleri, soyut değerleriyle ilişkilendirilmektedir. Somut yönde Steward Brand'ın (1995) altı katmanına dayanmaktadır: bunlar alan, kabuk (dış), strüktür, mekan planı, teknik alt yapı, şeylerdir. Bu katmanlar çevre ve ortam, iç yüzeyler ve mekanın ruhu katmanları eklenerek genişletilmiştir. Çizelgede soyut değerler Alois Riegl'in (1903) diyalektik değerlerine dayanmaktadır: yaş, tarihsel, sanatsal, kullanım, yenilik değerlerinin yanında kasıtlı ve kasıtlı olmayan anma değeri. Riegl'in değerler setine ilave olarak, nadirlik değeri ve diğer değerler eklenerek geliştirilmiştir.

Nara-Grid'inden farklı olarak bu matrisin ilgili alanlarının metin ve görsellerle doldurulması gerekmektedir (Tablo 4). İlgisiz olan bölümler boş bırakılmalı ve ilave olarak öneme göre renk verilmesi okumasını kolaylaştırmaktadır. Bu şekilde, somut olmayan değerlerin tanımlanması ve fiziki yapının katmanlarıyla ilişkilendirilmesi hedeflenmektedir.

Görselleştirmenin amacı, mevcut miras değerlerine ve önem sıralamasına açıkça işaret ederek, tasarım aşamasında koruma hedefleriyle uyumlu olmayan projelendirmelerin önüne geçmektir. Mimari eğitim alanı için geliştirilmiş bu araç, bunun dışında özellikle koruma pratiğine çok aşına olmayanların kolaylıkla algılayabileceği görsel bir değerler özeti gibidir.

**Tablo 4.** Doldurulmuş Miras Değer Matrisi– özgün (Clarke ve Kuipers, 2017)

	AGE	HISTORIC	ART	USE	NEWNESS	RARITY	AESTHETIC
CONTEXT		 Imaged and the fabric of the city. The fabric of the city is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic context is the fabric of the city that has been built up over time.		 Easy access to bus and car.	 The context is not the site, but the way the site is used. The context is the way the site is used in relation to the surrounding area. The context is the way the site is used in relation to the surrounding area.		 The industrial habitat with its scale and complexity. The industrial habitat is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The industrial habitat is a complex of buildings and streets that have evolved over time.
SITE	 The site elements that have been identified and are the subject of the study. The site elements are the buildings and streets that have been identified and are the subject of the study.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.
SKIN	 The skin has a kind of texture that is not uniform. The skin has a kind of texture that is not uniform. The skin has a kind of texture that is not uniform.		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.
STRUCTURE		 The historic structure is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic structure is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.
PLAN		 The historic plan is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic plan is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.			
SURFACES	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		
SERVICES	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.		
STUFF	 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.			 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.			
STORY		 The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time. The historic site is a complex of buildings and streets that have evolved over time.					

### 3.5. Vaka Çalışması: Teutonia Kulüp Binası, Beyoğlu-İstanbul

**Yapı ile ilgili bilgiler:** İstanbul ili, Beyoğlu ilçesi, Şahkulu Mahallesi, Galip Dede Cadde, No 65'te bulunan yapı, tapuda 38 pafta, 284 ada, 26 parsel sayılı yerde kayıtlıdır (Şekil 1).

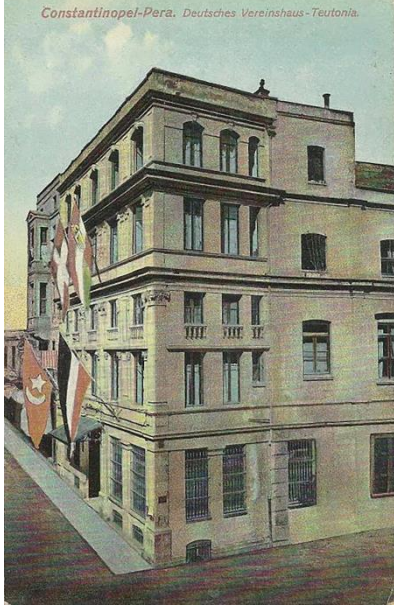


Şekil 1. Beyoğlu Haritası, 2024 (İBB)

Beyoğlu kentsel sit alanı içinde bulunan yapının parsel alanı toplam 1007,34 m<sup>2</sup>' dir. Parselin kuzey kısmında 1964 yılında bahçesine ilave edilmiş bir okul binası mevcuttur; ana bina 1897 yılında tamamlanmış olup, II. Sınıf tarihi eser niteliğindedir.

Binanın zemin kat üstü silmenin hemen altındaki yazılara göre, binanın mimarının Otto Kapp, binanın uygulamasından da Semprini ve Gaedertz' in sorumlu olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 2-4'te binanın inşa edildiği yıl, restorasyon öncesi 2004 ile 2023'te restorasyonu tamamlandıktan sonra çekilmiş fotoğrafları yer almaktadır.



**Şekil 2.** Teutonia, 1897 (Teutonia Kulübü Arşivi)



**Şekil 3.** Teutonia, 2004 (Teutonia Kulübü Arşivi)



**Şekil 4.** Teutonia, 2023 (Meriç, 2023)

Teutonia Kulübü, 1847'de Alman kültürünü yaşatmak, sohbet etmek ve şarkı söylemek için Alman zanaatkarlar tarafından İstanbul'da kurulmuştur. Elli yılda yaşanan birçok yangın nedeniyle kulüp, 15 kez yer değiştirdikten sonra 1897'de bahsi geçen binanın açılışı yapılmıştır.

1912 yılındaki Balkan savaşına kadar Teutonia, prestijli "Alman Kulübü" olarak birçok etkinlik gerçekleştirmiştir. Birinci Dünya Savaşı'nın kaybedilmesiyle 3.12.1918'te bina, İtilaf Devletleri'nin kuvvetlerine teslim edilmiştir. Yapı, sırasıyla İngiliz Subay kulübü, astsubayların pansiyonu, İngiliz askeri örgütü YMCA'nın (Hristiyan Genç Erkekler Derneği) mekânı olarak hizmet vermiş ve zaman zaman, Rus mültecileri de ağırlamıştır (Mitteilungsblatt Nr.28, 1958; Radt, 2001).

Yapı, savaştan sonra geri alınmış, 18.01.1924 te yeniden resmi açılış yapılmış ve adı da artık "Alman Kulübü" olmuştur. Mali kaynakların yetersizliği nedeniyle, 1925'e kadar ancak zorunlu tadilatlar yapılabilmektedir. 1933'ten itibaren Nasyonal Sosyalistlerin nüfuzu ve talepleri artmış, bu da devlet fonlarının yeniden Teutonia' ya akmasına neden olmuştur. Bu sayede, 1934 yılında büyük ölçekli tadilat işleri yapılmıştır. 1938'de Almanya'dan getirilen modern bir film gösterim makinesi ve yeni bir kalorifer sistemi en önemli yeniliklerdendi.

Savaşın kaybedileceği anlaşılınca, 2 Ağustos 1944'te Almanya ile Türkiye arasındaki diplomatik ilişkiler kesilmiş ve tüm Alman ve Alman-Avusturya vatandaşları Türkiye'den sınır dışı veya enterne edilmiştir (Yozgat, Kırşehir ve Çorum) ve Teutonia Milli Eğitim Bakanlığı'na devredilmiştir. Dokuz yıl sonra, 12.01.1954'te bina yeniden resmen iade edildiğinde fazla hasar oluşmadığı görülmüş ve üyelerin bağışlarıyla basit onarımlar yapılarak, yeniden kullanılmaya başlanmıştır.

Binada, 1956' da Alman Denizciler Evi, 1957 de Goethe Enstitüsü, 1961 de çocuk yuvası faaliyet göstermiştir. 1964' te parselin bahçesine Deutsche Botschaftsschule (Alman Büyükelçiliği Okulu) binası inşa edilmiş, 1965' te anaokulu açılmıştır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda birçok öğretmen, Alman Lisesi ve İstanbul Erkek Lisesi'nde

(bugünkü İstanbul Lisesi) Almanca dersi vermek için aileleriyle birlikte İstanbul'a gelmiştir. Teutonia Binası, çoğalan Alman topluluğu ile yeniden canlanmıştır: Goethe Enstitüsü ve Alman Okulu'nun etkinlikleri, Alman Denizciler Evi'nin pansiyonerleri ve ana okul öğrencileri yapıya yeniden hayat vermiştir (Maessen, 2019; Radt, 2001).

Ancak Türkiye değişmiştir; sosyo-politik alanda yaşanan birçok değişiklikler ve şehrin hızla artan nüfusu nedeniyle, kulüp hayatı yavaş yavaş sona ermeye başlamış, hatta durma noktasına gelmiştir. 1970'li ve 1980'li yılların başında yaşanan siyasi çalkantılar sırasında, 1977'de bina önünde gerçekleşen bir bombalı saldırı son noktayı koymuştur. Üyelerin azalması, binanın ihtiyacı olan bakım ve onarım işlerini zorlaştırdığından, yapı kötü bir durumda kalmıştır. 1990'lı yılların sonlarına kadar ancak bazı çok elzem onarımlar yapılabilmektedir. Yapı, 1989'da ikinci derece tarihi eser olarak tescil edilmiştir. 2008 yılında yapılan yeni bir kira sözleşmesiyle, Teutonia'nın restorasyon süreci başlamış ve bu süreç 2023'te tamamlanmıştır.

### 3.5.1. Binanın Plan özellikleri:

Yapı, 1897'de tamamlandıktan sonra 20. yüzyılda çeşitli renovasyonlarla ve ilave yapılarla, bazı değişikliklere uğramıştır. Günümüzde yapının brüt 2.474 m<sup>2</sup> inşaat alanı mevcuttur. Bina, iç içe geçmiş ön bina, tiyatro bölümü, orta bina ve arka bina olarak adlandırılmış, dört farklı bölümden oluşan bir yapı kompleksidir. Galip Dede Caddesine bakan ön bina, bodrum, zemin, üç normal ve bir ara kat olmak üzere, toplam 6 kattan oluşmaktadır. Ana bina ise, bodrum, zemin ve yüksek tiyatro salonu katından ibarettir. Bu kısım ile bitişik orta binada bodrum, zemin ve üç kattan müteşekkil, biraz daha farklı bir yapı bölümü mevcuttur. Arka bina ise, bodrumu olmayan iki katlı bir yapı ve üstü örtülü bir teras olarak tasarlanmıştır.

1964 senesinde, tarihi yapının arka bahçesine betonarme bir okul yapısı ve başka bir tarihte, iç bahçeye tek katlı bir betonarme yapı eklenmiştir. Tarihi kâgir yapının çok az değişikliğe uğramış taşıyıcı sistemi, yapıldığı dönemin yapım tekniğine uygun olarak orijinal tuğla duvarlar, ahşap karkaslı ve demir putrelli volta döşemelerden oluşmaktadır.



Şekil 5 Ana girişten koridorun görünümü 2017 - 2020 - 2023

### 3.5.2. Uygulama Çalışmaları

Teutonia Binasına, mali kaynakların yetersizliği nedeniyle yıllarca sadece en acil tamirleri yapılabilmektedir. 2000'li yılların başındaki hazırlık sürecinden yapı ruhsatının alınmasına ve nihayet ihaleye çıkılmasına kadar olan süreç, on yıldan fazla sürmüştür. Tarihi Teutonia Binasının yeni işlevle kullanılmak üzere, çağdaş ve depreme dayanıklı idari bina kullanımı için restore edilmesi işi ihale edildikten sonra uygulama, 14.05.2019 tarihinde yer teslimi ile başlamış ve 2023 yılında tamamlanmıştır. Şekil 5-9'de uygulama öncesine ve sonrasına ait fotoğraflar görülmektedir.

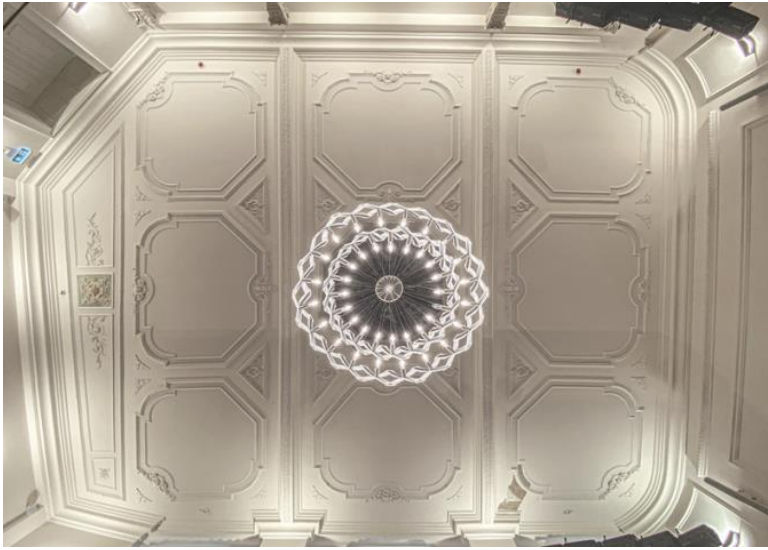


Şekil 6. Tiyatro Salonu 2019



Şekil 7. Tiyatro Salonu 2023

Özellikle güçlendirme, yangın koruma ve diğer fiziksel sorunların giderilmesinin yanı sıra, yeni işlev için mekanlarda gerekli değişikliklerin, yapının tarihi dokusunda hasar oluşturmadan yapılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 8. Tiyatro salonu tavan süslemeleri restorasyondan sonra

Boyaların sökülmesinden sonra ilk yapım dönemine ait süslemelerin izleri ortaya çıkmıştır. (yazar)



Şekil 9. Birinci kat ana merdiven 1980'ler (Erald Pauw arşivi) ve 2023  
Duvar kaplama ve boya sökümünden sonra farklı dönemlere ait kalem işleri kısmen ortaya çıkmıştır.

**Tablo 5.** Teutonia Binası'nın 'Nara Grid ile değerlendirilmesi

Ölçüt	Sanatsal	Tarihsel	Sosyal	Bilimsel
<b>Özellik</b>				
<b>Form ve Tasarım</b>	Cephe, on dokuzuncu yüzyılın sonlarına ait tipik mimari detayları içeren neoklasik uslubu yansıtmaktadır ve altın orana göre tasarlanmıştır. İç kısımda ise, merdivenler, tiyatro ve Berlin Odası çok özel tasarıma sahiptir. Özgün detaylar, son uygulamada korunmuştur.	Dönemin ilk tiyatrolarından biri olarak varlığını bu restorasyondan sonra da sürdürülebilmiş ender örneklerdendir. Kütüphane işlevi de ilk yapılaş yıllarından günümüze dek sürdürülebilmştir. Beyoğlu'ndaki özgün kalmış ve sayıları gittikçe azalan bir dönem yapısıdır.	Yapı, İstanbul'daki Almanca konuşan topluluk için simge değeri taşımaktadır. Tasarımı, Alman zevklerinden çok dönemin elit sınıfın Batı Avrupa zevklerini yansıtmaktadır.	Binadaki dönemin zarif tasarımlarının orijinal doku ve formlarının korunmuş oluşu, incelenmelerine olanak sağlamıştır.
<b>Malzeme ve İçerik</b>	Kullanılan orijinal malzemeler görülebilmektedir ve korunabilen kısım iyi durumdadır. Yeni ilave edilen malzemeler sade ve kullanışlı olarak tercih edilmiştir. Böylece orijinal malzemelerin daha çok öne çıkması amaçlanmıştır.	Yapıldığı yıllarda, malzemeler farklı bölgelerden getirilmiştir. Örneğin çini soba, Almanya'dan getirilmiştir ve artık üretimi yoktur; çatıda farklı dönemlere ait bulunan kiremitler Marseille, Aix-en-Provence, Selanik ve Türkiye'den sağlanmıştır; örnekler çoğaltılabilir. Demiryolu projesi için gelmiş yüksek kalifikasyona sahip mimar, mühendis ve ustaların ortaya koyduğu eserin kalitesi yüksektir.	Yapım döneminde kullanılan malzemelerle yüksek kalitede bir ortam ve yapı programı ile elit sınıfın eğlence ve sosyalleşme ihtiyaçları karşılanmaktaydı. Günümüzde orijinal malzemelerle birlikte modern donanımlar için uyumlu modern malzeme ve teknoloji kullanılmıştır.	Yapının özgün strüktürü doğru analiz edilerek uygulanan güçlendirme projesi ile bu strüktürün, aynı yapı malzemeleri ve uyumlu bir teknikte güçlendirilmesi sağlanmıştır. Dönemin kargir yapı teknolojisi ve malzemeleri ve günümüze kadar gelebilen süslemeler, yine dönemin malzemeleri ile ilgili bilgileri sunmaktadır. Enerji verimliliği için özel camlar, yangın koruma ve akustik için bina yapısını bozmayacak şekilde özel detaylar üretilmiştir.
<b>Kullanım ve İşlev</b>	Tiyatro salonu, eski dönemlerde İstanbul için ender bulunan bir özelliktir ve yapının bu kullanımı kesintisiz sürmüştür. Sanatsal değeri olan özgün detaylar, yeni işlevinde korunarak özellikle toplanma mekanlarında biçimsel değişiklik gerektirmeyecek bir tasarım tercih edilmiştir. Toplanma mekanlarında yapılaş yıllarında hedeflenen artistik etki, günümüze taşınabilmiştir.	Binada kütüphane, bowling ve bilardo ve eskrim gibi işlevlerle, geçmişte topluluğun hobi ihtiyaçları karşılanmıştır; ayrıca geleneksel olarak, Almanca konuşan yurtdışılara sosyalleşme, yardımlaşma, ve Alman kültürünü paylaşmak ve yaşatmak amacı güdülmüştür. Kulüp ve yapısının devamlılığının kent tarihi içinde önemli bir yeri vardır.	Yapının Alman bir vakfın kullanımı sayesinde, Türk-Alman sosyal ilişkilerinin bu binada sürdürülmesi sağlanmıştır. Aktif bir şekilde bunu destekleyen programlarla, İstanbul'da yaşayan Almanca konuşan topluluk da faydalanabilmektedir. Ayrıca Alman kültürünün varlığı, kent için de bir zenginleşme unsurudur.	Tiyatro salonu ve Berlin Odasının orijinal biçimi ile korunması, dönemin tiyatro yapıları ile ilgili bilgi sunmaktadır.
<b>Gelenek, Teknik ve İşçilik</b>	Yapıdaki tüm detaylar özen gösterilerek, dönemin becerilerini göstermektedir.	Tiyatro teknik aksam, kısmen korunabilmiştir kısmen modernleştirilmiştir. Dönemin tekniği ile ilgili bilgi ve referans bulmak hala mümkündür. Yapı strüktürü, deprem mühendisliğini sergilemektedir; zaman içinde bozulan kısımların restorasyonda zaafiyetleri giderilmiştir.	Eski malzeme ve yapım tekniklerinin onarım ve güçlendirme işlerinde kullanılması, bu tekniklerin yaşatılması anlamına gelmektedir.	Yapım dönemine ilişkin taş, demir ve ahşap işçiliği ve tekniklerini inceleme imkanı, geçen yüzyıla ait film makinesi, çini soba vb. elemanların sergilenerek incelenmesi sağlanmıştır. Yapıda, dönemin deprem mühendisliğine dair beceri ve bilgi görülmüştür.
<b>Konum ve Ortam</b>	Tarihi ve turistik bir bölgenin en önemli aksı üzerinde bulunmasından dolayı, yapı karakteristik özellikleriyle bölgeye katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, geçmişten süregelen ve eklenen yeni işlevleriyle, Beyoğlu'nun kültür-sanat ekosistemine katkı sağlamaktadır.	Tarihi yarımada'dan sonra Beyoğlu bölgesi, İstanbul için ikinci öneme sahip bölgeydi. Yabancı ticaretin ve konsoloslukların burada bulunması, Beyoğlu'nu özel bir konuma getirmiştir. Alman yapısı, bu çok kültürlü ortama katkı sunmaya devam etmektedir.	Bölge, hem turistik, hem de kültürel bir sanat aksı olmasından dolayı önemlidir. 1970'li yıllardan başlayan bölgesel düşüşün yerini son yıllarda aktif bir sosyal ve kültürel yaşam almıştır. Yapı, varlığı ile estetik katkı vermekte ve yeni işleviyle bu ortama aktif olarak etki etmektedir.	X
<b>Ruh ve His</b>	En başta, bir kültür varlığının daha harap olmasından korunmuş olması; yapının temizlenmiş ve arınmış cephesi ve yeni işlevleriyle bölgeye gelenler için memnuniyet verici bir ortam oluşturmuştur. Bina, Beyoğlu kent kimliğinin bir parçası ve simge kültür yapısı olarak bu kimlik değerinin korunmasına katkı sağlamıştır.	Kulübün devamlılığı sağlanarak, geçmişten gelen bölgedeki yabancı ve levanten yaşamına ilişkin değerlerin sürdürülmesine katkı sunmaktadır. Beyoğlu'nun tarihinden gelen çok kültürlü sosyal yapısı, özgün kimlik dokusunun önemli unsurudur	Alman kulübün varlığına ilişkin hatıraların saklanması sağlanmıştır. 1970'li yıllardan beri aktivitesi iyice azalmış yapıda, Almanca konuşan topluluk yeniden bir araya gelme imkanı bulmuştur.	X

#### 4. SONUÇLAR

##### Değerlendirme ve Sonuç:

Tarihi yapıların ruhu ve anlamı, mekânlarının farklı katmanlarında bulunmaktadır. Nara- Gridi bu multidisipliner değerleri ortaya çıkarmak için tasarlanmış bir araç olarak sunulmuştur. Nara Özgünlük Belgesinin 13. Maddesine dayanan metot ile mekânların anlam ve ruhunu belirlenebileceği ve yapılacak müdahalelere rehber olarak kullanılabilmesi iddia edilmiştir. Formu doldururken, biçim, tasarım, malzeme, içerik, kullanım, işlev, gelenek, teknik, işçilik, konum, ortam, ruh ve his unsurlarının farklı boyutlarda incelenmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme yapı genelinde de yapılabileceği gibi, yapının her mekânı için ayrı olarak da yapılması mümkündür; eksik kalan boyut veya unsur olması durumunda, yapıya özel gerekli boyutlar çizelgeye eklenebilir. Örneğin dini yapılar için ayrı bir boyut belirlenmesi düşünülebilir. Çizelgede bazı boyutların karşılanmadığı durumlar da olabilir. O zaman, ilgili alan boş bırakılmaktadır. Sonuç olarak Nara-Gridi, yapının somut yönleriyle soyut boyutları arasındaki ilişkiyi değerlendiren bir özet olarak düşünülebilir.

Teutonia Binası için yapılan değerlendirmede (Tablo 5), artistik, tarihsel ve sosyal boyutların tüm unsurları için bir karşılık bulunduğunu ancak bilimsel boyutun bazı unsurlarının karşılığı olmadığı görülmektedir. Özellikle tarihsel ve sosyal boyut binanın değerlendirilmesinde öne çıkmaktadır.

İran'daki yerel yönetimler, yeniden kullanım projelerinde özgünlüğe ayrı bir önem verdiklerinden, özgünlük değerlendirilmesinde Nara-Grid' ini kullanmaktadır (Eshrati vd., 2017). Nara-Grid'in, İran'da ne şekilde kullanıldığı ile ilgili ayrıntılı bir bilgiye ulaşamamıştır.

Miras Değer Matrisi, görselliği ön planda olan benzer bir tablodur. Profesyonel kullanımdan ziyade mimari eğitimde konservasyon pratiğine aşina olmayanlar için tasarlanmıştır. Farklı somut boyutların ve soyut değerlerin dahil edilerek spektrumun genişletilmesi önemlidir. Matrisin görsel yapısı, kolay algılanmasını sağlamak ve uygulamayı da içeren birçok alanda gerekli bilgilerin anlaşılır bir şekilde aktarılmasına olanak tanımaktadır.

Güncel restorasyon uygulamalarında, fiziki (somut) varlıkların korunması ön planda tutulurken, somut olmayan değerlerin korunmasına sıra geldiğinde, hangi değerlerin korunması gerektiği konusunda objektif bir metoda ihtiyaç olduğuna ilişkin ortak görüşler bulunmaktadır. Kültür varlıklarının tüm yönleriyle korunabilmesi için, bu metotların Türkiye'de geliştirilmesi ve yönetmeliklere entegre edilmesi mümkün görünmektedir. Bu sayede, Fasadizm ve benzer konservasyon açısından kabul edilmesi güç uygulamaların önüne geçmek için bir araç saplanabilir.

Değerli kültür varlıklarının dönüşüm süreci ile ilgili verilmesi gereken kararlar için halen objektif bir değerlendirme yöntemi bulunmadığı anlaşılmıştır. Birbirinden çok farklı kültür varlıkları ve atfedilen değerlerin çeşitliliğini göz önünde bulundurarak, gerçekte böyle bir değerlendirmenin zor olduğu anlaşılmaktadır; ancak şeffaf ve objektif bir yöntemin geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu bağlamda, Nara-Gridi, kültür varlıklarının objektif değerlendirilmesinde kullanılmıştır. 'Nara-Grid'i özellikle, somut olmayan değerlerin ortaya konması açısından faydalı bulunmuştur ve koruma profesyonelleri ile koruma kurullarının değerlendirmelerinde kullanılabileceği düşünülmüştür.

#### KAYNAKLAR

Aras, H. M. (2022). İşlevsel ömrünü tamamlamış endüstri mirası yapılarında uyarlanabilir yeniden kullanım: Silo yapıları [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı, Ankara. YOK Veritabanı (No. 729894).

Altınoluk, Ü. 1998. Binaların yeniden kullanımı. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Atmaca, G. & Reyhan, K. (2021). Adaptive Reuse in Restored Historic Buildings: A Field Study in Unye. *Journal of Interior Design and Academy*, 1(2), 82-99.

- Boccardi, G. (2018). Authenticity in the Heritage Context: A Reflection beyond the Nara Document. *The Historic Environment: Policy & Practice*, 10(1), 4–18.  
<https://doi.org/10.1080/17567505.2018.1531647>
- Brand, S. (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. London: Penguin Books.
- Bucak, E. N.(2023). Enerji verimli bina tasarım stratejileri kapsamında uyarlanabilir yeniden kullanım sürecinin değerlendirilmesi: Geleneksel Şanlıurfa evi örneği [Yüksek Lisans Tezi]. Çankaya Üniversitesi. İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı). YOK Veritabanı (No. 833464).
- Bullen, P.A.(2007). Adaptive reuse and sustainability of commercial buildings. *Facilities* 25, 20–31.
- Bullen, P.,& Love, P., (2011a). A new future for the past: a model for adaptive reuse decision-making. <https://doi.org/10.1108/20441241111143768>
- Bullen, P., & Love, P., (2011b). Factors influencing the adaptive re-use of buildings. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 9, 32–46.
- Cantacuzino, S. (1975). *New uses for old buildings*. London: Architectural Press.
- Clarke, N.J. & Kuipers, M.C. (2017). Introducing the heritage value matrix: Connecting matter and meaning in built heritage. In M.Menezes, D. Rodrigues, C ve Delegado Rodrigues, et al. (Eds.), *Intangibility Matters: International conference on the values of tangible heritage* (pp.207-2016). Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
- Douglas, J.,(2006). *Building Adaptation*. Routledge.
- Dyson, K., Matthews, J. & Love, P.E.D.(2016), "Critical success factors of adapting heritage buildings: an exploratory study", *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. 6 No. 1, pp. 44-57. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2015-0002>
- Erdoğan, B.G., (2022). Planlama Sürecinde Uyarlanabilir Yeniden Kullanım için Karar Modeli [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Erkoç, G., (2022). Sanat galerileri olarak alanların uyarlanabilir yeniden kullanımı: İstanbul Beyoğlu örneği. (Yüksek Lisans Tezi). İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı). YOK Veritabanı (No. 752187).
- Eshrati, P., Fadaei Nezhad Bahramjerdi, S., Eftekhari Mahabadi, S., & Azad, M.(2017). Evaluation of Authenticity on the Basis of the Nara Grid in Adaptive Reuse of Manochehri Historical House Kashan, Iran. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR* 11, 214.
- Geyyas, L. F.(2019). Gaziantep tren istasyonu ve çevresi özelinde demiryolu yapılarının uyarlanabilir yeniden kullanım önerileri [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul. YOK Veritabanı (No. 598602).
- Giebeler, G.(2009). *Definitions, Refurbishment Manual: Maintenance, Conversions, Extensions*, ed. J. Liese, Birkenhauser: Basel, Boston & Berlin.
- Gül, H.(2023).Yapıların Uyarlanabilir Yeniden Kullanımı: Konya Otogar Binası için Analizler [Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Konya. YOK Veritabanı (No. 807901).
- ICOMOS, Nara Özgünlük Belgesi, Nara, 1994.

ICOMOS, International charter for the conservation and restoration of monuments and sites, Venedik Tüzüğü, 1964.

Jokilehto, J.(2002). A History of Architectural Conservation. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Luxen, J.-L. (2019, December). The Nara document: its achievement and its limits. ICCROM. [https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/202005/convern8\\_05\\_jlluxen\\_ing.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/202005/convern8_05_jlluxen_ing.pdf)

Mısırlısoy, D.,& Günçe, K.,( 2016). Adaptive reuse strategies for heritage buildings: A holistic approach. *Sustainable Cities and Society* 26, 91–98.

Machado, R.(1976) Old Buildings as palimpsest. Towards a theory of remodeling. *Progressive Architecture*, 11

Maessen, E. (2019, January 1). Building Beyoğlu. [http://books.google.ie/books?id=KvMryAEACAAJ&dq=Maessen,+J.+M.+A.+H.+\(2019\).+Building+Beyo%C4%9Flu:+Histories+of+place+in+a+central+district+in+Istanbul.&hl=&cd=1&source=gbs\\_api](http://books.google.ie/books?id=KvMryAEACAAJ&dq=Maessen,+J.+M.+A.+H.+(2019).+Building+Beyo%C4%9Flu:+Histories+of+place+in+a+central+district+in+Istanbul.&hl=&cd=1&source=gbs_api)

Mitteilungsblatt Nr. 28 (1958). Teutonia Kulüp Arşivi.

Mısırlısoy, D., Günçe, K., 2016. Adaptive reuse strategies for heritage buildings: A holistic approach. *Sustainable Cities and Society* 26, 91–98.

Mohamed, N., & Alauddin, K.(2016). The Criteria For Decision Making In Adaptive Reuse Towards Sustainable Development. *MATEC Web of Conferences* 66, 00092.

Orbaşlı, A., & Vellinga, M.(2020). *Architectural Regeneration*. John Wiley & Sons.

Plevoets, B., & Van Cleempoel, K. (2013). Adaptive reuse as an emerging discipline: an historic survey. In G. Cairns (Ed.), *Reinventing architecture and interiors: a socio-political view on building adaptation* (pp. 13-32). London: Libri Publishers

Plevoets, B. (2014). *Retail-Reuse: an interior view on adaptive reuse of buildings* [Doktora tezi]. Hasselt Üniversitesi, Mimarlık ve Sanat Fakültesi, Belçika.

Radt, B.(2001). *Geschichte der Teutonia*. İstanbul: Orient-Institut.

Riegl, A. (1928). *Der Moderne Denkmalkultus: Sein Wesen und seine Entstehung*, *Gesammelte Aufsätze*, ed Dr. Benno Filser Verlag: Augsburg-Wien.

Robilgli, M.(2017). *The Adaptive Reuse Toolkit: How Cities Can Turn Their Industrial Legacy into Infrastructure fir Innovation and Growth*. In *Urban and Regional Policy Paper: The German Marshall Fund of the USA (GMF)*

Rössler, M.(2008). Applying Authenticity to Cultural Landscapes. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 39(2/3), 47-52 pp. <https://www.jstor.org/stable/25433952>

Schittich, C.(2012). *Building in Existing Fabric*. Walter de Gruyter.

Upton, D.(2001). Authentic Anxieties. In N. Asayyad, ed. *Manufacturing Heritage, Consuming Tradition: Global Norms and Urban Forms in the Age of Tourism*. London Routledge. Pp.298-306.



Uyumaz, F. E.(2023). Uyarlanabilir yeniden kullanılan endüstriyel yapıların sel riski değerlendirilmesi için bir yaklaşım [Yüksek Lisans Tezi], Gazi Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ankara. YOK Veritabanı (No. 841978).

Van Balen, K.(2008). The Nara Grid: An Evaluation Scheme Based on the Nara Document on Authenticity. Association for Preservation Technology International (APT) 39, 39–45.

Zhang, Y., & Zhang, Q.(2023). A model approach for post evaluation of adaptive reuse of architectural heritage: a case study of Beijing central axis historical buildings, Heritage Science, 11. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00902-x>

Zakieh, L.(2022). Adaptive Reuse as a Strategy for Conserving the Industrial Heritage Buildings [Yüksek Lisans Tezi], Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul. YOK Veritabanı (No. 748592).

### **TEŞEKKÜR ve BEYANLAR / ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS**

*Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. “Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.*


***Not:** Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Koruma ve Restorasyon Tezli Yüksek Lisans Programı’nda, Doç. Dr. Öğr. Üyesi Leyla Suri danışmanlığında, F. Yasemin Saygıner tarafından yürütülecek olan, “ Kültür Varlıklarının Uyarlanabilir Yeniden Kullanımı: Teutonia Binası Örneği ” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.*

Araştırma Makalesi

## MEKÂNDA YAPAY AYDINLATMANIN İNSAN ALGISI ÜZERİNE ETKİSİ

**Hilal SEZER<sup>†</sup>, Burhan SATICI<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

hilal\_sezer.25@hotmail.com, bsatici@ticaret.edu.tr

 0009-0002-4196-7106, 0000-0002-8919-6016**Atıf/Citation:** SEZER, H., SATICI, B., (2024). Mekanda Yapay Aydınlatmanın İnsan Algısı Üzerine Etkisi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.73-95, DOI: 10.56809/icujtas.1470023

### ÖZET

Algı, duyu verileriyle oluşan imgenin, bilinçte şekillendirilip dış dünyanın anlamlı hale getirilmesidir. Duyusal-ansal bir işlev olmakla birlikte algı, ayrıca kişisel bir deneyimdir ( Mert, 2018,Ittelson, 1960 ). İnsan beş temel duyu organı sayesinde çevresini ve mekânları algılayıp anlamlandırabilmektedir. Bu duyular görme, işitme, koku alma, tat alma ve dokunma duyularıdır. Bu duyular ile oluşan algılar sayesinde yaşanan çevreyle insan arasında bağ oluşmaktadır. Yani mekân ve insan sürekli iletişim içerisinde denilebilir.

Mekân ve insan ilişkisinde kişinin deneyimleri, duyguları, kişinin algısını yönlendirir. Mekânı algılayan kişi mekânın sınırlarından, doluluk-boşluk oranından ve bunları algılamasını sağlayan ışıktan faydalanır. Mekânda ışık kullanımı amacına uygun ve doğru kullanılmış olduğunda kişi mekândan istenilen verimi almış olur. Çalışmada da görülecektir ki kişinin algısında en etkili unsur ışıktır ve doğala yakın aydınlatma elemanı kullanımı kişiler üzerinde olumlu etki bırakmaktadır. Bazı mekânlarda istisnai durumlar yaşanmaktadır. Bu mekânlar genellikle sergi ve sunum mekânlarıdır. Bu mekânlarda sergilenen nesneye veya duruma uygun aydınlatma elemanı tercih edilmektedir. Bu da mekân algısının yanı sıra eser algısını vurgulayan bir kullanım biçimi olmaktadır. Çalışmada bu duruma uygun mekânlar üzerinden incelemeler yapılarak istisnai durumların algı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Algı, iç mekân, aydınlatma, yapay aydınlatma, iç mekân algısı.

---

Geliş/Received	:	17.04.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	09.05.2024
Kabul/Accepted	:	21.05.2024

## THE EFFECT OF ARTIFICIAL LIGHTING IN SPACE ON HUMAN PERCEPTION

### ABSTRACT

Perception is the process of shaping the image formed by sensory data into meaningful information in the consciousness. While being a sensory-cognitive function, perception is also a personal experience (Mert, 2018, Ittelson, 1960). Through the five basic sensory organs, humans can perceive and make sense of their surroundings and spaces. These senses are vision, hearing, smell, taste, and touch. The perceptions formed through these senses establish a connection between the individual and the environment lived in. Thus, it can be said that space and humans are in constant communication.

The experiences, emotions, and perceptions of individuals direct their relationship with space and people. When perceiving a space, individuals benefit from the boundaries of the space, the ratio of fullness to emptiness, and the light that enables them to perceive these. When light is used appropriately and effectively in a space, individuals can achieve the desired productivity from that space. The study will also show that the most influential factor in individuals' perception is light, and the use of naturalistic lighting elements has a positive effect on individuals. Exceptional situations are encountered in some spaces, generally in exhibition and presentation spaces. In these spaces, lighting elements suitable for the exhibited object or situation are preferred. This becomes a usage style that emphasizes not only the perception of space but also the perception of the artwork. The study investigates the impact of exceptional situations on perception through examinations of suitable spaces for these situations.

**Keywords:** Perception, interior, lighting, artificial lighting, indoor perception.

### 1. GİRİŞ

Mekân algısında, algının kişiden kişiye göre değişmesinden kaynaklı olarak genel bir tanımdan bahsedilmemektedir. Genel geçer olarak strüktürel elemanların belirlenen boşluğu sınırlandırmasının yanı sıra kullanıcısının gereksinimlerini karşılayan ihtiyaçların somutlaşmış bir halidir tanımını yapılıdır ( Mert, 2018 ). Mekânı “ algılanan, tasarlanan ve yaşanan mekân ” olarak tanımlayan Lefebvre ve mimari mekânı “ içinde yaşayan kullanıcıları fizyolojik, psikolojik ve toplumsal gereksinimlerini karşılayan bir uzay parçası, bir boşluk ” olarak tanımlayan Schultz’ın da tanımından sonra kullanıcının bugüne kadar sahip olduğu tecrübe ve deneyimleri ile birlikte mekânın fiziksel faktörleri ( ısı, akustik, ışık ) eşliğinde mekân algısının oluştuğunun çıkarımı yapılabilir.

Çalışma kapsamında da mekân ve insan iletişimi bağlamında algı, mekân algısı, mekân algısında yapay aydınlatmanın rolü kavramları ele alınarak; 1. bölümde konu girişi yapıldıktan sonra, bir sonraki bölümlerde ayrıntılarına değinilecek olan konuların ön bilgilendirilmesi yapılır. 2. bölümde mekânın tanımını farklı görüşlerle zenginleştirerek çalışmanın ana konularından olan mekânın tanımlarına yer verilmektedir. 3. bölümde de yine çalışmanın ana konularından olan aydınlatma ve algının genel tanımları yapılarak; doğal ve yapay aydınlatmanın tanımları, aydınlatmanın mekân ile olan ilişkisi, mekân çeşitleri, iç mekân algısı, aydınlatmanın iç mekânda görsel algıya etkisini ele alınarak 4. bölüme geçiş yapılır. 4. bölümde algı ve mekânsal uyarımı etkileyen algı türlerini ve tasarım öğelerinin tanımları yapılarak 5. bölümde mekânda yapay aydınlatmanın sergileme/sunum alanları üzerinde etkilerinin algıdaki etkilerini ele alarak müze tanımı ve müzelerin temel amaç ve görevlerine değindikten sonra örnek olarak seçilen “Dali Theatre Museum” ve “Louvre Museum” müzeleri incelenmektedir. Son bölüm olan 6. bölümde yapılan incelemeler sonucu çıkarılan sonuçlar ve mekanda yapay aydınlatmanın insan algısı üzerindeki etkisini müze kavramı üzerinden irdelerek önerilerde bulunmaktadır.

Kullanıcıların içinde buldukları mekânda daha mutlu olmaları ve mekândan olumlu duygular içinde ayrılabilmesi için, mekân insan ilişkisinin doğru kurulması gerekmektedir. Mekân algısında ışığın büyük bir önemi vardır. Işığın özellikle iç mekânlarda kullanılan yapay formu sunum ve sergileme mekanı olan müzelerde de algılanan mekânın veya eserin insan algısı üzerindeki etkisi incelenmesi gereken bir unsurdur. Bu bağlamda kullanılan aydınlatma elemanlarının veya sistemlerinin sergilenen mekânlara ve eserlere etkilerini ( ısı, ışık ) göz önünde bulundurarak müzelerde kullanılan yapay aydınlatmanın tasarımında kullanılan teknik detaylar, aydınlatma elemanlarının yerleşim planları üzerine yapılmış olan araştırmalar ve incelemeler ışığında örnek olarak seçilen müzeler üzerinden inceleme yapılmaktadır.

## 2. MEKÂN ve AYDINLATMA İLİŞKİSİ

Mekân genellikle fiziksel bir alanı ifade eden bir kavramdır ve Arapça bir sözcük olan mekân var olma varlık, vücut anlamındaki “keyn” sözcüğünden türemiştir ( Aydın, 2001 ). Mimarlık sözlüğünde ise mekân; ‘Kişiyi çevreden belli bir ölçüde ayıran ve içinde çeşitli eylemlerini sürdürmesine elverişli olan bir boşluktur’ şeklinde tanımlanmıştır ( Hasol, 1990 ).

Bir başka tanımla, mimarlığın temel konusu olan mekân kavramı, insan algılaması ve mekânın sınırlanmasına bağlı olarak, sınırlayıcı öğelerin farklılığına göre doğal, yapay ve karma mekân kavramları olarak 3 başlık altında ele alınmaktadır. Mekân kavramını bütün duyu organlarımızla algılar ve bu algılarımızı belleğimizde bulunan durumlarla mukayese edilir ( Altan, 1993 ).

Mekânın öğeleri, mekânı sınırlandıran öğelerin niteliğine bağlı olarak mekân, yapay mekân ve karma mekân sınıflandırmasının haricinde, fiziki mekânın bir kısmının duvarlar ve tavanla kapatılması sonucu meydana gelen mekâna iç mekân, bunun dışında kalan hacme ise dış mekân adı verilir ( Altan, 2001 ). Hayatımızın önemli bir kısmını “binaların içerisinde” geçirmekteyiz. Binaların içini de, yapı-kabuk bütünlüğünü oluşturmaktadır. İç mekânlar, içlerinde yaptığımız birçok işin içeriğinin oluşmasını ve yapılmasını sağlarlar; aynı zamanda mimarının özünü oluşturur, bir yaratıya hayat vermektedirler ( İç Mekân Tasarımı-Francis k.ching ).

Fiziksel bir alanı ifade eden mekân kavramı bazen bir ev, park, restoran veya başka bir yer olabilmektedir. İnsanlar bu mekânları algılar, mekanla etkileşimde bulunarak mekânda faaliyet göstermektedir. Bunların sonucunda mekânlarla ilgili olumlu-olumsuz çıkarımlarda bulunabilir. Mekân algısında yapının fiziksel durumu ve bulunduğu çevre etkili unsurlardandır.

Işık, dalga şeklinde yayılan ve parçacık etkili, göze tesir eden özel bir enerji şeklinde tanımlanır. Kasap’a göre aydınlatma, çevrenin ve nesnelerin, belirli bir amaca uygun olarak teknik altyapının yanı sıra sanatsal ve imgesel boyutunun da önceden kurgulanarak ışık bütünselliğinin yaratıcılıkla harmanlandığı bir görsel anlatım aracıdır ( Özcan, Çağlar, 2020; Kasap, 2016 ).

Bir mekânın şekli, yüzeyleri, iç mekânının estetik görünümü, dokuları, ölçeği, sınırları, rengi ve sunmak istediği duygusal his yapının ışık ile olan ilişkisiyle ortaya çıkar. Mekâna karakter veren ışık, mimarlık ve aydınlatma arasındaki ilişkinin temel ögesini oluşturur ( Özcan, Çağlar, 2020; Yöndem, 2019 ).

Işık; görmenin, algılamanın ve ait hissetmenin temel araçlarından biridir. Bu yüzden aydınlatma tasarımı yapılırken bir mekânın kullanım amacı ve senaryolarına göre tasarlanmalıdır. Hem estetiğe hem de fonksiyonel kullanıma sahip aydınlatma tasarımı, mekânın kullanıcılarına daha iyi bir deneyim sunar.

## 2.1. Doğal Aydınlatma

Doğal aydınlatmanın ana kaynağı güneştir. Doğal ışığın en uygun şekilde dağıtılmasına çalışılır. Ana kaynağı güneş olan gün ışığının, mekânlarda görsel konforu düşünürken, gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanan, güneşin açısı temel alınarak oluşturduğumuz kaynağa doğal aydınlatma denir ( Yıldırım, Erikli 2021; Marangoz E. 2018 ).

Doğal aydınlatma ile renklerin geri bildirimini daha doğru gözlemlenir. Algıyı da doğru yönettiğini varsayarak özellikle mekân içerisindeki algıyı yönetmekte önemli bir etken olarak değerlendirilir. Henüz doğal aydınlatmanın yeterliliğine ulaşmış bir aydınlatma elemanı bulunmamaktadır. Bu nedenle, mümkün olduğunca doğal aydınlatma tercih edilmelidir.

## 2.2. Yapay Aydınlatma

Gün ışığından yeteri derecede faydalanılmayan yerlerde, doğal olmayan ışığa yapay aydınlatma denir. Son yıllarda, bazı işletmeler, pencereleri ortadan kaldırmış, klimalı ve sadece yapay aydınlatma sistemi ile ışıklandırılmış kapalı bir çalışma sistemini benimsemektedir. Bu tercihin başlıca nedeni, bu sistemin ileri derecede homojen çalışma koşulları sağlamasıdır. Güneşin battığı zaman ihtiyaç duyulan yapay aydınlatma, kavram olarak ateşin icadı ile ortaya çıkmıştır. Yapay ışık kaynaklarından üretilen ışığın, görsel lüks hayat gereksinimlerini karşılanması amacıyla yapılır. Kavram olarak bir ışık kaynağının bir objeye ya da çevreye ışık göndererek kapalı ve açık mekânlara değer katması olarak tanımlanır ( Yıldırım, Erikli 2021; Marangoz E. 2018 ).

Mekânda kullanılacak aydınlatma planlanmasının mekânla birlikte tasarlanması gerekmektedir. Aydınlatma tasarımında kapalı mekân ve yapay ışıkla uzun zaman geçiren kişilerin fizyolojik, psikolojik ve biyolojik olarak nasıl etkilendiklerini bilmek planlamada yol gösterici olacaktır. Tasarlanan mekânın mekânsal özellikleri ve vurgulanmak istenen alanlar ışık ile vurgulanır. Işık algıda en önemli rolü oynayan unsur sonucunu çıkarılabilir.

## 2.3. Aydınlatmanın Mekân ile olan ilişkisi

Bir mekânı aydınlatmak için üç metot vardır; genel aydınlatma, özel aydınlatma ve vurgulu aydınlatma. Genel veya çevresel aydınlatma, bir hacmi oldukça tekdüze ve genellikle dağınık olarak aydınlatır. Aydınlatmanın dağınık özelliği, aydınlatma ile mekânı çevreleyen duvarlar arasındaki karşıtlığı büyük ölçüde azaltır. Genel aydınlatma gölgeleri yumuşatmak, hacmin köşelerini törpüleyip yaymak ve güvenli bir şekilde hareket edebilmeyi ve genel bakımı sağlamak amacıyla da kullanılır ( iç mekân tasarımı-Francis k.ching ).

Yerel veya özel aydınlatma, mekân içinde görsel etkinliklerin veya görevlerin yapılabilmesi için belirli yerleri aydınlatmaya yarar. Aydınlatma armatürleri genellikle iş yapılacak yüzeye yakın -ya üstünde ya da hemen yanında- konumlandırılır, böylece genel aydınlatma ile sarf edilecek enerji daha verimli kullanılmış olur. Aydınlatma araçları genellikle doğrudan aydınlatan tipte olurlar. Parlaklık düzeyinin belirlenebilmesi için de, ayarlanabilir olmaları ( karartıcılar veya reostalarla ) ve yönlerinin değiştirilebilmesi her zaman tercih edilir ( iç mekân tasarımı-Francis k.ching ).

Özel aydınlatma gösterilmek isteneni kolay görülebilir hale getirir, mekâna çeşitlilik ve ilgi katar, mekânı birkaç alana ayırır, bir tefriş grubunu kuşatır veya bir hacmin sosyal karakterini kuvvetlendirir.

Vurgulu aydınlatma, mekân içinde ışığa ve gölgeye ait odak noktaları veya ritmik modeller yaratan bir özel aydınlatma çeşididir. Bir iş veya etkinliği aydınlatmak yerine, vurgulu aydınlatma, genel aydınlatmanın tekdüzeliğinden kurtarmak, hacmin özelliklerini, sanat eserlerini veya değerli nesnelere vurgulamak için kullanılır ( iç mekân tasarımı-Francis k.ching ).

### 2.3.1. Mekân Çeşitleri

Mekânlar, kullanım özelliklerine, tasarım özelliklerine ve ihtiyaçlara göre çeşitlilik gösterir. Bahsedilen mekân ayrıştırıcı özelliklere göre mekân çeşitlerini şu şekilde sıralanabilir:

- Konut
- Konaklama Mekânları
- Kültür – Sanat Mekânları
- Kütüphaneler – Müzeler
- Ulaştırma Mekânları
- Sosyal ve Ticari Binalar
- Dini Tesisler
- Sağlık Tesisleri
- Eğitim Tesis Alanları
- Spor Tesisleri ( URL 1, URL 2 )

Yapay aydınlatma kullanımıyla insan algısı bu mekânlarda farklılık gösterir. Bu farklılığı irdelemek üzere mekânda kullanılan yapay aydınlatmanın insan algısı üzerindeki etkisi müze kavramı üzerinden incelenmiştir.

### 2.3.2. İç Mekân Algısı

İç mekân algılaması en temel tanımıyla, bakanın kendisi ile çevresinde gördüklerinin birbirlerine göre konumlarını algılaması olarak tanımlanabilir. İnsan içinde bulunduğu mekân ile sürekli bir etkileşim halindedir. Mekânın bünyesindeki fiziksel etkenler, kullanıcıları sürekli uyarır. Mekân; sınırları, yüzeylerin formu, renkleri, dokusu, anlamı vb. gibi özellikleriyle kavranmaya çalışılır ( Aslan, 2015; Aydıntan, 2001 ). İç mekân algısında mekânın var olmasını ve insan tarafından algılanmasını sağlayan öğeler üzerinden anlatmak mümkündür. Mekân tanımlayıcı bu öğeler 3 grupta tanımlanabilir.

- a. Boşluk ve sınır
- b. Hareket ve zaman
- c. Işık

**Boşluk ve sınır:** Boşluk ve sınır öğeleri bir araya gelerek mekânı oluşturur. Birbirlerinden bağımsız olarak ele alınmamalıdır. Sadece boşluk ( ya da hacim ) değerleri, ya da sadece sınırlarıyla bir mekânı tanımak olası değildir ( Dede, 1997; Kuban, 1990, s.15 ).

Kuban, boşluk öğelerinin; derinlik, uzunluk gibi boyutlardan, hareket yönü, aydınlık, vb. değerlerden meydana geldiğini belirtmiştir.

Sınır öğelerini ise 2 grupta incelemek mümkün olabilir:

- a. Katı öğeler ( mekânın objektif yönleri )
- b. Yumuşak öğeler ( mekânın subjektif yönleri )

Mekânı sınırlayan katı öğelerin mekânın görsel öğeleri olduğu söylenebilir. Mekânın algılanmasında etkili olan ve çoğu kez belli biçim ve boyutlarda bir boşluğu büyük boşluklardan koparan öğelerdir. Bu öğeler; renk, doku ve biçim özellikleri ile algılanır.

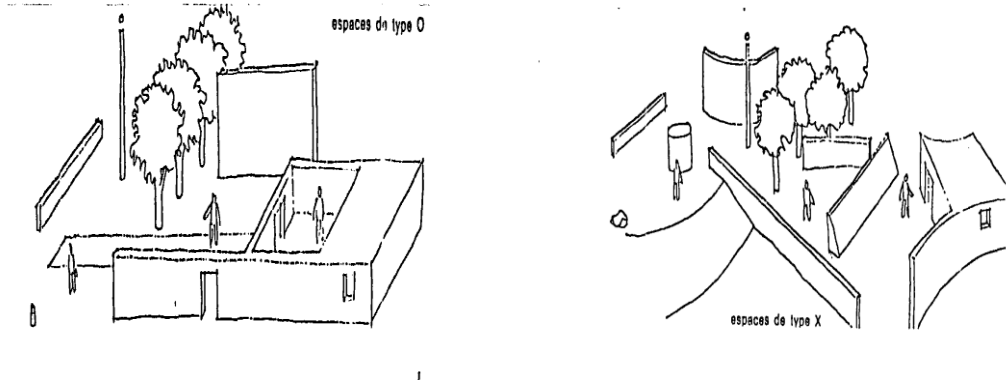
“Mimarlık sanatının kavramsal öğeleri olan nokta, çizgi, yüzey ve hacim; renk, doku ve biçim gibi görsel öğelerle anlam kazanır” ( Dede, 1997; Aydınli, 1992, s.24 ). Mekânı sınırlayan yumuşak öğeler ise duyularımızla algılayabildiğimiz, mekân yaratıcı veya nitelendirici öğeler olarak tanımlanabilir ( Dede, 1997 ).

Kullanıcı mekânı algıladıkça mekânda bulunan boşluklar ve sınırlardan faydalanır. Kullanıcıya deneyim yaşama olanağı sunar. Mekândaki boşluklar, mobilyalar, duvarlar veya diğer nesnelere arasındaki boş alanlar mekândaki sınırları da oluşturabilir. Ayrıca yapıda tasarlanan boşluklar mekândaki ışık kullanımının, doğru ve iyi bir şekilde uygulanmasına olanak sağlayabilir.

**Hareket ve zaman:** Mekân hareketle tanımlanabilir. Farklı zaman dilimlerinde, mekânın algılanması da farklı olmaktadır. Hareketin hızı, mekânın algılandığı zaman dilimi ve mekânın algılandığı süre, insanın mekânı tanımasında etkin rol oynamaktadır. İnsan mekân içinde hareket ettikçe gördükleri ve hissettikleri değişebilir.

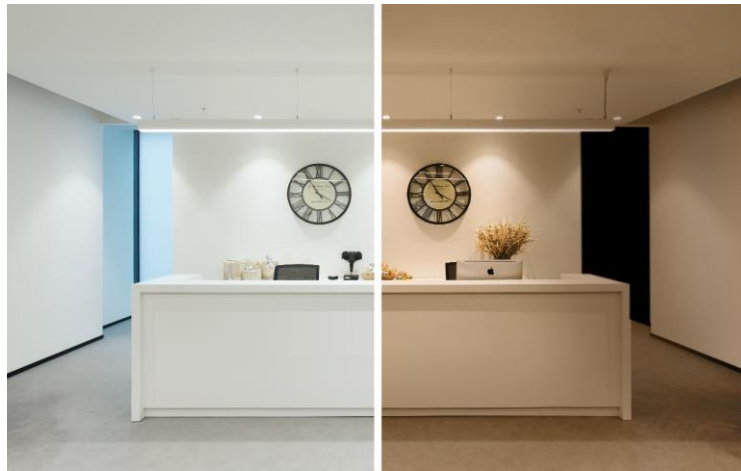
Kuban, iki türlü hareketin var olduğunu belirtmiştir. Şekil 1.'de görüldüğü gibi hareketin, sadece mekân içerisinde bir yerden bir yere gitmek şeklinde olmadığını, aynı zamanda, insanın bakışıyla, mekân sınırlarına uzanan görsel bir hareket olduğunu ifade etmiştir ( Dede, 1997; Kuban, 1990, s. 15 ).

Mekânda kullanılan boşluk ve sınırlar bize aynı zamanda mekânda hareket olanağı sağlıyor. Hareketli kullanıcı mekânda zaman geçirir ve mekânda geçirdiği zamanla, kendi hareketlerine ve kullanım amacına göre mekân zihninde şekillenir ve mekânla ilgili bir algıya sahip olur.



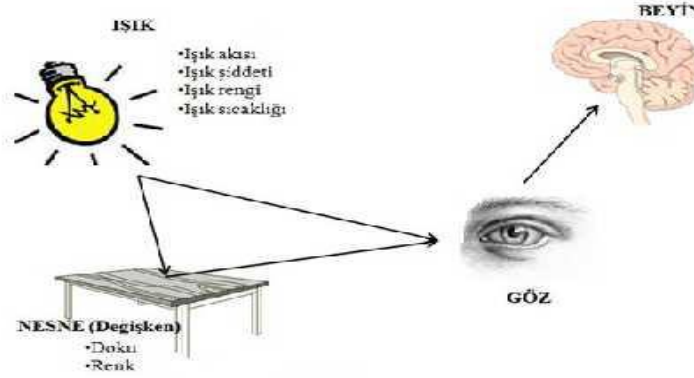
Şekil 1. Hareket ettikçe mekânın zihninde yeniden varoluşu ( Dede, 1997; Thiel,1969 )

**Işık:** Mekânın sınırlarını ışıkla algıladığımızı varsayabiliriz. Şekil 2.'den de görebileceğimiz gibi ışık sınırlanan boşluğun renk, doku ve biçim özelliklerini algılayıp görmeye imkân verir. Kahn şöyle ifade etmiştir; “Günüşiği, duvara çarpana dek ne olduğunu bilmiyordu” ( Dede, 1997; von Meiss, 1992, s.121 ).



Şekil 2. Işığın algılamaya etkisi ( URL 3 )

Doku, dokunma ve görme duyularımızla iç içe geçmiştir ( İç Mekân Tasarımı-Francis k.ching ). Görme olayının ve görsel algının sağlanabilmesinde temel amaç ışık, nesne, göz ve beyin arasında uyum koordinasyonu sağlayabilmektir. Şekil 3.'te bu koordinasyonu oluşturan unsurlar görülebilir. Bu koordinasyonda herhangi bir faktörün yokluğu görsel algının sağlanmasını tamamen bozmaktadır. Bu dörtlüde beyin sabittir. Işık ve ışığın nesne üzerindeki hareketleri ile gözde oluşan görüntüler ise değişken özellik gösterir. Çünkü ışığın şiddeti, yönü ve sıcaklığı değişken bir özelliğe sahiptir. Bu değişken özellik sebebiyle ışığın yansıdığı cisimlerin ve yapıların görünüşlerinde de pek çok farklılıklar doğabilmektedir ( Rodop, 2014 ).



Şekil 3. Işık-Nesne-Göz-Beyin Koordinasyonu ( Rodop, 2014 )

Işık, mekâna canlılık verir. Biçimleri ve dokuları ortaya çıkarır ( iç mekân tasarımı-Francis k.ching ). Işık iç mekâna canlılık veren en önemli öğedir. Işıksız hiçbir renk, biçim, doku ve var olan bir iç mekân görülemezdi. Bu sebeple aydınlatma tasarımının ilk işlevi, iç mekânda bulunan biçimleri ve mekânı aydınlatmak ve görünür kılmak, dolayısıyla mekân kullanıcılarının ihtiyaç duydukları hızda, rahatlıkta ve hatasız olarak mekân içindeki etkinliklerini yerine getirmelerini sağlamaktır ( İç Mekân Tasarımı-Francis k.ching ).

Algılama görmeye, görme ışıkla başlar. Böylece, ışığın mekânın sınırlarını algılamamızda büyük rol oynadığını savunulabilir. Işık, mekân sınırlarını belirler ve mekânı görünebilir kılar. Hayatın vazgeçilmez bir parçası olan ışık, mimaride de en önemli öğelerin başında gelmektedir. Işık, mekânların görsel olarak algılanmasını sağlayan ve yaşam alanlarında ihtiyaç duyulan en önemli unsur olarak kabul edilir. Mekânlar ne kadar iyi tasarlanırsa tasarlanırsa doğru bir aydınlatma planlaması ve uygulaması yapılmamış ise kullanıcının mekânı doğru algılaması mümkün olmayacaktır.

### 2.3.3. İç Mekânda Aydınlatmanın Görsel Algıya Etkisi

Aydınlatma, parlaklık, renk, zıtlık ve derinlik algısı dâhil olmak üzere algımızın çeşitli yönlerini etkiler. Aydınlatmanın iç mekânlarda görsel algı üzerindeki bazı önemli etkileri şunlardır:

**Parlaklık:** Aydınlatma seviyesi, bir alanın genel parlaklığını belirler. Daha parlak aydınlatma genellikle görme keskinliğini artırarak nesnelere ve ayrıntılara görmeyi kolaylaştırır. Yetersiz aydınlatma ise görüşün azalmasına, göz yorgunluğuna ve ince detayların algılanmasında zorluklara neden olabilir.

**Renk algısı:** Farklı aydınlatma koşulları, renk algımızı etkileyebilir. Sıcak ( sarımsı ) veya soğuk ( mavimsi ) aydınlatma gibi farklı renk sıcaklıklarına sahip aydınlatma, bir alandaki nesnelere renklerini nasıl algıladığımızı değiştirebilir. Örneğin, sıcak aydınlatma renklerin daha sıcak veya daha sarımsı görünmesine neden olurken, soğuk aydınlatma renklerin daha soğuk veya mavimsi görünmesine neden olabilir.

**Kontrast:** Yeterli aydınlatma, nesnelere ve arka planları arasında yeterli zıtlığı oluşturmaya yardımcı olur. İyi aydınlatılmış bir ortam, nesnelere arasındaki ayrımı artırarak daha net bir şekilde öne çıkmalarını sağlar. Yetersiz aydınlatma zıtlığın azalmasına neden olarak nesnelere ayırt etmeyi veya ince yazıları okumayı zorlaştırabilir.

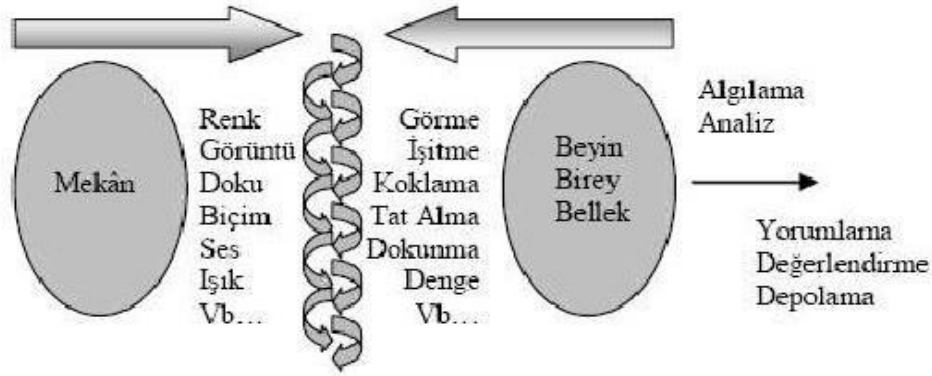


Derinlik algısı: Aydınlatma, derinliği algılama ve mesafeleri doğru bir şekilde yargılama yeteneğimizi etkiler. Gölge ve aydınlatma seviyelerindeki değişimler, üç boyutlu bir uzayda nesnelerin göreceli mesafesini ve konumunu algılamamıza yardımcı olan ipuçları sağlar. Yetersiz aydınlatma derinliği algılamayı zorlaştırabilir.

Duygusal tepki: Aydınlatma aynı zamanda bir iç mekân ortamına karşı duygusal tepkimizi de etkiler. Dengeli aydınlatmaya sahip parlak, iyi aydınlatılmış alanlar genellikle uyanıklık, odaklanma ve pozitiflik duygularla ilişkilendirilir. Buna karşılık, loş veya zayıf aydınlatılmış alanlar, bağlama bağlı olarak rahatlama, yakınlık ve hatta kasvet duyguları uyandırabilir.

Görev performansı: Farklı aydınlatma koşulları, belirli görevleri gerçekleştirme becerimizi etkileyebilir. Örneğin, okuma veya karmaşık işçilik gibi ince detay çalışması gerektiren görevler genellikle daha parlak, odaklanmış aydınlatmadan yararlanır. Buna karşılık, rahat bir oturma odası veya restoran gibi belirli bir ruh hali veya hava yaratmayı içeren görevler daha yumuşak, daha loş bir aydınlatma gerektirebilir.

İç mekânlarda görsel algıyı optimize etmek için mekânın amacını, içerisinde gerçekleştirilen aktiviteleri ve istenilen ruh halini veya atmosferi göz önünde bulundurmak önemlidir. Genel aydınlatma, görev aydınlatması ve vurgu aydınlatmasının bir kombinasyonunu kullanmak, görsel olarak rahat ve ilgi çekici bir ortam oluşmaya yardımcı olabilir. Kullanıcı mekânı algıladıkça mekândaki unsurlarla deneyimlerini birleştirir. Şekil 4.'de bu durum şema haline getirilmiştir.



Şekil 4. Mekânın duyum aşaması. ( Aslan, Aslan, Atik, 2015 )

### 3. ALGI VE MEKÂNSAL UYARIMI ETKİLEYEN ALGI TÜRLERİ VE TASARIM ÖGELERİ

İnsanın yapay çevresi ile uyumu, dış fiziksel uyarılara ( etkilere ) karşı tepki göstererek biyolojik, fizyolojik ve psikolojik bir denge kurması ile mümkün olabilir. Şekil 5.'te bu uyumu insanın gösterebilmesi için öncelikle çevreyi tanımasını, mekânı algılaması, mekânı kullanacağı işleve uygun kullanması ve mekânda geçireceği zamanı belirlemesi için gerekli olan unsurlar şema haline getirilmiştir ( Aydın, 2001 ). İnsan bir algı, biliş ve davranış mekanizmasıdır. Algı, duyu yoluyla çevreden bilgi edinme eylemi; biliş, algılanan şeyin uyumlandırılıp kavranmasıdır ( Göler, 2009 ).



Şekil 5. Mekân algısı ( URL 5 )

Algılamının temel özellikleri;

- Algı kişilere göre değişen bir olgudur.
- Algı olgusunda hareket önemli rol oynamaktadır. Algılamada insan çevresinden amaçlarına uygun bilgi almaktadır ( URL 4 ).

Dokunsal, kinestetik, haptic, görsel ve işitsel mekân algılamaları ile anıların ve beklentilerin de etkin olduğu algılama şekillerinin insan üzerindeki toplam etkisi, mekân algısını oluşturmaktadır ( Aslan, 2015; Aydın-tan, 2001 ).

Bu algılama şekilleri kısaca aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Biçimi oluşturan yüzeylerin oluşturduğu kenarlar ile mekânda bulunan nesnelere ve yüzeylerin biçimsel özelliklerinden kaynaklanan haptic algılama,
- Mekânı oluşturan sınırlayıcı elemanların ve yüzeylerin pürüzlülük – doku gibi dokunsal yüzey özelliklerine bağlı dokunsal ve kinestetik algılama,
- Mekânı oluşturan yüzeylerin elastisite ( esnek-sert ) özelliklerine ve yüzeylerin pürüzlülüğüne bağlı kinestetik algılamalar,
- Mekânın ısısal etkisi ile mekânda bulunan nesnelere ısı iletkenlikleri sonucunda oluşan ısısal algılama,
- Bir mekânda dolaşım esnasında görsel algılamadaki değişimle birlikte ortaya çıkan harekete bağlı kinestetik algılama ( Aslan, 2015; Göler, 2009 ).

Algılama biçimleri, tasarım ve kullanıcı arasındaki iletişimi sağlar. Bir mekânın kullanıcılar üzerindeki etkileri üzerinde önemli rol oynar. Algılama biçimleri; tasarım, görsel, işitsel, dokunsal vb. duyu durumlarıyla algıyı şekillendirerek mekânın atmosferini deneyimlemeye yardımcı olurlar.

### 3.1 Mekânsal Uyarımı Etkileyen Algı Türleri

Ponty ( 2006 ), “Algının önceliği” adlı kitabında algımızın bir nitelikler mozağinden çok, birbirinden ayrı nesnel bütününe algısı olduğunu, bu alanın bir parçasını bütünden ayıran şey ise geleneksel psikolojiye göre geçmiş deneyimlerin anısı, diğer bir deyişle bilgi olduğunu ileri sürmüştür. Gestalt psikolojisine göre bir nesne, anlamı yoluyla değil, algımız içerisinde sahip olduğu özel bir yapı nedeniyle belirgin hale gelmektedir. Psikolojinin klasik konularından biri olan algı, “Çevre Psikolojisi”nin bağımsız bir alt bilim dalı olarak kabul edilmesi ile birlikte, psikoloji bilimi çevre alanına girmiştir. Bu nedenle “algı” konusu çok önceleri çalışılmaya başlanmış olmasına rağmen, “çevre algısı” konusu oldukça yeni bir araştırma alanı olmaktadır ( Oksel, 2013; Göregenli, 2005 ).

Mekânsal uyarım, bir mekânın içinde bulunan çeşitli algı türleri aracılığıyla kullanıcılar üzerinde etkiler oluşturur. Bu algılama türleri, mekânın genel atmosferini şekillendirebilmektedir. Algıyı etkileyen bu algı türleri 4 farklı başlık altında incelenecektir. İnceleme sonucunda ışık kullanımının mekânsal algı üzerindeki etkisi fark edilecektir.

#### 3.1.1. Boyutsal Algı

Bir mekânın gerçek boyutları sabit tutulduğu halde, farklı renk, doku ve form özellikleri kullanılarak farklı boyutsal etkilerin ortaya çıktığı birçok deneysel çalışmada saptanmıştır. Kromatik çeşitlilik gözün farklı renkler için tekrar odaklanmasına sebep olmaktadır. Bu fizyolojik olgu, sarı ve kırmızı gibi sıcak renklerin hayal yarattığı veya yakınlaştırdığı; mavi ve yeşil gibi soğuk renklerin uzaklaştırdığı gerçeğini açıklamaktadır. Kuvvetli ve güçlü renkler yakınlaştırıcı; solgun, mat ve donuk renkler ise uzaklaştırıcıdır. Buna göre koyu mavi ve siyahın yakınlaştırıcı bir etki yaratacağı beklenirken, zıt olarak gerçekte uzaklaştıran bir etki yaratmaktadır. Bu ters etkiye koyu mavinin gece gökyüzünde beliren boşluk etkisi, siyahın da tünel etkisinin çağrışımı neden olarak gösterilebilir ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 )

Boyutsal algı, bir mekânın fiziksel boyutlarını, derinliğini ve genişliğini zihinde şekillendirerek algılamayı sağlar. Mekânın boyutları, tasarım unsurlarıyla birleşerek o mekân hakkında kullanıcıya bilgi verir.

#### 3.1.2. Görsel Algı

Görsel algı, bir kişinin gördüğü görsel uyarıları anlamlandırma ve yorumlama sürecidir. Renkler, resimler, desenler ve diğer görsel unsurlar aracılığıyla kullanıcının görsel algısı desteklenir. Renk değişimleri ve esnekliği, mekânın atmosferini belirlerken, desenler görsel algıyı zenginleştirerek odak noktalarını vurgulayabilir. Mekânda kullanılan mobilya ve dekorasyon düzenlemeleri, görsel algıyı tamamlayıcı unsurlar olabilir. Doğru perspektif kullanımı da kullanıcının mekânın derinliği ve genişliğini algılamasında rol oynar. Aydınlatma düzenlemeleri de görsel algıyı büyük ölçüde etkileyen bir unsurdur. Işık ve gölge oyunları, mekânın atmosferini değiştirirken, mekânın ayrıntılarını vurgular.

Kullanılan ışığın doğrultusu, yoğunluğu ve kamaşma, rengin görünen ölçüsündeki değişiklikler üzerinde etkilidir ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ). Dokusuz bir obje ‘soyut’ olarak görünürken; belirli bir dokusu olan bir obje daha somut bir ifade oluşturarak diğer objeler arasından kolaylıkla fark edilerek ayrılabilir ve algılanabilir. ( Hesselgren, 1977 ). Dokunun görsel algılanmasını etkileyen bir diğer faktör ise uzaklıktır. Uzaklık, yüzeyin görünen dokusunu azaltarak, sert görünen bir dokuya yumuşak bir etki kazandırmaktadır ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ).

#### 3.1.3. Isısal Algı

Ateşin sarı-kırmızı rengi, sıcak renk çağrışımını; buzun mavi-yeşil rengi soğuk renk çağrışımının oluşturması, mekânın görsel değişkeni olan rengin ‘sıcak’ ve ‘soğuk’ renkler olarak ikiye ayrılmasına neden olmaktadır ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ). Renkler, içinde bulunduğumuz mekânda geçirdiğimiz zamanı tahmin etmemizde de etkin rol oynarlar. Örneğin sıcak renklerin hâkim olduğu bir mekânda geçen zamanın daha fazla

tahmin edildiği, ancak soğuk renklerle renklendirilmiş bir mekânda tahmin edilen sürenin, gerçek sürenin altında olduğu saptanmıştır ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ).

İnsanlar, sıcaklık algısına karşı duyarlıdır. Genellikle konfor faktörüyle bağdaştırılabilir ısısal algı. Bu yüzden mekân tasarımında insanların sıcaklık konforunu sağlamak için tasarımla uyumlu teknolojik çözümler kullanarak, mekânın kullanıcıları üzerinde olumlu etki bırakmasına yardımcı olmalıdır.

### 3.1.4. İşitsel Algı

Mekânın işitsel algılanması, yankı ve reverberasyon ( yansıma ) süresine göre farklı etkiler ortaya çıkarmaktadır. Değişik form özelliklerine bağlı olarak uzun reverberasyon süresi ise küçük bir mekânda bulunma hissi uyandırmaktadır. Mekânın oluşumunda kullanılan malzemelerin, dokusal karakterlerinden kaynaklanan, farklı yutma niteliğine sahip olmaları, işitsel algılamayı etkileyen bir faktör olarak kullanılmalarına olanak vermektedir. ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Hede and Bullen, 1981; Göler, 2009 ).

Kısaca işitsel algılama, bir kişinin sahip olduğu sesleri anlamlandırma ve yorumlama sürecidir. İnsanlar, görüntüleri algılamak için işitsel algılarını kullanırlar. İşitsel algı, mekân tasarımında ve mekândaki akustik dengeyi sağlayabilmede önemli rol oynar. Doğru akustik sistemler ve ses tasarımı, kullanıcıların mekânı daha etkileyici ve konforlu bir şekilde deneyimlemesine olanak sağlar.

## 3.2. İç Mekânda Görsel Algıyı Etkileyen Tasarım Öğeleri

İç mekânlar, kullanıcının dünyasını yansıtacak bir şekilde tasarlanır. Tasarım yapılırken kullanıcının istekleri doğrultusunda mekânda kullanılan renkler, desenler, mobilya düzenlemeleri ve diğer unsurlar, bahsedilecek öğeler doğrultusunda bir planlama yapılır ve kullanıcıya mekânın atmosferini, estetik değerini yansıtacak bir görsel deneyim sunulur. İç mekânlarda görsel algıyı oluşturan bazı tasarım öğeleri açıklanmıştır.

### 3.2.1. Biçim

Biçim, nesnelerin, dış görünüşü; metafizikte, bir nesnenin gizli ilkesi olan maddeden ayırt edilen etkin, belirleyici ilkesidir ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Anon. 1989 ).

İç mekân tasarım aşamasında mekânın iki boyutlu algısı aşağıdaki ilkelere göre oluşturulur:

**Yakınlık ilkesi;** Biçimler ( uyarıcılar ) birbirleri ile yakın olduklarında gruplaşma eğilimi gösterirler. Gruplaşma eğilimi bize örüntüyü verir. Örüntü içerisindeki nesnelere birbirlerine uzak olsalar dahi bir grup halinde gözlemlenir.

**Benzerlik ilkesi;** aynı yakınlık ilkesinde olduğu gibi biçimler benzer olduklarında da, grup teşkil etme eğilimi gösterirler. Zihin tanıdık imgeleri çağrıştıran öğeler sunulduğunda eksik parçaları tamamlar. Zihnin bu eğilimi devamlılık ve kapalılık ilkeleriyle bağdaştırılır.

**Devamlılık ilkesi;** Bu ilkeye göre biçimler öylesine organize olmuşlardır ki, daha geniş bir alandaki biçimlerin ne şekilde organize olacaklarını önceden belirlerler. Devamlılık ilkesinde uzunlukları biraz farklı olan iki paralel doğru eşit uzunlukta görülür. Birbirinden farklı uzunluk ve kalınlıklara sahip sütunlar devamlılık ilkesiyle aynı boy ve kalınlıkta görülecektir.

**Kapalılık ilkesi;** Çevrenin kapanması bu ilke devamlılık ilkesinin özel halidir. Devamlılık gösteren biçimler ayrıca, bir alanı çevrelerse bu genellikle ayrı bir ünite olarak görülür. Benzerlik ilkesinde bahsedildiği gibi zihin eksik parçayı tamamlamaya meyillidir. Kapalılık ilkesiyle zihin nesneyi çevrelemek ve tanıdığı bir öğeye benzetmek ister.

**Çevreleme ilkesi;** Aynı yönde değişim gösteren veya hareket eden figürler, grup meydana getirirler. Zihin bu grubu çevrelenen bir şeklin bağlamında figürleri anımsadığı şekillere göre seçer. ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Erkman, 1998 ).

Şekil 6. anlatılan tüm ilkelerin ilkelerin uygulandığı bir örnek olarak verilmiştir. Bütün ilkeler kapsamı ile gözlemlenmektedir.



Şekil 6. Pelsan Tekstil Ofisi ( URL 6 )

### 3.2.2. Renk

Renkler kullanıldıkları mekânın en belirgin fiziksel özelliklerinden biridir. Renkler, mekânın algılanmasında ve tanımlanmasında doğrudan etkilidirler. Sıcak renklerin kullanımı mekâna dinamik bir etki verirken, soğuk renklerin kullanımı mekânda daha durağan bir etki yaratır. Mekânda benzer renklerin ya da aynı rengin çeşitli tonlarının kullanımı mekânda bir birlirtelik ve uyum algısı yaratır. Ancak farklı renk ve tonların mekândaki yoğunluğu ise çeşitlilik duygusu yaratır. ( Yurttaş, 2019, Euroasiajournal, s.29-30 )

Renk paleti, iç mekân tasarımında önemli bir rol oynar. Şekil 7.'de de görüleceği üzere renk seçimi, mekânın karakterini belirler.



Şekil 7. Sıcak ve Soğuk Renk Kullanımı ( URL 7 )

### 3.2.3. Malzeme

Malzeme; bir şey yapmak, bir ürün oluşturmak vb. için kullanılması gereken nesne ya da nesnelere olarak tanımlanmaktadır. İç mekânı oluşturan tüm elemanların herhangi bir malzemeden oluşturduğu düşünüldüğünde, malzeme çeşitliliğinin ne denli çok olduğu ortaya çıkmaktadır ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ).

Malzemeler kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri yanı sıra ebatları, renkleri, dokuları gibi malzemeden malzemeye değişen özellikleriyle de görsel etkiler yaratır. Bu özellikleri ile malzeme mekânda genişlik, derinlik, aydınlık vb. görsel, soğuk, sıcak, yumuşak, sert gibi görsel ve sezgiye dayalı algısal etkiler yapar. Örneğin; metal bir malzemenin ilk anda, bilinen gri rengi ile tanımlanması sonrasında bu renk tanımlaması ile soğuk etki yaratsa da üzerine uygulanacak kırmızı renk ve sarı sıcak ışıkla yapılacak aydınlatma sayesinde metalin sıcak görsel bir etki kazanması mümkündür ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Göler, 2009 ).

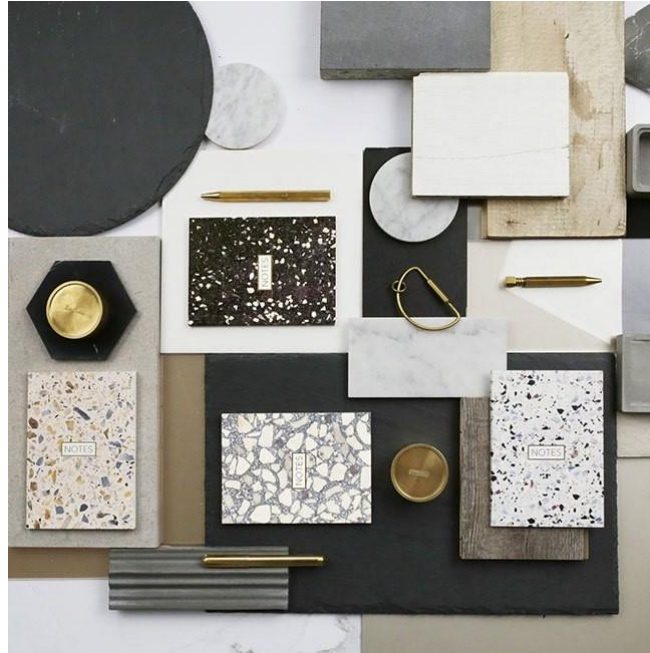
Bir mekân tasarımında birkaç malzemenin bir arada kullanılması malzemelerin özellikleri göz önünde bulundurularak, kullanılan yerlere uygunluğu önemsenir.

### 3.2.4. Doku

Bir nesnenin yüzeyine dokunulduğunda hissedilen fiziksel etki ( yumuşaklık, sertlik, pürüzsüzlük ya da tekstür etkisi ) o yüzeyin dokusunu oluşturur. Bundan dolayı, malzeme dokusunun yapısal bir özellik olduğu varsayılır. Doku, renk ve ışığın uygun olduğu şartlarda daha doğru algılanır.

Mimari mekân algısında, mekânın görsel değerleri-ne büyük ölçüde etkisi olan doku, aynı zamanda mekân ve malzeme arasındaki ilişkiyi de karakterize eden önemli bir kavramdır. Doku, rengin algılanan etkinliğini değiştirmektedir. Aynı renk ve aynı güçte iki yüzey, farklı doku karakterine sahip ise, farklı renkte görülecek ton farkı ortaya çıkacaktır. Bazı dokunsal özelliklerin, mekânın bir bütün olarak algılanması sonucu daha sıcak veya daha soğuk etkiler yarattığı deneysel çalışmalar ile saptanmıştır. Düz dokulu bir yüzey soğuk etki yaratırken, pürüzlü bir yüzey sıcak etki yaratmaktadır ( Aslan, Aslan, Atik, 2015; Portre, 1979 ).

Şekil 8’de malzemeleri ve malzeme dokularının bir tasarım oluşumundaki bir araya gelişleri gözlemlenerek, dokunun ve malzemenin doğru eşleşmesinin önemine örnek verilebilir.



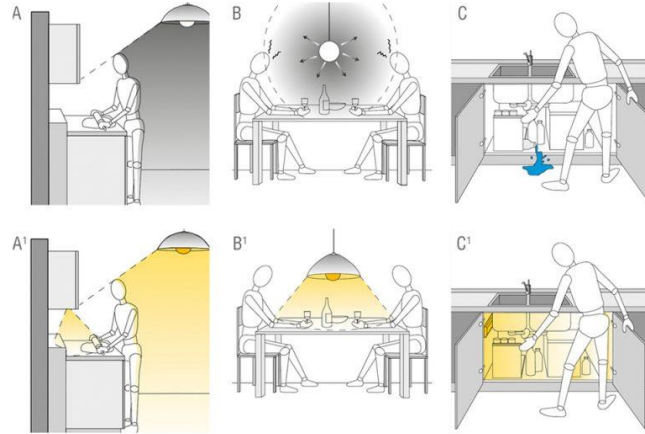
Şekil 8. Malzeme dokuları ve bir araya gelişleri ( URL 8 )

### 3.2.5. Işık

Işık algıda en güçlü öğedir. Çevreyi algılamada ilk aşama görme duyusudur. Çevreyi aydınlatması için de ışığa ihtiyaç duyarız. Işık, güçlü psikolojik etkilere sahiptir. Belirli fizyolojik etkiler de bırakmaktadır. Işık kavramı ile ilgili geniş tanımlama 2.3.2 başlığı altında ele alınmıştır.

### 3.2.6. Ölçü – Oran

Bir mekânın içerisinde bulunan elemanlar, o yapının mevcut ölçüleriyle belirli bir oran içinde olmalıdır. Eğer kullanıcı açısından işlevsel ve uyumlu bir mekân yaratılmak isteniyor ise, mekânın yüksekliği ile derinliği belirli bir oran içinde olmalıdır. Aynı şekilde mekânın içinde kullanılan tüm donatı, eleman ve figürlerin de birbirleriyle belirli bir oran içinde olmaları gerekmektedir. Şekil 9.'da aydınlatma elemanının bulunduğu ortama uygun kullanımını inceleyerek, tasarımcının mekânı kurgularken, kullanıcısının antropometrik özelliklerini temel tasarım ilkesi olarak kabul etmesi gerektiği kanaatine varılabilir. Ergonomik iç mekân elemanlarının kullanımı ve insan-mekân ölçeğinin uyumluluğu, iç mekân tasarımında kullanıcı konforunu arttıran faktörlerdendir ( Yurttaş, 2019, Euroasiajournal, s.31-32 ).



Şekil 9. Aydınlatma elemanının bulunduğu ortama uygun oranda kullanımı. ( URL 9 )

### 3.2.7. Isı

İç mekânda ısı, kullanıcının konforunu, enerji dağılımını ve genel olarak mekânın etkin iletişimini sağlayan önemli bir faktördür. Bir iç mekânın iyi bir ısı yönetimine sahip olması, hem sıcak hava hem de soğuk hava koşullarında rahat bir ortam sağlar. Mekânın sıcaklığı normal değerlerin altında ya da üstünde ise, kullanıcının veya kullanıcıların mekândan ayrılma istekleri doğabilir. Isısal algılamada, mekân boyutlarının ve doluluk-boşluk kavramlarının etkisi olduğu söylenebilir. Örnek olarak, kapalı, dar ve alçak mekânlar sıcak; açık, geniş ve yüksek mekânlar serin algılanabilir.

### 3.2.8. Ses

Mekânın ses yönünden algılanması mekânda oluşan yankı ve reverberasyon sürelerine bağlıdır. Eğer bir mekânda yankı varsa ve kullanıcı mekânda boşluk duygusunu algılar. Mekânsal algılamada, ses etkisi akustik konfor ve gürültü kontrolü bakımından ele alınmalıdır. Bu sebeple işitsel algılamada konfor sağlanması için tasarımcının malzemeleri yutucu ve yansıtıcı olma bakımlarından doğru bir şekilde bir araya getirmesi önem kazanmaktadır ( Yurttaş, 2019, Euroasiajournal, s.32 ) .

İç mekânda ses yönetimi, kullanıcının konforunda, iletişiminde ve mekânın genel düzeyinde değişiklik gösteren bir faktördür. Ses, iç mekânda doğru bir şekilde kontrol edilmediğinde mekân algısı zayıflayabilir ve kullanıcı üzerinde olumsuz etki bırakabilir.

### 3.2.9. Koku

İç mekânda koku, kullanıcı deneyiminin önemli bir unsurudur. Doğru koku kullanımı, iç mekânın duyuşal zenginliğini arttırmaya yarar ve insanların mekânla bağlantı kurmasını sağlar. Mekânsal algılamada koku, algıyı olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen etkenlerden biridir. Örneğin yemek yeme eyleminin gerçekleştiği bir mekânın mutfağından gelen kötü kokular veya doktor muayenehanesinin içinde algıladığımız tıbbi malzeme kokusu bizi rahatsız eder. ( Yurttaş, 2019, Euroasiajournal, s.33 )

İç mekânlarda koku yönetimi mekânın genel atmosferini yükselterek kullanıcının olumlu bir deneyim yaşamasını sağlayabilir. Ancak, koku kullanımına devamlılık faktörü önemli bir noktadır. Hoş bir deneyim sunmak için dengeli ve özenli bir şekilde sürdürülmelidir.

### 3.3. Mekânsal Algıyı Etkileyen Psikolojik Faktörler

Mekânsal algı psikolojisi, kullanıcının mekânı fiziksel faktörlerle algılaması, mekânda bir süre bulunarak ya da daha uzun süreli vakit geçirerek tüm bileşenleri ve elemanları hafızasına kaydetmesi ile oluşur. Mekândan ayrıldıktan sonra hafızada kalan imaj, mekânın psikolojik olarak algısıdır. Kullanıcının yaşı, cinsiyeti, zihinsel durumu gibi biyolojik özellikleri, bağlı olduğu sosyal çevre, kültürel ve sosyal yapısı, eğitimi gibi kişisel özellikleri, geçmiş yaşamının kalitesi ve hatıraları da mekânın psikolojik olarak bıraktığı etkiler mekânı algılamada farklılık oluşturan en temel özelliklerdendir. Bu durumda, mekânda sürekliliği sağlayan faktörleri mekânın doğru bir şekilde algılanması ve kullanıcıya algıladıklarının mutluluk hissi vermesi olarak değerlendirebilir. Zıttı bir durumda mekânda bulunma isteği yok olabilir. Fiziksel faktörlerde anlatıldığı gibi ve mekânsal algıyı etkileyen tüm başlıklar aynı zamanda, mekân-insan ilişkisinde psikolojik boyutları da barındırmaktadır. Kısaca, fiziksel faktörlerin kişiden kişiye farklı algısal etkileri ve psikolojik yansımaları vardır.

## 4. MEKÂNDA YAPAY AYDINLATMANIN SERGİLEME/SUNUM ALANLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

Örnek olarak seçilen ‘Dali Theatre Museum ve Louvre Museum’ müzelerinin de incelendiği 2.3.1. başlığı altında listelenen mekan çeşitleri arasından seçilen müze ( sergileme/sunum ) kavramının tanımı ve ortaya çıkışı, müzelerin temel amaç ve görevlerine değinilmektedir. Seçilen müzelerde en belirgin fark aydınlatma planlamalarının birbirinin zıttı olarak yapılmış olmasıdır. İkisinde de cephe açıklıkları yapısal ortak özelliktir. Bu açıklıklar sayesinde iç mekanda doğal ışıktan da faydalanılır. İncelemeler sonucu ziyaretçi deneyimleriyle birlikte doğal ışık kullanımı ve yapay aydınlatma planlamasının kullanıcı üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir.

### 4.1.1. Müze Tanımı ve Ortaya Çıkışı

Müze sözcüğü Grekçe ‘Mouseion’ kelimesinden türemiş olup, Yunan mitolojisinde Musa’lar adı verilen ( İlham Perileri ) tanrıçalara adanan tapınak ve Atina’da Musalara ayrılan tepe anlamına gelmektedir. ‘Museum’ şeklinde Latinceye ve diğer batı dünya uluslarının dillerine geçmiştir.

Kelime anlamı olarak ise müze sanat ve bilim eserlerinin veya sanat ve bilime yarayan nesnelerin saklandığı, halka gösterilmek için sergilendiği yer veya yapılar olarak tanımlanabilir.

Toplama ve koleksiyonculuk, tarih sürecinin çok erken dönemlerine dayanırken, müzecilik ancak orta çağdan sonra sanat eserlerini korumak amacıyla başlamıştır. İlkel insanların değerli gördükleri eşyalarını dini törenlerin yapıldığı kutsal mekânlarda saklamaya başlamalarıyla ilk koleksiyon girişimleri başlamıştır. Bu girişimler günümüz müze anlayışının ilk oluşumları olarak gösterilebilir.

İlkel koleksiyonculuğun diğer bir sebebi ilkel çağda yaşayan insanların kendileri için ürettikleri savaş, tarım vb. eşyalarını saklayarak gelecek nesillere aktarmak istemeleriyle ortaya çıkmıştır. Yapılan bu aktarımlar sayesinde insanlık teknolojik olarak ilerleme kaydetmiştir. İnsanların yerleşik hayata geçmeleriyle birlikte biriktirilen bu eşyaların çeşitliliği artmış ve kalıcılığı sağlanmıştır.

Koleksiyonculuğun ortaya çıkmasındaki bir başka neden ise insanların unutulmama çabalarından kaynaklanmaktadır. İnsanlar yaşadıkları süre boyunca sosyal ve kültürel olarak sürekli bir gelişim içerisindeyler. Bu gelişme süreci içerisinde yaşamını yitiren insanlara ait eşyaların saklanmasıyla bir nevi unutmaya ve unutulmanın önüne geçilmek istenmiştir. Gerçekleştirilen tüm biriktirme, saklama girişimleri tarihsel süreç içerisinde zamanla arşivleri, kütüphaneleri ve müzeleri meydana getirmiştir. Arşivler sayesinde



tarih içinde yaşanan kurumsal olaylara ait bilgilerin toplanması hem hukuksal ve sosyal konularda topluma katkı sağlamış hem de gelecek kuşaklara sosyal yaşam ile ilgili kurallar aktarılmıştır.

Eski Yunanlılarda tanrı ve tanrıçalara adanan adaklar ve güç temsilcisi olarak görülen silahların biriktirilip sergilenmesinin en önemli etkeni din olarak kabul edildiği öngörülür. Bu eşyaları biriktirmek için siyasi ve dini mekânlarda “thesauras” denilen merkez inşa edilmiştir ve bu alanlarda koleksiyonlar artırılmıştır. “Tapınaklarda yapılan koleksiyonculuk tanrılarına ve bir nevi atalarına saygı amaçlı adanan eşyaların toplanmasıyla oluşturulmuştur. Bu koleksiyonların nesilden nesle aktarılmasındaki ilk örnekleri Mezopotamya, Anadolu ve Yunanistan’da görülmüştür. Eski eserlerin bu tapınaklarda toplanması ve korunması bugünkü müze kavramıyla örtüşmektedir” ( Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dergisi, 1997 ).

Müze, kültürel, tarihi, bilimsel ve sanatsal değer taşıyan eserlerin sergilendiği, korunduğu bir kurumdur. Müzeler bu özelliğiyle, toplumların mirasını koruma ve nesiller arası kültürel aktarım amacı güderler. Müzeler, toplumun geçmişiyle bağlantı kurmasını sağlayarak, sanat ve bilimi keşfetme olanağı sunar.

#### 4.2. Müzelerin Temel Amaç ve Görevleri

( ICOM4 1998 bildirgesinde ) müze; müze, toplumun hizmetinde olan, halka açık, insan ve yaşadığı çevreye dair tanıklık eden, malzemelerin üzerinde araştırma yapan, toplayan, koruyan, bilgiyi paylaşan ve sonunda inceleyen, eğitim, zevk alma doğrultusunda sergileyen, kar düşüncesinden bağımsız, sürekliliği olan kuruluş olarak tanımlanmıştır.

Müzelerin beş temel esas üzerine çalıştığı gözlemlenir. Bu esaslar şu şekilde sıralanabilir.

- a. Toplama
- b. Koruma
- c. Araştırma
- d. Sergileme
- e. Eğitim ( Milli Eğitim Bakanlığı Bilim ve Sanat Merkezleri Yönergesi, 2007 )

Günümüzde müzeler kazandıkları yeni işlevler sayesinde toplumun gelişmesinde ve modernleşmesinde önemli bir araç görevini üstlenmişlerdir. Müzeler içinde buldukları eserleri, ziyaretçilerine daha akılda kalıcı ve etkileyici bir biçimde sunabilmek için farklı işlevler edinmişlerdir. Bu işlevler;

1. Eser toplama
2. Sergileme
3. Koruma ve bakım
4. Depolama
5. Eğitim şeklinde sıralanabilmektedir ( Rodop 2014; Serap ve Mercin, 2005 ).

#### 4.2. Örnek Seçilen Alanların İncelenmesi

Aydınlatma planı farklılığı göz önüne alınarak örnek olacak iki mekân incelenmektedir. Anlatılara göre incelemeler yapıp değerlendirme yapılır.

##### 4.2.1. Dali Theatre Museum

Mimar Emilio Pérez tarafından tasarlanan devasa şeffaf kubbesi müzenin en ikonik özelliklerinden biridir. Ayrıca orta avluya park edilmiş siyah Cadillac'a veya yumurta şeklindeki heykellerle taçlandırılmış ilginç kırmızı cephesiyle de dikkat çeker. Mobilyalar bir araya gelerek sanatçının eserlerinden birini simüle ederek, iç dekorasyonu en küçük ayrıntısına kadar özenle tasarlanmış olup, ziyaretçilerin kendilerini Dalí'nin tablolarından birinin içindeymiş gibi hissetmelerine olanak tanımaktadır. ( URL 10 )

Dali Theatre Museum’a yapılan sanal turla, müze incelendi ve müzenin iç mekânı hakkında genel bir fikir sahibi olundu. ( URL 11 ) Mimari açıdan dikkat çekici bir tasarıma sahip. Dalí'nin özgün ve gerçeküstü tarzını yansıtan şekilde tasarlanmış ve başlı başına bir sanat eseri deneyimi sunar ( Şekil 10 ). Müze, Dalí'nin resimleri heykelleri, mobilyaları ve diğer sanat ürünlerini içeren geniş bir koleksiyona sahiptir. Kişisel eşyalarının da sergilendiği müzede, fotoğraflar ve diğer belgeler, Dalí'nin sanatının çok yönlü bir perspektife sahip olduğunu gösterir. Sergilenen eserlerin konuları ve aydınlatılması, Dalí'nin gerçeküstülük ve dadaizm gibi akımlarla ilgili özgün eserlerinin ruhunu yansıtacak şekilde planlanmıştır. Yapının sahip olduğu avlu ve büyük çatı

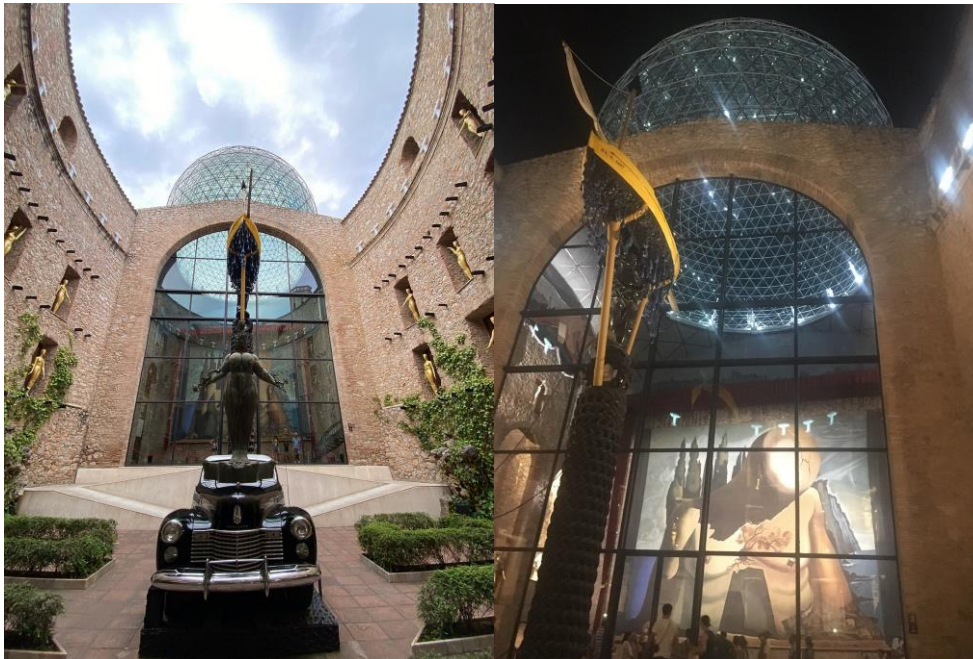
açıklığı yapıya doğal ışık kaynağını kullanma kolaylığı sağlıyor. Şekil 11’de avlu açıklığı ve çatı açıklığı incelenebilir. Şekil 12’de de bu açıklıkların günün farklı saatlerinde iç mekâna ve sanat eserlerine etkisi incelenebilir. Dali’nin eserlerinde verilmek istenen hislerin etkisi ışık-gölge oyunları ile verilmiştir. Genel olarak kullanıcıların olumsuz yorumları olmasına rağmen, sanal turda verilmek istenen hissin aydınlatma elemanlarının kullanımı ya da yeterli kullanılmamasıyla verildiği anlaşılmıştır. Bir mekânın algısında önemli faktör olan ışık bu mekânda eserler için vurgulayıcı unsur olarak kullanılmıştır. Şekil 13’te, vurgulayıcı aydınlatma elemanlarının kullanıldığı müze bölümleri incelenebilir.

Işık-gölge oyunları ile kullanıcı müzede etkileşimli deneyimler yaşamakta ve eserin vermek istediği duyguyu hissedebilmektedir.



Şekil 10. Binanın doğal aydınlatma açıklıklarının cepheden görünümü ( URL 12 )

Mekân algısında, kişilerin mekânda kullanılan algıya etki eden öğelerin yanında belleğinde sahip olduğu mekân deneyimleri mekânı yorumlamasında büyük bir etken. Mekândaki doluluk-boşluk oranı, renk kullanımı, malzeme seçimleri, kullanılan malzemenin dokuları Dali’nin sanat anlayışını yansıtan bir uyum içerisinde.



Şekil 11: Avludan alınan doğal ışığın gündüz ve gece görünümü ( URL 12 )



Şekil 12: Avludan alınan doğal ışığın ve tavan açıklığının iç mekâna günün farklı saatlerindeki etkisi ( URL 12 )



Şekil 13: Aydınlatma elemanlarının vurgulayıcı olarak kullanıldığı iç mekân örnekleri ( URL 12 )

Mekân görsellerinden de görüleceği üzere, bazı bölümlerde yeterli aydınlatma planlamasına sahipken; bazı bölümlerde daha az aydınlatma elemanı kullanımına sahiptir. Eserin vurgusu için yapılmış bir aydınlatma planlaması olduğu görülür. Fakat bu durum ziyaretçiler tarafından olumsuz bir durum olarak değerlendirilebilir. Buna örnek bir yorum şu şekildedir: “Sürekli karanlık odalardan aydınlık odalara geçmek kafamı karıştırıyor ve başımı döndürüyordu...” vb. yorumlar yapılarak mekânın klostrifobik bir deneyim sunduğu dile getirilmiştir. Bu yorumların yanı sıra ziyaretçilerin bir kısmı mekânın bir an önce ortamı terk etme hissi uyandırdığını dile getirmiştir. Ancak, mekânın aydınlatma planlamasının sanatçının eserlerinin sergilenme biçimine göre yapıldığı gözlemlense de ziyaretçiler yaptıkları eleştirilerle bazı ayrıntıları kaçırdıklarını belirtir.

#### 4.2.2. Louvre Museum

Louvre Müzesi (Fransızca: Musée du Louvre), dünyanın en büyük sanat müzesidir. Fransa'nın başkenti Paris'te, Louvre Sarayı'na kurulmuştur. Şehrin içinden geçen Sen Nehri'nin kıyısında yer alır. Tarih öncesi çağlardan, 21. yüzyıla kadar uzanan, oldukça geniş bir koleksiyon yelpazesi vardır. Yaklaşık 35.000 kadar tarihî sanat eseri, 72.735 metrekarelik bir alanda sergilenmektedir ( URL 13 ). Pei'nin Louvre binasının tasarımında, Cour Napolyon'un altındaki alana ışık sağlayan üç küçük üçgenle çevrelenen büyük bir cam ve çelik piramit yer almaktadır. Pei için cam piramit; ana girişi güçlendiren, tarihi ve şekilsel öneme sahip sembolik bir giriş sağlar ( URL 14 ).



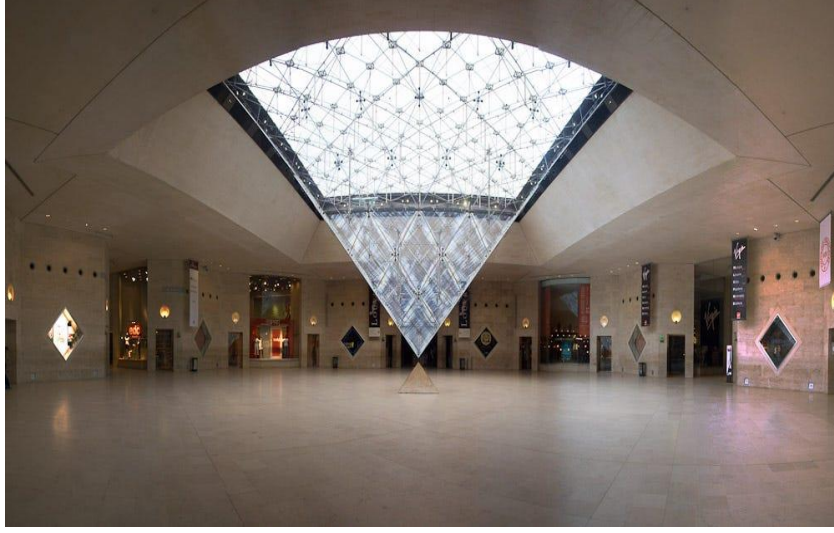
Şekil 14: Müzenin Napolyon Avlusundaki ünlü piramidi ( URL 16 )

Louvre Museum sanal turuyla müze ziyaret edildi ve müze incelenerek kullanıcı değerlendirmeleriyle birlikte müze hakkında yorum yapılmıştır ( URL 15 ). Louvre Müzesi dünyanın en büyük ve en ünlü sanat müzelerinden biri olarak bilinir. Bünyesinde geniş bir sanat koleksiyonu barındıran müzenin etkileyici bir mimarisi vardır.



Şekil 16: Müzenin yapay aydınlatma kullanılan bir bölümü ( URL 16 )

Müze bünyesinde, Antik Mısır eserlerini, Antik Yunan ve Roma sanatı eserlerini, klasik ve Rönesans tablolarını, Asya sanatını ve birçok farklı sanat akımını bulundurmaktadır. Bu sanat akımları sergilenirken müzede o dönemleri yansıtacak modern dokunuşlara sahip tasarımlar mevcut. Tarihi bir yapısı olan Louvre Müzesi, doğal ışık kaynağını kullanma olanağı sunan cephe açıklıkları barındırır. Cephe açıklıkları; iç mekana yeterli doğal ışık alınmasını sağlar. Binanın zemininde yer alan tarihi kalıntılar mevcut. Bu alanlar da tarihi dokuyu vurgulayacak yapay aydınlatma planlamasıyla ferah bir ortam deneyimi sunar.



**Şekil 15:** Müzenin Napolyon Avlusundaki ünlü piramidin iç mekândaki konumu (URL 16 )

Müzede doğal ışık kaynağına sahip olmayan bölümler ise Şekil 16.'da da görüleceği üzere yeterli yapay aydınlatma elemanı ile aydınlatılmıştır. Müzenin büyüklüğü ve eser yoğunluğu göz önüne alınca; müzeyi ziyaret etmek, müzede bulunan ünlü eserleri ziyaret etmenin keyif verici ve içeride geçirilen vaktin daha fazla olduğu gözlemlenir. Müzenin sahip olduğu aydınlatma planıyla eserlerin ayrıntıları diğer müzeye göre daha fark edilir bir durumdur.



**Şekil 17:** Müzenin tavan açıklıkları bulunan bölümleri ( URL 16 )

Aynı şekilde, ziyaretçilerin de yorumları değerlendirildiğinde, ziyaretçiler burayı ziyaret etmekten mutluluk duymaktadır. Ziyaretçiler, bu müzede uzun vakit geçirmekten keyif aldıklarını belirtmişlerdir.

## 5. Değerlendirme

Yapılan literatür araştırmaları ve sanal turlarla ( URL 11,12 ) gezilerek incelenen ve kullanıcıların deneyimlerini paylaştığı gezi rehberi sitelerindeki ( URL 10 ) yorumlar baz alınarak elde edilen verilerin verildiği Tablo 1’de görüldüğü gibi mekânın ziyaret süresini etkileyen aydınlatma planlaması, eserin de izlenme süresini ve detaylarını fark etmekle doğru orantılıdır. Ziyaretçiler mekânı algıladıktan sonra mekân algısının uyandırdığı his ile mekân değerlendirilmiş ve mekânda geçirdiği süre mekân algısıyla da doğru orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir..

Müze Adı / Veriler	Dali Theatre Museum	Louvre Museum
Doğal ışık kullanımı	Var	Var
Yapay Işık Kullanımı	Var	Var
Mekânda Geçirilen Süre	Kısa	Uzun
Eserin İzlenme Süresi	Kısa	Uzun
Eser Detayının Algılanması	Kısmi*	Var
Memnuniyet	Yok	Var

\*Doğal ışık kullanılan alanlarda eser detayının algılandığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 1.** İncelenen mekânlarda kullanılan aydınlatma elemanlarının algıya etkisi.

Mesela incelenmiş olan Dali Theatre Museum’da, ziyaretçiler bir an önce çıkma isteği içinde olduklarını belirtirken; Louvre Museum’da uzun zaman geçirmekten keyif aldıklarını belirtmişlerdir. İncelenen mekânlarda sergilenen eserlerin kıymeti de göz önünde bulundurulduğunda eserin algılanması eserin kıymetinden daha önemli bir etken. Eserin ve mekânın algılanmasında etken olan ışık ( aydınlatma elemanları ) eserlerin daha detaylı incelenmesine olanak sağlayarak ziyaretçilerin mekanı olumlu eleştirdiği ve mekanın ziyaretçilere mutluluk verdiği gözlemlenmiştir.

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan literatür araştırmaları ışığında incelenen her iki mekânda da doğal ışık kaynağı olan Güneş ışığını almak için açıklıklar oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Bu açıklıkların mekânla bütünleşmesi ve kullanıldığı kot seviyesi mekân içine alınan doğal ışığın miktarını etkilemekte ve mekânın algılanmasında etkin bir rol oynamaktadır. Yapay ışığın kullanıldığı mekânlarda mekânla uyumlu tasarım yapılması gerekliliğine yazı içerisinde değinilmiştir. Bu gerekliliğe yapılan incelemeler sonucu da ulaşılarak yapay ışığın mekân algısındaki etkisinin önemi anlaşılmıştır. Yapay ışığın, incelemeler neticesinde müzelerdeki ( sergi ve sunum mekânlarındaki ) detayları ve vurgulanması gereken alanları vurgulamada önemli bir faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Müzelerde yapılan aydınlatma tasarımları sergilenen eserlerin uzun süre bozulmadan nesiller boyu aktarılabilmesi ve çeşitli sanat eserlerinin ziyaretçilere sunulması için mekânla ve sergilenen eserlerle uyumlu yapılmalıdır. Müzelerde özellikle 3 boyutlu sergileme elemanlarının aydınlatılmasında, doğal ışığın kontrollü olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir. Sanat eserlerinin zarar görmemesi, soluklaşmaması ve bazı kamaşma vb. problemlerin yaşanmaması adına, sanat eserleri doğal ışığı doğrudan değil dolaylı olarak almalıdır.

Sonuç olarak; müzelerde yapılan aydınlatma tasarımlarında, yapının fiziksel durumuna, eserin boyutu ve gereksinimlerine, ziyaretçilerin mekân algısının verimini artırmaya yönelik planlama yapılmalıdır. Aydınlatma tasarımında mekândaki algının verimli olması, eserlerin detaylarının incelenebilmesi, doğru izlenimin bırakılabilmesi için doğal ışık kaynağıyla birlikte, yapay ışık kaynaklarını da teknolojiden faydalanarak doğal ışık seviyesinde veya gerekli seviyede kullanmaya özen gösterilmelidir. Yapay ışık kullanımında mekan tasarımı yapılırken aydınlatma planının mekan için en verimli olacak şekilde yapılmalıdır. Müze yapılarının tarihe ışık tutma amacı ve kültür aktarımındaki rolü göz önünde bulundurularak kullanılan veya kullanılacak olan aydınlatma elemanlarının doğru seçilmiş olması en önemli unsur olacaktır.

## KAYNAKLAR

Francis D. K. Ching, İç Mekân Tasarımı Resimli, Yem Yayın, İstanbul, 2016.

Aslan F. & Aslan E. & Atik A. ( 2015 ). İç Mekânda Algı. İnönü Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Malatya. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, Cilt 5 Sayı 11, 139-151.

Dede E. Ö., ( 1997 ). Mekânın Algılanma Olgusu ve İnsan-Hareket-Zaman Faktörlerinin Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gözde R. ( 2014 ). Modern Müzelerde Aydınlatmanın Mekânsal Algı Üzerindeki Etkileri. Maltepe Üniversitesi, İç Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. Üçlü Algılanan, Tasarlanan, Yaşanan Mekân Diyalektiği Yrd. Doç. Dr Adile Arslan Avar, Dosya Dergisi ( 17 ), 7-16.

Oksel Y., ( 2013 ). Sergi Mekânlarında Aydınlatma Biçimlerinin Kullanıcı Algısı Üzerindeki Etkileri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Rodop G., ( 2014 ). Modern Müzelerde Aydınlatmanın Mekânsal Algı Üzerindeki Etkileri. Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Semiz C. & Yurttaş B. ( 2018 ). Mekânsal Algı Kavramı ve İç Mekân Tasarım İlişkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi & Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. 1. Atlas Uluslararası Sosyal Bilimler Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı, 23-30.

Yıldırım B. & Erikli M. ( 2021 ). Aydınlatma İlkeleri ve Kullanıldığı Yapılara Göre Doğal Aydınlatma. Kırıkkale Üniversitesi. Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü. Kırıkkale ( Online Journal of Art and Design volume 9, issue 2, April 2021 ).

Yurttaş N. B., ( 2019 ). Mekânsal Algı Kavramı ve İç Mekân Tasarımı İlişkisi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul. Euroasia Journal Of Social Sciences & Humanities, Volume 6, Issue 1, 27-34.

- URL 1. (e.t.2023) <https://prezi.com/7yc0v-7dz23x/ortak-mekan-turleri/>
- URL2.(e.t.2023)<https://8gunhaber.com/makale/3539/ic-mimarlik-ve-mekanlarin-gereksinimleri.html>
- URL 3. (e.t.2023) <https://www.lamp83.com.tr/isigin-insanlar-uzerindeki-psikolojik-etkileri/>
- URL 4. (e.t.2023) <https://www.arkitektuel.com/mimaride-algi/>
- URL 5. (e.t.2023) <https://www.sanalsantiye.com/mekan-nedir/>
- URL 6. (e.t.2023) <https://www.vbenzeri.com/ic-mekan>
- URL 7. (e.t.2024) Özsvaş N.,(2016) İÇ MEKÂN TASARIMINDA RENK ALGISI Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi \*<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/263451>
- URL 8. (e.t.2023) <https://adtmimarlik.com.tr/mimari-malzeme-secimleri-nasil-yapilir/>
- URL 9. (e.t.2023) <https://www.aydinlatma.org/aydinlatma-ergonomisi.html>
- URL10.(e.t.2024)[https://www.tripadvisor.com/Attraction\\_Review-g315921-d254665-Reviews-Dali\\_Theatre\\_Museum-Figueres\\_Province\\_of\\_Girona\\_Catalonia.html#/media-atf/254665/286162751:p/?albumid=-160&type=0&category=-160](https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g315921-d254665-Reviews-Dali_Theatre_Museum-Figueres_Province_of_Girona_Catalonia.html#/media-atf/254665/286162751:p/?albumid=-160&type=0&category=-160)
- URL 11. (e.t.2024) [Visit the museum as you have never done before! | Fundació Gala - Salvador Dalí \(salvador-dali.org\)](http://www.fundaciogala.com/en/visit-the-museum-as-you-have-never-done-before)
- URL 12. (e.t.2024) [https://tr.wikipedia.org/wiki/Louvre\\_M%C3%BCzesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Louvre_M%C3%BCzesi)
- URL 13. (e.t.2024) <https://www.archdaily.com/88705/ad-classics-le-grande-louvre-i-m-pei>
- URL14.(e.t.2024)[https://www.tripadvisor.com/Attraction\\_Review-g187147-d188757-Reviews-Louvre\\_Museum-Paris\\_Ile\\_de\\_France.html#/media-atf/188757/656220042:p/?albumid=-160&type=0&category=-160](https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g187147-d188757-Reviews-Louvre_Museum-Paris_Ile_de_France.html#/media-atf/188757/656220042:p/?albumid=-160&type=0&category=-160)
- URL 15. (e.t.2024) [Petite Galerie - Musée du Louvre - Venus d'Ailleurs](http://www.petitegalerie.com/en/petite-galerie-musee-du-louvre-venus-d-ailleurs)
- URL 16. (e.t.2024) <https://www.spain.info/en/discover-spain/last-work-theatre-museum-salvador-dali-spain/>





Araştırma/Derleme Makalesi


# TARİHİ KİREÇ HARÇLARI VE KARAKTERİZASYONU ÇALIŞMALARI ÜZERİNE İNCELEMELER

**Ufuk SOYSAL<sup>†</sup>, Dilek Dilhan ALTINIŞIK<sup>††</sup>**

<sup>†</sup> T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, İzmir Restorasyon ve Konservasyon Bölge Laboratuvarı Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

<sup>††</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye

**ufuksysl@gmail.com, dilek.dilhan@msgsu.edu.tr**

 0009-0003-8740-1295, 0009-0006-5553-0932

**Atıf/Citation:** SOYSAL, U., ALTINIŞIK, D.D., (2024). Tarihi Kireç Harçları ve Karakterizasyonu Çalışmaları Üzerine İncelemeler, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.97-115, DOI: 10.56809/icujtas.1465650

## ÖZET

Bu çalışma, tarihi yapıların inşasında önemli bir yeri olan kireç harçlarının ve bileşenlerinin (bağlayıcı, agrega ve katkı maddeleri) kısa tanımlarının yapıldığı ve koruma ve onarım projeleri adına gerçekleştirilen kireç harçlarının karakterizasyonu çalışmalarının bir özetini içermektedir. Bu sürecin ortaya konma sebebi, tarihi yapıların korunması ve onarımı ile ilgilenen koruma uzmanlarına, kireç harçlarının ilk üretim aşamasından restorasyon uygulamalarında kullanılacak onarım harcı üretim aşamasına kadar olan sürece dair farkındalık oluşturmak ve koruma laboratuvarları ile iletişimlerini sağlıklı bir biçimde yürütebilmelerine katkı sağlamaktır. Bu anlamda kireç harçlarının ve bileşenlerinin kısa tanımlarının yapıldığı çalışmada, kireç bağlayıcılar, agrega tipleri ve katkı maddeleri ile üretim teknolojileri hakkında çeşitli bilimsel yayınlardan faydalanılarak bir özet oluşturulmuş, bu özeti sonunda tarihi kireç harçlarının özelliklerinin belirlenmesi adına malzeme karakterizasyonu çalışmalarında kullanılan analiz yöntemleri ve çıkarılacak sonuçların değerlendirilmesine yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kireç harcı, karakterizasyon, konservasyon, restorasyon, koruma laboratuvarı

Geliş/Received : 05.04.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 09.05.2024  
Kabul/Accepted : 21.05.2024

# INVESTIGATIONS OF STUDIES ON HISTORICAL LIME MORTARS AND THEIR CHARACTERIZATIONS

## ABSTRACT

This study includes a brief description of lime mortars and their components (binders, aggregates and additives), which have an important role in the construction of historic buildings, and a summary of the characterization of lime mortars carried out for conservation and restoration projects. The reason for presenting this process is to raise awareness of conservation experts interested in the conservation and restoration of historic buildings about the process from the first production stage of lime mortars to the production stage of repair mortars to be used in restoration applications and to contribute to their communication with conservation laboratories in a healthy way. In this sense, the study provides a brief description of lime mortars and their components, a summary of lime binders, aggregate types and additives and production technologies by making use of various scientific publications, and at the end of this summary, the analysis methods used in material characterization studies to determine the properties of historical lime mortars and the evaluation of the results to be obtained are included.

**Keywords:** lime mortar, characterization, conservation, restoration, conservation laboratory

## 1. GİRİŞ

Kültürel mirasın korunması kavramı kapsamında, tarihi yapı ve kalıntılarının korunması ve onarımı üzerine bilimsel anlamda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapıların korunması sorunu ve bu soruna çözüm arayışı, zamanla korunması gerekli olanın yalnızca somut eserler değil daha karmaşık bir yapıya sahip, somut ve soyut bileşenlerin bir arada olduğu kültürel miras kavramının anlaşılması ile sonuçlanmıştır (Jokilehto, 1999).

Tarihi çevreyi oluşturan somut ve soyut her unsurun birbirine sıkıca bağlı olması, kültürel mirasın korunması bağlamındaki modern koruma yaklaşımlarının alanını daha da genişletmiştir (Ahunbay, 2014). Tekil yapı ölçeğinde başlayan ilk bilimsel koruma yaklaşımlarının tarihi çevreyi bütüncül şekliyle kapsayacak bir genişliğe ve oradan da somut ve soyut tüm unsurlarının korunması ilkesine ulaşması, koruma biliminin çok disiplinli bir yapıya sahip olmasının, çözülmesi kolay olmayan ve yeniden üretilmez bir kaynak olan kültürel miras için zorunlu olduğunu anlamamıza sebep olmuştur (Dinçer, 2013). Bu sebeple somut kültürel mirası oluşturan yapıların bir sonraki nesle aktarılabilmesinin yalnızca basit onarım ve yenileme faaliyetleri ile değil, geçmişten gelen geleneksel yapım teknikleri, inşaat teknolojileri ve dönemin sosyal ve ekonomik koşullarının anlaşılabilmesi gibi konularla da ilişkisi olduğu bilinmelidir (Uğurlu & Böke, 2009).

Korumanın basamakları olarak karşımıza çıkan, taşınır veya taşınmaz kültür varlıklarına yaklaşım modeli; belgeleme, teşhis, uygulama ve bakım olarak belirlenmiştir. Bu ana başlıklar muhakkak ki alt başlıklar ile çoğaltılabileceği gibi kültür varlıklarının korunması planı incelendiğinde birbirlerine ne kadar bağlı kaldıkları fark edilecektir. Bu bağlamda, yapıların mevcut durumunun analiz edilmesi, bu analiz kapsamında yapıya dair sorunların parçalara ayrılıp bir bütünü oluşturacak şekilde ortaya konması gereklidir. Koruma uygulamalarının genellikle karmaşık ve çok yönlü yapısı, bu planın düzenli bir halde sunulmasını gerektirir. Bu anlamda konservasyon raporu, bahsi geçen bu ana başlıkların her safhasında önemli bir yer tutmaktadır (Ersen ve ark., 2014).

Konservasyon raporunun amacı, toplanmış ve hazırlanmış belgeleme dokümanlarından da faydalanarak, yapıya dair mevcut durumu ve sorunları tespit etmek ve buna bağlı teşhisleri çözüme kavuşturmak adına öneriler sunmaktır. Dolayısıyla detaylı bir araştırma gerektiren bu bilimsel rapor, koruma biliminin çok disiplinli ve disiplinler arası yaklaşımına ihtiyaç duyar. Konservasyon raporunun, yapıya dair müdahalelere karar vermede ihtiyaç duyduğu teşhisleri ortaya koyan rapor ise malzemelerin analizleri ve bu analizlerin değerlendirilmesi ile ilgili incelemelerin yapıldığı bilimsel çalışmadır (Ersen ve ark., 2014). Geleneksel malzemelerin çeşitliliği de göz önüne alındığında, bunların incelenmesi ve bozulmalarının doğru teşhisi, koruma ve onarım uygulamalarının en doğru şekliyle ilerlemesine olanak sağlayacağından, bu analizler farklı uzmanlık alanlarının ortak çalışmaları ile ortaya konabilmektedir (Ersen & Güleç, 2009). Malzeme analizi raporlarında, yapı malzemeleri üzerinde yapılan deneyler temel alınarak yapının elemanları ve yapısı hakkında birçok bilgiye ulaşılabilmektedir. Bu bağlamda sıklıkla karşımıza çıkan malzemelerden biri kireç harçlarıdır. Kireç harçlarının üretim tekniklerinin ve çalışma prensiplerinin araştırılması ve anlaşılması, mevcut harçların karakterizasyonu, onarımlarda kullanılmak üzere ortaya konan kireç harcı terkipleri denemeleri gibi konular koruma biliminin ilgi odağındadır (Ersen & Verdön, 2010).

## 1. KİREÇ HARÇLARI

Bağlayıcı, agrega ve bazı zamanlar özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla katılan katkı maddelerinden oluşturulan, kompozit bir malzeme olan kireç esaslı (kireçli) harçların ilk olarak Mısır’da, MÖ 4000’li yıllarda sıva harcı olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Sağın ve ark., 2021). Anadolu ve Filistin’de duvarları renklendirmek için sulandırılmış kireç (badana) şeklinde kullanıldığına dair veriler de mevcuttur (Torraca, 2009). Bir başka araştırma ise kirecin kullanımını MÖ 6000 yıllarına, Çayönü kazılarında bulunan “*terrazzo*” zeminlerin keşfine kadar götürerek, üretim teknolojisinin geçmişine dair daha geniş bir açı yaratmaktadır (Elsen, 2006). Harcın tanımını Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN), Avrupa Standartları (EN) kapsamında, geleneksel yöntemler ile, bir veya birden fazla (genellikle inorganik) bağlayıcı, agrega, katkı ve katkı maddelerinin bir araya getirilmesiyle, duvar işçiliğinde yataklama, birleştirme, yapıştırma ve duvar yüzeylerinde bitiş (sıva) için kullanılmak üzere oluşturulan ve zamanla sertleşerek son halini alan malzeme olarak tanımlar (EN 16572, 2015).

### 1.1. Kireç Bağlayıcı

Harçların üretim teknolojisi, harcın ortaya çıkarılması adına insan gücü ve enerji ihtiyacına karşılık gelmektedir. Kireç harcını oluşturan bağlayıcı ve agreganın üretiminde; agreganın üretimi genellikle insan gücüne dayalı iken, bağlayıcı olan kirecin üretim safhası yüksek miktarda bir ısı enerjisi de gerektirmektedir. Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ihtiva eden kireç taşlarının kalsinasyonu (kızdırma), açığa çıkan kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) su ile hidrasyonu (söndürme) ve ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) karbondioksit ile reaksiyona girerek karbonatlaşmaya uğraması, kirecin üretimi ve harç içerisinde bağlayıcı olarak yeniden sertleşmesinin kısaca özetidir (Tablo 1).

**Tablo 1** Kirecin üretimi ve sertleşmesi süreci (Carran ve ark., 2012).

<b>KALSİNASYON</b>	$\text{CaCO}_3$ (Kireçtaşı) + Isı $\rightarrow$ CaO (Sönmemiş Kireç) + $\text{CO}_2$
<b>HİDRATASYON</b>	CaO (Sönmemiş Kireç) + $\text{H}_2\text{O}$ $\rightarrow$ Ca(OH) <sub>2</sub> (Sönmüş Kireç) + Isı
<b>KARBONATLAŞMA</b>	Ca(OH) <sub>2</sub> (Sönmüş Kireç) + $\text{CO}_2$ $\rightarrow$ CaCO <sub>3</sub> (Kireçtaşı)

Kirecin üretimi esnasında,  $\text{CaCO}_3$  içeren kireçtaşlarının  $900^\circ\text{C}$  ısıya maruz bırakılması (kalsinasyon) gerekir (Akman, 2003; Lechtman ve Hobbs, 1986). Bilimsel çalışmalar, kalsinasyon (kızdırma) işleminin MÖ 3000'li yıllardan beri bilindiğini, günümüzde Irak toprakları içerisinde yer alan Khafaje kazılarında keşfedilen verilerden ortaya koymaktadır (Dix, 1982). Kalsinasyon işlemi esnasında kireçtaşı ağırlığının yaklaşık %40 kadarını kaybeder. Vitruvius kalsinasyon işleminin bu aşamasını tarif ederken, taşların ısıtıldıktan sonra kütesinin değişmeyeceğini ancak ağırlıklarının üçte birine düşeceğini belirtir (Dürüşken, 2021). Son ürün olarak beklenen  $\text{CaO}$ 'in tamamen kızdırılması sabit ve yüksek bir sıcaklık gerektirdiğinden, tarihi kireç fırınlarının bu teknolojiyi kimi zaman sağlayamaması sonucu sönmemiş kirece dönüşmemiş kireçtaşı yumruları sık sık oluşmaktadır (Torraca, 2009). Yüksek bir üretim teknolojisi, kireç fırının sorunsuz çalışmasını veya çıkan ürünün elenerek bu kireçtaşı yumrularından temizlenmesini sağlayacaktır.

Sönmemiş kirecin ( $\text{CaO}$ ) su ile hidratasyona sokulması ile sönmüş kireç ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) elde edilmesi süreci, genellikle ahşap kireç söndürme havuzlarında başlatılıp kireç kuyularında tamamlanır (DeLaine, 2021). Kuyu içerisindeki kirecin hava ile temasını engelleyecek miktarda suyun yavaşça eklenmesi ve bekletilmesi, kirecin kalitesini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Torraca (2009), Vitruvius'un tarifine göre kirecin kuyularda bekletilme süresinin en az 1 yıl olması gerektiğini aktarır. Sönmüş kirecin bekleme süresinin uzunluğu,  $\text{Ca(OH)}_2$  parçacıklarının boyutunun küçülmesine sebep olur. Bu durum doğal olarak bağlayıcılık özelliği gösteren parçacıkların yüzey alanının artması ile sonuçlanır. Dönüşüm ne kadar fazla ise bağlayıcılık ve volkanik kökenli veya yapay haldeki amorf özellikteki reaktif minerallerden oluşan puzolanla reaksiyona girme oranı o derece artar (Kurugöl, 2017). Ortaya çıkan ürün ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), havadaki  $\text{CO}_2$  ile reaksiyona girecek ve sertleşerek planlanan inşaat sürecinde kullanılabilir. Kirecin kuyularda bekletilmesi esnasında üzeri hava almayacak şekilde su ile kapatılması, kullanım öncesi  $\text{CO}_2$  ile reaksiyona girmesini önleyecektir. Hava kireci ortamdaki  $\text{CO}_2$  varlığına ihtiyaç duyduğundan, uygulama sonrası hava ile teması kesildiğinde (su altında) veya aşırı nemli ortamlarda planlanan reaksiyona bağlı sertleşmesini gerçekleştiremeyecektir.  $\text{CO}_2$  varlığının olmadığı durumlarda, suyla reaksiyona giren farklı özelliklere sahip ürün ise hidrolik kireç bağlayıcıdır.

Kireç harcı teknolojisinin gelişimi, dönemin inşaatçıların sayısız denemeleri sonucu edindikleri tecrübelerinin bir bütünü olarak karşımıza çıkar. Kireç harcı, teknolojik bakımdan bu deneme süreçlerinden edinilen tecrübeler ile geldiği en yüksek teknolojiyi literatüre göre Roma Döneminde yakalamıştır (Torraca, 2009). Yazılı kaynakların gösterdiği, en azından MÖ 1. yüzyılda, inşaatçıların yapı teknolojisi ve kullanılacak malzemelerin doğru seçimi ile ilgili küçümsenmeyecek bir bilgi birikimine sahip olduklarıdır (DeLaine, 2021). Kirecin en saf halinin kullanılması gerekliliğini belirten Vitruvius bu önerisi ile esasen hidrolik olmayan kireç bağlayıcının üretimini, bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde tarif etmiştir. Günümüzde Roma Betonuna (*opus caementicium*) olarak bilinen ve bilinirliğini sağlam ve dayanıklı yapısından alan kompozit karışım ise hidrolik özellikli bir kireç harcıdır. Hidrolik özellik, bağlayıcının su altında da sertleşebilmesini işaret eder (Elsen ve ark., 2012). Harçlara hidrolik özelliğini, içerisinde kil bulunan kireç taşından elde edilen doğal hidrolik kireçler ve/veya harca katkı ve dolgu maddesi olarak katılan doğal ve yapay puzolanlar vermektedir.

Kireçlerin sınıflandırılmasında, hidrolik özelliğin keşfine dair ilk bilimsel çalışmalar John Smeaton'a aittir (Trout, 2019). Elsen vd. (2012) çalışmalarında Smeaton'ın, içerisinde kil bulunan kireç taşından elde edilen kirecin su altında sertleşme özelliğinin, saf kireçtaşından elde edilen kirece oranla bir hayli yüksek olduğunu kanıtladığını bildirmektedir. Yine aynı çalışmalarında yazarlar, hidrolik özelliğin sınıflandırılması ile ilgili ilk bilimsel çalışmaların ise Lois Vicat tarafından ortaya atıldığını bildirir. Vicat, hidrolik özelliği ilk kez  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varlığı

ile ilişkilendirmiştir. Kil içerikli kireç taşlarının içeriğinde bulunan  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , kireç üretimi esnasındaki yüksek sıcaklık (kalsinasyon) sebebiyle aktif di-kalsiyum silikatlara ( $\text{C}_2\text{S}$ ) ve monokalsiyum alüminatlara (CA) dönüşür ve bağlayıcıya hidrolik özelliğini kazandırır (Collepari, 1990).

Doğal hidrolik kireçlerin üretimi için gerekli olan, içerisinde kil mineralleri barındıran kireçtaşlarının kil miktarının en az %10-15 arasında olması öngörülür ve bu kireçtaşlarından elde edilen ürün, saf kireçtaşından elde edilen kirecin söndürülmesi işlemindeki gibi su ile söndürüldüğü takdirde sertleşerek kullanılmaz hale gelebilir. Az miktarda su ile kontrollü bir söndürme işlemi yapılan bu kireç toz halde elde edilir, sönmüş haldeki bu kirecin su ile karıştırıldıktan sonra ise kullanım ömrü gayet kısadır (Torraca, 2009).

Kireç harçlarına hidrolik özelliklerin kazandırılmasının bir diğer yolu ise puzolanların (doğal aktif killer) kireç harcına katılmasıdır. American Society of Testing and Materials (ASTM) C618-22 Standartı, puzolanları tarif ederken, yalnız başına kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliklerinin çok az olduğunu veya hiç olmadığını, ancak uygun nem ve normal ortam sıcaklığında sönmüş kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ile reaksiyona girdiğinde bağlayıcılık özelliği kazandıran ürünler ortaya çıkaran ince toz halindeki malzemeler olarak tanımlar (ASTM C618-22, 2023). Puzolanlar doğal (volkanik kül, tuf, tras vb.) veya yapay (pişmiş toprak seramik ve tuğla, silis dumanı, piring kabağı külü vb.) olarak elde edilirler (Kurugöl, 2017).

Puzolan kelimesi, Vezüv bölgesinde yer alan, Pozzuoli şehriden ismini almıştır. Torraca (2009) çalışmasında, atıfta bulunulan bu puzolanın oluşumunu volkanik patlama sonrası havaya püsküren silisli malzemelerin birikmesiyle oluşan bir toprak türü olarak tanımlar. Vitruvius, Baiæ çevresinde (Pozzuoli yakınları) ve Vezüv bölgesindeki bu toprağı tanımlarken, olağanüstü niteliklere sahip bir kum türü olduğunu, harç ve moloz ile karıştırıldığında su altında sertleşme özellikleri gösterdiğini yazar (Trout, 2019). Kurugöl (2017) puzolanik reaksiyonun kalsiyum hidroksitin ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) meydana getirdiği alkali seviyesi yüksek bir çözeltide, ortama yayılan kalsiyum iyonlarıyla ( $\text{Ca}^{2+}$ ) puzolanın amorf özellikteki reaktif mineralleri arasındaki kimyasal etkileşimle meydana geldiğini belirtir (Tablo 2).

**Tablo 2** Puzolan katkıları ile gerçekleşen hidrolik sertleşme reaksiyonu ve oluşan ürünler (Lechtman ve Hobbs, 1986)

$\text{CaO}_{\text{ kireç}} + [x\text{SiO}_2 \bullet y\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet z\text{Fe}_2\text{O}_3]_{\text{ reaktif puzolan}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{hidrat}$		
$\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \bullet 3\text{H}_2\text{O}$	jel	(tobernit, C-S-H)
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \bullet 6\text{H}_2\text{O}$	çubuk ve lif	(etrenjit, $\text{C}_3\text{AH}_6$ )
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	levha	(portlandit, CH)
$\text{C} = \text{CaO}, \text{S} = \text{SiO}_2, \text{H} = \text{H}_2\text{O}, \text{A} = \text{Al}_2\text{O}_3$		

Hobbs ve Siddall (2011) çalışmalarında, C-S-H jel fazının üretiminin boşluk doldurucu, yapıştırıcı ve mekanik kilitleme rolü üstlendiğini ve puzolanların özellikle nemli ortamlarda prizlenme özelliğine dikkat çekerek, puzolanik harçların maksimum mukavemete ulaşması için sertleşme esnasında nemli tutulması gerektiğini belirtmiştir.

Doğal puzolanların yanında kireç harcının özelliklerini değiştirme veya iyileştirme amacıyla kullanılan yapay puzolanların etkisi de uzunca bir zamandır bilinmektedir. Fenikeliler Dönemi'ne (MÖ. 10.yüzyıl) kadar uzanan bir periyotta, tuğla tozu ve kırığının harçlarda hidrolik özellik kazandırılmak amacıyla kullanıldığı, çeşitli bilimsel çalışmalarda gösterilmektedir (Baronio & Binda, 1997; Kurugöl, 2017). Kil mineralleri 400-800°C'de pişirildiğinde, oluşan amorf reaktif ürünler sayesinde puzolanik aktivite özelliği göstermektedir (Böke ve ark.,

2006). Kurugöl (2017) çalışmasında, sıcaklığın 900°C üzerine çıkması ile kararlı minerallerin oluştuğunu, böylelikle puzolanik aktivitenin kaybolduğunu belirtmektedir. Torraca (2009) çalışmasında, Antik Roma döneminde (MÖ. 6.yüzyıl ile MS. 1.yüzyıl arası) görülmeye başlanan, “*cocciopesto*” adı verilen kireç harcının içerisine pişmiş toprak ürünlerinin kırılmış ve öğütülmüş halinin eklenmesinin, hidrolik özelliğin talep edildiği ve doğal puzolanların bulunmadığı durumlarda tercih edildiğini bildirmektedir. Bizans döneminde, su ile temas halinde olan hamam, su kanalı, su kemeri, liman yapıları, sarnıç vb. yapılarda sıklıkla karşımıza çıkan bu kompozit ve hidrolik özellikli harç tipini en yoğun şekliyle Osmanlı döneminde horasan harcı adıyla görmekteyiz (Polat Pekmezci, 2012; Torraca, 2009).

### 1.2. Agregası

Kireç harcının bir diğeri önemli bileşeni ise agregasıdır. EN (Europeane Norm) 16572 Standardı agregayı; harçta kullanılan çeşitli boyutlardaki doğal sedimanlar veya kırılmış taş veya diğeri yapay malzemelerin parçacıkları şeklinde tanımlarken, 4 mm ve 0,063 mm arasında kalan ince agregaları kum olarak tarif etmiş ve agrega boyutunu 0,063 mm'den büyük parçalar için belirlemiştir (EN 16572, 2015).

Agregalar çoğunlukla doğada parçalanmış ve/veya kırılmış doğal taşlar ve pişmiş toprak ürünlerden elde edilir. Kırılarak öğütülen bu agregaların bir bağlayıcı sisteme eklenmesinin, hacim stabilitesine, dayanıklılığa ve yapısal performansa katkıda buldukları için teknik avantajlar sağladığı kanıtlanmıştır. Harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin bir kısmı, dolaylı olarak agreganın cinsine, özelliklerine, tane boyut dağılımına ve aynı zamanda bağlayıcı/agrega oranına göre önemli ölçüde değişir (Stefanidou & Papayianni, 2005). Öğütülen agregalar harcın içerisine genellikle rastgele eklenmez. Eski inşaatçıların uzun yıllar boyunca edindikleri deneyimler, harçların fiziksel ve kimyasal etkilerini arttırmada agreganın rolü ve boyutları ile ilgili de tecrübe edinmelerini sağlamıştır. Çeşitli dönemlere ait harçların incelendiği bilimsel bir çalışmada, agregaların belirli boyut aralıklarında kullanıldıkları tespit edilmiştir (Pachta ve ark., 2014). Bu durum üretim teknolojisinin anlaşılması adına da değerlidir. Yapılan bazı bilimsel araştırmalar, uygun agrega boyutu ve miktarı ile hazırlanan harçlarda yoğunluğun arttığı, gözenekliliğin (tür ve boyutu dikkate alınmak şartı ile) azaldığı ve buna bağlı olarak mukavemetin arttığı yönündedir (Ferreira ve ark., 2021).

### 1.3. Katkı ve Katkı Maddeleri

Tarihi kireç harçlarının içerisine, harcın taze ve sertleşmiş özelliklerini, yani işlenebilirlik, sertleşme süresinin ayarlanması, dayanıklılık, mukavemet vb. özelliklerini geliştirmek adına bazı organik ve inorganik katkı ve katkı maddeleri de eklenmektedir. EN 16572 Standardı katkı ve katkı maddelerini tanımlarken; katkı maddesini (additive), harcın imalatı esnasında bağlayıcı içerisine küçük miktarlarda eklenen (hızlandırıcı, plastikleştirici, hava sürükleyici vb.) ve özelliklerini değiştirmek veya iyileştirmek amacıyla kullanılan ilave, katkıyı (admixture) ise, harç karışımının özelliklerini değiştirmek için karışım içerisine ağırlıkça en az %1 oranında eklenen bağlayıcı, agrega ve su dışında kalan ek malzeme olarak tanımlar (Maravelaki ve ark., 2023, EN 16572, 2015). Doğal ve yapay puzolanik malzemeler de inorganik katkı maddeleri sınıfında değerlendirilebilir. Katkı maddeleri ve katkıları, harçların uygulama aşaması ve uzun vadeli kullanım koşullarının iyileşmesi adına önemlidir (Tekin & Kurugöl, 2012).

## 2. TARİHİ KİREÇ HARÇLARININ KARAKTERİZASYONU

Tarihi yapılar, günümüz yapım teknolojilerinin aksine, standart üretim teknolojisinin yetersiz olduğu, birçok farklı malzemenin bir araya gelmesiyle oluşturulmuş ve yapı teknolojisinin tecrübelerine dayanarak ortaya konduğu sistemlerdir. Dolayısıyla yapıların bozulma durumları, zamana bağlı etkilerle olduğu kadar, yapım teknikleri ve hatta çevresel faktörlere de bağlı gelişebilmektedir (Uğur & Güleç, 2016). Bu anlamda koruma laboratuvarlarının yapıların malzeme ve strüktürleri ile ilgili sorunları yanıtlama potansiyeli gayet yüksektir. Günümüz koruma anlayışında, konusunda uzman kişilerce yürütülecek olan görsel, basit ve ileri teknik analizler, yapıların mevcut durumu, malzeme çeşitleri, bozulma süreçleri vb. konuların aydınlatılmasında önemli bir yer tutmaktadır (Polat Pekmezci, 2023). Yapıların korunmuşluk durumu, bozulmayı etkileyen faktörlerin bir kısmı ve basit uygulama yöntem ve malzemelerinin tespiti için yapılacak basit analizlerin yanında, malzemelerin iç yapılarını inceleyen, imalat süreçlerinin ve yapım tekniklerinin de ortaya çıkarılması çabası yanında tarihsel sürecinde aydınlatılmasına da yardımcı olabilecek ileri teknik analiz yöntemleri de mevcuttur. (Ersen & Güleç, 2009). Kireç harçlarının karakterizasyonu çalışmaları, örneklerin yapı üzerinden alınması ve makro gözlemleri ile başlar, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya konması adına yapılan deneyler ve kimyasal ve mikro yapılarının araştırılması adına yapılan analizler ile laboratuvar ortamında sonuçlandırılarak koruma ve onarım çalışmalarına yardımcı olacak bilgileri ortaya koymayı amaçlar (Kahraman, 2008).

### 2.1. Karakterizasyon Çalışmaları

Tarihi kireç harçlarının karakterizasyonu çalışmalarının genel anlamda iki amacı vardır; ilki planlanan koruma ve onarım çalışmalarını projelendirmek üzere problemlerin tespiti ve özgün yapı ve malzemelerle uyumluluk ilkesi gereği kullanılacak ikame malzemelerinin belirlenmesi adına karakterizasyon çalışmalarının yapılması, ikincisi ise yapıların ve yapı malzemelerinin yapısal, fiziksel ve kimyasal yapılarının araştırılması ile uzun vadeli koruma planlarının çıkarılması, aynı zamanda yapım tekniklerinin ve üretim tekniklerinin belirlenmesi ile koruma planına katkı sağlamasıdır (Hughes ve Callebaut, 2002). Dolayısıyla yapılacak analizlere dair örneklerin seçimi, bu örneklerin miktarları, analizlerden beklenen sonuçlar ve/veya potansiyel sonuçlar bu amaçlara uygun şekilde belirlenmektedir.

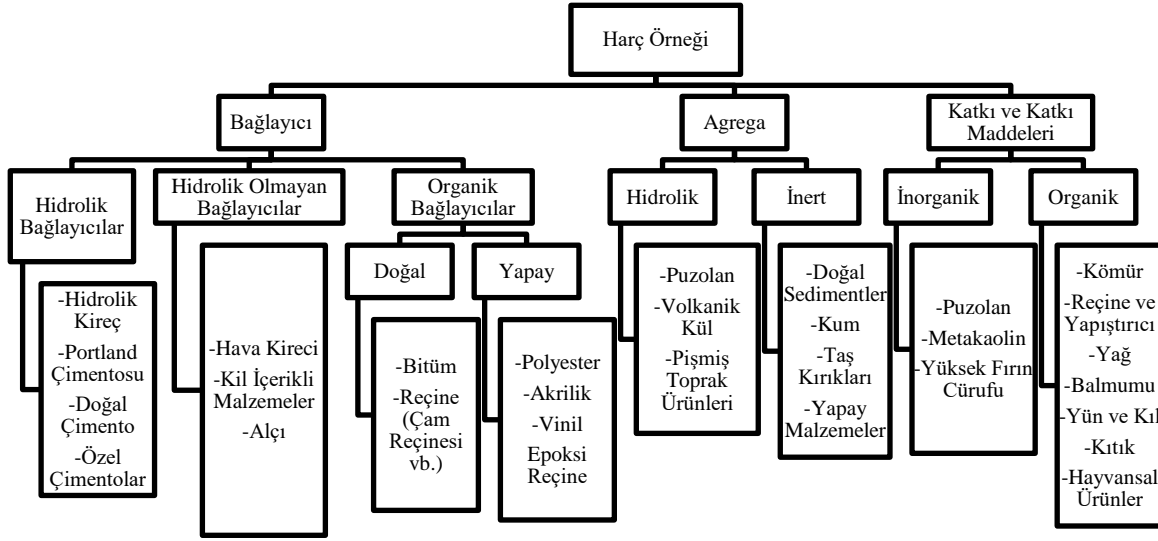
Tarihi harçların karakterizasyonu çalışmaları dört basamakta ilerlemektedir. Bunlardan ilki yapının görsel analizi, sorunların tespiti ve buna bağlı örnek yerlerinin belirlenmesi, ikincisi analizi yapılacak örneklerin alınması, üçüncüsü alınan örnekler üzerinden amaca yönelik saha ve laboratuvar analizleri ve dördüncüsü sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir. Bu durumda yapının dönem analizi dahil gerekli belgeleme rapor ve çizimleri ile yapıya dair yeterli bilginin sağlanması ve belirgin bozulma sebeplerinin ve muhtemel kaynaklarının doğru tespiti ile analizi yapılacak malzemelerin belirlenmesi gereklidir. Örnek miktarlarının gerekenden fazla (planlanan analiz prosedürlerinin ihtiyacı olan standart miktarlar) olması, koruma yaklaşımının en az müdahale felsefesiyle çelişecek ve analiz sürecinin de ekonomik açıdan verimsiz olmasına sebep olacaktır. Bu sebeple analizi yapılacak örneklerin, analizi yapan kişiler ve/veya analiz sürecine hâkim olan projede sorumlu koruma uzmanları tarafından belirlenmesi gereklidir. Böylelikle uygun olmayan örneklerin analiz sürecine dahil edilmesi engellenebilir.

Analizi yapılacak örneklerin belirlenmesi sonrası, bu örneklerin yapı üzerindeki yerleri, mevcut belgeleme çizimlerine veya diğer dokümanlarına işlenmeli, örnek alınan bölgenin detaylı fotoğrafları – üzerinde örnek numarasının da olması şartı ile – çekilmeli ve yapının örnek alınan yeri kısaca yazı ile tarif edilmelidir. Alınan numunelerin cinsleri ve hangi amaçla alındıkları da bu aşamadaki belgeleme sistemine eklenmelidir (Ersen ve ark.,



2014). Hughes ve Callebaut (2002) çalışmasında, analizi yapılacak örneklerin sahada belgelenmesi işleminin, ileride yapılacak akademik araştırmalar adına, sonuçların güvenilirliği bakımından da önemli olduğunu belirtir. Bu durum yeniden örnek almanın imkânsız olduğu durumlar için de geçerlidir. Laboratuvar analizlerinde kullanılacak örneklerin, analiz sonuçlarının doğrulanabilmesi ve karşılaştırılabilmesi adına her bir örnek noktasından 3'er adet alınması tavsiye edilmekte, örnek toplamanın zorlukları göz önüne alınarak, analizlerden doğru sonuçlar alınabilmesi için en az 10 gram olmak koşulu ile yaklaşık 25-50 gram ağırlığında olması önerilmektedir (Ersen ve ark., 2014). Bu miktarlar, normal şartlar altında belirlenmiş olup, daha az örnek miktarının alınabileceği durumlar için geçerli değildir. Harç, sıva vb. örnekler, kritik miktarlarda yapıdan alınabildiği için, örneklerin laboratuvar ortamına taşınması esnasında zarar görmemeleri adına koruyucu önlemlerin alınması gereklidir. Plastik ve kilitli poşetler içerisine, tüm belgeleme kodlarının kısaca tarif edilerek üzerine yazıldığı ve nemden etkilenmeyecek fişleri ile konulacak örnekler, plastik sert kutular ile laboratuvara taşınmalıdır.

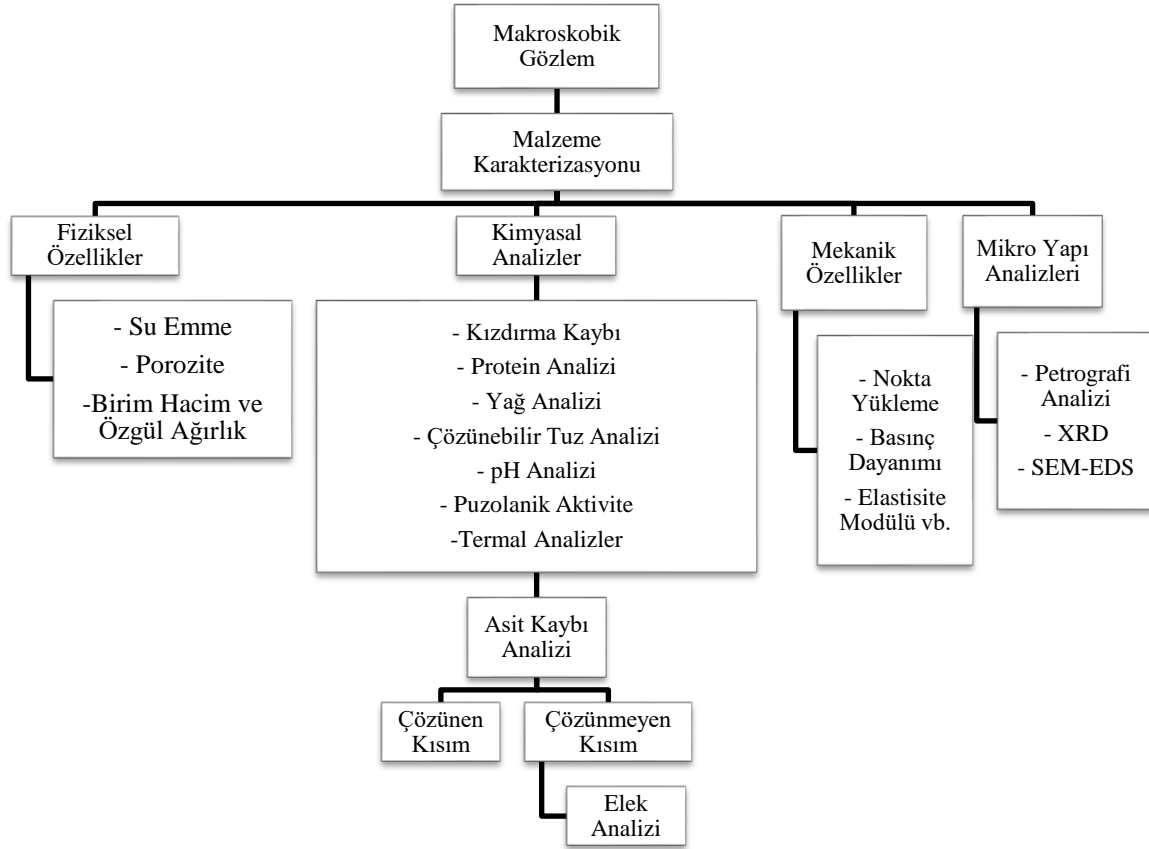
Tarihi harçların laboratuvar incelemeleri ise, öncelikle örneklerin laboratuvar ortamında makroskobik analizi ve buna bağlı belgeleme çalışmaları ile başlamaktadır. Sahadan alınan örnekler ve beraberindeki belgeleme dokümanları ışığında, örneklerin makroskobik analizleri yapılarak belirli standartlarda fotoğraflarının çekilmesi ile laboratuvar analizi süreci başlatılır. Örneklerin fotoğraflarının çekimi, uygun ölçekler ve Munsell renk sistemi yardımı planlanması önerilir (EN 17187, 2020). İlk incelemeler sonucu, örneklerin genel durumu, rengi, dokusu, miktarı, hangi amaçla alındıkları ve beklenen sonuçlar ışığında analiz yöntemleri arkeometristler tarafından belirlenir. Bu aşamada yeniden örnek alma ihtiyaçları da tespit edilebilir. Tarihi harçların karakterizasyonu kapsamında, harcın yapısını oluşturan bağlayıcının cinsi, agreganın cinsi ve boyutları, bağlayıcı/agrega oranı (B/A) ve katkıların cinslerinin tayini ile harcın fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1 Kireç harcı bileşenleri şeması (EN 17187, 2020).

## 2.2. Analiz Yöntemleri ve Sonuçları

Kireç harçlarının laboratuvar ortamında belgeleme işlemleri ve makroskobik incelemeleri sonrasında uygun analiz yöntemleri laboratuvar uzmanları tarafından belirlenir. Bu durumda, analiz sonuçlarından beklenen veriler doğrultusunda harç örneğinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve mikroskobik incelemeleri başlatılır (Şekil 2). Analiz yöntemleri, hazırlanan konservasyon raporunun amacına ve ihtiyaç duyulan verilere göre değişiklik göstermektedir. Koruma ve onarım çalışmaları, malzeme araştırmaları ve tarihsel/arkeolojik araştırmalar doğrultusunda gerçekleştirilen bu analiz yöntemlerinin tüm basamaklarının her zaman tamamlanması beklenmez. Bu prosedürün işleyişi kimi zaman ekonomik sebeplerle, kimi zaman örneklerin yetersizliği, kimi zaman ise mevcut ekipman ve uzmanların eksikliği sebebi ile de yarım kalabilmektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere, analiz sürecinin aşamaları tüm bu şartlar göz önünde bulundurularak en elverişli ve sürdürülebilir şekliyle programlanmalıdır.



Şekil 2 Kireç harçlarının analiz yöntemleri, (Kahraman, 2008) yayınından derlenmiştir.

### 2.2.1. Fiziksel Özellikler

Harçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, kompozit yapının genel olarak su emme kapasitesi, kütle ölçümleri, gözeneklilik (porozite) çeşit ve dağılımları gibi özelliklerinin ortaya konması amacıyla yapılır. Onarım harçlarının belirlenebilmesi adına da önemli bir aşama olan bu analizler, karakterizasyonu adına planlanacak diğer analizler ile de bağlantılar kurması açısından faydalıdır.

#### a. Su Emme Deneyi

Harcın fiziksel özelliklerinin belirlendiği analizlerde biri su emme deneyidir. Su emme deneyinde gözenekli numunelerin (harç, taş, tuğla vb.) kütle ve hacimce su emme miktarları hesaplanır. Su emme deneyleri, belirlenen standartlar dahilinde harcın laboratuvar ortamında çeşitli yöntemler ile su emme miktarlarını belirlemek için kullanılır. Su emme deneyi sonuçları, malzemenin açık gözenekliliği ile doğrudan ilişkilidir. Bu deney kapsamında, özgün harçların su emme miktarının tayini yanında, onarım için üretilecek harçların su emme miktarlarının tespiti ve taş ve tuğla gibi malzemelerin su emme miktarları ile karşılaştırmaları, koruma ve onarım faaliyetlerine yön vermesi bakımından tercih edilmektedir. Özgün harçların su emme kapasitesi ve kuruma döngüsü, su ve nem kaynaklı (donma-çözülme, çözünebilir tuz hareketleri, nem kaynaklı kimyasal bozulmalar) olası hasarların tahmin edilmesinde de kullanılabilir. Bu hasarların önlenmesi adına kullanılan kimyasallardan biri de su itici malzemelerdir. Buhar geçirgenlikleri yüksek su itici malzemelerin gözenekli yüzeylere uygulandığı bir deneysel çalışmada, kuruma döngüsüne dikkat çekilmiş ve su itici malzemelerin kuruma döngüsünü uzattığı bildirilmiştir (Groot ve Gunneweg, 2012). Dolayısıyla harçların su emme testleri ile elde edilecek sonuçlara göre koruma ve onarım çalışmalarında kullanılacak malzemelerin özellikleri belirlenebilmektedir.

### b. Porozite Tayini

Fiziksel özellik analizlerinden biri olan porozite tayini, harcın fiziksel yapısını anlayabilmek için önemli bir yer tutmaktadır. Bu analiz ile, porozite cinsi, miktarı ve dağılımı hakkında veriler elde edilebilmektedir (Ersen ve Güleç, 2009). Porozite, harcın nem taşınması, mekanik özellikleri, dayanıklılığı, sertleşme esnasındaki davranışları ve harcın duvar ile uyumluluğu gibi konularda etkili faktörlerden biridir. Harçların porozitelerinin belirlenmesi, diğer analiz sonuçları ile de bağlantı kurulabilmesi adına dikkatle takip edilmelidir. Porozite, International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) tarafından boyutları bakımından üç bölümde incelenir. Bunlar; mikro gözenekler (< 2 nm), mezo gözenekler (2 nm -50 nm aralığı) ve makro gözenekler (> 50 nm) olarak belirlenmiştir (1 nm = 10<sup>-6</sup> mm) (Thomson ve ark., 2004). Kılcal (kapiler) hareket ile nem transferleri, makro gözenek boyutunda ve 0,1 µm ile 100 µm arasında gerçekleşir. 100 µm'den daha büyük gözenekler ise yerçekimi ve rüzgâr kaynaklı su geçirgenliğine katkıda bulunur. Açık, kapalı ve toplam gözeneklilik ölçümleri ile değerlendirilen gözeneklilik üzerine yapılan bazı çalışmalar, gözenekliliğin artışının (gözenek boyutunun artışı daha belirgin bir etki olarak belirtilmekte), kireç bağlayıcı içerisinde boşluklar yaratmasına bağlanarak harcın mukavemetinde azalmalara sebep olduğunu bildirmektedir (Trout, 2019; Thomson, 2004). Buna karşın Maravelaki vd. (2023), gözenekliliğin donma olaylarına ve çözünebilir tuz hareketlerine karşı, oluşacak fiziksel gerilmeleri sönmemesi ile harcın direncinin artmasına yardımcı olduğunu bildirerek, harca taze haldeyken eklenen katkı maddeleri ile gözenekliliğin bilinçli oluşturulması durumlarını da örnek vermiştir. Hidrolik olmayan kireç esaslı harçlarda, gözenekler harcın içerisine CO<sub>2</sub> akışını hızlandırdığı için, karbonatlaşmayı tetikler. Dolayısıyla bazı araştırmalar, uygun bağlayıcı/agrega oranına sahip hava kireci esaslı harçların gözenekliliğinin, mekanik özelliklerin azalmasına sebep olmadığını bildirir (Lanas & Alvarez, 2003). Thomson ve ark. (2004), onarım harçları hazırlanırken, özgün harcın toplam gözenekliliğinin kopyalanması işleminin bazı zorluklar içerdiğinden bahsederken, gözenekliliğin yıllar içerisinde değişkenlik göstermesi ve referans alınacak gözenekliliğin hangi zamanda oluşacak gözeneklilik olduğuna karar vermenin zorluğunu ortaya koyar. Bazı araştırmalar ise, karakterizasyon çalışmaları kapsamında yapılacak analizler sonucu içeriği belirlenip önerilecek onarım harçlarının özgün malzemeler ile uyum sorunu yaşamayacağını savunmaktadır (Ersen ve Güleç, 2009).

### c. Birim Hacim Ağırlığı (Görünür Yoğunluk) ve Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk) Analizleri

Su emme deneyi sonuçlarında da faydalanarak hesaplanan yoğunluk hesaplamaları, harçların mekanik özellikleri ile de ilişkilendirilebilmektedir. Araştırmacılar, yoğunluk ve gözeneklilik arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirtirken, gözenekliliğin azalmasının yoğunluğun artışına sebep olacağını, bu durumda harçların mekanik özellikleri ile ilişki kurulabileceğini belirtmektedir (Frankeová ve ark., 2012). Bu durum, onarım harçlarının üretiminde kullanılan malzemelerin tercihi, bağlayıcının cinsi, katkı maddelerinin cinsi ile ilişkili olduğu kadar, taze harcın uygulanmasındaki yöntemlerle de değişebilmektedir. Stefanidou vd. (2005) çalışmalarında, taze harcın (henüz sertleşmemiş, şekil verilebilir haldeki) yerleştirilmesindeki sıkıştırma uygulamalarının, harcın gözenekliliğinde azalma yaratarak yoğunluğunun artmasına, bu sebeple uzun vadeli mukavemetlerinin de artmasına sebep olduğunu bildirmektedir.

## 2.2.2. Kimyasal Analizler

Harçların kimyasal analiz yöntemleri, agrega ve bağlayıcı cins ve oranlarını belirlemede uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu anlamda 1960'lı yıllardan beri literatür çalışmalarında sıklıkla görülen analiz yöntemleri

bağlayıcı ve agrega cinsi, agrega dağılımları ve miktarı ve bağlayıcı/agrega oranlarının tespiti çalışmaları yapılmaktadır (Jedrzejewska, 1960).

*a. Asit Kaybı Analizi*

Kimyasal analiz yöntemlerinden biri, örneklerin seyreltik (%10) HCl (hidroklorik asit) ile muamele edilmesi ile yapılan asit kaybı analizidir (Ersen ve Güleç, 2009). Asit kaybı analizinin teorik beklentisi, kireç bağlayıcının asit ile reaksiyona girmesi ve asit reaksiyonundan etkilenmeyecek olan silisli agreganın bozulmadan kalması üzerine kuruludur. EN 17187 Standardı, bu durumda dikkat edilmesi gereken unsurun, kireçtaşı (karbonatlı) parçacıklarından oluşan agregaların da asit ile reaksiyona girmesi olduğuna dikkat çekmiş ve bu durumun sonuçları etkilemesi ile B/A oranlarında yanılmalara sebep olacağını belirtmiştir (EN 17187, 2020). Asit kaybı analizi tek başına doğru bilgi sağlamada yetersiz kalabilmektedir. Kireç ihtiva eden agreganın varlığı veya asitte çözünebilir malzemelerin bulunması, analiz sonuçlarının yorumlanmasında diğer yöntemlerin desteğine ihtiyaç doğurur (Middendorf ve ark., 2007). Araştırmacılar agregada kireçtaşı esaslı malzemelerin varlığının tespitinde XRD (X-ışınları difraksiyonu) ve petrografik analizleri önermektedir (Candeias ve ark, 2006). Asit ile reaksiyona girmeyen agregalar, elek setinden (8000µ ile 63µ aralığında) geçirilerek ayrılır, böylelikle agreganın boyut dağılımı, oranı ve tipi incelenebilir bir hal alır.

*b. Kızdırma Kaybı Analizi*

Bir diğer kimyasal analiz yöntemi de kızdırma kaybı analizidir. Kızdırma kaybı analizi, harç numunelerinin sürekli artan sıcaklık altında meydana gelen ağırlık değişimlerinin ölçülmesi ve bu değişim miktarlarından faydalanarak 105 °C'de nem, 550 °C'de molekül suyu (bağlı su) ve organik madde miktarının belirlenmesi ve 1050 °C'de CO<sub>2</sub> kaybından CaCO<sub>3</sub> miktarının hesaplanması üzerine kurulu bir yöntemdir (Dean, 1974; Güleç, 2020). Araştırmalar, kızdırma kaybı analizi sonuçları ile ortaya çıkan CO<sub>2</sub> kaybı ile bağlı su (H<sub>2</sub>O) kaybının oranı (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) üzerinden bağlayıcının hidrolik olup olmadığının anlaşılabilirliğini belirtmektedir (Altaş ve ark., 2012).

*c. Protein ve Yağ Analizleri*

Protein ve yağ analizleri, harcın içerisinde bulunan bağlayıcı, katkı ve katkı maddelerinin bazılarının tespitinde kullanılmaktadır. Sıvalarda genellikle katkı maddesi olarak görülebilen protein, boyalarda bağlayıcı olarak kullanılabilir. Analiz sonucundan alınacak veriler ile koruma ve onarım malzeme ve yöntemleri belirlenebilmektedir. Örneklerin içeriğinde yağ ve protein takibi yapılırken, ön incelemede veya saha analizinde, mevcut örneklerin dış etkenlerden kaynaklı yağ ve protein içerip içermeyebileceği belgelenmeli veya not alınmalıdır.

*d. Çözünabilir Tuzların Analizi*

Çözünabilir tuz analizleri, belirli standartlarda hazırlanmış olan örnek numunelerinin kalitatif ve kantitatif olarak içerisinde bulunan çözünabilir tuzların tayini için kullanılmaktadır. Hazırlanan numuneler içerisindeki tuzların cinsi ve miktarı üzerinden bozulmaların veya üretim aşamasının yorumlanması yapılabilir. Bu analiz kapsamında klorür (Cl<sup>-</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sülfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) ve fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) varlığının tespiti yapılmaktadır. Çözünabilir tuzlar, harç içeriğine katılmış malzemelerden kaynaklandığı gibi, dış etkenlerden harç içerisine de yerleşebilmektedir. Bahsi geçen çözünabilir ve az çözünabilir tuzların harç içerisindeki ve yüzeyindeki hareketleri fiziksel ve kimyasal hasarlara sebep olmaktadır. Çözünabilir tuzların hareketi sebebi ile en sık görülen hasar cinsleri, harç ve diğer yapı elemanlarının yüzeyinde tuz lekelenmeleri biçiminde görülen çiçeklenme (efflorescence) ve yüzeye yakın malzemenin iç kısmında oluşan ve daha yoğun fiziksel hasarlar ile sonuçlanan kabuk altı çiçeklenme (crypto efflorescence)'dir.

*e. pH Analizi*

Harçların pH değerlerinin ölçümü, ortamın asidik, bazik veya nötr olması sonucundan, bozulmaların tespitini ve istenmeyen pH değerlerinin kaynaklarının tespitini sebebi ile önemlidir. Teutonico (1988) çalışmasında, yağmur ve kar gibi aşırı asidik veya alkali (bazik) olabilecek ve yapı malzemelerine zarar verebilecek durumların da analizinin önemine dikkat çekmiştir.

*f. Puzolanik Aktivite Analizi*

Analizler sonucu harçların hidrolik özelliklerinin tespiti gerçekleşmesi durumunda, hidrolik özelliğin sebebinin araştırılması adına bazı testler yapılmaktadır. Bu testler, yani puzolanik aktivite testlerini Kurugöl (2017) çalışmasında; kimyasal, fiziksel, mekanik ve ileri teknik analizler şeklinde sınıflandırılmıştır. Kireç harçlarına hidrolik özellikler kazandırmak amacı ile eklenen doğal ve yapay puzolanların tespiti ve onarım harçlarında kullanılması ile ilgili birçok bilimsel yayın mevcuttur. Puzolanik aktivitenin varlığı, akabinde bu aktiviteye sebep malzemenin cinsinin tayini ve tespit edilen puzolanın aktivite değeri bu araştırmaların konusunu oluşturur. Sıklıkla kullanılan puzolanik aktivite analizlerinden ilki; asit ve baz atakları ile harç örneğinde bulunan karbonat, silikat ve alüminatların elenmesi, kalan kristal haldeki puzolanın XRD ile incelenmesidir. Bir diğer analiz yöntemi ise doygun  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  çözeltisi içerisine puzolanik aktivitesinin ölçülmek istenen malzemenin 125  $\mu\text{m}$  elek altı boyutlarında eklenmesi ve iletkenlik değişiminin ölçülmesi üzerine kuruludur (Kahraman, 2008). Puzolanların tayini, harçların yapım teknikleri açısından da önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca yapım tekniğinin tespiti onarım malzemelerinin de özgün yapıyla uyumluluğu amacıyla başarılı bir sonuç çıkaracaktır. Bilimsel bir çalışma kapsamında, tarihi harçlarında hidrolik özellik tespit edilen Anemas Zindanları örneklerinde yapılan çalışmada, onarım harçlarının oluşturulmasında doğal bir puzolan malzeme kullanılmış, üretilen bu onarım harçlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikro yapı analizleri tamamlanarak onarım süreçleri adına başarılı sonuçlar alındığı kaydedilmiştir (Gürdal ve ark., 2009). Bir diğer bilimsel çalışmada, aynı duvar üzerinde aynı dönemde yapılan harçların bazılarının hidrolik, bazılarının ise hidrolik olmayan harçlardan üretildiğinin tespit edildiği örnekler de mevcuttur (Rappoport, 2016). Bu durum yapım tekniği açısından önemli bir veri olduğu kadar, onarım harçlarının tayini adına seçilecek örneklerin ve yapılacak analizlerin belirlenmesi içinde farklı bir bakış açısı vermektedir.

*g. Termal Analizler*

Termal analizler, termodinamik ve fizikokimyasal parametreler ile sıcaklık değişimleri arasındaki ilişkiyi analiz eden bir yöntemdir (Zhao ve ark., 2019). Malzeme içeriğinin tespitini termogarvimetrik analiz (TGA), diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemleri ortaya koyar. Araştırmacılar bir vaka çalışmasında, termal analiz sonuçlarını XRD sonuçları ile birlikte değerlendirerek, nem değerleri de dahil olmak üzere, bağlı su ve hidrolik ürünlerin kütle kayıplarından harçlardaki hidrolik özelliğin tespitini ve bazı örneklerinde bulunan alçı varlığının tespitinin yapıldığını doğrulamıştır (Ferreira ve ark., 2021).

**2.2.3. Mekanik Özellikler**

Tarihi harçların mekanik özelliklerinin tespiti, bu deneylerin ihtiyacı olan standart kütle ve boyutların gerekliliğinden dolayı, alınan numunelerin şekil ve boyutlarındaki kısıtlamalar sebebi ile her zaman tamamlanamayabilmektedir. Genellikle özgün harçlar üzerinde nokta yükleme testleri ile alınan sonuçlar üzerinden gidilen mekanik özelliklerin tayini çalışmaları, laboratuvarında üretilen onarım harçları üzerinde tüm prosedürün işlenmesi ile gerçekleştirilebilir. Araştırmacılar özgün malzemenin deney standartlarına uygun miktarda elde

edilememesine dikkat çekerek, ultrasonik ses dalgası (UPV) veya Schmidt Çekici gibi in-situ deneyler ile mekanik özelliklerin tayini hakkında bilgi edinilebileceğini bildirmektedir (Loke ve ark., 2023). Mekanik özellikler, harcın bileşenleri ve fiziksel özellikleri ile doğrudan bağlantılı olduğundan, onarım harçlarının uygulama sonrası gösterecekleri performansların belirlenmesi adına önemli görülmektedir. Fakat yalnızca harçlar üzerinden mekanik özelliklerin belirlenmesi, yapıya dair statik durumun ortaya konması için yeterli değildir. Bu testler yapıyı oluşturan diğer elemanların da testleri ile beraber değerlendirilmektedir. Torraca (2009) çalışmasında, gözenekli bir yapı malzemesi olarak tanımladığı harçlardan bahsederken, atomik yapılarından örnek vererek, sert, katı ve kırılğan bir yapıda olduklarını belirtmiş, bu tip yapıların çekme mukavemetlerinin basınç mukavemetlerine oranla çok düşük olduğuna dikkat çekmiştir. Yapılan bir bilimsel çalışmanın sonuçları, puzolan katkılı kireç harçları (hidrolik özellikli) ile puzolan katılmayan kireç harçlarının mekanik değerlerini karşılaştırmış ve puzolan katkılı harçların mekanik özelliklerinin bu karşılaştırmada artışına dair sonuçları raporlamıştır (Sala ve ark., 2008). Bir başka çalışma olan İBB KUDEB tarafından hazırlanan yayında, çeşitli bağlayıcı türleri ve terkiplerde hazırlanmış birçok onarım harcının mekanik özelliklerinin sonuçlarını derlediği bir raporu, bilimsel araştırmalar ve koruma ve onarım uygulamalarına fayda sağlaması adına yayınlamıştır (İBB KUDEB, 2016). Loke vd. (2023), onarım malzemelerinin, çoğu durumda özgün malzemelerin dayanımlarına eşit veya daha düşük dayanımlara (çok zayıf dayanımlar kastedilmiyor) sahip olması gerektiği belirtir. Bu durum, malzemelerin tekil olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin benzerliğine yapılan atıf kadar, yapı statığının bütüncül çalışma prensiplerinin de göz önünde bulundurulmasını işaret etmektedir.

#### 2.2.4. Mikro Yapı Analizleri

Tarihi harç örneklerinin iç yapılarının incelenmesi çalışmalarını Kahraman (2008), bağlayıcı, agrega, katkı ve katkı maddelerinin varlığı, bunların mineralojik yapısı, bozulmadaki mineralojik evrelerin tespiti ve silikatlaşmış bileşiklerin incelenmesi adına yapıldığını belirtmektedir. Bu analiz çalışmaları, örneklerin ince kesitleri üzerinden yapılan petrografik analizler ve ileri teknik cihazlar yardımı ile gerçekleştirilir. İnce kesit analizleri yöntemi ile hazırlanan örnekler üzerinde yapılan incelemeler, agreganın tipi, boyutu, rengi, bağlayıcı üzerinde çözünebilir tuzların yarattığı bozulmalar gibi araştırmaların sonuçlarına ulaşılabilir (Candeias, ve ark., 2006). Petrografik analizler yardımı ile tespit edilemeyen çok küçük boyutlu mineral yapıları SEM-EDS (taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımı spektrometresi) ve XRD (X ışını kırınımı) cihazları ile gerçekleştirilir ve özellikle hidrolik yapıyı oluşturan evrelerin tespitinde kullanılır. XRD analizlerinin sonuçlarının değerlendirilmesine bir örnek Kurugöl (2017) tarafından verilmiş, tuğlaların pişirilme derecesinin tespitinde belirli sıcaklıklarda oluşan minerallerin varlığı ve yokluğu üzerinden bir çıkarım gerçekleştirmiştir. Yazar bu çalışmasında, 900°C ve üzerinde pişirilen tuğla ve seramik örneklerinde tespit edilecek mineralleri sıralarken, bu sıcaklığın pişmiş toprak ürünlerin yapay puzolanik özelliklerini kaybettiği nokta olarak belirtmiştir. Dolayısıyla kireç harçlarına katılan yapay puzolanların (pişmiş toprak ürünler) hidrolik aktivitesi ve yapım teknikleri açısından önemli bir tespit bu analiz yöntemi ile ortaya konabilmiştir.

### 3. SONUÇ

Tarihi harçların karakterizasyonu; konservasyon ve restorasyon çalışmaları, arkeolojik ve tarihsel araştırmalar, malzeme araştırmaları veya tüm bunların birleştiği kapsamlı bir proje dahilinde, görsel analizler ile başlayarak aletli analizlere kadar varan bir araştırma sürecidir. Bu sürecin ortaya konması, birçok farklı disiplinin kültürel

mirasın korunması kapsamındaki bilgi birikimine ihtiyaç duyar. Dolayısıyla bu sürecin her basamağı, yürütücülerinin sürece dair farkındalığını da gerektirir. Çeşitli yapı malzemelerinin bir araya gelmesiyle oluşturulan tarihi yapıların önemli bir kısmında karşımıza çıkan kireç harçları, yapıların bütüncül koruma-onarım projelerinde en hassas yaklaşılması gereken unsurlardan biridir. Tarihi yapılarda genellikle en basit görülen onarım faaliyeti, tahrip olmuş harç ve sıvaların ikame malzemeler ile yeniden uygulanmasıdır. Koruma-onarım projelerinde görsel uyumun çok daha önemli görüldüğü bu durum, harçların iç yapılarının araştırılması ve buna bağlı diğer araştırma konularının uygulama sahaslarında çalışanlar için ikinci planda kalmasına sebep olmaktadır. Uygulama sahasının tespit ettiği problemler, genellikle özgün harç ve sıvaların çeşitli sebepler ile tahrip olması olduğundan, bu soruna çözümün yalnızca onarım harcının ortaya konabilmesi üzerine geliştiği görülmektedir. Ne var ki, araştırma konusu olan harcın karakterizasyonu çalışmalarının, tarihi yapılara dair çok daha fazla soruya cevap verme potansiyeli mevcuttur. Bu durumun en verimli şekilde ortaya çıkarılabilmesi ise tüm uzmanların hem yapının yapım teknikleri, bozulma durumları ve malzeme üretim tekniklerinin genel hatlarına, hem de bu malzemelerin karakterizasyonu çalışmalarının bu soruları cevaplama potansiyeline hâkim olmasına bağlıdır. Dolayısıyla, özellikle tarihi yapıların konservasyon ve restorasyonu ile ilgilenen koruma uzmanlarının, tarihi kireç harçlarının üretim aşamalarına, harcın çalışma prensiplerine, harcı oluşturan malzemelerin çeşitlerine, harcın üretime dayalı veya çevresel faktörlerden kaynaklı bozulma süreçlerine ve tüm bu basamaklara dair soruları cevaplayabilecek koruma laboratuvarlarının potansiyeline hâkim olması gereklidir.

Koruma laboratuvarlarında koruma uzmanları ve arkeometristler tarafından gerçekleştirilen malzeme karakterizasyonu çalışmaları sonrası ortaya çıkan koruma ve onarım raporları içerisinde genellikle onarım harcı terkipleri de yer alır. Bu onarım harcı terkipleri, uygulama sahasında kimi zaman numuneler şeklinde kimi zaman da doğrudan duvar üzerinde uygulanmaktadır. Belirlenen terkiplerinden faydalanarak hazırlanan onarım harçlarının kimi zaman görsel ve fiziksel-mekanik uyumsuzluk gösterdiği bilinmektedir. Böylesi durumların önüne geçmek adına, koruma laboratuvarlarının ortaya koyduğu harç terkiplerini laboratuvar ortamında hazırlaması, fiziksel ve mekanik testlerini de gerçekleştirdikten sonra bu testlerin sonuçları ile yenilenmiş hallerini, görsel uyumsuzluğun da önüne geçebilmek adına örnek numuneleri ile birlikte uygulama sahasına teslim etmesi planlanabilir. Onarım harcının fiziksel ve mekanik uyumu kadar görsel uyumunun da göz ardı edilmemesi, yapının estetik değerinin korunması bakımından önemlidir.

Ülkemizde, 2022 yılı TÜİK verilerine göre 122.000'den fazla taşınmaz kültür varlığı olduğu raporlanmıştır. Bu miktarda bir yapı stokunun üzerinde yapılan tüm koruma ve onarım projelerinin ve bunlara bağlı konservasyon raporu ve malzeme karakterizasyonu çalışmalarının bir araya toplanabilmesi, ileride yapılacak çalışmalar adına önemli görülmektedir. Tarihi yapılar üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarının, araştırmacılar tarafından bir araya toplanmış ve derlenmiş şekilde okunabilmesi, koruma biliminin gelişimi adına önemli olduğu kadar, koruma ve onarım projelerinin ekonomik sürdürülebilirliği açısından da faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu anlamda ilgili bakanlıkların, yerel yönetimlerin, üniversitelerin ilgili bölümlerinin ve yine ilgili sivil toplum kuruluşlarının ortaklaşa ortaya koyabileceği bir envanter sisteminin tasarlanması planlanabilir.



**Kaynakça**

- Ahunbay, Z. (2014). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*. İstanbul: YEM Yayın .
- Akman, M. S. (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*(426), 30-36.
- Altaş, G. K., Özgünler, S. A., & Gürdal, E. (2012). İstanbul'daki Roma Dönemi Saray Yapılarındaki Horasan Harçlarının İncelenmesi. *Restorasyon Yıllığı Dergisi*(4), 41-49.
- ASTM C618-22. (2023, Mart 23). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. American Society for Testing and Materials.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., & Uğurlu, E. (2006). Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36, 1115-1122.
- Baronio, G., & Binda, L. (1997). Study of the pozzolanicity of some bricks and clays. *Construction and Building Materials*, 11(1), 41-46.
- Candeias, A. E., Nogueira, P., Mirao, J., Santos, S. A., Veiga, R., Ribeiro, I., . . . Seruya, A. I. (2006). *Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives*. Evora Universty, National Laboratory of Civil Engineering (LNEC). Chairmen of the European Research Councils' Chemistry Committees.
- Carran, D., Hughes, J. J., Leslie, A., & Kennedy, C. (2012). A Short History of the Use of Lime as a Building Material Beyond Europe and North America. *International Journal of Architectural Heritage*, 6(2), 117-146.
- Collepari, M. (1990). Degradation and restoration of masonry walls of historical building. *Materials and Structure*(23), 81-102.
- Dürüşken, Ç. (2021). *Mimarlık Üzerine Vitruvius*. İstanbul: Alfa.
- Dean, W. E. (1974). Determination of Carbonates and Organic Matter in Calcereous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with other Methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(1), 242-248.
- DeLaine, J. (2021). Production, Transport and on-site Organisation of Roman Mortars and Plasters. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(11).
- Dinçer, İ. (2013). Kentleri Dönüştürürken Korumayı ve Yenilemeyi Birlikte Düşünmek: "Tarihi Kentsel Peyzaj" Kavramının Sunduğu Olanaklar . *International Journal of Architecture and Planning*, 1(1), 22-40.
- Dix, B. (1982). The Manufacture of Lime And Its Uses In The Western Roman Provinces. *Oxford Journal of Archaeology*, 1(3), 331-346.
- Elsen, J. (2006). Microscopy of Historic Mortars—A Review. *Cement and Concrete Research*, 36(8), 1416-1424.
- Elsen, J., Van Balen, K., & Mertens, G. (2012). Hydraulicity in Historic Lime Mortars: A Review. J. Valek, J. Hughes, & G. Caspar içinde, *RILEM Book Series Historic Mortars Characterisation, Assessment and Repair* (Cilt 7). Springer.
- EN 16572. (2015, Haziran 20). Conservation of Cultural Heritage - Glossary of technical terms concerning mortars for masonry, renders and plasters used in cultural heritage. European Committee for Standardization.

- EN 17187. (2020, Nisan 30). Conservation of Cultural Heritage — Characterization of mortars used in cultural heritage. Birleşik Krallık: European Committee for Standardization.
- Ersen, A., & Güleç, A. (2009). Basit ve İleri Analiz Yöntemleri ile Tarihi Harçların Analizi. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(3), 65-73.
- Ersen, A., & Verdön, İ. (2010). KONSERVASYON BİLİMİNİN RESTORASYON PROJE VE UYGULAMALARINA KATKILARI. *ÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*(8), 7-20.
- Ersen, A., Güleç, A., & Alkan, N. (2014). Konservasyon Raporunun Önemi, İçeriği ve Hazırlanma Adımları. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(13), 3-17.
- Ferreira Pinto, A. P., Sena de Fonseca, B., & Vaz Silva, D. (2021). The role of aggregate and binder content in the physical and mechanical properties of mortars from historical rubble stone masonry walls of the National Palace of Sintra. *Construction and Building Materials*, 268.
- Frankeová, D., Sližková, Z., & Drdácý, M. (2012). Characteristics of Mortars from Ancient Bridges. J. Válek, J. J. Hughes, & C. J. Groot içinde, *RILEM Book Series Historic Mortars Characterisation, Assessment and Repair* (Cilt 7). Springer.
- Güleç, A. (2020). Eminönü Mısır Çarşısı Malzeme-Problem Karakterizasyonu ve Çözüm Önerileri. *Bir Valide Sultan Yapısı Mısır Çarşısı Restorasyonu 2013-2018* (Cilt 139). içinde İstanbul: Vakıflar Genel Müdürlüğü.
- Gürdal, E., Özgünler, S. A., & Kahraman, G. (2009). Anemas Zindanları'nın Restorasyonunda Kullanılacak Onarım Harcının Üretimi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(3), 22-34.
- Groot, C. J., & Gunneweg, J. (2012). Two Views on Dealing with Rain Penetration Problems in Historic Fired Clay Brick Masonry. J. Válek, J. J. Hughes, & C. J. Groot içinde, *RILEM Book Series Historic Mortars Characterisation, Assessment and Repair* (Cilt 7). London: Springer.
- Hobbs, L. W., & Siddall, R. (2011). Cementitious materials of the ancient world. A. Ringbom, & R. L. Hohlfelder (Dü.), *Building Roma Aeterna : current research on Roman mortar and concrete*. içinde 128, s. 35-60. Helsinki: Societas Scientiarum Fennica.
- Hughes, J. J., & Callebaut, K. (2002). In-situ visual analysis and practical sampling of historic mortars. *Materials and Structures*, 35(2), 70-75.
- İBB KUDEB. (2016). Geleneksel Harçlar ve Koruma Harçları. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(16), 36-50.
- Jedrzejewska, H. (1960). Old Mortars in Poland: A New Method of Investigation. *Studies in Conservation*, 5(4), 132-138.
- Jokilehto, J. (1999). *A History of Architectural Conservation*. Butterworth-Heinemann, ICCROM.
- Kahraman, G. (2008). *Erken Bizans Dönemi Horasan Harçlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurugöl, S. (2017). *Puzolan, Özellikler, Puzolanik Aktivite ve Deney Yöntemleri*. İstanbul: Birsen Yayın.
- Lanas, J., & Alvarez, J. I. (2003). Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior. *Cement and Concrete Research*(33), 1867-1876.


- Lechtman, H., & Hobbs, L. (1986). Roman Concrete and the Roman Architectural Revolution. W. D. Kingery içinde, *Ceramics and Civilization. Vol. 3: High Technology Ceramics: Past, Present, Future*. American Ceramics Society.
- Loke, M. E., Pallav, K., & Cultrone, G. (2023). Challenges in Characterization and Development of Suitable Historic Repair Mortars. *International Journal of Conservation Science*, 14(3), 783-802.
- Maravelaki, P.-N., Kapetanaki, K., Papayianni, I., Ioannou, I., Faria, P., Alvarez, J., . . . Toniolo, L. (2023). RILEM TC 277-LHS report: additives and admixtures for modern lime-based mortars. *Materials and Structures*, 56(106).
- Middendorf, B., Hughes, J., Callebaut, K., Baronia, G., & Papayanni, I. (2007). Chemical Characterization of Historic Mortars. *Report 28: Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair-State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 167-COM*, 28, 37.
- Pachta, V., Stefanidou, M., Konopisi, S., & Papayianni, I. (2014). Technological Evolution of Historic Structural Mortars. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(7), 846-854.
- Polat Pekmezci, I. (2012). *Çukurova bölgesindeki (Kilikya) bazı tarihi yapılarda kullanılan harçların karakterizasyonu ve onarım harçları için öneriler*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Polat Pekmezci, I. (2023). Science and Technology in Architectural Conservation: The role of scientific research on traditional building materials and an evaluation of conservation laboratories. *Journal of Technology in Architecture Design and Planning*, 1(2), 106-113.
- Rappoport, P. A. (2016). *Building the Churches of Kievan Russia*. Leningrad: Routledge Taylor and Francis.
- Sala, E., Giustina, I., & Plizzari, G. A. (2008). Lime mortar with natural pozzolana: Historical issues and mechanical behavior. D. D'Ayala, & E. Fodde içinde, *STRUCTURAL ANALYSIS OF HISTORIC CONSTRUCTION*. London: Taylor & Francis Group.
- Sağın, E. U., Duran, H. E., & Böke, H. (2021). Lime Mortar Technology in Ancient Eastern Roman Provinces. *Journal of Archaeological Science: Reports*(39).
- Stefanidou, M., & Papayianni, I. (2005). The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. *Cement and Concrete Composites*, 27(9-10), 914-919.
- Tekin, Ç., & Kurugöl, S. (2012). Çeşitli organik katkıların kirecin karbonizasyonu üzerinde etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(4), 717-728.
- Teutonico, J. M. (1988). *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Roma: ICCROM.
- Thomson, M. (2004). Porosity of mortars. C. Groot, G. Ashall, & J. Hughes içinde, *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM* (s. 77-106). RILEM Publications SARL.
- Thomson, M. L., Lindqvist, J., Elsen, J., & Groot, C. (2004). Porosity of historic mortars. *13th International Brick and Block Masonry Conference*. Amsterdam.
- Torraca, G. (2009). *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Trout, E. A. (2019). The History of Calcareous Cements. P. C. Hewlett, & M. Liska içinde, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete Fifth Edition*. Butterworth-Heinemann.

- Uğur, T., & Güleç, A. (2016). Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri. *Restorasyon Ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(17), 77-91.
- Uğurlu, E., & Böke, H. (2009). Tarihi Yapıların Özgün Değerleri ile Korunması. *Restorasyon Ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 1(2), 17-19.
- Zhao, C., Zhang, Y., Wang, C.-C., Hou, M., & Li, A. (2019). Recent progress in instrumental techniques for architectural heritage materials. *Heritage Science*, 7(36).



Derleme Makalesi

## DOĞAL FORMLARIN MİMARİ TASARIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

**Hatice ÖNER<sup>†</sup>, Burhan SATICI<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İstanbul, Türkiye**haticeoner15@gmail.com, bsatici@ticaret.edu.tr** 0009-0006-1870-9351, 0000-0002-8919-6016**Atıf/Citation:** ÖNER, H., SATICI, B., (2024). Doğal Formların Mimari Tasarım Üzerindeki Etkileri, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.117-143, DOI: 10.56809/icujtas.1469908

### ÖZET

Tasarımın temelinde doğa vardır ilkesi gözetilerek doğal formların mimari tasarım üzerindeki etkilerine baktığımızda birçok etkisinin olduğu ve doğanın barındırdığı çözümler ile tasarımcılara kolaylık sağladığı görülmektedir. Öğretici bir kaynak olan doğa yüzyıllardır insanlık için bir ilham kaynağı niteliği taşımaktadır. Doğanın sahip olduğu sistem, uyum, işlevsellik, estetik ve düzen yapısı, insanların doğayı taklit etmesine ve örnek almasını sağlamıştır. İnsanların doğadaki yapıları birebir kopyalama ile başlaması ve devamında bunu soyutlayarak yaşamsal alanlarına işlemişler. Bu işleyiş sadece form ile sınırlı kalmamaktadır.

Doğada hali hazırda var olan yapılara baktığımızda biçim, strüktür, malzeme ve işleyiş yapısına dahil tüm özellikleri tek bir formda bulmak mümkün. Tasarımcılar ve mimarlar esinlendikleri formla birlikte strüktür yapısını ve canlı/cansız nesnenin işleyiş biçimini de yapıya yansıtarak doğadaki işleyişi insan yapımı yapılara da işlemektedir. Böylelikle yapıların canlı bir organizma gibi işlemesini sağlayarak yapıda doğal havalandırma, aydınlatma, ısıtma/soğutma gibi etkenlerle enerji tasarrufunun yapıldığı ve insan sağlığı üzerindeki pozitif etkilerin arttığı görülmektedir. İnsan ve doğa arasındaki etkileşimin devam etmesini amaçlayan mimarlar, iç mimarlar ve kentsel tasarımcılar doğadaki yapılardan esinlenmektedirler.

Doğadaki işleyiş sistemi yapılara aktarma sistemini benimseyen, literatüre yeni giren kavramlar mevcut olmakta ve bu kavramlar tasarımcılara doğadaki işleyişe yönlendirmektedir. Mimarlık ve biyolojinin ortak çalışmasıyla ortaya çıkan biyognosis, biyonik, organik, biyomorfoloji, biyomimikri gibi birçok terim bulunmakta. Bu kavramlar içerisinde yapılan araştırmayla bağlantılı olduğu düşünülen Biyomimikri, Biyomimesis, Biyofili ve Fraktal Geometri kavramları ele alınmıştır. Doğanın çok geniş ve çeşitli bir yapıya sahip olmasından dolayı yapılan çalışmanın devamında ise doğal yapılar “canlı,” “cansız” ve “canlı organizmalar” kategorilerine ayırarak ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğa, Form, Strüktür, Mimari Tasarım

Geliş/Received	:	17.04.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	30.04.2024
Kabul/Accepted	:	21.05.2024

## EFFECTS OF NATURAL FORMS ON ARCHITECTURAL DESIGN

### ABSTRACT

---

Considering the principle that nature is the basis of design, when we look at the effects of natural forms on architectural design, it is seen that they have many effects and provide convenience to designers with the solutions provided by nature. Nature, an instructive source, has been a source of inspiration for humanity for centuries. The system, harmony, functionality, aesthetics and order structure of nature have enabled people to imitate nature and take it as an example. People started by copying the structures in nature one-to-one and then abstracted this and incorporated it into their living spaces. This operation is not limited to just the form.

When we look at the structures that already exist in nature, it is possible to find all the features including form, structure, material and functioning structure in a single form. Designers and architects reflect the structure of the structure and the functioning of the living/inanimate object along with the form they are inspired by, and the functioning of nature also works in man-made structures. Thus, by ensuring that the buildings function like a living organism, energy savings are made through factors such as natural ventilation, lighting, heating/cooling, and the positive effects on human health increase. Architects, interior designers and urban designers, who aim to continue the interaction between humans and nature, are inspired by structures in nature.

There are new concepts entering the literature that embrace the system of transferring the functioning system in nature to structures, and these concepts direct designers to the functioning in nature. There are many terms such as biognosis, bionics, organic, biomorphology and biomimicry, which emerged as a result of the joint work of architecture and biology. Among these concepts, the concepts of Biomimicry, Biomimesis, Biophilia and Fractal Geometry, which are thought to be related to the research, were discussed. Since nature has a very wide and diverse structure, natural structures were discussed by dividing them into "living," "non-living" and "living organisms" categories in the continuation of the study.

**Keywords:** Nature, Form, Structure, Architectural Design

## 1. GİRİŞ

Her şeyin temelinde olduğu gibi tasarımın temelinde de doğa vardır (Karabetça 2015). Doğa, canlı ve cansız nesnelere tümünü kapsamaktadır ve kendiliğinden var olan bu nesnelere birçok öğretici nitelik barındırarak farklı bilim alanlarında insanlığa yön göstermiştir. Bu bilim alanlarında biri olan mimarlıkta doğadan etkilenecek gelişmiş evrimleşmiş ve halende doğadan öğrenerek gelişmektedir. Mimarlığın başlangıcı olarak kabul edilen doğal mekanlar ve ilk barınma alanları insanların, kendisi gibi doğadan olan nesnelere taklit etmesiyle ondan öğrenmeye başlamasıyla ortaya çıkmıştır. İnsanoğlu doğadan öğrendikleri ile sadece hayatlarının devamı için yapmakla kalmayıp doğanın prensiplerini ve yöntemlerini kullanarak yaşamsal alanlarını iyileştirmiştir. Yerleşik hayata geçmesiyle insanlar, doğanın yaşama uygun üretim sürecini düzenli yapı hiyerarşisini kullanmıştır.

Mimarlık tarihi boyunca doğadaki nesnelere, şekiller ve süreçler ilham kaynağı olarak kullanılmıştır. İnsanlar bu ilham kaynağını ilk barınma alanlarında, hayvanların yuva yapma biçiminden veya doğadaki şekilleri taklit etmeye başlamasıyla doğayı yaşamsal alanlarına yansıtmıştır. Mimaride bu ilhamın belki de en belirgin örneklerini, genellikle hayvan ve bitki dünyasına çok benzeyen veya onları anımsatan süsleme figürleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Tezgör ve Aytin, 2022). Bu süsleme figürlerin ilk örnekleri antik çağda mevcut olup sütun başlıklarında görmek mümkün. Yunan ve Roma çağlarındaki filozoflar, dönemin klasik güzellik ideali olan sütun süslemelerinde ağaç ve bitki formlarından esinlenmişlerdir. Antik Mısır uygarlığında ise kutsal olarak gördükleri lotus bitkisine benzer oranlarda sütunlar inşa edilmiştir (Vorobyeva, 2018). İnsanlar başlangıçta barınma ihtiyacını karşılamak için doğayı taklit ederken daha sonra yaşamsal alanlarını süsleme amacıyla ve en sonda ise doğadan öğrendiklerini tasarımsal bir boyutta yapıya taşımıştır. Mimarlıkta esin kaynağı olan doğadaki yapıları “canlı”, “cansız” ve “canlı organizmalar” olarak üç temel grupta ele alınabilir (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Makale, bu üç temel grup çerçevesinde ilerleyerek doğadaki yapıların, yapay yapılara yansıtış biçimlerini ve bilim ile teknolojinin gelişmesiyle birlikte mimari – biyoloji disiplinlerin ortak çalışmasıyla ortaya çıkan yeni kavramlar çerçevesinde gelişmektedir. Bu kavramlar literatüre yeni girmiş olarak nitelendirilse de önceden var olduklarını ve mimari yapılara yansıtışları görülmektedir sadece Biyomimikri, Biyomimesis, Biyofili ve Fraktal Geometri olarak nitelendirilmemişler. Birbirinden farklıymış gibi gözükse de bu kavramlar doğa kökenli olup form, işlev ve strüktür olarak doğadaki işleyişini benimsemektedir.

Tabiattın işleyiş sistemi, doğal yapıların sahip oldukları özellikler, form ve strüktür mimarlık alanına esin kaynağı olmuştur. Çeşitli yapıda oluşu ve içinde barındırdığı sınırsız bilgi ile öğretici nitelikte olan doğa insanların problemlerini kolaylıkla çözme olanağı sunmakta. Bundan dolayı mimarlar ve tasarımcılar doğadan optimize edilmiş bir çözümü elde etmeyi, verimli ve çok işlevli yapıları nasıl elde edeceğini öğrenmiş (Pathak, 2019). Tasarımcılar esinlendiği doğal formla birlikte, yapıya formun sahip olduğu taşıyıcı sistemini ve fonksiyonlarını da aktararak tasarımda eşsizlik ve kolaylık sağlamaktadır. Doğal formla birlikte yapay yapılara aktarılan işleyişler sayesinde yapıda bir dil bütünlüğü sağlanmaktadır.

Tasarımcıların ve mimarların esin kaynağı olan doğadaki formlar olduğu gibi sonuç ürününe aktarılmaz. Öncelikle esin kaynağı olan nesne, form, işlev, biçim, strüktür ve malzeme bakımından detaylıca incelenir ve tasarım süzgecinden geçirilerek sonuç ürününe dönüştürülür. Form, tasarıma birebir aktarılmayıp soyutlama yöntemiyle aktarılmaktadır fakat beynimiz formların ve örüntülerin canlı olmadığını bilse de onların yaşamın sembolüğü olarak algılanmaktadır. İnsan beyninin böyle algılamasından dolayı doğal formların kullanıldığı bir mekânda, insanın kendini huzurlu ve iyi hissetmesi amaçlanır (Tezgör ve Aytin, 2022).



## 2. DOĞANIN TANIMI VE DOĞA İNSAN İLİŞKİSİ

Doğa, “Var olan her şeyin canlı ve nesnelerin tümü” veya “Bilincin dışında kendiliğinden var olanların tümü” olarak tanımlanır (Güler, 2000). Whitehead göre “Doğa, birbirleri ile etkileşim içerisinde olan örgütler bütünüdür” ve sürekli bir dönüşüm ve gelişim içerisinde olduğunu da ifade etmektedir. Değişim içinde olan doğa sonsuz bir şekilde kendini gösterir, hatta tarih boyunca da doğa hep bir gelişim ve değişim içerisinde olmuştur (Tavşan ve Çelenk, 2021).

Doğa ve insanı birbirinden ayrı olarak tanımlamak biraz güçtür çünkü doğa, insan yaşamını etkileyen bir unsurdur. Ayrıca insan doğanın bir parçası mı yoksa doğanın dışında mı tartışma konularından biridir.

Doğa, insanı ve diğer canlıları içerisinde barındıran birincil bir mekân olarak kabul edilebilir. İnsan mekân oluşturma ihtiyacını ilk başta doğal alanlardan karşılarken daha sonra doğayı öğrenme, taklit etme ve doğaya yaklaşım biçimi mimariyi etkileyen bir unsur olmuştur. Şekil 1’de a) görselinde yer alan Hilar mağarası insanların barınma ihtiyacını karşıladığı doğadaki yaşam alanlarına örnek olarak verilmiştir ve şekil 1 b) görselinde ise mağaradaki yaşam biçimi yansıtılmıştır. Sonuçta insan ve doğa arasındaki ilişki, mimari ve doğa arasındaki ilişkiyi belirleyen önemli bir unsur olarak değerlendirilebilir (Beyaztaş, 2012).

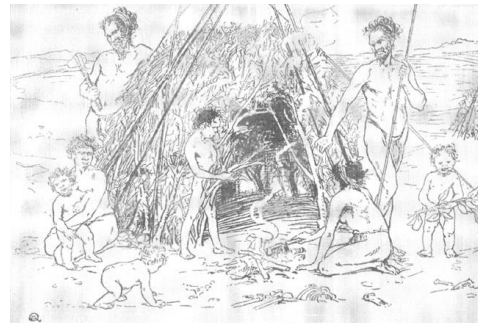


Şekil 1. a) Çayönü, Hilar Mağaraları (Özkan ve Yağcı, 2021)

b) Mağarada Günlük Hayat (Arslantaş, 2014)

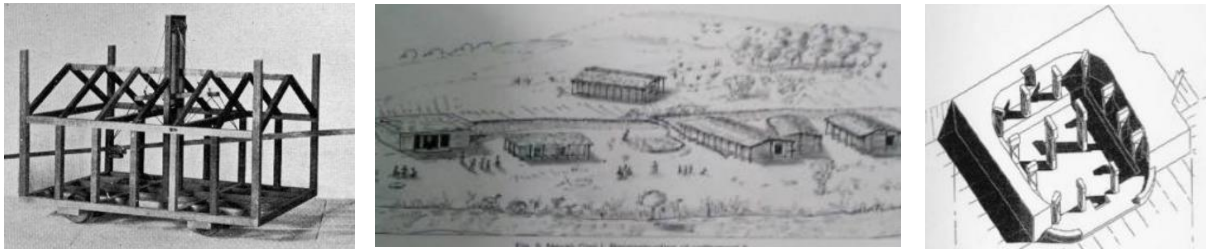
## 3. DOĞADAN MİMARLIĞA GEÇİŞTE FORM ETKİLERİ

İlk çağlarda insanların yaşam alanları ormanlar, mağaralar ve korular olmuştur. Ateşin keşfi ile birlikte insanlar, bir araya gelerek sosyal ilişkilerinin artmasıyla toplu yaşamaya başlamışlar. Bir arada yaşamaya başlayan insanlar, dağ yamaçlarına mağaralar kazarak sığınaklar oluşturmuşlar. Bazıları ise çamur ve dallardan kırlangıç yuvaları gibi sığınaklar inşa ederek yaşam alanlarını biçimlendirmişler. Şekil 2 de yer alan kuş yuvası ve insanların benzer barınma alanlarını inşa etmesine dair örnekler mevcuttur. Doğayı ve birbirlerini gözlemleyerek kendi sığınak alanlarını geliştirip yeni ayrıntılar ekleyerek daha iyi kulübelere inşa etmişler (Vitruvius, Mimarlık Üzerine On Kitap).



Şekil 2. a) Kuş Yuvası (Selçuk ve Sorguç, 2007)  
b) Geçici ve Basit Bir Barınak Çizimi (Arslantaş, 2014)  
c) Geçici Barınma Alanı (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Yerleşik hayata geçmeye başlayan insanoğlu her geçen gün uzmanlaşarak ilerleme kaydetmiştir, geçici kulübeleri bırakarak temelleri olan evler inşa etmeye başlamışlar. Ayrıca yaşadığı doğayı öğrenerek ilerlediği için çevredeki malzemelerle doğanın yaşam koşullarına uygun inşaatlar yapmışlar. Örneğin ormanları bol olan Pontus bölgesinde insanlar keresteler kullanarak yapıları inşa ederlermiş. İnşa ettikleri yapıları da doğadaki yaşam koşullarına uyumlu olarak yağmur ve kar sularından korunmak amacıyla çatılarını kaplumbağa sırtı biçiminde tasarlamışlar. Şekil 3'te yer alan a) Hegetor'un Kaplumbağası, yapıların kaplumbağa benzetilerek inşa edilme biçimine ithafen gösterilmiştir. Şekil 3. b) Şanlıurfa'da bulunan Nevali Çori, M.Ö. 8000-8600'e tarihlenen bir yerleşim yeridir buradaki yapı biçimi kaplumbağa tarzı olarak nitelendirilebilir ve bu yapılar Anadolu'nun geleneksel köy evlerinin ilk prototipini ortaya çıkartmıştır. Frigler ise ağaçların ve kerestelerin olmadığı bir bölgede olduğundan yaşam alanlarını tepe noktaların olduğu kısımları seçerlermiş. Bu tepelere üstten giriş yapılacak şekilde iç alanını oyarak yaşamsal alanlarını oluşturmuşlar. Böylelikle yazın serin kışın ise sıcak mekânlar olarak bu alanları kullanmışlardır Şekil 3'te c) gösterilen Nevali Çori'deki Kült yapı kütsel ve anıtsal olup, çoğu zeminden aşağıda açılan bir çukur içine taş temellerle inşa edilmiştir, burada Frigler'in yaşam biçimine örnek olarak gösterilmiştir. (Vitruvius, Mimarlık Üzerine On Kitap).

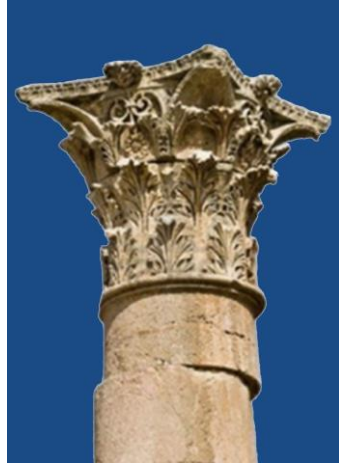


**Şekil 3.** a) Hegetor'un Kaplumbağası (Vitruvius, Mimarlık Üzerine On kitap)  
b) Anadolu'nun Geleneksel Köy Evlerinin İlk Prototipi (Öztürk ve Şimşek, 2019).  
c) Nevali Çori, Kült Yapı (Öztürk ve Şimşek, 2019).

Doğadan öğrendiklerini sürekli geliştirip ve üzerine ekleyerek ilerleyen insanlar, ihtiyaç duyduğu alanları oluşturmakla kalmayıp doğadaki desenleri, süsleme figürü olarak yapılarında kullanmıştır. Antik çağda çokça karşılaştığımız Yunan, Roma ve Mısır sütun başlıklarındaki desenler doğadan ilham alınan hayvan ve bitki figürlerinden oluşmaktadır. Şekil 4'te yer alan Korint sütun başlığında kullanılan bitki figürleri detaylı olarak gösterilmiştir. Başlangıçta doğayı taklit eden insanlar daha sonrasında doğadan öykünerek özgün tasarımlar oluşturmuşlardır.



**Şekil 4.** Korint Sütun Başlığındaki Bölümler (Öcal, 2007)



**Şekil 5.** a) Akantus Yapağı (Demir, 2019)  
 b) M.S. 126' da Romada İnşa Edilen Pantheon'daki Korint Sütun Başlığı (Rian ve Sassone, 2014)  
 c) M.Ö 16'da İnşa Edilen Maison Carree'nin Sütun Başlıkları ve Frizlerindeki Bitkisel Süslemeler (Rian ve Sassone, 2014)

Tasarım parametrelerinde, doğal formlar ve örüntüler özgün tasarımlar oluşturmada yardımcı olmaktadır. Doğada, form ve yaşam iç içe geçmiş iki birleşendir. Bu birleşenler hayvanlar, bitkiler, gibi canlı biyolojik formda ya da dağlar, dalgalar, kum ve tepeler gibi topolojik formun bir yansıması olabilir. Doğadan esinlenen form olduğu gibi yapıya aktarılmadan önce mimarlar ve tasarımcılar; biçim, işlev, strüktür, malzeme ve sistem olarak inceledikten sonra analogi yöntemiyle farklı bir ürün olarak yorumlarlar (Tezgör ve Aytin, 2022).

Doğadaki formlar farklı boyutta tasarımsal bir ürüne dönüştürülse bile insan beyni onu doğadan alınan bir form olarak algılamaktadır. Şekil 6.'da Treepood projesinde ağaç formundan esinlenmesi gibi. Bundan dolayı bu tür tasarımsal yapılar, insan ve doğa ilişkisini devam etmesini sağlamakta ve insanların daha huzurlu mekanlarda veya stresin azaltıcı etkisi olan yapılarda yaşaması amaçlanmaktadır. Birçok etkeni bir arada barındıran doğadaki formlar tasarımcılara ve mimarlara sorunların çözümünde kolaylık sağlamaktadır.



**Şekil 6.** Treepood Projesi Boston (Gülle, 2017)

#### 4. MİMARİ TASARIMDA DOĞANIN KAVRAMLARI

Biomimesis, biyognosis, biyonik, organik, biyomorfoloji, biyomimikri gibi birçok terim 21. yüzyılın başlarına gelene kadar mimarlıkla ilişkisi olmadığı halde, teknolojinin gelişmesi ve mimarlık- biyoloji ilişkisinin artmasıyla mimari tasarımın literatürüne giren kavramlardır. Kökleri modern biyolojiye dayalı bu kavramların, doğa ve tasarım ilişkisi biçimlerini tanımlamaya yönelik günümüze ait yeni söylemler olduğu dile getirmek mümkündür (Demirci, 2019). Her ne kadar bu kavramlar yeni olarak nitelendirilse de geçmişte doğa kelimesi adı altında var olduklarını ve mimari yapılara yansımalarını gözlemlemek mümkün. Biyomimetik tasarımın kökleri tabiatın incelenmesi ve gözlemlenmesine dayanmaktadır. Bu kavram yeni olmamakla birlikte teknoloji, biyoloji, doğal olayları anlayabildiğimiz, soyutlayabildiğimiz ve yeniden formüle edebildiğimiz için gelişmiştir (Uç ve Oğurlu, 2023)

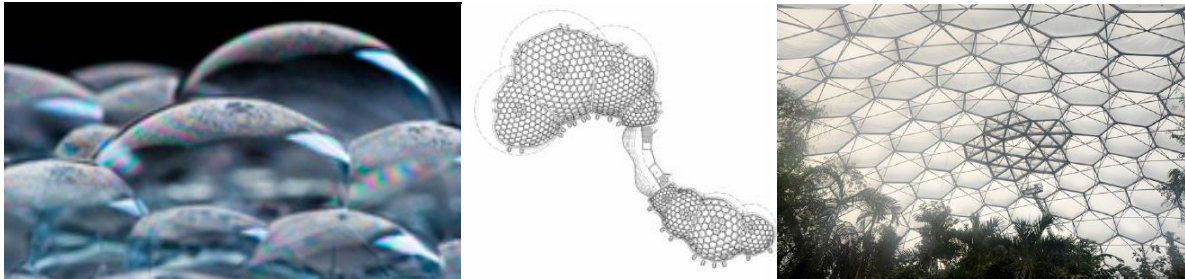
Bahsedilen bu kavramlar çerçevesinde gelişen ve aynı dönem içerisinde literatüre dahil olan; metabolist mimarlık, dijital botanik mimarlık, nano mimarlık, genetik mimarlık, morfogenesis gibi farklı ama birbiriyle ilişkili pek çok tasarım yaklaşımı bulunmaktadır (Demirci, 2019). Bu çerçeve kapsamında yapılan araştırmalarda makalenin gidişatı ile bağlantılı olan Biyomimikri, Biyomimesis, Biyofili ve Fraktal Geometri kavramları detaylı olarak anlatılmaktadır.

#### 4.1.1. Biyomimikri

Biyomimikri; yaşam anlamına gelen bios ve taklit etmek anlamına gelen mimesis' ten oluşur kelime anlamı olarak; "yaşamı taklit etmek" anlamına gelir (Pathak, 2019). Biyomimikri taklit olarak formun kopyalanması veya dokunun birebir uygulanması demek değildir. Burada amaç işlevsel olarak yararlı olan bir dokunun, rengin veya formun yapıya da aynı avantajı verebilecek şekilde uygulanması için yenilikçi bir çözüm arayışıdır (Uçar, 2019). Bu yaklaşım biçimi mimaride bir tasarım stratejisi olarak kullanılması tasarımcıların doğadaki fikirlerin, süreçlerini ve yapısını inceleyip insanların ihtiyaçları doğrultusunda çözüm bulan yeni bir bilimdir (Karabetça, 2015).

Bu alanda tasarlanan bir binada form olarak doğadan örnek alınıp uygulanırsa bile fonksiyonel olarak da biyomimikri olabilmesi için enerji ihtiyacını en aza indirmesi, sürdürülebilir ilkelerine sahip olması ve doğadaki işleyişin binaya uygulanması ile sağlanmaktadır. Binalarda çevreye verilen zararlı emisyonların ve karbon ayak izinin azaltmanın biyomimikri ile mümkün olabileceğini ve enerji tasarrufun sağlanacağı gözlemlenmektedir (Uçar, 2019).

Birleşik Krallık Cornwall bölgesinde inşa edilen Eden projesi (mimar Nicholas Grimshaw, yapılan yıl 2001) en büyük sera olarak bilinmektedir. Bilindiği üzere seralarda en çok ihtiyaç duyulan bol miktarda güneş ışığının alınması ve enerji tasarrufun sağlanmasıdır. Tasarım ekibi tarafında bunlar gözetilerek Eden projesinde sabun köpüğü olan baloncuklardan esinlenilerek form oluşturulmuştur. Bulunan form çok uygun olsa da taşıyıcı sistemi hakkında bazı sorunlar yaşayan tasarım ekibi; doğadaki yapısal organizmalar, karbon molekülleri ve tek hücreli canlılar üzerinde yapmış olduğu geniş araştırmalar sonucunda, küresel yapının formunu beşgen ve altıgenlerle jeodezik düzenlemeler yaparak çözmüşlerdir. Projede daha az çelik kullanılarak şeffaf hale getirilen bu sistem sayesinde istenilen güneç ışığı miktarı ve ısının elde edilmesi çok daha kolay olmuştur (Karabetça, 2015).



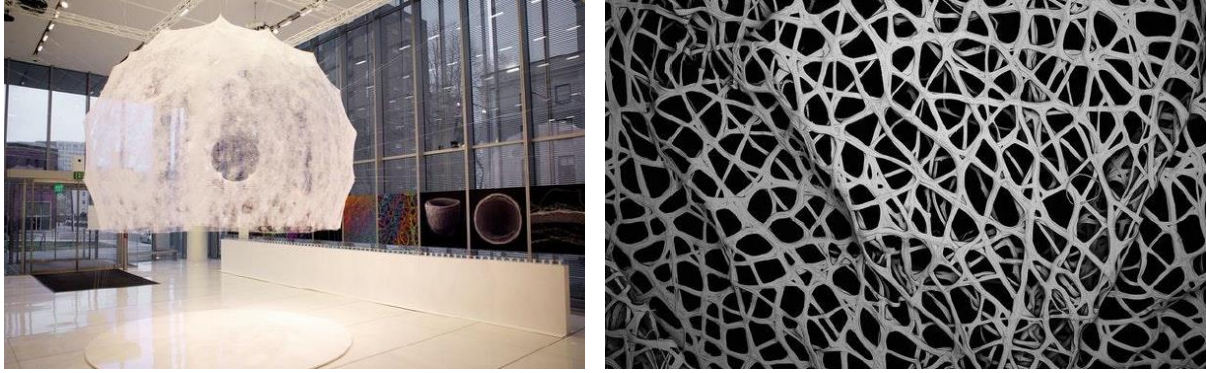
**Şekil 7.** a) Sabun Baloncukları  
b) Eden Projesi, Jeodezik Kubbeler  
c) Eden Projesi İç Görüntüsü (Karabetça, 2015).

## 4.2. Biyomimesis

Mimarlık alanında esinlenme biçimi Vitruvis'tan 20. yüzyılın ortalarına kadar daha çok biçimsel analogiler şeklinde olmuştur. Metaforik ve biçimsel analogiler olarak gruplandırılan ve mimarlıkta biyomorfik tasarım olarak adlandırılan bu benzeşme ve benzeşme türü 20. yüzyılın sonunda biyomimesis kavramı ile içeriksel olarak değişime uğramıştır (Demirci, 2019). Biyomimesis kavramı, biyomikri ve biyoniks gibi kavramlarla literatürde iç içe kullanıldığı görülür. Doğayla uyum içinde olan ve ondan öğrenerek çözüm ürünleri üreten bu bilim dalı, doğanın işleyiş sistemini vurgulayarak tasarımcıları bu alana yönlendirmektedir (Gülle, 2017).

Her alan için farklı öngörülerini mevcut olan biyomimesis, Benyus ve Koelman'a göre mimarlıkta üç temel uygulama alanı bulunabilir. Bu temel uygulamalardan birincisi; sağlam nitelikte olan, kendini onaran ve kendiliğinden birleşen malzemelerin geliştirilmesinde. İkinci olarak yapılarda doğal süreci kullanarak iklimlendirme sağlamasında. Son madde ise atıkların tekrardan kullanılmasına olanak sağlayarak, enerjiyi koruyan ve yenilenebilir kaynak üretimini sağlayan doğa tabanlı bir alandır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Doğal kaynakların tüketmeden yeni malzeme üretmek sürdürülebilir bir yaklaşımla oluşturulan Silk Pavilion I projesi oluşturulmuştur. Bu proje biyoloji ve teknolojinin ortak çalışmasıyla geleceğe yönelik bir çalışmadır. Silk Pavilion I projesi canlı ipek böceklerinden bir yapı tasarımının nasıl bir süreçten geçtiğini araştırmıştır. İpek böceğin davranışı, izlediği yol ve ördüğü ipek ile malzeme ve tasarım sürecine yönelik bilgiler vermektedir. Bu projede Benyus ve Koelman'ın mimarlıkta belirlediği üç temel uygulama alanı görülmektedir (Tavşan ve Çelenk, 2021).

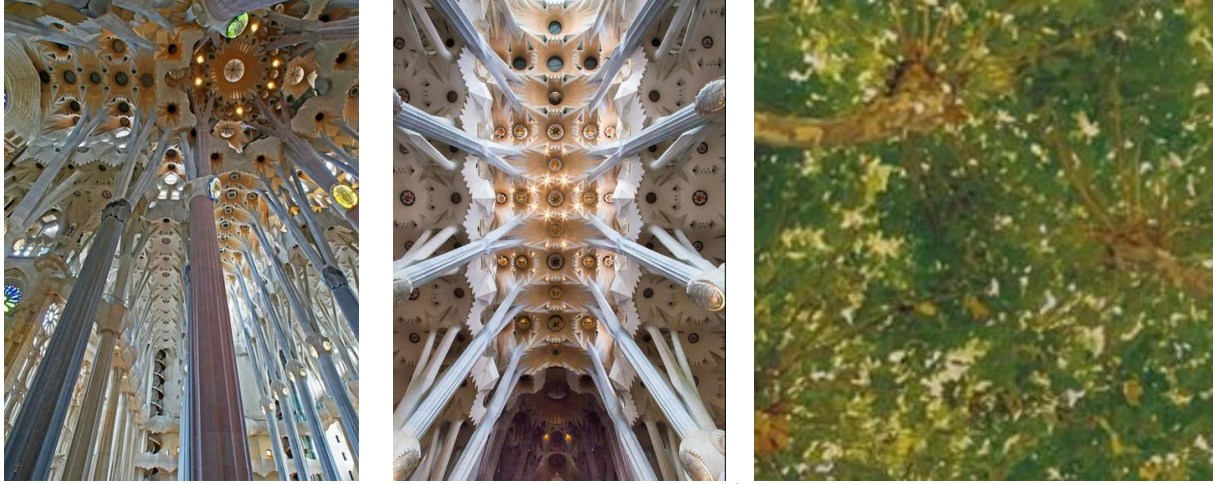


Şekil 8. Silk Pavilion I İpek böceğinin eğirme davranışı (Tavşan ve Çelenk, 2021).

## 4.3. Biyofili

1964 yılında Erick Fromm'un "Biyofili hayatın ve canlı olan her şeyin tutkulu aşkıdır" tanımlamasıyla ortaya çıkmıştır. Bu terim bir mimari tasarım modelidir. Bu tasarımın amacı insan sağlığını ve refahını artıracak olumlu deneyimlerle dolu alanlar inşa etmektir. Biyofilik tasarım In Biophilic Desing: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life kitabına göre biyofilik tasarımın iki temel boyutu vardır. İlk boyut şekilleri ve formları temsil eden organik ve natüralist boyuttur. İkinci boyut yerel çevrenin kültürü ve ekolojisine bağlı binaları ve peyzajları temsil eden yerel boyuttur. Bu boyutlar daha sonra altı biyofilik tasarım ögesiyle ilişkilendirilmiştir. Bunlar çevresel özellikler, doğal şekiller ve formlar, doğal desenler ve süreçler, ışık ve mekân, yer temelli ilişkiler ve evrimleşmiş insan doğa ilişkileri biyofilik tasarımın ana öğelerindedir (Tezgör ve Aytin, 2022).

Biyofili kavramından gelişen biyofilik tasarım, doğadaki yaşamı kentsel yaşama entegre ederek insan ve doğa ilişkisinin devam etmesi amacıyla hayatımıza girmiştir. Günümüzde mimar, iç mimar, peyzaj mimarı ve kentsel tasarımcılar biyofilik anlayışı doğrultusunda yaptıkları tasarımlarla insanlara doğayla iç içe, huzurlu bir şekilde barınma ve yaşam ortamı sağlamaktadır. Bu tasarım parametrelerinden olan biyomorfik formlar ve örüntülerden esinlenen tasarımcılar doğadan aldıkları biçimleri taklit ederek nesneleri yeniden farklı bir ürün üzerinden yorumlamasını sağlarlar (Tezgör ve Aytin, 2022). Buna Antonio Gaudi'nin La Sagrada Familia Bazilikası'nda yaptığı tasarım örnek olarak verilebilir. Gaudi, tasarımında çınar ağaçların yapraklarında sızan güneş ışınlarının görüntüsünü baz alarak yapıya yansıtmıştır ve ziyaretçilere ormanda yürüyormuş hissini vermeyi hedeflemiştir (Selçuk ve Sorguç 2007).



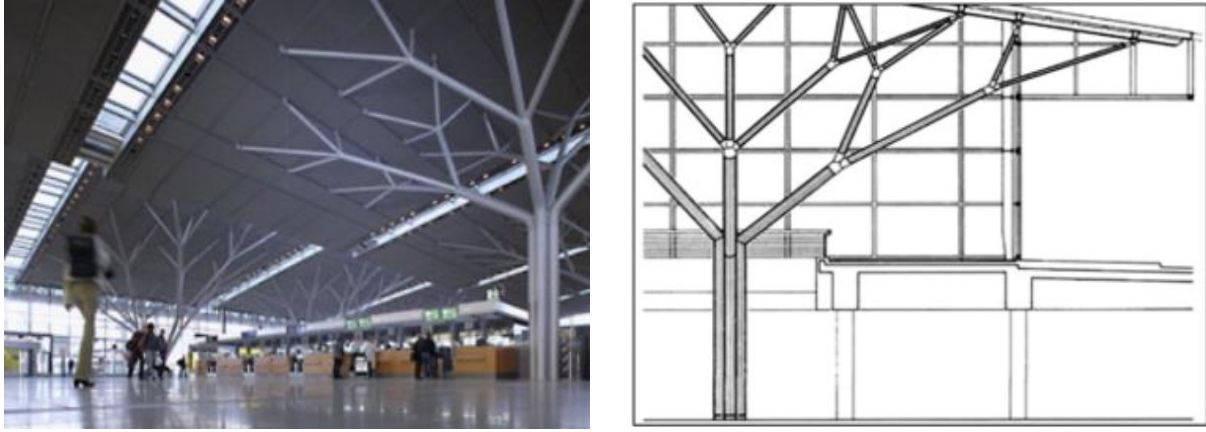
**Şekil 9.** a) La Sagrada Familia Bazilikası İç Mekân (URL 1)  
b) La Sagrada Familia Bazilikası Tavan Detayı (URL1)  
c) Antonia Gaudi'nin esinlendiği ağaç yapraklarının örüntüsü (Tezgör ve Aytin, 2022)

#### 4.4. Fraktal Geometri

Fraktal geometrinin en önemli açılımı, kaos düzenini ortaya koymasındır ve en önemli özelliği sınırsız bir şekilde ayrıntı sunmasıdır. Her ayrıntı tekrar olmayacak şekilde kendine benzeme niteliği taşımaktadır (Değirmenci, 2009). Öklid olmayan, kendine benzeyen, kopyalanan, farklılaşan ve dinamik form kullanılarak mimaride doğanın form ilkelerinin derinlemesine anlaşılmasını sağlar (İbrahim, 2015). Bu terim 1970'lerde bilim literatüre girmiş olsa da gotik katedrallerinde detayların kendini tekrarladığını ve önceki yıllara dayanan bir kullanım olduğu görülmektedir.

Fraktal geometri kavramı, doğanın formları olan, Öklid dışı düzensiz geometrileri olan, dağlar, kıyıları, bulutlar ve ağaçlar gibi karmaşık ve doğrusal olmayan nesnelere, fraktal kavramı ile açıklamak mümkündür. Yapılan araştırmalarda ağaç örneği incelendiğinde, ağacın fraktal benzeri dallanan yapısı sayesinde dar bir alanın geniş yüzeyleri taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ağacın dallanan yapısının strüktürel etkinliği Otto'nun deneysel çalışmalarından sonra fark edilmiştir. Otto, ağaçların fraktal yapısının strüktür kullanımları için çözümleme yöntemi ortaya koymuştur. Bu tarz yöntemler tasarımcılara ilham vermiş ve onlara doğanın karmaşık yapılarını anlama ve kendi tasarımlarının verimliliğini artırmada yol gösterici olmuştur (Gülle, 2017). Bu sayede tasarımcılar geniş açıklı yapılar oluşturma olanağı sağlanmıştır.

Ağaç metaforundan esinlenilerek 1992 yılında Stuttgart havaalanı tasarlanmıştır. Havaalanının tasarımında; dört ayrı çelik elamanın adeta tabandan bir gövde olarak filizleniyor ve daha ve sonrasında her biri ayrı bir gövdeye dönüşüyor ve en son olarak dallanan her gövde kendine benzerlik ve yinelemenin fraktal karakterlerini takip ederek başka dört kola ayrılıyor. Ağaç dallanması gibi olan tasarımda kolon gövdesinin ve her bir dallanma elemanın kesit çapı, sabit bir gerilim elde etmek için yukarıya doğru kademeli olarak azaltılmıştır (Rian ve Sassone, 2014).



Şekil 10. a) Stuttgart Havaalanı Terminalindeki Yapısal Ağaçlar  
b) Stuttgart Havaalanı Şematik Form Diyagramı (Rian ve Sassone, 2014)

## 5. DOĞADAKİ “CANLI”, “CANSIZ” ve “CANLI ORGANİZMALARIN” MİMARİYE ENTEGRE EDİLİŞ BİÇİMLERİ

İnsan var olduğundan beridir çevresini keşfetme ve ondan öğrenme eğiliminde olmuştur. Doğayı gözlemleyerek, öğrenerek, taklit ederek ve yorumlayarak ihtiyaçlarını karşılama veya yaşam koşullarını iyileştirerek ilerlemeye çalışmıştır. Dolayısıyla insan yapımı yapılar ile doğa yapımı yapılar arasında benzerlik bulunmaktadır (Arslan ve Sorguç, 2004).

İlk barınak yapımlarından, antik çağlardaki yapılarda ve günümüzün teknolojik özelliklerine sahip binalar kadar pek çok mimari yapıda doğanın etkisi görülmektedir. Doğanın biçim, form, strüktür gibi konularda mimariye yansımaları; canlı, cansız ve canlı organizmalar olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Doğadaki bir diğer yapıların sınıflandırılması ise yük taşıma kapasiteleri ile ilgilidir bunlarda tek boyutlu (lifler, kıllar, sinirler), iki boyutlu (Hücre zarları, örümcek ağları veya kabuk) üç boyutlu (ağaçlar iskelete sistemi doğadaki çoğu yapı üç boyutludur) olarak sınıflandırılır. Mimaride kullanılan form ve strüktür; doğadaki yapılara benzer kuvvet ve yüklere dayanırılmasıyla bu kategorilerden birine girmektedir (Arslan ve Sorguç, 2004).

### 5.1. Doğadaki Canlı Çeşitlerin Mimariye Yansıması

Doğa çok çeşitli yapıları içermektedir, hayvanlar bitkiler ve mikroorganizmalar doğada bulunan canlı yapılarıdır. Yaşam süreleri kısa olan bu varlıklar cansız tabiatla karşılaştırıldığında hareketli değişken ve çok çeşitli olmaktadır.

#### 5.1.1 Bitkiler ve Canlı Organizmalar Kategorisi

Mimaride ağaç ve bitki gibi formlar ilk olarak süsleme amaçlı kullanılmıştır. Bitki benzeri formların tarihte ilk ne zaman kullanıldığı tam olarak bilinmese de antik çağda Mısır mimarisinde ağaç ve bitki formunun kullanıldığı Luksor Tapınağı (M.Ö.1400) ilk örneklerden biridir. Tasarımcılar 1900'lerin ortalarına kadar ağacın karmaşık yapısal oluşumunu basit Öklid veya karmaşık geometriler olarak izole etmişlerdir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mimarlar ağaçların ve bitkilerin karmaşık form yapılarını soyutlayarak tasarımlar yapmaya başlamışlar (Selçuk ve ark., 2022).

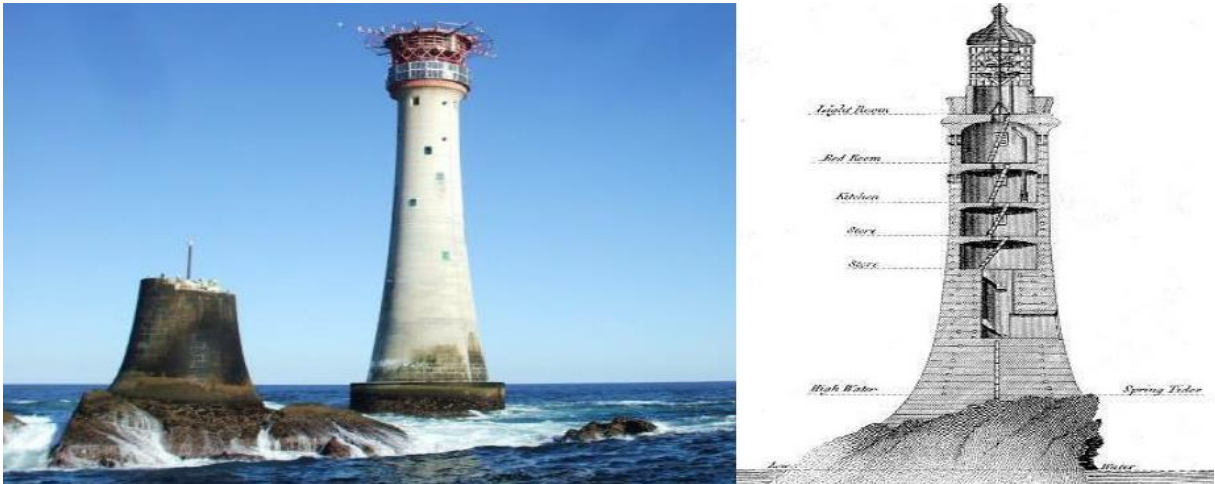


Şekil 11. Mısır Luksor Tapınağı papirüs bitki deseninden esinlenilen sütunlar (Gülle, 2017)

### 5.1.1.1 Ağaçların Mimariye Yasıma Biçimi

Doğal yapılaşmalar arasında tasarımcıların dikkatini çeken ve ona esin kaynağı olan ağaç modeli, mimarlık tarihi boyunca sıklıkla ilham kaynağı olmuştur. Süsleme modeli olarak kullanılan ağaç ve dallanma motifleri bunun ötesine geçerek yük iletme problemi yaşayan mimarlara ve tasarımcılara strüktürel alanda esin kaynağı olmuştur (Gülle, 2017).

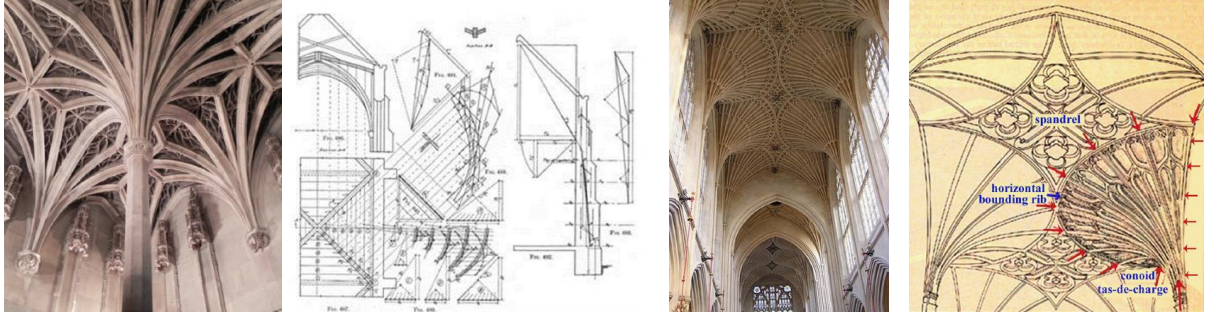
Tasarımcılar, ağacın kök, gövde, dallar ve yaprakların yük dağılımında görülen sistemi kendi yapılarındaki taşıyıcı sistemler için kullanmışlardır. John Smeaton sert rüzgarlara ve dalgalara karşı dayanıklı bir biçimde tasarladığı Eddystone Deniz Feneri (1759) formunu çınar ağacının dayanıklı yapısından esinlenerek oluşturmuştur.



Şekil 12. John Smeaton Eddystone Deniz Feneri -1759 (Gülle 2017).

Gaudi kilise ve katedrallerde dallanmış ağaç gövdesine benzeyen sütunları yapılarında kullanmıştır. Kullandığı bu sistem eğimli ve spiral ayakların yanı sıra kavisli, hiperbolik ve parabolik kemer ve tonozları kullanarak, iç veya dış desteğe ihtiyaç duymadan ağaçlar gibi dik duran sağlam yapılar yapmıştır (Selçuk ve ark., 2022). Modern mimarlığın öncüsü Frank Lloyd Wright yazılarında ve tasarımlarında sıklıkla ağaç dallarından ilham alarak sütunlarda kullanmıştır. Bu sayede Wright "biçim ve işlev bir bütündür" sözü kanıtlanmıştır. Günümüzdeki yapılarda ise ağaçlardan ilham alınarak üç boyutlu destekleme sistemleri olarak kullanılmaktadır.

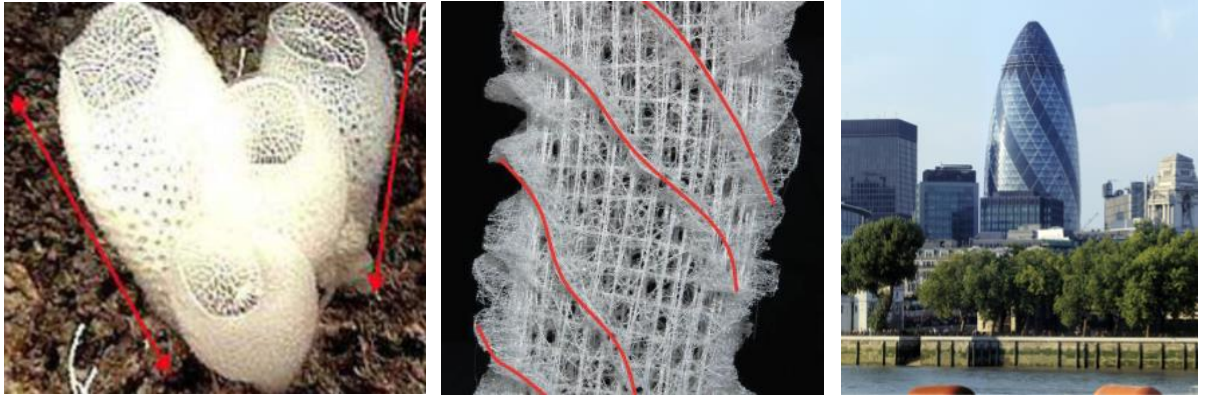




**Şekil 13.** a) Gotik kaburgalı tonoz  
 b) Tonozun örgüsü şeritlere ayrılarak 2d olarak incelenmiş  
 c) King's College Kilisesi ve yelpaze tonozu d) Gerilimleri gösteren şematik diyagram (Rian ve Sassone, 2014).

### 5.1.1.2 Venüs'ün Çiçek Sepeti Süngeri Mimariye Yansıma Biçimi

Bu canlının iskelet sistemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Açık ve kapalı olan simetrik boşluklu hücresel bir yapısı bulunmaktadır. İskelet sisteminde barındırdığı ince lifler, organik materyalleri oluşturan silindirik yapı ve silis seramiği bulunmaktadır. Yapısından dolayı bu deniz süngerinde kırılmalar ya da bükülmeler meydana gelmez (Öykünç ve Yıldızdağ, 2022). Bu yapıdaki deniz süngeri su altında cam gibi parlak bir özelliğe sahiptir. Ayrıca yuvarlak şekli güçlü su akıntılarına bağlı kuvvetleri azaltmaktadır. Norman Foster, St Mary Axe kulesinde Venüs çiçek sepeti süngerinden esinlenerek tasarlamıştır. Foster bu çiçeğin form özelliklerini ve strüktürel dayanıklılığını kuleye yansıtmıştır (G. Yeler ve S. Yeler, 2017).



**Şekil 14.** a) Venüs Çiçeği Sepeti Süngeri (G. Yeler ve S. Yeler, 2017)  
 b) Venüs Çiçek Sepeti'nin silindirik iskeletini saran dış spiraller (Öykünç ve Yıldızdağ 2022)  
 c) Norman Foster, St Mary Axe Kulesi (URL2).

### 5.1.1.3 Durian Bitkisinin Mimariye Yansıma Biçimi

Durian bitkisi; dikenli ve çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bitkinin çok katmanlı ve yarı sert kabuğu içerideki tohumları koruma özelliği bulunmaktadır, bu bitkinin kabuk özelliğinden esinlenilerek The Esplanade tiyatro binası tasarlanmıştır. Dp Architects ve Michael Wilford tarafından Singapur'da tasarlanan tiyatro binası; durian bitkisinin kabuk yapısına benzer şekilde çok katmanlı olarak tasarlanıp gölgelendirme sistemi oluşturulmuştur. Böylelikle iç mekânın aşırı ısınmasına engelleyerek içeriye doğal ışığının alınması sağlanılmıştır.



**Şekil 15.** a) Durian Bitkisi (Karataş, 2020)  
 b) The Esplanade Tiyatro Binası Cephesi (Karataş, 2020)  
 c) The Esplanade Tiyatro Binası Yakından Görünümü (URL 3)

### 5.1.2 İnsan Bedenin Mimariye Yansıma Biçimi

İnsan bedeninin dinamikleri ve statikleri yapı tasarımı için model olarak görülebilir. Vitruvius; insan bedeninin sahip olduğu simetri ve orantıyı doğal düzenin bir yansıması olarak nitelemektedir. Özellikle simetri ve orantı yöntemi antik dönem tapınaklarında kullanılmış ve tapınakların uzun süreli yapılar olması için bu yöneme dikkat edilmiştir. Antik dönem mimarisinde insan bedeninin kullanıldığına dair birçok örnek mevcuttur. Bunlar Agora'daki Kolossus ve Atina'da Akropolis'teki Erechtheum'dur. Bu yapılarda sütunların yerine Karyatid adı verilen başlarında pervaz ve damlalık bulunan mermerden yapılmış uzun cüppeli kadın heykelleri kullanılmıştır.



**Şekil 16.** a) Atina'daki Erechtheum'un Karyatid heykelleri  
 b) Delphide'deki Knidosluların Hazinesinden Karyatid Heykelleri  
 c) Şimdiki Roma'da Villa Albani'de Karyatid Heykelleri (Vitruvius -Mimarlık Üzerine On Kitap)

İnsan bedeni, mimari veya mimari parçaların sembolik bir modeli ve kopyası olarak kabul edilmiştir. Beden, ölçüler, sayılar, oranlar ve geometrik şekillerin yardımıyla metaforik bir şekilde aktarılmıştır. Yapılarında insan bedeninde ilham alan Santiago Calatrava, İspanya’da büyük bir sinema planetaryumu olarak inşa edilen L’Hemisferic (1996-1998) yapısını insan gözünden ilham alınarak tasarlamıştır. Calatrava, planetaryum küresini gözün irisi olarak tasarlamış ve hidrolik kaldırma kullanarak çelik ve cam panjuru açılıp kapanabilir bir biçimde oluşturmuştur. Yapının açılıp kapanan kısmı ise göz kapağı olarak düşünülmüş (Gosciniak ve Januszkiewicz, 2018).



**Şekil 17.** a) Santiago Calatrava L’Hemisferic eskiz çalışması (Gosciniak ve Januszkiewicz, 2018)  
b) L’Hemisferic Binası (URL4).

### 5.1.3 Hayvanlar Kategorisinin Mimariye Yansıma Biçimi

Hayvanların çok çeşitli oluşu ve hepsinin sahip olduğu sistemin birbirinden farklı olmasından dolayı tasarımcıların ilham aldığı bir diğer nokta olmuştur. Tasarımcılar, hayvanların derileri, kabukları, iskelet sistemi ve inşa ettikleri yaşamsal alanları gibi birçok özelliklerinden esinlenmiştir. Hayvanların sahip oldukları bu özellikler form açısından çeşitlilik sağlamakla birlikte formun kendi içerisinde barındırdığı taşıyıcı sistemi sayesinde tasarımcılara kolaylık sağlamaktadır.

Çeşitli özelliklerinden dolayı hayvanlardan esinlenilerek yapılan birçok tasarım mevcuttur. Bunlardan biriside Nicholas Grimshaw&Partners tarafından tasarlanan Waterloo uluslararası terminalidir. Pangolin’in esnek cildinden öykünerek tasarlanan terminal binasında cam paneller pangolin’in yapısındaki gibi parçalar halinde sabitlenerek oluşturulmuştur. Bu sayede trenlerin giriş ve çıkışlarında kaynaklanan hava basıncındaki değişiklik binaya zarar vermesi ve cam panellerin çatlaması engellenmiştir (G. Yeler ve S. Yeler, 2017).



**Şekil 18.** a) Pangolin (URL 5)  
b) Waterloo Uluslararası Terminali yakın görünümü (URL 6)  
c) Waterloo Uluslararası Terminali üstten bakış (URL 7)

Bir diğer örnek ise Mimar Mick Pearce tarafından tasarlanan Zimbabve'deki Eastgate kulesidir. Kulenin tasarımından termit yuvalarından ilham alınarak tasarlanmıştır. Termit yuvalarındaki baca sistemi sayesinde hava dolaşımı yuvayı sıcak veya serin tutmaktadır. Değişken hava koşulların önemli rol oynadığı bir bölgede bulunan yapıda bu sistem kullanılmaktadır. Hatta binada baca sistemi sayesinde hava dolaşımı sağlanarak enerji tüketimi aza indirilmiş ve enerji tasarrufu yapılmıştır (G. Yeler ve S. Yeler, 2017).



Şekil 19. a) Termit Yuvasının şematik çizimi (Uç ve Oğurlu, 2023)  
b) Eastgate Kulesi iç mekânı (URL 8)  
c) Eastgate Kulesi cephe görünümü (URL 9).

#### 5.1.4. Cansız Varlıkların Mimariye Yansıması

Biyofili tasarımın bir kategorisi olan doğal analoglar, tasarım parametrelerinden biridir. Doğal analoglar, doğanın organik, cansız ve dolaylı ilişkilerini ele almaktadır. Doğadaki cansız nesnelere, atomdan moleküllere, kristallere, kayalara, dağlardan sulara, yıldızlardan galaksilere kadar kendine özgü formları ve yapısal özellikleri olan bir yapı ailesini oluşturmaktadır. Farklı kategorilerde olan bu cansız nesnelere tasarımcılar tarafından desenleri, şekilleri, renkleri ve malzemeleri metafor bir şekilde doğayı taklit ederek tasarıma aktarılmaktadır (Arslan ve Sorguç, 2004).

Cansız doğal yapılar, insanlığın ilk barınma alanlarını oluşturmakta ve günümüzdeki yapı tasarımlarına örnek olmaktadır. İlk modern yer altı yapı örneği Peter Vetsch tarafından tasarlanan Earth House projesidir (Tundrea ve ark., 2014). Bu projede arazi, üzerine bina konumlandırılan bir toprak parçası olarak algılamının dışına çıkarak arazi ile yapı bir bütün olarak ele alınmıştır. Arazinin karmaşık yapısı kullanılarak mekânsal alanlar oluşturulmuştur. Erath house projesinden toprak örtüsünü yapının elemanı niteliğinde kullanılarak mekânsal kurgu oluşturulmuş ve yalıtım malzemesi olarak yararlanılmıştır (Bayraktaroğlu, 2013).



Şekil 20. a) Earth House Projesi Kuş Bakışı (URL 10)  
b) Earth House Projesi Yakın Görünümü ,(2007) Peter Vetsch, İsviçre, Dietikon (URL 11)

## 6. FORMLA BİRLİKTE STRÜKTÜR SİSTEMİN MİMARİYE YANSIMASI

Doğadaki canlı ve cansız nesnelerin sahip olduğu form mimarlık alanı için ilham kaynağı olmuştur. Formla birlikte birçok özelliği barındıran bu varlıklar insan yapıları için örnek oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalarda doğadaki yapıların sistemleri oldukça önemli özelliklere sahip olduğu gösterilmektedir ve bu biyolojik varlıklar sahip olduğu malzemeyle etkin biçimler ve strüktürler oluşturmaktadır (Benyus, 1997). Formun kendi içerisinde barındırdığı strüktür sistemi sayesinde, tasarımlarda form ve taşıyıcılığı bir bütün olarak çözüme kolaylığı sağlanmaktadır.

Burada amaç form ve strüktürü olduğu gibi kopyalamak değil, yapıya işlevsel ve yararlı bir şekilde avantaj sağlayarak tabiattaki işleyişi yapıda da göstermektir (Uçar, 2019). Tabiattaki oluşumlar ölçek, işlev ve oluşum süreçleri itibarıyla insan yapımı strüktürlerden farklı olmasına rağmen enerji korunumu, malzeme, hafiflik, sağlamlık, dinamik ve statik yüklere dayanımı gibi özellikleri yapay yapılara model olmaktadır (Uç ve Oğurlu, 2023).

Doğada ki yapıların sahip olduğu yük dağılımı ve işlevsel sistemi büyük ölçeklerde tasarlanarak yapay yapılara uygulanmaktadır. Buckminster Fuller doğadaki yapıları, dinamik, fonksiyonel ve hafif yapılar olduğu için optimum verimliliğe sahip olduğunu ve bununda insan yapımı strüktürler için önem niteliğini taşıdığını belirtmiştir. Fuller tasarladığı Jeodizik kubbesi; istiflenmiş kürelerin, enerji alışverişi sırasında karşılıklı etkilenerek düzenli ve kararlı biçimler aldığı belirlemiştir. Bu çalışma daha sonra atom çekirdeği ve virüslerin yapısını anlatmak için kullanılmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

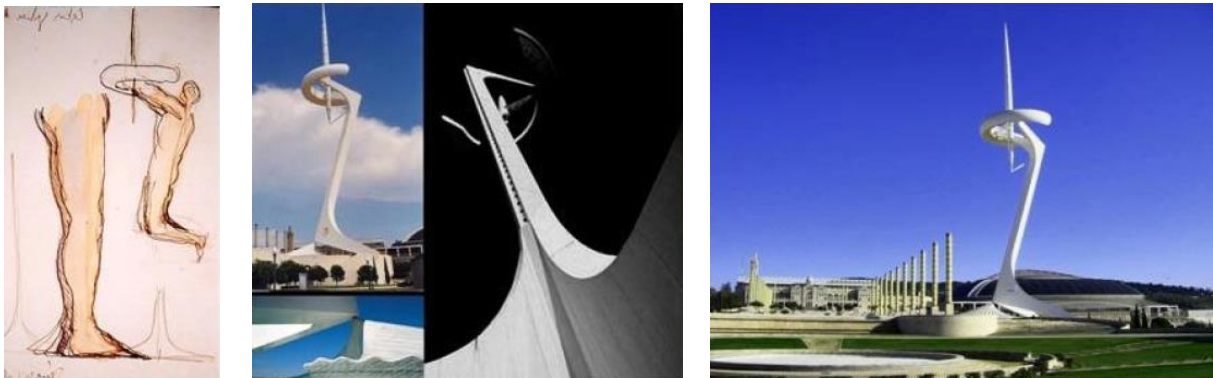


Şekil 21. a) 1967 Dünya Expo Fuarı (URL 12)

b) Expo Fuarı Detay (URL 13)

c) Fuarın Kesiti (URL 14) Buckminster Fuller Kanada, Montreal

Doğadaki strüktürleri yapılarında kullanı bir diğer mimar Santiago Calatravadır, tasarımlarını insan anatomisinden, denge ve kuvvet sistemlerinden esinlenerek tasarlamıştır. Calatrava Barselona Montjuic tepesinde tasarladığı Telekomünikasyon kulesinin de insan vücudundaki sistemin çalışması ve kuvvet dağılımının tasarıma ve mimari çözüme ilham kaynağı olabileceğini göstermiştir. Yaz olimpiyatları için tasarlanan kulenin şekli olimpiyat meşalesini ateşleyen bir koşucunun pozunu seçilmiş ve koşucunun vücudundaki kuvvet sistemi ve gerilmelerinden ortaya çıkan formla birlikte taşıyıcı sistemine karar verilmiştir (Gosciniak ve Januszkiewicz, 2018).



Şekil 22. Santiago Calatrava Torre de Montjuic Barselona (1989-1992)

a) Taslak çizimler

b) Kulenin görselleri (Gosciniak ve Januszkiewicz, 2018).

## 7. DOĞADAN ESİNLENEN MİMARLAR

“Doğanın derinliklerine bakın o zaman her şeyi daha iyi anlayacaksınız” diyen Albert Einstein gibi Michael Pawlyn de doğanın derinliklerine bakılması gerektiğini, doğanın geniş bir ürün yelpazesinin olduğunu ve 3,8 milyar yıllık bir araştırma ve geliştirme sürecinde var olan bir unsurun kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Çeşitli bir yapıya sahip olan doğa, içinde barındırdığı ve her bir varlığa has olan işlevsel sistemi, biçimi, strüktürü, deseni ve malzemesi ile benzersiz örnekler sunmaktadır. Bu özellikleri tek bir yapıda sunan doğa sahip olduğu sınırsız bilgi ve insanların problemlerine sunduğu çözümler ile her daim öğretici bir unsur ve tasarımcılar için ilham kaynağı olmaktadır. Bundan dolayı mimarlar, farklı yapı türlerindeki karmaşık sorunların çözümlerini doğada aramaya başlamış ve farklı amaçlara yönelik işlevsel yapılar oluşturmak için doğadaki formları metafor bir şekilde yapılara yansıtılmışlardır (Pathak, 2019).

Mimarlar, doğanın sahip olduğu geniş tasarım fikirlerinden uzun yıllardır faydalanmaktadırlar. Doğanın bu özelliğinden faydalan Gaudi yaşadığı bölgeden dışarı seyahat etmemesine rağmen doğal yapıları gözlemleyerek yapılarda farklılığı ve estetiği yakaladığı gözlemlenmiştir. Hatta tasarladığı yapılarda uygun taşıyıcı sistemleri inşa etmek için doğadaki yapıların, dinamik ve statik yüklere nasıl karşı koyduğunu gözlemleyerek tasarımlarına aktarmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Frei Otto ise doğal yapıların gelecek için form üretmede kullanılması gerektiğini ve doğadan öğrenecek çok şey olduğunu vurgulamıştır (Öztürk, 2013). Her daim farklı strüktür arayışı içerisinde olan Otto, üzerinde çalıştığı geniş açıklıklara sahip yapılar için tasarladığı taşıyıcı sistemler, doğal strüktürler ile aynı işleyişte olmaktadır (Gülle, 2017).

### 7.1 Antonia Gaudi

Katlana mimar Antoni Gaudi'nin (1852-1926) eserlerine bakıldığında doğadan esinlendiğini yapılarında doğal formları ve örüntüleri kullandığı gözlemlenmektedir. Gaudi, bitkilerin ve hayvanların oluşumlarından ve özelliklerinden ilham alarak yapılarını tasarlamıştır. Bitkilerin yaprak örüntülerini, dalların kıvrımlarını ve ağaçları doğal sütunlar olarak gören mimar bunları yapılarında kullanarak estetiği ve strüktürü bir arada çözmüştür. Hatta hayvanların ve insanların iskelet sisteminde öykünerek tasarladığı binaların taşıyıcı sistemlerinin kemiksi bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Gaudi, yapısal ve estetik olarak yapılarında doğayı ön plana çıkarmış ve hem iklimsel hem de bölgesel özelliklere dayalı çalışmalar ortaya koymuştur. Buda çevredeki oluşumlardan etkilendiğini ve yerel geleneği yansıtan binalar tasarladığı göstermektedir. Çevredeki verileri doğru bir şekilde kullanarak doğayla bütün yapılar tasarlamıştır (İlhan ve ark., 2023).

#### 7.1.1 Casa Batllo

Yerel ismi Casa dels ossos yani kemiklerin evi anlamına gelen bina Barselona şehrinin merkezinde yer almaktadır. Gaudi tarafında 1904 yılında restore edilen yapı tekstilci Josep Batllo için tasarlanmıştır. Dar uzun dikdörtgen bir parselin üzerine inşa edilen Casa Batllo yapısının cepheleri üç farklı şekilde tasarlanarak yapının olabildiğince doğal ışık alınması sağlanmıştır.

Zemin kattaki cephede sütunlar çıplak bırakılarak taş galeri oluşturulmuş ve zemin kattaki sütunların birinci katta içeriden devam etmesi sağlanmıştır. Böylelikle kemikli yapıya sahip sütunların iç mekânlarda da aynı şekilde devamı sağlanarak bütünlük oluşturulmuştur. Birinci katta kullanılan galerinin alt katta verdiği etkiyi artırmak için cam cephe kullanılmıştır (İlhan ve ark., 2023).



Şekil 23. a) Casa Batlló Ön Cephe Çizimi (URL 15)  
b) Casa Batlló Ön Cephe (URL 16)  
c) Birinci Kat (URL 17)

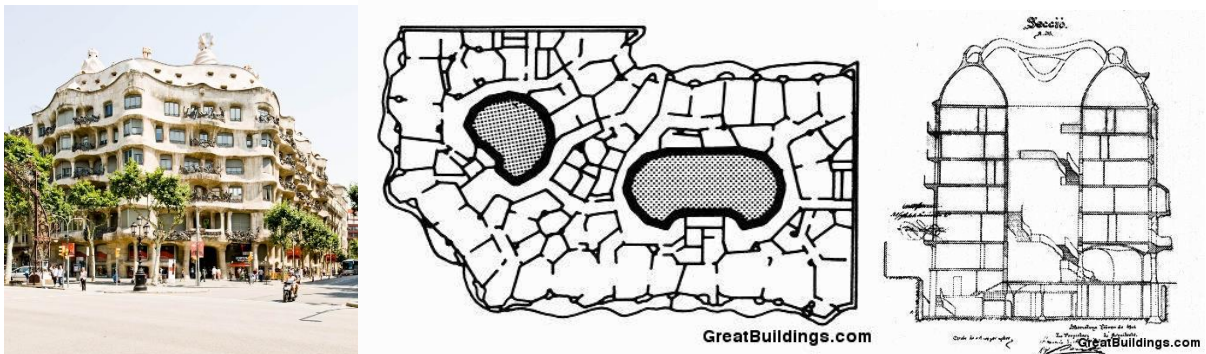
Cephede farklı olan üçüncü unsur ise balkonlar metalden yapılarak üst kat cepheleri oluşturulmuştur. Dış cephede yer alan tasarım unsurları kemik yapısını andırmakta ve çatı yapısı ise sürüngen bir görünüme sahip olup ejderha veya dinozoru anımsatmaktadır.



Şekil 24. a) Casa Batlló birinci kat iç mekân (URL 18)  
b) Yapının balkon detayları (URL 19)  
c) Çatı Katı (URL 20)

### 7.1.2. Casa Mila

İspanya'nın Katalonya şehrinde bulunan Casa Mila yapısı 1906-1910 yılları arasında Antoni Gaudí tarafından tasarlanmıştır. Yapımında doğal taş kullanılmasından dolayı taş ocağı anlamına gelen La Pedrera ismiyle de bilinmektedir. Casa Mila yapısı; bodrum kat, zemin kat, ana kat, dört üst kat ve çatı katı olmak üzere dokuz ana bölümden oluşan daire ve ofisleri içinde barındıracak şekilde tasarlanmıştır (İlhan ve ark., 2023).



**Şekil 25.** a) Casa Mila Yapısı (URL 21)  
b) Plan Görünümü (URL 22)  
c) Kesit Görünümü (URL 23)

Gaudi, yapının işlevsel olan her bir elemanı heykeli andıracak biçimde ve yapıyla bütün olarak tasarlanmıştır. Çatıda yer alan acil durum merdivenleri, vantilatör, çatı pencereleri ve bacaların her biri farklı biçimde tasarlanmıştır ve bunlara bakan kişiler farklı heykelimsi formlar görmektedir (Yazıcı 2016). Cephede de bunu devam ettiren Gaudi cephelyi oluştururken deniz dalgalarından ve yosunlardan ilham almıştır. Dalgaların etkisini cephede daha yoğun hissettirmek isteyen mimar balkonların dökme demir korkulukları ile bu etkiyi artırmıştır. Bu sayede cephede akıcı ve dinamik bir etki oluşturulmuştur (İlhan ve ark., 2023).



**Şekil 26.** a) Balkon Detayı ve Ferforjeler (URL 24)  
b) Çatı Katı (URL 25)  
c) İç Avlu (URL 26)

Casa Mila binası doğayla uyumlu bir tarzda tasarlanmıştır, yapının detayların da kullanılan çiçekler, yapraklar ve kıvrımlı çizgilerin hâkim olması bunu göstermektedir. Deniz dalgalarını çağrıştıran tasarım anlayışı ve gün içerisinde oluşan gölge kontrastları ile bu etki dışarda gösterilirken içerde de aynı organik etki devam ettirilmiştir. İç mekânda devam eden dallanma ve kıvrımlı hareketler yapının her alanında doğayla olan uyumu ve doğadan esinlendiği hissettirilmektedir.



**Şekil 27.** a) Casa Mila Merdiven Görünümü (URL 27)  
b) Çatı Katı (URL 28)  
c) Casa Mila yapısının iç mekân detayı (İlhan ve ark., 2023).

## 7.2 Frei Otto

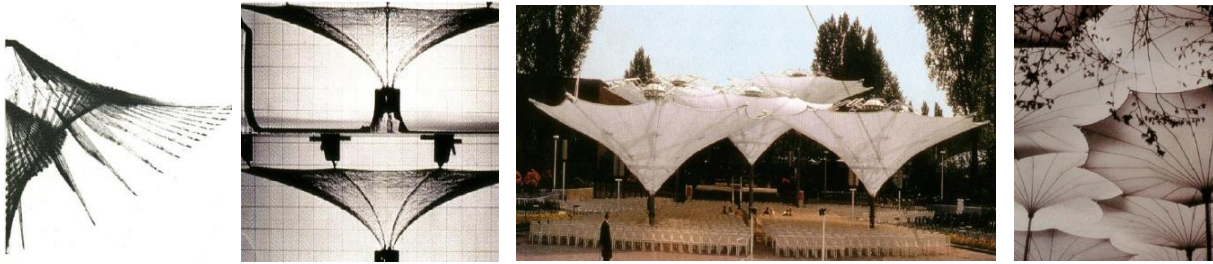
Siegmar, Saxony de doğan (31 Mayıs 1925) mimar ve mühendis olan Frei Otto yaşamı boyunca doğadan ilham almış ve sürekli yeni form ve strüktür arayışı içerisinde olmuştur. Bu arayış sürecinde doğal yapılardan, bitkilerden, hayvanlardan ve insanlardan esinlenerek formla birlikte yeni strüktürleri keşfetmiştir. Özellikle ağaç ve örümcek ağı gibi dallanma yapan formlardan ilham almış ve inşa ettiği yapılarda geniş açıklıkları, kolonların şekli ve boyutu, yapının bölümlerinin nasıl olacağına dair tüm işleyiş sistemi doğadaki sistemle aynı mantıkta tasarlamıştır.



Stuttgart'ta kurduğu (1964) Hafif Yapılar Enstitüsü doğadaki yapılaşma ve oluşum sürecini anlamaya ve doğadan öğrenme sürecini başlatmıştır. Frei Otto ve ekibi formlar ve süreçler üzerine yaptıkları disiplinler arası çalışmalarda birçok sistem ve teknik üretmişlerdir. Yıllarca süren bu çalışmalarda ekonomik, hafif, uyarlanabilir yapılar üzerine sistematik araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Otto'ya göre binalar doğal yapılar olmalıdır (Gülle ve ark., 2022).

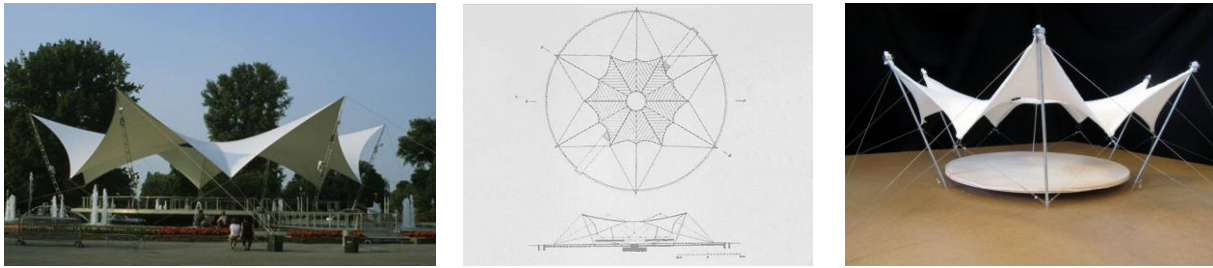
### 7.2.1. Frei Otto'nun Çadır ve Şemsiye Çalışmaları

Otto, ağaçların dallanmasını, örümceğin ağ biçimi ve sabun köpüğünün oluşumun sistemini geniş açıklıkları oluşturmada ilham kaynağı olarak kullanmıştır. Tasarımlarda ağacın genel şekli soyutlanarak mantar, şemsiye ve çadır şekli alması sağlanmıştır. Taşıyıcı sistemde kullanılan bu metafor sayesinde havaalanları, spor salonları ve alışveriş merkezleri gibi kamu alanları bu veriler niteliğinde oluşturulmuştur.

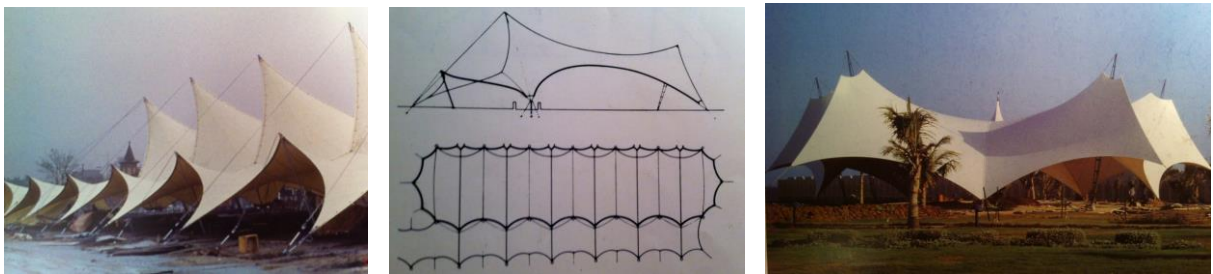


**Şekil 28.** a-b) Frei Otto Şemsiye Çalışması  
c-d) Otto'nun Köln'de tasarladığı bir bahçe sergisi (Gülle, 2017 s. 46-47)

Çadır sistemin tasarımı ve şekli için minimum yüzey kavramını keşfeden Otto, yaptığı deneysel çalışmalarla bu sisteme varmıştır. Deneylerde kullanılan sabun solüsyonlu sıvıya bir çerçeve batırılarak oluşan sabun köpüğü minimum yüzey alanını vermektedir. Formu bulmak için ilk olarak örme kumaş iplik tüy ve tel malzemeleri kullanılmıştır fakat en iyi formu sabun deneyi vermiştir (Gülle, 2017). Şekil 29-30-31' de Otto'nun çadır formundaki çalışmaları örnek gösterilmiştir.



**Şekil 29.** Frei Otto, Dans Pavyonu Federal Bahçe Fuarı, Köln, Almanya (1957) (Durgut, 2014)



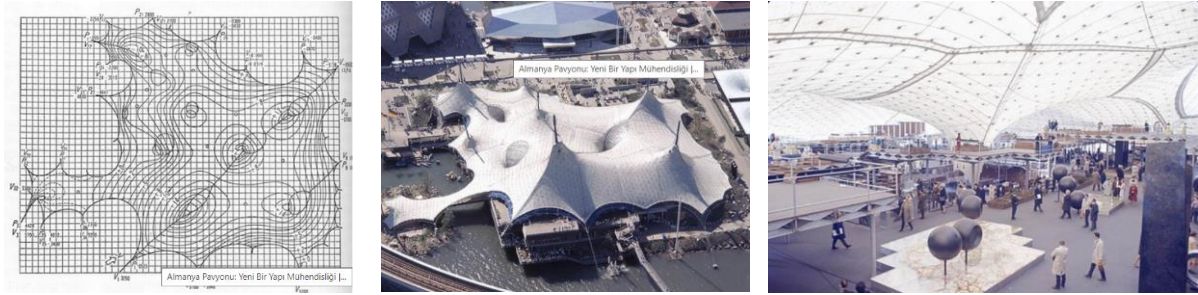
**Şekil 30.** Frei Otto Dalga Pavyonu Uluslararası Bahçe Fuarı, Hamburg, Almanya (1963) (Durgut, 2014)



**Şekil 31.** Frei Otto, Expo 64 Ulusal Sergi Fuarı, Lozan, İsviçre (1964) (Durgut, 2014)

### 7.2.2. Alman Pavyonu Expo 1967

Montreal da gerçekleştirilen (1967) dünya sergisi, 20.yüzyılın en başarılı Expo'su kabul edilmiştir." İnsan ve Dünyası" adı altında gerçekleştirilen fuar, Frei Otto ile Rolf Gutbord tarafından hazırlanmış ve bu proje yarışma yoluyla seçilmiştir. Expo 67 fuarı hafif yapıların başyapıtı olarak kabul edilmiştir. Uzun süren araştırmalar sonucu hafif ve büyük açıklıkları geçen membran, ağ ve kafes sistemin bir çalışması sonucu olarak değerlendirilen proje konumlandığı arazinin topografyasıyla ve sulak alanlarla bağlantı kurmaktadır (Durgut, 2014).



**Şekil 32.** a) Alman Pavyonun Çatı Planı  
b) Alman Pavyonu Çatı Örtüsü  
c) Pavyonda Fuar Alanı (Durgut, 2014).

İlk kablo ağından tasarlanan Expo 67 fuarın, üst örtü sisteminin formunu bulmak için Otto birçok deneysel çalışma yapmıştır. Çatı örtüsünün membran olup yüzde elli geçirgenliğe sahip olmasından dolayı, mekânda doğal ışıklandırma ve doğal havalandırma sirkülasyonu sağlanmaktadır. Ayrıca serbest düzende yerleştirilmiş kolonlara bağlı sistem sayesinde iç mekânın her noktasında farklı hacimler bulunmaktadır ve bu alanlar zemin kat artı asma kat olarak kullanılmıştır (Durgut, 2014).

### 7.3 Frank Gehry

Polonya kökenli olan Frank Gehry, 28 Şubat 1929 yılında Toronto şehrinde doğmuştur. Yaşadığı bölgede akranlı tarafından dışlanan Gehry ergenlik döneminde yaşlıları tarafında balık takma adı ile anılmıştır. İlk başta bu takma adın pek bir anlamı olmasa da daha sonra hayatında önemli bir figür olarak yer almış ve balık figürünü tasarımlarına somutlaştırarak aktarmıştır. Gehry neo klasizim akımına karşı yeniyi ve doğayı savunarak heykelsi, kavisli, kıvrımlı ve biyomorfik formları savunmuştur (Yazıcı, 2021).

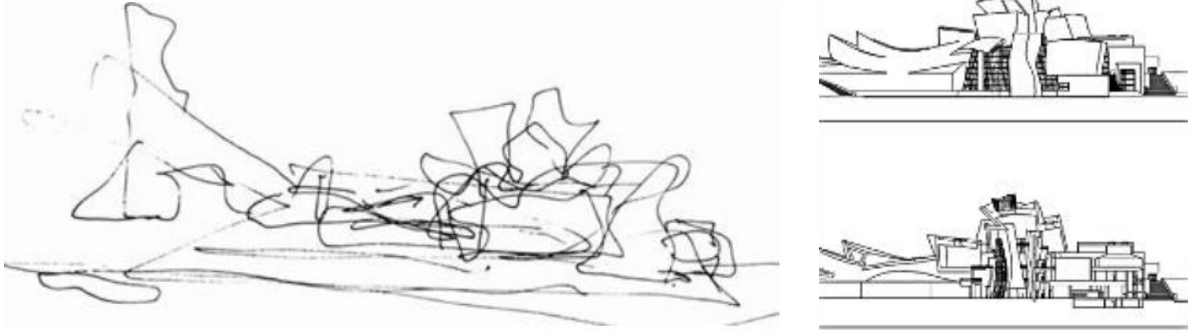
Frank Gehry'nin tasarım anlayışı zamanla ve mesleki deneyimle şekillenmiştir. Sakin ve hareketsiz bir temada formlarını şekillendiren mimar, ilerleyen süreçlerde değişen üslup ve düşünce biçimiyle birlikte daha karmaşık, kıvrımlı ve organik şekillere yönelmiştir. Mimaride hareket kavramını temel almış ve bunu insan geçmişinden daha fazla bir geçmişe sahip olan balıktan ilham alarak yapmıştır. Balık formunu saplantı haline getiren Gehry balıkların hareketini kendisini etkilediğini ve balıkların anatomisinin üzerinde yaptığı araştırmaların mimari anlayışındaki dinamikliği vurguladığını belirtmiştir (Yazıcı, 2021).



**Şekil 33.** Frank Gehry'nin zamanla değişen tasarım anlayışı  
 a) Gehry Residence -ABD (1978-1991)  
 b) Loyolo Law School- ABD (1978)  
 c) Winston Guest House- ABD (1982)  
 d) Guggenheim Müzesi- İspanya (1997) (Yazıcı, 2021).

### 7.3.1. Guggenheim Bilbao Müzesi

İspanya, Bilbao şehrin sembolü ve ikonik bir tasarıma sahip olan müze (1997) Nervion nehrinin kıyısına konumlandırılmıştır. Modern mimarinin önemli yapılarında biri olan müze, kabuk tasarımı ve iç mekân kurgununun tamamı organik ve kavisli bir çizgiye sahiptir. Frank Gehry'nin yaşamında önemli yere sahip olan balık formu bu müzede kullanılmıştır. Tasarımda balınaya benzetilen eğrisel hacim; yapının estetiksel bir görünüme sahip olmasını sağlamıştır. Bu eğrisel form sayesinde kontrollü bir şekilde cephe yarıklarından içeriye doğal ışık ve hava akımının girmesi sağlanmıştır (Geylani, 2023).



**Şekil 34.** Guggenheim Bilbao Müzesi  
 a) Eskiz Çizimi  
 b) Kesit Görünüşleri (Geylani 2023) (Yazıcı, 2021).



**Şekil 35.** Guggenheim Bilbao Müzesi  
 a) Genel Görüntüsü  
 b) Giriş Görüntüsü  
 c) İç Mekan Tavan ve Işıklandırma Detayı (Gayret, 2016).

## 8. DOĞAL FORMUN TASARIMA FAYDALARI

Mimarlar ve tasarımcılar, tasarımlarında doğadan ilham almış ve doğal yapılardan öğrendikleri sistemi yapılarına işlemişlerdir. Doğal yapıların kendine has formu, işleyiş sistemi ve her bir sistemin birbirinden farklı özellikleri bulunmaktadır. Doğadaki oluşumları kendiliğinden var olan bu yapıların sahip oldukları form, içerisinde taşıyıcı sistemini de barındırmakta ve bu sayede tasarımcılara esin kaynağı olan formla birlikte strüktürü de çözmeye imkân sağlamaktadır. Ayrıca doğal yapıların hafif ve geniş açıklı taşıyıcı sistemini, yapay yapılara uygulama olanağı sunmaktadır.

Yapay Yapılarda kullanılan doğal form yapının diğer işleyiş alanlarına da ilham kaynağı olmaktadır. Canlı bir organizmanın sahip olduğu dolaşım sistemini yapay yapılara formla birlikte uygulanması, tasarımda estetik bir dil bütünlüğü oluşturmaktadır. Doğal formun sahip olduğu biçim, doğal havalandırma, doğal ışık alma, koruyucu tabaka gibi pek çok özelliği insan yapımı yapılarda enerji tüketimi azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Doğadaki işleyişin formla birlikte binalara uygulanmasıyla doğanın yararlı etkilerinin sürdürülmesi ve bu etkilerin korunmasını olanak sağlayan bir tasarım anlayışı olmaktadır.

Bu tasarım anlayışı, modern dünyada insanın tabiatında var olan doğayla bağlantı kurmasını sağlayarak insanın fiziksel ve ruhsal sağlığını devam etmesini amaçlanmaktadır (Kellert ve Calabrese, 2015). Doğal unsurları barındıran mekanlarda, yaşayan ve çalışan insanların stresinde azaltıcı etkilerin olduğunu veya bu tür mekanlarda tedavi görenlerin hızlıca iyileştiği gözlemlenmiştir. Yapay yapılarda doğal havalandırma, güneş ışığı, desen, şekil ve doku gibi faktörlerin insan sağlığı üzerinde pozitif etkileri olmaktadır. Bu sebeple tasarımcılar insanlar için yapay çevrede biyolojik bir organizmanın işleyiş gibi işleyen yaşam alanları tasarlamaktadır (Kaya, 2018). Yapay yapı tasarımlarında, doğadan esinlenilerek oluşturulan form sadece estetik kaygı amacı taşımamaktadır. Formun sahip olduğu özellikler tasarımda kolaylık sağlarken yapıdaki işleyiş de oluşturmaktadır. Biçim ve işlevi bir arada barındıran form sayesinde eşsiz tasarım fikirleri ve yararlı mekanlar oluşturularak formun tasarıma faydaları gözlemlenmektedir.

## SONUÇ

İnsanın birincil mekânı olan doğa, sınırsız fikirleriyle öğretici nitelikte olması mimarlar ve tasarımcılar için ilham kaynağı olmuştur. Mimari tasarımda ilk başlarda süsleme figürleri olarak kullanılan ağaç, yaprak, dallar, hayvanlar, dağ ve taş gibi doğal figürler daha sonrasında metafor bir şekilde tasarımlara aktarılmıştır. Tasarımda zamanla yaşanan değişimler ve teknolojik gelişmelerle disiplinler arası yapılan çalışmalar sonucu; doğal faktörleri barındıran biyomikri, biyomimesis, biyofili ve fraktal geometri gibi kavramlar literatüre girmiştir. Bu terimler doğa tabanlı olup insanlara doğayı öğretme, doğayı yapılara işleme ve doğal formları tasarımlarda kullanmaya davet etmektedir.

Doğal formları “canlı”, “cansız” ve “canlı organizmalar” kategorilerine ayırarak yapılan araştırmalarda, doğal yapıların tasarımda kullanılması mimariye farklı bir bakış açısı getirdiği gözlemlenmiştir. Mimariye oluşan bu tasarım anlayışı, yapıların eşsiz bir formda tasarlanması, keskin düz hatlardan yumuşak hatların olduğu ve dinamikliğe sahip yapıların tasarlanmasına olanak sağlamıştır. Doğayı örnek alarak yapıları tasarlamaya devam ettikçe yaşayan bir sistemi, yapay sisteme aktararak canlılık kazandırılması amaçlanmıştır. Yaşayan bir sistem olan insanoğlu kendisi gibi canlı bir sistemde yaşaması fiziksel ve ruhsal olarak iyi hissetmesi sağlanmaktadır.

Doğadaki yapılar yaşadığı çevrenin şartların göre biçimlenmekte ve o çevrenin koşullarına uyum sağlayacak şekilde sistemleri gelişmektedir. Mimarlar ve tasarımcılar yapıların yapıldığı tabiatta yaşayan canlılardan ilham alarak tasarım yapması tasarımda kolaylık ve avantaj sağlayabileceği gözlemlenmektedir. Doğadaki yapıların sistemsel işleyiş formuyla birlikte yapay yapılara aktarılması ve formuyla beraber strüktür sisteminin çözülmesi tasarımda bütünlük sağlanmaktadır. Doğadan yapay yapılara aktarılan bu etkiler sayesinde doğanın etkilerinin sürdürülmesi ve doğayla bağların kuvvetlenmesi amaçlanmaktadır. Doğal formların mimari tasarım üzerinde birçok avantajı olduğunu ve yapay yapılarda doğadaki yapıları işlemek, geçmişte ve şimdi olduğu gibi gelecek yüzyıllarda olması öngörülmektedir.

**KAYNAKLAR**

Agkathidis, A. (2016). Implementing biomorphic design. Aulikki Herneoja Toni Österlund Piia Markkanen Oulu School of Architecture University of Oulu, 291.

Arslan, S., & Sorguc, A. G. (2004). Similarities between structures in nature and man-made structures: biomimesis in architecture. *Design and nature*, 2, 45-54.

Arslan Selçuk, S., Gülle, N. B., & Mutlu Avinç, G. (2022). Tree-like structures in architecture: Revisiting frei otto's branching columns through parametric tools. *SAGE Open*, 12(3), 21582440221119479.

Arslantaş, Y. (2016). Paleolitik ve Mezolitik (Epi-Paleolitik) Çağ'da Barınma. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(2), 319-344.

Bayraktaroğlu, Ö. E. (2014). Mimarlıkta ekosistem düşüncesiyle tasarlamak.

Beyaztaş, H. S. (2012). Mimari tasarımda ekolojik bağlamda biçim ve doğa ilişkisi.

Benyus, J. M. (1997). Biomimicry: Innovation inspired by nature.

Çorakçı, R. E. (2016). İç mimarlıkta biyofilik tasarım ilkelerinin belirlenmesi.

Değirmenci, F. B. (2009). *Fraktal geometri ve üretken sistemlerle mimari tasarım* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Demirci, B. F. (2019). *Mimari tasarımda biyoşbirlikçi bir yaklaşım olarak bakteriyel biyokalsifikasyonun kullanımı üzerine bir inceleme* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Demir, H. (2019). Anadolu'da II. Theodoisius Dönemi Sütun Başlıklarında Maske Akanthus Motifi Kullanımı. *Akademik Hassasiyetler*, 6, 135-157.

Dinçer, D. (2021). SMART Journal. *Journal*, (Issn: 2630-631X), 9(75), 4405-4413.

Durgut, [https://www.academia.edu/upgrade?feature=searchm&from\\_navbar=true&trigger=nav](https://www.academia.edu/upgrade?feature=searchm&from_navbar=true&trigger=nav) En son erişim 17.03.2024

El-Zeiny, R. M. A. (2012). Biomimicry as a problem solving methodology in interior architecture. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 50, 502-512.

El-Ghobashy, S., & Mosaad, G. (2016). Nature influences on architecture interior designs. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 573-581.

Ertin Tezgör, D. G., & Karakaya Aytin, B. (2022). Biyomorfik Form ve Örüntülerden Esinlenen Tasarımlar Üzerine Bir Stüdyo Deneyimi. *SED Journal of Art Education*, 10(1).

Gayret, T. (2016). Müzeciliği'nde Bir Şehri Kalkındıran Müzecilik Örneği, Guggenheim Bilbao Müzesi. *Art-e Sanat Dergisi*, 9(17), 354-375.

Geylani, Ö. (2023). Hayvan İskeletinin Sanat ve Mimarideki Yansımaları. *İdil Sanat ve Dil Dergisi*, 12(108), 1139-1151.

Gosciniak, M., & Januszkiewicz, K. (2019, February). Architecture inspired by Nature. Human body in Santiago Calatrava's works. Sophisticated approach to architectural design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 471, No. 8, p. 082041). IOP Publishing.

Güler, B. (2000). *Mimari-doğa ilişkisi ve doğayla uyumlu mimari tasarım yaklaşımları üzerine bir inceleme* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Hallgren, L. (2014). Santiago Calatrava.

Ibrahim, I. G. (2015). The Role of Nature Form Versus Life Principles in Achieving Sustainability of Bio-Mimic Architecture: Measuring the Gap of Contemporary Egyptian Practice of Bio-Mimic Architecture. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 43(6), 929-954.

İlhan, M. N., Aykal, F. D., & Özil, Ö. Ü. M. E. (2023, April). Antom Gaudı Eserlerinde Organik Formun Çevresel Faktörler Çerçevesinde İncelenmesi. In *Conference Book* (p. 73).

İnner, S. (2019). Biyomimikri ve Parametrik Tasarım İlişkinin Mimari Alanında Kullanımı ve Gelişimi. *Tasarım Enformatiği*, 1(1), 15-29.

Joye, Y. (2006). An interdisciplinary argument for natural morphologies in architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(2), 239-252.

Karabetça, A. R. (2015). Doğadan esinlenmiş tasarımlar: tasarım stratejisi olarak biyomimikri.

Karataş, T. (2020). Çevresel sanat uygulamalarının sürdürülebilirliğe katkısı ve biyomimikri. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (24), 721-744.

Kaya, H. & Selçuk, S. A. (2018). Biyofilik Tasarım ve İyileştiren Mimarlık: Sağlık Yapıları Üzerine Bir Değerlendirme. *Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS)*, 2(3), 35-47.

Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. *London: Terrapin Bright LLC*, 3(21).

Kim, J., & Park, K. (2018). The design characteristics of nature-inspired buildings. *Civil Engineering and Architecture*, 6(2), 88-107.

Öcal, Ş. (2007). *Lagina ve Stratonikeia Korint başlıkları* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Ölgen, B. (2020). Mimari Tasarım Eğitiminde Biyomimikri ve Form İlişkinin Kullanımı Üzerine Bir Literatür İncelemesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 539-551.

Öykünç, D., & Yıldızdag, M. E. (2023). Venüs' ün Çiçek Sepeti Süngerinden Esinlenerek Tasarlanmış Bir Kafes Sistemin Yapısal Davranışının İncelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (222), 64-75.

Öz, Ç. (2021). Frank Gehry ve Gehry Mimarlığının Dili. *Modular Journal*, 4(1), 46-61.

Özkan, M., & Yağcı, U. (2021). Estetik ve Kültürel Bir İletişim Nesnesi Olarak Ergani Çayönü Mağara Kabartmaları ve Sembolik Motifler. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 18-30.

Öztürk, N. (2013). Form Bulma Kuramı ve Doğal Üzerinden Yapayın Keşfi'Çalıştay. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 1(12), 83-101.

Öztürk, Z. K., & Şimşek, A. (2019). Tarih öncesi dönemdeki ilk barınma alanları ile Anadolu'daki Körtik Tepe, Hallan Çemi, Nevali Çori ve Aşıklı Höyük yerleşimlerinde, inanç ve kültürün etkisinin incelenmesi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(3), 14-22.

Pathak, S. (2019). Biomimicry:(innovation inspired by nature). *International Journal of New Technology and Research*, 5(6), 34-38.

Rian, I. M., & Sassone, M. (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 298-323.

Selçuk, S. A., & Sorguç, A. G. (2007). Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2).

Tavşan, C., Çelenk, A., & Tavşan, F. (2021). Doğa ve Teknoloji Kesişiminde Neri Oxman'ın Tasarım Yaklaşımı. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(2), 405-424.

Tundrea, H., Maxineasa, S. G., Simion, I. M., Taranu, N., Budescu, M., & Gavrilesu, M. (2014). Environmental impact assessment and thermal performances of modern earth sheltered houses. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(9), 2363-2369.

Uçar, S. (2019). Mimari açıdan biyomimikrinin tasarım paradigması olarak değerlendirilmesi. In *SETSCI Conference Proceedings* (Vol. 4, No. 3, pp. 213-219).

Uç, B. (2023). Ekolojik Mimari Tasarımda Biyomimikri ve Ekomimikri. *YDÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 6(1), 86-106.

Uç, B. (2014).

[https://www.researchgate.net/publication/367465436\\_Mimari\\_Tasarımda\\_Biyomorfik\\_Yaklaşımlar\\_Yakındoğu\\_Üniversitesi\\_Fen\\_Bilimleri\\_Eenstitusu\\_Ic\\_Mimarlık\\_Ana\\_Bılım\\_Dalı\\_Yuksekk\\_Lisans\\_Tezi\\_Ic\\_Mimar\\_Betul\\_Uc\\_Zeytun\\_Lefkosa\\_2014](https://www.researchgate.net/publication/367465436_Mimari_Tasarımda_Biyomorfik_Yaklaşımlar_Yakındoğu_Üniversitesi_Fen_Bilimleri_Eenstitusu_Ic_Mimarlık_Ana_Bılım_Dalı_Yuksekk_Lisans_Tezi_Ic_Mimar_Betul_Uc_Zeytun_Lefkosa_2014) (Erişim Tarihi 10.05.2024)

Vitalis, L., & Chayaamor-Heil, N. (2022). Forcing biological sciences into architectural design: On conceptual confusions in the field of biomimetic architecture. *Frontiers of Architectural Research*, 11(2), 179-190.

Vitruvius, Mimarlık Üzerine On Kitap

Vorobyeva, O. I. (2018, November). Bionic architecture: back to the origins and a step forward. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 451, No. 1, p. 012145). IOP Publishing.

Yeler, G. M., & Yeler, S. (2017). Models from nature for innovative building skins. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 142-165.

Yazıcı, Y. E. (2016). Gaudi Dokunmamızı Mı İstedi?. *Mimarlık ve Yaşam*, 1(1), 53-60.

## ŞEKİL KAYNAKLARI

**Şekil 9. URL-1** <https://www.archdaily.com/438992/ad-classics-la-sagrada-familia-antoni-gaudi>  
Erişim tarihi:13.05.2024

**Şekil 14. URL-2** <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>  
Erişim tarihi:10.01.2024

**Şekil 15. URL-3**  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Esplanade\\_%E2%80%93\\_Theatres\\_on\\_the\\_Bay#/media/File:Esplanade\\_close.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Esplanade_%E2%80%93_Theatres_on_the_Bay#/media/File:Esplanade_close.JPG)  
Erişim tarihi:03.01.2024

**Şekil 17. URL-4** <https://www.idesignarch.com/lhemisferic-an-eye-catching-architectural-masterpiece-in-valencia/> Erişim tarihi: 15.01.2024

**Şekil 18. URL-5 Pangolin görseli:** <https://www.sierraclub.org/sierra/2016-5-september-october/critter/pangolin-weirdest-animal-earth>

**URL- 6-7-** [https://grimshaw.global/projects/gallery/?i=227&p=93001\\_N509\\_banrimgland](https://grimshaw.global/projects/gallery/?i=227&p=93001_N509_banrimgland)  
Erişim tarihi: 03.02.2024

**Şekil 19. URL- 8- 9** <https://archestudy.com/biomimicry-architecture-eastgate-center-harare-zimbabwe/>  
Erişim tarihi:15.10.2023

**Şekil 20. URL- 10- 11** <http://www.bubblemania.fr/en/peter-vetsch-2007-dietikon-suisse/>  
Erişim tarihi:13.10.2023

**Şekil 21. URL -12-13-14** <https://www.arkitektuel.com/biyosfer-montreal/>

Erişim tarihi:05.12.2023

**Şekil 23. URL-15** <https://www.casabatllo.es/en/antoni-gaudi/casa-batllo/facade/>

**URL-16-17** <https://www.archdaily.com/90689/ad-classics-casa-batllo-antoni-gaudi>

Erişim tarihi: 20.12.2023

**Şekil 24. URL-18-19-20** <https://www.casabatllo.es/en/antoni-gaudi/casa-batllo/inside/>

Erişim tarihi: 09.10.2023

**Şekil 25. URL-21-22-23** <https://www.archdaily.com/367681/ad-classics-casa-mila-antoni-gaudi>

Erişim tarihi: 09.10.2023

**Şekil 26. URL-24-25-26** <https://www.archdaily.com/367681/ad-classics-casa-mila-antoni-gaudi>

Erişim tarihi:10.10.2023

**Şekil 27. URL-27-28 26** <https://www.archdaily.com/367681/ad-classics-casa-mila-antoni-gaudi>

Erişim tarihi:10.10.2023





Araştırma Makalesi

# İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ TEKNİKLERİ ÜZERİNE BİR PARFÜM ÜRETİM HATTINDA ÖRNEK UYGULAMA ÇALIŞMASI

**Berk Kemal GÜZEL<sup>†</sup>, Mustafa KÖKSAL<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

berkkemalguzel@gmail.com, mkoksal@ticaret.edu.tr



0000-0002-9037-2187, 0000-0001-6026-9798

**Atf/Citation:** GÜZEL, B.K., KÖKSAL, M., (2024). İstatistiksel Süreç Kontrolü Teknikleri Üzerine Bir Parfüm Üretim Hattında Örnek Uygulama Çalışması, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.145-161, DOI: 10.56809/icujtas.1488363

## ÖZET

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK), mevcut sürecin izlenmesine ve iyileştirme çalışmalarının yürütülmesine imkan tanır. Süreçteki arızaların ve hataların tespiti ve çözümü için çetele, gruplandırma, Pareto analizi, histogram, balık kılçığı diyagramı, serpilme (korelasyon) ve kontrol diyagramları gibi yedi temel teknik kullanılır. Bu çalışmada, kozmetik sektöründe çeşitli kategorilerde ürünlerin üretimini gerçekleştiren bir işletmenin parfüm üretim hattında İSK tekniklerinin uygulanması incelenmiştir. İyileştirme çalışmalarına başlamadan önce, işleri kolaylaştırmak amacıyla parfüm hattının genel kuşbakışı çizimi ve iş akış diyagramı hazırlanmıştır. Ardından, üretim sürecinde ortaya çıkan arıza tiplerinin ve sebeplerinin belirlenmesi için düzenli veri toplama amacıyla çetele oluşturulmuştur. Öncelikli arıza nedenlerine odaklanmak için Pareto analizi yapılmıştır. İşletmede, arızaların başlıca nedenlerini belirlemek için balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur. Arıza sayısının dağılımının normal olup olmadığını kontrol etmek için histogram kullanılmıştır ve en sık tekrar eden hata tipleri arasındaki etkileşimi belirlemek için korelasyon diyagramları oluşturulmuştur. Sürecin kontrol altında olup olmadığını belirlemek için çetele tablosundan elde edilen verilerle kusurlu ürün yüzdeleri için p kontrol diyagramı oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kontrol Diyagramları, Korelasyon Katsayısı, Kozmetik Sektörü, İstatistiksel Süreç Kontrolü, Pareto Diyagramı

## CASE STUDY BASED ON STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQUES ON A PERFUME MANUFACTURING LINE

### ABSTRACT

Statistical Process Control (SPC) enables monitoring of the current process and facilitates improvement efforts. Seven fundamental techniques such as check sheets, grouping, Pareto analysis, histograms, fishbone diagrams, scatter (correlation) plots, and control charts are utilized for detecting and resolving errors and defects in the process. This study examines the application of SPC techniques in the perfume production line of a company that manufactures products in various categories within the cosmetic sector. To facilitate improvement efforts, an overview diagram and workflow diagram of the perfume line were prepared before initiating improvement activities. Subsequently, a check sheet was created to collect regular data for identifying types and causes of defects in the production process. Pareto analysis was conducted to focus on primary causes of defects. A fishbone diagram was developed to identify the main causes of errors in the company. Histograms were used to determine whether

Geliş/Received : 22.05.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 04.06.2024  
Kabul/Accepted : 04.06.2024

the distribution of defects was normal, and correlation diagrams were created to assess interactions between the most frequently occurring error types. A p control chart was constructed to determine whether the process was under control by using data obtained from the check sheet for defective product percentages.

**Keywords:** Control Diagrams, Correlation Coefficient, Cosmetics Sector, Statistical Process Control, Pareto Diagram

## 1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler, karmaşık ve dinamik pazar koşullarında rekabet avantajı elde etmek ve sürdürmek için sürekli olarak süreçlerini gözden geçirmekte ve iyileştirmektedir. Bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve kalitenin sürekli olarak sağlanması, işletmelerin başarısı için kritik öneme sahiptir. İşletmeler, müşteri memnuniyetini artırmak, maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak amacıyla süreçlerini optimize etmeye çalışmaktadır. Ancak, karmaşık üretim hatlarında ve ürünlerdeki artan varyasyonlar nedeniyle, süreçlerde hataların ve kusurların ortaya çıkması kaçınılmazdır. İşte bu noktada, İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK) yöntemleri devreye girmekte ve yardımcı olmaktadır.

İSK, süreçlerin istikrarını izlemek, kontrol altında tutmak ve kaliteyi sürekli olarak iyileştirmek için kullanılan bir dizi araç ve tekniktir. Bu teknikler, süreçlerdeki varyasyonları analiz etmeyi, hataları belirlemeyi ve kaliteyi sürekli olarak artırmayı sağlar.

İSK'nın temel araçlarından biri olan kontrol diyagramları, süreçlerdeki varyasyonları izlemek ve kontrol altında tutmak için kullanılan güçlü bir araçtır. Kontrol diyagramları, süreçteki önemli değişiklikleri tanımlamak, hataları tespit etmek ve kalite sorunlarını çözmek için kullanılır. Özellikle, uygulama çalışmasının yapıldığı kozmetik endüstrisi gibi hassas ve karmaşık üretim hatlarında, kontrol diyagramları, süreçlerin izlenmesi ve hataların belirlenmesi açısından hayati öneme sahiptir. Parfüm üretim hattında gerçekleştirilen bu çalışma, İSK tekniklerinin kozmetik üretim süreçlerinde nasıl kullanılabileceğini ve bu tekniklerin işletmenin kalite performansını artırmak için nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini incelemektedir. Parfüm üretim sürecindeki hataların belirlenmesi ve çözümü, müşteri memnuniyeti, marka itibarı ve işletmenin rekabet gücü açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, İSK'nin etkin bir şekilde uygulanması, işletmenin rekabet gücünü artırmak, kalite standartlarını yükseltmek ve sürdürülebilir bir başarı elde etmek için hayati bir adımdır. Bu çalışma, parfüm üretim hattında İSK'nın nasıl kullanılabileceğini, bu tekniklerin işletmenin kalite performansını nasıl iyileştirebileceğini ve kozmetik endüstrisinde İSK'nın önemini ayrıntılı olarak ele alacaktır.

Günümüzde, kalite ve ilgili konularda bir kavram birliğinin eksikliği çeşitli mesleki alanlarda, endüstride ve günlük yaşamımızda belirgin bir şekilde görülmektedir. Örneğin, bir kişi kaliteli bir ürünü, mamulünün fiyatının yüksekliğiyle ilişkilendirirken, başka bir kişi bu terimi ürünün sağlamlığıyla ilişkilendirebilir. Aynı şekilde, bir fabrikanın laboratuvarında çalışan bir teknisyen, malzeme dayanıklılığına yönelik bir test yaparken, bu eylemi kalite kontrolü olarak algılayabilir. Kalite kontrol sistemlerinin etkin bir şekilde kurulması ve uygulanması, işletmedeki her seviyeden personelin kavramlar konusunda birleşmesiyle mümkün olur (Kobu, 2010).

Kalite kontrolü konusundaki titiz çalışmalara rağmen, mamul mallarda bazı hataların ortaya çıkması kaçınılmaz olabilir. Bu durumda, üretim birimi yöneticisi ve kalite kontrol uzmanları, hata olasılığını azaltmaya çalışırken aynı zamanda bazı hususlara da dikkat etmelidirler. Özellikle, üretim sürecindeki her adımda kalite standartlarının titizlikle izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, üretim ekipmanlarının düzenli bakımının yapılması ve çalışan personelin sürekli eğitilmesi de önemlidir. Bu şekilde, üretim hatalarının en aza indirilmesi ve kalitenin sürekli olarak sağlanması mümkün olabilir. (Can, 2001).

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde İstatistiksel Süreç Kontrolü konusu üzerinde geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması için 2010 yılı sonrası yapılan yerel ve uluslararası çalışmalar ele alınmıştır.

Şahin (2013) çalışmasında, üretim sürecindeki değişkenliğin sebeplerini araştırmış ve bu değişkenliğin hesaplanmasında süreç yeterlilik göstergeleri olan  $C_p$  ve  $C_{pk}$  detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu çalışma kapsamında, bu tekniklerin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir tekstil işletmesinde örnek uygulama gerçekleştirmiştir.

Gejdo, (2015) çalışmasında, İstatistiksel süreç kontrolünün seçilmiş araçlarının uygulanmasıyla sürekli kalite iyileştirmesi sağlanmasına odaklanmaktadır. Bu araçların avantajı, hatalara ve düşük kaliteye neden olan süreçlerin etkilerini belirleyebilmeleridir. Yetenek endeksi, histogram, DMAIC modeli ve kontrol diyagramları gibi araçlar, süreçteki anormal değişkenliği güvenilir bir şekilde belirleyebilir ve bu şekilde kalite iyileştirmesine katkıda bulunabilir. Makalede histogramlar ve Shewhart kontrol diyagramları aracılığıyla işlem sırasında sistemsel etkilerin ve dolayısıyla süreçlerdeki doğal olmayan değişkenliğin ortaya çıkarılması işlenmektedir.

Atalay ve Kılıç (2016) çalışmalarında, 21.09.2011 tarihinde BOTAŞ petrol işletmesinde meydana gelen vinç kazasını incelemişlerdir. Yapılan inceleme kapsamında, mobil vinç kazasının olası nedenleri, neden-sonuç analizi olarak bilinen balık kılıcı diyagramı kullanılarak belirlenmiş ve kazanın tekrarlanmaması için alınması gereken önlemler vurgulanmıştır.

Çakırkaya ve Acar (2016) çalışmalarında, öncelikle İstatistiksel Süreç Kontrolü tekniklerini detaylı bir şekilde açıklamışlardır, daha sonra hataların önem derecelerini belirlemeye yardımcı olan Pareto Analizi üzerinde durarak, Pareto analizinin, problemin teşhis ve analizinde son derece etkili bir teknik olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde, bir üretim hattında meydana gelen hatalar belirlenmiş ve bu hatalar Pareto Diyagramı kullanılarak tekrarlanma sıklığı üzerinden analiz edilmiştir.

Yılmaz ve Ersöz (2018) çalışmalarında, bir havacılık ve uzay fabrikasında üretilen A400M Kargo tipi askeri uçağa ait iskelet gövde parçasının bir yıllık üretim miktarından belirli bir örneklem miktarı alınarak hata oranları tespit edilmiş ve hataların kaynağı bulunarak mevcut standartlara uyup uymadığı belirlenmiştir.

İlgin ve ark., (2016) çalışmalarında, makinelerden alınan ölçümlerin analizinde kalite kontrol diyagramları ve süreç yeterlilik indeksini kullanan bir kestirimci bakım bilgi sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde, bir makineden alınan muayene değerleri sisteme girildiğinde, bu değerlerle oluşturulan kalite kontrol diyagramında bir örüntü tespit edilirse, bir uyarı mesajı verilmektedir. Geliştirilen sistem bir paketleme fabrikasında uygulanmış ve plansız makine duruşlarından kaynaklanan maliyetlerde önemli bir düşüş sağlanmıştır.

Akyurt, (2020) çalışmasında, endüstriyel ekmek üretimi yapan bir işletmenin üç fabrikasındaki 10 hatta üretilen 300 gram ambalajsız normal ekmek ürünü için istatistiksel süreç kontrol teknikleri ve kontrol diyagramları kullanarak üretim hatlarını incelemiştir. Her hat için pişirme sürecinden sonra örneklem alınmış ve pişmiş ürün gramajı ölçülmüştür. Hatların kendi içinde kontrol altında olup olmadığı kalite kontrol diyagramları yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca fabrikalar ve hatlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için varyans analizi (Anova) uygulanmıştır. Kontrol dışındaki süreçlerde meydana gelen hataların nedeni araştırılarak alınması gereken tedbirler tespit edilmiştir.

Carvalho ve ark., (2021) çalışmalarında, idari hastane veri tabanlarında veri kalitesi sorunlarının kök nedenlerini belirlemek için sistematik bir inceleme yapmışlardır. Yapılan inceleme kapsamında, potansiyel kök nedenler belirlenmiş ve bu nedenler Ishikawa (Balık Kılıcı) diyagramı modeli kullanılarak personel, malzeme, yöntem, makine, görev ve yönetim kategorilerine göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen sınıflandırma sonucunda, veri kalitesi sorunlarının çoğunlukla personel kategorisiyle ilgili olduğu ve bu sorunların hastane belgelerinin kalitesi ile finansal teşvikler gibi diğer kategorilerde de önemli yer tuttuğu bulunmuştur. Makale, bu kök nedenlerin bir kataloğunu sunarak veri kalitesini iyileştirme amacı taşımaktadır.

Bayhan ve ark., (2022) çalışmalarında, istatistiksel kalite kontrolü üzerine yapılan geçmiş araştırmaları özetlemeyi ve incelenen çalışmalar gözden geçirmişlerdir. DergiPark ve TR Dizin gibi arama motorlarında "istatistiksel kalite kontrolü", "istatistiksel süreç kontrolü" ve "istatistiksel süreç kontrolü" anahtar kelimeleriyle yapılan literatür araştırmasının sonuçlarına dayanarak, makalelerin yıllara ve dergilere göre dağılımını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında derlenen makalelerin tam listesini sunmuşlar ve bu makalelerin pratik çözüm çalışmalarından oluştuğunu ve üretim işletmelerinde yapılan uygulamalara odaklandığını belirtmişlerdir.

Parlakıyığıt, (2022) çalışmasında, istatistiksel süreç kontrolü çalışması yapmak amacıyla bir tekstil işletmesinde, apre işlemine tabi tutulan %70 pamuk ve %30 keten içeren bir gömleklik kumaş türünü incelemeye almıştır. Öncelikle, seçilen kumaşa açma, yakma, yıkama, kurutma, ramözde kimyasal apre (silikon yumuşatıcı, buruşmazlık ve su iticilik), kalandırma, kondense ve sanfor işlemleri uygulanmıştır. Bu süreç kontrolleri sırasında toplam 1343 kontrol gerçekleştirilmiş ve 31 uygunsuzluk tespit edilmiştir. Pareto analizi yapıldığında, bu uygunsuzlukların çoğunun kumaşın yaş beklemesi sonucu meydana geldiği, diğerlerinin ise rotasyonlardaki dönmeme problemi, kamara ısı problemleri ve dikkatsizlik sonucu yırtılma olduğu belirlenmiştir.

Salacinski ve ark., (2023) çalışmalarında, kalite yönetiminde son derece önemli bir konu olan süreçleri izleme ve hataları teşhis etmenin önemini vurgulamış ve ardından kontrol grafikleri olarak adlandırılan araçları kullanarak süreci kontrol altına almayı ele almıştır.

Megahed ve ark., (2024) çalışmalarında, yapay zeka modellerinin özellikle de ChatGpt gibi modellerin, İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK) uygulamaları, öğrenme ve araştırmalarını nasıl devrimleştirebileceğini ve bu araçların henüz gelişme aşamasında olduğunu ve kolayca yanlış kullanılabileceğini veya yanlış anlaşılabilirliğini öne sürmüşlerdir. Gelişmekte olan yapay zeka modellerinin genel bir özetini sunarak, özellikle ChatGPT'nin İSK uygulamaları, öğrenme ve araştırmalarla ilgili temel kavramları açıklama ve kod sağlama yeteneğini araştırmışlardır. Yapılandırılmış ipuçlarına verilen yanıtları inceleyerek, sonuçların avantajlarını ve sınırlamalarını vurgulamışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Şirket Tanımı

Uygulama yapılan işletme kozmetik sektöründe, parfüm, oje, ruj, kolonya ve maskara gibi geniş ürün yelpazesine sahip olup, İstanbul Avrupa yakasında yer alan tesislerinde üretim faaliyetlerini yürütmektedir. Firma kuruluş tarihi olan 1992 yılından itibaren yurt içi ve yurt dışı piyasalara ürün sunmakla birlikte aynı zamanda kendi sektöründeki firmaların alt tedarikçiliğini yapmaktadır. Sabit zamanlı vardiya ile çalışan firmada parfüm hattında 13; toplam da ise 220 personel bulunmaktadır.

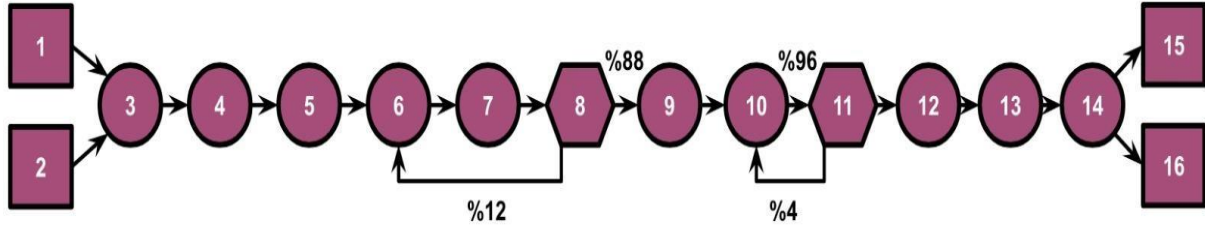
#### 3.2. Veri Toplama Süreci

Parfüm üretim hattında üretim sürecinin öncesinde, esnasında veya sonrasında ortaya çıkan hatalar ve sebepleri üzerine yapılan çalışma için veriler Nisan 2022 ve Eylül 2022 arası 6 aylık süre zarfında her bir hafta için toplam 1000 adet ve beş mesai günü için de her gün için toplam 200 adet olacak şekilde rastgele örnek alınmıştır. Alınan çıktılar üzerinden önce kusurlu ürün sayısı hesaplanmıştır. Devamında ise kusur tipleri tanımlanarak kümülatif yüzde üzerinden analiz edilmiştir. Uygulama çalışmasına geçilmeden önce ise parfüm hattının kuşbakışı teknik çizimi yapılmış ve parfüm üretim sürecinin iş akış diyagramı oluşturulmuştur. Daha sonra ise uygulama çalışması için toplanan verilerden çetele elde edildikten sonra, istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden; gruplandırma, pareto analizi, balık kılıcı diyagramı, korelasyon diyagramı ve histogram ve de ölçülemeyen özellikler için kullanılan p kontrol diyagramı kullanılmıştır. Çalışma boyunca yapılan bütün analizler için Minitab programı kullanılmıştır.

#### 3.3. İş Akış Diyagramı ve Kuşbakışı Çizim

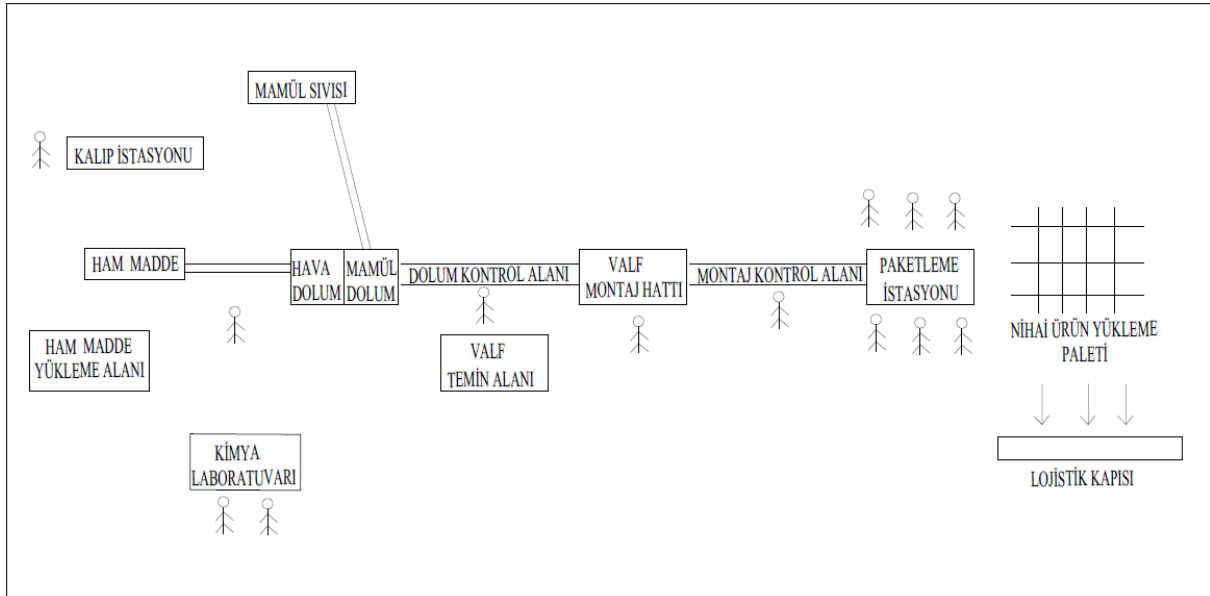
Mevcut parfüm üretim hattında bir seri süreç iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bunlardan biri parfüm üretim sürecini çalışan, makine ve malzeme açısından verimli hale getirmektir. Buna göre ilk adım, mevcut süreç için iş akış şeması hazırlanmasıdır. Katılım gösterilen süreç iyileştirme çalışmaları ile parfüm üretimi gözlemlenmiş ve faaliyet süreci başından sonuna kadar izlenmiştir. Sürecin 16 basamağı aşağıdadır:

1. Kalıplar Konveyör (Taşıyıcı) sistemine yerleştirilir.
2. Laboratuvar ortamında hazırlanan parfüm sıvısı (Mamul) tüp üzerinden makineye bağlanır.
3. 1. ve 2. Adımlar tamamlandıktan sonra boş parfüm şişeleri kalıplara yerleştirilir.
4. Makine ve Konveyör sistemleri eş zamanlı olarak çalıştırılır.
5. Boş parfüm şişelerine tozlanmayı önlemek için ilk önce hava yüklemesi yapılır.
6. Hava yüklenen boş parfüm şişeleri parfüm sıvısı (Mamul) ile doldurulur.
7. Çalışan parfüm şişelerinin doluluğunu kontrol eder.
8. Şişe yeterince dolu değilse (Ortalama %12 oranında yaşanmaktadır.) 6. Ve 7. Adımlar tekrarlanır.
9. Parfüm kapağı (Valf) takılır.
10. Çalışan parfüm kapağının parfüm şişesine tam monte olup olmadığını kontrol eder.
11. Parfüm kapağı tam monte değilse (Ortalama %4 oranında yaşanmaktadır.) 10. Adım tekrarlanır.
12. Parfüm şişesinin kapak kısmına koruyucu yüzük takılır.
13. Hazırlanan parfüm şişeleri ambalajlanmak üzere paketlenme alanına taşınır.
14. Paketleme alanına gelen şişeler önce paketleme işlemi yapılarak teslimata hazır hale getirilir, daha sonra yığın haline getirilerek taşıma paletine yüklenir.
15. Lojistik birimine gönderilir.
16. Depo birimine gönderilir.



Şekil 1. Parfüm Hattı İş Akış Diyagramı

Hazırlanan iş akış diyagramını vasıtasıyla şirket yönetimi her adımı analiz etme, sürece değer katan ve iyileştirme ihtiyacı olan adımları belirleme imkânı elde etmiştir.



Şekil 2. Parfüm Hattı Kuşbakışı Çizimi

Yukarıda verilen parfüm hattı kuşbakışı teknik çiziminde görüldüğü üzere mevcut hatta; iki kişi laboratuvar alanında, mamul hazırlanma aşamalarından, bir kişi kalıp istasyonu görevlisi olarak hem kalıpların bakımından hem de mamul sıvısının kontrolünden, bir kişi hem hammadde yerleştirmeden ve hava dolumundan, bir kişi dolum kontrolden, bir kişi valf montajından, bir kişi valf montajının kontrolünden, iki kişi nihai ürün paketleme işleminden ve dört kişi nihai ürün yüklemeden sorumlu olmak üzere toplam on üç (13) kişi çalışmaktadır.

### 3.4. Hata Tiplerinin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Parfüm üretim sürecinin her aşaması izlenerek elde edilen verilere göre üretim öncesinde, esnasında veya sonrasında tespit edilen hatalar kırık kapak, silik yazı, kırık kenar, hatalı boyama, eksik dolum, kırık taban, boya lekeli, hatalı kalıp ve eksik yazı olmak üzere 9 farklı türde sınıflandırılmıştır. Aşağıda her bir hata tipi kısaca tanımlanmıştır.

1. Kırık Kapak: Üretim esnasında en sık karşılaşılan hata tipi olan kırık kapak hatasının büyük oranda iş akışında belirtilen sürecin 5. Aşaması olan hava dolum aşamasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Firma farklı tip parfüm şişeleri üretmekte olduğu için her bir yeni parti üretime geçilmeden önce makine sertlik ayarı kalibre edilmektedir. Her parfüm şişesine göre optimum düzeyde ayar yapılmadığı durumlarda bu kusur tipinde artış gözlemlenmiştir.
2. Silik Yazı: En sık ikinci hata tipi olan silik yazı hatası parfüm şişelerinin yazı yazılamayacak şekilde kusurlu olması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kusurlu şişeler üretime başlamadan fark edilip geri dönüşüme yollandığı görülmektedir.

Eğer bu tip şişelerin kusurlu olduğu gözden kaçır ve üretime dahil edilirse hem hammadde hem de mamul (parfüm sıvısı) israf edilmiş olur. Çalışanlar bu konuda bilgilendirilmiştir.

3. Kırık Kenar: Üretime başlamadan fark edilen bu hata tipinin ortaya çıkma sebebi kesin olarak tespit edilememektedir. Fakat yapılan beyin fırtınası çalışmaları sonucunda; parfüm şişelerinin koli halinde taşınırken alabileceği hasarlara bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu hata tipinin İş akış diyagramında 14. Adım olan taşıma paletine yükleme işlemi esnasında ortaya çıkabileceği konusunda çalışanlar bilgilendirilmiştir.

4. Hatalı Boyama: Sadece renkli tip şişelerde gözlemlenebilen bu hata türü Laboratuvar ortamında şişelere boyama işlemi uygulanırken yapılmaktadır. Örneğin kırmızı olması gereken şişe, turuncu renge boyanabilmektedir. Boyama işlemi geri alınıp telafi edilemeyen bir işlemdir. Bu yüzden hatalı şişeler geri dönüşüme iletilmektedir.

5. Eksik Dolum: İş akış diyagramında 7. Adım olan doluluk kontrolü adımında oluşacak çalışan dikkatsizliğinden kaynaklanır. Dolum kontrolden sorumlu çalışan eğer tam dolu olmayan şişeyi 8. Adım olan valf montaj adımına gönderirse kusurlu ürün oluşur. Çünkü takılan valfin demonte edilebilmesi mümkün değildir.

6. Kırık Taban: Kalıp seçim sürecinde hata yapılması durumunda makine aşınmaları meydana gelmektedir. Bu aşınma şişelerin tabanını delerek kusur oluşturmaktadır. Kalıp İstasyonu çalışanı parfüm şişesinin taban çevresi ölçümünde hata yapması sonucu ortaya çıkmaktadır.

7. Boya Lekeli: Şişe üzerinde herhangi bir noktada oluşan bir boya lekesi olması durumudur. Ortaya çıkma sebebi ve sonrasında yapılacakları kısmında 2 numaralı silik yazı hata tipiyle tamamen benzerlik göstermektedir.

8. Hatalı Kalıp: Üretime başlamadan şişelere konveyör boyunca eşlik edecek kalıp seçimi yapılır. Her tip şişenin boyutlarıyla eşleşen kalıpları mevcuttur. Hatalı kalıp seçilmesi durumunda hem şişeler de kırılma hem de makine de aşınma meydana gelir.

9. Eksik Yazı: Laboratuvar ortamında kaynaklanan bir hatadır. Tasarlanan şişe modeli üzerinde yazılması gereken etiketlerin eksik veya yanlış yazılma sonucu ortaya çıkar. Laboratuvar çalışma ortamının aydınlatma açısından ergonomik olmaması bu hata tipini tetiklemektedir.

#### 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

##### 4.1. Çetele Tablosu

Çetele, veri toplamak ve toplanan verileri düzenli bir şekilde kaydetmek için kullanılan formların genel adıdır. Çetele tablosu üretim sürecinden elde edilen verilerin işlenmesi ve görselleştirilmesi amacıyla kullanılan, üretim faaliyetlerinde her bir aşamanın süreç performansını analiz etmek için kullanılan önemli bir tablodur. Bu tablolar, üretim hattındaki her bir bileşenin veya sürecin performansını ayrıntılı olarak izlemek, sorunlu alanları belirlemek ve iyileştirme fırsatlarını tanımlamak için kullanılır. Üretim verilerinin çetele tablosu aracılığıyla sistematik bir şekilde kaydedilmesi, yöneticilere ve çalışanlara süreçlerin performansını değerlendirme ve sürekli iyileştirmeye yönelik adımlar atma konusunda imkan sağlamaktadır.

Bu çalışma için hazırlanan çetele tablosu parfüm hattından elde edilen veriler baz alınarak oluşturulmuştur. Hazırlanan tablo için Nisan – Eylül 2022 arası altı (6) aylık dönem boyunca her beş (5) iş günü 100 adet olacak şekilde rassal olarak veri toplanmıştır.

**Tablo 1.** Hata Çetele Tablosu

Hata/Hafta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Toplam
Kırık kapak	45	57	26	39	35	21	54	37	44	51	19	26	43	38	63	35	42	45	33	62	45	34	29	28	28	986
Silik yazı	7	11	4	0	0	9	4	3	5	6	0	5	14	8	0	0	7	5	1	0	4	0	2	6	6	101
Kırık kenar	0	0	4	1	3	10	5	5	2	1	0	0	0	9	4	2	6	0	7	14	3	1	0	3	3	85
Hatalı boya	3	0	7	1	0	0	0	0	5	6	4	0	1	3	2	4	0	0	0	1	5	6	6	3	3	64
Eksik dolum	1	2	0	0	0	2	1	3	4	0	1	0	0	4	0	1	1	1	0	1	0	0	0	2	2	26
Kırık taban	2	5	0	1	0	3	1	2	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	0	0	23
Boya lekesi	0	0	0	0	0	3	2	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	17
Hatalı kalıp	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	14
Eksik yazı	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	11
<b>Toplam</b>	<b>61</b>	<b>76</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>52</b>	<b>70</b>	<b>52</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>24</b>	<b>34</b>	<b>59</b>	<b>62</b>	<b>72</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	<b>42</b>	<b>81</b>	<b>58</b>	<b>42</b>	<b>53</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>1327</b>

Nisan 2022 – Eylül 2022 arası 6 aylık dönemde gerçekleştirilen süreç iyileştirme çalışmaları sonucunda hazırlanan hata çetele tablosu aracılığıyla her bir hata tipinde ortaya toplam hata sayısı ve parfüm hattı genel toplam hata sayısı bulunmuştur. Buradan elde edilen veriler aracılığıyla parfüm üretim hattının toplam hata oranı aşağıdaki hesaplama yapılarak yüzdelik olarak hesaplanmıştır.

$$Hata Oranı = \left(\frac{1327}{2500}\right) \times 100 = \%5.3 \quad (1)$$

#### 4.2. Pareto Diyagramı

Pareto analizi, bir sistem veya süreçteki en etkili sık tekrar eden hata tiplerini belirlemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Bu analiz, Pareto prensibi olarak da bilinen ve bir süreçte ortaya çıkan hataların %80'i giderildiği zaman süreçteki bütün hataların giderileceği düşüncesi ile yapılan Pareto analizi literatürde 80/20 kuralı olarak da bilinmektedir, yani bir sonucun %20'sinin genellikle sonucun %80'ini oluşturduğu varsayımıyla işler.

Pareto analizi hazırlama sürecinde, ilk olarak veriler toplanır ve analiz edilir. Ardından, en önemli etkilerin belirlenmesi için veriler genellikle sıralanır ve yüzdelik olarak kümülatif toplam hesaplanır. Bu analiz, sayesinde ortaya çıkan hataların tekrarlanma sıklığına göre sıralanması ve hangi hata tipinde daha fazla süreç iyileştirme çalışması yapılması gerektiği ortaya konmaktadır.

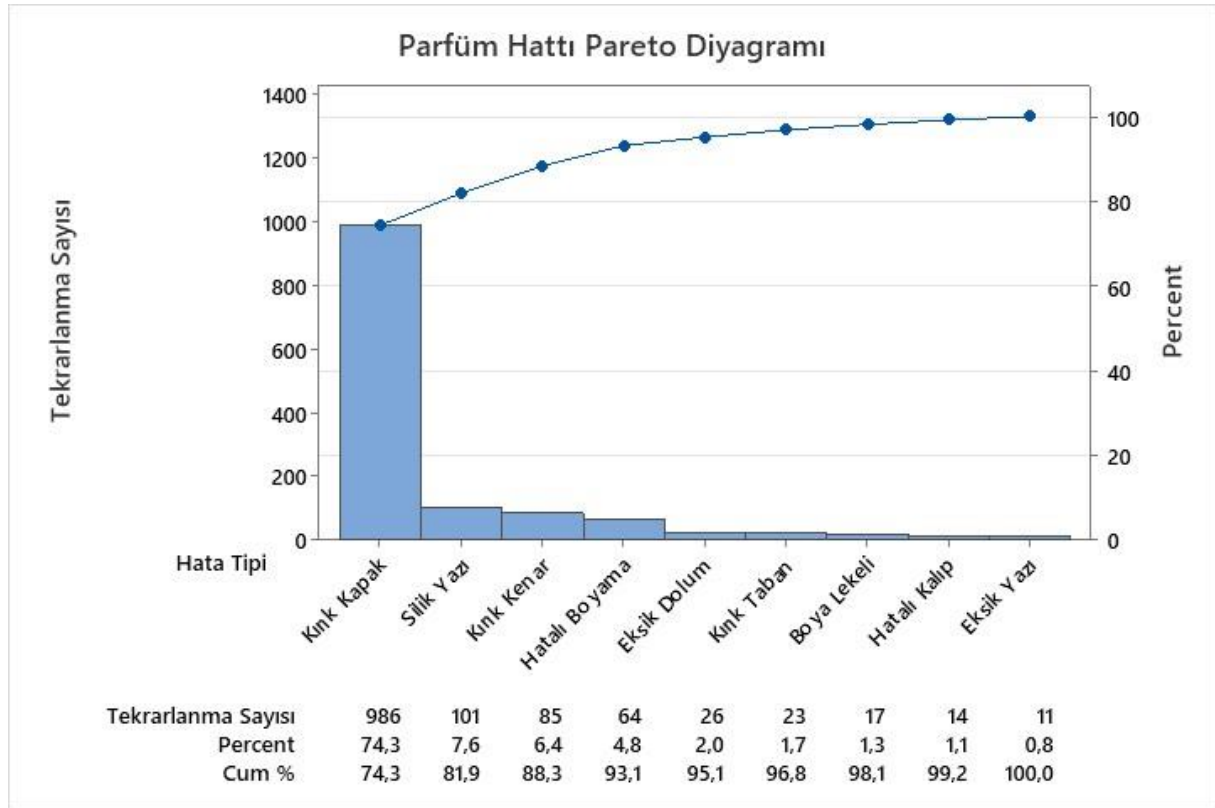
Çetele tablosundan elde edilen verilere göre, hataların sınıflandırılması ve büyükten küçüğe doğru kümülatif yüzde üzerinde sıralanması tablo 2'de gösterilmiştir. Tabloda hatalar, azalan sırayla yukarıdan aşağıya doğru listelenmiştir.

**Tablo 2.** Hata Sıralama Tablosu

Hata Tipi	Sıklık	Kümülatif Yüzde
Kırık Kapak	986	74,30
Silik Yazı	101	7,61
Kırık Kenar	85	6,41
Hatalı Boyama	64	4,82
Eksik Dolum	26	1,96
Kırık Taban	23	1,73
Boya Lekeli	17	1,28
Hatalı Kalıp	14	1,06
Eksik Yazı	11	0,83
<b>Toplam</b>	<b>1327</b>	<b>100</b>

Aşağıdaki hata tipleri pareto diyagramında elde edilen bilgilere göre sıralamadaki ilk 2 hata olan kırık kapak ve silik yazı hataları toplam hataların yüzde seksenden fazlasını (%81,91) oluşturmaktadır. Buna göre, bu iki hata tipinin minimize edilmesi durumunda hatalar büyük oranda giderilecektir.





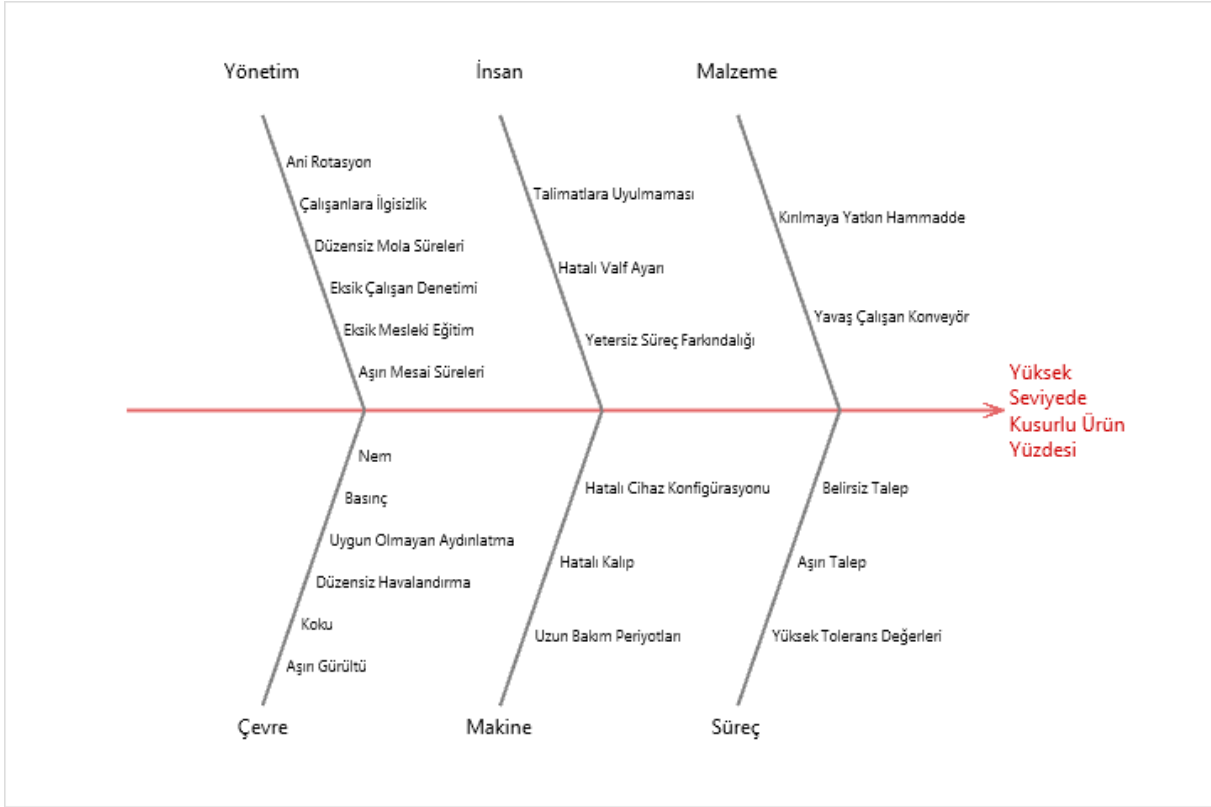
Şekil 3. Hata Tipleri Pareto Diyagramı

#### 4.3 Balık Kılçığı Diyagramı

Kalite standartlarındaki problemleri tanımlamak ve eksik kalınan yerlere odaklanılmasını sağlayan bir başka kalite aracı da Balık Kılçığı, Ishikawa veya neden-sonuç diyagramıdır. Bu diyagram, belirli bir hatanın, kusurun veya arızanın kök nedenlerine inebilmek, bu nedenlerin alt nedenlerini tanımlamak ve göstermek için kullanılır. Bu diyagram, belirli bir soruna etki eden tüm faktörlerin nedenlerini bir şekil üzerinde göstermek amacıyla oluşturulur. (Ishikawa, 1976) Bu diyagram şekil olarak, bir balığın kılçığına benzediği için genellikle "Balık Kılçığı Diyagramı" olarak anılmaktadır.

Balık Kılçığı diyagramının çizimi, aşağıdaki adımları içermektedir:

1. İncelenecek problemi veya arızayı tanımlamak.
2. Analiz ekibini oluşturmak ve beyin fırtınası ile muhtemel nedenleri keşfetmek.
3. Ana omurgayı, yani balığın merkez çizgisini çizmek.
4. Potansiyel nedenlerin ana kategorilerini belirlemek ve bunları merkez çizgisine bağlamak.
5. Olası nedenleri belirlemek ve bu nedenleri ana kategorilere dahil etmek, gerekirse yeni kategoriler oluşturmak.
6. Sorun giderici tedbirler almak. (Montgomery, 2009)



Şekil 4. Parfüm Üretim Hattı İçin Hazırlanan Balık Kılıcı Diyagramı

Başta, en yüksek seviyede kusurlu ürün çıkmasına sebep olan, aynı zamanda 1(bir) numaralı hata tipi olarak tanımladığımız kırık kapak tipi hatanın ve diğer hata tiplerinin nedenlerinin araştırılması için Parfüm Hattı Teknik Bölüm Sorumlusu, Üretim Hattı Genel Sorumlusu, Makine Bakım Sorumlusu ve parfüm hattından iki personelin, yardımlarıyla şekildedeki balık kılıcı diyagramı hazırlanmıştır.

Şekil üzerinden yola çıkılarak kusurlu ürün yüzdesinin altı temel sebebi üzerinde beyin fırtınası gerçekleştirilmiştir. Bu altı temel sebep; Süreç, Malzeme, İnsan, Çevre, Makine ve Yönetim ana başlıkları altında incelenmiştir.

**Malzeme:** Parfüm üretimi için tedarik edilen cam şişelerin kırılabilir yapısı, parfüm makinesi üzerinde kalıp ve cam şişe taşınması işlemlerinde kullanılan konveyör sisteminin olması gerekenden yavaş çalışması malzeme ana başlığı altında kusurlu oranını tetiklemektedir.

**Süreç:** Parfüm üretim sürecini doğrudan etkileyen başlıklardan birisi de taleptir. Üretim sürecinde mutlak verimlilik elde etmek istendiği zaman talebin firma kapasitesine uygun ve belirli olması gerekmektedir.

Çoğunlukla kapasite sınırlarını zorlayan ve tahmin etmesi zor olan talep parfüm birimi çalışanlarının mevcut süreç hakkında analiz ve beyin fırtınası çalışmaları yürütmesini engellemektedir.

**İnsan:** Parfüm üretim hattında bazı çalışanların yapılan işe ve yürütülmekte olan sürece yeteri kadar hâkim olmadığı bununla beraber kurumun getirmiş olduğu talimatları önemsemedikleri bu yüzden de istenilen verimle çıktı üretmedikleri saptanmıştır. Buna bağlı olarak montaj süreci esnasında valf olarak da bilinen parfüm kapağı ayarının hatalı yapılma oranında artış gözlenmiştir.

**Çevre:** Parfüm üretim alanının aydınlatılma renginin hatalı olması sebebiyle boyalı şişe üretimi esnasında renk ayrımı doğru yapılamamaktadır. Ayrıca aşırı gürültü, sağlığa zararlı kokular ve düzensiz havalandırma mevcut çalışma ortamının ergonomik olmadığını gösterir. Ayrıca önlenemeyen basınç ve nem çalışan verimini minimize etmektedir.

**Makine:** Parfüm üretimini gerçekleştiren makinelerin bakım periyotlarının daha sık yapılması gerektiği, yanlış kalıp seçimi yapıldığında ise makinenin aşınma oranının arttığı ve başka bir parti ürüne geçildiğinde makine baskı konfigürasyon ayarının yapılmadığı saptanmıştır. Bu sebeple yönetimin yazılımsal konularda teknik desteğe başvurması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Yönetim:** Parfüm üretim çalışanlarının daha fazla denetlenmesi ve yapılan işin teknik kısımlarında mesleki ve teorik eğitimlere tabi tutulması gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca haftalık toplam mesai sürelerinin sektör ortalamasından yukarıda olması ve ilgisizlik mental anlamda çalışan motivasyonunu doğal olarak verimliliği de düşürmektedir. Son olarak; her ne kadar parfüm hattı çalışanları sürece yeteri kadar hakim olmasalar da kusurlu-kusursuz ürünü ayırt edebilmektedirler. Fakat talebin yoğun olduğu dönemlerde düzensiz mola saatleri sebebiyle

başka birimlerden çalışanlar parfüm hattına rotasyon yapılmaktadır. Bu yüzden de aslında gerçekte kusurlu olmayan ürünler kusurlu zannedilip hurdaya ayrılmaktadır. Üst yönetimi bunu önlemek adına mola sürelerini düzenlemeli ve ani rotasyonlardan kaçınmalıdır.

Maliyetler her zaman üst yönetimin ilgilendiği bir konu olmuş, maliyetlerin düşürülmesi, savurganlığın azaltılması, işlerin basitleştirilmesi, verimliliğin artırılması için çok sistem ve yöntem geliştirilmiştir. Zaman, yani üretimin gereken yer ve zamanda yapılabilmesi konusunda da çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. MRP sistemleri ana üretim planı (master production schedule) ve malzeme listelerini (bill of materials) kullanarak hangi ekipmana, ne kadar parçaya ihtiyaç duyulacağını ve hangi işçinin kullanılacağını belirler. Her bir ürünün ne kadar zamanda hangi makinelerde işleneceği ve işçiliklerin ne olacağı hesaplanır. Çok hassas olan bu süreçte bir makine örneğin haftada 5 gün, günde 2 vardiya (16 saat) çalıştırılacaksa, haftada 80 saat standart hızda kaliteli ürün elde edilecek demektir. Buradaki makine arızası gibi bir olumsuzluk üretimi ve dolayısıyla siparişin teslimini geciktirecektir. Bu durumda aşağıdaki maliyetlerin ortaya çıkması söz konusudur.

1. Fazla mesai işçilik maliyetleri,
2. Fazla bakım işçilik maliyetleri,
3. Makine ekipmanı çalıştıracak ilave alet-edevat harcamaları,
4. Üretim programının yeniden yapılması için harcanan ilave zaman maliyetleri,
5. Müşterilere siparişlerin gecikeceğinin bildirilmesi için gerekli ilave zaman.

Tüm bu fazladan ortaya çıkan giderlerin ciddi bir bakım planlaması yapılarak aşılması mümkündür. (Köksal, 2015)

#### 4.4. Gruplandırma

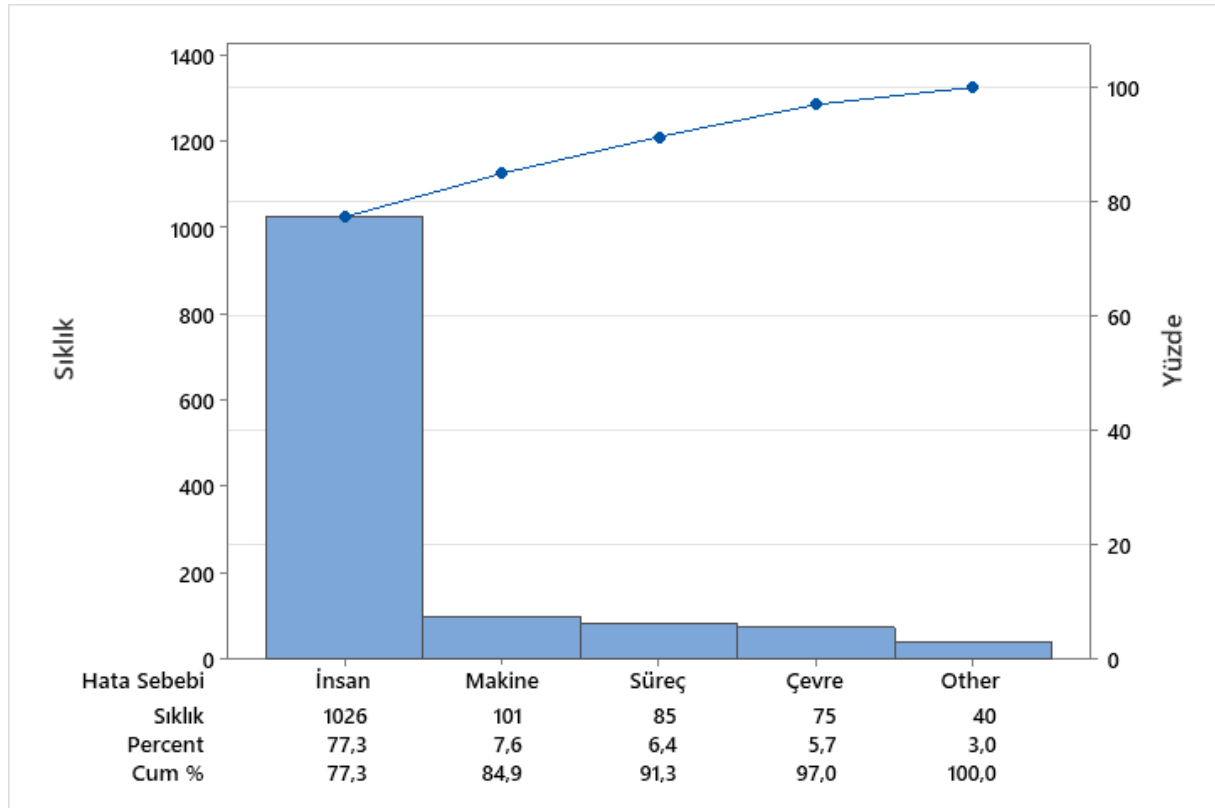
Gruplandırma, mevcut bilgilerin belirli kategorilere ve özelliklere göre sınıflandırılma işlemidir. Bu şekilde, bilgilerin sınıflara ayrılması, daha kolay karşılaştırılabilir ve değerlendirilebilir hale gelir. Gruplandırma, özellikle sorunların önlenmesi amacıyla etkili bir yöntem olarak kullanılır. Ayrıca, bir sorunu parçalara ayırarak her bir parçayı ayrıntılı olarak inceleme sürecini ifade eder. Gruplandırma aynı zamanda sorunların kaynaklarının belirlenmesi ve olumlu değişikliklerin nedenlerinin incelenmesinde faydalı bir araçtır. Belirli malzeme, operatör veya makine gibi etkilerin incelenmesinde kullanılan basit bir istatistiksel süreç kontrol tekniğidir.

Gruplandırma tekniği, verilerin daha anlaşılır hale getirilmesini sağlar. Örneğin, işletmedeki üretim hatalarını kaynaklarına göre sınıflandırmak, sorunun kaynağını belirlemeyi kolaylaştırır. Bu teknik, diğer istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinin temelini oluşturmak için verilerin düzenlenmesine yardımcı olur. Bu Teknik her ne kadar tek başına yeterli olmasa da diğer istatistiksel yöntemlerle birlikte kullanıldığında yürütülen süreç iyileştirme çalışmalarından daha verimli sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır. (Akin, 1996)

Gruplandırma tekniği kullanılarak uygulama yapılan işletmede meydana gelen üretim hataları sınıflandırıldığında, Tablo 3'te sunulan bulgulara ulaşılmıştır.

**Tablo 3.** Hataların Ana Sebebine Göre Gruplandırılması

Hata Sebebi	Hata Tipi	Sıklık	Kümülatif Toplam
İnsan	Kırık kapak	986	1026
	Hatalı kalıp	14	
	Eksik dolum	26	
Malzeme	Boya lekeli	17	40
	Kırık taban	23	
Çevre	Hatalı boya	64	75
	Eksik yazı	11	
Makine	Silik yazı	101	101
Süreç	Kırık kenar	85	85
<b>Toplam</b>			<b>1327</b>



Şekil 5. Gruplandırma Çalışmasından Elde Edilen Verilere Ait Pareto Diyagramı

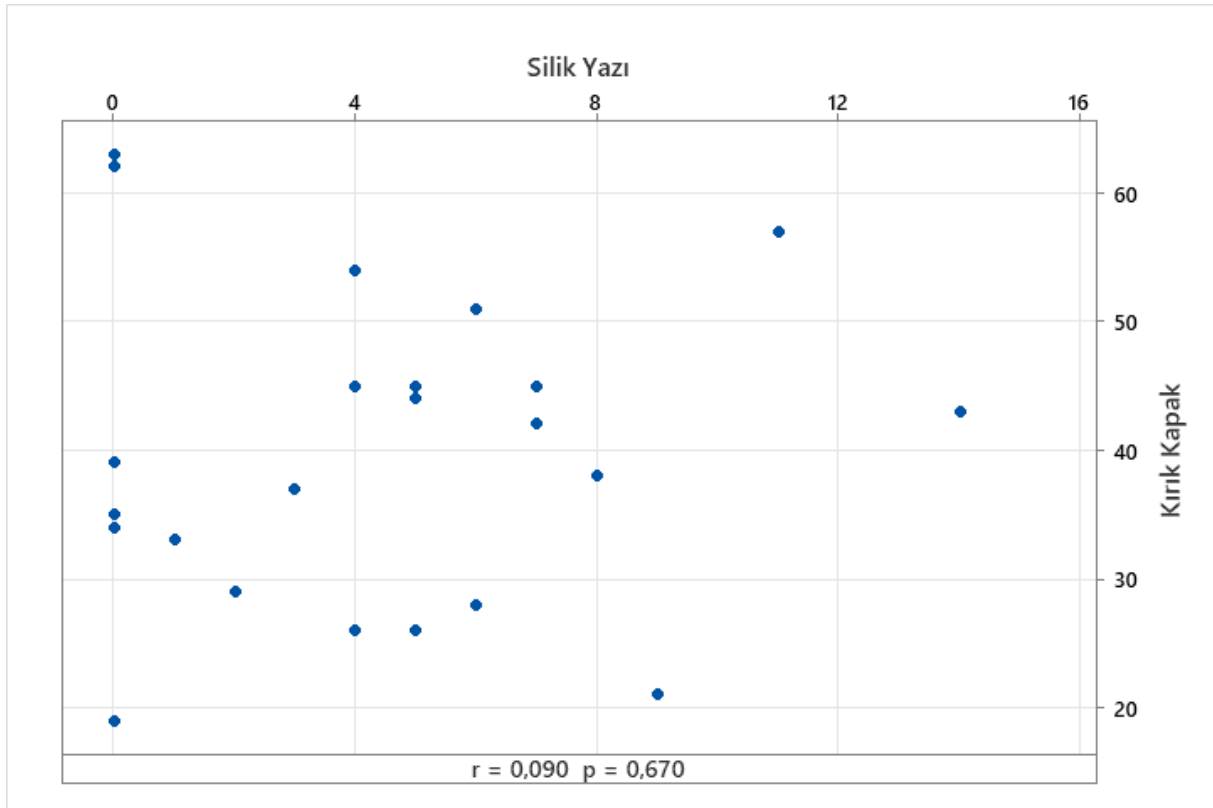
Parfüm üretim hattında yapılan 6 aylık iyileştirme çalışmaları sonucunda, ortaya çıkan hataların gruplandırılması yapılmış ve bu hataların Balık kılıçığı diyagramında gösterilen temel nedenlerden, en çok insan, makine ve süreç kaynaklı olduğunu belirlenmiştir.

#### 4.5. Serpilme Diyagramı ve Korelasyon Değerleri

Serpilme diyagramı, iki değişken arasındaki ilişkiyi göstermek ve aralarında korelasyon olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir grafik aracıdır. Eğer bir ilişki varsa, bu diyagram mevcut korelasyonun gücünü ve yönünü gösterir.

Kırık Kapak hata tipi ile Silik Yazı hata tipi arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü belirlemek için korelasyon yöntemini uyguladığında yukarıdaki sonuçlar elde edilir. Tablodaki sonuçlar analiz edildiğinde Kırık Kapak ile Silik Yazı arasındaki ilişki değerinin 0,090 olmasına bağlı olarak; her ne kadar iki hata tipi de malzeme ana başlığı altında meydana gelmiş olsa da bu iki hata tipinin arasındaki etkileşimin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bu iki hata tipi de insan kaynaklı ortaya çıkmış olmalarına rağmen bir tanesinin kontrol edilmesinin diğerine bir faydası olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Kırık Kapak hata tipi ile Silik Yazı hata tipi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için yaptığımız analizde, elde ettiğimiz p değeri 0,670 olarak bulunmuştur. Bu p değeri, ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlememize yardımcı olur. Eğer p değeri 0,05'ten küçükse, bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve rastlantısal olmadığını gösterir. Ancak, bizim örneğimizde elde ettiğimiz p değeri 0,670 olduğundan, bu değer 0,05'ten büyüktür. Bu durumda, Kırık Kapak ile Silik Yazı arasındaki ilişkinin rastlantısal olduğunu ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığını söyleyebiliriz. Sonuç olarak, p değerinin yüksek olması, iki değişken arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. Bu durumda, Kırık Kapak ile Silik Yazı arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ve bu iki hata tipi arasında herhangi bir ilişkinin bulunmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 6. Kırık Kapak ile Silik Yazı Hata Tipleri Arasındaki Serpilme Diyagramı

Tablo 4. Kırık Kapak ile Silik Yazı Hata Tipleri Arasındaki Korelasyon Değerleri

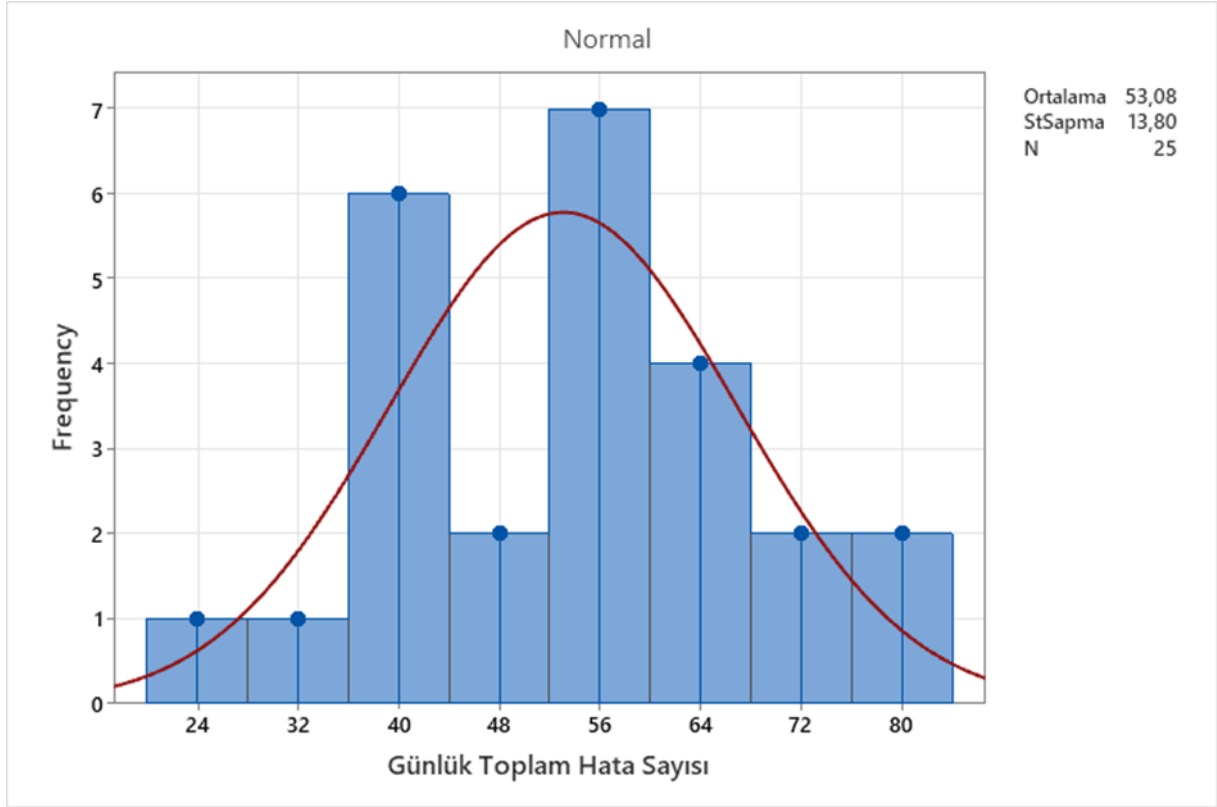
Örnek 1	Örnek 2	N	Korelasyon	%95 Güven Aralığı	P-Değeri
Silik Yazı	Kırık Kapak	25	0,090	(-0,317; 0,468)	0,670

#### 4.6. Histogram

Histogram, istatistiksel süreç kontrolünde kullanılan bir araçtır ve değişkenlerin dağılımını grafiksel olarak gösterir. Veriler, frekans dağılımı kullanılarak belirli bir değeri sınıflara ayırılarak ve her sınıfa ait değerler artan veya azalan büyüklük sırasına göre sunulur. Bu şekilde, bir değişkenin dağılım şekli hakkında bilgi edinmek ve veri setinin özelliklerini anlamak mümkün olur (Kazmiersky, 1995).

İstatistiksel kalite kontrol diyagramları uygulamadan önce elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmelidir. Histogram bu kontrol işleminin yapılmasına olanak sağlar.

Toplanan veriler ışığında günlük toplam hata sayısına ait Histogram elde edilmiştir. Histogram bize dağılımın normal olduğu, değişkenliğin az olmasına rağmen ortalama değerlerin üst limite yaklaşma riskinin var olduğu; buna bağlı olarak gelecek dönemlerde kusurlu oranının artabileceği konusunda fikir vermektedir.



Şekil 7. Günlük Toplam Hata Sayısına ait Histogram

#### 4.7. P Kontrol Diyagramı

Kontrol diyagramlarının temeli, Walter Shewhart tarafından 1920'li yıllarda Bell Laboratuvarlarında yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Shewhart, süreçlerde ortaya çıkan değişkenliğin istikrarını izlemek ve kontrol altında tutmak için kontrol diyagramlarını geliştirmiştir.

Kontrol diyagramları, mevcut sürecin kontrol durumunun görsel olarak açıklanmasını sağlayan bir istatistiksel süreç kontrolü aracıdır. Belirli zaman aralıklarında süreçten alınan değerlerden yola çıkarak, sürecin yapısı ve işleyişi hakkında bilgi veren kontrol grafikleri oluşturulur. Bu grafikler, üst kontrol sınırı, alt kontrol sınırı ve orta çizgi olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Orta çizgi, farklı dönemlerde süreçten alınan değerlere ilişkin gözlem değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Üst ve alt kontrol limit noktaları ise, bu gözlem değerlerinden hesaplanan ve orta çizgiye eşit uzaklıkta olan sınırlardır. (Işığışık, 2004)

Değerler alt ve üst kontrol limitleri içinde kaldığı sürece, süreç kontrol altındadır. Ancak kontrol limitlerinin altında, üstünde veya üzerinde değerler varsa, süreç kontrol altında değildir. Bu durumda, sürecin düzeltilmesi için sapmalara neden olan hata kaynaklarının araştırılması gerekmektedir. (Montgomery, 1990)

Değişkenler (variables) ve özellikler (attributes) olmak üzere 2 farklı sayılabilir ve ölçülebilir veri tiplerine uygun olacak şekilde kontrol grafikleri oluşturulabilir. Bu çalışma en yüksek sıklıkta tekrar eden hata tipinin yüzde olarak oranı şeklinde olması nedeniyle özelliklere ilişkin kalite kontrol diyagramlarından hata oranının yüzdesel olarak hesaplanmasıyla oluşturulan p diyagramının oluşturulması gerektiği saptanmıştır.

P kontrol diyagramı oluşturulma sürecinde kullanılan sembollerin anlamları ve matematiksel formüller aşağıda ifade edilmiştir;

N= Örneklem hacmini

P = Örneklemdeki ortalama hatalı ürün oranını

Akl = Alt kontrol limit değerini

Ükl = Üst kontrol limit değerini

Z= Standart sapma katsayısını göstermektedir. (%99,73 limiti için 3 alınmıştır)

$$P = \frac{\text{Toplam hata}}{\text{Toplam örneklem}} \quad (2)$$

$$Akl = p - z\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (3)$$

$$\bar{U}kl = p + z\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (4)$$

(Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2006). Üretimi tamamlanan her bir hafta için 1000 adet olacak şekilde örnek alınmıştır. Buna göre her bir haftadaki 5 iş gününe eşit yaymak amacıyla her gün 200 adet örnek alınmıştır. Bir çalışma günü öğleden önce ve sonra olmak üzere 2 periyoda bölünmüştür. Her periyotta 100 adet örnek alınmıştır. Bu örnek alma planı, 10 farklı partide gerçekleştirilmiştir. Toplam örneklem büyüklüğü 25000'dir.

**Tablo 5.** Kırık Kapak Kontrol Diyagramı İçin Hata Oran Değerleri

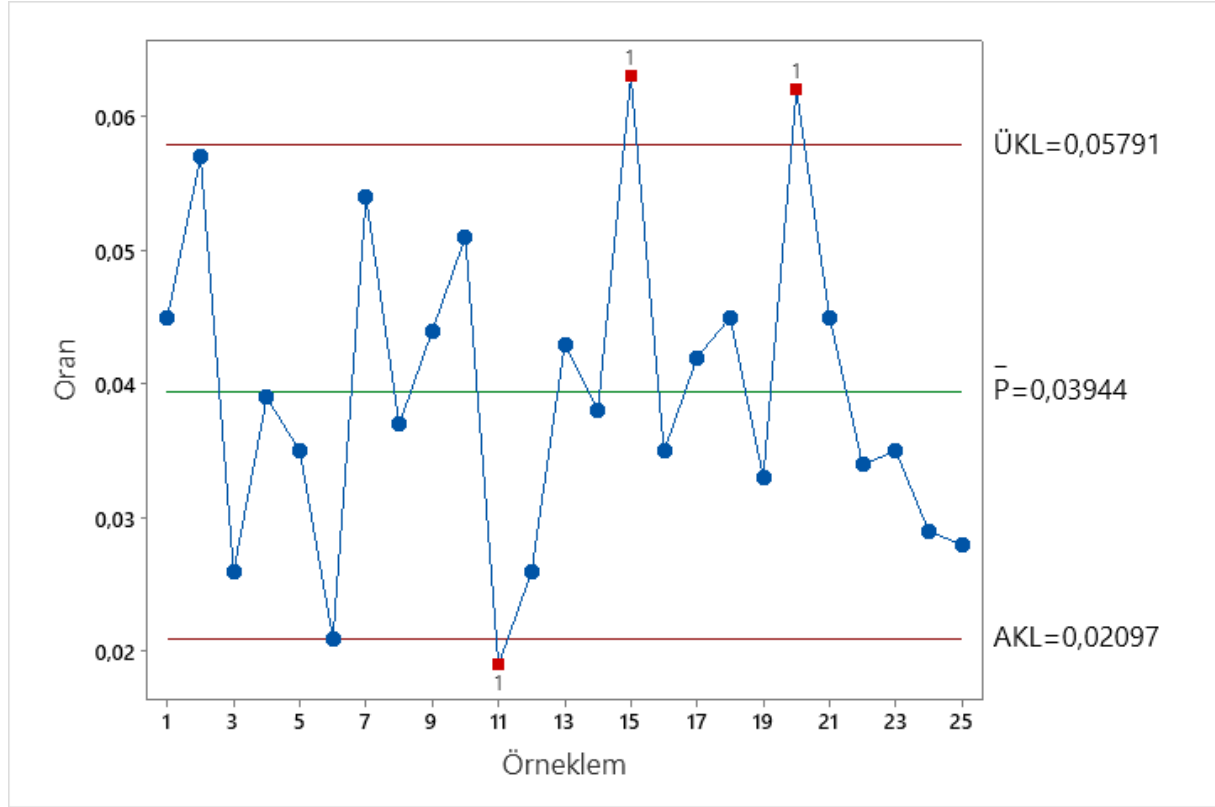
İş Haftası	Kırık Kapak Sıklığı	Örneklem	Hata Oranı
1	45	1000	0,045
2	57	1000	0,057
3	26	1000	0,026
4	39	1000	0,039
5	35	1000	0,035
6	21	1000	0,021
7	54	1000	0,054
8	37	1000	0,037
9	44	1000	0,044
10	51	1000	0,051
11	19	1000	0,019
12	26	1000	0,026
13	43	1000	0,043
14	38	1000	0,038
15	63	1000	0,063
16	35	1000	0,035
17	42	1000	0,042
18	45	1000	0,045
19	33	1000	0,033
20	62	1000	0,062
21	45	1000	0,045
22	34	1000	0,034
23	35	1000	0,035
24	29	1000	0,029
25	28	1000	0,028
<b>Toplam</b>	<b>986</b>	<b>25000</b>	<b>0,03944</b>

**Tablo 6.** Sık Kullanılan Z Değerleri

İstenen Kontrol Limiti (%)	Z Değeri (istenen güven düzeyi için gerekli olan standart sapma)
90,0	1,65
95,0	1,96
95,45	2,00
99,0	2,58
99,73	3,00

Süreç İyileştirme çalışmasını kapsayan Nisan-Eylül arası 6 aylık dönem boyunca, 25 iş haftası için 1000'lik rassal örnek seçilerek dikkatlice izlenmiş ve bu örnekler içinde en sık meydana gelen hata tipi olan kırık kapak hatası

toplam sayısı Tablo 1'deki çetele tablosundan alınmıştır ve buna bağlı olarak hata oranı yukarıdaki gibi tablo haline getirilmiştir.



Şekil 8. Günlük Toplam Kırık Kapak Hata Tipine Ait P Kontrol Diyagramı

#### 4.8. Araştırma Bulguları Ve Sonuçlar

Üst kontrol limiti 0,0579, alt kontrol limiti 0,020 buna bağlı olarak da orta çizgi değeri 0,394 olarak hesaplanmıştır. Grafik yorumlandığında; 15 ve 20 numaralı değerlerin üst ve 11 numaralı değerinin ise alt kontrol limitlerinin dışına çıktığı; 2 numaralı değer üst limite çok yakın olduğu; 6 numaralı değer alt kontrol limit değerinin üzerinde olduğu; 1-4, 5-9 ve 18-21 numaralı değerler arasında ardışık olarak düzensiz davranış olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak mevcut süreçte kontrolü bozan özel sebeplerin varlığından söz edilmektedir. Uygun düzeltici ve önleyici önlemler alınarak sürecin istikrarlı hale getirilmesi ve kontrol sınırlarının alt ve üst limit değerlerinin içinde yer alması sağlanmalıdır.

Elde edilen kontrol diyagramından anlaşılacağı gibi 11, 15 ve 20 numaralı iş haftalarında gereğinden fazla hatalı ürün çıktığı fark edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bu iş haftalarında mevcut hatta kontrol edilemeyen sebeplerden ötürü rotasyon yapıldığı öğrenilmiştir. Farklı birimlerden çalışanların parfüm hattına geçmesi sonucu istenmeyen sonuçlar elde edilmesine yol açmıştır. Balık-Kılçığı diyagramı aracılığı ile bu sorun ve ortaya çıkarttığı sonuçlar firma yönetimine bildirilmiştir.

Yapılan süreç iyileştirme çalışmaları sonucunda mevcut alt ve üst kontrol limit değerleri gelecek dönemler için bir standart oluşmasını sağlamıştır. Firmamız bu limit değerlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve limitlerin dışına çıktığı zaman sürece müdahale edilmesi konusunda bilgilendirilmiştir.

#### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz üretim sektöründe artan işçilik ve hammadde maliyetlerinden ötürü katı bir rekabet süregelmektedir, bu rekabette öne geçebilmenin tek yolu ise kalitedir. Kalite, bir işletmenin başarısında belirleyici bir faktördür. Kaliteli ürünler sunmak, müşteri memnuniyetini artırır, marka değerini yükseltir ve uzun vadeli müşteri bağlılığı sağlar. Bu nedenle, firmaların kalite kontrol süreçlerine ve hata tiplerinin azaltılmasına önem vermesi kritiktir. Kalite kontrolünün iyileştirilmesi, üretim süreçlerinde verimliliği artırır, atıkları azaltır ve maliyetleri düşürür. Aynı zamanda, kaliteli ürünlerin pazara sunulmasıyla birlikte rekabet avantajı elde edilir ve pazarda lider konuma gelmek mümkün olur. Dolayısıyla, günümüzün dinamik iş ortamında hayatta kalmak ve başarılı olmak için kalite odaklı bir yaklaşım benimsemek kaçınılmazdır. Bu yüzden bütün işletmeler kendi belirledikleri kalite



standartlarını korumak için düzenli olarak çalışmaktadır. Burada İstatistiksel Süreç Kontrolü araçları hammadde tedarik sürecinden başlayarak, taşıma, tasarım, depolama, üretim, pazarlama, satış ve satış sonrası süreçlerinde her bir sürecin ölçülmesi, izlenmesi, yönetilmesi, kontrol altında tutulması ve geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu yüzden işletmelere İstatistiksel Süreç Kontrolü konusunda bilgili kişileri istihdam etmesi tavsiye edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında İstanbul Avrupa yakasında faaliyet gösteren bir kozmetik işletmesinden Nisan-Eylül 2022 tarihleri arasında toplanan veriler incelenip; Yedi Temel İstatistiksel Süreç Kontrol Teknikleri olarak bilinen; Çetele tablosu, Pareto Analizi, Kontrol Diyagramı, Balık-Kılıcı diyagramı, Histogram, Serpilme Diyagramı ve Gruplandırma tekniği açıklanarak parfüm hattı üzerinde örnek uygulama çalışması tamamlanmıştır. Süreç iyileştirme çalışmalarına başlamadan önce mevcut süreci daha iyi anlamak ve iyileştirme çalışmalarını daha verimli yürütmek için parfüm hattının iş akış diyagramı ve kuşbakışı görüntüsü çizilmiştir.

Üretim süreci esnasında sürece katılım gösterilerek ilk olarak üretim süreci öncesinde veya sonrasında farklı nedenlerden dolayı ortaya çıkan hatalar tanımlanmış ve bu 9 (dokuz) hata tipinin nedenleri açıklanmıştır. Daha sonra elde edilen sayılardan yola çıkılarak oluşturulan çetele tablosuna göre %5,3 oranında hata tespit edilmiştir. Bu tabloda gösterilen hataların tekrarlanma sıklığına göre sıralanması Pareto analizi ile gösterilmiştir. Buraya kadar yapılan çalışma sonucunda kırık kapak ve silik yazı hata tiplerinin toplam hataların %80 den fazlasını kapsadığı için bu iki hata tipine daha fazla kafa yorulması gerektiği tespit edilmiştir. Bu iki hata tipi arasında etkileşim olup olmadığı eğer varsa şiddetini ölçmek ve yönünü göstermek amacıyla korelasyon katsayısı hesaplanmış ve serpilme diyagramı hazırlanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar her ne kadar bu iki hata tipi de insan kaynaklı ortaya çıkmasına rağmen aralarındaki etkileşimin yok sayılabilecek kadar küçük ve anlamsız olduğu gösterilmiştir. Hata tiplerinin frekans dağılımlarını gösteren Histogram hazırlanmış ve buradan yola çıkarak hataların dağılımında limitlere yaklaşıldığını ve gelecek dönemlerde önlem alınmaması durumunda hata oranının artabileceği saptanmıştır. En sık tekrar eden hata tipi olan kırık kapak hata tipinin tekrarlanma oranı baz alınarak hesaplanan kontrol diyagramlarından p diyagramı üzerinden analiz edilmesi sonucunda mevcut sürecin kontrol altında olmadığı, kontrol diyagramlarını yorumlama teknikleri üzerinden analiz edilmiştir. Bu analizlere göre üç değer limitlerin dışına taşmıştır, süreç davranışı düzensizdir ve birkaç değer de alt ve üst limitlere çok yaklaşmıştır. Bu hataları analiz etmek amacıyla firmadan birkaç yetkilinin de katılımlarıyla ana ve alt sorunlar üzerinden beyin fırtınası yöntemiyle Balık-Kılıcı diyagramı oluşturulmuştur. Bu teknik sayesinde hatalar altı temel ana başlık altında analiz edilmiştir. Hataların tekrar etme sıklığına göre gruplandırılma adı verilen teknik kullanılmıştır. Buna göre hataların baskın çoğunluğunun insan, makine ve süreç ana başlığı altında ortaya çıktığı vurgulanmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre, İstatistiksel Süreç Kontrolü teknikleri sayesinde hata tiplerinin tanımlanması, hangi hatanın hangi sıklıkta tekrar etmesi ve hangi hatalara daha çok kafa yorulması gerektiği konusunda firmaya yol gösterilmiştir. Bu sayede firma süreçlerini daha az hata ile sürdürecektir ve insan, makine ve süreç kaynaklı ortaya çıkan hatalara daha kolay müdahale edebilecek aynı zamanda mutlak düzeyde kalite ve verimlilik artışı elde edecektir. Ayrıca firmaya süreci daha sık kontrol etmesi, süreç iyileştirme tekniklerini uygulayabilen çalışanları istihdam etmesi ve hammadde kaynaklı hataları azaltmak amacıyla firma içinde bir hammadde kabul örneklem istasyonu kurması önerilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akın, B., (1996), "İso 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Akyurt, İ. Z. (2020). Gıda Sektöründe İstatistiksel Proses Kontrolü: Endüstriyel Ekmek Üretim Tesisi Uygulaması. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(1), 235-257. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.605670>
- Atalay, O., & Kılıç, Ö. (2016). Balık Kılıcı Yöntemi ile Mobil Vinç Kazası Olası Nedenlerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 73-78. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242808>
- Bayhan, M., Yacan, İ., & Demirel, A. (2022). Üretim Süreçlerinde İstatistiksel Kalite Kontrolü Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. *Yeni Fikir Dergisi*, 14(28), 28-35.
- Can, H., vd., (2001), "Genel İşletmecilik Bilgileri", Siyasal Kitabevi, 12. Baskı, Ankara.
- Carvalho, R., Lobo, M., Oliveira, M., Oliveira, A. R., Lopes, F., Souza, J., Ramalho, A., Viana, J., Alonso, V., Caballero, I., Santos, J. V., & Freitas, A. (2021). Analysis of root causes of problems affecting the quality of hospital administrative data: A systematic review and Ishikawa diagram. *International journal of medical informatics*, 156, 104584. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104584>
- Çakırkaya, M., & Acar, Ö. E. (2016). BİR ÜRETİM HATTINDA MEYDANA GELEN HATALARIN ÖNEM DERECELERİNİN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNDEN PARETO ANALİZİ İLE

- BELİRLENMESİ. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13(36).  
Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2006). Kalite Kontrolde Örneklem Büyüklüğünün Değişken Olması Durumunda p Kontrol Şemalarının Oluşturulması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(10), 65-80.
- Gejdo, P. (2015). Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control. *Procedia Economics and Finance*. 34. 565-572. 10.1016/S2212-5671(15)01669-X.
- İlgın, M. A., Söyler, D., & Sözen, K. (2016). İstatistiksel Süreç Kontrolü Prensiplerini Kullanarak Bir Kestirimci Bakım Bilgi Sisteminin Geliştirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(2), 55.
- Ishikawa, K., (1976). Guide to quality control. By Asian Productivity Organization in Tokyo.
- Işığışok, E., (2004), "Toplam Kalite Yönetim Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol", Ezgi Kitabevi Yayınları, 1. Baskı, Bursa.
- Kazmierski, T.J. (1995), *Statistical Problem Solving in Quality Engineering*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Kobu, B., (2010), "Üretim Yönetimi", Beta Basım A. Ş., 15. Baskı, İstanbul.
- Köksal, M., 2015 "Bakım Planlaması", Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Megahed, F. M., Chen, Y. J., Ferris, J. A., Knoth, S., & Jones-Farmer, L. A. (2024). How generative AI models such as ChatGPT can be (mis)used in SPC practice, education, and research? An exploratory study. *Quality Engineering*, 36(2), 287–315. <https://doi.org/10.1080/08982112.2023.2206479>
- Montgomery, D. C., (1990), "Statistical Quality Control", John Wiley&Sons, Inc., Second Edition, New York.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Parlakıyığıt, P. (2022). Tekstilde İstatistiksel Proses Kontrol Uygulaması Örneği-Terbiye İşletmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 911-924. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1230793>
- Salacinski, Tadeusz & Chrzanowski, Jarosław & Chmielewski, Tomasz. (2023). Statistical Process Control Using Control Charts with Variable Parameters. *Processes*. 11. 2744. 10.3390/pr11092744.
- Şahin, O. (2013). İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜNDE PROSES YETERLİLİK ANALİZİ VE TEKSTİL SANAYİNDE UYGULAMA. Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi, 27(2), 253-271.
- Yılmaz, F., & Ersöz, T. (2018). Kalitenin İyileştirilmesi Amacıyla İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemlerinin Kullanılması Üzerine Havacılık ve Uzak Sektöründe Bir Uygulama. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(3), 159-172.
- Not:** Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Mustafa Köksal danışmanlığında, Berk Kemal Güzel tarafından yürütülecek olan, "Üretim Sürecinde İstatistiksel Süreç Kontrolü Üzerine Örnek Uygulama Çalışması" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

## BEYANLAR

*Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.*

*Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.*



## Araştırma Makalesi

# KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞININ TÜRKİYE EKONOMİSİNE ETKİLERİNE SWOT ANALİZİ EKSENİNDE GÜNCEL BİR YAKLAŞIM

Özdemir SÖNMEZ<sup>†</sup>, Muammer Taygun KODAMAN<sup>††</sup>

<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık, İstanbul, Türkiye

<sup>††</sup> Bağımsız Araştırmacı, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul, Türkiye

osonmez@ticaret.edu.tr taygunkodaman1@gmail.com



0000-0001-6421-7071, 0009-0006-9360-551X

**Atıf/Citation:** SÖNMEZ, Ö., KODAMAN, M.T., (2024). Karayolu Yük Taşımacılığının Türkiye Ekonomisine Etkilerine SWOT Analizi Ekseninde Güncel Bir Yaklaşım, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.163-183, DOI: 10.56809/icujtas.1492057

## ÖZET

İç piyasada veya diğer ülkelerle gerçekleşen ticari işlemlerde kullanılan dağıtım süreçlerinde “karayolu yük taşımacılığı” oldukça önemli bir noktada bulunmaktadır. Karayolu yük taşımacılığı, özellikle ithalat ve ihracat operasyonlarında Türkiye ekonomisinin aktörlerle rekabet edebilmesinin kaldıraç olarak kullanılabilir bir potansiyel olarak görülmektedir. Taşımacılığın bu biçiminin geliştirilmesi; fırsatların, tehditlerin, avantajların farkına varılması şüphesiz Türkiye ekonomisinin küresel ölçekte pazarda rekabet etme durumunu olgunlaştıracaktır. Küreselleşmeyle birlikte zaman, pek çok parametrenin önüne geçmiştir. Sermayenin birikimi üretim ve tüketim süreçleri arasındaki mesafenin kısalmasıyla doğru orantılı olarak gerçekleşerek, ülke ekonomisini geliştirmektedir.

Bu makalenin amacı, karayolu yük taşımacılığının avantaj ve dezavantajlarının ne olduğunun analiz edilmesi, fırsat ve tehditlerin mevcut dönemde farkına varılmasını sağlayarak söz konusu taşımacılığın geliştirilmesi gereken yönlerini öne çıkarmaktır. Makalede araştırma yöntemi olarak SWOT perspektifi kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** karayolu, taşımacılık, yük, ticaret, swot analizi

## A CURRENT APPROACH TO THE EFFECTS OF ROAD FREIGHT TRANSPORTATION ON THE TURKISH ECONOMY IN SWOT PERSPECTIVE

### ABSTRACT

Road freight transportation is at a very important point in the distribution processes used in the domestic market or in commercial transactions with other countries. Road freight transportation is seen as a potential that can be used as a leverage for the Turkish economy to compete with other actors, especially in import and export operations. Development of this form of transport; Realizing the opportunities, threats and advantages will undoubtedly mature the Turkish economy's ability to compete in the market on a global scale. With globalization, time has taken precedence over many parameters. The accumulation of capital takes place in direct proportion to the shortening of the distance between production and consumption processes, thus improving the country's economy.

The purpose of this article is to analyze the advantages and disadvantages of road freight transportation, to highlight the aspects of this transportation that need to be improved by making the opportunities and threats aware in the current period. SWOT perspective was used as the research method in the article.

**Keywords:** road, transportation, cargo, trade, swot analysis

Geliş/Received : 29.05.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 07.06.2024  
Kabul/Accepted : 07.06.2024

## 1.GİRİŞ

Bir ülkenin ekonomik olarak büyümesi taşımacılık sistemlerindeki gelişme ile oldukça yakından ilişkilidir. Bu alanda meydana gelen bir sorun nasıl ki küresel veya yerel ticaretin aksamasına sebep olarak ekonomik bir zararı tetikleyecek kadar önemliyse, taşımacılığın etkili bir şekilde gerçekleşmesi başka bir deyişle başarısı da ekonomik büyümeyi sağlayacak kadar önemlidir. Hiç şüphesiz Türkiye’de karayolu yük taşımacılığı taşımacılık türleri içerisinde en çok tercih edilen konumundadır. Yük taşımacılığı alanında karayolu kullanım oranı ülkemizde % 76,10 civarındadır. Bu noktada özellikle karayolu yük taşımacılığı UTİKAD verilerine göre ihracatın ve iç piyasadaki ticaretin büyük bir kısmını karşılamaktadır. Türkiye'nin dış ticaretinde karayolu ile yük taşımacılığının ağırlık bazında ithalattaki payı 2022 yılında %7,10 oranında, ihracattaki payı ise %18,28 oranında gerçekleşmiştir. Bu açıdan karayolu yük taşımacılığının bağlı olduğu parametreler olarak tanımlanabilecek yollar, malların depolanma alanları, gümrükler, altyapı sistemleri taşımacılığın başarılı bir şekilde gerçekleşmesinin bileşenlerini oluşturmaktadır. Dolayısıyla araştırmanın amacı tüm bu opsiyonlar ekseninde bir değerlendirme ile Türkiye’deki karayolu yük taşımacılığının ülke büyümesine olan katkısını işaret ederek bu alandaki fırsatların, avantajların ve tehditlerin güncel bir durum analizini gerçekleştirmektir.

Tedarik zinciri içerisinde taşımacılık sistemi; üreticiler, nakliyeciler ve alıcılar arasında bir bağ görevi gördüğünden dolayı rekabet gücü için oldukça önemli bir strateji olarak durmaktadır. Bir taraftan üretim için hammaddeyi diğer taraftan ürünlerin nihai müşterilere aktarılmasını garanti etmektedir. Bir işletmenin bir malı zamanında makul fiyatta ve yeterli kalitede teslim edebilme durumu müşteri hizmetleri ekseninde de olumlu bir sonuca ulaşılmasını etkilemekte dolayısıyla başarılı bir kar elde etme sonucunu garantilemektedir. Bu ekseninde gerek işletmeler için gerek ülkeler için taşımacılığın son derece güvenlik, sıklık, fırsat, dakiklik ve verimlilik açısından kaliteli bir hizmet biçiminde gerçekleşmesi gerekmektedir. (Berrones-Sanz, 2020, s.149).Bu durum taşımacılığın yapıldığı alandaki arz ve talebi doğrudan etkilediğinden özellikle ülkelerin ihracat ve piyasa içi ekonomi süreçlerinde oldukça elzemdir. İhracat süreçlerinde tercih edilen konumunda olmak veya ülke içi üretim-tüketim süreçlerini iyi yöneterek mevcut ekonominin yükselmesini gerçekleştirmek için taşımacılık sürecinin önemi açık bir şekilde görülmektedir. Bu noktada çalışmada ilk olarak tarihsel olarak karayolu yük taşımacılığının gelişimine ve türlerine odaklanılmış sonrasında ise günümüzdeki durumu SWOT analizi ekseninde değerlendirilmiştir.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Karayolu Yük Taşımacılığı Kavramı

Karayolu yük taşımacılığı kavramının ne olduğunu tanımlamadan önce taşımacılığın ne anlama geldiğinin açıklanması önemlidir. Taşımacılık; bir ürün veya malın bir noktadan başka bir noktaya aktarılması anlamı taşımaktadır. Bu aktarım işleminde kullanılacak aracın cinsi ve aktarımın gerçekleştiği altyapı ya da alan değişime uğramaktadır. Deniz, hava veya demiryolu biçiminde gerçekleşebilecek olan taşımacılık türleri ve bu alanlarda kullanılan araçlar içerisinde karayolu ve yükün biçimine göre seçilen tır, kamyonet, kamyon, tanker vb. türünden araçlar en sık tercih edilen kısımda bulunmaktadır.

Karayolu yük taşımacılığı ile ilgili literatürde pek çok tanım bulunmaktadır. Bir tanıma göre yükün nakliye aracına yüklenerek, alıcıya teslimi karayolu yük taşımacılığı olarak tanımlanır (Köğmen,2014, s.3). Diğer bir tanıma göre ise karayolu yük taşımacılığı malzemelerin ücret karşılığında kapıdan kapıya ulaştırılmasını sağlayan, taraflar arasında yapılan sözleşmeye dayanan ve diğer taşıma türlerini de destekleyen bir taşımacılıktır. (Koban ve Keser, 2015, s.165-167). Bir diğer karayolu yük taşımacılığı tanımı da yüklerin taşıma araçlarına alındığı noktadan varacağı noktaya kadar, karayolu altyapısı kullanılarak nakliye hizmetinin yerine getirilmesidir (Bakan ve Şekkel, s.2017). Bir başka tanıma göre de karayolu yük taşımacılığı; yüklerin karayolu taşıtları ile taşınmasıdır (Görçün, 2010, s.245).

Üretilen malların çok büyük bir kısmı karayolu yük taşımacılığı sayesinde ilgili pazarlara ulaştırılabilmekte ve karayolu yük taşımacılığı sektörü ekonomik hayat içerisinde kendisine önemli bir yer edinebilmektedir. Karayolu yük taşımacılığının kapıdan kapıya teslimi imkân vermesi, sermaye ihtiyacının diğer taşıma türlerine kıyasla daha az olması ve ‘just in time’ diye tabir edilen zamanında teslimat gibi avantajlarından dolayı en çok tercih edilen taşıma türlerinden biri olmuştur. Ülkelerin kalkınma planlarında karayolu taşımacılığına da özel bir yer verilmesi gerekmektedir.

Karayolu yük taşımacılığı sadece Türkiye’de değil tüm dünyada önemli bir paya sahiptir. Üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine doğru hızlı bir şekilde aktarım sunmasından dolayı diğer taşımacılık türlerine göre oldukça fazla tercih edilmektedir. Genel olarak bakıldığında kapıdan kapıya taşıma, elleçleme yapılmadan taşıma, küçük kapasitelerde çalışma imkanı araç ve terminal açısından düşük maliyet gerektirmesi, sefer noktalarına daha fazla sefer koyma imkanının olması karayolu yük taşımacılığının özelliklerini tanımlamaktadır. (Karagülle, 2007,s.26-29).

## 2.2.KARAYOLU TAŞIMACILIĞININ GELİŞİMİ VE TARİHSEL SÜRECİ

Karayolu yük taşımacılığının başlangıcı, insanların yükleri taşımak için hayvanları ve tekerlekli araçları kullanmaya başladığı dönemlere kadar uzanır. Ancak, modern karayolu taşımacılığına benzeyen sistemler, endüstri devrimiyle birlikte daha belirgin hale gelmiştir. Karayolu taşımacılığının erken tarihlerinde, yüklerin taşınması için çeşitli hayvanlar kullanılırdı. İnsanlar, bu hayvanları çekiştirilmiş araçlar veya sırtlarında yüklerle birlikte taşırdı. Antik Roma ve diğer eski medeniyetlerde, taşlar veya diğer ağır yüklerin taşınması için taş döşeli yollar ve köprüler inşa edilmiştir.

İlkel kavimler avladıkları hayvanları ve topladıkları bitkileri kavimlerine götürmek zorundaydılar. Bu zorunluluktan dolayı da taşımacılık doğmuştur. İlk başlarda insanlar kendileri taşıma işlerini sağlarlarken, zamanla hayvanların evcilleştirilmesi ile hayvanlar taşımacılık faaliyetleri için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca insanlığın ilk ortaya çıkışından itibaren dünyada çeşitli göçler yaşanmıştır. Doğa ve iklim şartlarından dolayı bu göçlerin yaya olarak yapılması zor hale gelmiş ve bu durum da yeni araçların ortaya çıkışına zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda sal ve kızaklar yapılmıştır. Sallar ilk deniz araçları olurken, kızaklar ise ilk karayolu araçları olmuştur. İlk başlarda insan gücü ile hareket ettirilen kızakların yerini daha sonraları geyik ve köpekler ile hareket ettirilen kızaklar almıştır. Tekerleğin icadı ise karayolu ulaşımında bir dönüm noktası olarak kabul edilir. Tekerleğin ne zaman ve nerede icat edildiği tam olarak bilinmemekle birlikte, M.Ö. 4000-3500 yıllarına dayanan bulgular, tekerleğin Neolitik dönemde icat edildiğini göstermektedir. Tekerleğin icadı, insanların ağır yükleri daha kolay taşıyabilmelerini ve taşıtları daha verimli hale getirmelerini sağlamıştır.

Motorlu kara taşıtlarının tarih sahnesine ilk çıkışı olarak, Fransız mühendis Nicol J. Cugnot’un buhar kuvveti ile hareket eden arabası kabul edilmektedir. Daha sonraları ise G. Daimler ilk kez motor gücü ile hareket edebilen aracı inşa etmiştir. (Bodur,1993, s.32).

Dünya tarihinde ticaret yolu olarak kullanılan üç önemli yol bulunmaktaydı. Bunlar Kral Yolu, İpek Yolu ve Baharat Yolu’dur. Kral yolu M.Ö. 5. yüzyılda Lidya hükümdarı tarafından ticari amaçla yapılan ve Efes’ten Ninova’ya (bugünkü Musul) kadar uzanan yoldur. İpek yolu ise doğu devletlerinde üretilen ipek ve değerli ürünlere erişmek, doğu ülkelerinde üretilen ürünlere pazar bulabilmek amacı ile M.Ö. 130 yılında yapılan ve Çin’den Afrika’ya kadar uzanan yoldur. Baharat yolu ise M.Ö. 3000’li yıllarda ortaya çıkmış olan ve Uzakdoğu’yu Batıya bağlayan önemli bir ticaret yoluydu. İpek Yolu’nun aksine, Baharat Yolu deniz yolunun daha çok kullanıldığı bir ticaret rotasıydı.

1763 yılında James Watt’ın buhar makinesini icadı taşımacılık faaliyetlerinde bir dönüm noktası olmuştur. Özellikle buharlı gemilerin denizyollarında ve buharlı lokomotiflerin demiryollarında kullanılması ağır yüklerin taşınmasını kolaylaştırmıştır. Ancak, modern karayolu taşımacılığının kökenleri 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında, motorlu araçların icadı ve gelişimiyle daha belirgin hale gelmiştir. 1885 yılında Karl Benz’in ilk otomobili üretmesi ve ardından Henry Ford’un seri üretim yöntemini benimsemesi, otomobillerin ve kamyonların yaygınlaşmasını sağlamıştır.

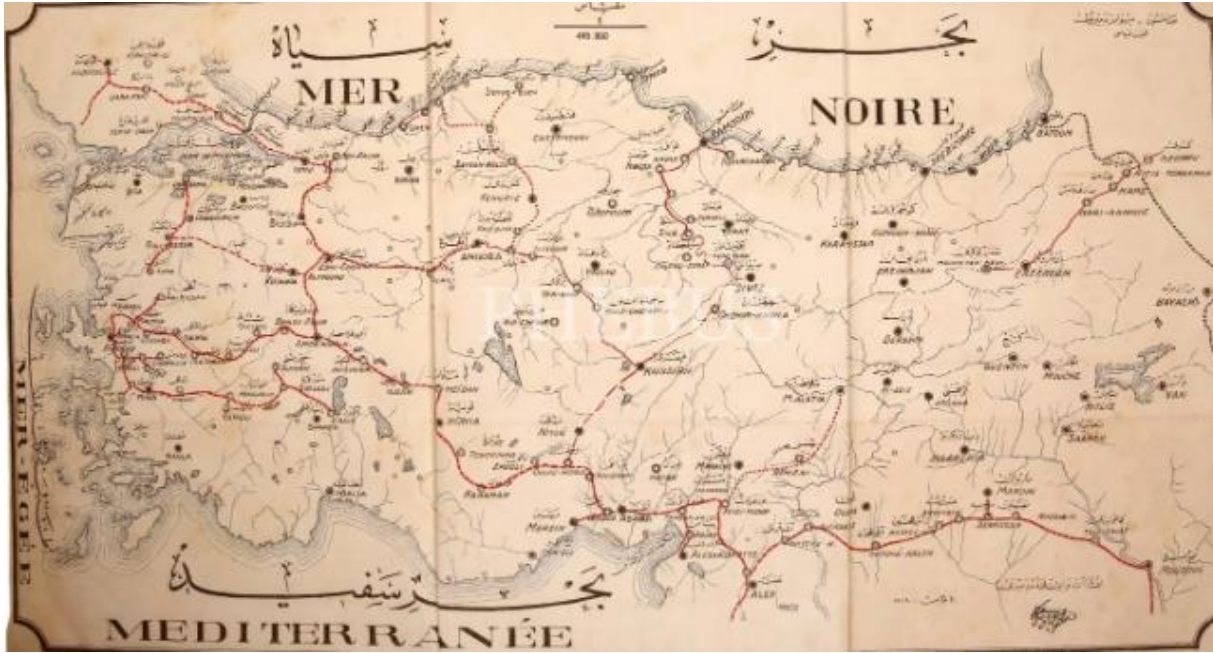
İlk motorlu taşımacılık araçlarının kullanımı, özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa’da, ticaretin artması ve şehirlerarası ulaşımın gelişmesiyle hızla yayıldı. İlk zamanlarda, karayolu taşımacılığı genellikle kısa mesafelerde ve yerel olarak kullanılsa da, zamanla daha uzun mesafelere ve uluslararası taşımacılık sistemlerine entegre olmuştur.

Bugün, karayolu taşımacılığı, dünya genelinde önemli bir taşıma şekli haline gelmiştir. Otomobil, kamyon, otobüs ve diğer motorlu araçlar, yüklerin ve insanların taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Karayolu taşımacılığı, ticaretin, endüstrinin ve toplumun genel ekonomik faaliyetlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır.

### 2.2.1. Türkiye'de 1923-1938 Dönemi Karayolu Ulaşımı

Türkiye'de 1923 ile 1938 arasındaki dönem, Cumhuriyet'in ilk yılları ve modern Türkiye'nin temellerinin atıldığı bir zamandı. Bu dönemde karayolu ulaşımı, ülkenin altyapı ve ekonomik koşullarına göre belirli bir gelişim gösterdi.

Demiryolları, Osmanlı Devleti'nin son yıllarında ülkenin deniz ve iç kısımları arasındaki bağlantıyı sağlamada en önemli ulaşım modu olarak kullanılmıştır. Karayolu ise demiryolunun bir tamamlayıcısı olarak görülmüştür. Bunun nedenleri ise yeterli sayıda motorlu aracın ülkede olmayışı ve karayolu taşımalarında hayvanların kullanılmasıdır (Avcı, 2005). Cumhuriyetin ilanından önce 1921 yılında Tarik Bedeli Nakdisi adı ile bir yasa çıkarılmıştır. Bu yasaya göre imam, asker, muhtar, fakir ve engelliler hariç 18-60 yaş arası her erkek yol vergisi ödemek zorundadır. Cumhuriyetin ilanı ile birlikte Osmanlı Devleti'nden Türkiye Cumhuriyeti'ne toplam 18.835 km'lik karayolu ağı miras kalmıştır. Fakat Osmanlı'nın karayolu ulaşım politikasının olmaması ve savaş dönemlerinin oluşturduğu durumlar yüzünden yol uzunluğu az miktarda kalmıştır. 1927 senesinde ise Tevhidi Turuk Kanunu çıkarılmış ve bu kanuna göre il ve devlet yolları tek bir çatıda toplanarak, il özel idaresinin bünyesine bırakılmıştır. Ancak bu yasanın karayolu yapımı için yeterli olmadığı görülerek, yeni yasalar üretilmesi önerilmiştir. Bu çerçevede Şose ve Köprüler Kanunu oluşturulmuştur. 1929 yılındaki bu yasaya göre devlet yolları ağı belirlenecek ve genel bütçeden de finansmanı karşılanacaktır. Kanunun sayesinde karayolları ve köprü yapımı bir düzene girdiyse de 1929 yılındaki ekonomik buhrandan dolayı bu yasa yeterince uygulanamamıştır. (Ergün, 1985).



Şekil 1. Hükümet ve şirketler tarafından inşa edilen demiryolları 1928 (www.reddit.com)

Krizin olumsuz etkilerinden korunmak için 1929-1939 yılları arasında pek çok yasa ve vergiler konulmuş ise de ekonomik zorluklardan dolayı, alınan bu vergiler, karayolları yapımı için kullanılamamıştır. Bu durumda demiryollarının daha ön planda olması da etkilidir (Çetin vd. 2011).

**Tablo 1.** Genel bütçeden karayollarına ayrılan pay (İnce, 2012)

Yıllar	Genel Bütçe (lira)	Genel Bütçede Karayolları Payı (%)
<b>1923</b>		
<b>1924</b>	140 433369	12
<b>1925</b>	183 932 767	16
<b>1926</b>	190 103 554	11
<b>1927</b>	194 454 619	0,7
<b>1928</b>	207 169 388	0,5
<b>1929</b>	220 408 976	0,3
<b>1930</b>	222 646 523	0,3
<b>1931</b>	186 582 005	0,2
<b>1932</b>	169 146 747	0,2
<b>1933</b>	170 474 794	0,2
<b>1934</b>	184 075 636	0,1
<b>1935</b>	195 011 053	0,2
<b>1936</b>	212 755 580	0,4
<b>1937</b>	231 017 776	0,2
<b>1938</b>	249 954 020	0,2

Tablo 1’den de görülebileceği gibi 1923 – 1938 arası dönemde genel bütçeden karayollarına ayrılan payların en yüksek olduğu yıllar 1924, 1925 ve 1926 yıllarıdır. 1925 yılında ise karayollarına ayrılan pay en yüksek seviyeyi gördükten sonra 1938 yılına kadar bütçeden aldığı pay önemli ölçüde azalmıştır.

### 2.2.2 Türkiye’de 1938-1950 Dönemi Karayolu Ulaşımı

1938 ile 1950 arasındaki dönem, Türkiye’de modern karayolu ulaşımının gelişiminde önemli bir dönemdir. Bu dönem, Cumhuriyet döneminin ikinci yarısını kapsar ve ülkede ekonomik ve altyapısal dönüşümlerin yaşandığı bir süreçtir.

1938’de Türkiye’de çok partili siyasi sisteme geçilmesiyle birlikte, ülke ekonomisinde ve altyapısında da önemli değişiklikler yaşandı. Karayolu ulaşımı da bu dönemde modernleşme sürecine girdi.



Özellikle 1930'lu ve 1940'lı yıllarda, Türkiye'de karayolu ağının genişletilmesi ve iyileştirilmesi için çeşitli projeler başlatıldı. Bu dönemde yolların yapımı ve bakımı için önemli yatırımlar yapıldı. İstanbul-Ankara, İstanbul-İzmir, Ankara-Eskişehir gibi ana karayolu güzergâhlarında altyapı çalışmaları hızlandı. Bu dönemde Ankara ile İstanbul'u birbirine bağlayan modern karayolu inşa edildi. Bu yol, ülkenin en önemli karayolu bağlantılarından biri haline geldi. İzmir ile Ankara arasındaki karayolu bağlantısı, bu dönemde modernleştirildi ve iyileştirildi. Bu yol, Batı Anadolu ile başkent arasındaki ulaşımı önemli ölçüde kolaylaştırdı. Eskişehir ile Ankara arasındaki karayolu bağlantısı da bu dönemde modernleştirildi ve iyileştirildi. Bu yol, İç Anadolu'nun batısını başkent ile daha etkin bir şekilde bağladı.

2. Dünya Savaşı karayolları yapım çalışmalarını olumsuz etkilemiştir. Ekonomik açıdan güçsüz olan hükümet, 1943 yılında yol vergisini 4 liradan 8 liraya çıkarmıştır. Ancak toplanan paralar amacına uygun kullanılmamıştır. Bu yüzden de yol yapım çalışmaları yetersiz kalmış ve devlet 1945 yılında yol vergisini tekrar 4 liraya düşürmüştür. Ayrıca savaş döneminde birçok kişinin silah altında olması yüzünden oluşan işgücü yetersizliği ve malzeme eksikliği de karayolları yapımına gereken önemin verilmesini engellemiştir. 2.Dünya Savaşı sırasında karayollarının ne kadar önemli olduğu tüm ülkelerce anlaşılmış, savaş bitiminde de pek çok ülke karayolları yapımına öncelik vermiştir.

**Tablo 2.** 1923-1950 arası karayolu uzunluğu (T.C. Bayındırlık Ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 2007.)

Yıllar	Yol Uzunluğu km.
1923	18.335
1929	23.670
1930	29.636
1931	34.312
1932	36.941
1933	37.409
1934	37.976
1935	39.583
1936	38.864
1937	39.663
1938	40.235
1939	40.932
1940	41.582
1941	41.491
1942	41.629

1943	43.743
1944	43.628
1945	43.511
1946	43.463
1947	43.977
1948	44.186
1949	44.903
1950	47.080

Tablo 2’den de görüleceği üzere Osmanlı Devleti’nden Türkiye Cumhuriyeti’ne 18.335 km yol kalmıştır. 1938 senesinde 40.235 km olan yol uzunluğu 27 sene içinde 28.745 km artarak, 1950 senesinde 47.080 olmuştur.

### 2.2.3 Türkiye’de 1950-1980 dönemi karayolu ulaşımı

2. Dünya Savaşı’na kadar Türkiye’de demiryolları ön planda iken, ABD’nin Türkiye’ye yaptığı Marshall yardımları ile karayolu taşımacılığı, demiryolu taşımacılığının önüne geçmiştir. Türkiye yol yapım çalışmalarına öncelik vererek, demiryolu ve deniz yolunu ihmal etmiştir. Bu durumun oluşmasında ABD’nin etkili olduğu belirtilir. ABD petrol tekellerinin hâkimiyet kurması ve ABD’de yerleşik bulunan otomotiv üreticilerinin varlığı bu durumu pekiştirmektedir. 1 Mart 1950 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Kamu kaynaklarından karayollarına aktarılan ödenekler neticesinde 1950 yılından 1960 yılına kadar toplam 14.462 km yol inşa edilerek, 47.080 km olan yol uzunluğu 1960 senesinde 61.542 km’ye ulaşmıştır (Gönüllü,2011).



Şekil 2. 1950-1990 Türkiye karayollarının 40 yılı haritası (www.bitmezat.com)

1960’lı seneler ise kalkınma planlarının yapıldığı seneler olmuştur. İlk 5 yıllık kalkınma planı 1963 senesinde yapılmıştır. Bu plana göre karayollarının geometrik standartlarının yüksek ancak fiziki standartlarının kötü olduğu belirtilmiştir. Bu durumun neticesinde de 1960-1970 arası dönemde asfalt kaplamaya ağırlık verilmiştir. 1950-

1970 arası dönemde ise sosyal amaçlı karayolları inşa edilmiş olup, karayolu ağının genişlemesi ile bölgeler arası taşımacılık da artmıştır.

1968-1972 ikinci beş yıllık kalkınma planında karayolları ağının yapıldığı ancak geometrik ve fiziki açıdan yetersiz olduğu belirtilmiştir. Söz konusu ikinci kalkınma planında ulaştırma yatırımlarının %72,7'sinin karayollarına ait olacağı vurgulanmıştır. (Şahin,2013).

Üçüncü beş yıllık kalkınma planı ise 1973-1977 yıllarını kapsamaktadır. Bu plana göre önceliğin devlet ve il yollarına verilmesi ve otoyollar inşa edilmesi kararlaştırılmıştır.

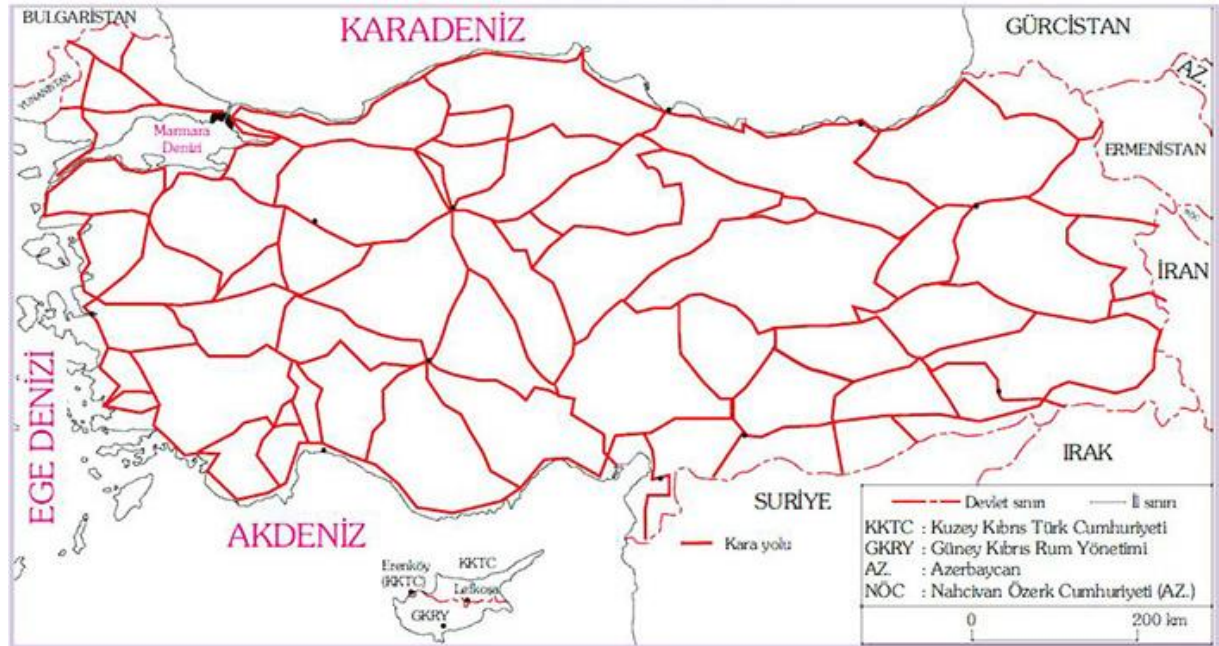
**Tablo 3.** Ulaştırma sektörü yatırımları % (Ergün,1985)

ULAŞTIRMA TÜRLERİ	1. Plan Dönemi (1963-1967)	2. Plan Dönemi (1968-1972)	3. Plan Dönemi (1973-1977)
KARAYOLU	72	73	52
DEMİRYOLU	17	19	22
DENİZYOLU	9	5	12
HAVAYOLU	2	3	14

Tablo 3'den de görülebileceği gibi her üç kalkınma planında da en fazla pay alan ulaştırma türü karayolu olmuştur. Karayolundan sonra en fazla pay alan taşımacılık türünün ise demiryolu olduğu görülmektedir.

#### 2.2.4 Türkiye'de 1980-2000 Dönemi Karayolu Ulaşımı

Bu dönemde devlet ve il yolları yapımına verilen ağırlık azalmış, bunun yerine otoban yapımına önem verilmiştir. 1980 senesinden itibaren köy yolları da asfaltlanmaya başlanmıştır. 1984 yılında ise ilk ücretli otoyol olan Gebze-İzmit yolu hizmete açılmıştır. Artan trafik yoğunluğunu azaltmak amacıyla 1988 yılında ikinci köprü olan Fatih Sultan Mehmet köprüsü açılmıştır.



**Şekil 3.** 2014 Yılı Türkiye'nin karayolları (www.cografyahocasi.com)

1993 senesinde ise karayolu taşıması ile ilgili 10 seneyi kapsayacak biçimde hedef ve stratejiler belirlenmiştir. Bu hedef ve stratejilerden bazıları; gerekli teknik personelin temini, teknolojinin takip edilerek modernizasyonun sağlanması ve kaynakların etkin kullanılarak hizmet kalitesinin artırılmasıdır (T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 1993).

### 2.2.5 Türkiye’de 2000-2020 Dönemi Karayolu Ulaşımı

2000’li yıllarda Türkiye’de toplam 62.672 km karayolu mevcuttu. Ancak AB ülkeleri ve diğer gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında bu rakam oldukça düşüktü. Bu farkı kapatmak amacıyla 2002 yılının sonundan itibaren acil eylem planı dahilinde 15.000 km bölünmüş yol yapımına başlanmıştır. Bu plan çerçevesinde 2003 yılında 1.305 km inşa edilmiş olan bölünmüş yol, 2010 yılı başlarında 11.991 km’ye çıkmıştır. Bu rakam 2020 yılında ise toplam 27.216 km’ye ulaşmıştır.

2000’li yıllardan sonra Karayollarında belirgin bir artış gözlenmemektedir. Bunun başlıca sebebi de karayollarının uzatılmayıp, genişletilmesi ve bölünmüş yola dönüştürülmesidir (Deniz,2016, s.6). 2022 yılı verilerine göre Türkiye 3.633 km’si otoyol ve 28.906 km’si bölünmüş yol olmak üzere toplam 68.761 km yol ağına sahiptir. (UAB,2022).

**Tablo 4.** Türkiye karayolu uzunluğu

OTOYOL UZUNLUĞU	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>DEVLET KARAYOLLARI (KM)</b>	31.395	31.372	31.375	31.341	31.280	31.213	31.106	31.066	31.021	31.006	30.974
<b>İL YOLLARI (KM)</b>	31.390	31.558	31.880	32.155	32.474	33.065	33.513	33.896	34.153	34.165	34.136
<b>OTOYOLLAR (KM)</b>	2.080	2.119	2.127	2.244	2.278	2.282	2.542	2.657	2.842	3.060	3.523
<b>TOPLAM</b>	64.865	65.049	65.382	65.740	66.032	66.560	67.161	67.619	68.016	68.231	68.633

### 3. EKONOMİYE ETKİLERİ BAĞLAMINDA KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI

Karayolu taşımacılık sektörü, imal edilen malların ulaştırılmasını sağlayıp, katma değer oluşturur ve ekonomik büyümeye etki eder. Ekonomik kalkınmaya katkı sağladığı için de ekonominin temel yapı taşlarından birini oluşturur. Bu sebeple de devletler kamu yatırımlarında taşımacılığa ayrı bir yer verirler.

**Tablo 5.** Kamu yatırımlarının sektörel dağılımı (milyon tl) (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

SEKTÖR/YIL	2016	2017	2018	2019
<b>TARIM</b>	7.767,00	10.090,00	11.961,00	7.795,00
<b>MADENCİLİK</b>	936	1.365,00	989	1.043,00

<b>ENERJİ</b>	3.494,00	4.710,00	8.708,00	13.603,00
<b>TAŞIMACILIK</b>	23.460,00	28.115,00	42.681,00	31.304,00
<b>TURİZM</b>	463	541	505	385
<b>EĞİTİM</b>	10.967,00	12.632,00	14.022,00	16.419,00
<b>SAĞLIK</b>	5.291,00	6.490,00	6.894,00	6.320,00

Türkiye’de kamu harcamalarının sektörler üzerindeki dağılımına yer verilmiştir. En fazla bütçenin taşımacılık sektörüne ayrıldığı gözlenmektedir. Bir ülkenin taşımacılık sektörünün ekonomideki payını belirlemek için genellikle gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) içindeki katkısı incelenir. Bir ülkenin GSYİH’sının büyük bir kısmı genellikle ticaret ve taşımacılıkla doğrudan ilişkilidir. İmalat, tarım ve hizmet sektörleri ürettikleri malları ve sağladıkları hizmetleri tüketicilere veya diğer işletmelere ulaştırmak için taşımacılık hizmetlerine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, bir ülkenin GSYİH’sı ne kadar büyükse, taşımacılık sektörü de genellikle o kadar büyük olur. (Demir,2021).

Aynı şekilde, taşımacılık sektörünün büyüklüğü de bir ülkenin GSYİH’sını etkileyebilir. Verimli ve etkili bir taşımacılık sistemi, üretim maliyetlerini düşürebilir, ticareti teşvik edebilir ve ekonomik büyümeyi destekleyebilir. Bunun yanı sıra, taşımacılık sektörü istihdam yaratır ve ekonominin farklı sektörleri arasında bağlantılar kurar. Taşımacılık sektörü, Türkiye’de geniş bir istihdam alanı sunar. Kamyon ve tır şoförleri, havaalanı personeli, liman çalışanları, lojistik yöneticileri ve diğer taşıma sektöründe çalışanlar, iş gücünün önemli bir kısmını oluşturur.

Sonuç olarak, GSYİH ve taşımacılık arasındaki ilişki karşılıklıdır ve birbirlerini etkilerler. Taşımacılık, bir ülkenin ekonomik büyüklüğünü ve gelişimini belirleyen önemli bir faktördür ve GSYİH da taşımacılık sektörünün büyüklüğünü etkiler.

Karayolu yük taşımacılığı iç ve dış ticaret ile iç içedir. Hem Türkiye içerisinde yapılan taşımalarda hem de yurtdışı ihracat ve ithalatlarda karayolu taşımacılığı en çok tercih edilen taşıma türleri arasındadır.

**Tablo 6.** Yurt içi yük taşıma oranlarının ton-km üzerinden % oranları (UAB, 2023)

<b>TAŞIMA MODLARI/SENELER</b>	<b>201 3</b>	<b>201 4</b>	<b>201 5</b>	<b>201 6</b>	<b>201 7</b>	<b>201 8</b>	<b>201 9</b>	<b>202 0</b>	<b>202 1</b>	<b>202 2</b>
<b>KARAYOLU</b>	88,7	89,5	89,8	89,7	89,2	89,5	91,9	88,7	89,8	89,3
<b>DENİZYOLU</b>	6,9	5,9	6,3	6,1	6,4	6	5,9	6,7	6	6
<b>DEMİRYOLU</b>	4,4	4,6	3,9	4,1	4,3	4,8	4,6	4,5	4,2	4,6
<b>HAVAYOLU</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 6’ dan da görüleceği üzere, mal sevkiyatlarında Türkiye sınırları içindeki nakliyelerde, taşımacılık türleri arasında en çok tercih edilen karayoludur. Türkiye’de yük taşımacılığının yaklaşık %90’ı karayolu ile gerçekleştirilmektedir.

AB ülkeleri genellikle birbirlerine coğrafi olarak yakındır. Karayolu taşımacılığı, kısa mesafelerde etkili bir seçenek sunar ve hızlı teslimatları destekler. Bu nedenle, AB ülkeleri arasında karayoluyla yük taşıma daha

yaygındır ve yaklaşık %45 oranındadır. AB, iç ticaretin ve lojistiğin yoğun olduğu bir bölgedir. Karayolu taşımacılığı, mal ve hizmetlerin hızlı ve esnek bir şekilde taşınmasını sağlar. AB'nin entegre pazarı ve serbest ticaret alanı, karayoluyla yük taşımının daha fazla tercih edilmesine yol açar.

AB ülkelerinde yurt içi yük taşıma oranları, her ülkenin kendi iç lojistik yapısı, coğrafi özellikleri, ekonomik büyüklüğü ve endüstriyel yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ancak genel olarak, AB ülkelerinde yurt içi yük taşımacılığı oldukça gelişmiş ve yoğun bir şekilde kullanılan bir sektördür. Özellikle karayolu, demiryolu, denizyolu ve iç su yolu gibi farklı taşıma modları kullanılarak yük taşınması gerçekleştirilir.

AB ülkeleri, Avrupa'nın kapsamlı bir ulaşım altyapısına sahiptir ve bu altyapı, yurt içi yük taşımacılığını kolaylaştırır. Karayolu taşımacılığı genellikle en yaygın olanıdır ve AB ülkelerindeki otoyol ve karayolu ağları oldukça gelişmiştir. Demiryolu taşımacılığı da önemli bir yer tutar ve özellikle daha uzun mesafelerde büyük miktarlarda yük taşınması yapılır. Denizyolu ve iç su yolu taşımacılığı ise özellikle büyük miktarlarda yükün uzun mesafelere taşınmasında tercih edilir.

AB ülkeleri genellikle modern ve etkili bir lojistik altyapısına sahiptir ve bu da yurt içi yük taşımacılığının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. OPEC ülkelerinde ise karayolu yük taşımacılığı, her bir ülkenin coğrafi özellikleri, ulaşım altyapısı, ekonomik yapısı ve iç lojistik sistemlerine bağlı olarak değişebilir. OPEC üyesi olan ülkeler genellikle petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının üretiminde ve ticaretinde önemli bir rol oynarlar, bu nedenle karayolu yük taşımacılığı genellikle bu endüstrilere hizmet etmek için yoğun bir şekilde kullanılır. Birçok OPEC ülkesi geniş arazi alanlarına ve petrol üretim sahalarına sahiptir. Bu ülkelerde petrol ve doğal gaz gibi hammaddelerin taşınması, rafinerilere ve limanlara ulaştırılması için genellikle karayolu taşımacılığı tercih edilir.

Bazı OPEC ülkeleri, özellikle Körfez ülkeleri geniş petrol rezervlerine sahip oldukları için karayolu taşımacılığını özellikle petrol ve petrol ürünlerinin taşınması için kullanırlar. Rafinerilere, depolama tesislerine ve limanlara petrol ürünlerinin taşınması genellikle kamyonlar veya tank tırlarıyla gerçekleştirilir.

Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulması ile birlikte yeni bir ekonomik düzenin kurulması da gerekmiştir. Ancak eski anlaşma ve yükümlülüklerden dolayı faaliyete geçilememiştir. Bu yükümlülüklerden biri de Lozan Anlaşması ile beraber uygulanması gereken liberal dış ticaret politikasıdır. 1929 yılındaki Büyük Buhran neticesinde yerli sanayi kurulmuştur. Yerli sanayi desteklemek amacıyla ithalata gümrük tarifesi uygulanmaya başlanmıştır. (Eren, 2012, s.204). Uluslararası karayolu yük taşımacılığı açısından ise ilk adım 1968 yılında bir devlet girişimi olan Frıntaş adı altında Irak ve İran'a sebze ve meyve taşınması ile gerçekleştirilmiştir. (Keçeci,2006, s.3). Küreselleşen dünya ile birlikte dış ticaret daha da önem kazanmış, iletişim ve teknolojinin gelişmesiyle de hızlı bir ivme yakalamıştır.

**Tablo 7.** Türkiye'nin 1923-1979 yılları arasındaki dış ticaret verileri (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015).

DÖNEM	İHRACAT (\$)	İTHALAT (\$)	DIŞ TİCARET HACMİ (\$)
1923-1925	235.925	316.287	552.212
1926-1928	265.464	342.873	608.337
1929-1931	206.433	253.033	459.466
1932-1934	179.044	154.570	333.614
1935-1937	279.127	234.794	513.921
1938-1940	295.570	261.432	557.002
1941-1943	413.905	323.568	737.473

<b>1944-1946</b>	560.796	234.088	902.884
<b>1947-1949</b>	667.925	809.917	1.477.842
<b>1950-1952</b>	940.420	1.243.670	2.194.090
<b>1953-1955</b>	1.044.331	1.508.529	2.552.860
<b>1956-1958</b>	897.478	1.119.563	2.017.041
<b>1959-1961</b>	1.021.270	1.455.373	2.466.643
<b>1962-1964</b>	1.160.055	1.844.292	3.004.347
<b>1965-1967</b>	1.476.580	1.974.891	3.451.471
<b>1968-1970</b>	1.621.729	2.512.500	4.134.229
<b>1971-1973</b>	2.878.654	4.819.404	7.698.260
<b>1974-1976</b>	4.893.471	13.644.706	18.538.178
<b>1977-1979</b>	6.302.384	15.464.734	21.767.118

1930-1949 yılları arasında Türkiye’de dışa kapalı bir ekonomi anlayışı benimsenmiş ve bu doğrultuda korumacı önlemler uygulanmıştır. Beşinci Beş Yıllık Sanayi planı ile devlet tarafından sanayileşme faaliyetleri yapılmış, ithal ikamesine dayanan büyüme politikası daha yoğun bir şekilde uygulanmıştır. İzlenen bu politikalar sayesinde 2. Dünya Savaşı’na kadar ekonomik büyüme artmıştır. 2. Dünya Savaşı ile tüm dünya ekonomisi olumsuz yönde etkilenmiş ve dış ticaret hacmi azalmıştır. Bu yüzden ülkelerin büyüme oranları ciddi ölçüde azalmıştır (Taban ve Aktaş, 2013). 2. Dünya Savaşı’ndan sonra Türkiye’de çok partili hayata geçilmiştir. Yeni yönetim, 1950-1960 yılları arasında liberal dış ticaret politikaları uygulayarak, karma ekonomi sistemini oluşturmuştur. İthal ikamesine dayalı politikayı değiştirmeden hem kamu hem de özel sektör birlikteliğini teşvik etmiştir. Özel sektör desteklenerek, altyapı ve tarıma önem verilmiştir. Dış ticaret açığını kapatılabilmek amacıyla, ithalatta tarifeler uygulanmış ancak bu durum ekonomik krize yol açmıştır. (Seyidoğlu, 2013, s.552).

1960 yılında asker yönetimi ile yeni bir anayasa yapılmış ve 1961 yılı sonrası planlı ekonomiye geçilmiştir. 1961 Anayasası’nın kabulüyle birlikte, Türkiye’de ekonomik politikaların belirlenmesi ve uygulanması daha planlı bir şekilde yapılmaya başlanmıştır. 1960-1979 arası dönemde Birinci, İkinci ve Üçüncü Kalkınma Planları hazırlanmıştır. Bu dönemde ekonomi üzerinde devletin müdahalesi artmış, ithalatta uygulanan kota ve tarifeler yeterli ithalatın yapılamamasına neden olmuştur. Ayrıca petrol fiyatlarının artması neticesinde döviz darboğazı oluşmuştur. (Arslan, 2014:152-153).

**Tablo 8.** Türkiye’nin 1960-1979 yılları arasındaki dış ticaret verileri (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015).

<b>YILLAR</b>	<b>İHRACAT</b>	<b>İTHALAT</b>	<b>DIŞ TİCARET HACMİ</b>
<b>1960</b>	320.731	468.136	788.917

<b>1961</b>	346.740	507.205	853.945
<b>1962</b>	381.197	619.447	1.000.644
<b>1963</b>	368.087	687.616	1.055.703
<b>1964</b>	410.771	537.229	948.000
<b>1965</b>	463.738	571.953	1.035.691
<b>1966</b>	490.508	718.269	1.208.777
<b>1967</b>	522.334	684.669	1.207.003
<b>1968</b>	496.419	763.659	1.260.078
<b>1969</b>	536.834	801.236	1.338.070
<b>1970</b>	588.476	947.604	1.536.081
<b>1971</b>	676.602	1.170.840	1.847.442
<b>1972</b>	884.969	1.562.550	2.447.519
<b>1973</b>	1.317.083	2.086.216	3.403.299
<b>1974</b>	1.532.182	3.777.501	5.309.683
<b>1975</b>	1.401.075	4.738.558	6.139.633
<b>1976</b>	1.960.214	5.128.647	7.088.862
<b>1977</b>	1.753.026	5.796.278	7.549.304
<b>1978</b>	2.288.163	4.559.025	6.887.187
<b>1979</b>	2.261.195	5.069.432	7.330.627

1980 yılında 24 Ocak Kararları olarak bilinen ekonomik istikrar programı benimsenmiştir. Buna göre ithal ikamesine dayalı politikadan vazgeçilerek, ihracata dayalı büyüme politikası benimsenmiştir. (Karabulut, 2010, s.979-980).

Yeni strateji kapsamında üretimin kamudan özel sektöre kaydırılması sonucu, küresel piyasalarda rekabet edilebilir bir yapıya kavuşulması hedeflenmiştir. Dış ticaret engelleri kaldırılmış ve yurtiçinde etkin kaynak kullanımı sağlanmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak da ihracatta önemli oranda artış meydana gelmiştir. (Yükseler, 2009, s.3-4). Ayrıca serbest döviz kuruna geçilmesi ve yabancı yatırımcının teşvik edilmesi de Türkiye'yi küresel ölçekte cazip bir hale getirmiştir. (Aga, 2014, s.72).1990 yılından sonra oluşan stagflasyon (hem işsizlik oranının hem de fiyatların artması durumu), kamu borçlarının artması ve izlenen yanlış politikalar



sonucu 1994 yılında ekonomik kriz meydana gelmiştir. Ara mallar ve enerji ürünlerinde ithalata bağımlılık artmıştır. Yenilikçi ürünlerin yerine taklit ve ucuz ürünlerin ihracı, ihracat artış hızının azalmasına ve dış ticaret açığına yol açmıştır. (Çelik ve İlkay, 2016, s. 963-964). 1995 yılında Türkiye ile AB arasında imzalanan Gümrük Birliği Anlaşması sayesinde malların serbest dolaşımı mümkün hale gelmiş ve bu durumda dış ticaret hacmini arttırmıştır. (Akdoğan ve Doğan, 2018, s.19). 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen deprem yüzünden ülke ekonomisi olumsuz etkilenmiştir.

**Tablo 9.** Türkiye'nin 1980-2000 yılları arasındaki dış ticaret verileri (TİK,2015).

YIL	İHRACAT(\$)	İTHALAT (\$)	DIŞ TİCARET HACMİ (\$)
1980	2.910.122	7.909.364	10.819.486
1981	4.702.934	8.933.374	13.636.308
1982	5.745.973	8.842.665	14.588.639
1983	5.727.834	9.235.002	14.962.836
1984	7.133.604	10.757.032	17.890.636
1985	7.958.010	11.343.376	19.301.386
1986	7.456.726	11.104.771	18.561.497
1987	10.190.049	14.157.807	24.347.856
1988	11.662.024	14.335.398	25.997.422
1989	11.624.692	15.792.143	27.416.835
1990	12.959.288	22.302.126	35.261.413
1991	13.593.462	21.047.014	34.640.476
1992	14.714.629	22.871.055	37.585.684
1993	15.345.067	29.428.370	44.773.436
1994	18.105.872	23.270.019	41.375.891
1995	21.637.041	35.709.011	57.346.052
1996	23.224.465	43.626.642	66.851.107
1997	26.261.072	48.558.721	74.819.792
1998	26.973.952	45.921.392	72.895.344

<b>1999</b>	26.587.225	40.671.272	67.258.497
<b>2000</b>	27.774.906	54.502.821	82.277.727

Gerek yurtiçindeki kriz gerekse dünyadaki ekonomik problemler yüzünden Türkiye ekonomisi 2000'li yıllarda küçülmüştür. Bu nedenle IMF ile stand-by anlaşması yapılmıştır. (Hacıoğlu, vd, 2016, s.54). Yeni ekonomik programın uygulanmaya başlanması ile enflasyon düşmüş, büyümede artış sağlanmıştır. Bankaların faizi düşürmeleri ise tüketimde artışı meydana getirmiştir.

2001 yılında ise artan tüketim sonucu ithal mallara olan rağbet artmış ve cari açık yükselmiştir. Ekonomide oluşan güvensizlik ortamı, yabancı yatırımcının piyasaya olan ilgisini azaltmıştır. Ayrıca bankaların yabancı borçları kapatma gayretleri faizlerin aşırı artmasına sebep olmuştur. Bu yüzden de bankalara olan güven sarsılmış ve bankalar likidite problemi ile karşı karşıya kalmışlardır. 2001 yılındaki ekonomik kriz ekonomin daralmasına ve dış ticaret açığının artmasına neden olmuştur. Ekonomik krizle mücadele amacıyla IMF tarafından ekonomik tedbirler hazırlanmıştır. Bu bağlamda özel sektör ve kamu arasında iş bölümü yapılarak, piyasalarda denge oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca krizin ana nedenlerinden biri olarak görülen bankacılık sektöründe düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelerin etkin olarak uygulanabilmesi ve denetleme yapılması için 1999 senesinde Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) kurulmuştur. (Pamuk, 2014, s.285-286).

2002 yılında dış ticaret hacmi artırılarak, ekonomik büyüme sağlanmıştır. 2003 yılında piyasalarda toparlanma gözlenmiştir. 2008 yılına kadar geçen dönemde ise Türk lirasına olan güven artmış ve yabancı sermayenin ülkeye girişi hızlanmıştır. Bu olumlu durum 2008 ekonomik krizine kadar devam etmiştir. 2008 yılında uygulanan yanlış kredi politikaları ve kredilerin geri ödenmesinde yaşanan sorunlar yüzünden ABD'de meydana gelen kriz sadece ABD ile sınırlı kalmamış dünya ekonomisini ve Türkiye'yi de etkilemiştir. Söz konusu kriz belirsizliğe neden olmuş ve bu durumda yabancı yatırımcının Türkiye'ye yatırımlarını sektöre uğratmıştır. Kriz talepte düşüşe yol açmış ve tüketim harcamalarında azalmaya neden olmuştur. Bu durumda da üretim faaliyetleri azalmış ve dolayısıyla istihdam oranı da düşmüştür. (Engin ve Göllüce, 2016, s.30-31). 2010 yılında Türkiye'de dış ticaretin artırılması, yabancı yatırımcının teşviki ve tüketim harcamalarının artırılması amacıyla vergi muafiyeti sağlanması ve kredi destekleri verilmesi hedeflenmiştir. (Uygur, 2010, s.30). 2011 yılında dış ticaret açığı Cumhuriyet tarihinin en yüksek seviyesine ulaşmıştır. 2012 yılında ise ithalatta azalma ihracatta artış görülmüştür. 2013 yılında tüm alınan tedbir ve uygulanan politikalara rağmen ithalatta artış, ihracatta ise azalma yaşanmıştır. 2014-2017 arası dönemde ise hem ihracat hem de ithalatta daralma yaşanmasına rağmen, ekonomik büyüme oranları istikrarsız da olsa pozitif yönde olmuştur. 2018 yılında ise ihracat oranları Cumhuriyet tarihinin en yüksek seviyesine ulaşmış ve ithalatta azalma yaşanmıştır. (Selamcı,2020)

**Tablo 10.** Yıllar itibariyle taşıma şekillerine göre ihracat rakamları (TİK, 2015).

<b>Yıl/Taşıma Türü</b>	<b>Karayolu</b>	<b>Denizyolu</b>	<b>Demiryolu</b>	<b>Havayolu</b>	<b>Diğer</b>	<b>Toplam</b>
<b>2017</b>	50.988.407,80	93.378.624,65	699.915,14	17.217.239,96	2.210.431,77	164.494.619,32
<b>%</b>	31	56,77	0,43	10,47	1,34	100
<b>2018</b>	52.222.467,59	108.802.681,33	753.544,42	14.127.905,45	1.262.157,49	177.168.756,29
<b>%</b>	29,48	61,41	0,43	7,97	0,71	100
<b>2019</b>	54.461.859,56	109.114.263,72	971.020,92	14.849.231,00	1.436.346,51	180.832.721,70

%	30,12	60,34	0,54	8,21	0,79	100
<b>2020</b>	47.678.602,0 7	89.984.301,8 8	1.168.736,22	11.451.090,3 0	1.387.634,47	151.670.364,9 4
%	31,44	59,33	0,77	7,55	0,91	100

Tablo 10'dan da görüldüğü üzere, Türkiye'nin ihracatında denizyolu ve karayolu ön plana çıkarken, havayolu ve demiryolları arka planda kalmaktadır. Fakat hem denizyolu hem de demiryolu ve havayolu ile yapılan yük taşımalarında, nakliyenin başlangıcında ve sonunda karayollarına mutlaka ihtiyaç vardır. Karayolu, öteki ulaşım modları içerisinde koordinasyonu sağlamaktadır. (Deniz,2016,s.7).2024 yılı verilerine göre ise Türkiye'nin en çok ihracat yaptığı ülkelerde ilk sırada Almanya olurken onu ABD takip etmektedir. En çok ithalat yapılan ülkeler arasında ise ilk sırada Rusya gelmekte ve onu Çin takip etmektedir (TÜİK,2024).

**Tablo 11.** Yıllar İtibariyle Taşıma Şekillerine Göre İthalat Rakamları (TİK, 2015).

Yıl/Taşıma Türü	Karayolu	Denizyolu	Demiryolu	Havayolu	Diğer	Toplam
<b>2017</b>	40.374.083, 04	138.596.808,5 2	1.294.504,1 4	34.439.947,7 5	24.009.784,4 6	238.715.127, 91
%	16,91	58,06	0,54	14,43	10,06	100
<b>2018</b>	39.129.379, 96	136.737.402,1 5	1.299.418,5 9	28.756.744,8 2	25.229.537,1 3	231.152.482, 65
%	16,93	59,15	0,56	12,44	10,91	100
<b>2019</b>	37.177.011, 92	112.967.845,4 0	1.447.897,4 0	29.238.406,4 5	29.514.041,3 9	210.345.202, 55
%	17,67	53,71	0,69	13,9	14,03	100
<b>2020</b>	37.041.880, 38	102.809.752,9 8	1.929.834,1 0	35.790.941,1 1	19.441.838,2 6	197.014.246, 82
%	18,8	52,18	0,98	18,17	9,87	100

Not: Değer Bin ABD \$ olarak belirtilmiştir.

Tablo 11'den de görüldüğü üzere, Türkiye'nin ithalatında denizyolu ve karayolu ön plana çıkarken, havayolu ve demiryolları arka planda kalmaktadır. İhracattaki karayolu taşımacılığının payının, ithalattaki karayolu taşımacılığının payından çok daha fazla olmasının sebebi; Türkiye'nin ihracatında başta Almanya olmak üzere AB ülkelerinin ağırlıkta olması ve coğrafi konumundan dolayı da karayolu taşımasının daha verimli olmasıdır. Aynı şekilde Türkiye'nin ithalatında başta Çin olmak üzere Asya ülkelerinin ağırlıkta olması ve coğrafi konumundan dolayı karayolunun tercih edilmesinin verimsiz oluşudur.

#### 4.YÖNTEM

#### 4.1 SWOT Analizi Yöntemi

SWOT analizi de İngilizce S(Strength), W(Weakness), O(Opportunity) ve T(Threat) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe literatürde ise GZFT analizi olarak geçmektedir. Buna göre G(Güçlü Yanlar), Z(Zayıf Yanlar), F(Fırsatlar) ve T(Tehditler) olarak tanımlanmaktadır. SWOT analizinde ilk olarak güçlü yönler ve zayıf yönler belirlenir ve sonra dış unsurlar saptanmaktadır. Var olan ve var olabilecek fırsatlar ve tehditler belirlenerek, uzun vadeli plan ve stratejiler oluşturularak yeni projelerin geliştirilmesi sağlanmaktadır.(Hill ve Westbrook, 1997)Bu noktada özellikle güçlülük şirketin performansı sırasında tam kontrol sahibi olabileceği yetkinlikleri göstermektedir. Zayıf yönler, şirketin eksikliklerini veya hassas yönlerini ifade eder ve piyasada dezavantaja dönüşme potansiyeli konusunda bilgi taşır. Fırsatlar, belirlenen hedeflere ulaşmak için şirketin yararlanabileceği politik, ekonomik, sosyal vb. düzeydeki potansiyel unsurları tanımlar. Tehditler, belirlenen hedeflere ulaşmayı riske sokan olumsuz nitelikteki açıklamaktadır.(Andrews,1971).

SWOT analizi temelde stratejik bir planlama yapılmasının temelini oluşturmaktadır. Burada amaç, karayolu yük taşımacılığı ekseninde çevresel tehditlerin farkına varılmasını sağlamaktır. Bunun yanında Türkiye'nin özellikle karayolu yük taşımacılığı alanında zayıf yönlerini fark ederek güçlendirmesine böylece ekonomik alanını daha verimli hale getirmesini sağlayacaktır. Ayrıca SWOT analizi, Türkiye'nin karayolu yük taşımacılığı ve lojistik alanının gücünün farkına vararak daha fazla geliştirmesine, karayolu yük taşımacılığı alanında fırsatların fark edilerek gerçekleştirilmesine olanak tanınması açısından oldukça önemli bir perspektiftir. Hiç şüphesiz SWOT analizi rekabet edebilirliğin kapılarını aralamaktadır.

### 5.BULGULAR

#### 5.1 Güçlü Yönler

Türkiye'de karayolu yük taşımacılığının güçlü olması belirli etkenlere dayanmaktadır. Bu etkenler özellikle 2024 yılı içerisinde alınacak kararlar ve uygulanacak sistemler için oldukça önemli görülmektedir.

Türkiye'nin karayolu ağı ve bulunduğu coğrafi konum sebebiyle stratejik bir noktada bulunması karayolu yük taşımacılığını olumlu etkilemektedir. Bu durum karayolu ağıyla kapıdan kapıya aktarımı mümkün kılarak ülkeyi güçlü ve verimli bir konuma yerleştirmektedir. Türkiye'nin Asya ile Avrupa kıtasının kesişim noktasında olması kara yolu yük taşımacılığında bir uğrak merkezi ya da başka bir deyişle bir üs görevi görmesini sağlamaktadır. Bu noktada sadece karayolları ağına sahip olmasının yanında Türkiye lojistik bir konum avantajına da sahiptir. Malların aktarım ve depolama üssü olarak da hizmet etme noktasında oldukça stratejiktir. Bu stratejik konum, karayolu yük taşımacılığında ülkenin uluslararası ticaretini canlandırıcı güçlü bir yan olarak dikkat çekmektedir. Dolayısıyla Türkiye karayolu yük taşımacılığında 2024 yılı ve sonrasındaki süreçte küresel bir bağlantı merkezi olarak hizmet edebilecek bir potansiyele sahiptir.

Karayolu yük taşımacılığı, diğer taşımacılık türlerine göre oldukça hızlı olarak işlem sağlarken, işletmelere "Just in time" prensibiyle güvenilir teslimatlar sağlamaktadır. Bu, müşteri memnuniyetini maksimize ederken rekabet gücünü de artırır. Karayolu yük taşımacılığı için gereken yatırım maliyetleri diğer taşıma türlerine göre daha düşüktür, bu da Türkiye'deki taşımacılık sektörünü canlı ve rekabetçi olmasını sağlamaktadır.

#### 5.2. Zayıf Yönler

Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, dijitalleşme ve küresel ölçekteki firmaların veya aktörlerin yapay zeka tabanlı taşımacılık sistemlerine yönelmesi ya da araçlarında akıllı araç sistemlerini kullanmaları böylece karayolu yük taşımacılığında verimliliği artırmalarına olanak tanırken, bu Türkiye nezdinde rekabet dezavantajı yaratmaktadır. Türkiye taşımacılık sektöründe dijital uygulamalara yeni yeni adapte olmaktadır. Türkiye bu noktada araçlarında ve sistemlerinde dijitalleşmeye hızlı bir şekilde adapte olmalıdır.

Dış ticarete ekonomisi güçlü ülkelerce kullanılan yapay zeka ile "lojistik operasyon planlama, takip sistemleri, sipariş toplayan yapay zeka araçları, otonom araçlar, araç rotalama, akıllı depo sistemleri, akıllı yollar, ekipman bakım tahmini" (Aylak vd, 2021). gibi pek çok uygulama ve yöntemi Türkiye de karayolu yük taşımacılığı sistemine entegre etmelidir. Henüz yeni yeni dahil olunan bu alanda sağlanamayan adaptasyon ve entegrasyonun gecikmesi dış ticaretteki rekabet kaybını tetiklemede ve Türkiye'nin zayıf bir konuma yerleşmesine yol açmaktadır.

Türkiye'de özellikle İstanbul kargo ve konteyner boşaltma konusunda öncü bir şehirdir. Ancak, bu sektördeki yoğun rekabet ortamında, Türkiye'deki iç karayolu taşımacılığı şirketleri navlun maliyetlerini düşürmek için daha

fazla çaba göstermelidir. Aksi halde diğer ülkeler bu zayıflık karşısında avantaj kazanarak Türkiye'nin ekonomik kazanımını gölgede bırakabilir. Diğer yandan karayolu yük taşımacılığında en büyük gider kalemi yakıttır. Ülkemiz petrol açısından dışa bağımlı bir ülke olduğu için, yakıt masrafları artmaktadır. Yakıt konusundaki bu dışa bağımlılık diğer ülkelerin rekabet avantajı elde etmesinin kaynağını teşkil etmektedir.

Türkiye'nin karayolu yük taşımacılığı sektöründe öne çıkan zayıf yönlerinden bir diğeri ise özellikle AB ülkeleri ile yaşadığı otoyol geçiş ücretleridir. Aynı zamanda buna uzun bekleme süreleri eşlik etmektedir. Bu durum, Türk taşımacılık şirketlerinin rekabet avantajlarını zayıflatan bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, sektördeki kamyon ve tır şoförü sayısının fazla olması, düşük maaşlar ve ucuz işçilik sorunlarına yol açmaktadır. Denizyolu ve havayolu taşımacılığında sağlanan ÖTV muafiyeti, karayolu taşımacılığı için geçerli değildir bu sebeple Türkiye'deki karayolu nakliye şirketlerinin gelirleri bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Bunun yanı sıra, yoğun ve düzensiz çalışma saatleri, şoförlerde bazı problemlere neden olmakta ve trafikte seyir güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Son olarak, yeterli denetim yapılmaması nedeniyle karayollarında yük taşıyan araçlar muayenesiz olarak trafiğe çıkmakta ve bu durum da trafik kazalarında artışa sebep olmaktadır.

### 5.3. Fırsatlar

Dijitalleşmenin, yapay zekanın yükselişi bu alanların lojistik ve karayolu yük taşımacılığı sektörüne eklenmesi için bir fırsat yaratmaktadır. Bu da taşımacılık sistemindeki aksaklıkların giderilmesi ve hızın artırılması konusunda bir fırsatı işaret etmektedir. algoritmik veri analizleriyle olası maliyet ve zarar hesaplamaları ya da akıllı sürüş sistemleri verimliliği artırarak alanda fırsatlara açılmaya olanak tanımaktadır. Dijital neoliberalizmin yükselişi karayolu yük taşımacılığı için önemli bir fırsat olarak görülmektedir.

Türkiye'nin bulunduğu stratejik konum, karayolu yük taşımacılığının entegre olduğu tehditlere karşı önlem alınmasının parametrelerinden birini oluşturmaktadır. Bu konum, mükemmel bir rekabet fırsatı sunarak ülkeye ekonomik verimlilik vaad etmektedir. Bu noktada özellikle lojistik sektöründeki şirketler, liman, karayolu vb. ulaşım noktalarıyla eklenmeyi amaçlayan stratejiler geliştirmelidirler.

E-ticaretin hızla büyümesiyle birlikte, ürünlerin depodan müşterilere teslimatı için artan yük taşımacılığı hizmetine olan talep, taşımacılık şirketleri ve dağıtım merkezleri için yeni fırsatlar oluşturmaktadır. Yük taşımacılığı endüstrisi, teknolojik gelişmelerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Akıllı lojistik çözümleri, izleme sistemleri ve güzergah optimizasyonu gibi teknolojik yenilikler, şirketlere rekabet avantajı sağlayabilir. Küreselleşme ile birlikte uluslararası ticaret hacmi artmaktadır, bu da karayolu taşımacılığı işletmeleri için uluslararası pazarlara açılma fırsatları sunmaktadır. Sınır ötesi taşımacılık hizmetleri sunarak yeni müşteriler kazanabilirler. Ayrıca, yüksek teknoloji ürünlerinin üretimi ve taşınması için özel taşımacılık ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Hassas ekipmanların, elektronik bileşenlerin ve diğer yüksek değerli ürünlerin taşınması için uzmanlaşmış işletmeler, bu pazardan faydalanabilirler.

### 5.4. Tehditler

Karayolu yük taşımacılığı sistemlerinde ve araçlarda teknolojinin yetersiz kullanımı, yapay zekanın ve bilgi sistemlerinin sürece dahil edilmemesi rekabet açısından dezavantaj yaratarak Türkiye'nin geri plana itilmesine sebep olacaktır. Küresel pazarda rekabet etmeye hazırlanan Türkiye'nin AB'ye dahil olmaması sadece gümrük birliği anlaşmasının maddelerine dahil olması, AB üyesi olan ülkelerin avantajlı bir noktaya sevk olmasına sebep olmaktadır. Türk şirketleri ticaret standartları açısından ekonomik bir dezavantaj durumuna maruz kalmaktadır.

Sürüş kalitesi ve farklı sürüş tekniklerinin verimlilik üzerindeki etkisi, araç maliyetleri ve karayolu yük taşıma maliyetlerinin demiryolu ve denizyoluyla kıyaslandığında daha yüksek olması da önemli sorunlardır. Bu durum, yük taşımacılığındaki talebin karayolu aleyhine olmasına neden olabilir. Ayrıca, hem karayollarındaki taşıt sayısı hem de taşınan yük miktarı artmaktadır, bu da karayollarındaki trafiğin yoğunlaşmasına ve dolayısıyla trafik kazalarının ve can kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Karayolu taşımacılığı çeşitli yasal düzenlemelere tabidir ve uygunluk, güvenlik ve çevresel standartlara uymak zorunludur. Bu düzenlemelere uymamak, cezalar ve işletme kapatma gibi sonuçlar doğurabilir. Nitelikli sürücü bulma zorluğu veya sürücülerin iş şartlarından memnuniyetsizliği, taşımacılık işletmeleri için bir tehdit oluşturabilir. Piyasadaki rekabet, fiyatları düşürebilir, kar marjlarını azaltabilir ve müşteri kaybı veya pazar payı kaybı gibi sonuçlar doğurabilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de yurtiçinde en çok tercih edilen ulaştırma türü karayolu yük taşımacılığıdır. Kapıdan kapıya aktarma imkânı sağlaması, diğer taşıma türleri ile entegrasyonlu olabilmesi gibi avantajlarından dolayı dünyada da en çok tercih edilen taşıma türleri arasında yer almaktadır. Bu avantajın devam ettirilmesi ve ekonomik anlamda verimliliğin artırılması için teknolojiyle eklenmesinin gerekliliği oldukça önemlidir. Dünyanın pek çok ülkesinde kara yolu yük taşımacılığında dijitalleşme ve yapay zeka süreçlerine adaptasyonun sağlanmasına yönelik çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Hiç şüphesiz bu maliyetlerin düşürülmesi, dolayısıyla kar oranının da artırılması anlamına gelmektedir. Türkiye de bu noktada kendi ekseninde dijitalleşmenin karayolu yük taşımacılığı alanına yeterli bir şekilde entegre olması gerekmektedir. Bu durumda gerçekleşecek bir geri duruş, pazar kaybı ya da verimlilik kaybı anlamına gelebilmektedir. Yapay zeka sistemlerinin entegre yük taşıtları, taşıt sistemleri, veya akıllı depo sistemleri, online taşımacılık bu alanda şirketlerin entegre olması gereken alanları tanımlamaktadır.

Öte yandan gümrük kapılarında tır ve kamyonların bekletilmesi, karayolu taşımacılığında maliyetleri arttırmaktadır. Bu konuda kanuni regülasyonlar yapılarak, bu maliyetler azaltılmalıdır. Bu sayede hem zaman hem de maliyet kaybı önlenecektir. Aynı zamanda taşıma türlerinin bir bütün olarak incelenerek, uyumunun sağlanması gerekmektedir. Karayollarına olan yüksek talep, diğer taşımacılık türlerine dağıtılır ise karayolu taşımacılığının yükü hafiflemiş olacaktır. Ayrıca taşıma türleri arasındaki dengesizlik de kaybolacaktır.

Türkiye’nin karayolu yük taşımacılığı açısından en kuvvetli yanı sahip olduğu coğrafi konumdur. Ancak bu üstünlüğünü avantaja çevirebilmesi için sağlam bir altyapıya sahip olması gerekmektedir. Kalkınma planlarında belirtilen hedefler gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda hem kamu hem de özel sektör arasında iş birliği geliştirilmelidir. Taşımacılık hizmeti veren küçük esnafa devlet teşviklerinin yapılması ve denetimlerin gerektiği şekilde yapılması durumunda sektörün gelişmesi sağlanabilecektir. Ülkemizin jeopolitik durumundan yararlanarak taşıma türleri arasındaki uyumun sağlanması, maliyetlerin azaltılması ve ticaretin yaygınlaştırılarak Türkiye’nin rekabet kuvvetinin yükseltilmesi hedeflenmiştir (11.Kalkınma Planı, 2019-2023). Karayolu sistemlerinin deniz ve demiryolu yük aktarma noktaları ile entegre edilmesi ve ulaştırma yolları çeşitliliği sağlanarak ulusal ve uluslararası ticaret hacminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. (UAB,2024-2028 Stratejik Planı).

Türkiye’nin dış ticaretinde denizyolunun ilk sırada yer almasına karşılık, karayolu ikinci sıradadır. Demiryolu taşımacılığı ise yok denecek kadar azdır. Taşıma maliyeti daha az olan demiryolunun kullanım oranını arttırmak hem çevre kirliliğini azaltacak hem de denizyolu ve karayolu üzerindeki yükü hafifletecektir. Kısa mesafe yük taşımalarında karayolu daha ekonomik iken, uzun mesafe yük taşımalarında denizyolu daha ekonomiktir. Ayrıca günümüzde çevre kirliliğinin azaltılması ve küresel iklim değişikliği ile mücadele için sürdürülebilir ulaştırma politikaları benimsenmelidir. Bu bağlamda çevreye daha az zarar veren denizyolu ve demiryolu taşımacılığı yaygınlaştırılmalı, karayolunun yüksek olan payı azaltılarak, diğer taşıma türleri arasında dengeli bir biçimde dağıtılmalıdır.

Yurtiçi yük taşımalarında ise karayolunun üstünlüğü göze çarpmaktadır. Bu anlamda ülkemizde yalnızca karayolu ağının km olarak uzatılmasına değil, aynı zamanda nitelik açısından da kalitesinin artırılmasına önem verilmelidir. Karayolu yük taşımacılığında en çok maliyet yakıt masraflarıdır. Türkiye ise yakıt açısından ithalata endeksli bir ülke konumundadır. Bu durum da karayollarında yük taşımacılığı yapan şirketleri olumsuz etkilemektedir. Birçok şirket aşırı masraflarla başa çıkamadıkları için kapanmak durumunda kalmışlardır. Türkiye’nin petrol konusunda dışa bağımlılığının azaltılması ve uzun vadede de dışa bağımlılıktan kurtulması gerekmektedir.

Ağır vasıta ehliyetleri ve belgelerinin ücretleri oldukça yüksektir. Bu durum da sektörde iş yapan firmalara ciddi bir maliyet oluşturmaktadır. Bu durum bazı işletmelerin ehliyetsiz ve belgesiz personel çalıştırmasına yol açmaktadır. Ücretlerde yapılacak olan indirimler sayesinde bu durumun önüne geçilebilecektir.

Ülkemizde uygulanmaya devam edilen karayolu odaklı politikanın değiştirilerek, yük taşımacılığında diğer taşıma türlerinden de faydalanılması, alternatif ulaşım sistemleri geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda AR-GE çalışmalarına ağırlık verilmesi önem arz etmektedir. Hem yurtiçi hem de çevre ülkeler arasındaki yük taşımacılığını kolaylaştırmak amacı ile yeni koridor, bağlantı ve hatların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ulaşım modları arasında entegrasyonun sağlanması da kaçınılmaz bir gerçektir. Bu sayede daha az maliyetle daha çok taşıma imkânı doğacaktır.

Sonuç olarak yük taşımacılığı direkt olarak dış ticaretin ve dolaylı olarak da ülke ekonomisinin vazgeçilmezleri arasındadır. Bu nedenle yük taşımacılığı sektöründe yapılacak olan yenilikler ve alınacak olan tedbirler ülke ekonomisini de etkileyecektir. Türkiye’de uygulanan karayolu endeksli politikanın değiştirilerek, diğer taşıma türlerinin (denizyolu, havayolu, demiryolu) ön plana alınması gerekmektedir. Söz konusu problemlerin çözümü ve mevcut durumun iyileştirilmesi hem sektör çalışanlarının hem işverenlerin hem de devletin iş birliği ile gerçekleştirilmelidir. Ayrıca konu ile ilgili daha çok akademik çalışmalar yapılması da önem arz etmektedir.

Literatürde yer alan makaleler, yüksek lisans tezleri ve doktora tezleri konunun daha ayrıntılı incelenerek, daha doğru kararlar alınmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

Andrews, K. R. (1971). *The Concept of Corporate Strategy*, Irwin/McGraw Hill: USA.

Aylak B.L. Oral O. Yazıcı K.(2021) Yapay Zeka Ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı, . “Yapay Zeka Ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı” *El-Cezeri Journal Of Science And Engineering*. 8 (1), 74-93.

Aga, A. A. K. (2014). The impact of foreign direct investment on economic growth: a case study of Turkey 1980–2012. *International Journal of Economics and Finance*, 6(7), 71-84.

Arslan, K. (2014). *Dış ticaret politikaları*. Ankara: Detay Yayıncılık

Bakan, İ. ve Şekkel, Z. H., (2017). *Lojistik Yönetimi*, Beta Basım: İstanbul.

Bayraktutan Y. ve Özbilgin M. (2013). Türkiye’de İller Düzeyinde Karayolu Yük Trafiki Dağılımının Analizi. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*. 2, 81-92.

Bodur, A. (1993). Taşımacılık Açısından Türkiye’nin Dış Ticareti. Uzmanlık Tezi. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.

Coyle, J.J., Novack, R. A., Gibson, B. J. Bardi, E., (2011) *Transportation: A Supply Chain Perspective*, 7th Edition, South-Western Cengage Learning, USA Çetin B, Barış S. Sarıoğlu S. Türkiye’de Karayollarının Gelişimine Tarihsel Bir Bakış, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 1(1),2011, s. 127-128.

Çelik, T. ve İlkay, S. Ç. (2016). Türkiye’de ihracat ve ithalat arasındaki ilişkinin 1989-2015 dönemi için test edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3), 961-969.

Demir, A. (2021). Ulaştırma Sistemleri Çerçevesinde Türkiye’de Karayolu Taşımacılığının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Deniz, T. (2016). Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler ve Mevcut Durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*. 21(36), 135 – 156.

Ergün, İsmet: Türkiye’nin Ekonomik Kalkınmasında Ulaştırma Sektörü, *Ankara, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları*.10, 1985.

Eren, A. (2012). *Türkiye ekonomisi*. Ekin Kitabevi: İstanbul.

Ergün İ. (1985) *Türkiye’nin Ekonomik Kalkınmasında Ulaştırma Sektörü*, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları: Ankara

Engin, C. ve Göllüce, E. (2016). 2008 Küresel finans krizi ve Türkiye üzerine yansımaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 27-40.

Gönüllü A.R, (2011). Osmanlı Devleti’nin Son Döneminde Yol Vergisi (1866-1921), *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 30, s. 303.

Görçün, Ö. F. 2010, *Örnek Olay ve Uygulamalarla Tedarik Zinciri Yönetimi*. Beta: İstanbul.

Hacıoğlu, Ü., Dinçer, H. & Yüksel, S. (2016). Examining critical factors affecting ownership structure in Turkish banking sector. *Journal Of Qafqaz University*, 4(1), 10-22.

Hill, T. ve Westbrook, R. (1997). SWOT Analysis: It's Time for a Product Recall. *Long Range Planning*, 30 (1), 46-52.

İnce E. (2012) Cumhuriyetin İlk Yıllarında Türkiye'de Karayolu Ulaşımına Genel Bir Bakış Ve Köyde Ulaşım, *ÇTTAD*, 12 (24), 171-188

Karabulut, K. (2010). Özal dönemi Türkiye'nin ekonomi-politiği. Turgut Özal Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Kongresi I Küresel Krizler ve Ekonomik Yönetişim, 15(16), 978-1008.

Keçeci, A. (2006). Türkiye'de karayolu taşımacılığı. *Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 20, Ankara: Dış İşleri Bakanlığı Süreli

Koban E. & Keser Y.H. (2015). *Dış Ticarete Lojistik*. Bursa.

Köğmen Z. (2014). Karayolu Taşımacılığının Diğer Taşımacılık Modlarıyla Karşılaştırılması ve Sağladığı Avantajlar. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlık Tezi. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

Ofset. P. (2007). *Karayolları Tarihi*, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü: Ankara

Pamuk, Ş. (2014). *Türkiye'nin 200 Yıllık İktisadi Tarihi*. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları: İstanbul.

Sedat Avcı (2005). Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye'nin Ulaşım Politikaları ve Coğrafi Sonuçları, Ulusal Coğrafya Kongresi, İstanbul, 2005.

Selamcı, F. (2020). Türkiye'de Bölgeler Bazında Dış Ticaretin Ekonomik Büyümeye Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Seyidoğlu, H. (2013). *Uluslararası iktisat teori politika ve uygulama*. Can Yayınları: İstanbul.

Şahin, İ. F. (2013) *Türkiye'de Karayolu Ulaşımı ve Geçitler*, Pegem Akademi: Ankara.

Taban, S. vd. (2013). İktisadi Büyüme. Eskişehir: *Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları*.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). <https://www.sbb.gov.tr> Erişim Tarihi: 08.03.2024

T. C. Ulaştırma Bakanlığı, 1993, Cumhuriyetin 70. Yılında Ulaştırma, Haberleşme. <https://www.uab.gov.tr> Erişim Tarihi: 02.01.2024

T. C. Ulaştırma Bakanlığı, 2023-2028 Stratejik Planı. <https://www.uab.gov.tr> Erişim tarihi 06.01.2024

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, [TÜİK Kurumsal \(tuik.gov.tr\)](https://www.tuik.gov.tr) Erişim Tarihi: 06.01.2024

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (2021), Vizyon 2023 Ulaştırma ve Turizm Paneli Raporu. <https://www.tubitak.gov.tr/tr/icerik-vizyon-2023> Erişim Tarihi: 06.01.2024

Uygur, E. (2010). The global crisis and the Turkish economy, *Turkish Economic Association*. 3, Ankara.

Yükseler, Z. (2009). *Türkiye'de Kriz Dönemlerinde Ekonomik Gelişmeler Ve Ödemeler Dengesi Uyumu*. Ankara: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Yayınları.





## Araştırma Makalesi

# BANKACILIK SEKTÖRÜNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ UYGULAMALARI VE SÜREÇLERE ETKİLERİNİN MONTE CARLO YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Rabia MAMUŞ YEMEN<sup>†</sup>, Oğuz BORAT<sup>††</sup>

<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

[rabiamamus@gmail.com](mailto:rabiamamus@gmail.com), [oguzborat@gmail.com](mailto:oguzborat@gmail.com)



0000-0003-0114-7736, 0000-0002-2242-6024

**Atf/Citation:** MAMUŞ YEMEN, R., BORAT, O., (2024). Bankacılık Sektöründe Süreç Madenciliği Uygulamaları ve Süreçlere Etkilerinin Monte Carlo Yöntemiyle İncelenmesi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.185-201, DOI: 10.56809/icujtas.1506602

## ÖZET

Bu çalışmada süreç madenciliği ile ilgili genel bilgiler verilmiş olup, bankacılık sektöründe faaliyet gösteren bir bankanın nakit çekme süreç verileri kullanılarak süreç madenciliği uygulaması yapılmıştır. Uygulama ile süreçte bulunan dar boğazlar tespit edilmiştir. Bu dar boğazların süreçten kaldırılması ile işlemlerin daha kısa zamanda yapılabileceği beklenmektedir. Bunu kantitatif olarak göstermek için bir bankanın 22 şubesinin bir yıllık ortalama işlem süreleri günlük işlemler, müşteriler, işlem sayıları ve ortalama süreleri modellenmiş ve günlük işlemler Monte Carlo yöntemi ile stokastik olarak simüle edilmiştir. Süreç madenciliğine dayanan dar boğazların kaldırılma etkisi modele uygulanmış ve süreç madenciliği uygulaması ile günlük işlem süresinin azaldığı nicel olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak süreç madenciliği yazılımlarının bankacılık sektöründe kullanımı ile süreç geliştirme çalışmalarında iyileştirmeler yapılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Süreç Madenciliği, Süreç Geliştirme, Süreç Analizi, Süreç Modelleme, Monte Carlo, Simülasyon

## INVESTIGATION OF PROCESS MINING APPLICATIONS IN THE BANKING SECTOR AND ITS EFFECTS ON THE PROCESSES USING THE MONTE CARLO METHOD

### ABSTRACT

In this study, general information about process mining is given, and a process mining application is made using the cash withdrawal process data of a bank operating in the banking sector. With the application, bottlenecks in the process were identified. It is expected that by removing these bottlenecks from the process, transactions can be completed in a shorter time. To demonstrate this quantitatively, the one-year average transaction times of 22 branches of a bank, daily transactions, customers, number of transactions and average durations were modeled and daily transactions were stochastically simulated with the Monte Carlo method. The effect of removing bottlenecks based on process mining has been applied to the model and it has been shown quantitatively that the daily processing time decreases with the application of process mining. As a result, improvements can be made in process development studies by using process mining software in the banking sector.

**Keywords:** Process Mining, Process Development, Process Analysis, Process Modeling, Monte Carlo, Simulation

Geliş/Received : 28.06.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 02.07.2024  
Kabul/Accepted : 16.07.2024

## 1. SÜREÇ MADENCİLİĞİ

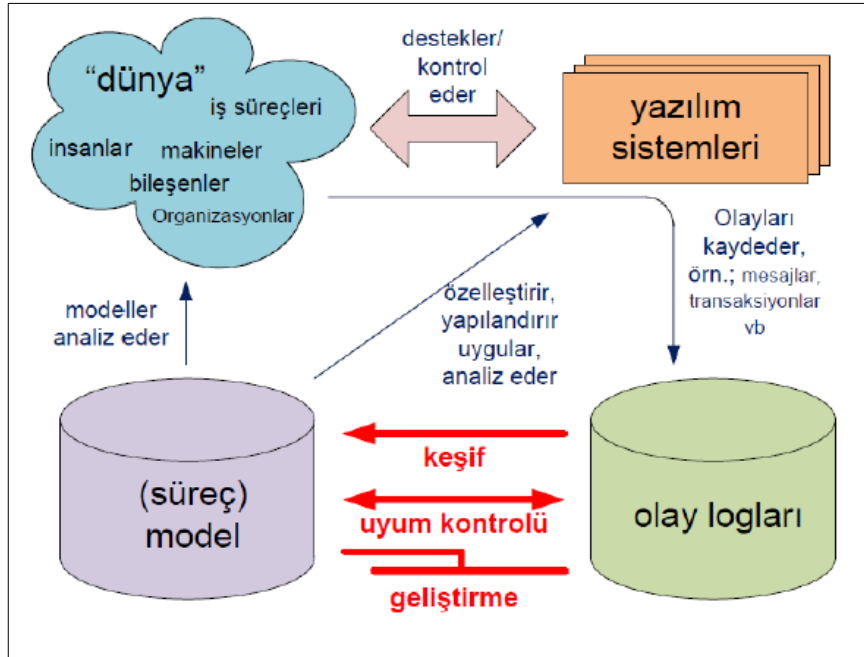
### 1.1 Süreç Madenciliği Yöntemleri ve Teknikleri

Süreç Madenciliği (Process Mining), organizasyonların iş süreçlerini analiz etmek ve anlamak için kullanılan bir veri madenciliği yöntemidir. Bu yöntem, iş süreçlerini daha şeffaf hale getirme, optimize etme ve geliştirme amacı taşır. Süreç madenciliği, organizasyonların iş süreçlerini etkin bir şekilde yönetmelerine ve iş performansını iyileştirmelerine yardımcı olur.

Süreç madenciliğinin temel bileşenleri; veri kaynakları, veri ön işleme, süreç modelleme, süreç analizi, süreç iyileştirmesinden oluşur.

Süreç madenciliği yöntemi aşağıdaki tekniklerden oluşmaktadır:

- İşlem Günlüğü Madenciliği ( Event Log Mining)
- Süreç Modelleme (Process Modeling)
- Süreç Keşfi (Process Discovery)
- Süreç Analizi (Process Analysis)
- Süreç İyileştirmesi (Process Improvement)
- Süreç İzleme (Process Monitoring)
- Süreç Madenciliği ve Veri Madenciliği Entegrasyonu
- Olay Zinciri Madenciliği (Sequence Mining)
- Durum Madenciliği( State Mining)



Şekil 1.1. Süreç Madenciliği Teknikleri (Van der Aalst, 2011).

### 1.2. Süreç Madenciliği Uygulamaları ve Faydaları

Süreç madenciliği, organizasyonların mevcut iş süreçlerini modellemelerine ve görselleştirmelerine yardımcı olur. Organizasyonların iş süreçlerini otomatik olarak keşfetmelerini sağlayarak iş süreçlerinin gerçekten nasıl çalıştığını anlamalarına yardımcı olmaktadır. Süreçlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlamaktadır. Bu sayede olası sorunlar hızlı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Çıkan sonuçlar süreç performanslarını

değerlendirmede ve iyileştirme önerileri oluşturmada kullanılabilir. Verimliliği arttırmak için organizasyonlar analiz sonuçları ile karar alabilmektedir. Ayrıca çıkan sonuçlar iş süreçlerindeki hataları tespit etmekte de kullanılabilir.

Bu sayede organizasyonlar verilere dayalı kararlar alabilmektedir. Süreçlerini daha verimli hale getirebilir ve kaynaklarını daha etkili kullanabilmektedir. İş süreçlerinde hız kazanılabilir ve gereksiz iş adımları ortadan kaldırılabilir. Maliyetlerin azalmasına yardımcı olmaktadır. İş süreçlerinin şeffaf bir şekilde görünmesini sağlar. İş süreçlerindeki risklerin tanımlanmalarına ve bu risklerin azaltılmasında kullanılabilir. Tüm bu iyileştirmeler müşteri memnuniyeti artırır ve organizasyonlara rekabet üstünlüğü oluşturur.

### 1.3. Literatür Çalışmaları

Wil van der Aalst (2005), süreç madenciliği alanında önemli bir akademisyen ve araştırmacıdır. Van der Aalst, ProM adlı açık kaynaklı bir süreç madenciliği çerçevesinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. ProM, farklı türde süreç madenciliği algoritmalarını destekler ve kullanıcıların iş süreçlerini analiz etmelerine yardımcı olur. Süreç madenciliği için çeşitli algoritmalar geliştirmiş ve bu algoritmaları literatüre kazandırmıştır. Bu algoritmalar, iş süreçlerinin modellenmesi, analizi ve iyileştirilmesinde kullanılır.

Süreç madenciliği tekniklerini farklı endüstrilerde ve organizasyonlarda uygulayan birçok projeye liderlik etmiştir. Bu projeler, iş süreçlerinin veri madenciliği teknikleriyle analiz edilmesi ve iyileştirilmesi üzerine odaklanır. Süreç madenciliği alanında yayımlanmış birçok araştırma makalesi bulunmaktadır. Bu makaleler, süreç madenciliği konusundaki en son gelişmeleri ve yöntemleri tartışmaktadır. Yine bu alanda birçok eğitim programı düzenlemiş ve organizasyonlara danışmanlık hizmeti vermiştir. Bu sayede iş süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetmelerine yardımcı olmuştur.

Michael Rosemann (2014), iş süreçlerinin teknoloji ile nasıl etkileşimde olduğunu inceleyen çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar, iş süreçlerinin otomasyonu, dijital dönüşüm ve bilgi sistemleri ile entegrasyon konularını içerir. Süreç madenciliği yöntemlerini iş zekâsı (business intelligence) teknikleri ile birleştirerek organizasyonların iş süreçlerini daha iyi analiz etmelerine ve karar verme süreçlerini desteklemelerine yardımcı olmuştur. Bu çalışmalar, verilerin iş süreçleri ile ilişkilendirilmesi ve süreçlerin performansının ölçülmesi üzerine odaklanır. Süreç madenciliği sonuçlarını kullanarak iş süreçlerini iyileştirmek ve yeniden tasarlamak için pratik yöntemler geliştirmiştir.

İş süreçleri yönetimi, değer zinciri analizi ve süreç madenciliği alanında önemli katkılarda bulunmuş ve bu disiplinlerin gelişmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Organizasyonların süreçlerini daha iyi anlamaları ve yönetmeleri için gerekli bilgi ve araçları sunmuştur.

Jan Mendling (2018) , iş süreçleri, süreç modelleme ve süreç analizi konularında önemli çalışmalar yapmıştır. Süreç madenciliği yöntemleri ve araçları üzerine araştırmaları bulunmaktadır.

Süreç madenciliği alt yapısını kullanarak, veri tabanında bulunan faaliyetlerin ve aralarındaki geçişlerin süreç modelini üreten, verilerdeki işlem örneklerini benzer kategorilere ayıran, elde edilen işlem modellerini grafiksel olarak sunan bir ilk örnek geliştirmiştir. (Mannien, 2010)

Kıymetli varlık ve süreç yönetimindeki modellerde belirsizliğin dikkate alınmasına ihtiyaç vardır. Monte Carlo tekniği bir simülasyon modelinin çalıştırılmasında bir olasılık dağılımından rastgele sayılar yardımıyla örnekleme oluşturma tekniğidir. Diğer bir ifadeyle belirsiz bir sonuç hakkında çıkarımlar yapmak amacıyla girdi değişkenlerine rastgele değerler atayarak modelin kantitatif olarak ele alınmasını sağlayan bir tekniktir. Bir simülasyon modeli olmayan Monte Carlo tekniği istatistik bilgilere veya dağılım fonksiyonlarına dayanılarak hazırlanan simülasyon modellerinde kullanılan matematik bir süreçtir, (Kuşakçı ve ark., 2022). Monte Carlo tekniği, opsiyon fiyatlaması, portföy sigortası, portföy risk yönetimi gibi konularda iş ve finans dünyası dışında meteoroloji, astronomi ve fizik gibi alanlarda hazırlanan simülasyon modellerinde de kullanılmaktadır, (Simsek, 2024; Crum&Rayhorn, 2019; Gomé et al., 2022; Xu et al., 2022).

Bu çalışmalar, organizasyonların süreçlerini daha verimli ve etkili bir şekilde yönetmelerine yardımcı olur. İş süreçleri yönetimi ve süreç madenciliği konularında eğitim programları düzenlemiş ve profesyonellerin bu alanlarda bilgi ve becerilerini geliştirmelerine katkıda bulunmuştur. Süreç madenciliği, iş süreçleri yönetimi ve dijital dönüşüm konularında birçok araştırma makalesi ve kitap bölümü yazmıştır. Bu yayınlar, bu alanlarda çalışanlar için önemli bir kaynak oluşturur.

## 2. SÜREÇ MADENCİLİĞİ VERİ KAYNAKLARI VE ARAÇLAR

### 2.1. Veri Toplama Yöntemleri ve Log Verileri

İş süreçleri için veri toplama yöntemleri, iş süreçlerini anlamak, analiz etmek ve iyileştirmek için kullanılan önemli adımlardan biridir. İş süreçleri için veri toplama yöntemlerinden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Belge İnceleme
- Gözlem
- Mülakatlar ve Görüşmeler
- Anketler
- Veri Kaynaklarından Veri Çekme
- Zaman Çizelgeleri ve İşlem Günlükleri
- Benchmarking (Karşılaştırmalı Analiz)
- Veri Madenciliği ve Analitik Araçlar
- Simülasyonlar
- İş Süreçleri İzleme Araçları

Süreç madenciliği yazılımları için log verileri hazırlanırken izlenmesi gereken adımlar; veri toplama planı oluşturma, veri kaynağı seçimi ve bağlantıları kurma, veri toplama ve depolama, veri biçimini ve formatını düzeltme, veri temizliği ve filtreleme, veri indeksi ve optimizasyon, gizlilik ve güvenlik ilkelerine uygunluk, veri dokümantasyonu, veri saklama ve arşivleme politikaları, veri doğrulama ve kalite kontrolü, veri içeriğinin anlaşılabilirliği maddelerinden oluşmaktadır.

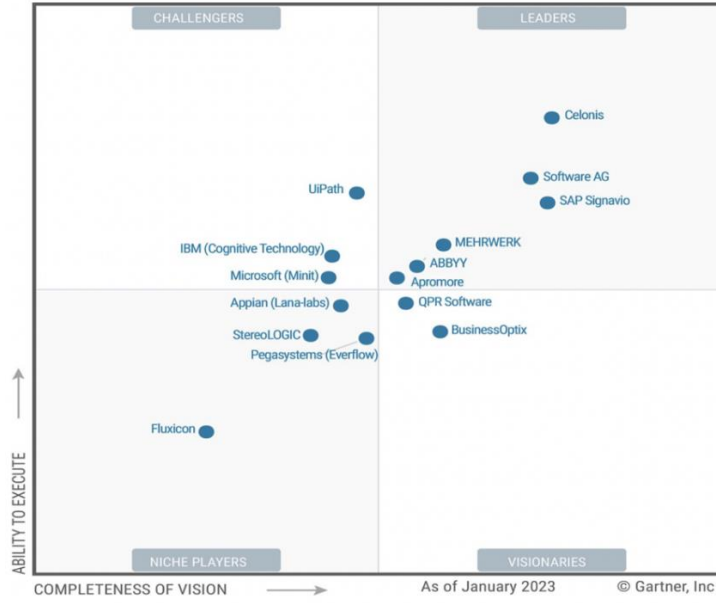
Veri kaynakları örnekleri olarak iş süreçleri yönetim sistemleri, iş süreçleri izleme araçları, iş verileri ve log dosyaları, elektronik sağlık kayıtları, mobil uygulama kayıtları, lojistik ve tedarik zinciri verileri, finansal veriler, sosyal medya verileri, anketler ve müşteri geri bildirimleri gösterilebilir.

### 2.2. Süreç Madenciliğinde Araçlar ve Seçimi

Süreç madenciliği aracı seçimi, organizasyonun ihtiyaçlarına, iş süreçlerinin karmaşıklığına ve analiz gereksinimlerine bağlı olarak dikkatle yapılması gereken bir karardır. İş süreçlerinin karmaşıklığı, veri kaynakları, analiz ihtiyaçları, grafik ve görselleştirme yetenekleri, uyumluluk ve entegrasyon, kullanıcı dostu arayüz, iş birliği yetenekleri, destek ve eğitim imkanları, fiyatlandırma ve lisanslama, referanslar ve incelemeler süreç madenciliği aracı seçiminde etkili olan faktörlerdir.

Günümüzde yaygın olarak Celonis, UiPath, Signavio, QPR ProcessAnalyzer, Disco by Fluxicon, ProM Framework, Pafnow by Process Analytics Factory, ARIS Process Mining by Software AG süreç madenciliği yazılımları kullanılmaktadır. Bu çalışmada Disco by Fluxion tercih edilmiştir.

Gartner şirketi süreç madenciliği araçları konusunda yaptığı bir araştırmayı 2023 yılı karşılaştırma raporu olarak sunmuştur, Şekil 2.2. (Gartner, 2023)



Şekil 2.2. 2023 Gartner® Magic Quadrant™ for Process Mining Tools, (Gartner, 2023).

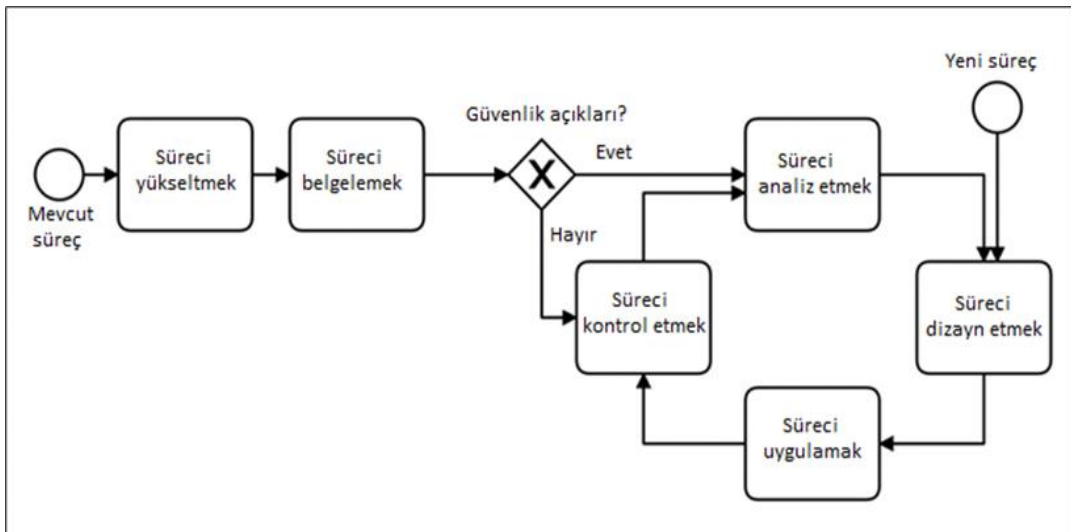
### 3. SÜREÇ MADENCİLİĞİ UYGULAMALARI

#### 3.1. İş Süreçlerini Modelleme ve Analiz

İş süreci modelleme, bir organizasyonun iş süreçlerini, iş akışlarını ve aktivitelerini anlamak, analiz etmek, belgelemek ve iyileştirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu süreç, organizasyonun iç işleyişini daha iyi anlamalarına ve iş süreçlerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine yardımcı olmaktadır.

İş süreçlerini görselleştirmek için iş akış diyagramları kullanılmaktadır. Bu diyagramlar, süreçteki aktiviteleri, karar noktalarını, süreç akışını ve rolleri gösterir.

İş süreçleri analizi, bir organizasyonun iş süreçlerini detaylı bir şekilde inceleyerek bu süreçlerin nasıl çalıştığını, verimliliğini, etkinliğini ve sorunlarını anlamayı amaçlayan bir süreçtir. İş süreçlerini sürekli olarak iyileştirmek için temel bir adımdır. Bu, organizasyonların daha rekabetçi ve müşteri odaklı hale gelmelerine yardımcı olur.



Şekil 3.1. İş Süreci Diyagramı.

#### 3.2. Üretim ve Hizmet Sektöründe Süreç Madenciliği

Süreç madenciliği, birçok farklı endüstri ve organizasyon için çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Her organizasyonun ihtiyaçları farklı olduğu için süreç madenciliği uygulamaları özelleştirilebilmekte ve özgün gereksinimlere uygun hale getirilebilmektedir.

Üretim süreçlerinde süreç madenciliği üretim süreç izleme ve analizi, kalite kontrol ve hata tespiti, üretim akışı optimizasyonu, ekipman bakımı ve iyileştirme, tedarik zinciri yönetimi, ürün tasarım ve geliştirme, üretim maliyet analizi, enerji kaynak verimliliği çalışmalarında kullanılabilir.

Hizmet sektöründe ise müşteri hizmetleri iyileştirmesi, rezervasyon ve randevu yönetimi, fatura ve ödeme işlemleri, personel yönetimi, misafir ve müşteri deneyimi iyileştirmesi, seyahat ve turizm yönetimi, telekomünikasyon hizmetleri, eğitim ve eğitim yönetimi alanlarında kullanılabilir.

Her iki sektörde de süreç madenciliği müşteri memnuniyetini arttırmak, iş süreçlerini optimize etmek ve maliyetleri azaltmak gibi hedeflere ulaşmak için süreç madenciliği teknikleri kullanılmalıdır.

## **4. SÜREÇ MADENCİLİĞİNDE BÜYÜK VERİ, İŞ ZEKÂSI, GÜVENLİK, GİZLİLİK VE EĞİLİMLER**

### **4.1. Büyük Veri Ortamları ve Veri Analitiği**

Büyük veri, organizasyonların genellikle geleneksel veri tabanlarının işleyemediği büyük ve karmaşık veri kümelerini işlemelerine yardımcı olan bir konsepttir. Süreç madenciliği ve büyük veri, organizasyonların iş süreçlerini daha iyi anlamalarına, yönetmelerine ve iyileştirmelerine yardımcı olur. Bu birleşik yaklaşım, organizasyonların rekabet avantajı elde etmelerini, operasyonel mükemmelliğin ve müşteri memnuniyetinin artırılmasını sağlar.

Veri analitiği ve süreç madenciliği, organizasyonların veri tabanlı iş süreçlerini anlama ve iyileştirme süreçlerini desteklemek için birbirine yakından bağlı iki kavramdır. Veri analitiği, organizasyonların büyük miktarda veriyi toplamasını, analiz etmesini ve yorumlamasını sağlar. Süreç madenciliği, veri analitiği için iş süreçlerini modellemeyi ve anlamayı destekler. Süreç madenciliği sonuçları, iş süreçlerinin görselleştirilmesi ve performansı hakkında bilgi temin eder.

Sonuç olarak, veri analitiği ve süreç madenciliği birbirini tamamlayan yaklaşımlardır. İş süreçlerini daha iyi anlamak, performansı ölçmek, sorunları tanımlamak ve iyileştirmek için bu iki kavramın birleştirilmesi organizasyonların veriye dayalı kararlar almasına ve iş süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur.

### **4.2. İş Zekası, Veri Güvenliği, Etik Sorunlar ve Eğilimler**

İş Zekası uygulamaları, organizasyonların iş süreçlerinin performansını izlemesine ve değerlendirmesine yardımcı olur. Süreç madenciliği, bu performansı daha ayrıntılı bir şekilde analiz eder ve belirli aşamalardaki gecikmeleri veya sorunları tanımlar. İş Zekası, organizasyonların verileri analiz etmelerini sağlar. Süreç madenciliği, bu analizi iş süreçleri üzerinde derinleştirir.

İş Zekası uygulamaları ile süreç madenciliğinin entegre edilmesi, organizasyonların iş süreçlerini daha veriye dayalı bir şekilde yönetmelerine, operasyonel verimliliği artırmalarına ve iş sonuçlarını iyileştirmelerine yardımcı olabilir. Bu entegrasyon, organizasyonların verileri daha etkili bir şekilde kullanmalarına ve rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olur.

Veri güvenliği, organizasyonların veya bireylerin hassas ve özel verilerini, bilgilerini ve sistemlerini korumak amacıyla uyguladıkları bir dizi politika, işlem ve teknolojiyi içeren bir kavramdır. Veri güvenliğinin temel amacı; gizlilik, bütünlük, erişilebilirlik, kimlik doğrulama ve yetkilendirme, veri yedeklemesi ve kurtarma, izleme ve denetim, eğitim ve farkındalıktan oluşmaktadır.

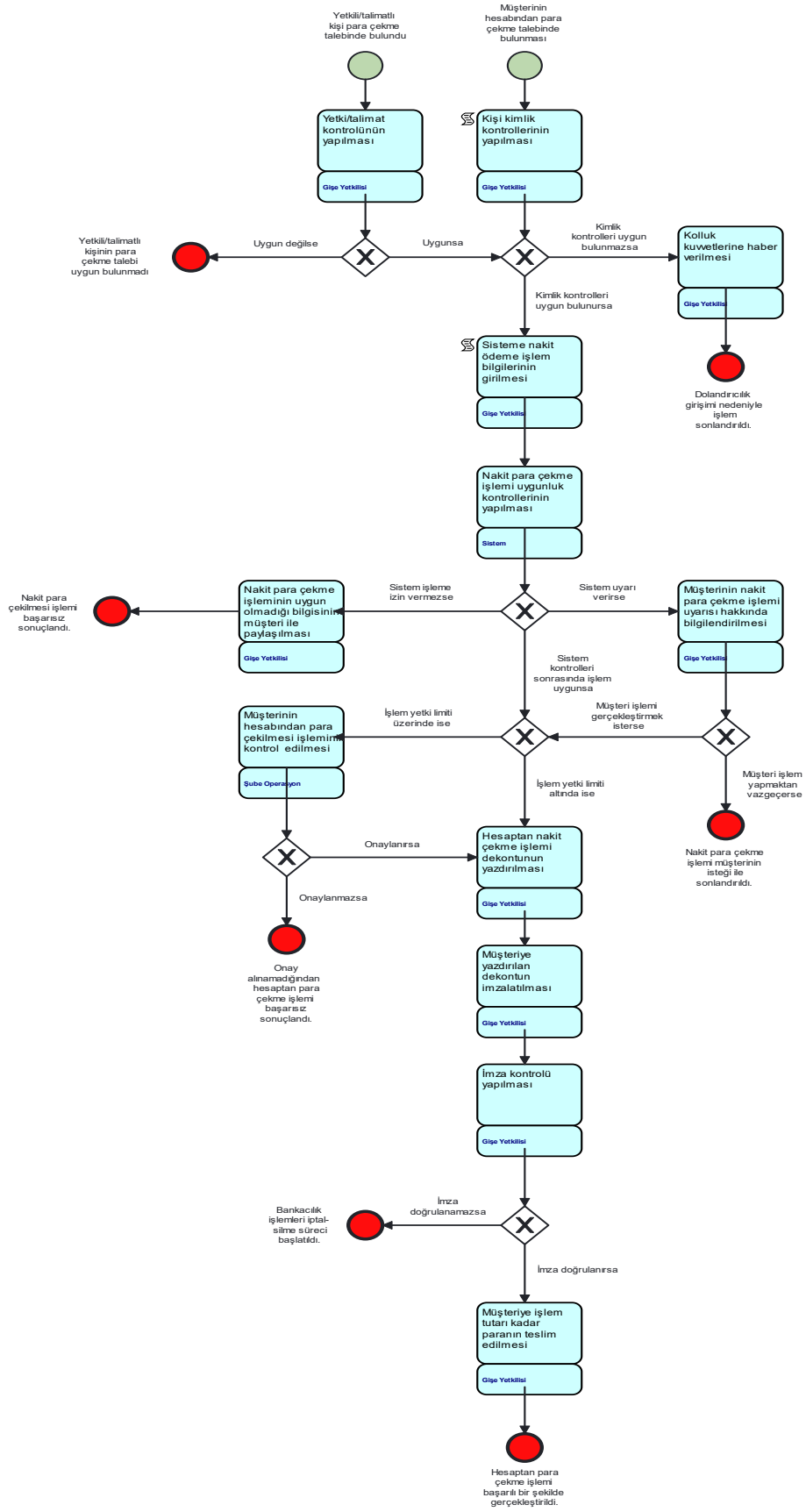
## 5. BANKACILIK SEKTÖRÜNDE ÖRNEK UYGULAMA

### 5.1. Çalışılan Veri Seti, Kapsamı ve Disco'ya Aktarılması

Çalışmanın uygulama kısmında katılım bankacılığı sektöründe faaliyet gösteren bir katılım bankasının “Nakit Para Çekme Süreci” incelenmiştir ve süreç madenciliği yöntemi kullanılarak bu süreç analiz edilmiştir. Çalışmada da nakit para çekme süreçlerinin bankada kullanılan bankacılık uygulaması üzerinde ilerleyen kısmı incelenmiştir. Nakit para çekme süreci şubeye gelen müşteri talebi ile veya yetkili/talimatlı olarak başlamaktadır. Sürecin akışında kişi kimlik kontrolleri veya yetki/talimat kontrolleri yapılmaktadır. Sisteme nakit ödeme işlem bilgileri girilir. Nakit para çekme işlemine ilişkin sistemsel uygunluk kontrolleri yapılır.

Sistem işleme izin vermez ise müşteriye bilgi verilerek akış sonlanmaktadır. Eğer sistem uyarı verirse verdiği uyarıya ilişkin müşteriye bilgi verilerek devam etmek istemesi halinde işleme devam edilmektedir. Devam etmek istemez ise de akış sonlanmaktadır. Sistem kontrolleri uygun ise hesaptan nakit para çekme işlemi yapılmaktadır ve müşteriye işleme ilişkin dekont verilmektedir. Dekontun müşteri tarafından imzalanmasının ardından süreç başarıyla sonlanmaktadır, Şekil 5.1.1.





Şekil 5.1.1. Nakit Para Çekme Süreç Akışı.

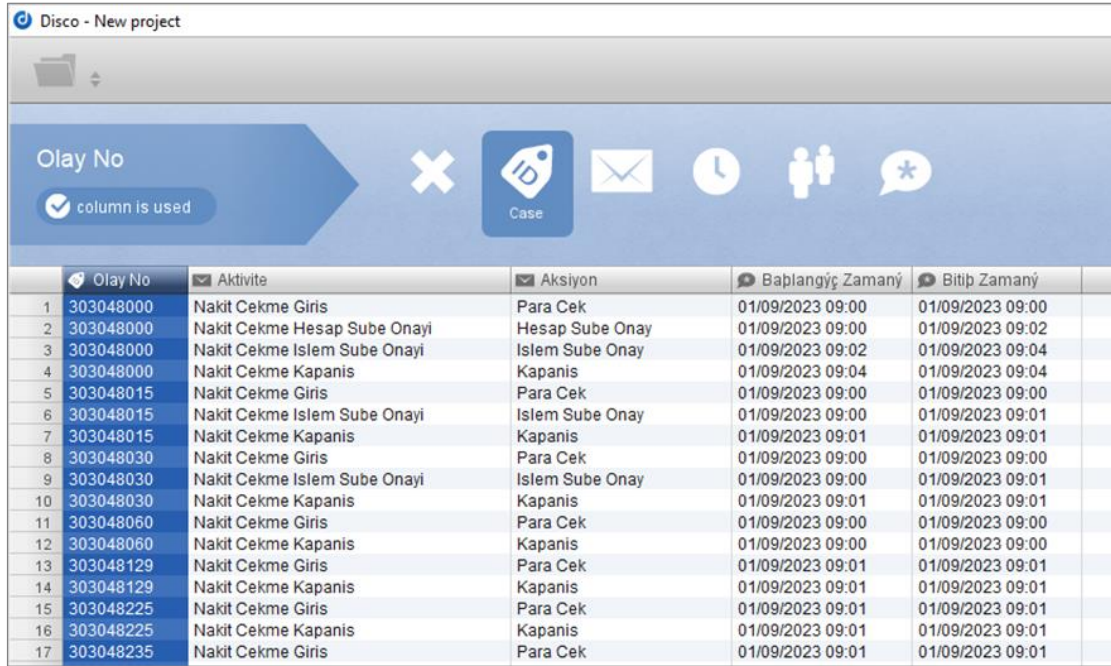
Süreç madenciliği metodu kullanılarak nakit para çekme sürecinin analiz edilmesi amacıyla öncelikle bankanın kullandığı bankacılık uygulamasına ilişkin veriler SQL veri tabanı üzerinden, nakit para çekme süreçlerine ait bir

örneklem veri kümesi alınmıştır. Veri kümesinde 100.000 adet nakit para çekme süreç akışı bulunmaktadır. Bu süreç akışlarında da toplamda 251.213 adet aktivite gerçekleşmiştir. Şekil 5.1.2.'de görüldüğü üzere olay numarası, aktivite, aksiyon, başlangıç zamanı ve bitiş zamanı olmak üzere toplam 5 sütun bulunmaktadır.

	A	B	C	D	E
1	Olay No	Aktivite	Aksiyon	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı
2	303048000	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
3	303048000	Nakit Çekme Hesap Sube Onayı	Hesap Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:02
4	303048000	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:02	01/09/2023 09:04
5	303048000	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:04	01/09/2023 09:04
6	303048015	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
7	303048015	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:01
8	303048015	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
9	303048030	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
10	303048030	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:01
11	303048030	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
12	303048060	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
13	303048060	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
14	303048129	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
15	303048129	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
16	303048225	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
17	303048225	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01

Şekil 5.1.2. Nakit Para Çekme Süreç Akışı.

Veriler süreç madenciliği metodolojisine uygun hale getirilip o şekilde sisteme aktarılmalıdır. Süreç madenciliği veri kümesinde Disco yazılımının veri şartlarını sağlamak için verilerin uygun formata getirilmesi ve ardından içe aktarılması gerekmektedir. Veri kümesinde olay kimliği, aktivite bilgisi ve zaman damgası mutlaka bulunmalıdır. Şekil 5.1.3.'te görüldüğü gibi veriler Disco yazılımına aktarılmıştır. Aktarıldıktan sonra sütunlar olay kimliği, aktivite bilgisi ve zaman damgası olarak yazılıma tanımlanmıştır.



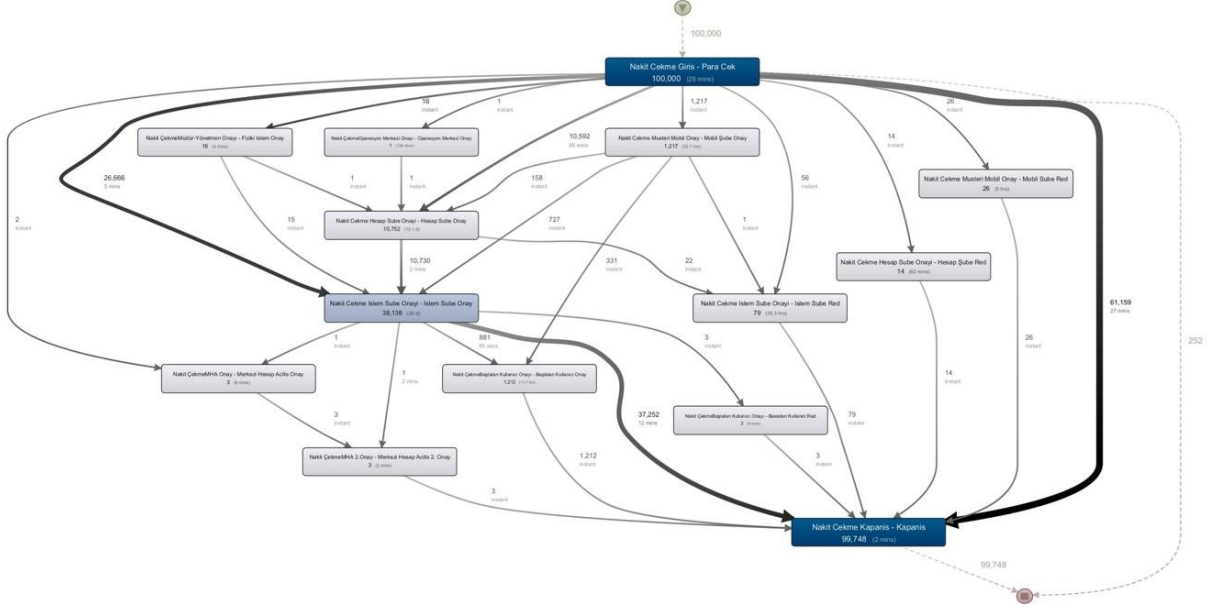
	Olay No	Aktivite	Aksiyon	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı
1	303048000	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
2	303048000	Nakit Çekme Hesap Sube Onayı	Hesap Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:02
3	303048000	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:02	01/09/2023 09:04
4	303048000	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:04	01/09/2023 09:04
5	303048015	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
6	303048015	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:01
7	303048015	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
8	303048030	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
9	303048030	Nakit Çekme İşlem Sube Onayı	İşlem Sube Onay	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:01
10	303048030	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
11	303048060	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
12	303048060	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:00	01/09/2023 09:00
13	303048129	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
14	303048129	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
15	303048225	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
16	303048225	Nakit Çekme Kapanış	Kapanış	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01
17	303048235	Nakit Çekme Giriş	Para Çek	01/09/2023 09:01	01/09/2023 09:01

Şekil 5.1.3. Çalışmada Kullanılan Veri Setinin Disco'ya Aktarılması.

## 5.2. Süreç Analizi

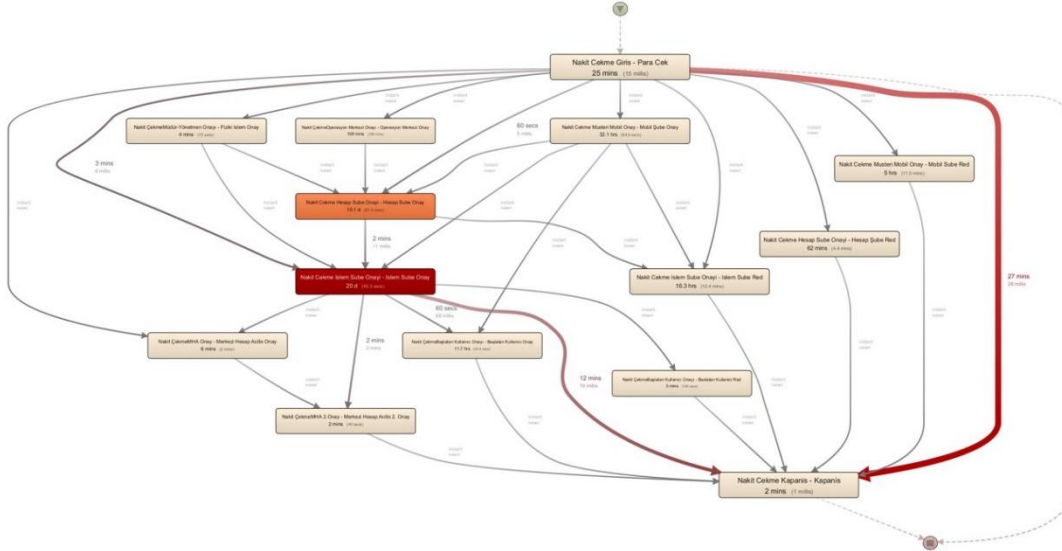
### 5.2.1. Süreç Haritasının Analiz Edilmesi

Veri seti içe aktarıldığında Disco'dan ilk olarak frekans haritası temin edilmiştir. Şekil 5.2.1.1.'de görüldüğü üzere, elde edilen bu harita en genel haliyle sürece ilişkin aktiviteleri, aktivite adetlerini ve aktiviteler arasındaki yolları göstermektedir.



Şekil 5.2.1.1. Çalışmada Kullanılan Veri Setine Göre Sürecin Genel Frekans Haritası.

Disco yazılımı frekans yazılımının yanı sıra performans haritası çıktısı da vermektedir. İçe aktarılan verilerden elde edilen performans haritası Şekil 5.2.1.2.'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5.2.1.2. Çalışmada Kullanılan Veri Setine Göre Sürecin Genel Performans Haritası.

Şekil 5.2.1.2'te görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan Nakit Para Çekme Süreci veri setinde performans ölçütü olarak toplam süre metriği seçilmiştir. Haritadaki renklendirmelere bakılırsa, toplam süreye bağlı olarak en çok süre "Hesap Şube Onay" ve "İşlem Şube Onay" aktivitelerinde harcanmıştır.

Toplam süre olarak oluşturulan bu yeni haritaya bakıldığında işlem süresi 20 gün olan İşlem Şube Onay aktivitesinin Nakit Çekme Süreci için birinci darboğaz aktivite olduğu görülmüştür. 10.1 gün işlem süresine sahip Hesap Şube Onay aktivitesi de bu süreç için ikinci darboğaz oluşturan aktivitedir. Bu işlemlere ilişkin toplam işlem sürelerinin diğer aktivitelere göre daha uzun olmasının nedeni en sık görülen süreç akışının bu kontrol noktalarından geçen akış olmasıdır. Bu da toplam süreyi uzatmaktadır.

Süreç haritasında ikincil performans metriği ortalama süre olarak seçilmiş olup yazılım aktivite kutularında ikincil metriği parantez içinde göstermektedir. Ortalama süreler bakıldığında “Hesap Şube Onay” aktivitesi ortalama 81.5 sn, “İşlem Şube Onay” aktivitesinin ise ortalama 45.3 sn sürdüğü görülmüştür.

### 5.2.2. Vakaların Analiz Edilmesi

Disco yazılımı süreç analizi yaparken vakaların da ayrıca daha detaylı incelenebilmesi için her bir vaka özelinde aktivite sayısı, başlangıç tarihi, tamamlanma süresi ve aktif zaman bilgilerini sunmaktadır. Ayrıca her nakit para çekme işlemi için yürütülen aktivitelerin varyant bilgisini de göstermektedir. Varyantlar ilgili sürecin kaç farklı şekilde aktivite sıralaması ile gerçekleştiğini göstermektedir.

Varyantların incelenmesi süreç analizi için önemlidir. Nadir gerçekleşen varyantlar incelenmeli ve bu nadir gerçekleşen varyantların hangi nedenle gerçekleştiği bilinmelidir. Nakit para çekme süreci varyantları incelenmiş ve Şekil 5.2.3.1.’de işaret edildiği gibi bu süreçte 100.000 vaka için 20 farklı varyant ile sürecin tamamlandığı tespit edilmiştir. En sık gerçekleşen 1. varyant, vakaların %61,16’sını kapsamaktadır. Bu demek oluyor ki nakit para çekme süreci %61,16 oranda aynı aktivite sıralaması ile tamamlanmıştır.



Şekil 5.2.2.1. Vakalara İlişkin Bilgilerin Akış Görüntüsü

Vakalar üzerinde çalışırken analiz edilmek istenen vakalara ilişkin filtreleme işlemleri de yapılabilmektedir. Filtreleme işleminin ardından ilgili vakalara ilişkin süreç haritası gösterimi de elde edilmiştir. Bu şekilde ilgili vakalara odaklanılıp harita üzerinde yorum yaparak öngörü elde edilmiştir. Şekil 5.2.2.1.’te görüldüğü üzere nakit para çekme süreci veri kümesinin %80’ini oluşturan varyantlar filtrelenmiş ve en sık gerçekleşen 2 varyanta ilişkin süreç haritası elde edilmiştir. Haritayı incelendiğinde “İşlem Şube Onay” aktivitesinin toplamda 13,8 gün sürdüğü görülmektedir. Aynı zamanda kırmızı renk ile vurgulanması da bu aktivitenin darboğaz oluşturduğunu göstermektedir.

### 5.3. Banka Şubesi İş Modelinin Kurulması ve Monte Carlo Yöntemiyle Simülasyon

Süreç geliştirme çalışmaları yapılmadan gerçekleşen şube günlük işlemleri ile süreç madenciliği çalışması ile yapılan süreç geliştirme çalışmasında tespit edilen darboğazların kaldırılması sonrası gerçekleşen günlük işlem sürelerinin farkını göstermek amacıyla örnek alınan bankanın 22 şubesinin bir yıl boyunca yapılan günlük işlemleri önce sınıflandırılmış ve sonra 10 işlem grubu oluşturulmuştur.

Şubelerdeki 5 personelin iki tanesi pazarlama alanında, üç tanesi de gişe alanındaki işlemlerle uğraşmaktadır. Günlük işlemlerin bir yıl boyunca olan ortalama değerleri ve çalışan personelin ilgi alanları Tablo 5.3.1 ve Tablo 5.3.2 de verilmiştir. Banka şubesinin günlük çalışma saatleri 9:00 – 12:30 ve 13:30 – 18:00 dir, diğer bir ifadeyle müşterilerin şubeye girme süresi: 8 [h] = 480 [min] dir.

**Tablo 5.3.1.** Örnek bankanın 22 şubesine ait bir yıllık günlük işlemlerden oluşturulan işlem grupları, işlem sayıları ve ortalama süreleri

İşlem Grubu	Personel No.	Alan	Ortalama İşlem [Adet /gün]	Ortalama Süre [min/gün]	Toplam Süre [min/gün]	Toplam Süre [h/gün]
Kredi İşlemleri	1,2,3	Pazarlama	7	45,57	318,98	5,32
Kart İşlemleri	1,2,3	Pazarlama	12	9,21	110,57	1,84
Hesap İşlemleri	1,2,3	Pazarlama	26	7,84	203,97	3,40
Hazine İşleri	4,5	Gişe	7	0,67	4,71	0,08
Nakit İşleri	4,5	Gişe	25	6,11	152,63	2,54
Müşteri Hizmetleri	4,5	Gişe	9	4,57	41,14	0,69
Operasyon	4,5	Gişe	14	49,71	696,00	11,60
Havale/Transfer	4,5	Gişe	13	5,43	70,54	1,18
Çek/Senet İşlemleri	1,2,3	Pazarlama	8	1,25	9,97	0,17
Diğer	1,2,3	Pazarlama	12	53,03	636,30	10,61
		Toplam	133	183,39	2244,80	37,41

**Tablo 5.3.2.** Örnek bankanın 22 şubesinde ait günlük işlemlerde personelin ortalama mesaisi ve yük dağılımı

İşlem Alanları	Personel Sayısı	Toplam Mesai [h/gün]	Günlük Mesai [h/kişi]
Gişe (Hazine İşlemleri, Nakit İşlemleri, Müşteri Hizmetleri, Operasyon, Havale/Transfer)	2	965,02	482,51
Pazarlama (Kredi İşlemleri, Kart İşlemleri, Hesap İşlemleri, Çek/Senet İşlemleri, Diğer)	3	1279,79	426,60

Banka şubesindeki işlemlerin modellenmesinde süreçlerin stokastik yapısı dikkate alınmış ve Monte Carlo yöntemi uygulanmıştır. İşlemlere ait ortalama dağılımların gerçekte bir maksimum ve minimum arasında olduğu, bu aralıktaki değerler  $r_1$  rastgele sayısı ile belirlendiği kabul edilmektedir, Tablo 5.3.2.

İşlemlerin ve banka şubesine gelen müşterilerin rastgele gelişlerini ifade için kullanılan Gelişler Arası Süre (GAS) için düzgün dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca her bir işlemde zaman zaman işlemin uzamasına yol açan rastgele bazı ek işler çıktığı (arızı süre uzamaları olduğu) kabul edilmiştir. İşlem esnasında bir  $r_3$  rastgele sayısının aldığı değer sürece ait sınır  $r_{sınır}$  değeri aşınca o işlemde arızı süre uzamasının olduğu modellenmiştir.  $r_1$  ve  $r_2 = 0$  ila 1 arasındaki rastgele sayılar olmak üzere

$$GAS = r_1 (b - a) + a + c$$

Burada  $c$  değeri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$r < r_{sınır} \text{ için } c = 0$$

$$r > r_{sınır} \text{ için } c = \Delta t$$

Günlük ortalama iş süresi 480 [min] olacak şekilde düzgün dağılım fonksiyonundaki  $a$  ve  $b$  katsayıları deneme yanılma yöntemi ile tayin edilmiş ve sonuç olarak  $a=2$  [min] ve  $b=5$  [min] olarak bulunmuştur. İşlemler için kullanılan iş süreleri, normal iş akışını engelleyen işlem süresini uzatan ve beklenmeyen bir gelişme arızı süre olarak ayrıca tanımlanmıştır.

Ele alınan işlemler, bunların olasılık yoğunluk fonksiyonu, birikimli dağılım fonksiyonu, arızı süre uzamasının sınır olasılık değeri ve uzama süreleri Tablo 5.3.3. ve Tablo 5.3.4.'te verilmiştir.

**Tablo 5.3.3.** İş sürelerinin işlem başına ortalama, maksimum-minimum ve arızı süre uzama sınır değerleri.

İşlem No. (*)	Alan	Adet	Personel No.	Ort.Süre [min]	İş Süresi [min]		Arızı Süre Uzaması	
					Max	Min	$r_{sınır}$	[min]
1	Pazarlama	7	1	45,57	48,57	42,57	0,8	3
2	Pazarlama	12	1	9,21	10,21	8,21	0,8	3
3	Pazarlama	26	1	7,84	8,84	6,84	0,85	5
4	Gişe	7	3	0,67	0,97	0,37	0,8	3
5	Gişe	25	3	6,11	7,11	5,11	0,9	2
6	Gişe	9	3	4,57	5,57	3,57	0,8	3
7	Gişe	14	4 ve 5	49,71	52,71	46,71	0,85	2
8	Gişe	13	3	5,43	6,43	4,43	0,8	2
9	Pazarlama	8	1	1,25	1,65	0,85	0,9	2
10	Pazarlama	12	2	53,03	56,03	50,03	0,8	2
	Toplam	133	(5 kişi)					

(\*) İşlem no.: 1) Kredi İşlemleri, 2) Kart İşlemleri, 3) Hesap İşlemleri, 4) Hazine İşlemleri, 5) Nakit İşlemleri, 6) Müşteri Hizmetleri, 7) Operasyon, 8) Havale/ Transfer, 9) Çek/Senet İşlemleri, 10) Diğer

**Tablo 5.3.4.** İncelenen 22 banka şubesinin 1 yıllık işlemlerinin günlük ortalama işlem sayıları, olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) ve bütünleşik dağılım fonksiyonu (BDF) değerleri.

İşlem Grubu	İşlem No.	İşlem Sayısı	oyf	BDF
Kredi İşlemleri	1	7,0	0,0526	0,0526
Kart İşlemleri	2	12,0	0,0902	0,1429
Hesap İşlemleri	3	26,0	0,1955	0,3383
Hazine İşleri	4	7,0	0,0526	0,3910
Nakit İşleri	5	25,0	0,1880	0,5789
Müşteri Hizmetleri	6	9,0	0,0677	0,6466
Operasyon	7	14,0	0,1053	0,7519
Havale/Transfer	8	13,0	0,0977	0,8496
Çek/Senet İşlemleri	9	8,0	0,0602	0,9098
Diğer	10	12,0	0,0902	1,0000
	Toplam	133,0	1,0000	

Bankanın 22 şubesine bir yılda gün başına ortalama 133 müşteri gelmektedir. Herbir müşteri için  $r_1$ ,  $r_2$  ve  $r_3$  şeklinde üç ayrı rastgele sayı kullanılmıştır:  $r_1$  ile şubelere gelen işlemlerin gruplandırılması ile bulunan iş dağılım fonksiyonuna göre işlem türü,  $r_2$  ile düzgün dağılım fonksiyonuna göre işlemin gelişler arası süresi (GAS) ve  $r_3$  ile varsa arızı işlem süresi stokastik olarak belirlenmiştir.

Üçüncü rastgele  $r_3$  sayısı arızı sınır değerden büyükse ( $r_3 > r_{sınır}$ ) o işleme arızı uzama süresi eklenmiştir. Müşteriler için hazırlanan bu model 40 defa çalıştırılmış ve günlük ortalama, maksimum ve minimum işlem süreleri bulunmuştur, Tablo 5.3.5.

**Tablo 5.3.5.** Süreç madenciliği ile süreç geliştirme çalışması yapılmayan bir banka şubesinin rastgele değerlere 40 defa çalıştırılan modelin günlük süreç ortalamaları, süreler [min] birimlidir.

İşlem No.*	Ortalama	Max	Min	Ssapma
1	330	588	140	117
2	121	248	58	41
3	232	468	142	84
4	10	39	2	11
<b>5</b>	<b>155</b>	<b>234</b>	<b>76</b>	<b>38</b>
6	44	119	17	20
7	680	1131	393	149
8	84	160	43	28
9	11	43	3	7
10	672	1008	259	197
Toplam	2340	4038	1133	692

(\*) İşlem no.: 1) Kredi İşlemleri, 2) Kart İşlemleri, 3) Hesap İşlemleri, 4) Hazine İşlemleri, 5) Nakit İşlemleri, 6) Müşteri Hizmetleri, 7) Operasyon, 8) Havale/ Transfer, 9) Çek/Senet İşlemleri, 10) Diğer

Süreç madenciliği yazılımı kullanılarak yapılan süreç geliştirme çalışmasında Nakit Çekme Süreci incelenmiştir. İncelenen bu süreçte İşlem Şube Onay ve Hesap Şube Onay olmak üzere iki aktivitenin darboğaz oluşturduğu tespit edilmiştir. Hesap Şube Onay aktivitesinin gerçekleşen ortalama tamamlanma süresi 81,4 [s] olarak tespit edilmiştir.

İşlem Şube Onay aktivitesinin ortalama tamamlanma süresi 45,2 [s] olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu darboğaz aktivitelerinin süreç akışından kaldırılması durumunda süreç akışından toplamda 2,11 [min] süre kazanımı oluşmaktadır. Bu aktiviteler bankanın Nakit Yatırma Süreçleri içinde de var olduğundan süre kazanımı Nakit İşlemleri kategorisindeki tüm süreçler için geçerli olmaktadır.

Banka yönetiminin süreç madenciliği çalışması çıktıları ile şube süreçlerini geliştirmesi halinde, işlemlerin iş sürelerinin sadece 5 no.lu Nakit işlemlerde ortalama 2,11 [min] azalmaktadır. Bu durumda Tablo 5.3'de verilen normal 22 şubenin günlük nakit işlemlerinin 6,11 [min] ortalama değeri 4,00 [min] değerine düşmektedir. 22 şubenin bilgilendirilmesi halinde günlük nakit işlemlerinin 4,00 [min] ] ortalama değeri kullanılarak model tekrar 40 defa çalıştırılmış ve Tablo 5.3.6'da verilen değerler bulunmuştur.

**Tablo 5.3.6.** Süreç madenciliği ile süreç geliştirme çalışması yapılmayan bir banka şubesinin rastgele değerlere 40 defa çalıştırılan modelin günlük süreç ortalamaları, süreler [min] birimlidir.

İşlem No.*	Ortalama	Max	Min	Ssapma
1	301	612	94	128
2	127	249	66	37
3	226	508	126	84
4	10	46	1	11
<b>5</b>	<b>109</b>	<b>220</b>	<b>56</b>	<b>30</b>
6	45	85	10	19
7	729	1022	433	156
8	79	193	46	28
9	12	40	4	8
10	616	909	274	159
Toplam	2252	3885	1109	662

Bu durumda nakit işlemlerinde günde  $155-109=46$  [min] bir düşme sağlanmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada süreç geliştirme metodolojisi olarak süreç madenciliği kullanılarak bankacılık sektöründe gerçekleşen nakit çekme süreci analiz edilmiştir. Süreç madenciliği metodolojisini kullanarak analiz edilen Nakit Çekme sürecinde İşlem Şube Onay ve Hesap Şube Onay aktiviteleri olmak üzere iki önemli darboğaz olduğu tespit edilmiştir. Süreçlerdeki dar boğazlar sayısal olarak tespit edilmiş ve odaklanması gereken aktiviteler istatistik analizle bankaya görünür hale getirilmiştir.

Tespit edilen bu darboğazların kaldırılması durumunda ortalama olarak işlemleri tanımlanan bir şubenin toplam günlük işlem süresinin etkileneceği Monte Carlo yöntemiyle gösterilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bir bankanın rastgele seçilen 22 şubesinin bir yıl boyunca olan işlemleri önce sınıflandırılmış sonra 10 işlem grubuna ayrılmıştır.

Hazırlanan günlük işlem modeli önce normal şube sistemine, daha sonra da süreç madenciliği ile desteklenen şube sistemine uygulanmıştır. Bu karşılaştırmada sadece nakit para işlemlerindeki destekleme incelenmiştir. Süreç madenciliği ile süreç geliştirme çalışması yapılan bir banka şubesinin rastgele değerlerle 40 defa çalıştırılan simüle edilmiştir. Simülasyon ortalamaları karşılaştırıldığında kaldırılan darboğaz aktivitelerin toplam nakit para işlem süresini 46 dakika düşürdüğü görülmüştür.

Bu çalışma ile veri madenciliğine dayanan yazılımların bankacılık sektöründe kullanılması ile özellikle çok büyük veri yığına sahip banka üst yönetiminin sistemi daha iyi analiz edebileceği, süreçleri değişik açılardan izleyebileceği, gerekli değişiklikleri hızlı bir şekilde yapabileceği ve kontrol edebileceği, yönetme ve karar verme işlerinde daha analitik değerlere dayanabileceği görülmüştür. Özellikle süreçlerdeki eğilimlerin, değişimlerin ve beklenmeyen kontrol dışı gelişmelerin kolayca görülmesi ve gerekli önlemlerin alınması gibi önemli avantajlar da sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR

Burattin, A. (2015). Process Mining Techniques in Business Environments, Springer.

Crum, M., Rayhorn, C. (2019). Using Monte Carlo Simulation for Pro Forma Financial Statements. Journal of Accounting and Finance Vol. 19(5) pp.29-40. 2019.

Erdoğan, T. (2018). Sağlık Süreçlerini İyileştirmede Süreç Madenciliği Tekniğini Kullanan Bir Performans Analiz Metodu. [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Gartner. (2023) Analyst Report: 2023 Gartner® Magic Quadrant™ for Process Mining Tools. [https://www.softwareag.com/en\\_corporate/platform/aris/process-mining-tools-gartner-report.html?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=swag\\_brand\\_umbrella&utm\\_region=hq&utm\\_subcampaign=stg-1&utm\\_content=stg-1\\_webpage\\_simplify\\_the\\_conn\\_world\\_gartner\\_lp\\_abm](https://www.softwareag.com/en_corporate/platform/aris/process-mining-tools-gartner-report.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=swag_brand_umbrella&utm_region=hq&utm_subcampaign=stg-1&utm_content=stg-1_webpage_simplify_the_conn_world_gartner_lp_abm) en son erişim tarihi 06 Nisan 2024

Gomé, S., Tuckerman, L., Barkley, D. (2022). Extreme events in transitional turbulence. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2022, 380 (2226), pp.20210036. ff10.1098/rsta.2021.0036ff. fahal-03796501f

Günther, C. W. (2009). Process Mining in Flexible Environments Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.

Helm, E., & Paster, F. (2015). First Steps Towards Process Mining in Distributed Health Information Systems. International Journal of Electronics and Telecommunications. <https://doi.org/10.1515/eletel-2015-0017> Kebede, M. (2015). Comparative Evaluation of Process Mining Tools. University of Tartu.

Kang, C. J., Y. S. Kang, Y. S. Lee, S. Noh, H. C. Kim, W. C. Lim, J. Kim and R. Hong (2013). Process Mining-based Understanding and Analysis of Volvo IT's Incident and Problem Management Processes. BPIC@ BPM.

Kumaraguru, P. V. (2013). Machine learning approach for model discovery and process enhancement using process mining techniques Ph.D. Thesis, Dr. M.G.R. Educational and Research Institute. M. Bozkaya, J. Gabriels, and J. M. van der Werf, "Process Diagnostics: A Method Based on Process Mining" 2009 International Conference on Information, Process and Knowledge Management, Cancun Şub. 2009, pp 22-2. Doi:10.1109/Eknow.2009.29.



Kuşakçı, A.O., Ayvaz, B., Borat, O. (2022). Mühendisler İçin Sistem Benzetimi. Genişletilmiş 2. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara. ISBN: 978-625-417-172-7.

Sevim Ş. (2021). Süreç Madenciliği Yönetimi ile Satın Alma Sürecinin Analiz Edilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Simsek, K.D. (2024). Monte Carlo Simulation in Financial Modeling. *The Journal of Portfolio Management Quantitative Tools* 2023, 49 ( 9) 178 – 188. DOI: 10.3905/jpm.2023.1.521

Ufuk Çelik , Eyüp Akçetin , (2018), *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, Cilt 9, Sayı 34, 2018, 97

Van der Aalst, W., A. Adriansyah, A. K. A. de Medeiros, F. Arcieri, T. Baier, T. Blickle, J. C. Bose, P. vanden Brand, R. Brandtjen, J. Buijs, A. Burattin, J. Carmona, M. Castellanos, J. Claes, J. Cook, N. Costantini, F. Curbera, E. Damiani, M. de Leoni, P. Delias, B. F. van Dongen, M. Dumas, S. Dustdar, D. Fahland, D. R. Ferreira, W. Gaaloul, F. van Geffen, S. Goel, C. Günther, A. Guzzo, P. Harmon, A. ter Hofstede, J. Hoogland, J. E. Ingvaldsen, K. Kato, R. Kuhn, A. Kumar, M. La Rosa, F. Maggi, D. Malerba, R. S. Mans, A. Manuel, M. McCreech, P. Mello, J. Mendling, M. Montali, H. R. Motahari-Nezhad, M. zur Muehlen, J. Munoz-Gama, L. Pontieri, J. Ribeiro, A. Rozinat, H. Seguel Pérez, R. Seguel Pérez, M. Sepúlveda, J. Sinur, P. Soffer, M. Song, A. Sperduti, G. Stilo, C. Stoel, K. Swenson, M. Talamo, W. Tan, C. Turner, J. Vanthienen, G. Varvaressos, E. Verbeek, M. Verdonk, R. Vigo, J. Wang, B. Weber, M. Weidlich, T. Weijters, L. Wen, M. Westergaard and M. Wynn (2012). *Process Mining Manifesto. Business Process Management Workshops: BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I.* F. Daniel, K. Barkaoui and S. Dustdar: 169-194. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. Van der Aalst, W., A. Adriansyah and B. van Dongen (2012). *Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 2(2): 182-192.

Van der Aalst, W. (2004). *Process Mining: A Research Agenda. Computers in Industry*, 53: 231-244.

Van der Aalst, W. (2012a). *Process Mining: overview and Opportunities. Transactions on Management Information Systems*, 3(2): 99-114.

Van der Aalst, W. (2012b). *What Makes a Good Process Model? Software & System Modelling*, 11(4): 557-569.

Van der Aalst, W. M. P. (2014). *Process Mining in the Large: A Tutorial. Business Intelligence: Third European Summer School, eBISS 2013, Dagstuhl Castle, Germany, July 7-12, 2013, Tutorial Lectures.* E. Zimányi: 33-76. Cham, Springer International Publishing.

Van der Aalst, W. M. P., A. K. A. de Medeiros and A. J. M. M. Weijters (2005). *Genetic Process Mining. Applications and Theory of Petri Nets 2005: 26th International Conference, ICATPN 2005, Miami, USA, June 20-25, 2005. Proceedings.* G. Ciardo and P. Darondeau: 48-69. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

Van der Aalst, W. M. P., H. A. Reijers, A. J. M. M. Weijters, B. F. van Dongen, A. K. Alves de Medeiros, M. Song and H. M. W. Verbeek (2007). *Business process mining: An industrial application. Information Systems* 32(5): 713-732.

Van der Aalst, W. M. P., H. T. de Beer and B. F. van Dongen (2005). *Process Mining and Verification of Properties: An Approach Based on Temporal Logic. On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE 2005, Agia Napa, Cyprus, October 31 - November 4, 2005, Proceedings, Part I.* R. Meersman and Z. Tari: 130-147. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

Van der Aalst, W., Reijers, H., Weijters, A., Dongen, B., Medeiros, A., Song, M., Verbeek, H. (2006). *Business Process Mining: An Industrial Application. Information Systems*, 32(5): 713-732.

Van der Aalst, W., T. Weijters and L. Maruster (2004). *Workflow mining: Discovering process models from event logs. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on* 16(9): 1128-1142. Van der Aalst, W. M., B. F. Van Dongen, J. Herbst, L. Maruster, G. Schimm and A. J. Weijters (2003). *Workflow mining: a survey of issues and approaches. Data & knowledge engineering* 47(2): 237-267.

Yılmaz, Y. (2019). Business Process Reengineering Using Process Mining. [Yüksek Lisans Tezi]. Boğaziçi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Yousfi, A., Weske, M. (2019). Discovering Commute Patterns via Process Mining, Knowledge & Information System,60(2):691-713.–104.

W. M. P. van der Aalst, B. F. van Dongen, J. Herbst, L. Maruster, G. Schimm, and A. J. M. M. Weijters, “Workflow mining: A survey of issues and approaches,” Data & Knowledge Engineering, vol. 47, no 2, pp. 237-267, Kas. 2003,doi:10.1016/S0169-023X(03)00066-1

Xu,D.L., Yue, P., Yi, X., and Liu,J.Y. (2022). Improvement of a Monte-Carlo-simulation-based turbulence-induced attenuation model for an underwater wireless optical communications channel. Journal of the Optical Society of America A Vol. 39, Issue 8, pp. 1330-1342 (2022) <https://doi.org/10.1364/JOSAA.459753>

**Not:** Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 'nda, Prof. Dr. Oğuz Borat danışmanlığında, Rabia Mamuş Yemen tarafından yürütülecek olan, “Süreç Madenciliği Yaklaşımı Kullanılarak Süreç Geliştirme Metodolojisi ve Bankacılık Sektöründe Bir Örnek Uygulama” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.




## Araştırma Makalesi

**EVALUATION OF UNIVERSITY CAMPUSES FOR PHYSICAL ACCESSIBILITY**

Ayşe ÜNAL†

†Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

ayseunal@siirt.edu.tr

 0000-0002-3262-135X**Atıf/Citation:** ÜNAL, A., (2024).Evaluation of University Campuses for Physical Accessibility, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.203-212, DOI: 10.56809/icujtas.1491364**ABSTRACT**

Accessibility is an important part of urban mobility public policy and one of the priorities of inclusive public spaces for all members of society. Increasing accessibility in campus areas is also a prerequisite for ensuring equality of opportunity among all students in higher education institutions. Since campus spaces are disadvantageous in terms of accessibility, disabled students generally cannot benefit from educational opportunities equally and cannot participate in campus life. Universities should be trailblazing in their support of and actions to guarantee equal opportunities for everyone in society, including students, since they are regarded as premier institutions in a city when it comes to their contributions to the social, cultural, economic, political, and technological development of the nation. In this study, the current accessibility status of Siirt University Kezer Campus and the buildings within the campus for disabled students was investigated. As a result of the findings, existing accessibility problems in the campus area were identified and priority areas that needed improvement were identified. The ultimate aim of the study is to reveal the spatial accessibility possibilities of the facilities and buildings in the campus area, to identify deficiencies within the scope of relevant standards and to determine the areas that need to be improved first. The result is to create a campus that is accessible in every sense.

**Keywords:** Accessibility, Education, Campus Areas, Planning**ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNİN FİZİKSEL ERİŞİLEBİLİRLİK KAVRAMI YÖNÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ****ÖZET**

Erişilebilirlik, kentsel hareketlilik kamu politikasının önemli bir parçasıdır ve toplumun tüm üyeleri için kapsayıcı kamusal alanların önceliklerinden biridir. Kampüs alanlarında erişilebilirliğin artırılması, yükseköğretim kurumlarındaki tüm öğrenciler arasında fırsat eşitliğinin sağlanması için de bir ön koşuldur. Kampüs mekânlarının erişilebilirlik açısından dezavantajlı olması nedeniyle engelli öğrenciler genellikle eğitim olanaklarından eşit şekilde yararlanamamakta ve kampüs hayatı içerisinde bulunamamaktadır. Üniversiteler, bir kentte ülkenin sosyal, kültürel, ekonomik, siyasal ve teknolojik gelişimine katkı sağlamada öncü kurumlar olarak görüldüğünden, toplum içinde öğrenciler de dâhil olmak üzere herkese fırsat eşitliği sağlanmasına yönelik destek ve tedbirlerin alınması konusunda öncü bir karaktere sahip olmalıdır. Bu çalışmada, Siirt Üniversitesi Kezer yerleşkesinin ve yerleşke içerisinde bulunan binaların engelli öğrenciler için mevcut erişilebilirlik durumu araştırılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde kampüs alanında mevcut erişilebilirlik sorunları tespit edilmiş ve öncelikli iyileştirilmesi gereken yerler belirlenmiştir. Çalışmanın nihai amacı kampüs alanında yer alan tesis ve binaların mekânsal olarak erişilebilirlik olanaklarını ortaya koyarak, ilgili standartlar kapsamında eksikliklerin tespit edilmesiyle öncelikle iyileştirilmesi gereken alanların belirlenmesidir. Sonuç olarak her anlamda erişilebilir bir kampüs ortaya koymaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Erişilebilirlik, Eğitim, Kampüs Alanları, Planlama

Geliş/Received	:	28.05.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	08.07.2024
Kabul/Accepted	:	24.07.2024

## 1. INTRODUCTION

When designing buildings and open spaces, architectural possibilities that can be easily accessed by everyone, regardless of person, should be considered. For this purpose, the accessibility standards included in the legislation should be considered at the very beginning of the design and the built environment should be created accordingly. Thus, there will be no need for additional processing or improvement later. In practice, the possibility of comfortable movement is restricted or prevented by deliberately or unknowingly making designs outside the standards. Disabled people, elderly people, pregnant women, people with baby strollers and children are among the primary disadvantaged users. Most of the time, the movements of these users within the built environment are restricted, obstructed, and even pose the risk of an accident. In order to prevent these negativities, designs should be made in appropriate sizes, and accessibility should be the first priority so that everyone can reach everywhere safely at all times.

According to the Accessibility Guide (Republic of Turkey Ministry of Family and Social Services, 2024) accessibility; It is the ability of everyone to access and use any place and any service they want, independently and safely. The concept of accessibility was first included in the legislation in our country in 1997. In our country, there are legal regulations that will ensure that the design of spaces and buildings is accessible to everyone. Zoning Legislation, especially the Zoning Law No. 3194, Planned Areas Zoning Regulations, Parking Lot Regulations and Building Inspection Implementation Regulations; On the other hand, in accordance with the provisions of the disability legislation including the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Law No. 5378 on Disabled Persons, it is mandatory to make accessible design in the planning and project stages. The main standards regarding accessibility in our country are: TS 9111, TS 12576, TS 12460, TS ISO 23599, TS 13536, TS 23600, TS 13622 and TS 13882 standards (Republic of Turkey Ministry of Family and Social Services, 2024).

Within the scope of accessibility in universities, the "Higher Education Institutions Disabled Persons Consultation and Coordination Regulation" was published in 2010. The purpose of the regulation; To regulate the working procedures and principles of relevant commissions and units in order to facilitate the educational life of disabled students receiving higher education and to take the necessary measures and make arrangements in order to prepare the necessary academic environment and ensure full participation in education and training processes. Within the scope of this regulation, Disabled Student Units within the university and a Disabled Student Commission within the Council of Higher Education were established. The duties of the Disabled Student Commission and the Disabled Student Units include "to follow or ensure that the structures regarding the arrangement of university campuses for disabled people are made, to ensure that university campuses and the buildings and open areas in the campuses are accessible to disabled students, and to provide solutions to the accessibility and accessibility problems that disabled students may encounter in higher education." (Özkaraca and İnceoglu, 2021; Republic of Turkey Presidency Legislation Information System, 2010).

Success in accessibility of educational environments can improve the quality of community life as well as full participation in educational services and facilities. Since universities are seen as leading institutions in a city in contributing to the social, cultural, economic, political and technological development of the country, they should have a pioneering character in taking support and measures to ensure equal opportunities for everyone, including students, in society. However, there is still an inconsistency in the approach to planning inclusive campus design (Uyaroglu, 2015). Necessary importance is not given, especially during the implementation phase.

Recently, international researchers have also shown great interest in accessibility and sustainability on campuses. In order to provide an equitable education, campuses should be designed to meet the needs of everyone (Marcus and Wischemann, 1997; Mishchenko, 2013; Cadena, 2017; Cadena et al., 2020). In his study, Kim evaluated 4 universities in the USA within the scope of ADA (Americans with Disabilities Act) and UD (universal design) and aimed to provide an improvement direction for the Korean universal design application in line with the results. As a list of evaluation criteria; It covered the parking lot, main entrance, corridor, stairs, elevator, information system and public toilets, including disabled people. The evaluation level was created as a three-point Likert scale; good, medium, poor. Differences that will maximize the potential of Korean UD principles; Parts that do not have Braille signs for visually impaired individuals should be supported with electronic devices, the proportion of public spaces should be increased, attractive common physical space that can be easily used by everyone rather than a corporate appearance, and regular maintenance and improvement. The study was evaluated objectively through a checklist and subjectively through participatory workshops and meetings on a university campus in Turkey to identify the needs of disabled users in campus environments. The results obtained were used to inform practitioners (Mishchenko, 2013). In another example, types of barriers and facilitators were investigated for different disability groups in the USA. While structural obstacles constituted a problem for wheelchair users, navigation was a major problem for visually impaired individuals (Thapar et al. 2004).

In Türkiye, research on accessibility has begun to be given more emphasis in recent years. The restrictions that occur in practice as a result of design that is not made in accordance with standards have created the necessity of investigating this problem. The basis of the first and all studies is to determine the current situation. In other words, it is the comparison of the measures and criteria that should be in line with the standards and the measures and criteria designed in practice. In this direction, studies have been conducted on accessibility for open and public spaces (Ekici, 2021; Cüce and Ortaçşeme, 2020; Yenice, 2012; Onay at al., 2022) accessibility for buildings (Özdemir, 2020; Orakci, 2010) and university campuses, which are defined as miniatures of cities. They are grouped as evaluation of accessibility [Özkaraca and İnceoğlu, 2021; Arat and Güner, 2020; Tatal, 2018; Berktaş, 2016).

For example, in the study conducted by (Özkaraca and İnceoğlu, 2021), the current accessibility status of Düzce University Konuralp campus for disabled users was revealed and a campus accessibility map was created. Another study focused on the accessibility of the Faculty of Engineering, located in Eskişehir Technical University İki Eylül Campus, which received the Spatial Accessibility Orange Flag award in 2018. Qualitative research method was used in the study and a case study was conducted on the accessibility of places (Tatal, 2018). Within the scope of the master's thesis study, the concept of disability and the accessibility of university buildings were examined through the examples of Maltepe University and Sabancı University. While it was determined that Sabancı University Campus was accessible within the framework of standards, it was determined that the only accessible building in Maltepe University Campus was the Cultural Center. Improvements should be made to ensure that all campus areas comply with accessibility standards (Berktaş, 2016). Bajju and Kurnia (2019) examined the buildings on the campus in accordance with the relevant regulations and scored them according to whether their current state complies with the standards. The scores obtained as a result of the building evaluation results in terms of accessibility show that it is possible for disabled individuals to access all buildings independently.

In this study, the physical accessibility of Siirt University Kezer campus and the buildings within the campus, especially for physically and visually impaired students, was investigated in line with the standard (TS 9111) values used in Turkey. Outdoor walkways and ramps on walkways, access to sports fields, use of ATMs and car parks were examined. In the building interior evaluation, building entrances, building entrance ramps and doors, stairs, handrails, guideways and elevators were examined. These selected criteria were determined as a result of the study scans (Çivici and Gönen, 2015; Özkaraca and İnceoğlu, 2021). Compliance with the standard value of existing criteria; It was expressed in three categories as conforming to standards, not conforming and not available through measurements, observations and photographs. With the study, the current situation was determined, which parts were not done in accordance with the standards during the implementation phase and the areas that needed to be improved first were identified.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The main material of the study consists of Siirt University Kezer Campus located in Siirt province and the faculty buildings within the Campus. The buildings examined are shown in Figure 1. Other study resources include; It includes literature review on the subject, photographs taken in the study area, observations and measurements.

Siirt University was established with the law numbered 2809 published in the Official Gazette numbered 26536 dated 29.05.2007. It is a university open to development due to its new establishment. Within the university; 10 faculties: Education, Engineering, Faculty of Arts and Sciences, Economics and Administrative Sciences, Agriculture, Theology, Veterinary Medicine, Fine Arts and Design, Health Sciences and Medicine Faculty; 3 colleges: School of Physical Education and Sports, School of Foreign Languages and Tourism Management and Hotel Management; 4 institutes: Science, Social Sciences, Living Languages and Health Sciences Institute; There are 6 vocational schools: Social Sciences, Technical Sciences, Health Services, Kurtalan, Eruh and Design Vocational School. More than one faculty and department can share a building. The building locations considered are shown in Figure 1.



**Figure 1.** Study area-Siirt University

Research method; It consists of data collection through observation and photographs, measuring the necessary parts with a meter and comparing them with the standard value, analysis and evaluation. Within the scope of the study, the building interiors, building entrances, internal ramps and doors, access roads to the building, car parks, open areas, sports fields, ATMs and classrooms in the Kezer campus were examined and their current accessibility status was revealed. A total of 10 buildings on the university campus were evaluated, including the Rectorate, Engineering A, B, C Block, Education, Arts and Sciences, Physical Education and Sports, Theology, Agriculture and Library buildings. Priority accessibility criteria considered in buildings and access to buildings; pedestrian paths and sidewalks, disabled parking areas, building entrances, ramps and stairs.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Kezer Campus can be accessed from a total of 4 entrances. One entrance is used for pedestrian access only, allowing students living in the girls' dormitory located just outside the campus to easily access the campus. While both pedestrian and vehicle entrance is provided from the other three entrances, pedestrian entry is mostly from the main entrance. There is a turnstile system only at the main entrance, and disabled people can easily pass through that part. The door opened for transportation from the girls' dormitory is not suitable for wheelchair users. There is a level difference at the entrance and since the route ground is a stabilized road, it is difficult for wheelchair movement. Students and staff can come to the campus by personal vehicles and public transportation. While municipal buses have equipment that facilitates access for individuals with wheelchairs, unfortunately, minibuses do not have this facility. People coming by private vehicle can park in the parking lots close to the buildings and reach their buildings directly and easily. Although the parking lot is located close to each building, there is no special parking area reserved for the disabled in every car park.

#### 3.1. Entrance to buildings

According to TS 9111, barrier-free access must be provided to at least one entrance of the buildings. Entrances must be at least 90 cm wide. If a ramp is required, the slope of the ramps should not be more than 1:12 (8%). There should be railings on both sides of ramps that go higher than 15 cm. Railings should be 90 cm high from the ramp surface, and edge protections on the edges of the ramps should be at least 5 cm high (Republic of Turkey Ministry of Family and Social Services, 2024; ADA, 2010).



**Figure 2.** Accessibility at building entrances

Under this heading, an evaluation was made in terms of door size values and ease of entry into the building for disabled individuals (Figure 2). While the door widths of the buildings marked as not complying with the standards in Table 1 meet the minimum requirement of 90 cm, the doors' opening towards the outside and with difficulty makes it difficult for individuals with wheelchairs to enter the building. The use of photocell doors at building entrances makes it easier for disabled individuals to enter and exit the building. Photocell doors are marked with red stripes so that visually impaired people with limited vision can easily distinguish the glass door. In all buildings, tactile surfaces for the visually impaired have been created in front of the building entrance doors. At the entrances of buildings with ramps, the ramps are built in accordance with the standards.

### 3.2. Ramps

According to TS 9111, places at different levels at building entrances should be connected to each other with ramps. Ramp surfaces must be hard, non-slip and smooth. Ramps near building entrances should not be steeper than 1/12 (approximately 5°). It is recommended that the length of the ramps is not more than 6 m. For slopes between 1/15 and 1/12 (approximately 4° and 5°), the ramp length should be maximum 10 m. The net width of the ramps must be at least 100 cm, excluding all equipment on them such as protection curbs and handrails.



**Figure 3.** Building entrance and ramps inside

Since the Engineering A, B and C blocks and the entrance of the Faculty of Arts and Sciences are at the same level as the road level, there is no need for any ramps at the entrances of these buildings. Other building entrances have ramps and are suitable for wheelchairs. The ramps inside the building are built in accordance with the standards. The ramp column in Table 1 was evaluated over the ramps at the building entrances.

### 3.3. Ramps on the pedestrian way route

A ramp should be built to eliminate level differences on the pedestrian path. If the level difference is more than 1.3 cm, a ramp must be built. Ramps must have a flat, hard, stable and anti-slip surface, and there must be no drainage grids on them. The ramp surface length should not be more than 9 m. The slope of the ramps on the pedestrian route should be at most 5%. If the horizontal length of the ramp is more than 2 m or the height of the ramp is more than 15 cm, there must be guardrails on both sides of the ramp (TS 9111).

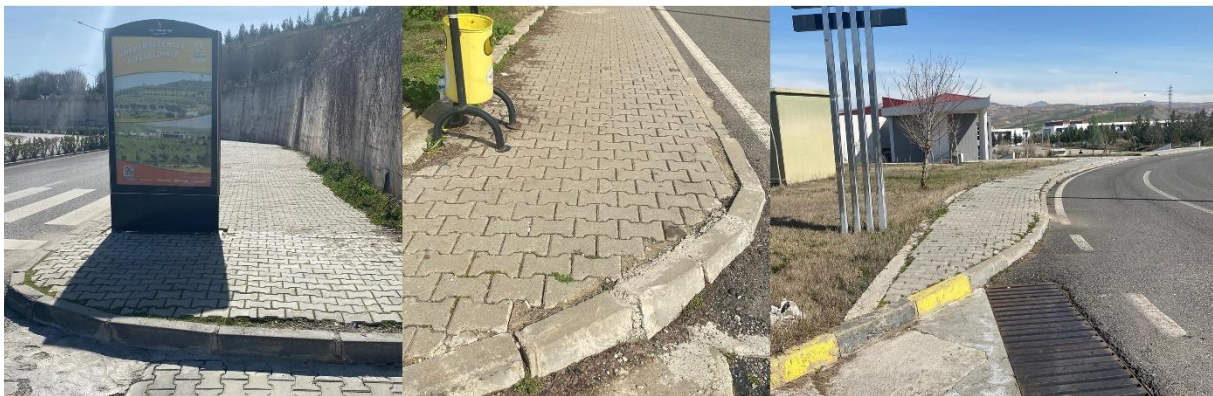




**Figure 4.** Ramps on pedestrian ways

Although the building entrance and the ramps inside them comply with the standards, the ramps on the pedestrian walkway have a maximum slope of more than 8%. It is not possible for a wheelchair user to use these ramps safely without assistance (Figure 4).

Additionally, there are no perceptible and guiding guide lines on the sidewalks within the campus. It was observed that the height of the pavements above the road level was close to the upper limit of 15 cm and higher (Figure 5). It has been observed that there are no ramps required to reach the pavement height, and the existing ramps are not continuous enough to ensure accessibility. It has been observed that equipment such as lighting lamps and garbage bins on the pavement are not placed in accordance with the standards in some places, reducing the effective walking width.



**Figure 5.** On-campus sidewalks

Accessibility conditions for entering the faculty buildings, rectorate and library buildings on the campus have been checked within the standards and are given in Table 1. In addition, the accessibility of places such as parking lots, walking paths and ATMs is also evaluated below.

Generally, when the accessibility levels of buildings on campus are evaluated on the basis of building entrance (Table 1); Since the building entrance doors of the Rectorate, the Faculty of Engineering, Block C, Faculty of Arts and Sciences, Agriculture and the School of Physical Education open outwards, it becomes difficult or even impossible for a wheelchair user to enter the building without assistance. Since other faculty building entrance doors are photocell-operated, entry and exit are very easy. Ramps have been built in buildings where there is a difference in elevation between the building entrance and the road. Ramps are built in accordance with standards. In 4 buildings, there is no need for a ramp element (Table 1). Stair and banister dimensions are suitable for all buildings. The guide lines intended for visually impaired individuals are not available in other buildings except the Faculties of Theology, Agriculture and Faculty of Arts and Sciences.

**Table 1.** Accessibility level of campus buildings

Buildings	CRITERIA				
	Building Entrances	Ramps	Stairs	Banisters	Guide Traces
Rectorate	-	X	✓	✓	X
Engineering Fac. A Block	✓	/	✓	✓	
Engineering Fac. B Block	✓	/	✓	✓	X
Engineering Fac. C Block	-	/	✓	✓	X
Education Fac.	✓	✓	✓	✓	X
Arts and Sciences Fac.	-	/	✓	✓	✓
Physical Education and Sports	-	✓	✓	✓	X
Theology Fac.	✓	✓	✓	✓	✓
Agriculture Fac.	-	✓	✓	✓	✓
Library	✓	✓	✓	✓	X

✓ Compliant with standards, - Not conforming with standards, X Not available in area, / Not needed

There are elevators inside the building to reach the upper floors. Generally, the elevators in the buildings are usable. At the time of the observation, only the elevator in Engineering C Block was out of use and there was no guide line in front of the elevator (Figure 6). Voice information is available in the elevators via Brail alphabet.

**Figure 6.** Elevators in buildings

There are ATMs in two different places on campus (Figure 7). When ATMs were examined in terms of accessibility, it was determined that ATMs were not usable and accessible. ATMs are placed on a platform above the road level. These units are not accessible to individuals in wheelchairs. There are no voice menu functions and embossed keyboards for visually impaired individuals, and there are no guide lines that will allow access to ATMs.



**Figure 7.** ATMs on campus

Sports fields on campus are not accessible to the visually impaired. Because there are no perceptible and guiding guide marks on the walking paths. Only two sports fields are suitable for individuals with wheelchairs. Because there is a level difference between the sports field and the road and there is no suitable ramp to overcome this level difference (Figure 8).



**Figure 8.** Access to sports fields

Additionally, there is a specially marked disabled parking space for one vehicle only in the Faculty of Engineering Block C parking lot. On the other hand, there is no suitable route to get out of the car in the parking lot and reach the building entrance. Individuals with walking disabilities are not considered in the classrooms, and there are no adequately wide desks for them. Since there are no parking lots or classrooms suitable for disabled students, their images are not included.

#### 4. CONCLUSIONS

Accessibility is an important concept in the construction of social inclusion. Universities provide individuals with social skills as well as education. At this point, accessibility directly supports the inclusion of disabled students in the entire university campus life. For the accessibility target, international and domestic standards should be taken into consideration during the design and construction of living spaces.

Within the scope of the study, the buildings and access to buildings within Siirt University Kezer Campus were examined within the concept of accessibility and under the supervision of current standards. Walking paths, sidewalks and ramps, parking lots, sports fields, ATMs, building entrance ramps and doors, stairs, handrails, guide tracks, elevators and classrooms within the study area were evaluated in terms of accessibility for disabled individuals. The lack of ramps on the roads and sidewalks that a disabled individual who comes to the campus by public transportation or private vehicle will use between getting off at the bus stop and reaching the buildings makes it very difficult to cross to the other side of the road and makes it impossible for disabled individuals who use wheelchairs. The same situation applies to a visually impaired individual because there are no perceptible and guiding guide lines. An individual in a wheelchair who reaches the entrance of the building experiences problems at the building door of the Rectorate, Engineering Cblok, School of Physical Education and Sports, Faculty of Arts

and Sciences and Agriculture. Because the doors of this building are doors that open outwards with difficulty. If these doors are converted to photocell doors like other faculty doors, the goal of accessible building entrance will be achieved.

In order to remove obstacles to accessibility; It is important to ensure the continuity of pedestrian paths, pavements and ramps by arranging pedestrian paths and ensuring that building entrances comply with the specifications specified in the standards. Except for Engineering C Block, there is no separate parking space reserved for disabled people in the parking lot of any building. In addition, the lack of ramps to reach the building from the parking lots significantly affects accessibility for disabled use. None of the ATMs belonging to different banks on campus are suitable for disabled use. There are no tables and chairs in the classrooms for the use of disabled individuals.

Within the scope of the study, determinations and evaluations were made through TS 9111 used in our country, and the importance of increasing the accessibility of pedestrian paths, parking lots, ATMs and building entrances, and building interior elements with the determined regulations was emphasized. Although the standard used in our country provides transportation comfort in favor of disabled individuals, the main problem is that the standards are not adhered to in the application part. Providing precise inspections during the implementation phase will eliminate this problem. In addition, taking into account the universal design principles in the implementation part, as well as the TS 9111 standard, will be an important step in internationalization. Additionally, as a result of not taking spatial needs into account, user feedback on the use of the design is often missing and thus little is actually known about users' spatial experiences. Communication between disabled individuals and designers will ensure the emergence of reliable information regarding the inclusive design process. For a barrier-free university, requirements must be taken into account in the planning, design and implementation stages.

Additionally, today is the age of technology. With technology-based applications on campus, the movements of disabled individuals will become easier and they will be able to socialize faster. For example, the application of an audio portable device that can guide visually impaired individuals in places where there is no Braille alphabet and guide lines will create a practical and safe movement area. Additionally, charging stations for wheelchair users should be considered within the campus area.

## REFERENCES

- Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. (2024). Erişilebilirlik Kılavuzu Binalar. Ankara: Uzman Matbaacılık. [PDF sürümü.] Erişim adresi: [https://www.aile.gov.tr/media/161634/erisilebilirlik\\_kilavuzu\\_binalar\\_2024.pdf](https://www.aile.gov.tr/media/161634/erisilebilirlik_kilavuzu_binalar_2024.pdf).
- Arat, Y., Güner, M., Evrensel tasarım ilkeleri kapsamında üniversite yerleşkesinde erişilebilirliğin incelenmesi: ODTÜ Örneği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(8), 210-229, 2020.
- Baju, A. W., Kurnia, W., The building assessment of accessibility for the disabled people on 1st campus UPGRIS. In 1st International Conference on Education and Social Science Research (ICESRE 2018) (pp. 135-141). Atlantis Press, 2019.
- Berktaş, T. G., Engelliler için erişilebilirlik: Maltepe Üniversitesi ve Sabancı Üniversitesi örneği (Master's thesis, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2016.
- Cadena, R. P., de Andrade, M. O., Meira, L. H., & de Freitas Dourado, A. B., The pursuit of a sustainable and accessible mobility on university campuses. *Transportation research procedia*, 48, 1861-1880, 2020.
- Cadena, R. P., A busca por mobilidade e acessibilidade seguras e inclusivas em campi universitários: o caso do Campus Joaquim Amazonas da UFPE (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco), 2017.
- Cüce, B., Ortaçesme, V., Kentsel yeşil alanlara erişilebilirlik. *Peyzaj*, 2(2), 65-77, 2020.
- Çivici, T., Gönen, D., Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinin bedensel engelli öğrencilerin sosyal alanlara ulaşılabilirliğinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 639-646, 2015.
- Ekici, B., Engelli kullanımı açısından yaya yollarının erişilebilirliğinin değerlendirilmesi: Çorlu (Tekirdağ) örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 115-124, 2021.

- Enstitüsü, T. S., TS 9111 Özürlüler ve hareket kısıtlılığı bulunan kişiler için binalarda ulaşılabilirlik gerekleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- Kim, W., A study on the evaluation and improvement of student convenient facilities at university campuses, based on universal design concept focused on the university campuses in Texas, USA. The Journal of Korean Institute of Educational Facilities. <http://dx.doi.org/10.7859/kief.2014.21.3.019>.
- Marcus, C. C., & Francis, C., People places: design guidelines for urban open space. John Wiley & Sons, 1997.
- Mishchenko, E. D., Towards inclusive campus environments: Evidence-based research of a university campus. Open House International, 38(1), 31-42, 2013.
- Onay, B., Şahin, C., Sava, B., Bayazıt, E., Parklarda erişilebilirlik: Afyonkarahisar Prof. Dr. Veysel Eroğlu Parkı örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(Ek (Suppl.) 1), 321-331, 2022.
- Orakci, H., Van il merkezindeki kamu binalarında, özürli insanlar için var olan mimari düzenlemelerin değerlendirilmesi (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü), 2010.
- Özdemir, A., Kamu hizmet alanının fiziksel erişilebilirlik açısından değerlendirilmesi: Pamukkale Belediyesi örneği, Artium, 8 (2), 118-127, 2020.
- Özkaraca, N., İnceoğlu, M., Üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik değerlendirmesi: Düzce Üniversitesi Kampüsü örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(5), 1891-1908, 2021.
- Rhoads, M. A., The ADA companion Guide: Understanding the Americans with disabilities act accessibility guidelines (ADAAG) and the architectural barriers act (ABA), 2010.
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (2010, 14 Ağustos). Yükseköğretim kurumları engelliler danışma ve koordinasyon yönetmeliği. [Online]. Erişim: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14214&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- Total, O., Üniversite yerleşkeleri ve erişilebilirlik. Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, 6(15), 753-775, 2018.
- Uyaroğlu, İ. D., "Performance evaluation and design guidelines for equitable access of students with disabilities in university campus outdoor environments", Unpublished PhD Thesis, Ankara: Middle East Technical University (METU), Department of Architecture, 2015.
- Yenice, M. S., Kentsel yeşil alanlar için mekânsal yeterlilik ve erişilebilirlik analizi; Burdur örneği, Türkiye. Turkish Journal of Forestry, 13(1), 41-47, 2012.

Araştırma Makalesi

## ALTERNATİF DLT SİNYALİZE KAVŞAĞIN SİMÜLASYON İLE ANALİZ EDİLMESİ

**Hüseyin YILMAZ<sup>†</sup>, Mustafa ILICALI<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sütluce, İstanbul, Türkiye**huseyin-yilmaz@outlook.com.tr, milicali@ticaret.edu.tr**

0009-0001-4608-4508, 0000-0001-6453-7753

**Atıf/Citation:** YILMAZ, H., ILICALI, M., (2024). Alternatif Dlt Sinyalize Kavşağın Simülasyon ile Analiz Edilmesi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.213-235, DOI: 10.56809/icujtas.1494087

### ÖZET

Dünya genelindeki kavşak uygulamalarına bakıldığında Eşdüzey Kavşaklar ve Farklı Düzeyli Kavşaklar arasında geleneksel olmayan yeni kavşak tasarımları ortaya çıkmıştır. Displaced left turn (DLT, Yerinden edilmiş sola dönüş) kavşak tasarımı da geleneksel olmayan kavşak tasarımlarından birisidir. Bu kavşaklar literatürde Continuous flow intersection (CFİ, Sürekli akış kesişimleri) olarak da bilinirler. Bu makalede DLT kavşak tasarımına alternatif yeni bir kavşak tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarım geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ile beş ayrı araç hacim senaryosunda PTV Vissim ve Synchro simülasyon programları ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; ortalama gecikme süresinde %61.54, ortalama hızda %101.70, toplam seyahat süresinde %33.82, toplam gecikme süresinde %51.74 iyileşme olduğu görülmüştür.

Alternatif DLT tasarımının, DLT tasarımına göre daha küçük kavşak alanlarında uygulanabilecek bir tasarım olması sebebiyle dar kentsel alanlarda çözüm olarak uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif DLT, sinyalize kavşak, yenilikçi kavşak, DLT, CFI

## ANALYSIS OF ALTERNATIVE DLT SIGNALIZED INTERSECTION WITH SIMULATION

### ABSTRACT

When we look at intersection applications around the world, new non-traditional intersection designs have emerged between At-Grade Intersections and Different Level Intersections. Displaced left turn (DLT) intersection design is also one of the non-traditional intersection designs. These intersections are also known as Continuous flow intersections (CFI) in the literature. In this paper, a new intersection design has been created as an alternative to the DLT intersection design. This design was analyzed and compared with the traditional signalized intersection design in five different vehicle volume scenarios with PTV Vissim and Synchro simulation programs. According to the analysis results; It was observed that there was an improvement of 61.54% in average delay time, 101.70% in average speed, 33.82% in total travel time, and 51.74% in total delay time.

It has seen that alternative DLT design can be preferred as a solution in narrow urban areas because it is a design that can be applied in smaller intersection areas compared to the DLT design.

**Keywords:** Alternative DLT, signalized intersection, innovative intersection, DLT, CFI

Geliş/Received : 01.06.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 08.07.2024  
Kabul/Accepted : 24.07.2024

## 1. GİRİŞ

Kavşak, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alandır. Kavşaklar genellikle üç veya dört kollu olup, dörtten fazla kollu olması arzu edilmez (KGM, 2005).

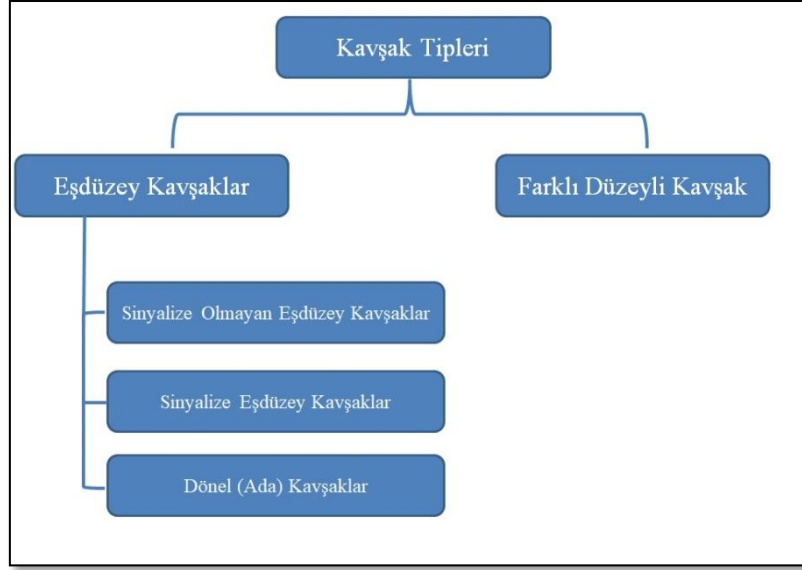
Kavşaklar karayolunun önemli bir unsurudur. Bunun nedeni, yolun performansı, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özelliklerin kavşakların tasarımına bağlı olmasıdır. Kavşaklar iki veya daha çok karayolundaki doğrusal veya kesişen trafik akışlarını kapsadığı gibi, bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de içerir. Bu hareketler, kavşak tipine bağlı olarak, çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolü ile sağlanır (KGM, 2005). Nüfus istatistiklerine bakıldığında dünyada ve ülkemizde kırsaldaki nüfus azalmakta, kentlerde ise nüfus artmaktadır. Gün geçtikçe artan nüfus sonucunda kent içi karayollarında var olan trafik problemlerinin artması, herhangi bir trafik problemi olmayan kentlerde ise trafik sorunları oluşturması beklenir.

İstatistiklere göre, hemen her ülkede, kent içi ve kırsal yollarda, trafik kazalarının %40-%60'ı birden fazla yolun birleşmesi veya kesişmesi ile oluşan bu eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kent içi ulaşımında, gecikmelerin %70'den fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır. Bu iki husus yol ve trafik mühendisliğinde kavşaklara özel önem verilmesinin başlıca sebepleridir (Yayla, 2004).

Sanayileşme süreciyle başlayan ekonomik gelişme ve nüfusun artışı ile taşıt sayıları giderek artmaktadır. Bu artış özellikle şehir içi trafik ağlarında çeşitli sorunların oluşmasına yol açmaktadır. Bu sorunların başında trafik kazaları, çevre kirliliği, trafik sıkışıklıkları ve gecikmeler gelmektedir. Kavşaklar, farklı doğrultulardan gelen trafik akımlarının kesişim noktaları olduğundan, yol ağı genelinde görülen trafik sirkülasyon sorunlarının büyük bir kısmı da kavşak bölgelerinde yaşanmaktadır (Murat, 1996).

Literatürde, karayolu ağlarında hemzemin kavşaklar ve yol koridorlarında geometrik düzenleme önerileri ile çeşitli trafik performans parametrelerinde iyileşmelerin olduğunu gösteren birçok çalışma karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Akın vd., (2022) çalışmalarında, Samsun ilinde Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan 4 adet sinyalize dönel kavşağın kaldırılarak dört kollu sinyalize kavşak yapılmasını ve yan yolların iptal edilerek ana akım üzerinde şerit sayılarının artırılmasını önerdikleri bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında, tasarımın verimliliğinin değerlendirilmesi için Vissim simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Oluşturdukları yeni geometriyle birlikte sinyalizasyon faz planı ve devre sürelerini değiştirilmesinin ortalama kuyruk uzunluğu, en büyük kuyruk uzunluğu ve araç gecikme süreleri parametrelerinde inceleme yapılan kavşaklardan üçünün kavşak kollarının %75'inde, diğer kavşağın ise kavşak kollarının %100'ünde iyileşme sağlandığı ve trafiğin akıcı bir şekilde devam ettiği sonucuna varılmıştır. (Akın vd., 2022). Benzer şekilde Bayata ve Bayrak (2018), Erzurum ilinde kavşak olmayan bir bölgeye yarım yonca yaprağı şeklinde kavşak geometrisi önermişlerdir. Tasarım Vissim yazılımı kullanarak analiz edilmiş, seyahat süreleri ve taşıt gecikmelerinde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyon oranlarında %23 oranında azalma olduğu görülmüştür.

Bu makalede de hemzemin kavşaklar için alternatif bir geometri önerisi geliştirilmiş ve Vissim ve Synchro simülasyon programları kullanılarak test edilmiştir.



**Şekil 1.** Karayolları kavşak tipleri (KGM, 2005)

Karayollarının kesişmesiyle oluşan kavşaklar genel olarak eşdüzey kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar olarak ikiye ayrılır. İsimlerinden anlaşılacağı üzere eşdüzey kavşaklar; kavşağa bağlanan yolların aynı yüzeyde birleşmesiyle oluşan alanlardır, bu tip kavşaklara hemzemin kavşakta denir. Farklı düzeyli kavşaklar ise kavşağa bağlanan yolların birinin veya birkaçının farklı yüzeyde birleşmesiyle oluşan alanlardır, bu tip kavşaklar katlı kavşak olarak da isimlendirilirler.

Kent içi yol ağının en kritik noktaları olan kavşaklar trafiğin yoğunluğuna ve çevre şartlarına göre hemzemin ya da katlı kavşak olarak tasarlanırlar. Hemzemin kavşaklar, maliyetinin düşük olması, şehrin silüetini bozmaması ve daha erişilebilir olması nedeniyle katlı kavşaklara göre daha fazla tercih edilmektedir (Mersinlioğlu vd., 2022).

Eşdüzey ve Farklı düzeyli kavşakların imalat ve bakım maliyetleri karşılaştırıldığında arada büyük farkların olduğu açıktır. Kent içinde çoğunlukla farklı düzeyli kavşak yapılması istenir fakat ulaşılabilir bir hedef değildir. Ayrıca kent merkezlerinde büyük beton ayaklar üzerinde inşa edilen köprüler ile oluşturulan kavşaklar trafiği rahatlatırsa bile kent silüetini bozması sebebiyle istenmemektedir.

Eşdüzey Kavşaklar, Denetimsiz, Sinyalize ve Dönel kavşaklar olmak üzere üç farklı şekilde uygulanır. Kavşakların standartlara göre uygun geometride olmaları çok önemli bir konu olmasına rağmen ülkemizde uygun geometrik yapıya sahip olmayan birçok kavşak bulunmaktadır. Artan trafik talepleri sonucunda geometrik olarak da uygun olmayan kavşak noktalarında trafik kazaları da dâhil birçok sorunla karşılaşmaktadır. Büyükşehirlerde daha sıklıkla karşılaştığımız sinyalize kavşaklar işletim moduna göre Sabit Süreli, Trafik Uyarımlı ve Adaptif kavşak olarak üçe ayrılır. Kavşak noktasında yapılan taşıt ve yaya sayımlarına göre sinyal süreleri hesaplanarak sinyal programı oluşturulur ve kavşak kontrol cihazına yüklenerek kavşak devreye alınır. Bu şekilde çalışan kavşaklara sabit süreli kavşaklar denir. Bu kavşaklarda saat dilimlerine ayrılarak, her saat dilimine farklı sinyal süreleri de verilebilir fakat sabit süreli kavşaklar anlık değişen trafik taleplerinde çözüm olmamaktadır.

Trafik Uyarımlı kavşaklar kendi içerisinde Yarı Trafik Uyarımlı ve Tam Trafik Uyarımlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Yarı Trafik Uyarımlı kavşaklarda, kavşağa bağlanan yolların bir ya da bir kaçında taşıt algılayıcı sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı araç talepleri izlenerek önceden belirlenen minimum ile maksimum değerler arasında değişen yeşil sinyal süreleriyle işletilebilmektedir. Gelen araç taleplerine göre sinyal süreleri değişebildiği gibi hiç araç olmaması durumlarında yeşil süre verilmeyip faz atlaması yapılmaktadır. Tam Trafik Uyarımlı olarak çalışan kavşaklarda, kavşağa bağlanan bütün yollarda sensörler konumlandırılmıştır. Bu sensörler ile tüm akım kollarına değişken yeşil süreler verilebilmektedir.

Karayolu üzerinde taşıtlar ile yayaların kesiştiği noktalarda yapılan sinyalize yaya kavşakları Yarı Trafik Uyarımlı ve Tam Trafik Uyarımlı işletim modlarında çalıştırılabildiği gibi diğer işletim modlarında da çalıştırılabilir. Bir yaya kavşağında yaya butonları bulunması durumunda Yarı Trafik Uyarımlı, anayolda ilave olarak sensör bulunması durumunda ise Tam Trafik Uyarımlı olmaktadır.



Adaptif sinyalize kavşağın giriş ve çıkış kollarına şerit bazlı taşıt algılayıcı sensörler bulunur. Sensörlerden alınan taşıt sayımı ve işgalie verileriyle anlık süre hesaplamaları yapılarak değişken yeşil süreler üretilebilmektedir. Bu sistem ile kavşağın çıkış noktalarındaki trafik durumu da ölçülebildiği için, çıkış kollarında tıkanma oluşması durumunda ona uygun sürelerle işletilebilmektedir. Adaptif kavşaklar diğer sinyalize kavşaklara göre daha gelişmiş kavşak sistemleri olsalar da daha fazla sensör kullanılması sebebiyle daha yüksek maliyetlidir. Sinyalize kavşaklarda uygun işletim modu seçilerek, kavşakta oluşan gecikme sürelerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Sinyalize kavşaklarda aynı sürede hareket edebilen taşıt ve yaya akımlarının birlikte oluşturduğu kümelere faz denir. Tüm akımların geçişini sağlayacak şekilde fazların oluşturduğu döngüye periyot denir. Sinyalize kavşaklarda faz ve periyodun önemi büyüktür çünkü bir rota üzerinde veya lokal bir kavşakta ortalama hız, ortalama gecikme ve seyahat süresi gibi performans verilerini direkt olarak etkiler.

Dünya genelindeki sinyalize kavşak uygulamalarına bakıldığında sinyalize kavşak tasarımlarının Geleneksel tasarım ve Geleneksel olmayan tasarım olarak ikiye ayrıldığı görülmüştür. Geleneksel olmayan kavşak tasarımları, Yenilikçi kavşak tasarımları olarak da isimlendirilmektedir. Bu tasarımlar yüksek yoğunluktaki hemzemin sinyalize kavşaklara, çok yüksek maliyetli Farklı düzeyli kavşak yapılmasına gerek duyulmadan daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Birçok farklı geleneksel olmayan kavşak tasarımı bulunmaktadır. Bu kavşak tasarımlarından bir tanesi Displaced Left Turn (DLT, Yerinden edilmiş sola dönüş) olarak isimlendirilmiştir. Bu kavşaklar literatürde Continuous Flow Intersection (CFI, Sürekli akış kesişimleri) olarak da bilinmektedir. ABD ve başka ülkelerde de uygulamaları bulunan DLT tasarımı üzerine birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. 2014 yılında ABD Ulaştırma Bakanlığı, Federal Karayolu İdaresi tarafından DLT Yerinden edilmiş sola dönüş kavşağı bilgilendirme rehberi hazırlanmıştır. (FHWA, 2014)

Bu çalışmada DLT tasarımına alternatif olarak yeni bir kavşak tasarımı yapılmıştır, bu tasarımda DLT tasarımına benzer olarak sola dönüş akımı yolun en soluna taşınarak kesişim sayısı azaltılmıştır. Kavşak noktasında sağa dönüş hareketleri bakımından DLT tasarımına göre farklılık gösteren bu yeni tasarım, DLT kavşağına göre daha küçük kavşak alanlarında uygulanabilir özelliktedir.

Bu makalede oluşturulan Alternatif DLT kavşak tasarımı geleneksel dört kollu sinyalize kavşak tasarımı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada PTV Vissim ve Synchro simülasyon programları kullanılmıştır. Farklı trafik hacimlerinde karşılaştırma yapmak amacıyla beş ayrı araç trafik hacim senaryosu oluşturulmuştur.

Bu iki kavşak modelinin performans değerlerinin karşılaştırılmasında PTV Vissim simülasyon programının, ortalama gecikme süresi, ortalama durma sayısı, ortalama hız, toplam seyahat süresi ve toplam gecikme süresi verileri kullanılmıştır. Sinyal süre optimizasyonu kısmında ise Synchro programı kullanılmıştır.

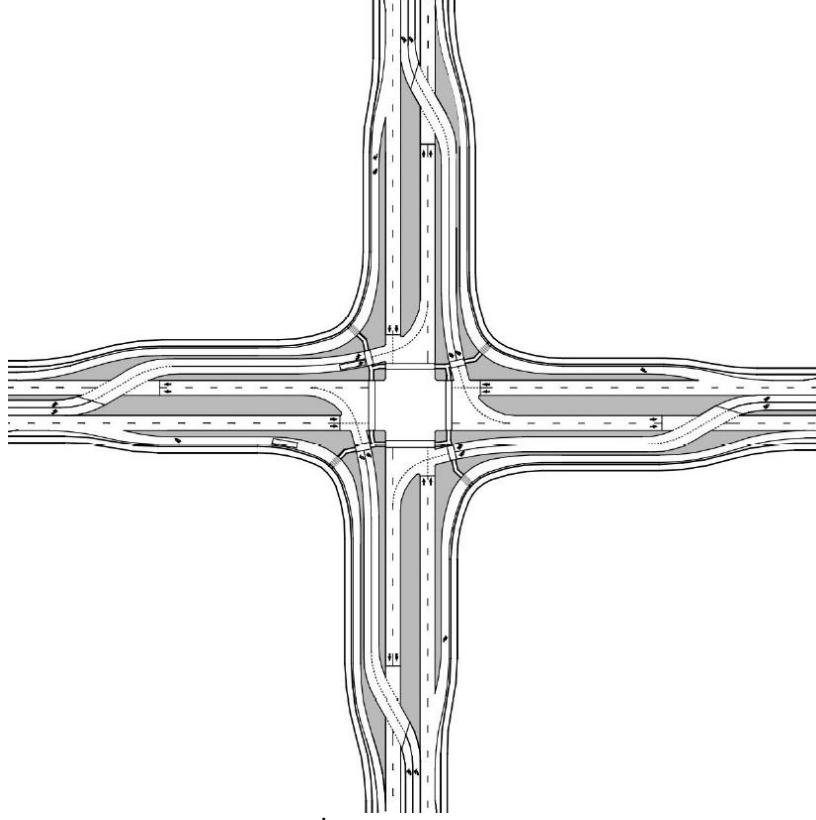
## 2. DLT TASARIMI

DLT kavşağın çalışma prensibi konsept olarak ana ve alt kavşaklardan oluşmaktadır. Bu tasarımda kesişimlerin azaltılması amacıyla sola dönüş talepleri alt kavşaklar ile karşı trafik akışının soluna taşınmıştır. Bu sayede karşılıklı olarak ana yollara yeşil ışık yandığında sola dönüş hareketleri de aynı zaman aralığında yapılabilmektedir. Kavşakta sağa dönüş yapacak araçlara hizmet etmesi amacıyla sağa dönüşler için yeni bir yol açılmıştır. Bu yolun sağa dönüş alanında bulunan, yerinden edilmiş sola dönüş cebi uzunluğu kadar devam etmesi ve bu yol bitiminden sonra ana yola katılması düşünülmüştür. Bu kavşak tasarımları faz planlarında sola dönüş aşamasını ortadan kaldırır. Bir DLT kavşağında trafik sinyali aşamalarının ve çakışma noktalarının sayısını (kullanıcı yollarının kesiştiği yerler) azaltılır, bu da trafik operasyonlarında ve güvenlik performansında iyileştirmelere olanak sağlayabilir. (FHWA, 2014)

Yerinden edilmiş sola dönüşlü kavşaklar (DLT), ana kavşaktaki sola dönüş hareketlerini hariç tutarak, yoğun sola dönüş trafik hacimleri nedeniyle sıkışık olan geleneksel kavşakların operasyonel performansını artırmak için tasarlanmıştır. Bu da olası çakışma noktalarının sayısını azaltmak ve kavşak kapasitesini artırmakla sonuçlanır (Abdelrahman vd., 2020). Geleneksel kavşak tasarımına kıyasla daha maliyetli bir tasarımdır ve trafik yoğunluğu yaşanmayan, doyumluk derecesinin 0,9'dan düşük olduğu durumlarda DLT kavşağın daha fazla durmaya yol açabileceği ve bu durumun sürüş konforunu azaltabileceği ve hava kirliliğini artırabileceği belirtilmelidir (Zhao vd., 2015). Türkiye de bu kavşak tasarımları henüz yaygın olmasa da dünya genelinde bilimsel çalışmalar yapılmakta ve çeşitli yerlerde uygulamaları görülmektedir.

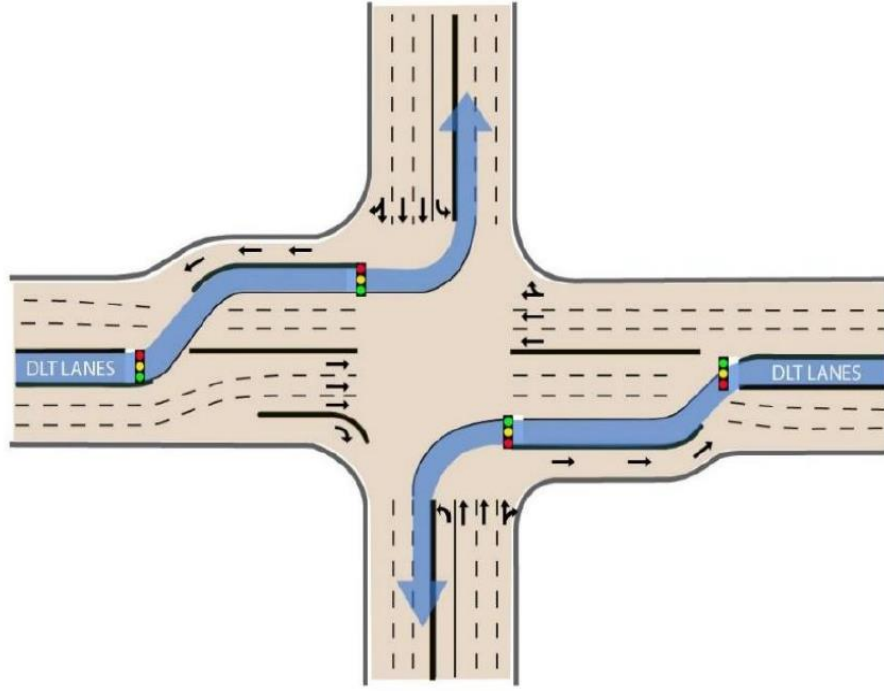
Yerinden Edilmiş Sola Dönüş kavşağı (DLT), eşdüzey kavşaklar için alternatif bir tasarımıdır. Francisco Mier tarafından ilk olarak 1987 de önerilmiştir. Mier bu tasarımının patentini almıştır (United States patent, US5049000, 1991).

Sinyalize kavşaklarda yoğun sola dönüşler sebebiyle darboğaz oluşabilmektedir. Kavşağın DLT tasarımına dönüştürülmesiyle sola dönüş hareketiyle oluşan darboğazın, ana kavşaktan alt kavşaklara kaydığı görülmüştür (Carroll ve Lahusen, 2013).



Şekil 2. DLT ve CFI olarak isimlendirilen kavşak tasarımı (FHWA, 2014)

Bir DLT tasarımında, başlangıçta sola dönüş ve geçiş aşamalarında tahsis edilen yeşil süre, tüm trafiğe hizmet etmek için birlikte özetlenebilir, bu nedenle kavşak kapasitesini önemli ölçüde artırır. DLT tasarımının diğer geleneksel olmayan tasarımlardan daha iyi performans gösterdiği rapor edilmiştir (Reid ve Hummer, 2001; Jagannathan ve Bared, 2005; El Esawey ve Sayed, 2007; Hughes ve vd., 2010; Autey ve vd., 2013; Wu vd., 2014).



Şekil 3. DLT Tasarımında sola dönüş akımı (Wenrui Qu vd., 2020)

Geleneksel olmayan kavşak tasarımlarından biri olan DLT çeşitli analiz ve mikro simülasyon programları ile test edilmiş, mevcut geleneksel eşdüzey kavşaklara göre performans olarak daha iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır. (Reid ve Hummer, 2001; Jagannathan ve Bared, 2005; El Esawey ve Sayed, 2007; Hughes ve vd., 2010; Autey ve vd., 2013; Wu vd., 2014; Abdelrahman vd., 2020). Bu tasarım yenilikçi bir tasarım olması ve iyi sonuçlar vermesi sebebiyle dünya genelinde ilgi çekmektedir. Kavşağın trafik güvenliği açısından incelenmesi, yerinden edilmiş sola dönüş yolu uzunluğu, yakın mesafelerde bulunan kavşaklarda DLT uygulaması vb. konularda birçok çalışma yapılmıştır.

### 2.1. DLT'nin Trafik Güvenliği Açısından İncelenmesi

Tasarımı güvenlik açısından inceleyen makaleler değerlendirildiğinde daha eski tarihli makalelerde tehlikeli manevraların yaşandığı belirtilmiştir. Örneğin; Park ve Rakha, Utah ve Louisiana'daki iki DLT kavşağın video analizine dayalı olarak bu tasarımın güvenlik etkilerini analiz etmiştir. Bu tasarımın uygulamasında, kesişim sayısını %50 oranında azaltmasına rağmen, çok sayıda tehlikeli manevrayla sonuçlandığı görülmüş ve bu tehlikeli manevraların, sürücünün bu tür kavşaklara aşına olmamasından kaynaklandığını iddia etmişlerdir (Park ve Rakha, 2010).

Güvenlik yönünden inceleyen yeni tarihli makaleleri incelediğimizde trafik kazalarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Örneğin: San Marcos Teksas'ta bulunan iki DLT kavşağın güvenlik performansını değerlendirmek üzere, 2011 den Nisan 2018'e kadar olan kilitlenme verilerini TxDOT Kilitlenme Kayıt Bilgi Sisteminden (CRIS) almıştır. Bu çarpışma verileri, istatistiksel analiz ve çarpışma diyagramına dayalı analiz olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, DLT'nin incelenen kavşaklarda genel çarpışma frekanslarının artırmadığını göstermiştir. DLT sayesinde sola ve sağa dönüşlere bağlı trafik kazalarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bunun dışında, DLT kavşaklarda trafik işaretleri, geometrik tasarım ve erişim yönetimi ile ilgili güvenlik sorunları da oluşmuştur. Bu nedenle, DLT kavşaklarının uygulanmasında, trafik mühendislerinin erişim yönetimi, trafik sinyali koordinasyonu ve sürücü kabulü dâhil olmak üzere DLT kavşak tasarımının farklı yönlerini dikkatlice düşünmesi gerekir (Qu vd., 2020).

Sürücü aşinalığının olmaması ya da az olması sonucunda, olumsuz güvenlik problemleri yaşanabilir. Bu noktada alternatif tasarımın uygulamaya uygun olup olmadığına karar vermek için maliyet ve faydaların farklı yönlerinin değerlendirilmesi gerekir. Güvenlik ve performans penceresinden birlikte bakıldığında bu tasarımın (DLT) uygulanabilir olduğu görülmüştür. Ancak DLT'lerin birçok çarpışma türü için geleneksel kavşaklara kıyasla olumsuz güvenlik etkileri olduğu, yine de operasyonel performansın daha verimli olabileceği sonucunu vermiştir (Abdelrahman vd., 2020).

## 2.2. Yerinden Edilmiş Sola Dönüş Yolu Uzunluğu

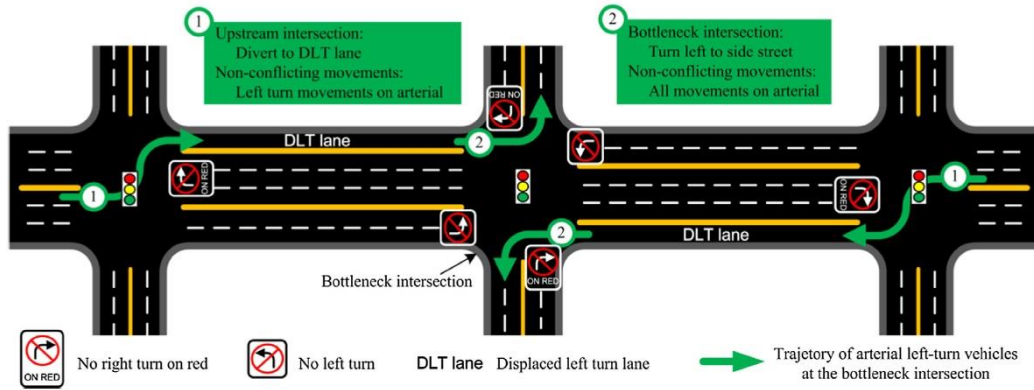
Çoğu durumda, sola dönüş şeridinin optimum uzunluğunun, maksimum 150 m seçildiği gözlemlenir. Bunun nedeni kısmen, yeri değiştirilen sola dönüş şeridinin, kuyrukta bekleyen araçları barındıracak kadar uzun olması gerektiğidir. Ancak, kaydırılan sola dönüş şeridinin daha uzun olması, izin verilen aralıkta daha fazla yeşil süre verilmesine yol açar.

Çoğu durumda ana kavşağın sinyal süre planlarına göre yeri değiştirilen sola dönüş şeridi uzunluğu daha da artırılabilir. Ancak bu durumda, yerinden edilmiş sola dönüş şeridi boyunca yer alan parsellere doğrudan erişime kısıtlamalar getirir, bu sebeple DLT geçişi genelde ana kavşağın yaklaşık 90-130 m yukarısında bulunur (Hummer ve Reid, 2000; Bared, 2009; Hughes vd., 2010; Zhao vd., 2015).

## 2.3. Yakın Mesafede Bulunan Kavşaklarda Geleneksel Olmayan Kavşak Tasarımı

Tipik olarak, bir CFI tasarımında alt kavşakların, ana kavşağın 90-130 m yukarısında kurulması önerilir (Bared, 2009; Hummer ve Reid, 2000), oysa bir kentsel şehirde bir arter boyunca peş peşe kavşaklar arasındaki bağlantı uzunluğu genellikle 300 m civarındadır. Dar kentsel alanlarda peş peşe kavşaklar arasındaki kısa bağlantı uzunlukları göz önüne alındığında, bir CFI inşa etmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir.

Geleneksel olmayan kavşaklarda alt kavşak mesafesi için optimum mesafeler üzerine çeşitli çalışmalar yukarıda da bahsedildiği gibi yapılmıştır. Mevcut durumda dar kentsel alanlarda birbirlerine yakın mesafelerde kavşak olması durumunda bu mesafeler sağlanamayacaktır. Bu sebeple dar kentsel alanlar için basitleştirilmiş bir sürekli akış kesişimleri için CFI-Lite tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarım alt kavşakların kurulmasına ihtiyaç duymaz. Bu nedenle kavşakların yakın aralıklı olduğu kentsel arterler için idealdir. Yol çalışmaları fazla olmasa da, geleneksel kavşakların CFI-Lite kavşaklara dönüştürülmesi için gerekir.



Şekil 4. CFİ Lite kavşak tasarımı (Sun vd., 2015)

## 2.4. DLT'nin Avantajları ve Dezavantajlarının Özeti

DLT kavşakları, çok modlu hususlar, güvenlik performansı, operasyonlar, geometrik tasarım, mekânsal gereksinimler, inşa edilebilirlik ve bakım ile ilgili benzersiz özelliklere sahiptir.

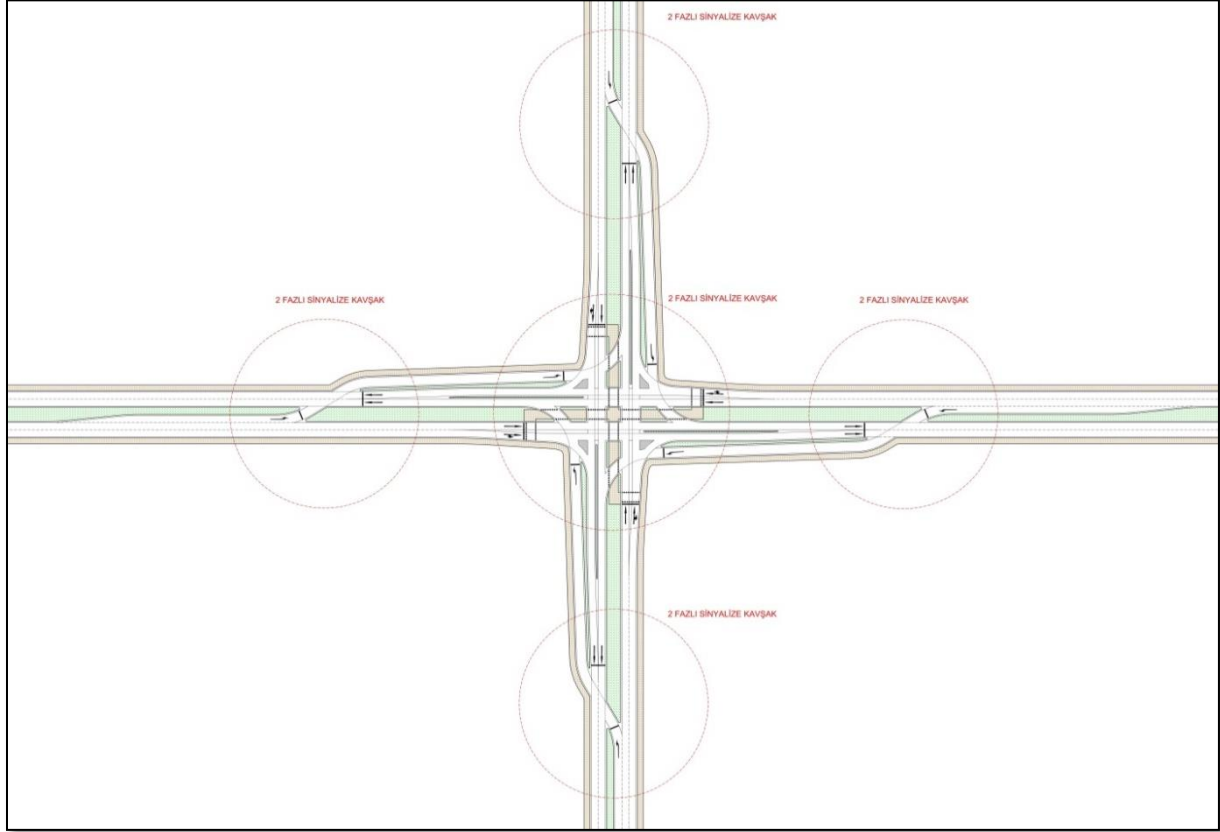
Aşağıdaki 'Yerinden Edilmiş Sola Dönüş Bilgilendirme Kılavuzu' kullanıcılar, politika yapıcılar, tasarımcılar ve planlayıcıların bu tür alternatif kavşak formunu düşünürken anlamaları için DLT kavşaklarının başlıca avantaj ve dezavantajlarına genel bir bakış sağlar.

**Tablo 1.** DLT Avantajları ve Dezavantajları (FHWA, 2014)

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
<b>Motorsuz Kullanıcılar</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Bisikletler ve yayalar aynı seviyede ağırlanabilir.</li> <li>* İki aşamalı sola dönüş yaparken sığnağa sahiptir. (Bisiklet için)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*2 aşamalı geçiş gerektirebilir.</li> <li>*Yayalar için dolaylı hareketler gerekli olabilir.</li> <li>*Daha uzun yaya geçitleri.</li> <li>*Görme engelli yayalar için zorluk oluşturur.</li> </ul>
<b>Emniyet</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Geleneksel Kavşaklara göre daha az çatışma noktası vardır.</li> <li>*Ana caddelerde daha az gecikme ve daha az duraklama sonucunda arkadan çarpma oranlarını azaltabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Sürücüler kavşağa daha az aşına olabilir</li> <li>*Yanlış yöne hareket potansiyeli oluşabilir.</li> <li>*Flaş ve Karanlık modlarında sorun yaşanabilir.</li> </ul>
<b>Operasyonlar</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Şerit kapasitesindeki artış nedeniyle verimli 2 fazlı veya 3 fazlı sinyal olarak çalışabilir.</li> <li>*Yüksek hacimli dönüş hareketleriyle uyum sağlar.</li> <li>*Büyük hareketler için daha fazla yeşil zaman sunar. Bir koridor çözümü olarak kullanıldığında daha iyi ilerleme sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Karmaşık sinyal işlemleri gerektirebilir.</li> <li>*Yaya geçiş süresi ve döngü uzunluğu esnekliğini sınırlayabilir.</li> <li>*Yoğun olmayan saatlerde ek kullanıcı gecikmesi potansiyeli oluşturabilir.</li> <li>*Sağa dönüş şeridinin baypas edilmediği durumda sağa dönüş sinyal kontrolü ile sağlanır.</li> </ul>
<b>Erişim Yönetimi</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Erişimi kısıtlı koridorlarla uyumludur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Trafik akışı bölgedeki işletmeler veya yapıların giriş/çıkışlarını etkileyebilir.</li> <li>*Uzun seperatörler gerekebilir.</li> </ul>
<b>Maliyet ve Alan Etkisi</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Farklı seviyeli kavşaklara göre daha az bir değişiklik ile çözüm sağlar.</li> <li>*Farklı seviyeli kavşaklara göre daha düşük maliyetlidir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Geleneksel Kavşaktan daha büyük kavşak alanı gereklidir.</li> <li>*Daha fazla trafik sinyali, kaldırım, bordür ve refüj adaları gerektirir.</li> </ul>

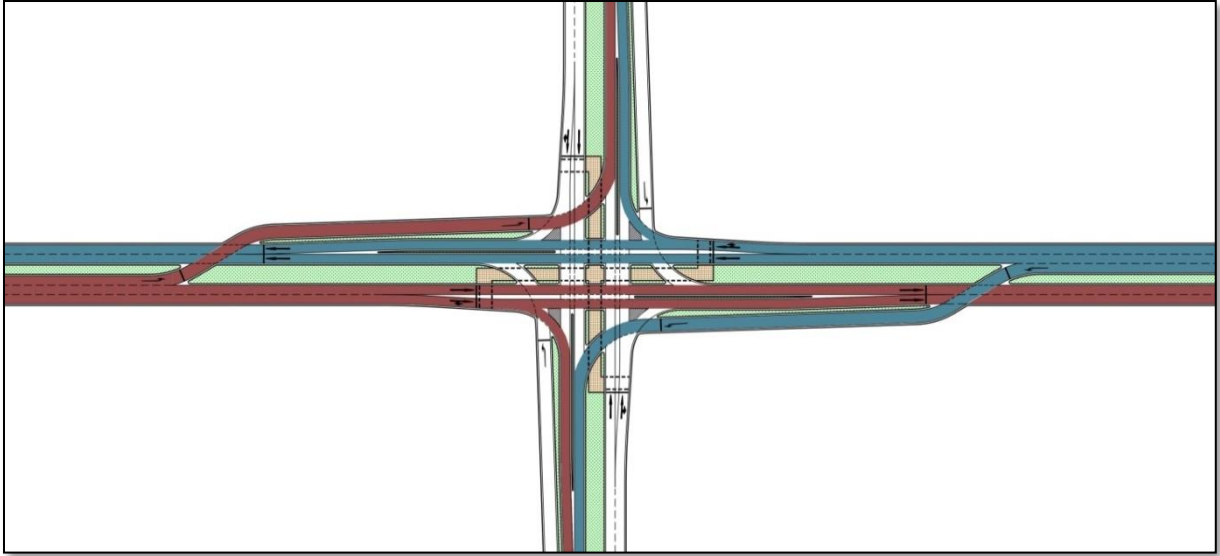
### 3. ALTERNATİF DLT TASARIMI

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu hemzemin kavşaklarda daha iyi sonuçlara ulaşmak, kesişimlerin azaltılması ile mümkündür. Farklı düzeyli kavşakların yapılması kesişim sayısını azaltsa da yapım maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle ekonomik bir seçenek değildir. Bu noktada çözüm olarak farklı düzeyli kavşaklara göre daha düşük maliyetli ve eşdüzey bir kavşak olmasına rağmen kesişim sayıları azaltılmış alternatif DLT tasarımı oluşturulmuştur.



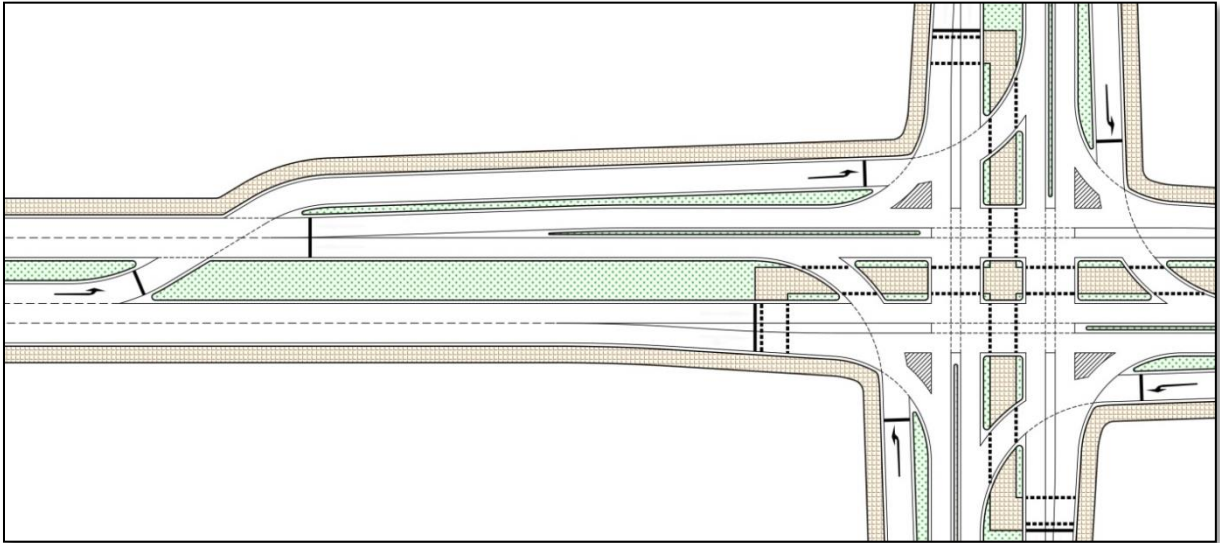
Şekil 5. Alternatif DLT Tasarımı

Şekilde 10'da Alternatif DLT tasarımı görülmektedir. Bu tasarımda yaklaşım kollarının yaklaşık 90-130 metre öncesinde alt sinyalizasyon kavşakları oluşturulmuştur. Bu alt kavşaklar sayesinde ana kavşakta sola dönüş hareketleri alt kavşak ile ana kavşak arasındaki yolun en sol kısmına taşınmıştır. Bu sayede ana kavşak mevcut durumda 4 fazlı işletilirken bu tasarım ile 2 faza kadar düşürülebilmektedir.



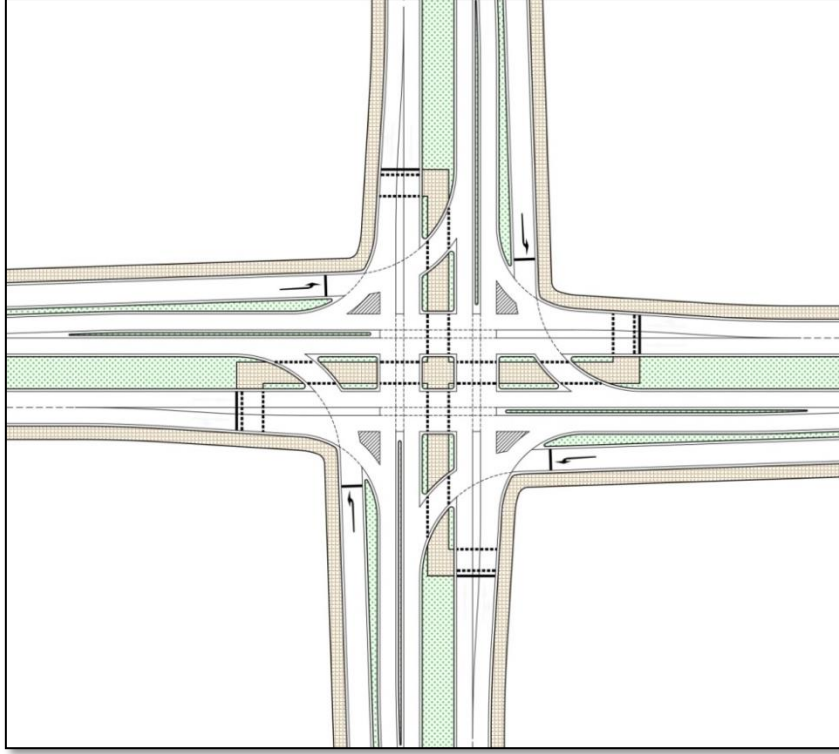
**Şekil 6.** Alternatif DLT Tasarımı Trafik Akımları

Şekilde mavi şeritler doğu yönünden gelen trafik akımlarını, kırmızı renkli şeritler ise batı yönünden gelen trafik akımlarını göstermektedir. Ana kavşağdaki sola dönüş hareketleri şekildeki gibi alt kavşaklar aracılığı ile yapılmaktadır. Burada görüldüğü üzere ana kavşakta doğu ve batı kollarındaki bütün araç hareketleri aynı süre zarfında yapılabilmektedir. Ana kavşak sinyal sistemi iki fazlıdır birinci fazda doğu - batı kolları ikinci fazda kuzey - güney kolları işletilmektedir.



**Şekil 7.** Alternatif DLT Tasarımı Ara Refüj

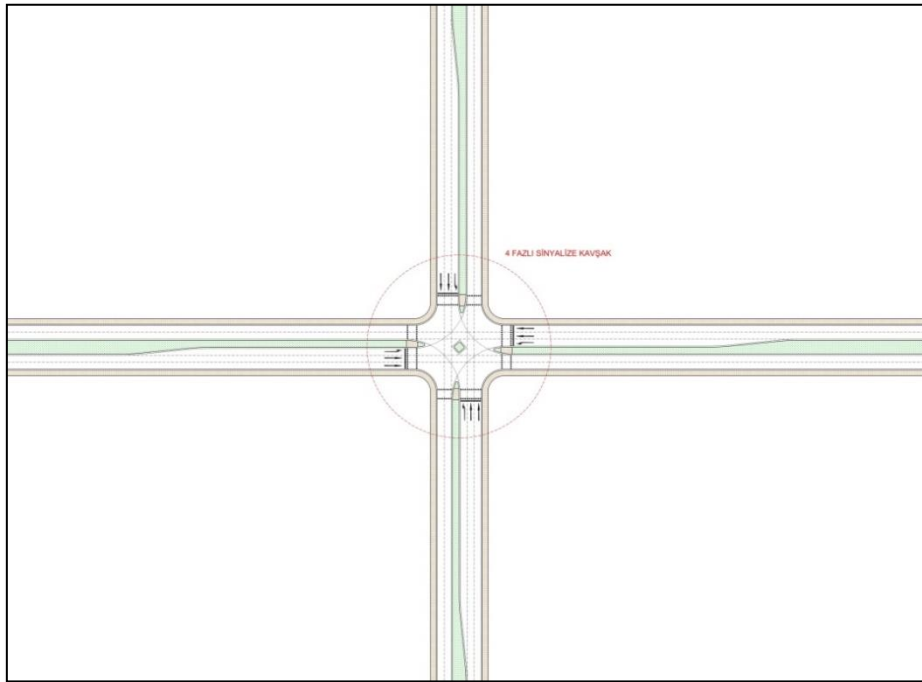
Bu tasarımı DLT tasarımından ayıran en önemli fark kavşakta sağa dönüşler için yeni bir yol açılmamasıdır. Kavşağın kuzey kolundan gelip sağa dönüş yapacak olan araçlar ile güney kolundan gelip sola dönüş yapacak olan araçlar batı koluna yönlendirilmiştir. Araçların aynı yola yönlendirilmesiyle kavşak alanı daha verimli kullanılmıştır. Aynı yola yönlendirilen taşıtların güvenliğini sağlamak amacıyla katıldıkları yolda ara refüj oluşturulmuştur.



Şekil 8. Alternatif DLT Tasarımı Yaya Geçitleri

Bu tasarımda yaya hareketleri ana kavşağın merkezinden gerçekleşmektedir. Bütün kollardan geçiş yapacak olan yayalar ana kavşağın merkezine gelerek oradan istediği yöne dağılmaktadır. Yaya yürüme mesafeleri geleneksel kavşak tasarımına göre daha uzun olmasına rağmen kavşağın 2 fazlı olması sebebiyle geçişler daha kısa süre içerisinde tamamlanabilir.

Alternatif DLT tasarımında yakın mesafe aralıklarında sinyalizasyon kavşakları oluşturulduğundan bu kavşakların koordineli bir şekilde çalıştırılması önemli bir husustur. Alt kavşakların koordineli değil de lokal kavşak mantığıyla çalıştırılması durumunda trafik sıkışıklığı yaşanabilir.



Şekil 9. Mevcut dört kollu sinyalizasyon kavşak tasarımı



Dört kollu geleneksel sinyalize kavşaklarda sinyal işletme planı olarak her kol ayrı fazlarda işletilebileceği gibi, kavşak geometrisinde sola dönüş ceplerinin bulunması durumunda karşılıklı ana yollar birlikte ve karşılıklı sola dönüşler birlikte çalışarak da işletilebilmektedir. Her iki durumda da faz sayısı değişmez. Hangi çalışma şeklinin uygun olacağı, kavşağı kullanan araç sayısı ve rotaları ile doğrudan ilişkilidir. Fakat kavşaklarda genellikle düz geçişlerin daha çok olması sebebiyle ana yolların birlikte çalıştırıldığı durumlarda daha verimli sonuçlar elde edilmektedir. Bu sayede aynı zaman aralığında daha çok araç kavşaktan ayrıldığı için bekleme süreleri azalmaktadır.

Dört veya daha çok fazlı sinyalize kavşaklarda birim zamanda geçen araç sayısının artması gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu tez çalışmasında oluşturulan Alternatif DLT tasarımı ile kesişim ve faz sayıları azaltıldığı için kavşaklardaki gecikme sürelerinin azaltılması hedeflenmiştir.

#### 4. ALTERNATİF DLT KAVŞAĞININ DENEYSEL ANALİZLERİ

Bu bölümde Alternatif DLT kavşak tasarımı ile dört kollu geleneksel bir kavşak tasarımının karşılaştırılmasında PTV Vissim ve Synchron simülasyon programları kullanılmıştır.

Bu çalışmada farklı trafik hacimlerinde karşılaştırma yapmak amacıyla beş ayrı araç trafik hacim senaryosu oluşturulmuştur.

1. Senaryo: Dengeli akım
2. Senaryo: Dengeli yoğun akım
3. Senaryo: Karşılıklı kavşak kollarında yoğun sola dönüş
4. Senaryo: Ardışık kavşak kollarında yoğun sola dönüş
5. Senaryo: Rasgele akım tüm kavşak kollarında yoğun sola dönüş

Her bir senaryo için kavşaklardaki düz geçiş, sağa ve sola dönüş hareketleri yapan araç sayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bütün senaryolarda %20 ağır taşıt girdisi yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda düz ve eğimsiz yollar baz alınarak simülasyon yapılmıştır.

Kavşak geometrisi değişikliğinin olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya koymak amacıyla PTV Vissim programı kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Her iki kavşakta hız, türel dağılım, araç sayısı, rotalara göre araç dağılımı, ağır taşıt faktörü ve sürücü davranışları sabit tutulmuştur.

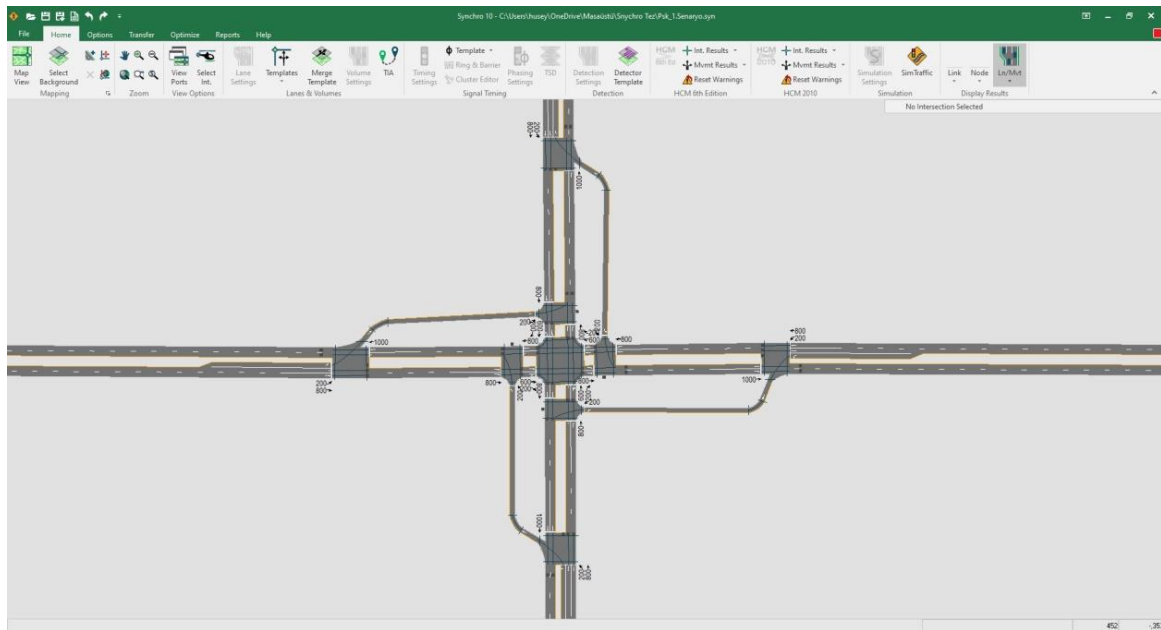
**Tablo 2.** Trafik hacim senaryoları

Trafik Hacim Senaryoları		Kavşak Kolları											Toplam Taşıt Hacmi (taşıt/saat)	
		1. Kol			2. Kol			3. Kol			4. Kol			
		Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)		Sola Dönüş (taşıt/saat)
1. Senaryo	Dengeli Akım	600	200	200	600	200	200	600	200	200	600	200	200	4000
2. Senaryo	Dengeli Yoğun Akım	900	300	300	900	300	300	900	300	300	900	300	300	6000
3. Senaryo	Karşılıklı Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	800	200	600	600	200	200	800	200	600	900	300	300	5700
4. Senaryo	Ardışık Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	800	200	600	800	200	600	900	300	300	600	200	200	5700
5. Senaryo	Rasgele Akım Tüm Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	900	200	400	800	250	500	700	150	400	600	200	400	5500

Synchro simülasyon programı kullanılarak Geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ve Alternatif DLT tasarımları modellenmiştir.

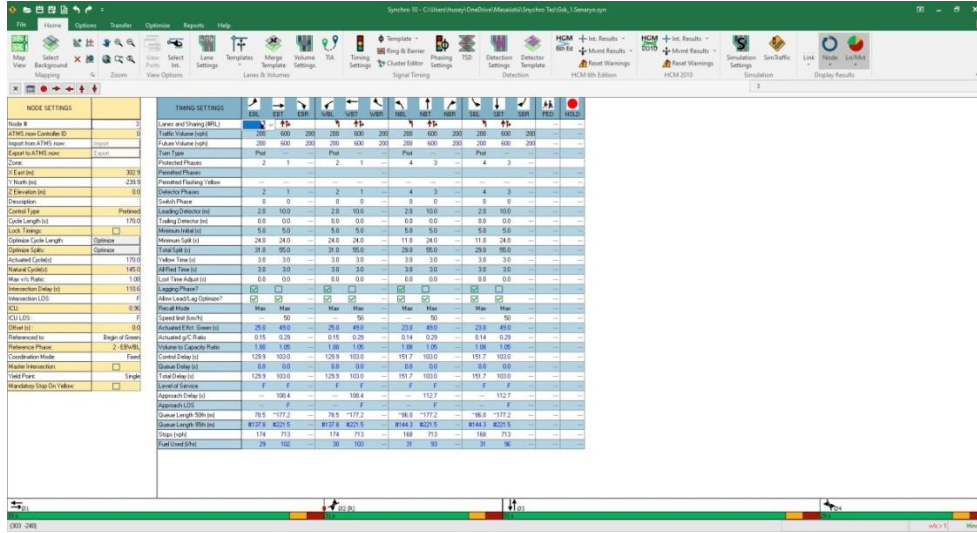


Şekil 10. Geleneksel sinyalize kavşak Synchro modeli (1. senaryo araç hacimleri)

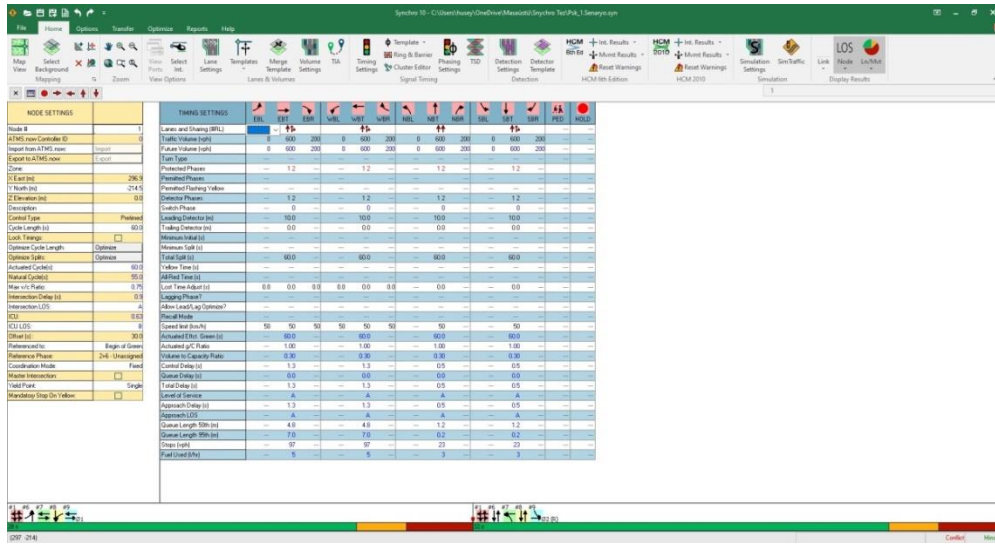


Şekil 11. Alternatif DLT sinyalize kavşak Synchro modeli (1. senaryo araç hacimleri)

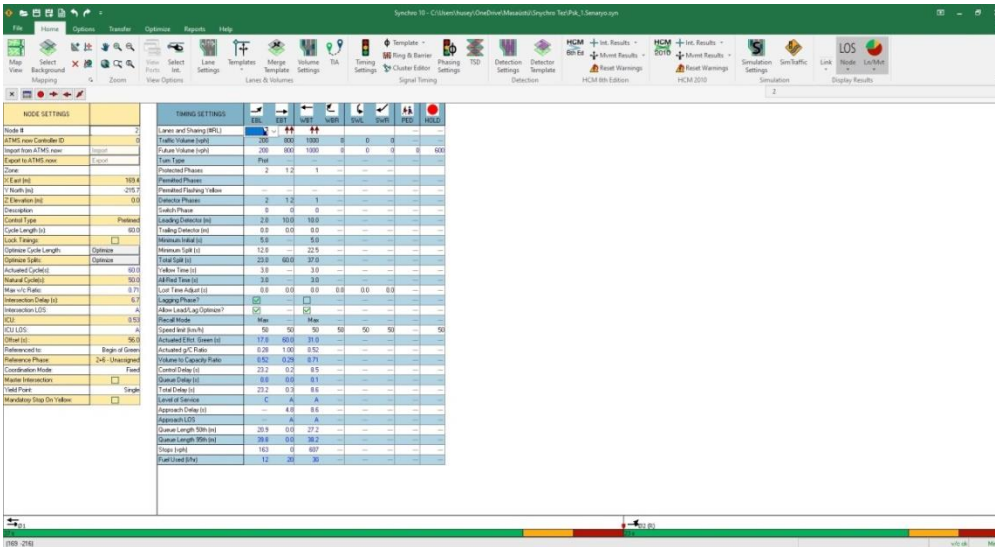
Her bir senaryo için araç girdileri yapılmış, optimize edilerek sinyal süreleri hesaplanmıştır.



Şekil 12. Geleneksel kavşak sinyal süreleri



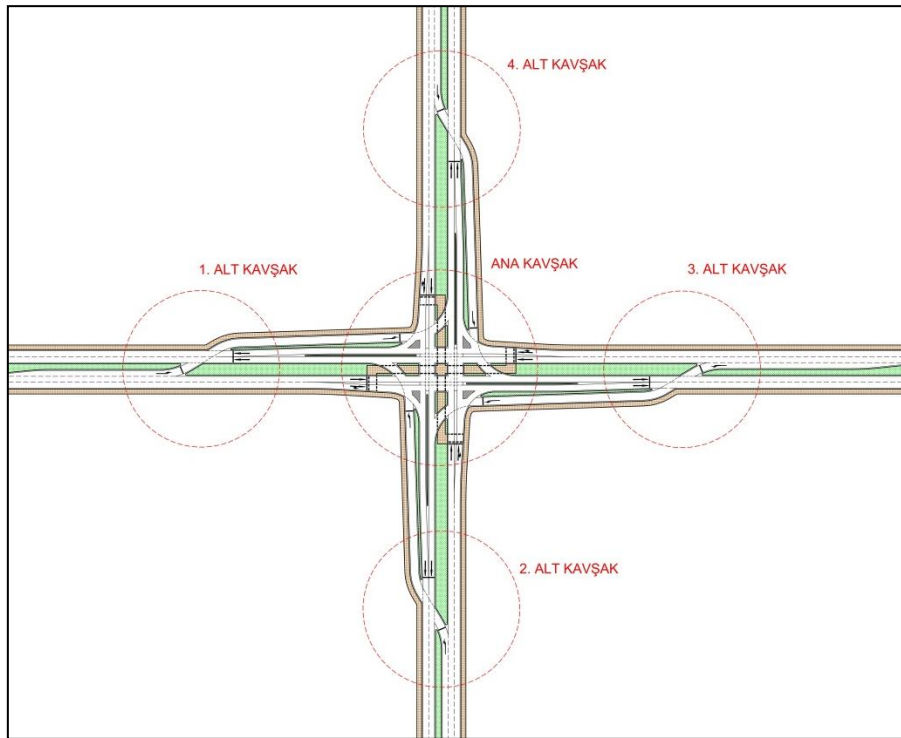
Şekil 13. Alternatif DLT ana kavşağı sinyal süreleri



Şekil 14. Alternatif DLT alt kavşakları sinyal süreleri

**Tablo 3.** Geleneksel sinyalizasyon kavşağın synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

GELENEKSEL SİNYALİZE KAVŞAĞIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ													
	1. FAZ			2. FAZ			3. FAZ			4. FAZ			Devre Süresi
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	
	1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	49	3	3	25	3	3	49	3	3	23	3	
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	72	3	3	39	3	3	72	3	3	33	3	3	240
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	53	3	3	63	3	3	62	3	3	28	3	3	230
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	58	3	3	58	3	3	50	3	3	50	3	3	240
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	61	3	3	47	3	3	59	3	3	49	3	3	240

**Şekil 15.** Alternatif DLT ana ve alt kavşakları gösterimi

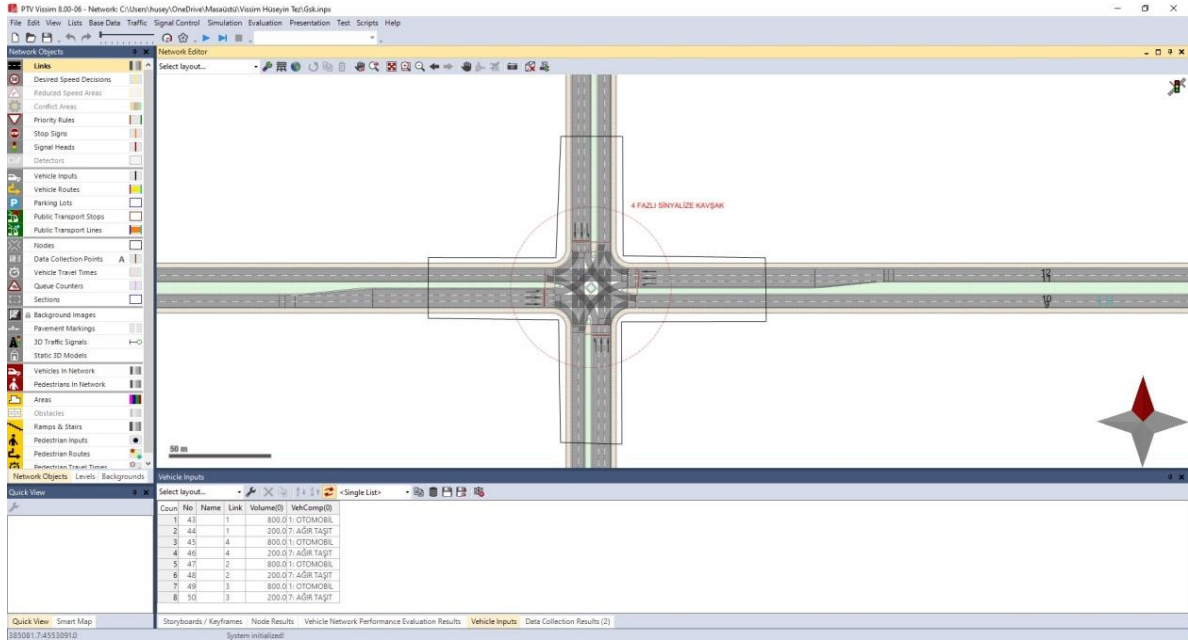
**Tablo 4.** Alternatif DLT sinyalize ana kavşağın synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

ALTERNATİF DLT SİNYALİZE ANA KAVŞAĞIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ							
	1. FAZ			2. FAZ			Devre Süresi
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	
1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	21	3	4	25	3	4	60
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	35	3	4	41	3	4	90
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	37	3	4	39	3	4	90
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	39	3	4	37	3	4	90
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	36	3	4	40	3	4	90

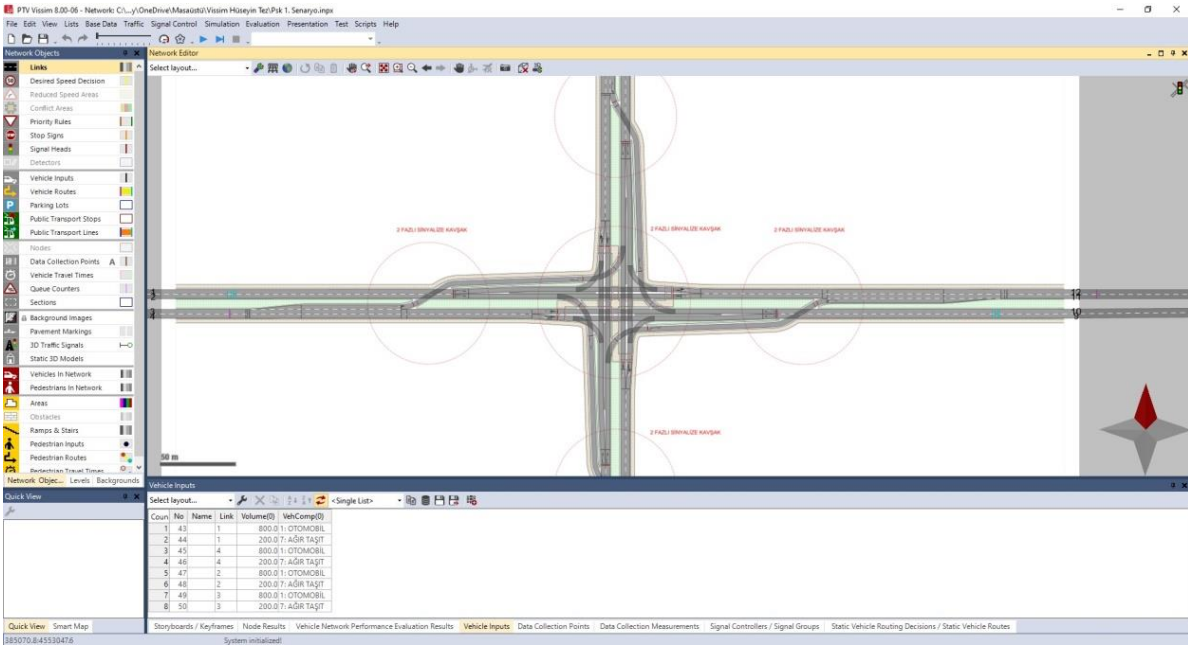
**Tablo 5.** Alternatif DLT sinyalize alt kavşakların synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

ALTERNATİF DLT SİNYALİZE ALT KAVŞAKLARIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ																									
	1. FAZ		2. FAZ		1. FAZ		2. FAZ		2. FAZ		1. FAZ		1. FAZ		2. FAZ		Devre Süresi								
	1. ALT KAVŞAK						2. ALT KAVŞAK						3. ALT KAVŞAK						4. ALT KAVŞAK						
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre		Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi			
1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	60
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	90
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	40	3	3	38	3	3	60	3	3	18	3	3	40	3	3	38	3	3	52	3	3	26	3	3	90
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	46	3	3	32	3	3	37.2	3	3	40.8	3	3	49	3	3	29	3	3	60	3	3	18	3	3	90
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	48	3	3	30	3	3	42	3	3	36	3	3	51	3	3	27	3	3	47	3	3	31	3	3	90

PTV Vissim simülasyon programı kullanılarak Geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ve Alternatif DLT tasarımı modellenmiştir.

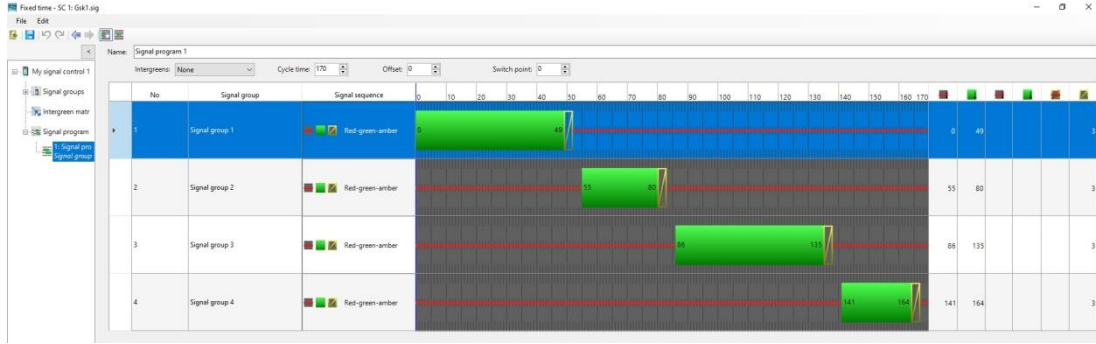


Şekil 16. Geleneksel sinyalize kavşak PTV Vissim modeli (1. senaryo araç hacimleri)

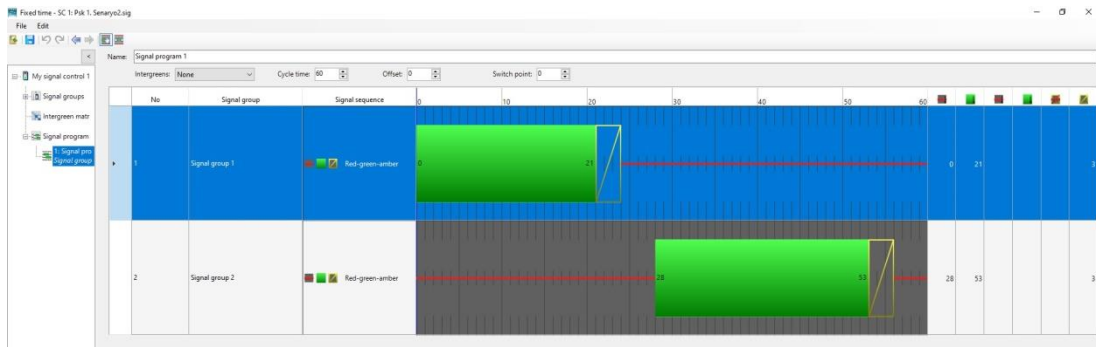


Şekil 17. Alternatif DLT sinyalize kavşak PTV Vissim modeli (1. senaryo araç hacimleri)

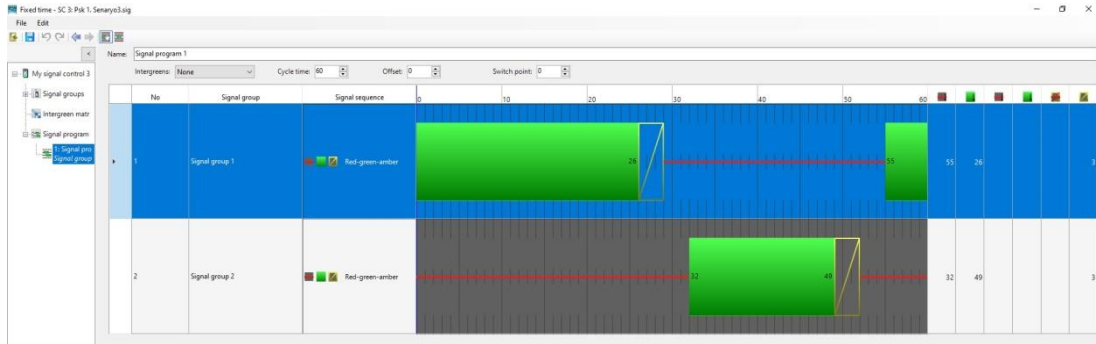
Synchro programı kullanılarak hesaplanan sinyal süreleri PTV Vissim programına girilmiştir.



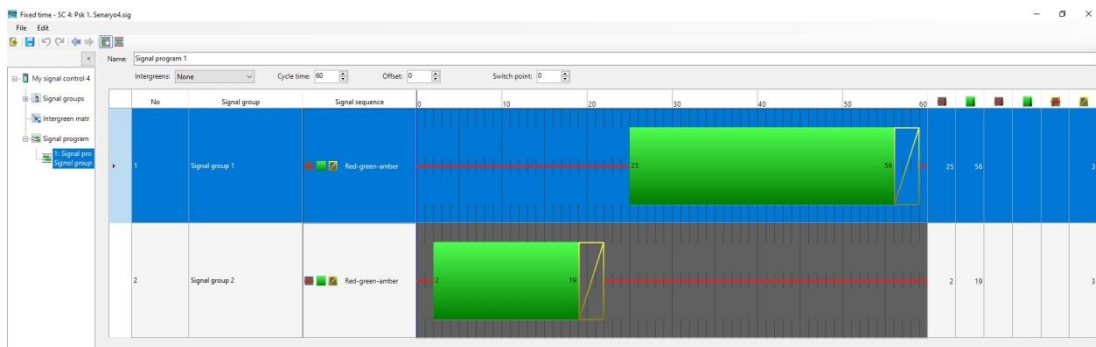
Şekil 18. Geleneksel kavşak sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 19. Alternatif DLT ana kavşağı sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 20. Alternatif DLT doğu batı alt kavşakları sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 21. Alternatif DLT kuzey güney alt kavşakları sinyal süreleri PTV Vissim girdisi

Alternatif DLT tasarımında ana kavşak ve alt kavşaklar koordine olarak çalıştırıldığından dolayı tüm kavşakların periyot süreleri aynıdır. Alt kavşaklarda düz geçişin yeşil süresi genelde ana kavşağın o yöndeki kolunun yeşil süresinden fazla olmaktadır. Burada fazla sürenin verimli kullanılması için alt kavşaklardaki düz geçiş, ana

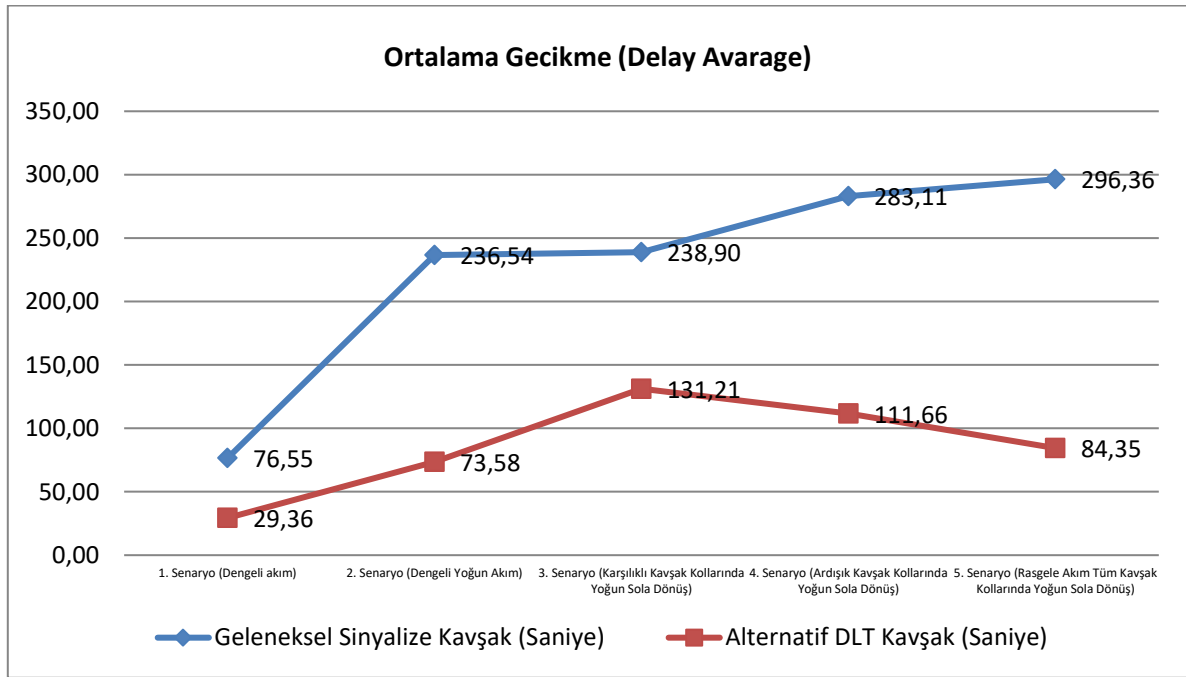
kavşağın alt kavşak ile aynı yöndeki kolundan daha önce yeşil yanar ve ana kavşağın alt kavşak ile aynı yöndeki kolu kırmızıya döndükten sonra bir süre daha yeşil yanmaya devam eder.

Oluşturulan 5 senaryo için bu çalışmalar tekrarlanmıştır. Bu iki kavşağın performans olarak değerlendirilebilmesi için PTV Vissim programının; Ortalama gecikme, Ortalama durma sayısı, Ortalama hız, Toplam seyahat süresi ve Toplam gecikme süresi parametreleri dikkate alınmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

#### PTV Vissim Sonuçları;

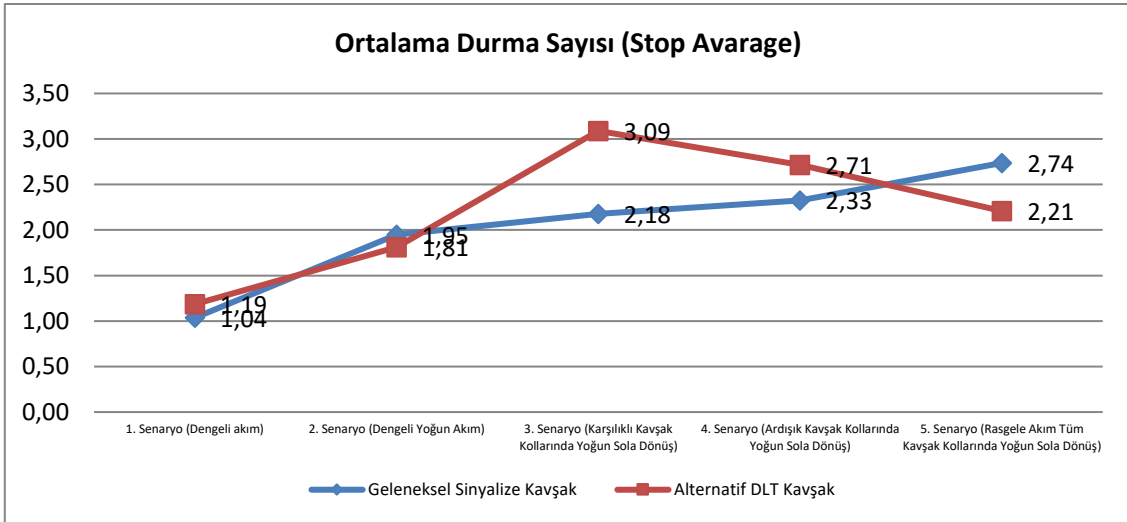
**Tablo 6.** PTV Vissim Performans Değerleri

Performans Değerlendirme Parametreleri	1. Senaryo		2. Senaryo		3. Senaryo		4. Senaryo		5. Senaryo	
	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT
<b>Ortalama Gecikme (Delay Avarage)</b>	76.55	29.36	236.54	73.58	238.90	131.21	283.11	111.66	296.36	84.35
<b>Ortalama Durma Sayısı (Stop Avarage)</b>	1.04	1.19	1.95	1.81	2.18	3.09	2.33	2.71	2.74	2.21
<b>Ortalama Hız (Speed Avarage)</b>	21.59	33.08	9.53	21.90	9.38	15.08	8.19	16.99	7.93	20.37
<b>Toplam Seyahat Süresi (Travel Time Total)</b>	151.69	98.01	357.41	221.14	343.21	270.76	356.81	234.09	368.08	220.51
<b>Toplam Gecikme Süresi (Delay Total)</b>	84.92	32.00	287.07	122.36	276.73	187.09	295.93	152.42	307.48	128.70

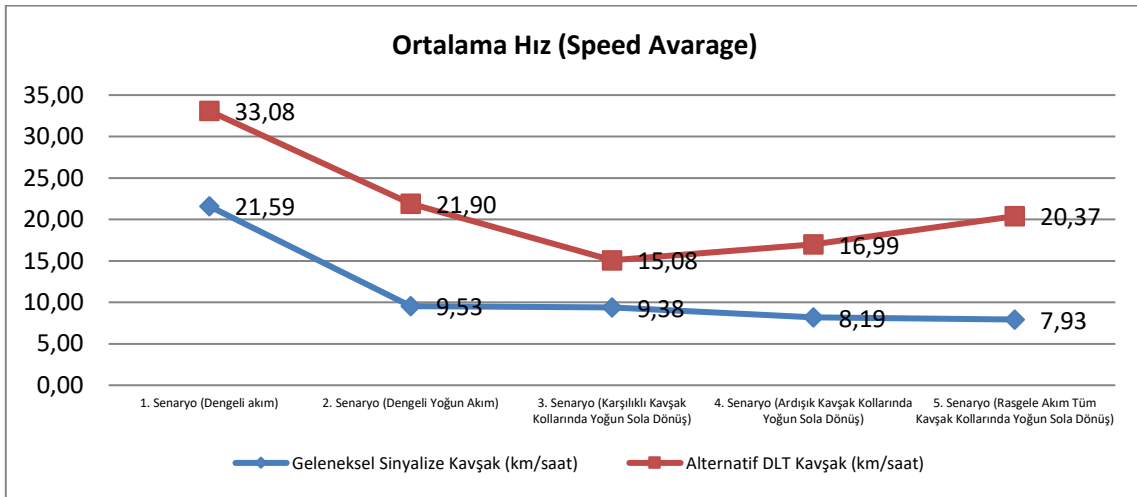


**Şekil 22.** Ortalama gecikme süresi grafiği

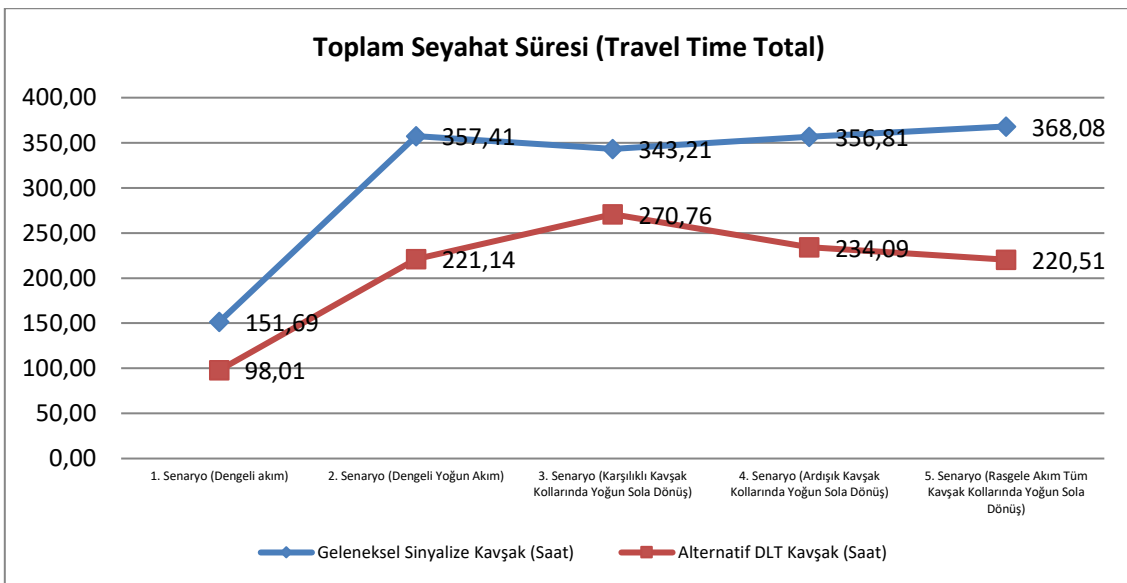




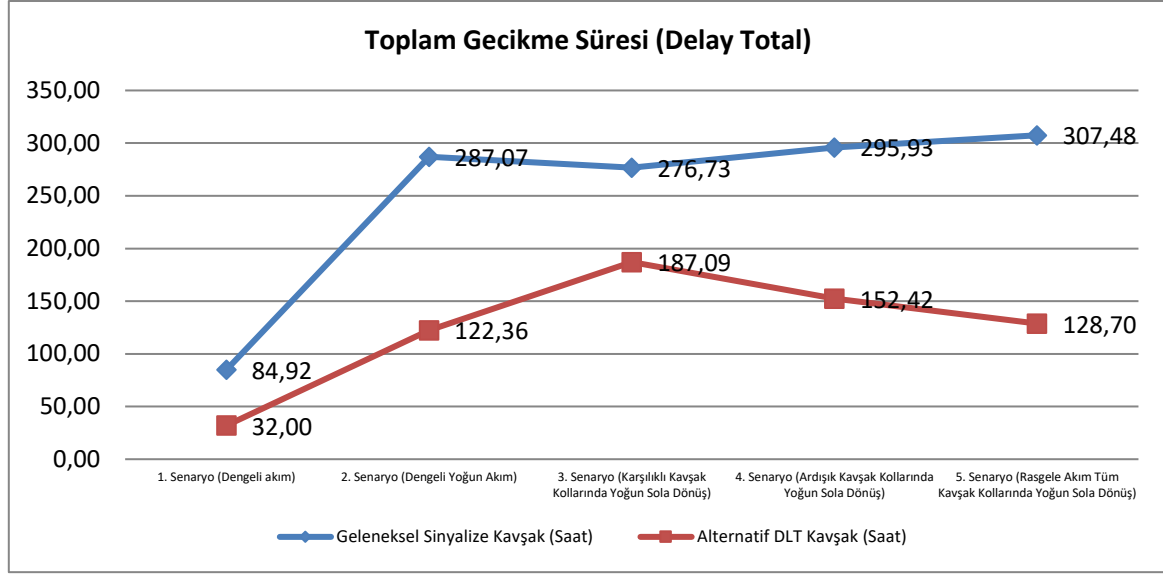
Şekil 23. Ortalama durma sayısı grafiği



Şekil 24. Ortalama hız grafiği



Şekil 25. Toplam seyahat süresi grafiği



Şekil 26. Toplam gecikme süresi grafiği

## 5. SONUÇLAR

Alternatif DLT sinyalize kavşak tasarımı performans açısından beş farklı araç hacim senaryosuna göre mikro simülasyon programı ile değerlendirildiğinde geleneksel kavşak tasarımlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre beş senaryo için; ortalama gecikme süresinde %61.54, ortalama hızda %101.70, toplam seyahat süresinde %33.82, toplam gecikme süresinde %51.74 iyileşme olduğu görülürken Ortalama durma sayısında ise %9.29'luk bir artış görülmektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde Alternatif DLT sinyalize kavşak tasarımı karşılaştırılan beş parametreden dördünde geleneksel sinyalize kavşak tasarımına göre oldukça iyi bir iyileştirme sağlamıştır. Ortalama durma sayısında ise %9.29'luk artış bu parametre için olumsuz durumu gösterse de bu durum Alternatif DLT kavşak tasarımında daha çok sinyal noktası olmasıyla açıklanabilir.

Ana kavşaktaki sola dönüş akımının yolun en soluna taşınması uygulaması kavşağın bir kolunda yapılabildiği gibi, kavşağın 4 kolunda da yapılabilir. Ayrıca bu tasarım sadece 4 kollu kavşaklar için değil 3 kollu kavşaklar için de uyarlanabilir bir tasarımdır.

Alternatif DLT kavşak tasarımının, DLT tasarımına göre daha küçük alanlarda uygulanabilir olması dar kentsel alanlar için tercih sebebi olabilir. Alternatif DLT tasarımının kesişim sayılarını azaltması ve trafik akımlarını kanallandırmaya sonucunda trafik güvenliği yönünden daha avantajlı olması beklenir. Fakat yeni bir uygulama olacağından sürücü aşinalığı bulunmaması sonucunda kavşakta kafa karışıklığına sebep olabilir.

**KAYNAKLAR**

- Abdelrahman, A., Abdel-Aty, M., Lee, J., Yue, L., Al-Omari, M.M.A., 2020. Evaluation of Displaced Left-Turn Intersections. *Transportation Engineering* 1 (2020) 100006
- Autey, J., Sayed, T., El Esawey, M., 2013. Operational Performance Comparison of Four Unconventional Intersection Designs Using Micro-Simulation. *Journal of Advanced Transportation*, 47 (5), 536–552.
- Bared, J., 2009. Displaced Left-Turn Intersection. Publication FHWA-HRT-09-055. FHWA, US Department of Transportation.
- Carroll, D.H., ve Lahusen, D., 2013. Operational Effects of Continuous Flow Intersection Geometrics: A deterministic Model. *Transportation Research Record*, 2348(1), 1-11.
- El Esawey, M., Sayed, T., 2007. Comparison of Two Unconventional Intersection Schemes: Crossover Displaced Left-Turn and Upstream Signalized Crossover Intersections. *Transportation Research Record*, 2023(2023), 10–19.
- Federal Highway Administration, 2004. Signalized Intersections: Informational Guide. US Department of Transportation. Report No FHWA-HRT-04-091, US Department of Transportation.
- Federal Highway Administration, 2010. Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Report No FHWA-HRT-09-060, US Department of Transportation.
- Federal Highway Administration, 2021. A Safe System-Based Framework and Analytical Methodology for Assessing Intersections. Report No FHWA-SA-21-008, US Department of Transportation.
- Hughes, W., Jagannathan R., Sengupta, D., Hummer, J.E. , 2010. Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Publication FHWA-HRT-09-060. FHWA, US Department of Transportation.
- Hummer, J.E., Reid, J.D., 2000. Unconventional Left-Turn Alternatives for Urban and Suburban Arterials. *Urban Street Symposium*, 28–30 Haziran 1999, Dallas, Texas, 17.
- Jagannathan, R., Bared, J.G., 2005. Design and Performance Analysis of Pedestrian Crossing Facilities for Continuous Flow Intersections. *Transportation Research Record*, 1939(1), 133–144.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005. *Karayolu Tasarım El Kitabı*. Ankara.
- Dönmez Akın, M., Kırbas, U., Akın, E., 2022. Şehir geçişi hizmet sınıfındaki yollarda yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne bir öneri: Samsun örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* 5(2), 211-226.
- Mersinlioğlu, Ç., Çelik, H., Aygün, E., Karaman, F., Abbaszade, E., Yıldız, A.M., Yılmaz, H., 2022. İSBAK'ın Ar-Ge Merkezi "Akıllı Şehir İstanbul" için çalışıyor. <https://www.insaatdunyasi.com.tr/bolumler/makale/isbakin-ar-ge-merkezi-akilli-sehir-istanbul-icin-calisiyor/>
- Mier FD, Romo BH, Inventors Continuous Flow Intersection. United States patent US5049000. 1991.
- Murat, Y. Ş. 1996. Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- Park, S., Rakha, H., 2010. Continuous Flow Intersections: A Safety and Environmental Perspective, 13. International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2010, Funchal, Portekiz. 85-90.
- Qu, W., Sun, Q., Zhao, Q., Tao, T., Qi, Y., 2020. Statistical Analysis of Safety Performance of Displaced Left-Turn Intersections: Case Studies in San Marcos, Texas, *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Reid, J.D., ve Hummer, J.E., 2001. Travel Time Comparisons Between Seven Unconventional Arterial Intersection Designs. *Transportation Research Record*, 1751(1), 56 - 66.

Steyn, H., Bugg, Z., Ray, B., Daleiden, A., Jenior, P., Knudsen, J., Inc, K., Inc, A., 2014. Displaced Left Turn Informational Guide. Report No FHWA-SA-14-068, US Department of Transportation.

Sun, W., Wu, X., Wang, Y., Yu, G., 2015. A Continuous-Flow-Intersection-Lite (CFI-Lite) Design and Traffic Control for Oversaturated Bottleneck Intersections. Transportation Research Part C, 2015(56) 18–33.

Wu, X., Juarez, D., Jia, X., 2014. Optimal Signal Timing Models for the FHWA and Mexico 4-legged Continuous Flow Intersections. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, 12–16 Ocak 2014, Washington, 25.

Yang, X.F., Chang, G.L., Rahwanji, S., Lu, Y., 2013. Development of Planning-Stage Models for Analyzing Continuous Flow Intersections. Journal of Transportation Engineering, 139 (11), 1124–1132.

Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi.

Zhao, J., Ma, W., Head, K.L., Yang, X., 2015. Optimal Operation of Displaced Left-Turn Intersections: A Lane-Based Approach. Transportation Research Part C, 2015(2), 29–48.

#### **TEŞEKKÜR ve BEYANLAR / ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS**

"1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır."

"Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır."

**Not:** Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Mustafa ILICALI danışmanlığında, Hüseyin YILMAZ tarafından yürütülecek olan, "Yenilikçi Sinyalize Kavşak Tasarımlarının Araştırılması Ve Mikro Simülasyon İle Analiz Edilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.



Araştırma Makalesi

# BALIKESİR SANAYİ 1-2 NOLU KAVŞAKLARIN SUMO İLE KENTSEL HAREKETLİLİK ANALİZİ

**Gülten BAYRAM<sup>†</sup>, Mustafa ILICALI<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sütluçe, İstanbul, Türkiye**gltb.bayram@gmail.com, milicali@ticaret.edu.tr**

0009-0003-6764-0404, 0000-0001-6453-7753

**Atıf/Citation:** BAYRAM, G., ILICALI, M., (2024). Balıkesir Sanayi 1-2 Nolu Kavşakların Sumo ile Kentsel Hareketlilik Analizi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.237-249, DOI: 10.56809/icujtas.1496498

## ÖZET

Kentsel hareketlilik, bireylerin günlük yaşamlarını doğrudan etkileyen kritik bir faktör olup hem sürdürülebilir ulaşım sistemleri hem de yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma da, Balıkesir ili, Karesi ilçesinde yer alan kentin önemli kavşaklarından olan, Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı sinyalizasyon kavşaklarının "Simulation Of Urban MObility" (SUMO) adlı yazılım programının Türkiye uyarlaması aracı ile kentsel hareketlilik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, bahsedilen kavşakların mevcut durumlarının tespitinin kentsel hareketliliğini ve SUMO Türkiye yazılım aracından yararlanarak mevcut halin modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kavşaklardaki mevcut durumun trafik akışlarını, SUMO modelleme çalışması ile her iki kavşağın performans değerleri, emisyon seviye ve yakıt tüketim bilgilerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, kavşakların mevcut durum analizi yapılmıştır. Bu analizde her iki kavşağın, sinyalizasyonun faz diyagramlarına, kavşakların geometrik durumuna, akım kolları sayı ve yön uygulamalarına, kavşaklardaki trafik yoğunluğuna, bekleme sürelerine ve genel trafik akışı gibi unsurları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Analizi yapılan bu veriler, SUMO yazılımının veri kısmına eklenebilecek şekilde toplanarak sisteme eklenmiştir. SUMO da mevcut durum modellemesi yapılarak performans değerleri elde edilmiştir. Modelleme çıktıları değerlendirilerek kavşakların verimliliğini ve akışını sağlamak amacıyla optimizasyon planları geliştirilmiştir. Önerilen bu planlarla, trafik akışını daha akıcı hale getirmeyi, emisyon seviyelerini azaltmayı ve yakıt tüketimini optimize etmeyi hedeflemektedir. Elde edilen veriler, kentin sürdürülebilirliği kentsel hareketlilik stratejileri ve planların geliştirilmesine katkı sağlayacak niteliktedir. Bu veriler, aynı zamanda ulaşım planlaması ve yönetiminde önemli bir kaynak oluşturacaktır. Çalışmada kullanılan SUMO Türkiye programı sayesinde mevcut durum modellemesi yapılarak verimliliği arttırmayı ve trafik yönetiminde yenilikçi yaklaşımların uygulanabilirliğini göstermekte olan önemli bir araçtır. Modelleme yoluyla elde edilen bulgular, kent yöneticileri ve uygulayıcılarının kentsel ulaşım planlamasında kaynak olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak çalışmada, Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşakları için mevcut üzerinden önerilen optimizasyon planları, trafik akışının verimliliğini artırmakta ve daha çevre dostu bir trafik sistemine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, şehrin sürdürülebilir kentsel hareketlilik hedeflerine ulaşmak için önemli bir adım olup, diğer şehirlerin kentsel hareketlilik planları için de örnek teşkil edebilecek niteliktedir. Makalenin sonuçları, kavşakların bulunduğu bölgenin kentsel ulaşım planlamasına, stratejik kararların alınması ve trafik yönetiminde daha etkin çözümler geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel hareketlilik, SUMO, Trafik analizi, Ulaşım yönetimi, Balıkesir.

Geliş/Received : 05.06.2024  
Gözden Geçirme/Revised : 08.07.2024  
Kabul/Accepted : 24.07.2024

## URBAN MOBILITY ANALYSIS OF BALIKESİR INDUSTRY INTERSECTIONS NUMBER 1-2 WITH SUMO

### ABSTRACT

Urban mobility is a critical factor directly impacting individuals' daily lives and plays a crucial role in enhancing both sustainable transportation systems and quality of life. This study conducted an analysis of urban mobility using the Simulation of Urban MObility (SUMO) software adaptation for Turkey, focusing on Sanayi 1. Kapı and Sanayi 2. Kapı signalized intersections located in Karesi district, Balıkesir province. The primary objective was to assess the current conditions of these intersections, model their current state using SUMO Turkey software, and reveal traffic flows, performance metrics, emission levels, and fuel consumption data. The initial phase of the study involved a detailed analysis of intersection conditions, including phase diagrams of signalization, geometric configurations, flow directions and volumes, traffic density, waiting times, and overall traffic patterns. These analyzed data were compiled and integrated into the SUMO software's data section for current state modeling and performance evaluation. Based on the modeling outputs, optimization plans were developed to enhance intersection efficiency, improve traffic flow, reduce emissions, and optimize fuel consumption. The findings contribute significantly to developing sustainable urban mobility strategies and plans for the city, serving as a valuable resource for transportation planning and management. Leveraging the SUMO Turkey program for current state modeling demonstrates its efficacy in improving efficiency and implementing innovative approaches to traffic management. The insights gained from modeling efforts serve as a critical resource for city administrators and practitioners in urban transportation planning.

In conclusion, the proposed optimization plans for Sanayi 1. Kapı and Sanayi 2. Kapı intersections in Balıkesir aim to enhance traffic flow efficiency and contribute to a more environmentally friendly traffic system. This study represents a significant step towards achieving the city's goals of sustainable urban mobility and serves as a potential model for urban mobility plans in other cities. The conclusions drawn will assist in strategic decision-making for urban transportation planning in the region and facilitate the development of more effective solutions for traffic management.

**Keywords:** Urban Mobility, SUMO, Traffic analysis, Transportation management, Balıkesir.

### 1. GİRİŞ

Kentlerin gelişimi ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri, birbirine sıkı sıkıya bağlı iki önemli faktördür. Kentlerin büyümesi, verimli ve yüksek kapasiteli ulaşım çözümlerine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu durum, özellikle yoğun hareketliliğin yaşandığı kentlerde ulaşım sorunlarını kaçınılmaz hale getirmektedir. Hızla artan nüfus, kentlerdeki araç sahipliğini ve araç kullanımını artırarak trafik sıkışıklıklarına neden olmaktadır (Banister, 2008). Kentsel hareketliliğin temel bileşeni olan ulaşımın, etkin bir trafik yönetimi ve planlaması ile optimize edilmesi gerekmektedir. Yenilikçi çözümler ve gelişen teknolojiler, bu soruna çözüm arayışlarını desteklemektedir (Gössling, 2016). Kentsel hareketliliğin optimize edilerek yönetilmesi, şehir sakinlerinin yaşam kalitesini arttırmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak açısından büyük önem taşır (Litman, 2013). Trafik yoğunluğu aynı zamanda çevresel kirliliklere de yol açmaktadır. Çekim merkezlerine olan yüksek talepler, bu bölgelerde trafik sıkışıklıklarına sebep olmakta ve emisyon ile aşırı yakıt tüketimini artırmaktadır (Schrank, Eisele, & Lomax, 2012). Özellikle sanayi bölgeleri ve ticari faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda yüksek trafik yoğunluğu görülmektedir. Balıkesir ili, Karesi ilçesinde bulunan küçük sanayi bölgesi, ticari fonksiyondaki alanlar ve toplu konutların yoğun olarak bulunduğu bir bölgedir. Paşaalı mahallesi içerisinde yer alan bu bölgeye ulaşım, Bursa istikametine giden D230 karayolu bağlantısından ve şehir merkezindeki cadde ile sokak yollarından sağlanmaktadır. Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşakları, bölgenin önemli iki sinyalizasyon kavşaklarını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Balıkesir ili Karesi ilçesinin ana arterlerinden olan Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarının mevcut kentsel hareketliliği incelenmeyi amaçlanmaktadır. Araştırma, sahada yapılan gözlemler ve mevcut trafik verilerinin toplanmasıyla başlamıştır. Toplanan veriler, büyük ölçekli trafik ağlarını modellemek ve analiz etmek için tasarlanmış açık kaynaklı bir yazılım olan SUMO'nun (Simulation of Urban Mobility) Türkiye uyarlaması yazılım aracı kullanılarak analiz edilmiştir. Simülasyonlar ve modellemeler aracılığıyla kavşakların mevcut durumu değerlendirilmiş, trafik akışını iyileştirmek için çeşitli optimizasyon

stratejileri geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, kent yöneticileri, ulaştırma mühendisleri ve trafik yöneticileri ile paylaşılmış olup, gelecekteki kentsel ulaşım planlamalarına referans oluşturmayı hedeflemektedir.

Bu makalenin temel amacı, Balıkesir ili, Karesi ilçesi, Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı Kavşakları trafik uygulamalarında kapasite geliştirme kapsamında, mevcuttaki kent içi hareketliliğini değerlendirilmesi için modellemek ve önerilerde bulunmaktır. Bu sayede sanayi bölgesi ve yeni yerleşim yerleri toplu konutlardaki aktif kentsel hareketliliğinin hem teorik bir bakış açısı sunacak hem de bahsedilen kavşakların kent içi ulaşımında mevcut durumunu SUMO Türkiye yazılım aracı ile analiz edilerek mevcut trafik hareketleri modellenecektir. Modelleme sonucunda elde edilen raporlarla, Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının geliştirilmesi için kavşak performansları değerlendirilecektir. Bu doğrultuda, trafik yoğunluğunun azaltılması, trafik akışının düzenlenmesi ve kavşakların verimliliğinin artırılması gibi konular üzerinde durularak geniş bir yelpazede öneriler ortaya konulacaktır. Kavşakların mevcut durum analizi yapılacak ve trafik akışını iyileştirmek amacıyla optimizasyon planları geliştirilecektir. Bu planlar, kentsel hareketliliği daha verimli hale getirmeyi ve trafik yönetiminde yenilikçi yaklaşımlar sunmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın bulguları, kent yöneticileri, ulaştırma mühendisleri ve trafik yöneticileri için değerli bilgiler sunarak kentsel ulaşım planlamasında referans niteliği taşıyacaktır. Ayrıca, sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin belirlenmesinde, çevresel etkilerin minimize edilmesinde ve enerji verimliliğinin artırılmasında da önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Balıkesir'deki Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının trafik akışının verimliliğini artırmayı ve çevre dostu bir trafik sistemine katkıda bulunmayı amaçlayan bu çalışma, sürdürülebilir kentsel hareketlilik stratejilerinin geliştirilmesine ışık tutacaktır. Çalışmanın bulguları ve önerileri, kentsel hareketlilik çalışmalarına önemli bir temel sağlayacaktır. Ayrıca bu bulgular ve öneriler, yaşanabilir şehirlerin ulaşım politikalarının planlanmasında ve uygulanmasında kritik bir rol oynayacaktır. Elde edilen veriler ve modelleme sonuçları, mevcut trafik sorunlarına yenilikçi ve etkili çözümler sunmanın yanı sıra, trafik sıkışıklığını azaltmak, hava kalitesini iyileştirmek ve enerji verimliliğini artırmak için kullanılacaktır. Bu bağlamda, çalışma, gelecekteki şehir planlamalarında kentsel hareketliliği optimize etmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için değerli bir kaynak olacaktır. Ayrıca, toplumun yaşam kalitesini yükseltmek ve çevresel etkileri minimize etmek amacıyla, şehirlerin ulaşım altyapısının daha iyi yönetilmesine yönelik stratejik planların oluşturulmasına da katkı sağlayacaktır. Bu çalışma, diğer şehirlerde benzer trafik ve kentsel hareketlilik sorunlarına yönelik çözüm arayışlarında da rehberlik edebilecek niteliktedir. Bu çalışma sonucunda, Balıkesir'deki Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının trafik yönetiminde sunduğu yenilikçi yaklaşımlar, sürdürülebilir ve verimli ulaşım sistemlerinin oluşturulmasına önemli katkılar hedeflemektedir.

## 2. LİTERATÜR VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Literatürde, kentsel hareketlilik sadece başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki fiziksel taşınma eylemi olarak değil, aynı zamanda ekonomik, kültürel ve sosyal etkileşimi içeren çok yönlü bir olgu olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, kentsel hareketlilik disiplinler arası yaklaşımlarla ele alınması gereken bütüncül bir konudur. Kent içi mobilitenin yarattığı çeşitli eylemleri kapsayan kentsel hareketlilik, ulaşımında verimliliği sağlarken, aynı zamanda şehirdeki altyapı eksikliklerini ve problemleri de görünür kılmaktadır. Bu hareketlilik sayesinde ulaşım sistemlerindeki verimlilik elde edilmekte ve aynı zamanda kentteki altyapı eksiklikleri ve problemleri belirgin hale gelmektedir. Kentsel hareketlilik, şehir içi ulaşım ağlarının etkinliğini artırarak, bireylerin ve yüklerin kentin farklı noktalarına hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşmasını mümkün kılar. Bu süreç, kentin altyapı kapasitelerinin değerlendirilmesini ve geliştirilmesini zorunlu kılarak, kent planlamasında kritik bir rol oynar. Ulaşım sistemlerinin mekânsal erişilebilirliği, kentin farklı bölgeleri arasındaki bağlantıların güçlendirilmesiyle sağlanırken, zamansal erişilebilirlik, seyahat sürelerinin azaltılması ve ulaşım ağlarının günün farklı saatlerinde etkin bir şekilde çalışmasını içerir. Ulaşım sistemlerinin erişilebilirliği, kentsel hareketliliğin verimli bir şekilde işlenmesini sağlayarak, kent içi ulaşımın sürdürülebilirliğini ve etkinliğini artırır. Bu nedenle, kentsel hareketliliğin optimize edilmesi, çok yönlü bir yaklaşım gerektirir ve bu doğrultuda altyapı yatırımlarının ve ulaşım stratejilerinin planlanması önem arz etmektedir.

Kentsel hareketlilik ve trafik simülasyon konuları, SUMO (Simulation of Urban MObility) yazılımı kullanarak kapsamlı bir şekilde incelenebilir. Açık kaynak kodlu trafik simülasyon yazılımı olan SUMO aracı, mevcut veya planlanan trafik senaryolarının modellemesini yapmaktadır. SUMO'nun geliştirilmesi, 2000 yılında Almanya Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR) tarafından başlatılmıştır. Bu yazılımın temel amacı, trafik araştırma topluluğuna kendi algoritmalarını uygulayabilecekleri ve değerlendirebilecekleri bir araç sağlamaktır (Niero, 2018). SUMO, trafik ışıklarının simülasyonu, geçiş hakkı kuralları ve şerit değiştirme gibi karmaşık trafik dinamiklerini gerçek zamanlı olarak yaklaşık 100.000-200.000 aracı simüle edebilecek şekilde gerçekleştirmektedir (Krauß, 1998)(Krajzewicz, Bonert, Wagner, 2006).



Shamim Akhter vd (2020), ‘‘A SUMO based simulation frame work for intelligent traffic management system’’ başlıklı çalışmasında, SUMO yazılımıyla akıllı trafik yönetim sistemlerinin simülasyonunu ele almış ve çeşitli trafik senaryolarında uygulanabilirliğini tartışmışlardır. Arroyo vd (2018) ise, ‘‘A new strategy for synchronizing traffic flow on a distrusted simulation using SUMO’’ adlı çalışmasında, trafik akışını senkronize etmek için paralel simülasyon tekniklerini kullanarak SUMO'nun performansını artırmayı hedeflemiştir. Deshmukh vd, (2016) ‘‘Simulation of urban mobility (SUMO) for evaluating QoS parameters for vehicularad hoc network’’ isimli çalışmalarında, SUMO'nun araç içi ağların kalite parametrelerini değerlendirmede kullanımı incelenmiş ve trafik simülasyonları için bir çerçeve sunmuşlardır. Soares vd (2013), ‘‘An integrated frame work formulti-agent traffic simulation using sumo and jade’’ isimli çalışmasında karmaşık trafik yönetim çözümlerinin geliştirilmesi ve analiz edilmesine odaklanan çalışmalarında, SUMO ve JADE platformlarını entegre etmişlerdir. Bu çalışma, şehir içi trafik optimizasyon stratejilerinin geliştirilmesinde SUMO yazılımının nasıl kullanılabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın bağlamı çerçevesinde incelendiğinde, kentlerde artan araç sahipliğiyle birlikte artmakta olan trafik yoğunluğu çeşitli karmaşık durumları ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek ve çözümler bulmak için, kentsel hareketliliğin daha etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, SUMO açık kaynaklı bir yazılım olarak, detaylı trafik akışı simülasyonları yapabilen bir araç olarak dikkat çeker. Mikroskobik simülasyon yetenekleri sayesinde, bireysel araçların hareketlerini ve kavşaklarda araç etkileşimlerini gerçekçi bir şekilde modelleyebilir. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü'nün çalışmaları doğrultusunda Simulation of Urban MObility (SUMO) Türkiye uyarlaması programı hazırlanmıştır. Program ‘‘Kent İçi Hareketlilik Analiz Sistemi (SUMO Türkiye Uyarlaması)’’ olarak geçmektedir. Türkçeleştirilmiş arayüz ile yazılımın kullanımı kolaylaştırılmıştır.

### 3. YÖNTEM

Balıkesir'in merkez ilçelerinden biri olan Karesi ilçesinin en yoğun akslarından Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının kentsel hareketlilik analizi, SUMO Türkiye yazılım aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin dört ana bileşeni vardır;

1. **Veri Toplama:** İlk aşamada, kavşaklara ait trafik verileri çeşitli yöntemlerle toplanmıştır. Bu veriler, simülasyon modelinin geçerli ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için kritik öneme sahiptir.
2. **Modelleme:** Açık kaynaklı SUMO Türkiye yazılım aracı kullanılarak, toplanan veriler doğrultusunda Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşakları modellenmiştir. Modelleme sürecinde sıralı adımlar izlenerek uygun koşullar sağlanmıştır. Modelleme sürecinde şu adımlar izlenmiştir.
  - **Ağ Oluşturulması:** SUMO'nun Netedit arayüzü ile kesim ve bağlantılar çizilmiş veya Open Street Map (OSM) arayüzünden harita tabanlı veri çekilmiştir. OSM'den gelen verilere ilave veya eksiltme işlemleri yapılabilmektedir. Ayrıca, trafik ışıkları, faz planları, hız sınırları, otobüs durakları, yol kenarı parklanmalar, dedektörler, bisiklet yolları ve kaldırımlar da modellemeye dahil edilmiştir.
  - **Talep Oluşturulması:** Ağ modelinde hareket edecek taşıtlar belirlenerek rota atamaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen trafik sayım verileri aktararak mevcut durum analiz edilmiştir.
3. **Simülasyon:** Mevcut ve oluşturulan senaryolar SUMO yazılımında modellenmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sırasında kavşaklardaki trafik akış hızı, kuyruk oluşması ve bekleme süreleri gibi performans ölçütleri elde edilmiştir. SUMO-gui arayüzünde işletilen simülasyonlarla araçların kavşaktaki etkileşimleri, öncelikli geçiş ve şerit değişikliği gibi durumlar incelenmiştir.
4. **Analiz:** Simülasyon sonuçlarına dayalı olarak, kavşakların performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda, trafik akışını iyileştirmek için optimizasyon önerileri ve çözümler belirlenmiştir.

SUMO Türkiye yazılımı, kentsel hareketlilik analizi yapmak için belirli adımları takip eder. İlk adım olan ağ oluşturma sürecinde, trafik ağı tasarlanarak kavşaklar, yollar ve bağlantılar belirlenir. Bu aşama, simülasyonun temelini oluşturduğundan büyük bir özenle gerçekleştirilmelidir. Ağ oluşturma işlemini talep oluşturma aşaması izler. Bu aşamada, modelde hareket edecek araçlar tanımlanır ve seyahat rotaları belirlenir. Gerçek verilerin entegrasyonu ile bu işlem, simülasyonun gerçekçiliğini artırır. Bir sonraki adım, veri işleme sürecidir.

Bu aşamada, toplanan trafik verileri işlenerek modelleme güncellenir. Verilerin doğruluğu, simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkilediğinden bu süreç büyük önem taşır. Ardından, simülasyon aşaması gelir. Bu aşamada, mevcut ve oluşturulan senaryolar kullanılarak trafik akış dinamikleri simüle edilir. Bu süreç, kavşaklardaki trafik durumunu değerlendirmek ve performans ölçütlerini belirlemek için kritiktir. Simülasyon tamamlandıktan sonra analiz çıktıları aşamasına geçilir. Simülasyon sonuçlarına dayanarak raporlar oluşturulur ve kavşakların performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon analizleri yapılır. Son olarak, Open Street Map (OSM) ile çalışma gerçekleştirilir. Bu aşamada, OSM arayüzü kullanılarak harita tabanlı veri çekimleri yapılır ve gerekli düzenlemeler gerçekleştirilir. Bu süreç, ağ modellemesi için önemli bir kaynak sağlar ve simülasyonun doğruluğunu artırır. Simülasyonda araçların birbirleriyle olan etkileşiminde kavşakta öncelikli geçiş ve şerit değişikliği gibi durumlar bulunmaktadır. Simülasyon sırasında trafik akış hızı, kuyruklanma ve bekleme süreleri gibi performans ölçütleri elde edilmiştir. Raporlar çıkarılarak analiz çıktıları oluşmaktadır. Elde edilen raporlarla kavşakların performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri tespit edilmektedir. Analizler sonucu optimizasyonu sağlayacak öneriler ve çözümler belirlenmiştir. Bu adımların her biri, SUMO Türkiye yazılımı ile yapılan kentsel hareketlilik analizinin etkinliğini artırarak, şehir içi ulaşım sistemlerinin daha verimli bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır.

#### 4. BALIKESİR SANAYİ 1-2 NOLU KAVŞAK BİLGİLERİ

Balıkesir şehir merkezine Bursa yönünden ulaşımı sağlayan D230 karayolu, kentin ana arterlerinden biri olarak önem taşımaktadır. Bu karayolu, şehir merkezine doğru ilerlerken birçok kesişim noktası barındırır. Bu noktaların doğru yönetilmesi, şehir trafiğinin düzenlenmesi ve akışın sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Şehrin içerisinden geçen diğer önemli bir hat ise TCDD'nin demiryolu hattıdır. Hemzemin olarak geçişi bulunan bu hat Balıkesir Küçük Sanayi merkezinin içerisinde kalmaktadır. Küçük Sanayi bölgesinin kapılarının bulunduğu yol akslarında kesişimler bulunmaktadır. Birçok kesişimi ve yoğunluğu olan bu yol aksları hemzemin yer altında herhangi altgeçiti bulunmamaktadır. Kentin önemli akslarında olan bu ana yolda çeşitli ulaşım ağları ve altyapı hatları (doğalgaz hattı, kanalizasyon hattı, içme suyu hattı, internet hattı gibi) bulunmaktadır. Balıkesir Küçük Sanayi bölgesinin giriş kapılarının bulunduğu yol akslarında çeşitli kesişim noktaları bulunmaktadır. Bu kesişim noktaları, Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşakları olarak adlandırılır ve kentin önemli ulaşım düğüm noktalarından bazılarıdır.





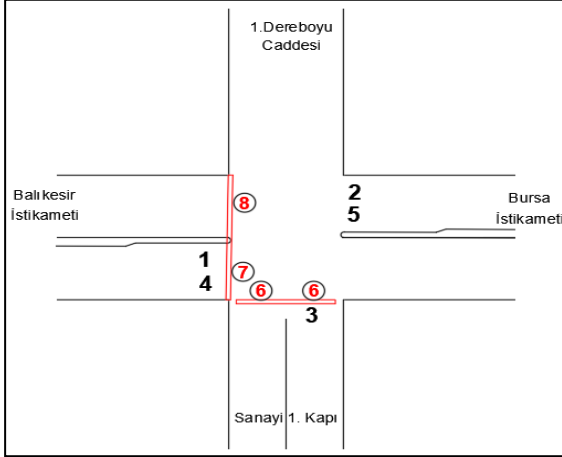
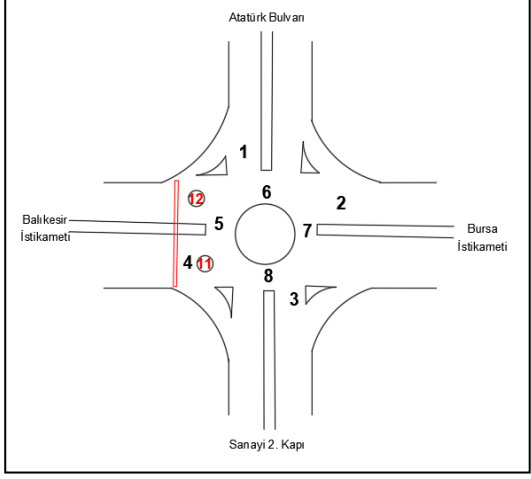
Şekil 4.1. Bölgenin hava fotoğrafı üzerinde merkezler gösterimi

Sanayi 1. Kapı Kavşağı, Bandırma Caddesi, 1. Dereboyu Caddesi ve Dereboyu Caddesi'nin kesişiminde yer alırken, Sanayi 2. Kapı Kavşağı, Bandırma Caddesi, Atatürk Bulvarı ve 9. Sokak'ın kesişiminde bulunmaktadır. Bu kavşaklar, şehir içi ulaşımın ana arterleri arasında yer alır. Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşakları dört kollu olup, trafik akışı bu kavşakların yaklaşım kollarında bulunan sinyalizasyon sistemleri ile kontrol edilmektedir. Bu sinyalizasyon sistemleri, trafik akışını düzenleyerek, araçların güvenli ve düzenli bir şekilde hareket etmelerini sağlamaktadır. Kavşaklardaki sinyaller, trafik yoğunluğuna göre ayarlanarak, bekleme sürelerini en aza indirmek ve trafiği akıcı hale getirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bölgenin coğrafi ve ulaşım

yapısını görsel olarak göstermek için Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarının fotoğrafları ve açıklamaları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu şekiller, kavşakların yerleşimini ve çevresel özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarının etkin yönetimi, Balıkesir’in şehir içi ulaşım sisteminin verimliliğini artırmak için hayati bir rol oynamaktadır. Bu kavşaklarda yapılan analizler ve iyileştirme çalışmaları, şehir içi trafiğin düzenlenmesi ve kentsel hareketliliğin optimize edilmesi için önemli veriler sunmaktadır. Dolayısıyla, bu kavşakların trafik analizleri, şehrin genel ulaşım stratejilerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Balıkesir’in merkezinde iki toplamda yirmi ilçeye sahip olduğundan toplu taşıma oldukça kritik bir roldedir. Şehrin geniş coğrafyası ve nüfusun ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda ulaşımını sağlamak kritik bir önemdedir. Bölgede bulunan toplu konutlar ve ticari tesisler aktif hareketliliği ortaya çıkarmaktadır. Bireylerin mallarının güvenli, hızlı ve verimli olarak hareket etmesini kentteki ulaşım ağının işletilmesi ve toplu taşıma sisteminin sağlanmasına bağlıdır. Şehir içi ulaşım ve İlçeler arası ulaşımı sağlamak için çeşitli hatlar bulunmaktadır. Hatlar toplu taşıma sistemiyle işletilmektedir. Bu toplu taşıma sistemi, otobüsler, minibüsler, taksi-dolmuş, ve dolmuş araçlarıyla Şehir içi ve İlçe’ler arası belli periyotlarla seferler düzenlemektedir. Kavşaklardan geçen toplu taşıma araçları hareketliliğin büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bahsedilen kavşakların mevcut geometrisi ve bilgileri Tablo 4.2.’de görüldüğü üzere Sanayi 1-2 nolu kavşakların konumları, akım kollarının numaralandırılması, sinyal numara konumları, faz döngü sıralaması, faz gruplarının gösterimi ve sinyal diyagramları bilgileri yer almaktadır.

**Tablo 4.2.** de Sanayi 1-2 nolu kavşaklarının mevcut bilgileri gösterilmektedir.

 <p>Sanayi 1. Kapı kavşağının konum ve akım kolları gösterimi</p>	 <p>Sanayi 2. Kapı kavşağının konum ve akım kolları gösterimi</p>
 <p>Sanayi 1. Kapı kavşağında sinyal numara konumları</p>	 <p>Sanayi 2. Kapı kavşağında sinyal numara konumları</p>
<p>Faz döngü sıralaması, 1-4-3-2 şeklindedir.</p>	<p>Faz döngü sıralaması, 5-1-2-3 şeklindedir.</p>



Faz F1, Balıkesir Geliş istikametidir.



Faz F5, Balıkesir-Bursa Geliş istikametidir.



Faz F4, Bursa Balıkesir istikametidir.





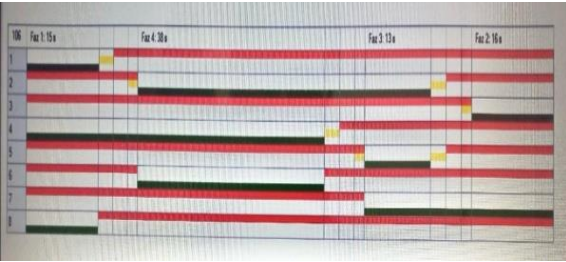
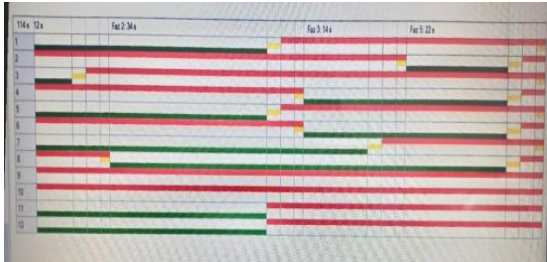
Faz F1, Atatürk Bulvarı ve Sanayi Geliş istikametidir.



Faz F3, Bursa Geliş istikametidir.

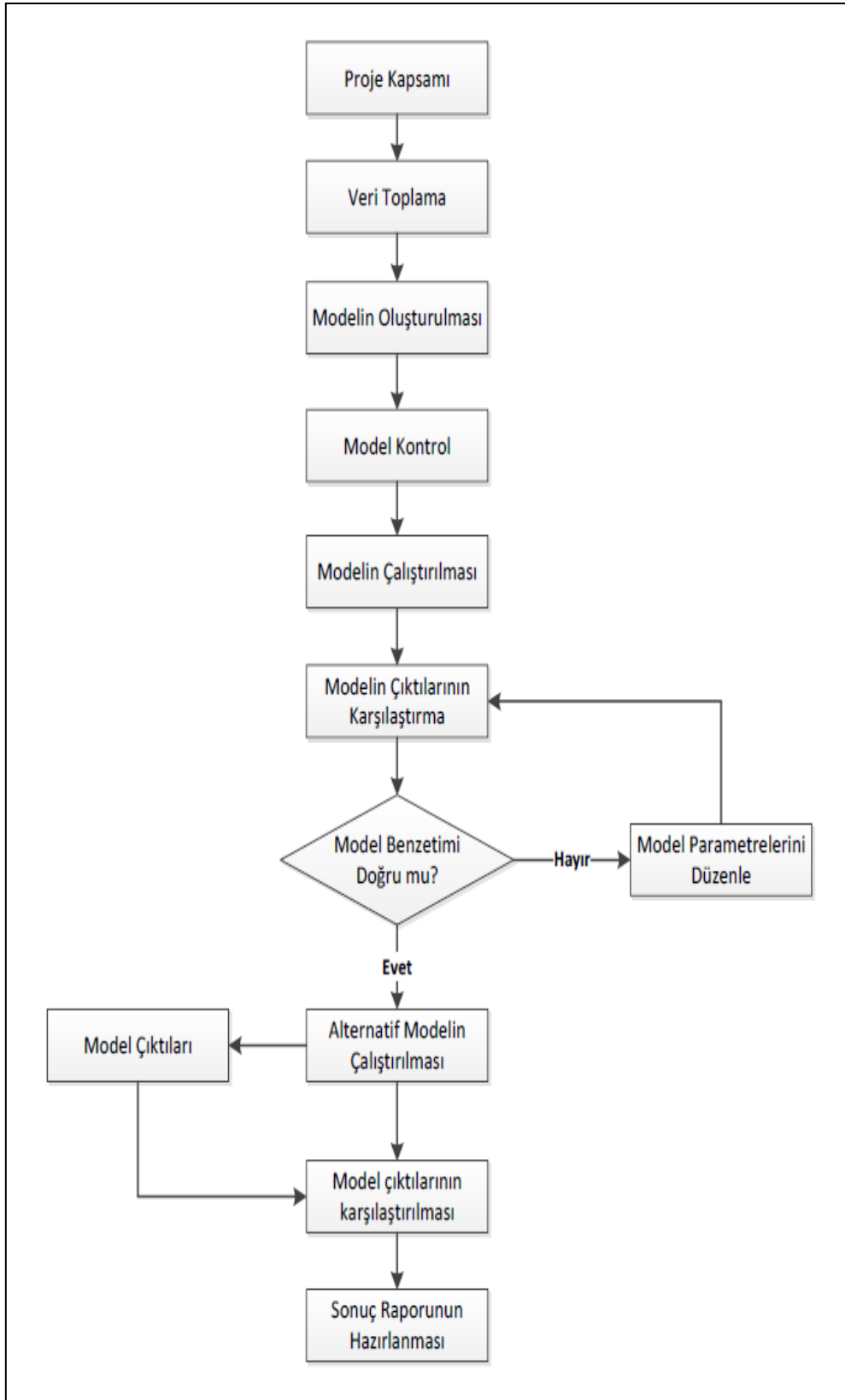


Faz F2, Atatürk Bulvarı Geliş istikametidir.

 <p>Faz F2, Sanayi 1.Kapı Geliş istikametidir.</p>	 <p>Faz F3, Balıkesir Geliş istikametidir.</p>
<p>Fazlar arası geçişte 3 saniye koruma süresi bulunmaktadır.</p>	<p>Fazlar arası geçişte 3 saniye koruma süresi bulunmaktadır.</p>
<p>Sanayi 1. Kapı kavşağının sinyal diyagramı</p> 	<p>Sanayi 2. Kapı kavşağının sinyal diyagramı</p> 

## 5. SIMULATION OF URBAN MOBILITY İLE KENTSEL HAREKETLİLİK ANALİZİ

SUMO Türkiye yazılımında, kentsel hareketliliğin analizi benzetim modeli oluşturularak gerçekleştirilir. Benzetim modelinin oluşturulması için belirli bölgedeki araç türleri ve özellikleri belirlenir ve bu verilere göre trafik senaryoları O-D matrisi ile modellenir. Oluşturulan model çalıştırılarak raporlandırılır ve elde edilen raporlar analiz edilerek performans değerlendirilmesi yapılır. Böylece, SUMO'da oluşturulan benzetim modeli, farklı çözüm senaryoları ile karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bu sürecin adımları Şekil 5.1.'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Benzetim Modeli Akış Şeması (Richard Dowling, 2004)

Modelleme süreci ve senaryo oluşturulmasında dikkate alınan veri başlıkları şu şekildedir:

- Yol Geometrik Verileri:** Yolun fiziksel yapısı, genişliği, şerit sayısı gibi bilgiler.
- Trafik Kontrol Verisi:** Trafik ışıkları, yol işaretleri ve diğer kontrol mekanizmaları.

•**Trafik Talep Verisi:** Bölgedeki araç sayısı, araç türleri ve trafik yoğunluğu gibi veriler.

SUMO yazılımı, kullanıcısının taleplerine göre esneklik sağlayarak geliştirilebilmektedir. C++ ve Python yazılım dilleriyle yazılmış olan SUMO, açık kaynak kodlu olduğundan kapsamlı kullanım alanı bulunmaktadır. Programlar arası veri haberleşmesi XML raporlarıyla gerçekleştirilirken, görsel ağ oluşturma Nedit arayüzü ile, iki ve üç boyutlu animasyonlar ise SUMO-gui arayüzü ile yapılmaktadır. SUMO kullanılarak oluşturulan simülasyonun üç temel bileşeni bulunmaktadır: yol dosyaları, rota dosyaları ve konfigürasyon dosyaları.

•**Yol Dosyaları:** Trafik ağına ilişkin teknik bilgileri içerir. Bu bilgiler arasında trafik ışıkları, şerit bilgileri, trafiğe kapalı yollar, koordinatlar ve coğrafi veriler yer alır. Yol dosyaları, SUMO fonksiyonları kullanılarak oluşturulabilir veya Open Street Map (OSM) aracılığıyla belirli bir yol, cadde veya bölgeye ait gerçek trafik senaryosu indirilebilir ve SUMO'da simülasyon yapılabilir.

•**Rota Dosyaları:** Araçların izleyeceği rotalar ve güzergah bilgilerini içerir.

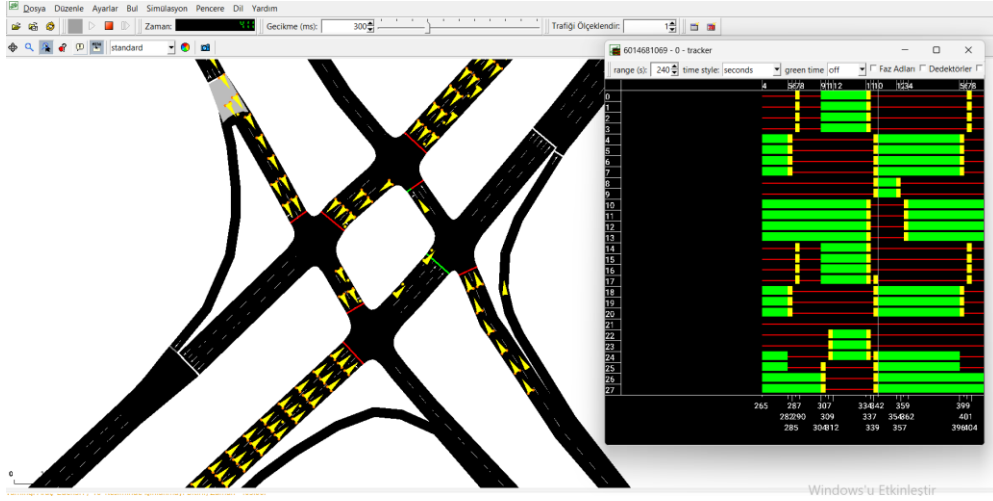
•**Konfigürasyon Dosyaları:** Simülasyonun genel ayarları ve parametrelerini içerir.

SUMO, kentlerin trafik planlama ve yönetimi konusundaki en büyük sorunlarından biri olan trafik sıkışıklığını çözmek için kritik bir araçtır. Ulaştırma mühendisleri ve uzmanlar, SUMO ile ulaşım strateji planlarını, ulaşım ağlarının modellenmesini, trafik akışını optimize etmeye yönelik senaryoları ve iyileştirme önlemlerini simüle etme ve değerlendirme olanağına sahiptir. Bu yazılım, şehirlerin daha verimli ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerine sahip olmalarını sağlamaktadır. SUMO'nun sağladığı bu olanaklar, kentsel hareketlilik stratejilerinin geliştirilmesi ve trafik akışının iyileştirilmesi açısından büyük önem taşır. Bu doğrultuda, şehir planlamacıları ve ulaşım uzmanları, SUMO ile kentsel hareketlilik projelerinde daha etkili ve verimli çözümler üretebilirler. Benzetim modellerinin sunduğu veriler ve analizler, kent içi ulaşımın sürdürülebilirliğini ve etkinliğini artırmak için önemli bir referans kaynağı oluşturmaktadır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, SUMO Türkiye ile Balıkesir İli Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşakların, kentsel hareketliliği ile kavşakların trafik performanslarını değerlendirmek için ayrıntılı analiz çalışması hareketlilik analizi hazırlandı. Açık uçlu yazılımı olan SUMO programıyla kavşakların mevcut modellemesi hazırlanmıştır. Oluşturulan modellemeyle trafik performans çıktıları, emisyon değerleri gibi raporlar analiz çalışmasına kaynak olmuştur. Çalışmayla mevcut trafik yoğunluğunun tespit edilmesi ve kavşakların trafik performansı ile yoğunluklar ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi açısından önemli bilgiler sağlamıştır. Kavşakların işletiminin optimizasyonu için çözüm önerisi sunulmuştur.

Mevcut durumu iyileştirmek ve daha etkin bir trafik akışı sağlamak için kısa, orta ve uzun vadeli planlar geliştirilmiştir. Kısa vadeli planlar, trafik sıkışıklığını azaltmak ve yol kullanıcılarının daha rahat bir şekilde seyahat etmelerini sağlamak için hızlıca uygulanabilecek çözümleri içerir. Orta vadeli planlar, kavşaklarda gerekli altyapı düzenlemelerinin yapılmasını ve trafik akışının daha dengeli hale getirilmesini amaçlamaktadır. Uzun vadeli planlar ise, daha geniş çaplı projeleri ve şehir planlaması kapsamında yapılacak olan kapsamlı değişiklikleri içermektedir. Bu iyileştirme önerileri, trafik ışıklarının senkronizasyonundan yol genişletme çalışmalarına, yaya geçitlerinin yeniden düzenlenmesinden toplu taşıma araçlarının güzergahlarının optimize edilmesine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Yapılan analizler ve öneriler, hem günlük trafiğin akışını iyileştirmek hem de uzun vadede sürdürülebilir ve verimli bir kentsel ulaşım ağı oluşturmak için büyük önem taşımaktadır. Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler, kavşaklarda görülen trafik yoğunluğunu belirlemek için önemli bir kaynak olmuştur. Çalışmanın model çalışması sayesinde, Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarının trafik akışını simüle ederek mevcut yoğunlukları, sinyalizasyon düzenlemelerinin etkinliğini ve kavşaklardaki araç hareketliliğini analiz etmemize imkan tanımıştır. Şekil 6. modelin işletilmesi anındaki sinyal plan gösterimi gösterilmekte olup optimizasyonun sağlamaktadır.



Şekil 6. Modelin işletilmesi anındaki sinyal plan gösterimi

Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının trafik optimizasyonu hedefleyen çalışmada, SUMO Türkiye yazılımı kullanılarak çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Bu öneriler:

- 1. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Yapay Zeka:** Akıllı ulaşım sistemleri ve yapay zeka entegrasyonu sağlanarak trafik akışındaki verim artırılır. Çok fonksiyonel ve dinamik olarak işeyen yapay zeka algoritması gerçek zamanı yöneterek ihtiyacı karşılayacaktır. Akıllı sinyalizasyon ve akıllı tabelalarla kavşakta geçirilen süreler azalacaktır, dur-kalk ve araç kuyruk oluşması, çözümlenerek emisyon miktarı azalacaktır. Yakıt kullanımındaki azalmalar hava kalitesini arttıracaktır. Çeşitli akıllı çözüm uygulamalarıyla sürücüler trafik sıkışıklığının olduğu zamanlarda kavşağa gelmeden alternatif yolları tercih edebilirler. Bu sürücülerin zaman tasarrufu yapıp daha kaliteli bir sürüşüne yardımcı olur. Balıkesir'de kent merkezindeki trafik sinyalizasyon sistemlerinin, yapay zeka ile entegrasyonu sağlanmalıdır. Bu entegrasyon, dinamik algoritmaların kullanılmasını ve trafik akışının optimize edilmesini sağlayacaktır. Akıllı sinyalizasyon ve bilgilendirme tabelaları kullanılarak araç kuyruklarının azaltılması hedeflenmektedir. Böylece emisyon ve yakıt tüketiminin azaltılmasıyla hava kalitesinin iyileştirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, sürücülerin alternatif güzergahları tercih etmeleri için yönlendirilmeleri gerekmektedir.
- 2. Toplu Taşıma Araçlarının Hat Optimizasyonu:** Toplu taşıma hareketliliğin ana taşlarından biridir. Çok modlu ulaşımında alternatiflere dağılmasını sağlar. Bireylerin özel araçlarını tercih etmeyip toplu taşıma kullanılması, yaşanabilirliği ve sürdürülebilir ulaşımı sağlar. Toplu taşıma araçların çevreci olması ulaşımın sürdürülebilirlik döngüsünde gerçekleştirilmektedir. Toplu taşıma ve diğer araçların çevre dostu araçlara dönüşümüyle sürdürülebilirlik sağlanarak emisyon ve yakıt tüketimini azaltır. Toplu taşıma sistemlerinin hat optimizasyonu ile kaynak yönetimi sağlanıp enerji tasarrufu sağlanır. Kullanıcıların seyahat taleplerine göre hareket eden toplu taşıma araçları karbon ayak izini azaltmaktadır. Toplu taşıma araçları ve durakları arasında akıllı ulaşım veri entegrasyonu ile taleplerin olmadığı durumlarda sefer sıklıkları azaltılır. Talebin yoğunluğu arttığı durumlarda da sefere gelecek toplu taşıma aracının kapasitesi artırılarak hizmet sağlanmalıdır. Süreç karşılıklı etkileşimle sürekli optimize olarak çalışmalıdır. Balıkesir'deki toplu taşıma hatları daha verimli hale getirilmelidir. Bu optimizasyon, çevre dostu toplu taşıma araçlarının kullanımını artırarak enerji tasarrufu sağlayacak ve kaynak yönetimini optimize edecektir. Veri entegrasyonu ile yolcu taleplerine göre sefer sıklıkları ve araç kapasiteleri dinamik olarak ayarlanabilir, böylece kullanıcı memnuniyeti artırılabilir.
- 3. Yol Geometrisinde Düzenlemeler:** Balıkesir'de yol genişletme çalışmaları yapılmalı ve yeni şeritler eklenmelidir. Kavşaklarda dönüş yasakları ve güvenliği artıracak düzenlemeler yapılmalıdır. Yaya geçitlerinin güvenliği ve fiziksel altyapının iyileştirilmesi, trafik akışının daha düzenli ve güvenli olmasına katkı sağlayacaktır.
- 4. Alternatif Yol ve Rotalar:** Balıkesir'de trafik yoğunluğunu azaltmak için yeni alternatif yollar belirlenmeli ve mevcut yol ağı dengeli bir şekilde dağıtılmalıdır. Bu, şehir içi trafiği rahatlatarak zaman tasarrufu sağlayacak ve çevresel etkileri minimize edecektir.



5. **Bilinçlendirme ve Teşvik Çalışmaları:** Trafikte empati ve farkındalık eğitimleri, yaşanabilir kentlerin önemli bir parçasıdır. Trafikteki bireysel araç kullanımını azaltmak için en önemli adım toplu taşıma kullanıcıları arttırmaktır. Temelinde trafik, empati ve farkındalık çalışmasının başlanması gereken bilinçlendirme eğitimleri gerekmektedir. Toplu taşıma kullanımını teşvik eden kampanyalar yürütülmeli ve sürücü ile yaya bilinci artırılmalıdır. Bu süreçle beraber toplumsal harekete adaptasyonlar gerçekleşir. Sürücü ve yaya kavramları karşılıklı değerlendirilerek trafik bilinci temeli oluşturulur. Böylelikle şehir içi hareketliliğin daha güvenli ve verimli olmasına katkı sağlanacaktır..
6. **Çok Modlu Ulaşımın Arttırılması ve Entegrasyonu:** Bireylerin ulaşım alternatiflerini çeşitlendirmek bireysel araç kullanımını azaltmaya yardımcı olur. Çok modlu ulaşım hareketliliğin tercih edilmesini sağlar. Sadece araçlara ait olan yollar yaşanabilirliği azaltmaktadır. Yollara kaldırım, yeşil alan, bisiklet yolları ve toplu taşıma araç şeritler şeklinde ilavelerle çeşitlilik arttırılmalıdır. Bireyler yaya ve bisikletli olarak ulaşımını tercih etmesi bölgenin yaşanabilirlik verimi artar. Araç kullanımını azalacağından hava ve gürültü kirliliği azalacaktır. Alternatif ulaşım modlarıyla çeşitlilik çevreci çözümleri de beraberinde getirir. Balıkesir'de toplu taşıma, bisiklet yolları ve yaya yolları entegre edilmelidir. Bireysel araç kullanımının azaltılması ve çevre dostu ulaşım modlarının yaygınlaştırılması, şehir içi ulaşımın sürdürülebilirliğini arttıracaktır.
7. **Toplu Taşıma ve Diğer Araçların Çevre Dostu Araçlara Dönüşümü:** Balıkesir'de toplu taşıma ve diğer araçlar çevre dostu araçlara dönüştürülmelidir. Bu sayede emisyonların ve yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenirken, çevre dostu ulaşımın teşvik edilmesi sağlanacaktır.
8. **Uzaktan Çalışma ve Esnek Çalışma Saatleri Uygulamaları:** Balıkesir'de uzaktan çalışma ve esnek çalışma saatleri teşvik edilmelidir. Uzaktan çalışma ve esnek çalışma saatleri uygulamaları önerisi kentte yaşayan bireylerin zirve saatlerde aynı ihtiyaç durumlarından dolayı toplu hareket etmeleri gerekmektedir. Bu uygulamalar, zirve saatlerdeki trafik yoğunluğunu azaltarak kentsel hareketliliği daha verimli hale getirecektir. Ayrıca, iş ve yaşam dengesinin iyileştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

Bu öneriler, Balıkesir ili için özgü kentsel hareketlilik sorunlarına çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu çözümlerin uygulanmasıyla birlikte şehir içi ulaşımın daha etkin, güvenli ve çevreci bir şekilde yönetilmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan çözüm önerilerinin uygulanması, Sanayi 1. Kapı ve 2. Kapı kavşaklarının trafik yükünü hafifletecek, yol kullanıcılarının konforunu artıracak ve şehir genelinde kentsel hareketliliği daha etkin bir hale getirecektir. Bu kapsamda yapılan tüm planlamalar, şehir yönetimleri ve ilgili kurumlar tarafından dikkate alınarak hayata geçirilmesi gereken önemli adımları içermektedir. Gelecek projeksiyonlar düşünüldüğünde önerilerin uygulanabilir olması ulaştırma mühendisleri ve trafik yöneticilerine ilham olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Arroyo, N., Acosta, A., Espinosa, J., & Espinosa, J. (2018). A new strategy for synchronizing traffic flow on a distributed simulation using SUMO. *EPiC Series in Engineering*, 2, 152-161.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73-80.
- Barthauer, M., & Hafner, A. (2018). Coupling traffic and driving simulation: Taking advantage of SUMO and SILAB together.
- Becker, C., Bieker, L., Doll, C., Esser, F., Flötteröd, G., Lorkowski, S., ... & Rössel, C. (2018). SUMO—Simulation of Urban Mobility: An Overview. In *International Conference on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks* (pp. 65-76). Springer, Cham.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., & Krajzewicz, D. (2011). SUMO—simulation of urban mobility: an overview. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in System Simulation* (pp. 55-60).
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software*. Office of Operations Federal Highway Administration.
- Gössling, S. (2016). Urban transport justice. *Journal of Transport Geography*, 54, 1-9.

Litman, T. (2011). Evaluating transportation equity: guidance for incorporating distributional impacts in transportation planning. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T. (2013). Transportation and public health. Annual Review of Public Health, 34, 217-233.

Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., & Bieker, L. (2006). Recent development and applications of SUMO-simulation of urban mobility. International Journal On Advances in Systems and Measurements, 5(3&4), 128-138.

Krogscheepers, J., & Roebuck, C. (1998). Unbalanced traffic volumes at roundabouts. In: Fourth International Symposium on Highway Capacity, Hawaii, USA.

Niero, S. (2018). Development and implementation of a fleet simulation in SUMO.

Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. (2012). TTI's 2012 Urban Mobility Report. Texas A&M Transportation Institute.

ShamimAkhter, M. N. A., Quaderi, S. J. S., Al Forhad, M. A., Sumit, S. H., & Rahman, M. R. (2020). A SUMO based simulation framework for intelligent traffic management system. Journal of Traffic and Logistics Engineering, 8(1).

Soares, G., Macedo, J. L., Kokkinogenis, Z., & Rossetti, R. J. (2013). An integrated framework for multi-agent traffic simulation using SUMO and JADE.

URL 1:

<https://akillishirekosistem.csb.go9v.tr/DataBank/Detail?mId=310035003800&dataBankDataTypeMIId=3900360030003600> (Erişim Tarihi 20.02.2024).

URL 2: <https://www.akillisehirler.gov.tr/sumo/> (Erişim Tarihi: 03.03.2024).

**Not:** Bu makale İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Mustafa ILICALI danışmanlığında, Gülten BAYRAM tarafından yürütülecek olan, "Balıkesir Sanayi 1-2 Nolu Kavşakların SUMO ile Kentsel Hareketlilik Analizi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.



Araştırma Makalesi

**İÇ MEKANDA IŞIKLI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN KULLANIMI****Yeşim ARSLAN<sup>†</sup> Makbule Tuba BOSTANCI BASKAN<sup>††</sup>**<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

yesimarslany@gmail.com , mtubabbaskan@ticaret.edu.tr



0009-0000-2268-5766 , 0000-0001-8174-0147

**Atıf/Citation:** ARSLAN, Y., BOSTANCI BASKAN, M.T., (2024). İç Mekanda Işıklı Tekstil Ürünlerinin Kullanımı, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.251-260, DOI: 10.56809/icujtas.1503280**ÖZET**

Işıklı tekstil ürünleri, iç mekân tasarımında hem estetik hem de işlevsel açıdan fark yaratmaktadır. Bu makalede, tekstil malzemelerinin ışık ile entegrasyonu sonucu, tavan, duvar yüzeylerinde ve mobilya döşemelerinde kullanımları ele alınmış, bu malzemelerin iç mekân yüzey kaplamaları örnekleri üzerinden incelenmiştir. Işıklı tekstil ürünlerinin enerji verimliliğine katkısı, iç mekâna estetik değer katkısı ve kullanıcı deneyimi bakımından kullanım alanı gelişmekte yaygınlaşmaktadır. Teknolojik gelişmeler ışığında geliştirilen bu tip yeni uygulamalar ile iç mekân tasarım alanı zenginleşmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Işık, İç Mekân, Tekstil, Aydınlatma, Işıklı Tekstil***USE OF LIGHT TEXTILE PRODUCTS IN INDOOR****ABSTRACT**

Illuminated textiles make a difference both aesthetically and functionally in interior design. In this article, as a result of the integration of textile materials with light, their use on ceiling, wall surfaces and furniture upholstery is discussed and examined through examples of interior surface coverings of these materials. The use of luminous textile products in terms of their contribution to energy efficiency, aesthetic value contribution to the interior and user experience is becoming widespread. The field of interior design is enriched with such new applications developed in the light of technological developments.

**Keywords:** *Light, Interior, Textiles, Lighting, Illuminated Textiles*

Geliş/Received	:	21.06.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	24.07.2024
Kabul/Accepted	:	31.07.2024

## 1. GİRİŞ

Dokuma ve resim sanatı olarak başlayan goblenler, günümüzde çağdaş tekstil sanatına dönüşmüştür. Goblen ve tekstil sanatı, malzeme ve tekniğin birleşimiyle ortaya çıkar. Avrupa'da 14. yüzyılda nadir olan goblenler, 19. yüzyılın sonunda William Morris'in Arts & Craft hareketi ile yeniden canlanmış ve Bauhaus okulundaki tekstil atölyelerinde gelişmeye devam etmiştir. Çağdaş tekstil sanatı, lif sanatı ve fiber art olarak da bilinmektedir. Tasarım, insanların günlük yaşamlarında karar almalarında ve çözümlerinde önemli bir yer tutmakta ve üretilen eserlerin yansıttıkları mesaj, estetik etkileri ile toplumun kültürel ve sanatsal yapısını yansıtmaktadır.

İç mekân tasarımında kullanılan tekstil malzemeler, renk, doku ve desen özellikleriyle çok yönlüdür. Bir yandan estetik bir görünüm sunarken, diğer taraftan korunma ve mahremiyette sağlamaktadır. İç mekanlar, kullanıcıların alışkanlıkları ve kültürel özellikleri dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Duvar, tavan ve mobilyalarda kullanılan tekstil ürünleri, kütle tasarımının sunduğu kimliğe bir ek olarak iç mekânın kimliğini kazanmasında büyük rol oynar ve bu unsurların uyum içinde olması önemlidir. İç mekânda kullanılacak doku, renk ve desen özellikleri, kullanıcıların beş duyu organına hitap ederek mekân algısı deneyimini ve psikolojisini etkiler. Işık teknolojisindeki gelişimin bir ürünü olan fiber optiklerin tekstil malzemelerine dokuma aşamasında entegrasyonu ile dokumalara ışık özellikleri eklenmeye başlanmıştır. Dönemsel gelişmeler ve farklı ihtiyaçlara cevap vermek adına kimi zaman LED kimi zaman polimer fiber optikler ile tekstiller ışıklandırılarak iç mekâna yeni estetik değerler kazandırılmaya çalışılmıştır.

## 2. İÇ MEKÂNDAYDINLATMA

İç mekân aydınlatması, mimarlığın önemli bir unsuru olarak, hem işlevsel hem de estetik açıdan büyük önem taşır. Doğru aydınlatma, mekânın kullanım amacına uygun olarak belirlenmeli ve kullanıcı deneyimini optimize etmeye yönelik olmalıdır. İç mekân aydınlatmasının başarılı bir şekilde tasarlanması, kullanıcıların görsel konforunu sağlamanın yanı sıra, mekânın atmosferini ve ambiyansını da belirler (Baskan, 2004). İç mekân aydınlatmasında kullanılan temel aydınlatma düzenleri, genel aydınlatma, görev aydınlatması ve vurgu aydınlatması olarak sıralanabilmektedir. Bunlar, mekânın farklı alanlarında ve farklı amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Genel aydınlatma çalışma düzlemi üzerinde düzgün yayılmış, gerekli aydınlık düzeyini sağlamaya yönelik yapılan aydınlatma düzenidir. Tavana monte edilen avizeler, tavan aygıtları veya geniş yüzeyleri aydınlatan armatürler genel aydınlatma amacıyla kullanılan en yaygın aydınlatma elemanlarıdır. Genel aydınlatma, mekânın genel görünümünü belirler ve temel aydınlatma ihtiyacını karşılar (Rea, 2000).

Görev aydınlatması, eylemlerin gerçekleşmesi için gerekli aydınlığı sağlamaya yönelik yapılan aydınlatma düzenidir. Okuma lambaları, mutfak tezgâhı aydınlatmaları ve çalışma masası lambaları görev aydınlatmasına örnek olarak verilebilir. Görev aydınlatması, belirli aktiviteler sırasında göz yorgunluğunu azaltmak ve odaklanmayı artırmak için tasarlanmıştır (Miller, 2015).

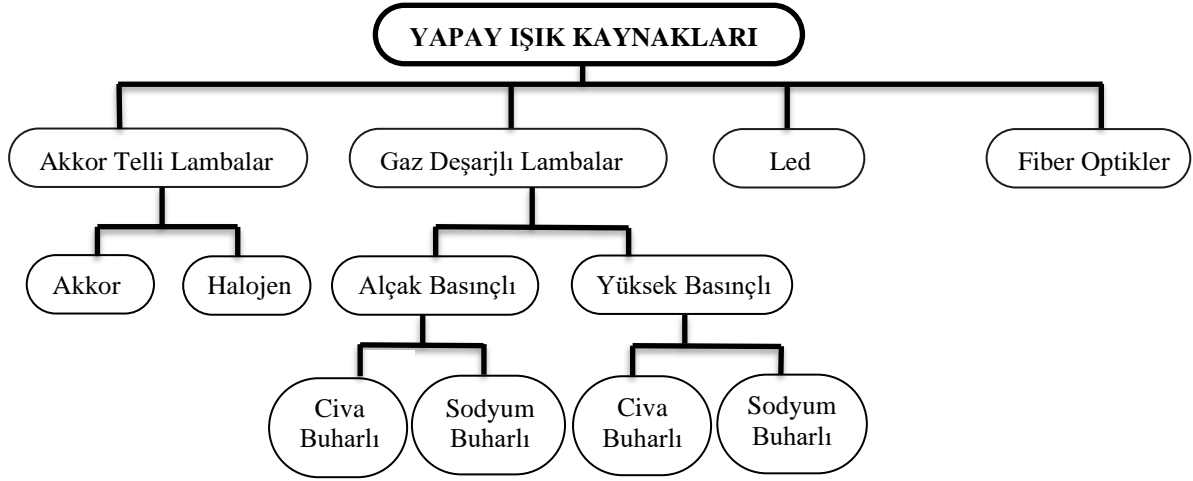
Vurgu aydınlatması belirli bir nesneyi vurgulamak ya da görüş alanı içinde belirli bir yere dikkati çekmek için doğrultulu ışık uygulamaktır. Sanat eserleri, bitkiler veya mimari detaylar bu şekilde vurgulanabilir. Spot ışıklar veya yönlendirilebilir aygıtları bu tür aydınlatma için sıklıkla tercih edilir. Vurgu aydınlatması, mekânın derinliğini ve görsel cazibesini artırmada etkilidir (Philips, 2017).

## 3. IŞIK VE IŞIK KAYNAKLARI

Işık her yerde var olan ancak elektrik ve manyetik alanda yayılan kaynağından çıktıktan sonra kesintiye uğramadıkça dağılan elektromanyetik radyasyondur. Işık kaynakları doğal ve yapay ışık kaynakları olarak temelde iki bölümde ele alınabilir. Doğal ışık kaynaklarına örnek olarak, güneş, şimşek, yıldız söylenebilir. Yapay ışık kaynakları, ateşin bulunuşu ile ortaya çıkmış olup, elektriğin keşfi ve teknolojinin gelişmesi ile çeşitlenip yaygınlaşmıştır (Baskan, 2019).

### 3.1. Yapay Işık Kaynakları

Günişliğinin olmadığı durumlarda yapay aydınlatmadan yararlanılmaktadır. Yapay ışık kaynakları, ışık üretim prensiplerine göre Şekil 1’de sunulduğu gibi gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 1. Işık üretim prensiplerine göre yapay ışık kaynakları

Işıklı tekstil ürünleri uygulamalarında, yukarıda söz edilen yapay ışık kaynaklarından LED ve Fiber optik ışık kaynakları, küçük boyutlu olmaları, ısı ve (kızılötesi)IR ışınım yayımlamamaları ve esnek tasarım çözümlerine uygunlukları nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır.

Ayrıca LED, mekanların aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve kullanıcı konforu açısından önemli bir rol oynar. LED'ler, düşük enerji tüketimleri ve uzun ömürleri sayesinde, geleneksel aydınlatma yöntemlerine göre daha çevre dostu ve ekonomik bir seçenektir (Fitöz, 2002). LED aydınlatma sistemleri, yüksek ışık verimliliği ve düşük ısı yayılımı özellikleri ile bina içi termal konforunu arttırmakta ve soğutma ihtiyacını azaltmaktadır. Yapı fiziğinde, LED'lerin farklı renk sıcaklıkları ve ışık yoğunlukları sunma yetenekleri, iç mekânlarda istenen atmosferi yaratmaya imkân sunmakta ve görsel konforu optimize etmektedir.

İç mekân aydınlatma sistemlerinden bir diğeri de fiber optiklerdir. Fiber optik aydınlatma sistemi, elektriği değil ışığı taşıyan yenilikçi yapısı sayesinde, geleneksel aydınlatma tekniklerinden ayrılarak iç mekân aydınlatmasında pek çok olanak ve kullanım kolaylığı sunar. Fiber optik aydınlatma sisteminde kullanılan fiber kablolar, uçtan ve yandan ışık veren tipleri ile tasarımcılara iki farklı seçenek sunar. Uç aydınlatma için kullanılan fiber kabloların çalışma prensibi kaynağından çıkan ışığı, fiber kablonun içerisinde peş peşe yansıtarak hedef noktaya taşımaktır. Yandan ışık veren fiber optik kablolar ise güç kaynağından çıkan ışığı, uç aydınlatma sisteminin aksine fiber kablonun yanlarından dışarı çıkartıp yayarak çalışır (Baskan ve ark., 2000).

Fiber optiklerin iç mekân aydınlatmasındaki kullanımı, montaj kolaylığı ve düşük maliyet avantajları sunarak enerji verimliliği ve estetik tasarıma katkısı açısından ön plana çıkmaktadır. Fiber optikler, tek bir ışık kaynağından birçok noktaya ışık taşıyabilmektedir. Işığı etkili bir şekilde iletebilme kapasiteleri ve kolay kurulum özellikleri sayesinde geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla üstün performans göstermektedirler. Ayrıca, bu fiberler, düşük enerji tüketimi ve uzun ömürleri ile sürdürülebilir bir aydınlatma çözümü sunmaktadır. Fiber optikler, iç mekânlarda homojen ışık dağılımı sağlayarak hem görsel konforu artırmakta hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır.

#### 4. IŞIKLI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN İÇ MEKÂNDAN KULLANIMI

Işıklı tekstil ürünleri, iç mekanlarda kullanılan ve tekstil materyalleri ile aydınlatma teknolojisinin birleştirildiği özel tasarımlardır. Bu ürünler genellikle LED'ler veya fiber optik ışık kaynakları gibi enerji verimli, aydınlatma teknolojileri ile entegre edilmiş kumaşlar veya tekstil malzemelerini içerirler. Işıklı tekstil ürünleri, dekoratif amaçlarla kullanılabilir gibi, aydınlatma fonksiyonu da görebilirler. Perdelerden duvar panellerine, mobilyalardan giydirmeye duvarlara kadar çeşitli iç mekân elemanlarında kullanılabilirler. Tasarım açısından esneklik sunarlar ve çeşitli renk, desen ve parlaklık seçenekleriyle mekânlara özgün bir atmosfer katarlar (Turgay, 2009). Ayrıca, enerji verimliliği ve çevre dostu özellikleriyle de dikkat çekmektedirler.

Teknolojinin gelişimiyle beraber malzemede meydana gelen değişim ve dönüşümün akıllı, aynı zamanda sürdürülebilir bir malzeme haline gelmesi, sürekli teknolojinin gelişmelerini yakında takip edip ayak uydurma ve iç mekân tasarımında dijitalleşmeyi beraberinde getirmiştir. İç mekân etkileşimli bir ortamdır ve gelişen teknolojiyle beraber iç mekânda bu gereksinimlere hizmet eden akıllı ve etkileşimli malzemeler kullanılması gerekir (Boyce, 2014).

İç mekânda geleneksel tekstil kullanım anlayışının ötesine geçen yeni bir trend, ışıklı tekstil ürünlerinin kullanım popürlüğündeki artışa dikkat çekiyor. Aydınlatma elemanlarıyla entegre edilmiş tekstiller, bir mekânın atmosferini özelleştirmek için renk değişiklikleri veya desenler sunan perde veya bölücü olarak kullanılabilir (Afifi, 2020). Perdeler, yastıklar, masa örtüleri ve duvar panelleri gibi çeşitli ürünlerde kullanılan ışıklı teknoloji, iç mekânın görünümünde aynı ürünlerle anlamlı farklar oluşturabilmekte ve görsel açıdan daha zengin bir atmosfer oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu ürünler sadece estetik anlamda değil aynı zamanda fonksiyonellik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Örneğin; fiber optik le dokunmuş kumaşlar ile yapılmış ışıklı perdeler, ışık şiddetini ayarlanabilmesi sayesinde kullanıcılara istedikleri aydınlık düzeyini sunabilmekte, değişken renk ve dokuma biçimine bağlı olarak oluşturulabilecek desen seçenekleriyle iç mekânın ambiyansını değiştirebilmektedir. Işıklı tekstil ürünlerinin kişiselleştirilebilir olması, iç mekân tasarımında tam bir özgürlük sağlıyor. Renk seçenekleri ve desen çeşitliliği sayesinde herkes kendi tarzını yansıtabiliyor ve mekânını kendine özgü bir şekilde dekore edebiliyor. Geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha enerji verimli olan LED teknolojisi, ışıklı tekstil ürünlerini çevre dostu bir seçenek haline getiriyor. Bu da sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda çevre bilincinin artmasıyla da uyumlu bir yaklaşım sunmaktadır.

İç mekânda ışıklı tekstil kullanımları klasik uygulama yöntemlerinin yanı sıra pek çok farklı alanda kullanılmaya başlanmaktadır. Klasik uygulamaların başında iç mekânı aydınlatma amacıyla kullanılan armatür tasarımlarına tekstilin entegre edilmesidir.

Işık kaynağının özellikleri iç mekânın ve ortam özelliklerini, tasarımını, kullanılan malzemelerin algılanmasını belirlemede büyük bir rol oynar bu sebeple ışık kaynağının oldukça dikkatli seçilmesi gerekir. Aydınlığın niceliği ve niteliği, ışık kaynağının özelliklerine göre değişir (Özkaya, 2000). İç mekân tasarımında armatürler, işlevselliğin yanı sıra estetik ve atmosfer oluşturmada önemli rol oynar. Bu sebeple aygıt seçimi sırasında dikkate alınması gereken bazı hususlar vardır.

Aydınlığın nicelik ve niteliği, kullanılacağı iç mekânın fonksiyonlarına uygun olmalıdır. Aydınlatma gereksinim ve fonksiyonellik beklentilerine karar vermeden önce mekânın kullanım amacı ve gereksinimleri belirlenmelidir (Sirel, 2001). Örneğin, oturma odası rahat bir atmosfer sağlamak için yumuşak ve sıcak bir aydınlatmaya ihtiyaç duyarken, mutfak daha işlevsel ve parlak bir aydınlatma gerektirebilir. Bu durum tamamen deneyimlenmek istenen ortam beklentilerine kalmıştır.

İşlevsellik, aydınlatmanın hangi aktiviteleri destekleyeceğini belirler. Okuma köşeleri, çalışma masaları veya yemek masaları için doğrudan aydınlatma gerekebilirken, genel aydınlatma geniş bir alanı kapsamalıdır.

Stil ve tasarım uyumu da önemli kriterdir. Modern bir iç mekân için düz çizgilere sahip, minimalist armatürler tercih edilebilirken, klasik bir iç mekân için daha detaylı ve süslemeli armatürler seçilebilir. Örneğin, endüstriyel tarzda bir mutfak için metal ve açık lambalar tasarlanmış armatürler uygun olabilir.

Boyut ve ölçek, armatürün mekan içindeki diğer unsurlarla uyumlu olmasını sağlar. Büyük bir salon için geniş ve gösterişli avizeler veya asma tavan armatürleri tercih edilebilirken, küçük bir yatak odası için daha kompakt tavan veya duvar armatürleri daha uygun olabilir.

Enerji verimliliği konusunda LED armatürler, enerji tasarrufu sağlar ve uzun ömürlüdür. Hem çevre dostu hem de maliyet etkin olmaları, LED armatürleri popüler bir seçim haline getirir. Bu detaylar, armatür seçimi yaparken dikkate alınması gereken önemli faktörleri içerir. İç mekan aydınlatmasını planlarken, bu kriterlerin her birini göz önünde bulundurmak, istenen atmosferi ve işlevselliği elde etmede yardımcı olacaktır. Ancak armatür seçimi yaparken bir diğer önemli husus ise armatür ışık dağılımı eğrisidir. Işık dağılımı, dolaysız, dolaylı, yayıncık, simetrik ve asimetrik olarak ayrılır.

#### 4.1. Işıklı Tekstil Ürünlerinin Tavan Uygulamaları

Tavan aydınlatmasında kullanılan hafif tekstiller, mekana modern ve keskin bir görünüm kazandırır. Bu tür çözümler, ışığı homojen bir şekilde dağıtarak göz sağlığının korunmasına yardımcı olur ve tavanın yüksekliğini vurgular. Mekan tasarımında, tekstillerin armatür tasarımına entegrasyonu, aydınlatma çözümlerine çok yönlü bir yaklaşım imkanı tanır. Armatürlerde tekstil kullanımı farklı mekanlara ve tasarım tercihlerine uyacak şekilde özelleştirilmesine olanak sağlar. Tekstiller, ışığı dağıtmak, armatürlere doku, renk ve desen eklemek için uygun malzemelerdir. Tekstilin esnek form özellikleri sayesinde, tasarım parametrelerinin kalıplaşmanın önüne geçer. Tasarımcılar, belirli özelliklere sahip tekstilleri dikkatlice seçerek, armatürler tarafından yayılan ışığın difüzyonunu ve renk sıcaklığını kontrol edebilir, böylece iç mekanlarda genel aydınlatma tasarımını geliştirebilir(Taşdelen, 2020).



Şekil 4. Armatür inceleme örneği(<https://www.yuseafood.com/yorkdalehome>)

Şekil 4'deki görseldeki, bu armatürler, ışıklı tekstil kullanımı açısından incelendiğinde çeşitli estetik ve fonksiyonel özellikler sergilemektedir. Tasarımda geometrik şekiller ve organik formlar dikkat çekmekte, bu da mekanı daha sofistike ve modern bir görünüme kavuşturmaktadır. Armatürün geometrik şeklini oluşturmak için kullanılan kumaş ve profil parçalarının birleşim yerlerine, yerleştirilmiş LED sistemi bulunmaktadır. Armatürlerin katmanlı yapısı, ışıklı tekstil ile kaplanarak derinlik ve görsel ilgi sağlar. Işıklı tekstil malzemesi, ışığın homojen bir şekilde yayılmasını sağlayarak gölgelenmeyi minimize eder ve mekanda yumuşak bir aydınlatma etkisi yaratır. Kullanılan tekstil malzemeleri, ışık geçirgenliğini optimize edecek şekilde işlenmiş olup, bu malzemelerin hem dayanıklılığını hem de estetik değerini artırmıştır.

İç mekan aydınlatması için kullanılan fiber optikten dokunan ışıklı perdeler uzaktan kontrol panelleri ile yönetilebilirler. Tüketicilerin artan işlevsel, etkileşimli tekstil taleplerine cevap vermek için LED ve polimer fiber optik dokumasıyla üretilen tekstiller kullanılabilir(Bilecen, 2020).





Şekil 5. Armatür inceleme örneği (<https://www.restomontreal.ca/>)

Şekil 5'deki görseldeki bu armatür örneğinde; ince dokulu tekstil malzemesinin yüksek ışık geçirgenliği ile yumuşak aydınlatma efektleri yaratmak üzere tasarlanmıştır.

Bu armatür enerji verimliliği ve uzun ömürlü LED ile desteklenmektedir. Ahşap veya metal çerçeveye sabitlenen armatür, estetik bütünlük sunarken yapısal dayanıklılığı da korur. Tekstil malzemenin katmanlı yapısı, ışığın farklı açılardan ve yönlerden homojen bir şekilde yayılmasını sağlayarak mekânda derinlik ve dinamizm yaratır. Restoranlar, oteller ve lobi alanlarında sıkça tercih edilen bu tür armatürler, iç mekânlarda sıcak ve davetkar bir atmosfer oluşturur. Yarı saydam tekstil malzemenin yumuşak hatları ve ışığın oyunları, mekâna zarif ve modern bir dokunuş katarken, direkt ışık temasını engelleyen tasarımı sayesinde konforlu bir aydınlatma deneyimi sunar.



Şekil 6. İç mekânda merdiven altına Barisol uygulaması(<https://www.teknoyapi.com/>)

#### 4.2. Işıklı Tekstil Ürünlerinin Duvar Uygulamaları

Işıklı tekstil malzemelerinin duvar uygulamaları, modern iç mekân tasarımında hem estetik hem de işlevsel özellikler sunuyor. Bu yöntemler, LED'ler veya fiber optikler gibi ışık geçiren tekstil yüzeylerine entegre edilmesiyle elde edilir ve çeşitli renk ve desen seçenekleri sunar.



Şekil 7. London O2 mağazası(<https://www.architen.com/projects/o2-shop/>)

Londra bulunan O2 telekomünikasyon mağazasının tasarımı için, markanın logosu olan baloncuklar kullanılmış. Mağaza duvarlarına baloncukları temsil eden, büyük şişirilmiş PVC kaplı polyester yastıklar ile duvar tasarımı oluşturulmuş. Duvar yastıklarına yerleştirilen sensörlü LED aydınlatma sistemi ile mağazayı ziyaret eden her kişinin duvar yastıklarına-uzaklaşp yaklaşması ile ışığın rengi ve şiddeti değişerek kişiler ile etkileşime giren tasarım elde edilmiş. Bu tip uygulamaları sergilerde ve kültür merkezleri gibi yoğun sirkülasyona sahip alanlarda mekân ve kişi etkileşimini arttırmak adına daha sık kullanılabilir.



Şekil 8.Philips Luminious(<https://www.dexigner.com/news/>)

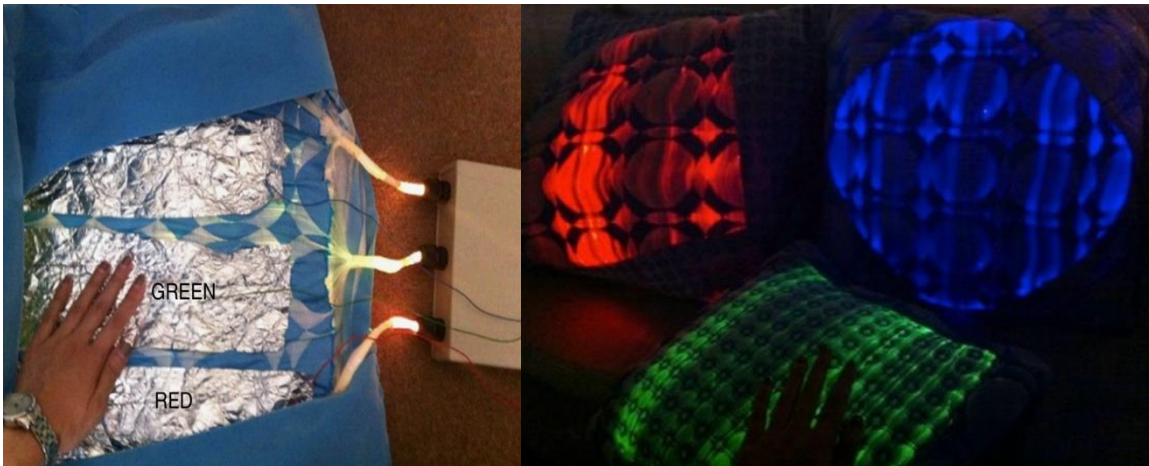
Philips Luminious LED sistemleri geniş kumaş ve renk yelpazesine sahiptir. Entegre LED ışıklarla donatılmış paneller, dokusal özellikleriyle birleşerek yalnızca rahat bir çalışma ortamı yaratmak için ses emilimi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda dinamik görsel içeriklerin görüntülenmesi yoluyla perakende ve konaklama deneyimlerini de geliştirir. Bu paneller, bir alanın tamamen dönüştürülmesine olanak tanır ve bir markanın kimliğinin gerçekten parlamasını sağlar.

### 4.3. Işıklı Tekstil Ürünlerinin Mobilyalara Entegrasyonu

Teknoloji ve tasarım arasındaki boşluk, fotonik ürünlerin kullanılabilirliğini engelliyor. Fiber optik dokuma kumaşlar, aydınlatma elemanlarına esnek bir alternatif olarak kullanılıyor. Plastik fiber optiğin ana kaynağı, kaplamayla oluşturulan çekirdek, yani birlikte ekstrüzyon işlemiyle üretilen adım indeksli (SI) fiberdir. Polimerik fiber optikler son 25 yıldır piyasada bulunmaktadır ancak son 10 yıldır iç mekan tekstillerine entegre etmek için deneysel çalışmalara ve uygulamalara başlanmıştır. Polimer fiber optiklerin ışık gücünün iletimi fiberin zayıflamasına bağlıdır (Bai ve ark., 2013).

Polimer fiber optikler tipik silika camından en iyi ihtimalle 10 ila 50 kat daha yüksektir ve esnekliği, özellikle 0 ila 80 C sıcaklık aralığında, camın esnekliğiyle karşılaştırıldığında mükemmeldir(Harlin ve ark., 2003). Fotonik fiberlerin ana rolü, ışığı veya optik sinyalleri belirli bir noktaya iletmektir. Ancak fotonik fiberin kaplaması fiziksel veya kimyasal işlemlerle kısmen hasar görürse ışık hasarlı alandan dışarı sızar ve yan aydınlatma meydana gelir. Kumaşın yandan aydınlatılması, özellikle karanlık ortamlarda yüzey rengini ve desenini büyük ölçüde arttıracaktır (Bai ve ark., 2012).

Polimer fiber optiklerin iç mekân tekstillerine entegrasyonunun bir çok avantaj ve dezavantajı vardır. Polimer fiber optikler, geleneksel cam fiberlerden daha esnek ve kullanıcı dostu olmaları nedeniyle iç mekan tekstillerinde tercih edilmektedir. Tekstil yüzeylerine entegre edilen bu fiberler, yumuşak ve homojen bir ışık dağılımı sağlayarak mekanları aydınlatmada üstün performans sunar. Kolay işlenebilir ve şekillendirilebilir özellikleri sayesinde tekstil yapısına zarar vermeden farklı desen ve görünümler oluşturulabilir, bu da estetik ve fonksiyonel aydınlatma çözümleri yaratır(Bai ve ark., 2015).



Şekil 9. Polimer fiber optik yastık(www.emeraldinsight.com/0955-6222.html)

Şekil 7’de polimer fiber optik liflerle dokunmuş deneysel çalışmaya ait yastık görselleri mevcuttur. Akıllı polimerik fiber optik sistemi RGB LED ile renk değiştirme fonksiyonu elde etmek için geliştirilmiştir. Fiber optik demetleri kontrol kutusundaki LED’lere bağlanır. Kumaşın altına üç iletken alüminyum folyo bant yerleştirilmiş ve dokunuşu algılaması için devre kartına bağlanmıştır.

Akıllı pof sistemleri ile yapılmış, etkileşimli yastıklar yapılan bu deneysel çalışma sonucunda rastgele katılımcılardan oluşan ankette yastıkların kullanım açısından konforlu olduğunu ve sevildiğini ortaya çıkarmıştır. Bu akıllı kumaş sistemlerine bir diğer örnek pliseli örtüler, üzerine ateş geciktirici kaplama uygulaması ile aydınlatma elemanı olarak kullanılmasıdır. Bu tasarım kullanılmalarında örtüye ısı duyarlı sensör uygulanarak renk değiştirme özelliği kazandırılmıştır(Gezer, 2009). Bu tip uygulama örneklerinde olduğu gibi kumaşlar üzerine çeşitli kaplamalar ile veya tekstillerin dokuma kısmında entegre edilerek malzemelere aydınlatma fonksiyonu eklenebilir.

## 5. SONUÇ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha çok uygulama alanında sahip olacağı düşünülen ışıklı tekstil uygulamalarının kullanım alanlarının genişlemesi beklenmektedir. Dünya nüfusunun her geçen yıl artış göstermekte ve enerji kullanımı artmaktadır. Bütün sektörlerde enerji kullanımının daha çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği görülmektedir. Mimarının her zaman ileriye dönük çevreci yaklaşımları, mekanlarda enerji kullanımlarını minimize ederek daha düşük maliyetli ve daha fazla enerji tasarrufuna yönelten aynı zamanda görsel bir şölen sunan arayışlara girecek olması bahsi geçen ışıklı tekstil ürünlerine olan talebi ve uygulama alanlarını önümüzdeki dönemlerde daha da çok arttıracığı düşünülmektedir.

Işıklı tekstil uygulamalarının sunduğu yenilikçi çözümler, özellikle iç mekan tasarımında büyük bir etki yaratmaktadır. Akıllı tekstiller sayesinde enerji tüketimini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda kullanıcıların estetik ihtiyaçlarını aynı zamanda iç mekanın fonksiyonel gereksinimleri karşılamak mümkün hale gelmiştir. Bu teknolojilerin entegrasyonu ile, evler ve ofisler daha modern ve çekici bir görünüme kavuşmaktadır. Ayrıca, bu ürünlerin esneklik ve dayanıklılık gibi özellikleri, mimar ve tasarımcıların hayal güçlerini sınırlamadan projelerinde kullanmalarına olanak tanımaktadır. Bu sayede, sürdürülebilir ve şık yaşam alanları yaratma süreci hızlanmakta ve kolaylaşmaktadır. Işıklı tekstil ürünlerinin iç mekan tasarımında şuan ki kullanım alanlarının yanında daha fazla deneysel çalışmalar yapılarak daha fazla etkileşimli mekanlar tasarlamak çok daha mümkün olacaktır.

Gelecekte, ışıklı tekstil uygulamalarının kamusal alanlarda ve dış mekanlarda da yaygınlaşması beklenmektedir. Parklar, meydanlar ve binaların dış cephelerinde kullanılacak bu yenilikçi çözümler, şehirlerin gece görünümünü değiştirecek ve daha güvenli, aydınlık ortamlar yaratacaktır. Aynı zamanda, enerji verimliliğini artırarak şehirlerin karbon ayak izini azaltmaya katkıda bulunacaktır. Teknolojinin bu alandaki hızlı ilerleyişi, ışıklı tekstil ürünlerinin maliyetlerini düşürerek daha erişilebilir hale getirecek ve bu da kullanım alanlarının daha da genişlemesini sağlayacaktır. Böylece, hem bireysel hem de toplumsal ölçekte daha sürdürülebilir bir geleceğe adım atılmış olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Afifi, A.H.M.Y.** (2020). *Textile Technology And Its Complementary Design Role In Interior Architecture*. International Journal Of Architectural Engineering And Urban Research, Egypt.
- Avlanmaz Bilecen, E.** (2020). *Evaluation of General Criteria Applied for The Selection of*
- Bai, Z. , Tan, J.** (2013). *Innovative Design of Polymeric Optical Fiber Fabric for Interior Textiles*. RJTA.
- Bai, Z. , Tan, J. , Johnston, C.F. & Tao, X.** (2012). *Enhancing The Functionality Of Traditional Interior Textiles With Integration Of Optical Fibers*, RJTA.
- Bai, Z. , Tan, J. , Johnston, C.F. & Tao, X.** (2015). *Development of interactive soft furnishings with polymeric optical fibre (POF) textiles*, IJCST.
- Bostancı Başkan, M.T.** (2004). *Bir Tasar Ölçütü Olarak Dersliklerde Görsel Konfor Ve Optimum Enerji Kullanımı İçin Bir Yaklaşım* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bostancı Başkan, M.T.** (2019). *Yapı Fiziği Ders Notları*. İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul.
- Bostancı Başkan, M.T. , Şerefoğlu Sözen, M.** (2000). *Aydınlatmada Fiber Optik Kullanımı*. III. Ulusal Aydınlatma Kongresi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Boyce, P. R.** (2014). *Human factors in lighting*. CRC Press.

**Çağla Taşdelen, D.** (2020). *Aydınlatma Tasarımı İlkeleri ve İç Mimari Projelendirme Sürecindeki Yerinin Farklı Fonksiyonundaki İç Mekan Modelleri Üzerinden Analizi* (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

**Fitöz, İ.** (2002). *Mekan Tasarımında Belirleyici Bir Etken Olarak Yapay Işık İçin Aydınlatma Tasarımı Modeli* (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

**Gezer Turgay, H.** (2009). *Mekan Örtüsü Tekstil Malzemesi*. Maltepe Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

**Harlin, A. , Mäkinen, M. & Vuorivirta, A.** (2003). *Development Of Polymeric Optical Fibre Fabrics As Illumination Elements And Textile Displays*, AUTEX Research Journal.

**Miller, M.** (2015). *Lighting for Interior Design*. Laurence King Publishing.

**Philips Lighting.** (2017). *The Lighting Handbook*. Philips Lighting.

**Rea, M. S.** (2000). *The IESNA lighting handbook: Reference and application*. Illuminating Engineering Society of North America.

**Sirel, Ş.** (2001). *Aydınlatma Ve Mimarlık*. Tasarım Dergisi, *Textiles used in Interior*, International Journal of Arts and Social Science.

## Araştırma Makalesi

**SOHBET ROBOTU İLE KULLANICI YÖNETİMİ****MUHAMMED BURAK BULUT<sup>†</sup>, SAADETTİN AKSOY<sup>††</sup>**<sup>†</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı /Tezli Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye<sup>††</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı /Tezli Yüksek Lisans Bilgisayar Mühendisliği Programı, İstanbul, Türkiye**mburak.bulut@istanbulticaret.edu.tr ,saksoy@ticaret.edu.tr,**

Orcid.org/0009-0009-4828-1423, Orcid.org/0009-0007-9312-6866

**Atf/Citation:** BULUT, M.B., AKSOY, S., (2024). Sohbet Robotu ile Kullanıcı Yönetimi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.261-274, DOI: 10.56809/icujtas.1507786**ÖZET**

Bir bayi ağı ve bu ağın kuryeleri tarafından kullanılan CRM sisteminde kullanıcı adı ve şifre yönetimini iyileştirmek için geliştirilmiş bir chatbot sistemini ele almaktadır. Amaç, kuryelere güvenli ve verimli bir şekilde kullanıcı adı ve şifre sağlanmasını otomatikleştirmektir.

Sistem, kuryelerin telefon numaralarını analiz ederek doğru kullanıcı adı ve şifreleri oluşturur ve bunları chatbot aracılığıyla iletir. Bu süreçte, kullanıcı adı ve şifrelerin güvenli bir şekilde oluşturulması ve iletilmesi detaylandırılmıştır. Ayrıca, veriseti oluşturulma süreci, kullanılan yazılım araçları ve ortamı açıklanmıştır. Deneysel sonuçlar, chatbotun yüksek doğruluk ve güvenlik sağladığını, müşteri memnuniyetini artırdığını ve şirket içi iş süreçlerini verimli hale getirdiğini göstermektedir. Gelecekte, sistemin farklı güvenlik önlemleri ile geliştirilmesi ve diğer uygulama alanlarına adaptasyonu önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Chatbotlar, Yapay Zeka (AI), Kullanıcı Adı ve Şifre Yönetimi, CRM Sistemi, Veri Analizi, Güvenlik, Doğal Dil İşleme, Kullanıcı Deneyimi, İş Süreçleri**USER MANAGEMENT WITH CHATBOT****ABSTRACT**

It discusses a chatbot system developed to improve username and password management in the CRM system used by a dealer network and its couriers. The aim is to automate the provision of usernames and passwords to couriers in a secure and efficient manner.

The system analyzes the couriers' phone numbers and generates the correct usernames and passwords and transmits them through the chatbot. In this process, the secure creation and transmission of usernames and passwords are detailed. In addition, the dataset creation process, the software tools and environment used are explained. Experimental results show that the chatbot provides high accuracy and security, increases customer satisfaction and makes internal business processes efficient. In the future, it is recommended that the system be developed with different security measures and adapted to other application areas.

**Keywords:** Chatbots, Artificial Intelligence (AI), Username and Password Management, CRM System, Data Analysis, Security, Natural Language Processing, User Experience, Business Processes

Geliş/Received	:	30.06.2024
Gözden Geçirme/Revised	:	24.07.2024
Kabul/Accepted	:	31.07.2024

## 1.GİRİŞ

Günümüzde bilişim teknolojilerinin hızla bir çalışması, kullanım verimliliğinin artırılması için gelişmiş çözüm arayışındadır. Özellikle geniş bayi ağlarına sahip firmalar, müşteri siparişlerinin yönetimi ve işleyişinde etkili CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi) sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu sistemler, bayi ve kuryelerin iş süreçlerini optimize ederek verimliliği artırmada kritik rol oynar. Ancak kuryeler ayrıldıklarında yerlere gelen yeni kuryelere yeni kullanıcı adı ve şifrelerin atanması gerekmektedir. Bu başlatmanın güvenli ve hızlı bir şekilde yapılması, veri güvenliği açısından büyük önem taşır ve taşınabilir aksaklıkları önler. Geleneksel olarak bu sürecin devamı, zaman alıcısı ve hata yapmaya açık olabilir.

Bu tez çalışmasının, kuryelerin kullanıcı adı ve şifre yönetimini otomatikleştirmek amacıyla ayrılması bir chatbot sistemi ele alınarak oluşturulur. Sistem, kuryelerin telefon numaralarını analiz ederek doğru kullanıcı adı ve şifreleri oluşturur ve bu bilgileri güvenli bir şekilde kuryelere iletir. Böylece manuel müdahaleye gerek kalmadan yeni kuryelerin hızlı bir şekilde sisteme dahil edilmesi sağlanır.

Günümüz dünyasında, akıllı teknolojiler günlük yaşamın bir parçası haline gelmiştir. İnternet, makine geliştirmeyi ve doğal dil işleme alanındaki gelişmeler, chatbot gibi çözümlerin yaygınlaşmasını sunmaktadır. Chatbotlar, müşteri hizmetleri, eğitim, sağlık ve eğlence gibi birçok alanda kullanıma ve işletmelere çeşitli avantajlar sunmaktadır. Müşteri sorularına 7/24 yanıt verme, çok dilli destek sağlama, düşük donanım maliyeti, hızlı yanıtlar ve üretkenliği artırma gibi özellikleriyle chatbotlar, işletmeler için önemli bir araç haline geldi.

Bu başarılı, öncelikle sistem mimari yapısı ve kullanılan veri oluşturma süreci detaylandırılacaktır. Bu mimari, kullanıcı adı ve şifrelerin nasıl oluştuğu, hangi sistemlerin birleştiği ve bu sürecin nasıl güvenli hale getirildiğini içermektedir. Ayrıca, kullanılan yazılım araçları ve geliştirme ortamı hakkında bilgi verilir. İnternet üzerinde mevcut olan açık erişimli veri kümelerinden farklı olarak, kullanılan veri kümesinin neden özel olarak yer aldığı, bu veri kümesinin yapısı ve toplanması tartışılacaktır.

Deneyisel bölümde sistemin doğruluğu ve güvenlik performansına odaklanılacaktır. Chatbot sisteminin farklı senaryolarında nasıl performans gösterdiği, kullanıcı geri bildirimleri ve ölçüm kriterleri ile birlikte sunulmaktadır. Bu sonuçlar, sistemin işleyişi ve iş parçacıklarına olan katkısını objektif bir dereceleyle analiz amacıyla analiz eder.

Sonuç olarak, bu tez, kuryeler için kullanıcı adı ve şifre yönetiminde etkin bir çözüm sunmayı hedeflemektedir. Chatbot sisteminin bileşenlerinin nasıl artırıldığı ve veri miktarlarının nasıl olacağı gösterilecektir. Gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunularak, sistemin farklı uygulama sıcaklıklarına adaptasyonu ve daha ileri düzeyde güvenlik önlemleri ile nasıl geliştirilebileceği tartışılacaktır.

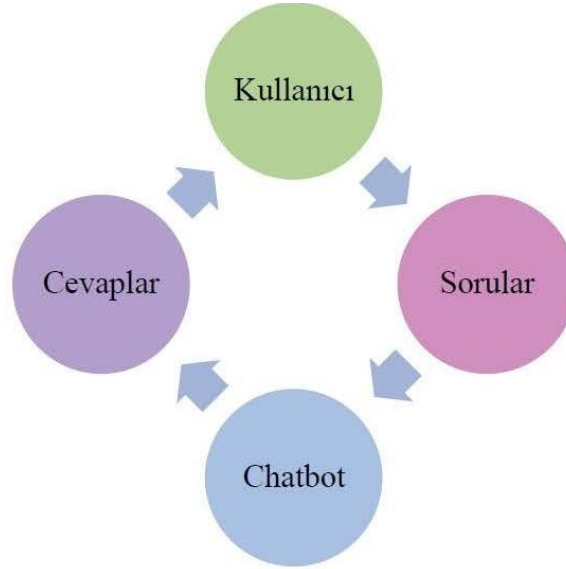
## 2. MATERYALLER VE YÖNTEM

### 2.1 Bayi Yapılanması

Su ve içecek üreten büyük firmaların doğrudan dağıtım yapan bayi sistemlerinde, bayilerin sistem yöneticileri tarafından belirlenen teslimatçı ve bayi yöneticisi bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler sayesinde bayiler, sistemlerine düşen siparişleri görerek müşterilerine teslim etmektedirler. Teslimat aşamasında kullandıkları uygulamalar ile siparişlerin durumlarını belirlemekte ve bunun karşılığında ödeme almaktadırlar.

### 2.2 Bayi Algoritması

Siparişleri firmaların CRM sistemi ve E-Ticaret platformlarından entegrasyon ile alan bayiler, dağıtımçı mobil uygulamaları ile siparişlerini teslim etmektedirler. Platformlardan gelen siparişler, kendilerine özgü servisler aracılığıyla tanımlanan kodlar ile tek ekranda veya dağıtımçı mobil uygulamalarında görünmektedir. Görünen siparişler, müşterilere bu uygulama üzerinden teslim edilmektedir. Uygulamaya girebilmek için bayiye özel kullanıcı adları ve şifreler bulunmaktadır. Bayi yöneticileri, kullanıcı adı ve şifreleri sistem yöneticisinden sormaktadır. İş ve zaman kaybını önlemek adına, otomatik olarak cevap veren bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu organizasyonu gerçekleştirebilmek için chatbot'lara ihtiyaç duyulmaktadır. Bayi yöneticisi, siparişleri sistemlerden görmekte ve eğer isterse siparişlerin teslim edeceği kişiyi seçebilmektedir. Seçtiği kişinin şifresini değiştirmek istediğinde, WhatsApp üzerinden sistem yöneticisi ile iletişime geçer ve atanan teslimatçının kullanıcı adı ve şifresini sorar. İlgili bilgileri hızlı ve otomatik olarak alır.



Şekil 1: Temel Chatbot Tasarımı



## 2.3 Yazılım Hakkında

Bu çalışmada, Python kullanılarak bayi algoritmasında belirtilen organizasyon gerçekleştirilmektedir. Python'da veri setleri veya kütüphaneler, Selenium kütüphanesi kullanılarak yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılımın oluşturulmasında, verilen cevap süreleri ve bayi yapısının anlaşılması gerekmektedir. Algoritma şu adımlardan oluşmaktadır:

1. Bayi Talebi: Bayi yöneticisi, kullanıcı adı veya şifresini almak için chatbota talepte bulunur. Bu talep, kuryenin telefon numarası üzerinden doğrulanır.
2. Telefon Numarası Analizi: Chatbot, kuryenin telefon numarasını analiz ederek mevcut kullanıcı adı ve şifre bilgilerini veri tabanından çeker veya yeni bir kullanıcı adı ve şifre oluşturur.
3. Kullanıcı Adı ve Şifre Oluşturma: Eğer yeni bir kullanıcı adı ve şifre oluşturulması gerekiyorsa, sistem belirlenen kurallara göre bu bilgileri oluşturur. Kullanıcı adı ve şifrelerin güvenliğini sağlamak için çeşitli algoritmalar kullanılır.
4. Bilgilerin İletilmesi: Oluşturulan veya mevcut kullanıcı adı ve şifre bilgileri, güvenli bir iletişim kanalı üzerinden kuryeye iletilir. Bu aşamada, bilgilerin güvenliğinin sağlanması için şifreleme teknikleri kullanılmaktadır.
5. Kullanıcı Doğrulaması ve Geri Bildirim: Kurye, aldığı kullanıcı adı ve şifre ile sisteme giriş yapar ve işlemi doğrular. Chatbot, kuryeden geri bildirim alarak işlemin başarılı olup olmadığını kontrol eder ve gerekli durumlarda destek sağlar.

Bu süreçte, SQL tabanlı bir veri tabanı sistemi kullanılarak kullanıcı adı ve şifre bilgileri saklanmaktadır. Chatbot, kullanıcının talebine göre veri tabanından gerekli bilgileri çekmekte ve kullanıcıya iletmektedir. Selenium kütüphanesi, Python ile entegrasyon sağlayarak bu sürecin otomatikleşmesini sağlamaktadır.

## 2.4 Veri Seti ve Model Eğitim

Chatbot sistemi, bayilerin kullanıcı adı ve şifre taleplerine yanıt verebilmek için bir dizi veri seti ve model kullanılmaktadır. Veri seti, bayilerin sistem yöneticilerinden alınan gerçek kullanıcı verilerinden oluşmaktadır. Bu veriler, JSON formatında düzenlenmiş ve intents, tag, patterns ve responses olmak üzere dört ana bölümde kategorize edilmiştir.

- Intents: Soruların amacını belirler ve her bir alt bölüm için ayrılmış iç bölümleri içerir.
- Tags: Verileri başlıklar halinde kategorilere ayırmak için kullanılır.
- Patterns: Her kategorideki soruları içerir.
- Responses: Bu soruların cevaplarını içerir.

Model eğitiminde TensorFlow, Keras, NumPy, Matplotlib, Pandas, PyTorch, Transformers, Selenium ve PyODBC gibi Python kütüphaneleri kullanılmıştır. Model, Google Colaboratory ve PyCharm gibi platformlar üzerinde geliştirilmiştir. Bu araçlar, modelin oluşturulması ve eğitilmesi için gerekli olan temel bileşenleri sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, başlangıç veri kümesiyle eğitilen model, gerçek kullanıma alındıktan sonra 32 gün boyunca bayilerden gelen yeni taleplere cevap vermiş ve bu süreçte oluşan veriler kaydedilerek modelin sürekli olarak güncellenmesi sağlanmıştır.

Veri seti hazırlandıktan sonra BERT modeli oluşturulma aşamasına geçilmiştir. BERT modeli, Google tarafından 2018 yılında geliştirilmiş ve verilen cümleyi hem sağdan sola hem de soldan sağa olacak şekilde inceleyebilme özelliği ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, Masked Language Modeling (MLM) ve Next Sentence Prediction (NSP) gibi teknikler de BERT modelinde kullanılmaktadır. MLM tekniği, eğitim aşamasında her bir cümlenin %15'ini maskeleyerek geri kalan kısmın tahmin edilmesi ile ilgilenirken, NSP tekniği cümleler arasındaki ilişkilere odaklanmaktadır.

BERT sınıflandırma modelinde kullanılan veriler, çağrı merkezi kayıtlarından elde edilen ses dosyaları, WhatsApp müşteri hizmetleri konuşmaları ve sıkça sorulan sorulardan oluşmaktadır. Bu veriler, bir json dosyasında birçok soruya karşılık birçok cevaptan oluşan soru-cevap çiftlerini içermektedir. Bu yapı, json dosyasındaki tag'ler arasında sınıflandırma yapılabilmesini sağlamaktadır. Veri seti hazırlandıktan sonra BERT modeli oluşturulma aşamasına geçilmiştir. BERT modeli, Google tarafından 2018 yılında geliştirilmiş ve verilen cümleyi hem sağdan sola hem de soldan sağa olacak şekilde inceleyebilme özelliği ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, Masked Language Modeling (MLM) ve Next Sentence Prediction (NSP) gibi teknikler de BERT modelinde kullanılmaktadır. MLM tekniği, eğitim aşamasında her bir cümlenin %15'ini maskeleyerek geri kalan kısmın tahminlenmesi ile ilgilenirken, NSP tekniği cümleler arasındaki ilişkilere odaklanmaktadır.

```

},
{
  "tag": "459",
  "patterns": [
    "akıllı saatimi bilgisayara nasıl bağlayıcam", "kiddo saatimi bilgisayara bağlanma", "saati bilgisayara bağlama", "saati bilgisayara nasıl ba",
    "saati bilgisayara bağlamak istiyorum", "akıllı saat bilgisayara nasıl bağlanır", "akıllı saati bilgisayara bağlamak için ne yapmam gerekir"
  ],
  "responses": [
    "Bilgisayar ile işlem yapılamamaktadır. Uygulamanızı kaldırarak tekrar kurabilir mısınız?"
  ],
  "context_set": ""
},
{
  "tag": "460",
  "patterns": [
    "kolay kilit açma sekmesi yok telefon ayarlarında", "telefonda kolay kilit açma yok", "telefon kolay kilit açmayı nasıl yaparım",
    "kolay kilit açmayı nasıl yapıcam", "kolay kilit açma ayarını nasıl yaparım", "kolay kilit açma", "kolay kilit açma nasıl yaparım"
  ],
  "responses": [
    "Cihazda kolay kilit açma sekmesi mevcut değildir."
  ],
  "context_set": ""
},
{
  "tag": "461",
  "patterns": [
    "Bütün adımlar doğru ama giremedim eklenmiyor cihaz hiç bir şekilde", "cihazı hiç bir şekilde ekleyemedim", "denedim ama cihaz eklenmiyor",
    "tüm herşeyi yaptım ama olmuyor", "herşeyi denedim ama cihazı bağlayamadım", "tüm dediklerinizi yaptım ama cihazı ekleyemedim",
    "anlatılanları yaptım ama cihaz bağlanmıyor", "tüm herşeyi denedim ama saate bir türlü cihazı ekleyemedim", "saati ekleyemedik bir türlü"
  ],
  "responses": [
    "Eğer kiddo saate bağlanmak için bulunan adımları uygulayıp sorununuzu halen daha çözemediyseviz. Saati sıfırlayarak deneyabili"
  ],
  "context_set": ""
}
}

```

Şekil 2: Whatsapp Chatbot Modelleme Örnek

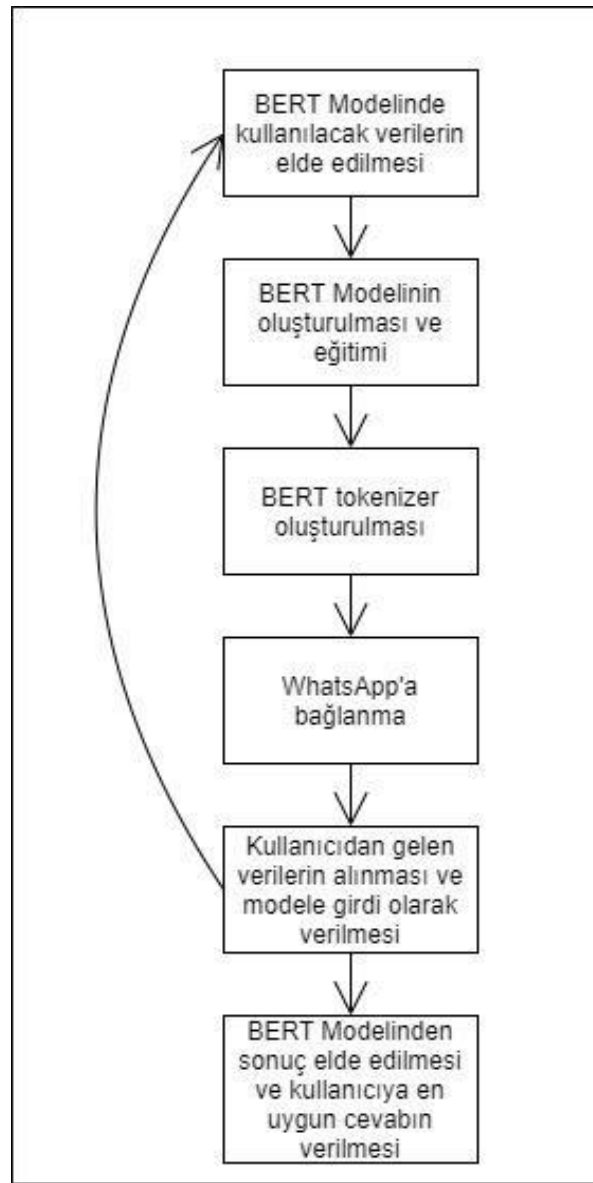
## 2.5 WHATSAPP'A BAĞLANMA

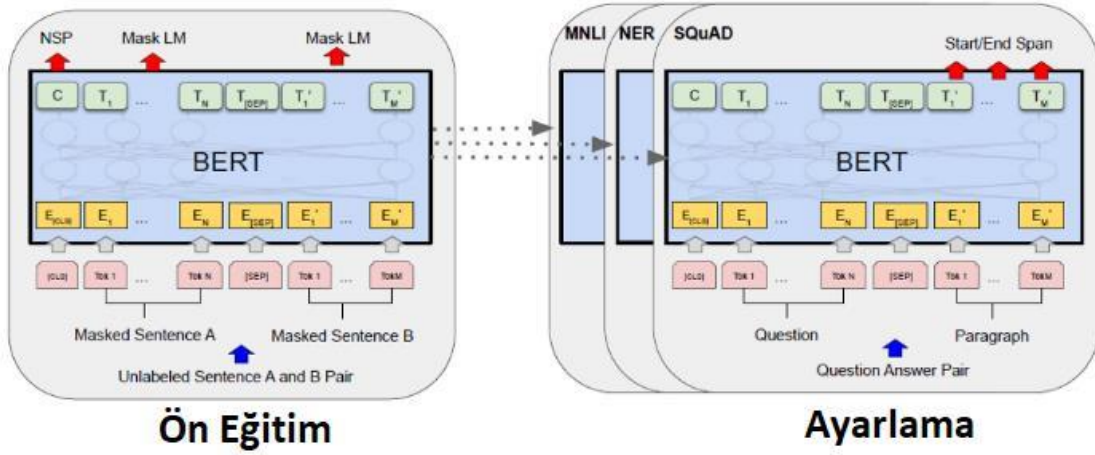
Modelin Whatsapp mesajlaşma uygulamasında çalıştırılması, chatbot'un daha geniş bir kullanıcı kitlesiyle etkileşimde bulunmasını amaçlar. Bu, müşterilere daha hızlı ve etkili bir şekilde destek sağlama amacını taşır. Whatsapp Web'in web arayüzü, kullanıcıların Whatsapp hesaplarına tarayıcıları üzerinden erişmelerini sağlayan bir platformdur. Selenium kütüphanesi, bu web arayüzüyle etkileşim kurarak chatbot'un kullanılabilirliğini artırmak için kullanılmıştır. Bu, kullanıcıların Whatsapp üzerinden chatbot'a sorular sormasına ve cevaplar almasına olanak tanır. Selenium, tarayıcı tabanlı bir otomasyon aracıdır ve Python dilinde yazılmıştır. Tarayıcılarla etkileşimde bulunmak için Xpath adı verilen yolları kullanır. Bu yollar, web sayfasındaki öğeleri belirleme ve üzerlerinde işlem yapma konusunda Selenium'a rehberlik eder. Python dilinde yazılan Selenium kodu, kullanıcı tarafından belirlenen işlemleri ve etkileşimleri içeren bir JSON formatına dönüştürülerek tarayıcı sürücüsüne gönderilir. JSON (Javascript Nesne Gösterimi), veri aktarımını standardize etmek için kullanılan bir formattır.

Selenium tarafından tarayıcı sürücülerine sunulan JSON, tarayıcıda gerçekleştirilecek işlemleri ve etkileşimleri tanımlar. Tarayıcı sürücülerini, aldıkları JSON talimatlarını yorumlar ve belirtilen işlemleri tarayıcıda gerçekleştirir. Bu süreç, kullanıcının Whatsapp Web üzerinden chatbot ile etkileşimde bulunmasını mümkün kılar. Kullanıcı, sorularını sorar, chatbot ise bu sorulara doğru ve

etkili cevaplar verir. Bu noktada, chatbot'un cevaplarına katkıda bulunan önemli bir faktör olan BERT modeli devreye girer. BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), kullanıcının sorduğu soruları anlamak ve doğru cevaplar vermek için geliştirilmiştir.

Bu model, cümleleri hem sağdan sola hem de soldan sağa olacak şekilde anlama yeteneğine sahiptir, bu da dilin bağlamını daha iyi anlamasını sağlar. BERT modelinin eğitim aşamasında, Masked Language Modeling (MLM) ve Next Sentence Prediction (NSP) teknikleri kullanılır. MLM tekniği, modelin eğitim verilerinde belirli kelimeleri maskeleyerek geri kalan kısmı tahmin etmesini sağlar. NSP tekniği ise cümleler arasındaki bağlantıları anlamak için kullanılır. Bu teknikler, BERT modelinin dilin karmaşıklığını daha iyi anlamasına yardımcı olur. Bu şekilde, kullanıcıların Whatsapp üzerinden chatbot ile iletişim kurmaları için gerekli olan temel altyapı sağlanmış olur. Bu süreç, hem Selenium kütüphanesinin web tabanlı etkileşimi yönetmesini hem de BERT modelinin doğal dil işleme yeteneklerini kullanarak kullanıcı deneyimini zenginleştirir.





Şekil 3: BERT Modelleme

## 2.6 WHATSAPP BOTUNUN GENEL YAPISI

Selenium kullanılarak oluşturulan Whatsapp botu, öncelikle Whatsapp Web sitesine erişim sağlar. Bu erişim, telefon numarasına kayıtlı olan Whatsapp mobil uygulaması ile QR kodu aracılığıyla gerçekleştirilir. QR kodu eşleştirme süreci, herhangi bir cihazın botu kullanabilmesine olanak tanır ve güvenlik seviyesini en üst düzeye çıkarır. QR kodu eşleştikten sonra, Mesaj bildirimleri algılandığında, bot otomatik olarak bu bildirimlere tıklar. Ardından, ilgili mesaj ekranına yönlendirilir ve burada tespit edilen gelen mesajlar kaydedilir. Bu mesajlar daha sonra ilgili modele iletilir. Bu sistem, sürekli bir dinleme modunda çalışarak Whatsapp üzerinden gelen mesajları anlık olarak takip eder. Bu sayede, bot kullanıcı ile etkileşimde bulunabilir ve belirlenmiş işlevleri yerine getirebilir. Bu otomatikleştirilmiş süreç, kullanıcının Whatsapp hesabını manuel olarak takip etmek zorunda kalmadan, otomatik olarak gelen mesajları taramasını ve işlemesini sağlar.



Şekil 4: Selenium Genel Yapısı

## 2.7 KULLANICIDAN GELEN VERİLERİN ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

WhatsApp üzerinden gelen verilerin yönetimi, belirli değişkenlerde tutulur ve aynı zamanda bu veriler bir veritabanına kaydedilir. Bu, gelen mesajların saklanması ve daha sonra işlenmesi için bir temel oluşturur. Veritabanı, kullanıcıların geçmiş etkileşimleri ve alınan verilerin güvenli bir şekilde depolanmasını sağlar. Bu gelen veriler, BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) modelinin girişine aktarılır. BERT, doğal dil işleme alanında güçlü bir model olup, bu verileri anlamak ve en uygun cevapları bulmak için kullanılır.

Model, eğitim verileriyle WhatsApp hattına entegre edilerek, kullanıcılardan gelen verilerle öğrenir ve bu sayede daha akıllı ve kişiselleştirilmiş cevaplar üretebilir. BERT modelinin eğitim süreci, modelin karmaşıklığını ve doğruluğunu artırmak adına sürekli olarak geliştirilebilir. Bu, modelin, kullanıcının girdisinin veri setindeki sınıflarla en iyi şekilde eşleşmesini sağlar. Modelin tahminlemesi sonucunda, her sınıf için bir yüzde değeri elde edilir. Bu yüzde değerleri, kullanıcının girdisinin hangi sınıfa daha yakın olduğunu gösterir. En yüksek yüzdeye sahip olan sınıfın cevapları, kullanıcıya sunulur. Bu, modelin güvenilir ve anlamlı cevaplar üretebilmesini sağlar. Bu süreç, etkileşimli bir chatbot deneyimi sunarak kullanıcıların sorularına hızlı ve doğru cevaplar verme amacını taşır. Kullanıcıdan gelen yeni girdilere sürekli olarak adapte olur ve bu sayede kullanıcı deneyimini sürekli iyileştirir.

## 3. DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmamızın sonuçları, görsel grafiklerle detaylandırılmıştır. Kullanıcı adı ve şifre yönetimi için geliştirilen chatbot sistemi, 32 günlük bir deneme süreci boyunca test edilmiştir. Bu süreçte, sistemin performansı ve doğruluk oranları analiz edilmiştir.

### 3.1 Kullanılan Modeller ve Veri Setleri

Başlangıçta 2044 veri ile eğitilen model, 32 gün sonunda 3470 veri ile güçlendirilmiştir. Chatbot, toplam 3640 kullanıcı adı ve şifre talebinden 2803'üne doğru cevap vererek %77'lik bir ortalama doğruluk elde etmiştir. İlk günündeki başarı oranı %60 iken, denemenin son günü %85 seviyesine çıkmıştır. Son 13 günde %80'in üzerinde bir başarı gösterilmiştir. Ortalama günlük 110 mesaj cevaplanmıştır.

### 3.2 Uygulama Detayları

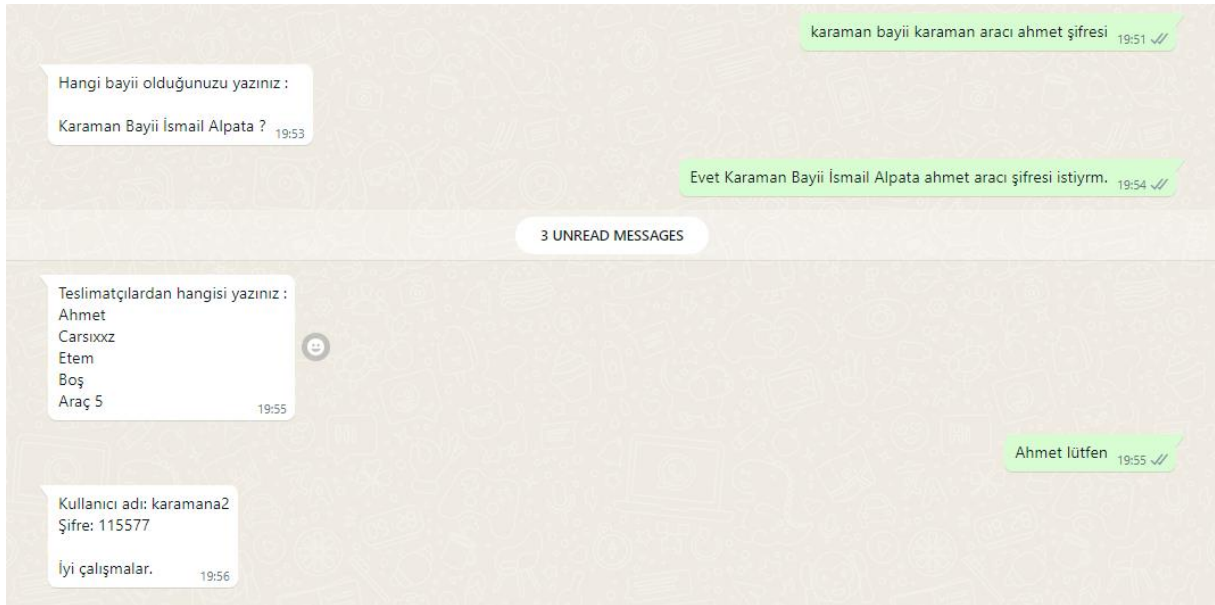
Chatbot sistemi, kuryelerin kullanıcı adı ve şifre taleplerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Sistem, kuryelerin telefon numaralarını analiz ederek doğru kullanıcı adı ve şifreleri belirler ve bu bilgileri güvenli bir şekilde kuryelere iletir. Bu süreç, aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. **Kullanıcı Talebi:** Kurye, kullanıcı adı veya şifresini almak için chatbota talepte bulunur. Bu talep, kuryenin telefon numarası üzerinden doğrulanır.
2. **Telefon Numarası Analizi:** Chatbot, kuryenin telefon numarasını analiz ederek mevcut kullanıcı adı ve şifre bilgilerini veri tabanından çeker veya yeni bir kullanıcı adı ve şifre oluşturur.
3. **Kullanıcı Adı ve Şifre Oluşturma:** Eğer yeni bir kullanıcı adı ve şifre oluşturulması gerekiyorsa, sistem belirlenen kurallara göre bu bilgileri oluşturur. Kullanıcı adı ve şifrelerin güvenliğini sağlamak için çeşitli algoritmalar kullanılır.
4. **Bilgilerin İletilmesi:** Oluşturulan veya mevcut kullanıcı adı ve şifre bilgileri, güvenli bir iletişim kanalı üzerinden kuryeye iletir. Bu aşamada, bilgilerin güvenliğinin sağlanması için şifreleme teknikleri kullanılmaktadır.
5. **Kullanıcı Doğrulaması ve Geri Bildirim:** Kurye, aldığı kullanıcı adı ve şifre ile sisteme giriş yapar ve işlemi doğrular. Chatbot, kuryeden geri bildirim alarak işlemin başarılı olup olmadığını kontrol eder ve gerekli durumlarda destek sağlar.

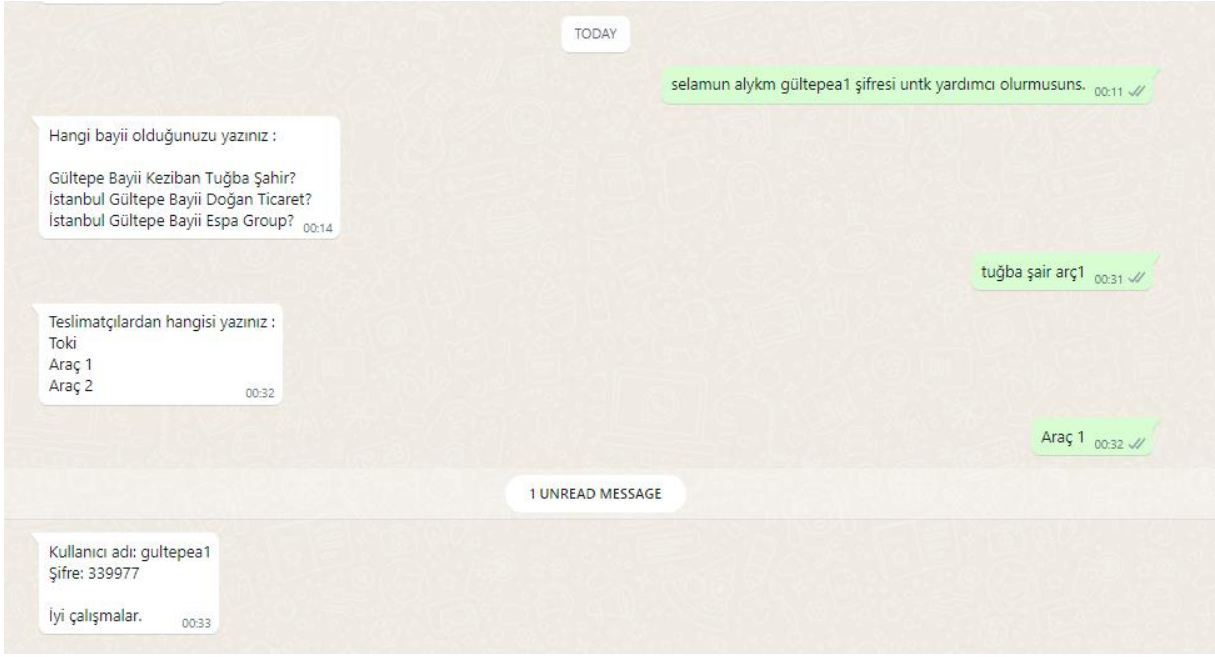
### 3.3 Örnek Konuşmalar

Şekil-5, Şekil-6, Şekil-7, Şekil-8 ve Şekil-9'de, chatbota gerçek kullanıcılardan gelen bazı mesajlar ve chatbotun verdiği yanıtlar örnek olarak sunulmuştur. Bu konuşmalar, chatbotun kullanıcı taleplerine nasıl yanıt verdiğini ve kullanıcı adı ve şifre iletim sürecindeki etkileşimleri göstermektedir. Chatbot sistemi, kuryelere kullanıcı adı ve şifre sağlama sürecinde zaman tasarrufu ve veri güvenliği sağlamıştır. Sistem, kullanıcı adı ve şifrelerin oluşturulması ve iletilmesi süreçlerini otomatikleştirerek insan hatalarını minimize etmiş ve kullanıcı memnuniyetini artırmıştır.

Gelecekte, sistemin güvenliğini daha da artırmak ve diğer işletme birimleri için benzer çözümler sunmak üzere geliştirilmesi önerilmektedir. Chatbotun, kullanıcı taleplerine verdiği yanıtların doğruluğunu artırmak için kullanılan veri analiz ve makine öğrenimi modelleri daha da iyileştirilebilir. Kullanıcı deneyimi (UX) ve kullanıcı arayüzü (UI) iyileştirilerek, sistemin kullanım kolaylığı artırılabilir. Ayrıca, chatbot sisteminin performansını düzenli olarak izlemek ve sürekli güncellemek, sistemin en iyi performansı göstermesini sağlayacaktır.



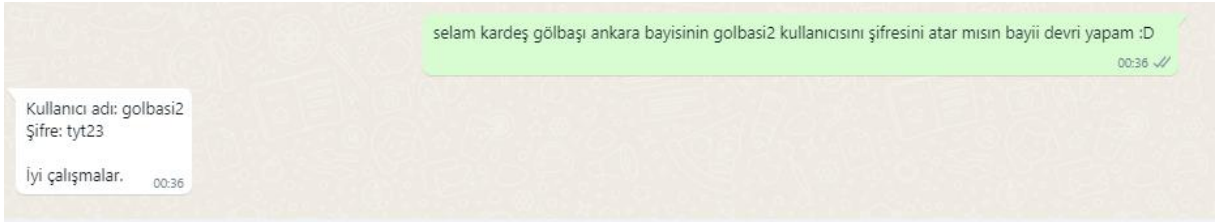
Şekil 5. Örnek Konuşma



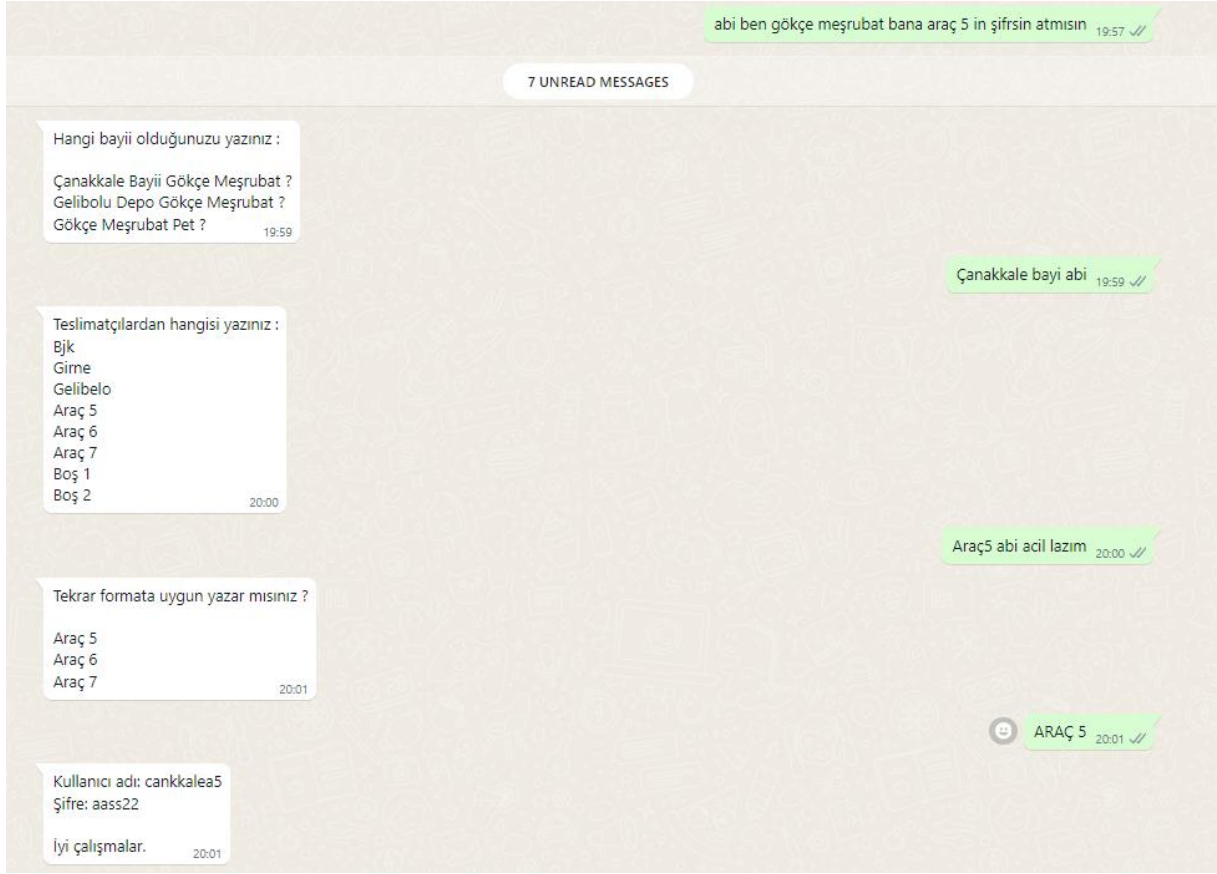
Şekil 6. Örnek Konuşma-2



Şekil 7. Örnek Konuşma-3



Şekil 8. Örnek Konuşma-4



Şekil 9. Örnek Konuşma-5

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir bayi ağı ve bu ağın kuryeleri tarafından kullanılan CRM sisteminde kullanıcı adı ve şifre yönetimini otomatikleştirmek amacıyla geliştirilen bir chatbot sistemi tanıtılmıştır. Geliştirilen sistem, kuryelerin telefon numaralarını analiz ederek doğru kullanıcı adı ve şifreleri oluşturmakta ve bu bilgileri güvenli bir şekilde kuryelere iletmektedir. Bu sayede, manuel müdahaleye gerek kalmadan yeni kuryelerin hızlı ve güvenli bir şekilde sisteme entegrasyonu sağlanmıştır.



Deneyisel sonuçlar, chatbot sisteminin yüksek doğruluk ve güvenlik sağladığını göstermiştir. Sistem, kullanıcı adı ve şifrelerin oluşturulması ve iletilmesi süreçlerini otomatikleştirerek insan hatalarını minimuma indirmiştir. Ayrıca, chatbotun kullanımı müşteri memnuniyetini artırmış ve şirket içi iş süreçlerini verimli hale getirmiştir. Özellikle, kullanıcı adı ve şifrelerin güvenli bir şekilde iletilmesi, veri güvenliği açısından büyük bir avantaj sağlamıştır. Sistem, çeşitli senaryolarda test edilmiş ve her durumda yüksek performans göstermiştir. Kullanıcı geri bildirimleri, sistemin kolay kullanılabilir olduğunu ve kuryelerin iş süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştırdığını ortaya koymuştur. Chatbot sistemi, kuryelere kullanıcı adı ve şifre sağlama sürecinde zaman tasarrufu sağlamış ve operasyonel verimliliği artırmıştır.

#### **Yazarların Katkısı**

Muhammed Burak Bulut ve Saadettin Aksoy araştırmanın uygulanmasına, sonuçların analizine ve makalenin yazılmasına da ve araştırmanın tasarımına, sonuçların analizine aynı zamanda makalenin yazılmasına gözden geçirilmesine katkıda bulundu.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**KAYNAKÇA**

- [1] A. M. Turing COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE  
<https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>
- [2] Alex Debecker 2020 Chatbot Statistics - All The Data You Need  
<https://blog.ubisend.com/optimise-chatbots/chatbot-statistics>
- [3] Mobile Web Predictions for 2020- <https://deviceatlas.com/blog/15-mobile-web-predictions-2020>[4]- Ming Hsiang Su, Chung Hsien Wu, Kun Yi Huang, Qian Bei Hong, Hsin Min Wang- A chatbot using LSTM-based multi-layer embedding for elderly care-  
<https://researchoutput.ncku.edu.tw/en/publications/a-chatbot-using-lstm-based-multi-layer-embedding-for-elderly-care>
- [4]- Ming Hsiang Su, Chung Hsien Wu, Kun Yi Huang, Qian Bei Hong, Hsin Min Wang- A chatbot using LSTM-based multi-layer embedding for elderly care-  
<https://researchoutput.ncku.edu.tw/en/publications/a-chatbot-using-lstm-based-multi-layer-embedding-for-elderly-care>
- [5]- Suzana Ilic',Reiichiro Nakano,Ivo Hajnal-Designing dialogue systems: A mean, grumpy, sarcastic chatbot in the browser- <https://arxiv.org/pdf/1909.09531.pdf>
- [6] Victoria Oguntosin Development of an E-Commerce Chatbot for a University- Shopping-Mall- <https://www.hindawi.com/journals/acisc/2021/6630326/#introduction>
- [7] Ali Hakan ISIK,Ayşenur YAĞCI Sequence to Sequence LSTM Modeli ile Telegram-Bot-Uygulaması- <https://dergipark.org.tr/en/pub/gmbd/issue/54119/693071>
- [8] A. C. Sari, N. Virnilia, J. T. Susanto, K. A. Phiedono, and T. K. Hartono, "Chatbot developments in the business world," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.*, 2020, doi: 10.25046/aj050676.
- [9] S. Roca, J. Sancho, J. García, and Á. Alesanco, "Microservice chatbot architecture for chronic patient support," *J. Biomed. Inform.*, 2020, doi: 10.1016/j.jbi.2019.103305.
- [10] S. Hwang and J. Kim, "Toward a chatbot for financial sustainability," *Sustain.*, 2021, doi: 10.3390/su13063173.
- [11] M. Dahiya, "A Tool of Conversation: Chatbot," *Int. J. Comput. Sci. Engineering*, 2017.
- [12] B. A. Shawar and E. Atwell, "ALICE chatbot: Trials and outputs," *Comput. y Sist.*, 2015, doi: 10.13053/CyS-19-4-2326.
- [13] C. Grové, "Co-developing a Mental Health and Wellbeing Chatbot With and for Young People," *Front. Psychiatry*, 2021, doi: 10.3389/fpsy.2020.606041.
- [14] G. Padmaja, M. S. Begum, A. Chandrika, B. B. Sree, and G. Meghana, "Healthcare Chatbot," *UGC Care List. J.*, 2020.

- [15] S. Hamad and T. Yeferny, “A chatbot for information security,” arXiv, 2020.
- [16] P. A. Tamayo, A. Herrero, J. Martín, C. Navarro, and J. M. Tránchez, “Design of a chatbot as a distance learning assistant,” *Open Prax.*, 2020, doi: 10.5944/ openpraxis.12.1.1063.
- [17] M. H. Tsai, J. Y. Chen, and S. C. Kang, “Ask Diana: A keyword-based chatbot system for water-related disaster management,” *Water (Switzerland)*, 2019, doi: 10.3390/ w11020234
- [18] D. C. Toader et al., “The effect of social presence and chatbot errors on trust,” *Sustain.*, 2020, doi: 10.3390/SU12010256.
- [19] Q. Zhi and R. Metoyer, “GameBot: A visualization-augmented chatbot for sports game,” 2020, doi: 10.1145/3334480.3382794.
- [20] I. Nica, O. A. Tazl, and F. Wotawa, “Chatbot-based tourist recommendations using model-based reasoning,” 2018.
- [21] M. H. Tsai, J. Y. Chen, and S. C. Kang, “Ask Diana: A keyword-based chatbot system for water-related disaster management,” *Water (Switzerland)*, 2019, doi: 10.3390/ w11020234.
- [22] P. A. Tamayo, A. Herrero, J. Martín, C. Navarro, and J. M. Tránchez, “Design of a chatbot as a distance learning assistant,” *Open Prax.*, 2020, doi: 10.5944/ openpraxis.12.1.1063.
- [23] İşeri, İ., Aydın, Ö. & Tutuk, K. (2021). Müşteri Hizmetleri Yönetiminde Yapay Zeka Temelli Chatbot Geliştirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (29), 358-365.

Research Article


# HİBRİT MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİ YOLUYLA GELİŞTİRİLMİŞ DDoS SALDIRISI TESPİTİ

Feraidoon FARAHMANDNIA<sup>†</sup> Serhat ÖZEKES<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Üsküdar University, Institute Of Science, Istanbul, Türkiye

<sup>††</sup> Marmara University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye

[Farahmandnia.fr@gmail.com](mailto:Farahmandnia.fr@gmail.com), [serhat.ozekes@marmara.edu.tr](mailto:serhat.ozekes@marmara.edu.tr)

 0009-0004-9516-6122, 0000-0002-7432-0272

**Atf/Citation:** FARAHMANDNIA, F., ÖZEKES, S. (2025). Hibrit Makine Öğrenme Teknikleri Yoluyula Geliştirilmiş Ddos Saldırısı Tespiti, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.275-307, DOI: 10.56809/icujtas.1513881

## ÖZET

Bu çalışma, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak Dağıtılmış Hizmet Reddi (DDoS) saldırılarını tespit etmek için güçlü mekanizmaların geliştirilmesini araştırmaktadır. Araştırmanın temel amacı, bir metaklasifikatör yığına modeli ve transfer öğrenme modeli olmak üzere iki farklı yaklaşımı keşfederek DDoS tespit doğruluğunu artırmaktır. Bu modelleri eğitmek ve değerlendirmek için CICDDoS2019 ve CICIDS2017 veri setleri kullanılmıştır. İlk yaklaşımda, K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makinesi ve Rastgele Orman algoritmaları bir lojistik regresyon metaklasifikatörü kullanılarak birleştirilmiştir. Bu topluluk yöntemi, her bir algoritmanın güçlü yönlerinden yararlanarak doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1-skora gibi performans ölçümlerinde iyileşme sağlamıştır. Yığına modeli %99.94 doğruluk elde etmiştir. İkinci yaklaşımda ise, CICIDS2017 üzerinde önceden eğitilmiş bir Yapay Sinir Ağı modeli, CICDDoS2019 veri seti kullanılarak ince ayar yapılarak transfer öğrenme uygulanmıştır. Bu yöntem, bilgi aktarımının avantajlarını göstererek %99.81 doğruluk ve önemli ölçüde azaltılmış eğitim süresi ile yüksek tespit performansı elde etmiştir. Bulgular, her iki yaklaşımın da DDoS tespitini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve metaklasifikatör yaklaşımının biraz daha yüksek performans sağladığını, ancak daha fazla hesaplama gücü gerektirdiğini göstermektedir. Transfer öğrenme yaklaşımı, performans ve verimlilik arasında pratik bir denge sunarak hızlı model dağıtımını gerektiren senaryolar için uygun hale gelmektedir. Sonuç olarak, araştırma, gelişmiş makine öğrenimi tekniklerinin etkili DDoS tespit sistemlerinin geliştirilmesinde taşıdığı potansiyeli vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** DDoS Tespiti, Makine Öğrenimi, Metaklasifikasyon, Transfer Öğrenme, Siber Güvenlik

Geliş/Received : 17.07.2024

Gözden Geçirme/Revised : 02.09.2024

Kabul/Accepted : 17.10.2024

## ENHANCED DDoS ATTACK DETECTION THROUGH HYBRID MACHINE LEARNING TECHNIQUES

### ABSTRACT

This study investigates the development of robust detection mechanisms for Distributed Denial of Service (DDoS) attacks using machine learning techniques. The primary objective of the research is to enhance DDoS detection accuracy by exploring two distinct approaches: a meta-classifier stacking model and a transfer learning model. The CICDDoS2019 and CICIDS2017 datasets are utilized to train and evaluate these models. In the first approach, the K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine, and Random Forest algorithms are combined using a logistic regression metaclassifier. This ensemble method leverages the strengths of each individual algorithm, resulting in improved performance metrics such as accuracy, precision, recall, and F1-score. The stacking model achieved an accuracy of 99.94%. The second approach employs transfer learning, where a pre-trained Artificial Neural Network model on the CICIDS2017 is fine-tuned using the CICDDoS2019 dataset. This method demonstrates the advantages of knowledge transfer, achieving high detection performance with an accuracy of 99.81% and significantly reduced training time. The findings indicate that both approaches significantly improve DDoS detection. The metaclassifier approach achieves higher performance metrics but is more computationally intensive. The transfer learning approach offers a practical balance between performance and efficiency, making it suitable for scenarios requiring rapid model deployment. In conclusion, the research highlights the potential of advanced machine learning techniques in developing effective DDoS detection systems.

**Keywords:** DDoS Detection, Machine Learning, Metaclassifier, Transfer Learning, Cybersecurity

### 1. INTRODUCTION

The widespread use of digital technology and the substantial incorporation of Internet-based services have revolutionized the manner in which individuals, enterprises, and institutions engage and carry out their activities. Despite the many advantages of the digital era, there remains a notable danger to network security and stability through cyber threats, particularly Distributed Denial-of-Service (DDoS) assaults (Merkebauly, 2024). With the increasing reliance on digital infrastructure for critical functions such as communication, commerce, and information dissemination, cybercriminals have capitalized on vulnerabilities within network protocols and systems to orchestrate malicious attacks. Among these threats, DDoS attacks have become a favored tactic due to their potential for causing widespread disruption with minimal effort (Gupta, 2008; Cheema et al., 2022).

DDoS attacks involve the coordinated attack on specific servers or networks by flooding them with a large amount of traffic from various sources, overwhelming their capacity to function properly in response to legitimate requests (Cheema et al., 2022). These assaults can manifest in different forms, including volumetric attacks, protocol attacks, and application layer attacks, each presenting unique challenges for identification and mitigation (Rafsanjani and Kazeminejad, 2014; Jia et al., 2020). The repercussions of DDoS attacks extend far beyond temporary service outages, often leading to monetary losses, harm to an organization's image, and a decrease in customer confidence (Shahzad and Mateen, 2021). The growing prevalence and complexity of DDoS assaults underscore the urgent need for resilient security systems capable of protecting against evolving threats (Gupta and Dahiya, 2021).

Traditional methods for detecting and mitigating DDoS attacks, such as rate limiting, blacklisting, and traffic filtering, have proven inadequate in handling the scale and complexity of modern attacks (Parekh and Sathwara, 2017). These rule-based approaches often struggle to differentiate between legitimate and malicious traffic, resulting in false positives, false negatives, and service degradation (Chahal et al., 2019). Machine learning techniques have emerged as a promising solution for enhancing DDoS detection capabilities (Tiwari et al., 2018). By leveraging computational intelligence and data-driven algorithms, machine learning models can learn intricate patterns and anomalies from large-scale network traffic data, enabling more effective and accurate differentiation between malicious activity and benign communications (Li et al., 2008; Herrera et al., 2015).

The dynamic and adaptable nature of DDoS assaults necessitates advanced defense mechanisms capable of recognizing and neutralizing new threats in real-time or near-real-time scenarios (Gopinaath et al., 2022). By

harnessing machine learning capabilities, organizations can augment their existing security infrastructure and fortify defenses against evolving cyber threats. In light of these considerations, this research aims to address the challenge of DDoS detection by exploring and implementing innovative machine learning techniques. By leveraging insights from the latest research in cybersecurity and machine learning, this study aims to build models that are both resilient and adaptable, with the ability to reliably identify and mitigate DDoS assaults, thereby improving the resilience and security of network infrastructures in the face of emerging cyber threats (Li and Castagna, 2004; Mishina et al., 2015).

To address the challenge of Distributed Denial-of-Service (DDoS) detection, this study makes several key contributions. First, it develops a novel hybrid detection model that enhances DDoS detection accuracy by combining machine learning models through a meta-classifier stacking approach (Sultana and Islam, 2019; Rajendran and Vincent, 2021). Second, the study introduces a transfer learning approach using pre-trained Artificial Neural Network (ANN) weights to reduce training time while maintaining high detection performance on the CICDDoS2019 dataset (Gurjar and Voditel, 2022; Islam, 2024).

A comprehensive comparative analysis is conducted between the meta-classifier stacking and transfer learning approaches, demonstrating their respective advantages in terms of detection accuracy, computational complexity, and efficiency (Huang and Zhou, 2021). Additionally, this research employs extensive data preprocessing techniques, including feature normalization, transformation, and handling of missing values, to improve the model's robustness and reliability using the CICIDS2017 and CICDDoS2019 datasets (Cheema et al., 2022).

The paper is structured as follows. The next section presents a literature review of existing DDoS detection methods and advancements in machine learning for cybersecurity. The subsequent section discusses the materials and methods used, detailing the datasets, data preprocessing steps, and model design, including both the meta-classifier stacking approach and transfer learning model. Following that, the results section provides a thorough performance evaluation of the proposed models using metrics like accuracy, precision, recall, and F1-score. The discussion section then analyzes the findings, comparing them with previous studies and identifying potential areas for further research. Finally, the conclusion summarizes the key findings and suggests future directions for enhancing DDoS detection using advanced machine learning techniques.

## **2. LITERATURE REVIEW**

### **2.1. Overview**

This study offers a thorough analysis of previous research on Distributed Denial of Service (DDoS) attacks through a comprehensive literature review. The review examines what constitutes a DDoS incident, how these attacks have evolved over time, and the common methods used by attackers. It also explores both traditional and innovative approaches for detecting and mitigating DDoS attacks, including Software-Defined Networking (SDN), which allows network administrators to manage network services by abstracting lower-level functionality, as well as machine learning techniques. By analyzing recent publications, this review aims to provide insights into the development of effective DDoS defense strategies.

### **2.2. Explanation of DDoS Attacks**

Attacks known as DDoS are intentional attempts to stop a server, service, or network's normal operation by flooding it or the infrastructure around it with an excessive amount of Internet traffic (Singh et al., 2022). Historically, DDoS attacks have evolved from simple nuisances carried out by amateur hackers to sophisticated disruptions orchestrated by well-funded adversaries, with the magnitude of attacks escalating from mere megabytes to hundreds of terabytes of data (Kasture, 2023). The range of attack methods and the growing complexity of the Internet environment, which includes the emergence of SDN and Internet of Things (IoT) devices, make it difficult to mitigate DDoS attacks. (Bhushan et al., 2022).

Interestingly, while DDoS attacks have become more complex, the strategies for their mitigation have also advanced. Stochastic Gradient Descent and Support Vector Machine are two examples of machine learning techniques that have been used to achieve great accuracy in attack detection. (Umamaheswari et al., 2023). Additionally, the programmability and central management features of SDN have been leveraged to develop mitigation strategies across different planes of the network architecture (Li & Wang, 2022; Shakya & Karnani, 2022). However, the effectiveness of these solutions can be inconsistent due to the dynamic nature of DDoS attack patterns and the continuous evolution of attack methods (Kasture, 2023).

In summary, DDoS attacks present a significant challenge to network security, with their definition rooted in the intent to disrupt service availability through traffic overload. The historical progression of these attacks reflects a trend towards growing in scale and complexity. Mitigating DDoS assaults remains a challenge due to the diversity of attack methods and the need for solutions that can adapt to evolving threats. Research continues to focus on developing more effective detection and mitigation techniques, with machine learning and SDN-based strategies showing promise in recent studies (Bhushan et al., 2022; Kasture, 2023; Li & Wang, 2022; Shakya & Karnani, 2022; Umamaheswari et al., 2023).

### 2.3. Traditional Methods for DDoS Detection and Mitigation

Conventional approaches to detecting and mitigating Distributed Denial-of-Service (DDoS) attacks have mostly concentrated on identifying and dealing with the overwhelming volume of network traffic associated with these attacks. These methods include a variety of strategies. Examples of intrusion detection techniques include anomaly-based methods, which detect unusual patterns of network traffic, as well as preventative strategies like as packet filtering and rate restriction, which reduce the impact of an attack (Ojha et al., 2023). Additionally, DDoS defense strategies have been categorized into detection, defense, and mitigation, with an emphasis on the importance of understanding different attack types and methodologies (Singh et al., 2022).

However, these traditional methods have faced challenges given the dynamic nature of DDoS assaults, which have grown in complexity and scale. For instance, the traditional internet architecture's susceptibility to DDoS attacks has been a significant concern, leading to the development of new defense techniques. Moreover, the effectiveness of traditional methods can be limited by the increasing variety of vulnerable hosts and the sophistication of attack networks or botnets (Singh et al., 2022; Suhag & Daniel, 2022).

In summary, while traditional methods for DDoS detection and mitigation have provided a foundation for defending against such attacks, the dynamic and sophisticated nature of modern DDoS threats necessitates continuous improvement and adaptation of these strategies. Research indicates that integrating sophisticated methodologies, including machine learning and artificial intelligence, can enhance the effectiveness of DDoS defense solutions (Chong et al., 2023; Suhag & Daniel, 2022). Therefore, it is crucial to integrate traditional methods with newer, more advanced approaches to develop robust and efficient DDoS mitigation strategies.

### 2.4. Machine Learning Techniques for DDoS Detection

Machine learning (ML) approaches have gained considerable attention in recent years due to their effectiveness in detecting DDoS assaults. These approaches leverage the ability of ML algorithms to analyze large volumes of network data and identify complex patterns indicative of malicious activity. Various ML techniques, such as Random Forest (RF), Decision Trees, Support Vector Machines (SVM), and Neural Networks have shown notable success in DDoS detection tasks (T et al., 2023).

SVM, for instance, has been widely utilized in DDoS detection due to its effectiveness in classifying data into different categories based on a set of input features (T et al., 2023). By constructing hyperplanes that effectively separate normal and attack traffic, SVM-based classifiers can accurately identify instances of DDoS attacks.

Decision trees, such as the C4.5 algorithm, have also found application in DDoS detection owing to their interpretability and efficiency in classifying network traffic (Li & Wang, 2022). These models segment the feature space into hierarchical decision rules, allowing for the detection of attack patterns based on input feature values.

Random Forest, that is an ensemble learning method consisting of several decision trees, has demonstrated promise in DDoS detection tasks by aggregating the outputs of individual trees to enhance detection accuracy (Wang et al., 2017). This approach improves resilience against noise and outliers in the data, leading to more robust detection capabilities.

Furthermore, recent breakthroughs in the field of deep learning have focused on two specific types of neural networks, Convolutional Neural Networks (CNNs) and Recurrent Neural Networks (RNNs). have facilitated the creation of advanced DDoS detection systems that can learn analyzing intricate patterns derived from unprocessed network traffic data. (Khan, 2021). These deep learning architectures offer enhanced capabilities for detecting subtle and evolving DDoS attack patterns.

## 2.5. Review of Relevant Research Studies and Approaches

Multiple research papers have made major contributions to the subject of recognizing DDoS attacks by utilizing diverse methodology and tactics to minimize the impact of these assaults.

Seifousadati et al. (2021) conducted a study titled "A Machine Learning Approach for DDoS Detection on IoT Devices" to address the increasing threat of DDoS attacks on IoT technology. The study highlights the effectiveness of AdaBoost and XGBoost algorithms, achieving 100% accuracy and an F1-Score of 1 on the CICDDoS2019 dataset. It also identifies the top 10 features crucial for predicting network traffic classes, emphasizing the importance of feature selection in improving DDoS detection systems. However, the study notes the limitations of the Naïve Bayes algorithm due to its suboptimal performance in terms of F1-Score and False Positive Percentage. (Seifousadati et al., 2021)

Halladay et al. (2022) conducted a study, published in IEEE Access, focusing on the detection and analysis of DDoS attacks using time-based attributes. The experimental setup included two scenarios (A and B) and employed classifiers such as LightGBM, XGBoost, Adaptive Boosting, and Deep Neural Networks (DNN). The study highlighted the importance of time-based features in identifying unique traffic flow signatures. Scenario A showed exceptional performance with accuracies between 98-99%, while Scenario B experienced a slight degradation in accuracy and F1-score but improved training time (Halladay et al., 2022).

Elsayed et al. (2020) explored the use of Deep Learning (DL) techniques, specifically RNN, for enhancing DDoS attack detection. Their study highlights DL's ability to autonomously extract features from raw data, improving detection accuracy without human intervention. The research emphasizes the importance of data partitioning and using Receiver Operating Characteristic (ROC) curves to evaluate model performance. They found optimal performance with 70% of data used for training and underscored the significance of the Area Under the Curve (AUC) metric in assessing the model's discriminative ability (Elsayed et al., 2020).

Gopinaath et al. (2022) assessed four categorization models: Random Forest, K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree, and ANN. They evaluated these models using Accuracy, Recall, Precision, and F1-score metrics. The ExtraTreesClassifier was used for feature selection, optimizing computational efficiency by selecting the top 15 features for training. Using the CICDDoS2019 dataset, which includes diverse DDoS attack classes, the models were trained for binary classification to differentiate between benign and malicious traffic (Gopinaath et al., 2022).

Gaur and Kumar (2022) investigated the performance of various machine learning algorithms, including KNN, Decision Tree, Random Forest, and ANN, for detecting DDoS attacks on IoT devices using the CICDDoS2019 dataset. Their study highlighted the ANN model's exceptional accuracy of 99.95% in identifying malicious IP addresses, enhanced by using the ExtraTreesClassifier for feature selection and focusing on the top 15 features. The research emphasized minimizing false positives and ensuring robust model training by pre-processing data, removing outliers, and encoding labels. Their findings underscore the ANN model's effectiveness in improving network security, while also noting the need for further exploration into scalability, feature selection strategies, and integrating technologies like blockchain for enhanced IoT security (Gaur & Kumar, 2022).

Md. Alamgir Hossain's (2023) study, "Enhanced Ensemble-Based DDoS Attack Detection with Novel Feature Selection: A Robust Cybersecurity Approach," introduces innovative methodologies to improve DDoS attack detection. The research emphasizes the importance of feature selection, exploring metrics such as "Total Length of Bwd Packets," "Active Mean," and "Flow IAT Std." Hossain employs techniques like correlation analysis and principal component analysis (PCA) to identify crucial features. The study proposes a model development pipeline, including dataset preparation, ensemble approach selection (e.g., Random Forest), and model evaluation using precision, recall, accuracy, and F1-score. Robustness analysis ensures model effectiveness against variations. The model consistently achieves high accuracy across evaluation metrics and demonstrates strong alignment with real data, as indicated by a high Cohen's Kappa score and a favorable Precision-Recall curve (Hossain, 2023).



Table 1 provides a comprehensive summary of recent research studies focused on DDoS attack detection using machine learning techniques. All the studies summarized in this table utilize the CICDDoS2019 dataset as the primary data source. These studies explore various algorithms, feature selection methods, and techniques to achieve high accuracy in identifying malicious network traffic.

**Table 1.** Summary of researches review

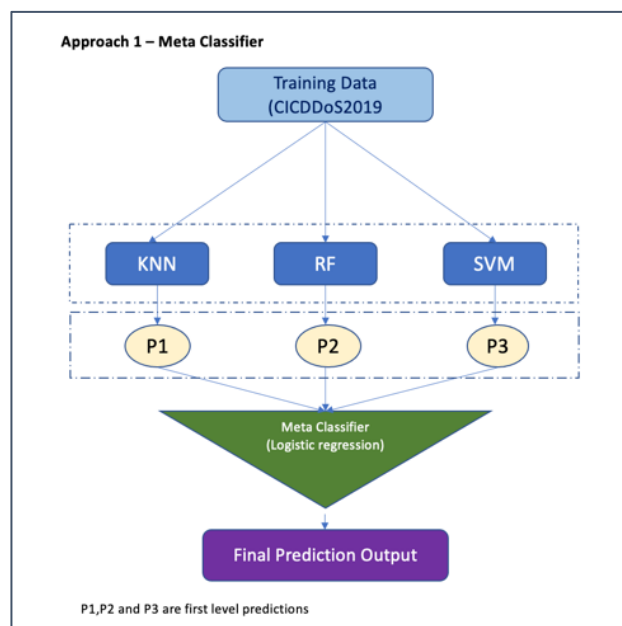
Title	Authors, Year	Algorithms	Features	Accuracy
<b>A Machine Learning Approach for DDoS Detection on IoT Devices</b>	Seifousadati, Ghasemshirazi, Fathian, 2021	Naïve Bayes, SVM, AdaBoost, XGBoost, KNN, Random Forest	Top 10 important features	100%
<b>Detection and Characterization of DDoS Attacks Using Time-Based Features</b>	Halladay, Cullen, 2022	LightGBM, XGBoost, Adaptive Boosting, DNN	Time-based features(25 features)	98-99%
<b>DDoSNet: A Deep-Learning Model for Detecting Network Attacks</b>	Elsayed, Le-Khac, Dev, Jurcut, 2022	RNN, Deep Learning techniques	77 features	99%
<b>DDoS Detection using Machine Learning Techniques</b>	Gopinaath, Amrish, Kumar, Bavapriyan, 2022	KNN, Decision Tree, Random Forest, ANN	Top 15 features by ExtraTrees	99.95%
<b>Analysis of Machine Learning Classifiers for Early Detection of DDoS Attacks on IoT Devices</b>	Kumar Ranjeesh, Gaur Vimal ,2022	KNN, Decision Tree, Random Forest, ANN	Top 15 features from	99.95%
<b>Enhanced Ensemble-Based DDoS Attack Detection</b>	Md. Alamgir Hossain, 2023	Ensemble Method (e.g., Random Forest)	--	100%

### 3. MATERIALS AND METHODS

#### 3.1. Overview

This study employs two distinct approaches to enhance the analysis of DDoS attacks: the Metaclassifier Approach and the Transfer Learning Approach.

- The Metaclassifier Approach entailed training multiple machine learning algorithms, specifically SVM, RF, and KNN, on the CICDDoS2019 dataset. These algorithms were then combined using a logistic regression-based meta-classifier as shown in Figure 1.



**Figure 1.** Approach 1 Meta-Classifier

- Transfer learning is the process of applying a learned model to a new issue. It's an efficient approach when Large datasets that were used to train the model would be expensive and time-consuming to compute replicate. (Gurjar and Voditel, 2022). As illustrated in Figure 2 and Figure 3, This method enables leveraging knowledge acquired from one task domain to enhance output on an associated task, thereby reducing the requirement for abundant data in the new domain and speeding up model convergence (Islam, 2024).

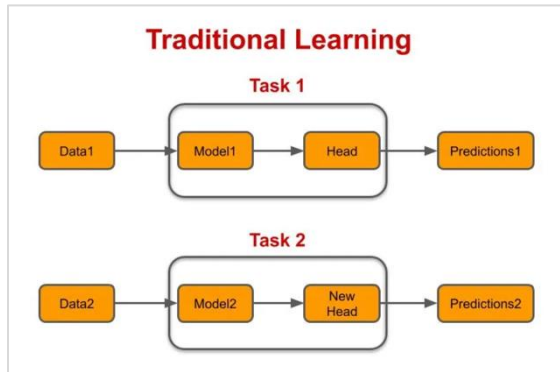


Figure 3. Traditional Learning

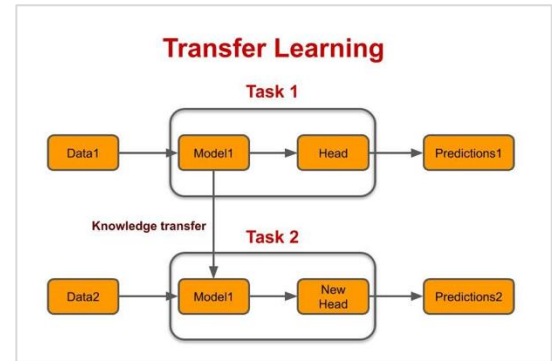


Figure 2. Transfer Learning

(Source: <https://medium.com/modern-nlp/transfer-learning-in-nlp-f5035cc3f62f>)

### 3.2. Data Collection and Preprocessing

#### 3.2.1. Selection of Datasets

For the purpose of this study, two well-known datasets in the field of cybersecurity were selected: the CICDDoS2019 and the CICIDS2017 datasets. Both datasets were generated within the Canadian Institute of Cybersecurity.

The CICDDoS2019 dataset includes both harmless and recent typical DDoS attacks that closely mirror actual data (PCAPs). It includes the outcomes of analyze the traffic on the network using CICFlowMeter-V3, with flows labeled according to timestamp, source and destination IPs, source and destination ports, protocols, and the type of attack (Sharafaldin et al., 2019)

The CICDDoS2019 dataset is specifically designed to provide comprehensive data on Distributed Denial of Service (DDoS) attacks. It includes traffic logs from a wide variety of distributed denial of service attacks, capturing a diverse array of methods of assault patterns and behaviors. This dataset is valuable for understanding the dynamics and characteristics of DDoS attacks, rendering it a critical resource for the development of effective detection and mitigation strategies.

The CICIDS2017 dataset is extensively utilized for research on intrusion detection systems (IDS). For this study, a specific portion of the CICIDS2017 dataset was utilized, namely the "Friday-Working-Hours-Afternoon-DDos.pcap\_ISCX.csv" file. This subset focuses exclusively on DDoS attack data captured during Friday working hours. It provides detailed records of network traffic during the DDoS attack, making it suitable for analyzing the specific characteristics and patterns of such attacks.

Table 2 provides a detailed summary of the information described in the datasets, including the types of attacks, the duration of data collection, the number of records, and the features available in each dataset.

**Table 2.** The detail of CICIDS2017 and CICDDoS2019 dataset

Dataset Name	CICIDS2017	CICDDoS2019
Total Number of Samples	225745	431371
Number of Attributes	79	88
Number Of Classes	2 class (Benign & DDoS) DDoS: 128027 Benign: 97718	2 class (Benign & DDoS) DDoS: 330540 Benign: 97831
URL	<a href="https://kaggle/input/cicids2017/DDoS-Friday-no-metadata.parquet">https://kaggle/input/cicids2017/DDoS-Friday-no-metadata.parquet</a>	<a href="https://kaggle.com/code/dhoogla/cic-ddos2019-00-cleaning/input">https://kaggle.com/code/dhoogla/cic-ddos2019-00-cleaning/input</a>

The features are listed in Table 3.

**Table 3.** All Fetures of Dataset

Column Name	Description
Dst Port	Destination port number
Protocol	Protocol used in the communication
Timestamp	Timestamp of the flow
Flow Duration	Duration of the flow in seconds
Tot Fwd Pkts	Total number of packets in the forward direction
Tot Bwd Pkts	Total number of packets in the backward direction
TotLen Fwd Pkts	Total size of the forward packets in bytes
TotLen Bwd Pkts	Total size of the backward packets in bytes
Fwd Pkt Len Max	Maximum length of the forward packets
Fwd Pkt Len Min	Minimum length of the forward packets
Fwd Pkt Len Mean	Mean length of the forward packets
Fwd Pkt Len Std	Standard deviation of the length of the forward packets
Bwd Pkt Len Max	Maximum length of the backward packets
Bwd Pkt Len Min	Minimum length of the backward packets
Bwd Pkt Len Mean	Mean length of the backward packets
Bwd Pkt Len Std	Standard deviation of the length of the backward packets
Flow Byts/s	Flow bytes per second
Flow Pkts/s	Flow packets per second
Flow IAT Mean	Mean inter-arrival time of the flow
Flow IAT Std	Standard deviation of the inter-arrival time of the flow
Flow IAT Max	Maximum inter-arrival time of the flow
Flow IAT Min	Minimum inter-arrival time of the flow
Fwd IAT Tot	Total inter-arrival time of the forward packets
Fwd IAT Mean	Mean inter-arrival time of the forward packets
Fwd IAT Std	Standard deviation of the inter-arrival time of the forward packets
Fwd IAT Max	Maximum inter-arrival time of the forward packets
Fwd IAT Min	Minimum inter-arrival time of the forward packets
Bwd IAT Tot	Total inter-arrival time of the backward packets
Bwd IAT Mean	Mean inter-arrival time of the backward packets

Bwd IAT Std	Standard deviation of the inter-arrival time of the backward packets
Bwd IAT Max	Maximum inter-arrival time of the backward packets
Bwd IAT Min	Minimum inter-arrival time of the backward packets
Fwd PSH Flags	Number of times the PSH flag is set in the forward packets
Bwd PSH Flags	Number of times the PSH flag is set in the backward packets
Fwd URG Flags	Number of times the URG flag is set in the forward packets
Bwd URG Flags	Number of times the URG flag is set in the backward packets
Fwd Header Len	Total header length in the forward direction
Bwd Header Len	Total header length in the backward direction
Fwd Pkts/s	Forward packets per second
Bwd Pkts/s	Backward packets per second
Pkt Len Min	Minimum length of the packets
Pkt Len Max	Maximum length of the packets
Pkt Len Mean	Mean length of the packets

Table 3. [Continue]

Column Name	Description
Pkt Len Std	Standard deviation of the length of the packets
Pkt Len Var	Variance of the length of the packets
FIN Flag Cnt	Number of times the FIN flag is set
SYN Flag Cnt	Number of times the SYN flag is set
RST Flag Cnt	Number of times the RST flag is set
PSH Flag Cnt	Number of times the PSH flag is set
ACK Flag Cnt	Number of times the ACK flag is set
URG Flag Cnt	Number of times the URG flag is set
CWE Flag Count	Number of times the CWE flag is set
ECE Flag Cnt	Number of times the ECE flag is set
Down/Up Ratio	Downstream to upstream ratio
Pkt Size Avg	Average packet size
Fwd Seg Size Avg	Average segment size in the forward direction
Bwd Seg Size Avg	Average segment size in the backward direction
Fwd Byts/b Avg	Average number of bytes per forward packet
Fwd Pkts/b Avg	Average number of packets per forward packet
Fwd Blk Rate Avg	Average block rate in the forward direction
Bwd Byts/b Avg	Average number of bytes per backward packet
Bwd Pkts/b Avg	Average number of packets per backward packet
Bwd Blk Rate Avg	Average block rate in the backward direction
Subflow Fwd Pkts	Number of packets in the forward subflow
Subflow Fwd Byts	Number of bytes in the forward subflow
Subflow Bwd Pkts	Number of packets in the backward subflow
Subflow Bwd Byts	Number of bytes in the backward subflow
Init Fwd Win Byts	Initial forward window size
Init Bwd Win Byts	Initial backward window size
Fwd Act Data Pkts	Number of forward packets with payload
Fwd Seg Size Min	Minimum segment size in the forward direction
Active Mean	Mean time of active connections
Active Std	Standard deviation of the time of active connections

Active Max	Maximum time of active connections
Active Min	Minimum time of active connections
Idle Mean	Mean time of idle connections
Idle Std	Standard deviation of the time of idle connections
Idle Max	Maximum time of idle connections
Idle Min	Minimum time of idle connections
Label	Label indicating the class or category of the network flow

### • Data Cleaning and Transformation

The preprocessing of data is a critical preceding phase in guaranteeing the accuracy and dependability of information for future analysis and modeling operations. In this section, we outline the steps taken to clean and transform the datasets *CICIDS2017* and *CICDDoS2019*, focusing on removing unnecessary columns and addressing missing or infinite values.

#### • Data Cleaning

- **Unnecessary Feature Removal:** Removed non-contributory columns such as "Destination Port" in *CICIDS2017* and detailed columns like 'Flow ID', 'Source' and 'Destination', Port and IP Addresses in *CICDDoS2019* to streamline the datasets.
- **Handling Missing Values:** Applied imputation to fill missing values and removed instances with high missing values to ensure data quality.
- **Removing Duplicates:** Eliminated redundant records based on attributes like source and destination IP addresses, timestamps, and attack types to maintain data integrity.
- **Dealing with Infinite Values:** Addressed instances with infinite values by replacing or removing them to prevent computational issues.

#### • Data Transformation

- **One-Hot Encoding:** Converted categorical variables, such as "Protocol," into numerical format using one-hot encoding for better interpretation by machine learning algorithms.
- **Label Encoding for Target Variable:** Used label encoding for binary classification between "Benign" and "DDoS" traffic, assigning numerical labels (e.g., 0 for "Benign" and 1 for "DDoS") for better prediction by machine learning models as shown in Figure 4.

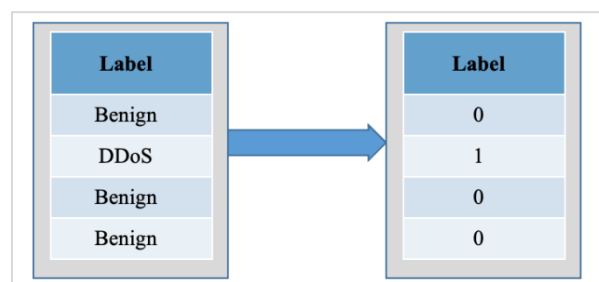


Figure 4. Label Encoding

### 3.2.2. Feature Normalization

Feature normalization and scaling are essential preprocessing steps for network traffic data, ensuring that features with varying scales do not bias the analysis. This improves the performance and stability of machine learning models. Several methods are used for normalization and scaling:

- **Z-score Normalization (StandardScaler):** This technique standardizes feature values to have a mean of 0 and a standard deviation of 1. It ensures that all features contribute uniformly to model training, enhancing the stability and efficiency of optimization algorithms.
- **Min-Max Scaling (Normalization):** This method scales features to a range of 0 to 1 by subtracting the minimum value and dividing by the range. It preserves the relative relationships between feature values.
- **Maximum Absolute Value Normalization:** This technique scales features to a range of [-1, 1] by dividing each feature value by the maximum absolute value in the dataset, useful when feature distributions are unknown or contain outliers.

In this study, the StandardScaler method is used for feature normalization and scaling due to its effectiveness with machine learning algorithms sensitive to feature scale variations.

### 3.2.3.Data Balancing

To address class imbalance in the CICIDS2017 and CICDDoS2019 datasets, different techniques were employed for each approach:

- **Approach 1 (Metaclassifier):** Class imbalance was managed by adjusting the weight parameter in KNN, SVM, and RF models. The CICDDoS2019 dataset, with 97,831 benign instances and 333,540 DDoS instances, was balanced by prioritizing the minority class (benign) through increased class weights. This method ensured models paid more attention to the minority class, enhancing sensitivity to benign traffic while maintaining computational efficiency.
- **Approach 2 (Transfer Learning):** The class\_weight parameter in Keras was used to balance class distribution in both datasets. This parameter assigns a weight inversely proportional to class frequency, balancing the impact of each class during training. This approach ensured the model remained unbiased towards the majority class (DDoS) while retaining sensitivity to the minority class (benign), leading to an effective and fair DDoS detection system.

### 3.2.4.Feature Selection and Engineering

Feature selection is a crucial step in machine learning, involving the selection of relevant characteristics from the dataset to enhance model performance, reduce overfitting, and improve generalization. In this study, we used correlation analysis for feature reduction and XGBoost for feature selection.

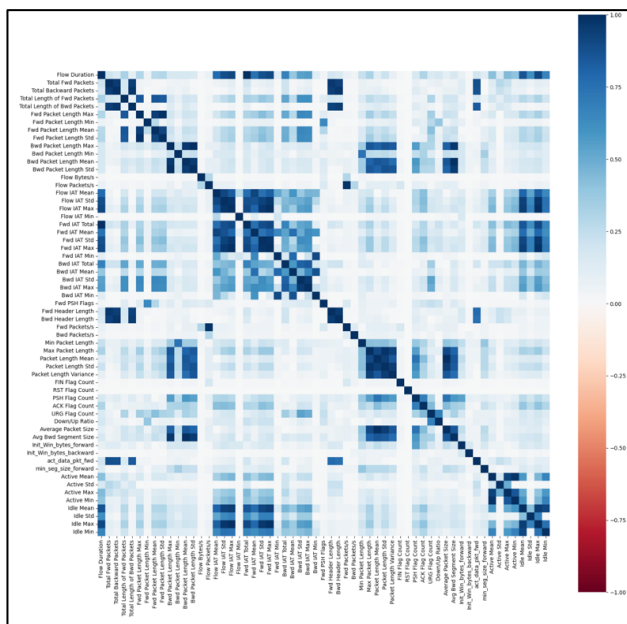


Figure 5. Correlation Matrix before reduction

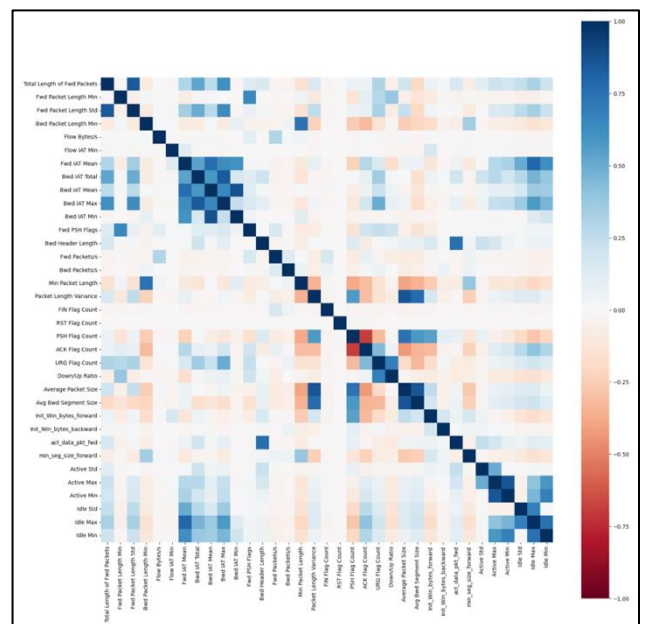


Figure 6. Correlation Matrix after reduction

- **Correlation-based methods:** These methods evaluate relationships between features. Highly correlated features are identified and eliminated to reduce redundancy. In this study, a threshold of 0.90 was used to identify and remove highly correlated features, reducing the dataset from 79 to 36 features as shown in Figure 5 and Figure 5. Correlation Matrix before reduction Figure 6.
- **Feature Selection with XGBoost:** XGBoost, a robust ensemble learning method based on decision trees, was used for automatic feature selection during training. It evaluates each feature's influence on model accuracy using feature significance scores.
- **Feature Importance Calculation:** XGBoost calculates feature importance scores based on their impact on reducing impurity in decision trees. Higher scores indicate greater relevance. After calculating feature importance scores, XGBoost selects the top features contributing most to predictive performance. This study refined the feature set from 36 to the top 15 most informative features as shown in Figure 7.

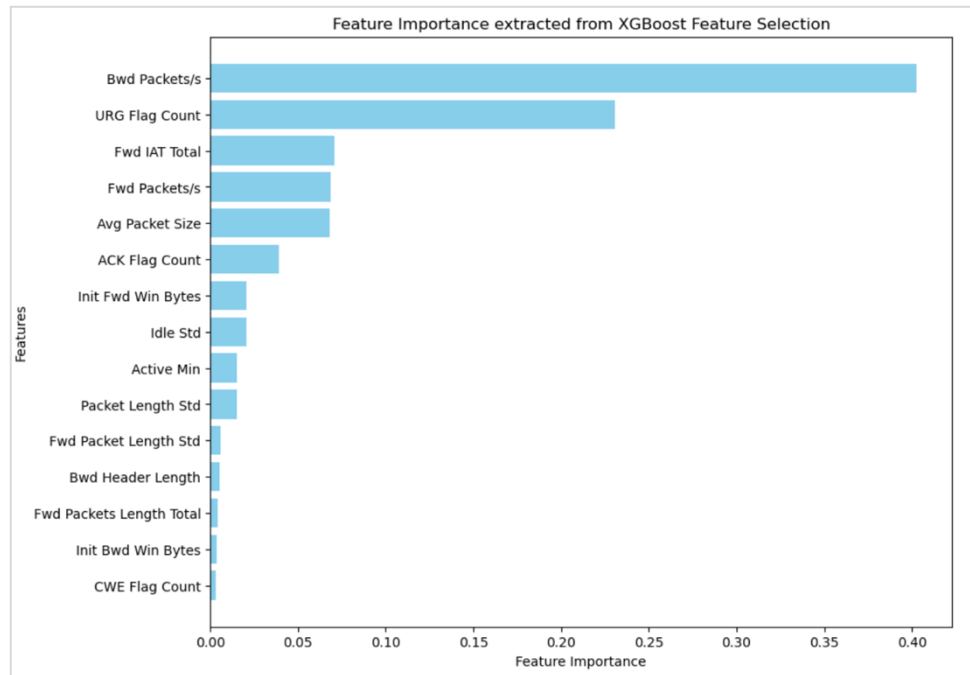


Figure 7. The 15 important feature selections

### 3.3. Model development

This study utilizes two different approaches, **Metaclassifier and Transfer Learning Approach:**

#### 3.3.1. Metaclassifier Approach:

In this approach, as shown in Figure 8, three methods, including Random Forest, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbors, were trained on the CICDDoS2019 dataset. Subsequently, these algorithms were combined using a meta-classifier based on logistic regression. For each algorithm, the optimal hyperparameters were tuned using the Random Search method.

- **Base Algorithms:**
  - **KNN:** Classifies data points based on the predominant class among its K closest neighbors.
  - **SVM:** Determines the ideal hyperplane to classify data into distinct groups. It maximizes the margin between support vectors.
  - **RF:** Uses an ensemble of decision trees for classification tasks. It assesses branching decisions using the Gini index or entropy.

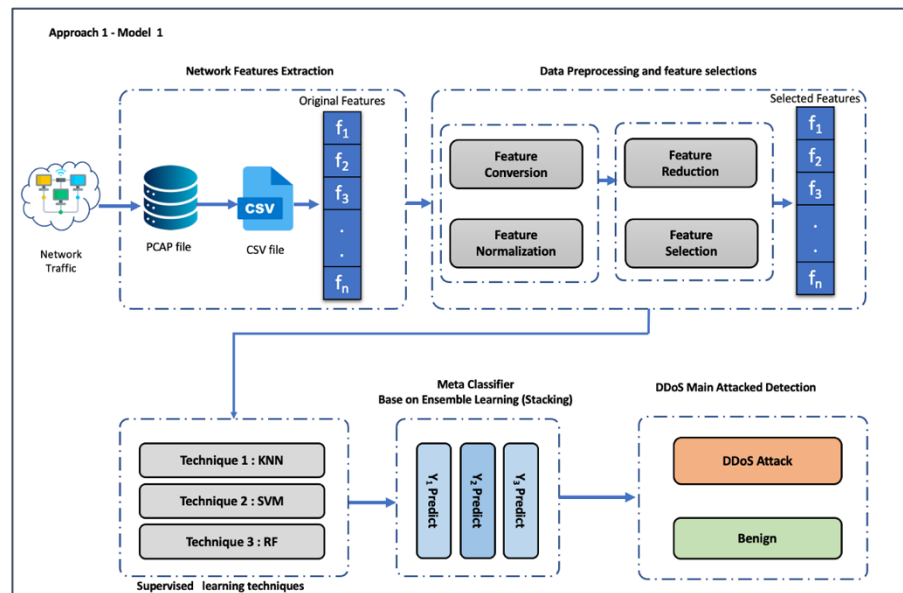


Figure 8. Diagram of approach 1

- **Training the Algorithms:**

The dataset was divided in the following manner: 75% was used as the training set for fitting the model parameters. 10% was designated as the validation set, which was used for hyperparameter optimization using the Random Search method. The remaining 15% was set aside as the testing set to evaluate the model's performance and its ability to generalize to unseen data.

- **Hyperparameters**

Machine learning algorithms possess adjustable hyperparameters that provide control over their behavior and performance. Our research focuses on identifying and utilizing these hyperparameters are the main areas of focus. In this study, some hyperparameters were set to their default values, while others were selected using random search method. Additionally, `class_weight` was set to 'balanced' to address the imbalance in the dataset. Random search is used to explore a broad range of possible values, allowing the model to find optimal configurations that might not be immediately obvious.

The best hyperparameters were selected based on performance metrics, as detailed Table 4 this resource offers a thorough examination of the selected hyperparameters and how they influence the performance of the model.

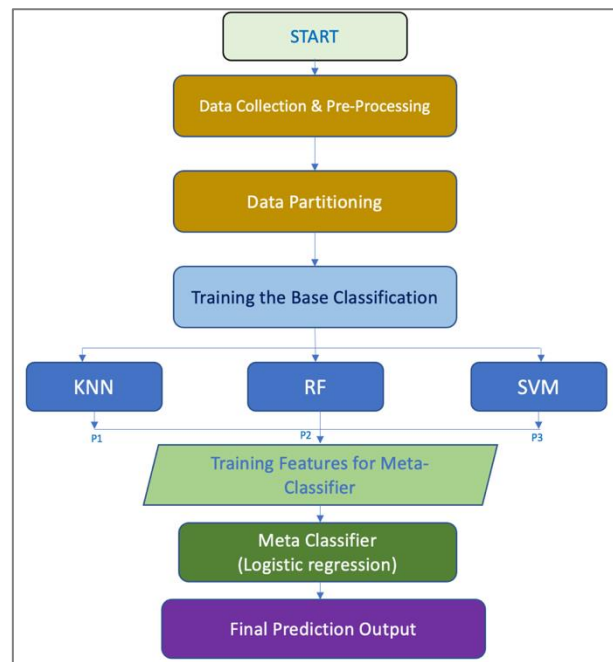


**Table 4.** Selected Best Hyperparameters

Algorithm	Hyperparameter	Possible Values	Selected Hyperparameter	Selection Method
KNN	<b>n_neighbors</b>	[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15]	7	<b>Random Search</b>
	<b>Class_weight</b>	['uniform', 'distance']	'distance'	
	<b>algorithm</b>	['auto', 'ball_tree', 'kd_tree', 'brute']	'auto'	<b>Random Search</b>
	<b>leaf_size</b>	[10, 20, 30, 40, 50]	30	
	<b>p</b>	[1, 2]	2	
SVM	<b>C</b>	[0.1, 1, 10, 100, 1000]	10	<b>Random Search</b>
	<b>kernel</b>	['linear', 'poly', 'rbf', 'sigmoid']	'rbf'	
	<b>degree</b>	[2, 3, 4, 5] (only for 'poly' kernel)	3	
	<b>gamma</b>	['scale', 'auto', 0.001, 0.01, 0.1, 1]	'scale'	
	<b>Class_weight</b>	[None, 'balanced']	'balanced'	
	<b>coef0</b>	[0.0, 0.1, 0.5, 1.0]	0.0	
RF	<b>n_estimators</b>	[100, 200, 300, 400, 500]	300	<b>Random Search</b>
	<b>max_features</b>	['auto', 'sqrt', 'log2']	'sqrt'	
	<b>max_depth</b>	[None, 10, 20, 30, 40, 50]	30	<b>Random Search</b>
	<b>min_samples_split</b>	[2, 5, 10]	2	
	<b>min_samples_leaf</b>	[1, 2, 4]	1	
	<b>Bootstrap</b>	[True, False]	True	
	<b>Class_weights</b>	[None, 'balanced', 'balanced_subsample']	'balanced'	

- **Combining Algorithms with a Meta-Classifier**

A metaclassifier enhances classification accuracy by combining the outputs of multiple base models to make a final decision. In this study, a metaclassifier architecture is used, comprising KNN, SVM, and RF as base models, with Logistic Regression as the metaclassifier. As Figure 9 shown the methodology involves several steps: first, KNN, SVM, and RF are independently trained on the training dataset to learn patterns and generate predictions. The trained base algorithms then make predictions on the same dataset, providing probability scores or class labels. These predictions from the base algorithms are used as input features for the meta-classifier. for example If the original dataset has  $n$  features and three base algorithms, the input to the meta-classifier will consist of three new features. Logistic Regression is used as the meta-classifier and is trained on the new feature set (predictions from KNN, SVM, and RF) to learn the optimal way to weigh these outputs for improved decision-making. For new data points, the base algorithms generate predictions, which are then processed by the Logistic Regression meta-classifier to produce the final prediction, effectively combining the strengths of each base algorithm (JagadeeswaraRao and Sivaprasad, 2024)(Ali et al., 2022).



**Figure 9.** The proposed stacking model

### 3.3.2. Transfer Learning Approach (Second Approach)

The objective of this technique is to enhance the effectiveness of the DDoS attack detection model by utilizing a pre-trained model on the CICIDS2017 dataset, leveraging fine-tuning and transfer learning techniques. This methodology addresses imbalanced class distribution and improves the model's capacity to provide accurate predictions in various network settings. The process involves network feature extraction from raw traffic data, saved in CSV format, followed by preprocessing and feature selection to refine the dataset for optimal input. (Gurjar and Voditel, 2022) (Islam, 2024).

- **Transfer Learning Model 1:** As shown in Figure 10 this model employs a pre-trained network initially trained on a large dataset, optimizing specific layers to adapt to DDoS attack identification. The process includes data preprocessing, feature extraction, and classifier training to distinguish between DDoS attacks and benign traffic.
- **Transfer Learning Model 2:** Figure 11 provides a comprehensive overview of Transfer Learning Model 2. This model extracts network properties from raw traffic data saved in PCAP files and converts them into a CSV format. The data undergoes preprocessing, including feature conversion and normalization. Features selected and reduced in Model 1 are reused directly. The pre-trained model acts as a feature extractor, with the encoder layers providing essential features passed to the head layers for DDoS attack detection, classifying traffic as DDoS or benign.

#### Steps of the Approach:

- **Selection of the Base Model:**

An Artificial Neural Network (ANN) model trained on the CICIDS2017 dataset was employed.

- **Training the Base Model:**

The ANN model was trained using the CICIDS2017 dataset with an input layer of 15 nodes, 7 hidden layers with nodes: 128, 64, 32, 16, 8, 4, and 2, and an output layer with 1 node. Activation functions used

were 'tanh', 'selu', and 'sigmoid' for the output layer. The Adam optimizer was used, and the model had 13,097 trainable parameters.

- **Transferring Weights and Fine-Tuning the Model:**

Weights from the pre-trained ANN model on the CICIDS2017 dataset as outlined in Table 5 were transferred to a new model with the same architecture. The new model was trained using the Adam optimizer and binary cross-entropy loss function, with evaluation metrics of accuracy, precision, and recall. Fine-tuning was done using the CICDDoS2019 dataset, employing techniques like Early Stopping and Learning Rate Reduction to optimize training and prevent overfitting. Training stopped if there was no improvement in validation loss for 30 consecutive epochs, restoring the best validation performance weights.

**Table 5.** Hyperparameters for Early Stopping and Learning Rate Reduction

Hyperparameter	Value	Description
<b>EarlyStopping</b>		
monitor	val_loss	Metric to monitor for early stopping.
patience	30	Number of epochs with no improvement after which training will be stopped.
verbose	1	Verbosity mode; 1 = verbose output when early stopping is triggered.
restore_best_weights	True	Whether to restore model weights from the epoch with the best value of the monitored metric.
<b>ReduceLRonPlateau</b>		
monitor	val_loss	Metric to monitor for learning rate reduction.
patience	30	Number of epochs with no improvement after which learning rate will be reduced.
min_lr	1e-07	Minimum learning rate.
verbose	1	Verbosity mode; 1 = update messages when learning rate is reduced.
factor	0.1	Factor by which the learning rate will be reduced. ( $\text{new\_lr} = \text{lr} * \text{factor}$ )

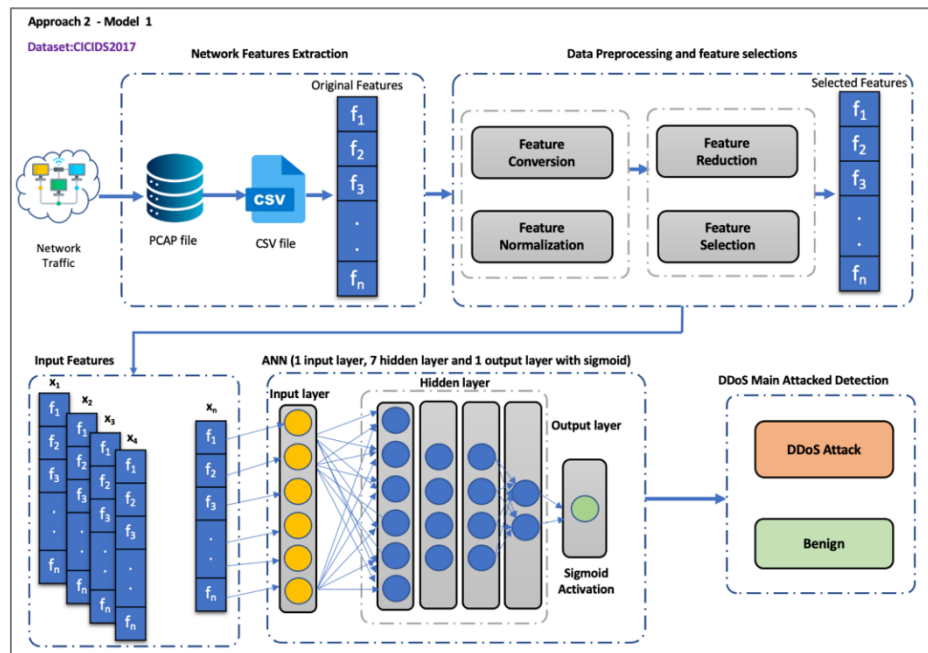


Figure 10. Transfer Learning Model 1

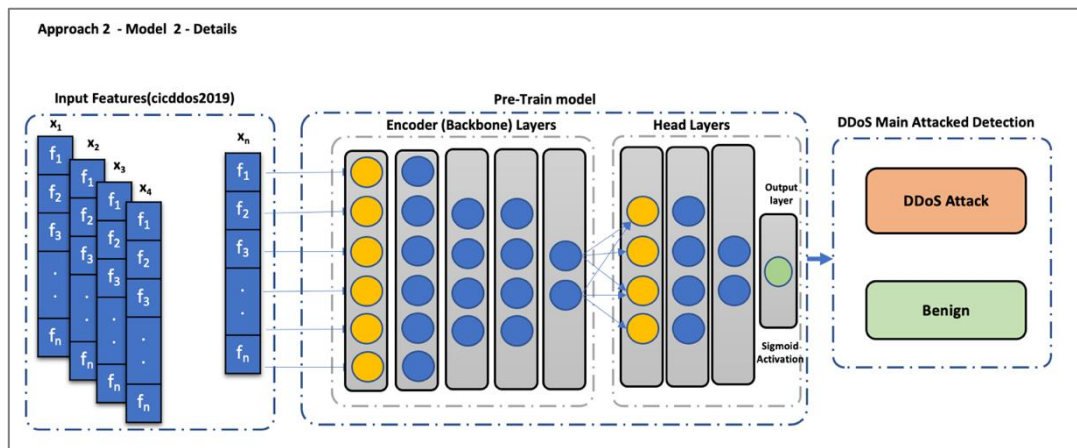


Figure 11. Transfer learning model 2

- **Baseline Model:**

To assess the efficacy of the transfer learning method, a baseline model (Model 3) was implemented. Model 3, an ANN, was trained from scratch solely on the CICDDoS2019 dataset without any pre-trained knowledge. This model serves as a comparative benchmark to highlight the advantages of transfer learning as illustrated in .

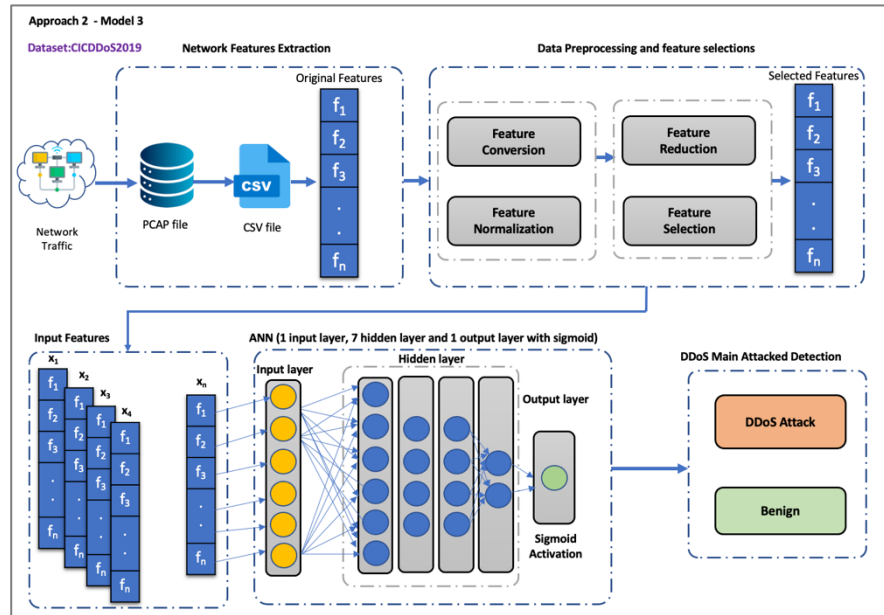


Figure 12 . Architecture of Model 3

- **Statistical Analysis:**

Statistical analysis enhances DDoS detection systems by extracting insights from network traffic data. The Confusion Matrix, a table format used in classification tasks, represents the predicted and true classes, allowing for a visual assessment of the model's performance.

- **Basic Measures**

- **True Positive (TP):**

The count of instances that are accurately categorized as belonging to a specific class. True Positives indicate the accurate predictions made by the model for each positive category.

- **False Positive (FP):**

False positives refer to the cases that are mistakenly categorized as belonging to a particular class, whereas in reality they belong to a different class. The calculation involves adding up the values in the column, but excluding the True Positives.

- **False Negative (FN):**

Misclassified instances refer to the count of occurrences that are categorized under a specific class, but are actually supposed to be assigned to a different class. The calculation involves summing the values in the same row, but eliminating the True Positives.

- **True Negative (TN):**

The amount of occurrences that are accurately categorized as not belonging to a specific class. True Negatives represent the model's correct predictions for the negative classes.

- **Performance Metrics:**

- **Recall:** Proportion of actual positives correctly identified as shown in equation (1).

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

- **Precision:** Proportion of positive class predictions that are correct as shown in equation (2).

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

- **Accuracy:** Measures overall proficiency in identifying both positive and negative classes. It is calculated using the equation (3):

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

- **F1-Score:** Combines recall and precision, it is calculated using the equation (4):

$$F1 - Score = \frac{2*Recall*Precision}{Recall+Precision} \quad (4)$$

## 4. RESULTS

This section showcases the outcomes derived from two separate methodologies employed in identifying DDoS assaults. The first approach involves combining multiple algorithms with a meta-classifier, while the second approach leverages transfer learning using a pre-trained model.

### 4.1. Approach 1: Combining Algorithms with a Meta-Classifier

Multiple tests were conducted on four models, utilizing diverse criteria for example, metrics such as accuracy, precision, and F1-score. Below includes a collection of the models used in the simulation: The algorithms employed in this investigation include KNN, SVM, RF, and the Proposed Stacking Classifier.

#### 4.1.1. Confusion Matrix

A confusion matrix is a systematic table employed to evaluate the efficacy of a classification model. It offers a comprehensive analysis of Evaluate the model's predictions by comparing the expected categories with the observed categories. The matrix is organized in such a way that each row represents cases belonging to a specific actual class, and each column represents instances belonging to a predicted class.

#### I. K-Nearest Neighbors

The confusion matrix for the KNN model used in DDoS detection is depicted Figure 13. The matrix offers a graphical depiction of the model's effectiveness by contrasting the real classes with the anticipated classes. The number of true positives (TP) is 50,002, the number of true negatives (TN) is 14646, the number of false positives (FP) is 29, and the number of false negatives (FN) is similarly 29.

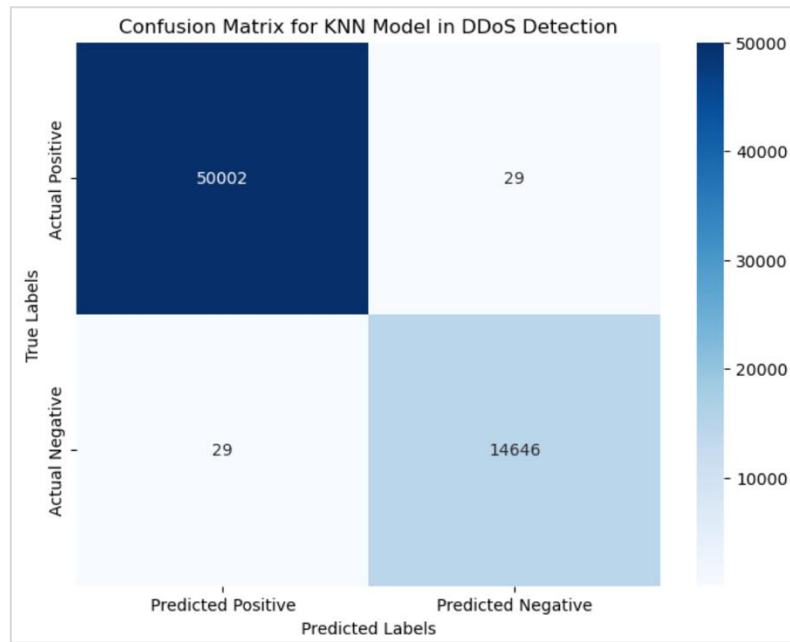


Figure 13. KNN model confusion matrix

## II. Support Vector Machine

The confusion matrix of the Support Vector Machine model that is utilized in DDoS detection is displayed Figure 14. The matrix offers a graphical depiction of the model's efficacy by contrasting the observed classes with the anticipated classes. The total number of true positives (TP) is 49,900, the total number of true negatives (TN) is 14,665, the total number of false positives (FP) is 131, and the total number of false negatives (FN) is also 10.

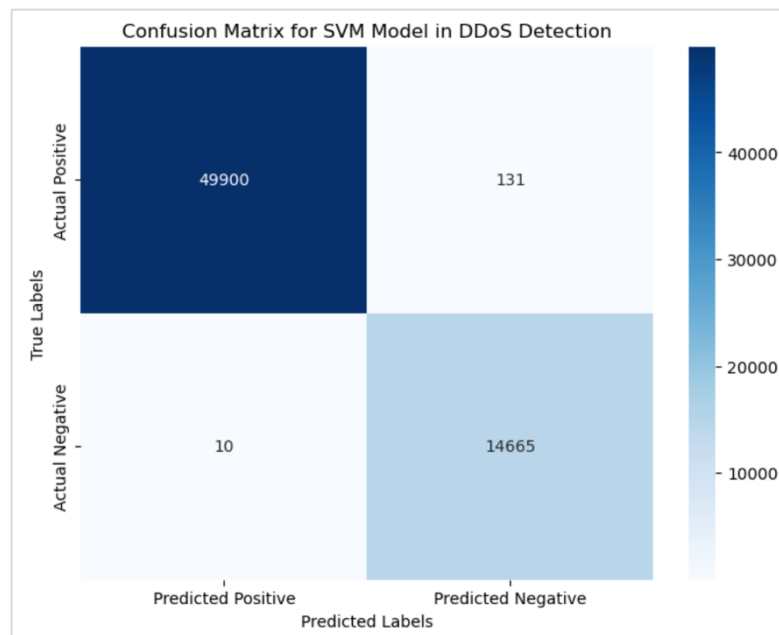


Figure 14. SVM model confusion matrix

### III. Random Forest

Figure 15 displays the confusion matrix of the Random Forest algorithm employing recognizing DDoS assaults. The matrix offers a graphical depiction of the model's efficacy by contrasting actual classes with the predicted classes. The number of true positives (TP) is 50,005, the number of true negatives (TN) is 14,665, the number of false positives (FP) is 26, and the number of false negatives (FN) is 11.

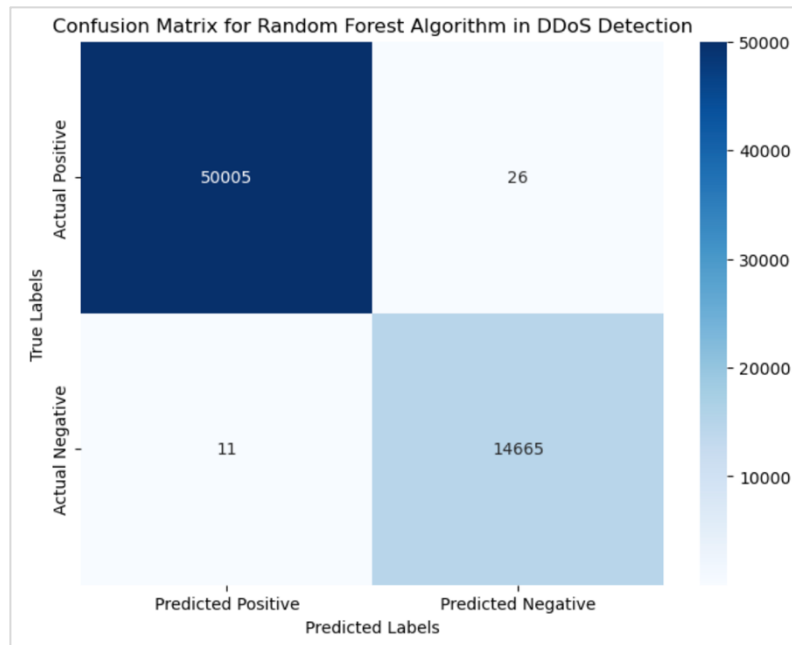


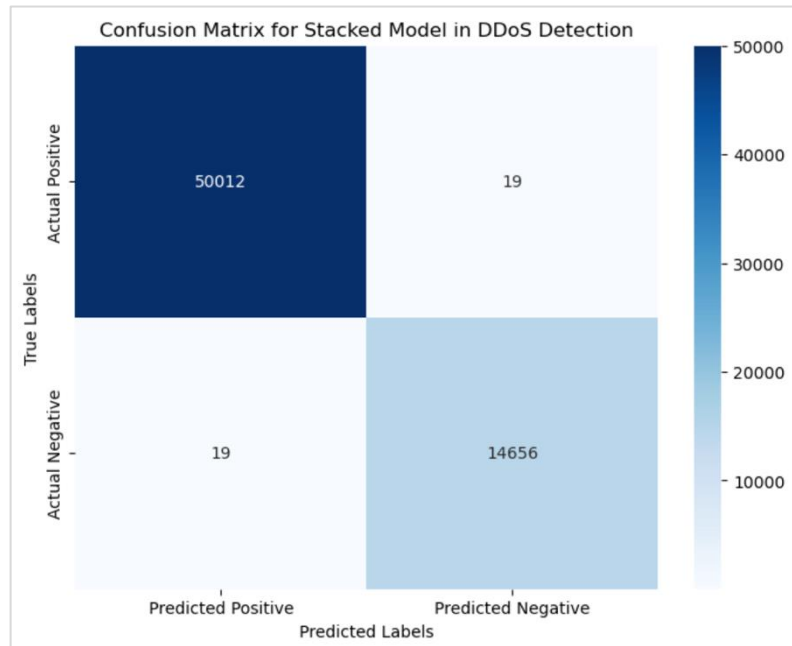
Figure 15. Random Forest confusion matrix

### IV. Stacked Model

The confusion matrix associated with the Staked model used in DDoS detection is seen in Figure 16. The matrix provides a visual representation of the effectiveness of the model. By comparing the observed classes with the



expected classes. The number of true positives (TP) is 50,012, the number of true negatives (TN) is 14,656, the number of false positives (FP) is 19, and the number of false negatives (FN) is similarly 19.



**Figure 16.** Confusion matrix for the stacked model

## V. Performance Metrics of Classifiers

Table 6 presents a comprehensive analysis of the performance measures for four classifiers: SVM, KNN, and RF. The assessment encompasses crucial parameters, including accuracy, precision, and F1-score, which are vital for analyzing the classification capabilities of each algorithm.

**Table 6.** Comparison of Stacking Classifier

Metric	Model	Training Set	Test Set
Accuracy	KNN	0.999842	0.999104
	SVM	0.998000	0.997821
	Random Forest	0.999774	0.999428
	Stacked Model	0.999716	0.999413
Precision	KNN	0.999904	0.999420
	SVM	0.999944	0.999800
	Random Forest	0.999972	0.999780
	Stacked Model	0.999824	0.999620
F1-score	KNN	0.999842	0.999104
	SVM	0.998003	0.997824
	Random Forest	0.999774	0.999428
	Stacked Model	0.999716	0.999413
Recall-score	KNN	0.999892	0.999420
	SVM	0.997470	0.997382
	Random Forest	0.999736	0.999480
	Stacked Model	0.999413	0.999413

The performance metrics differences of KNN, SVM, RF, and the stacking classifier are shown in the Figure 17 to Figure 20.

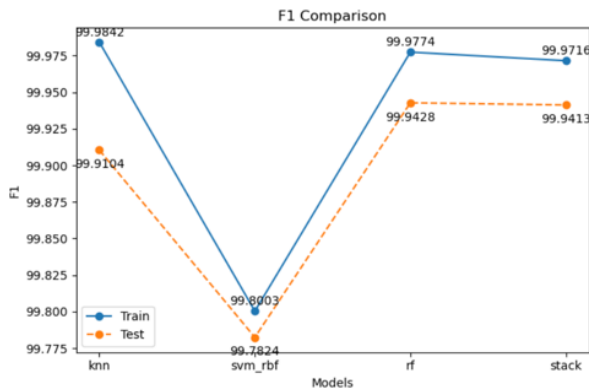


Figure 17. F1 score comparison

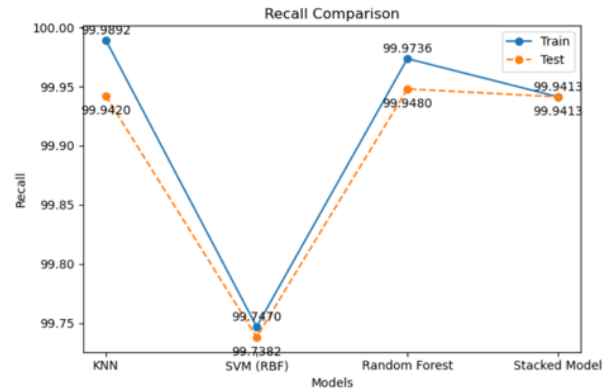


Figure 18. Recal comparison

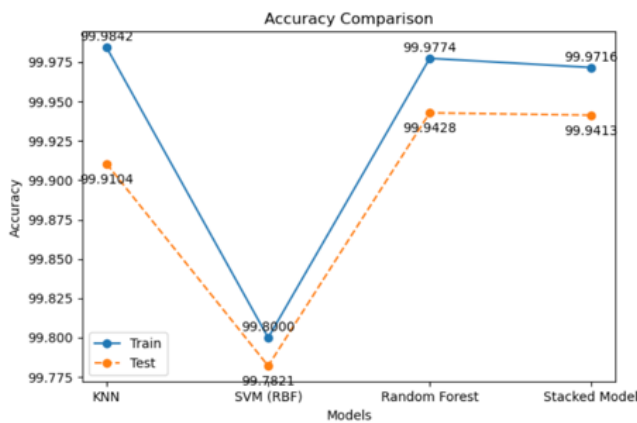


Figure 20. Accuracy comparison

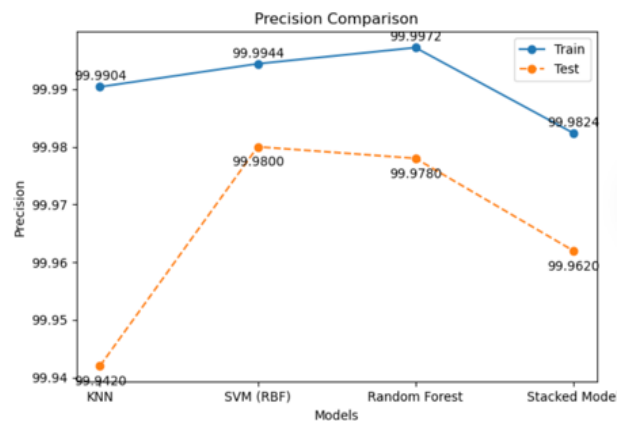


Figure 19. Precision Comparison

While the SVM algorithm achieves 99.78% accuracy, the KNN algorithm obtains 99.91% accuracy. Random Forest did exceptionally well, with an accuracy of 99.94%. In addition, The proposed stacking classifier has an accuracy value of 99.94%. According to this study, integrated classifiers provide superior performance compared to separate classifiers. The proposed stacking model, including a combination of the three previously described classifiers, has superior accuracy compared to the individual classifiers.

#### 4.2. Approach 2: Transfer Learning Approach

In this approach, a pre-trained model developed using the ANN algorithm on the CICIDS2017 dataset was utilized (model 1). The pre-trained weights were applied to a new model (model 2) to analyze the CICDDoS2019 dataset.

Model 3, trained without pre-training, achieved commendable performance with a test accuracy reaching 97.75%, 98.23% for test precision, test recall of 98.88%, and a test F1 score reaching 98.55%. During training, it demonstrated a train accuracy of 97.84%, train precision of 98.23%, train recall of 98.98%, and a train F1 score of 98.61%.

Model 2, benefiting from pre-training, displayed slightly superior performance metrics. It was able to get a score of 99.87% on the test F1 and a score of 99.81% on the test accuracy, 99.97% on the test precision, and 99.78% on the test recall. It demonstrated a train accuracy of 99.81%, a train precision of 99.99%, a train recall of 99.77%, and a train F1 score of 99.88% when it was being trained. Table 7 presents a comparison of the performance metrics between Model 3 (without pre-training) and Model 2 (utilizing pre-training). This comparison highlights the efficacy of pre-training in enhancing the performance of the models in detecting DDoS assaults.

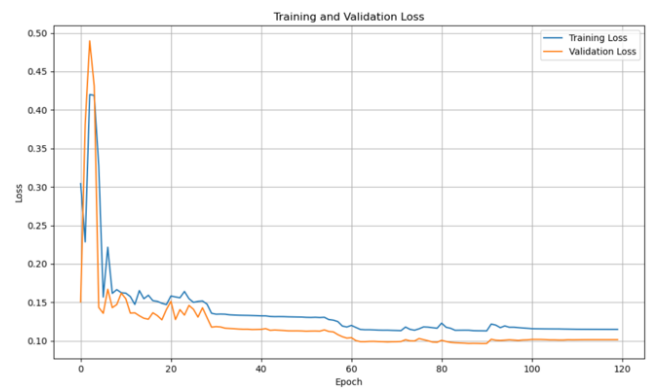
**Table 7.** Summarized of Transfer learning evaluation metrics

<i>Model</i>	<i>Phase</i>	<i>Loss</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1 Score</i>	<i>Latency(ms)</i>	<i>Best Epoch</i>
<b>Model 2</b>	Train	0.0056	99.81%	99.99%	99.77%	99.88%	0.035	50
	Test	0.0061	99.81%	99.97%	99.78%	99.87%		
<b>Model 3</b>	Train	0.0939	97.84%	98.23%	98.98%	98.61%	0.036	120
	Test	0.0957	97.75%	98.23%	98.88%	98.55%		

The figures that follow depict the loss and accuracy trends for the two models as the epochs progress. Figure 21 and Figure 22 show the training and validation loss and accuracy for Model 3, respectively. Model 3 takes significantly more epochs to stabilize, with the loss value gradually decreasing and accuracy gradually increasing over **120** epochs. In contrast, Figure 23 and Figure 24 depict the training and validation loss and accuracy of Model 2, respectively. Model 2 converges much faster, achieving a lower loss value and higher accuracy within the first 50 epochs.



**Figure 21.** Training and validation accuracy model 3



**Figure 22.** Training and validation loss model 3

This rapid convergence highlights the effectiveness of transfer learning in achieving better performance quickly. Overall, the figures demonstrate that Model 2 reaches high performance levels more efficiently than Model 3.

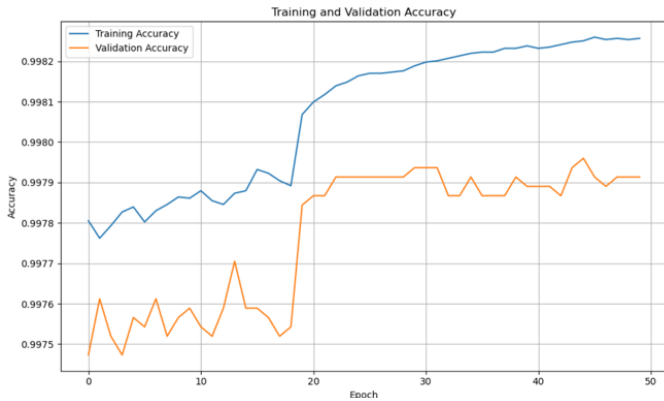


Figure 24. Training and validation accuracy model 2



Figure 23. Training and validation accuracy model 2

Additionally, Figure 25 and Figure 26 provide a direct comparison between Model 2 and Model 3 regarding the aspects of loss and accuracy, respectively. These figures clearly demonstrate that Model 2 achieves higher performance levels more efficiently than Model 3. Model 2 shows a sharper decline in loss and a quicker rise in accuracy compared to Model 3, further emphasizing the benefits of transfer learning in enhancing model performance and training efficiency.

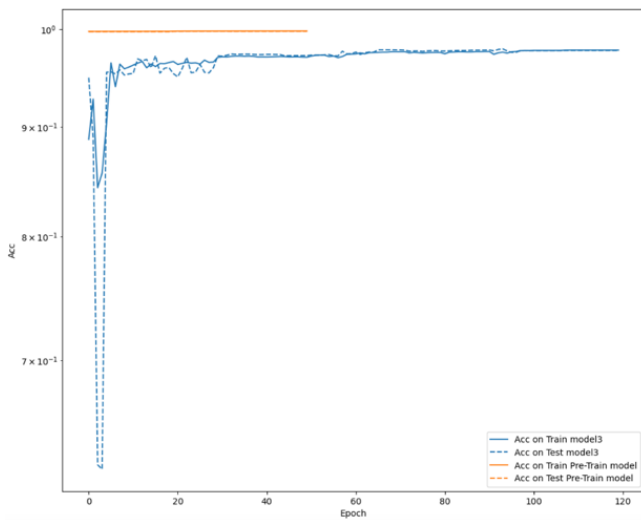


Figure 25. Accuracy comparison of Model 2 and Model 3

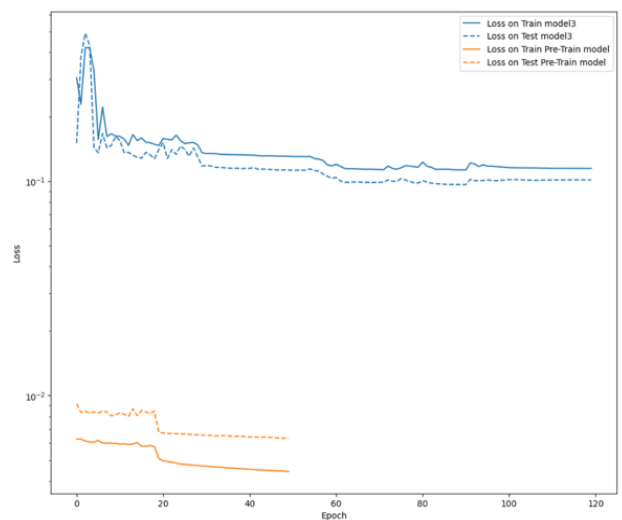


Figure 26. Loss comparison of Model 2 and Model 3

## 5. DISCUSSION

The analysis and findings of this study provide a substantial contribution to the current research on detecting Machine learning techniques used to carry out DDoS assaults. This section discusses the implications of our results, compares them with previous studies, and Identifies key areas that require more investigation, emphasizing the innovative approach of using a meta-classifier stacking model and advanced feature extraction and selection methods.

### 5.1. Model Performance

In the study, two distinct approaches to DDoS detection were explored, each yielding remarkable results.

#### 5.1.1. Analysis of Performance Metrics for Approach 1

Firstly, Approach 1 involved the utilization of a meta-classifier stacking model, which combined KNN, SVM, and RF algorithms. This hybrid approach significantly surpassed the performance of individual algorithms, showcasing a notable improvement in detection accuracy. Prior research, such as the experiments undertaken by Seifousadati et al. (2021) and Gopinaath et al. (2022), primarily evaluated The effectiveness of individual algorithms. In contrast, our approach underscored the potential advantages of integrating multiple models to leverage their complementary strengths (Gopinaath et al., 2022; Seifousadati et al., 2021).

The stacking model in this study exhibited outstanding performance metrics, with accuracies consistently approaching 99.94% and above. This outcome aligns with the high accuracy rates reported for individual algorithms in existing literature, thereby affirming the efficacy of our ensemble method. Furthermore, this hybrid approach offers an enhanced and reliable detecting technique, highlighting the considerable potential of ensemble methods in enhancing cybersecurity measures.

- **Accuracy**

Table 8 compares the training and test accuracy of different models. It shows that Random Forest and the Stacked Model have the highest accuracy and generalize well to new data.

**Table 8.** Accuracy analysis

Model	Analysis
<b>KNN</b>	KNN shows very high accuracy on both training and test sets, indicating good generalization.
<b>SVM</b>	SVM also demonstrates high accuracy but slightly lower than KNN and Random Forest.
<b>Random Forest</b>	Random Forest performs excellently on both sets, with very close results between training and test sets, indicating robust generalization.
<b>Stacked Model</b>	The Stacked Model performs similarly to Random Forest, with excellent generalization from training to test sets.

- **Precision**

Table 9 displays the precision of different models on both the training and test sets. The results indicate SVM and Random Forest exhibit the best accuracy, suggesting their efficacy in reducing false positives.

**Table 9.** Precision analysis

Model	Analysis
<b>KNN</b>	KNN maintains high precision, ensuring that the majority of predicted positive cases are true positives.
<b>SVM</b>	SVM shows the highest precision among the models, indicating very few false positives.
<b>Random Forest</b>	Random Forest shows very high precision, slightly lower than SVM on the test set.
<b>Stacked Model</b>	The Stacked Model has high precision but is slightly lower than SVM and Random Forest.

- **F1-score**

Table 10 illustrates the F1-scores for each model on the training and test sets. The Random Forest and Stacked Model demonstrate the highest F1-scores, reflecting their balanced performance between precision and recall.

**Table 10.** F1-Score analysis

Model	Analysis
<b>KNN</b>	KNN shows a balanced performance between precision and recall, maintaining a high F1-score.
<b>SVM</b>	SVM has a lower F1-score compared to KNN and Random Forest, reflecting its slightly lower recall.
<b>Random Forest</b>	Random Forest achieves a high F1-score, reflecting its strong balance between precision and recall.
<b>Stacked Model</b>	The Stacked Model also maintains a high F1-score, indicating balanced performance.

- **Recall**

Table 11 summarizes the recall metrics for the models. It shows that the Random Forest model has the highest recall, ensuring most positive cases are correctly identified, closely followed by the Stacked Model.

**Table 11.** Recall analysis

Model	Analysis
<b>KNN</b>	KNN shows high recall, ensuring most positive cases are correctly identified.
<b>SVM</b>	SVM has the lowest recall among the models, indicating it misses more positive cases compared to others.
<b>Random Forest</b>	Random Forest demonstrates strong recall, slightly better than KNN.
<b>Stacked Model</b>	The Stacked Model maintains balanced recall performance across both sets.

- **Conclusion**

- **Random Forest** generally shows the best overall performance with high scores across all metrics and minimal overfitting.
- **KNN** and the **Stacked Model** also perform excellently, with slight differences in precision and recall.
- **SVM** shows slightly lower performance in terms of recall, which affects its F1-score, but it has the highest precision.
- **The Stacked Model** leverages the strengths of individual models, resulting in balanced and robust performance metrics.

Overall, the analysis indicates that while all models perform well, the Random Forest and Stacked Model provide the best balance between precision, recall, and overall accuracy.

### 5.1.2. Approach 2: Transfer Learning Approach Analysis

Secondly, Approach 2 employed transfer learning by leveraging a pre-trained model on the CICIDS2017 dataset, utilizing ANN algorithm, and applying it to the CICDDoS2019 dataset. This innovative approach also yielded superior performance metrics, achieving an accuracy rate of 99.78%.

- **Training Method**

- Model 3 was trained without transfer learning, starting from scratch and training for 120 epochs.

- Model 2 utilized transfer learning, starting with pre-trained weights and training for only 50 epochs. This indicates that transfer learning helped Model 2 converge faster and achieve better performance in fewer epochs.

- **Performance**

- Model 2 outperformed Model 3 in both training and testing phases across all performance metrics (loss, accuracy, precision, recall, and F1 score).
- The superior performance of Model 2, as indicated by its lower loss values and greater accuracy, precision, recall, and F1 score, suggests that it is more proficient in both accurately representing the training data and making accurate predictions on unseen test data.

- **Latency**

- Model 2 has a slightly lower latency (0.035 ms) compared to Model 3 (0.036ms), which indicates that Model 2 is marginally faster in terms of inference time.

- **Efficiency**

- Model 2 achieved high performance metrics in significantly fewer epochs (50 vs. 120), demonstrating the efficiency of transfer learning. This efficiency not only decreases the amount of time required for training, but also minimizes the usage of computing resources.

- **Conclusion**

Model 2, utilizing transfer learning, exhibits superior accuracy, recall, precision, and F1 score in comparing with Model 3, which underwent training from scratch. The use of pre-trained weights allowed Model 2 to converge faster and achieve better generalization with fewer epochs. Additionally, Model 2 shows a slight improvement in inference latency, making it both an effective and efficient choice for the task. The figures further validate these findings by showing faster convergence and higher performance for Model 2.

### 5.1.3. Comparison of Performance Metrics for Both Approaches

Table 12 compares the performance metrics of two approaches: Approach 1 (Stacked Model) and Approach 2 (Transfer Learning with a Pre-trained ANN).

**Table 12.** Both Approach Performance Metrics Comparison

Metric	Stacked Model	Transfer Learning	Analysis
Training Accuracy	99.9716%	99.81%	Both models have high training accuracy, but the Stacked Model is slightly higher.
Test Accuracy	99.9413%	99.81%	Test accuracy is slightly lower for the Stacked Model compared to its training accuracy.
Training Precision	99.9824%	99.99%	Both models have very high precision, with Transfer Learning being slightly higher.
Test Precision	99.9620%	99.97%	Precision remains very high for both models on the test set.
Training Recall	99.9413%	99.77%	The Stacked Model has higher training recall compared to Transfer Learning.
Test Recall	99.9413%	99.78%	Recall is slightly lower for Transfer Learning compared to its training recall.

Table 12 Countinue

Metric	Stacked Model	Transfer Learning	Analysis
Training F1-score	99.9716%	99.88%	Both models show high F1-scores, with the Stacked Model being slightly higher.
Test F1-score	99.9413%	99.87%	F1-score remains very high for both models on the test set.
Difference in Accuracy (Train vs Test)	0.03%	0%	Transfer Learning shows no difference, indicating better generalization and less overfitting.
Difference in Precision (Train vs Test)	0.0204%	0.02%	Both models have minimal differences, but Transfer Learning's is slightly better.
Difference in Recall (Train vs Test)	0%	0.01%	Transfer Learning shows a minimal difference, indicating good generalization.
Difference in F1-score (Train vs Test)	0.0303%	0.01%	Transfer Learning has a smaller difference, indicating better handling of overfitting.
Training Time	4450s	125s	Transfer Learning significantly reduces training time compared to the Stacked Model.
Inference Latency	0.3 ms	0.036 ms	Transfer Learning offers much lower inference latency, making it more suitable for real-time applications.

- **Analysis**

- **Stacked Model**

- The difference between training and test accuracy is very small (0.03%).
    - The precision, recall, and F1-scores for training and test sets are also very close.
    - This indicates that the Stacked Model generalizes well and does not show significant signs of overfitting.

- **Transfer Learning**

- The difference between training and test accuracy is negligible (0%).
    - Precision, recall, and F1-scores are very similar between training and test sets.
    - This also indicates that the Transfer Learning model generalizes very well without overfitting.

- **Conclusion**

Both models show minimal signs of overfitting based on the provided metrics. However, if we need to choose the one that handles overfitting slightly better, we can consider the following:

- **Transfer Learning:** The training and test metrics are almost identical, indicating that the model has learned to **generalize** very well to unseen data. Additionally, the **lower training time** and **inference latency** make it a more efficient choice.
    - **Stacked Model:** Although it shows excellent performance and minimal overfitting, the slight difference in training and test metrics compared to Transfer Learning indicates a marginally higher risk of overfitting.

## 5.2. Feature Extraction and Selection

Unnecessary features were removed to reduce dataset dimensionality. Correlation analysis and XGBoost were used to refine the feature set from 79 to 15, enhancing model performance and efficiency.

## 5.3. Dataset Utilization

The CICDDoS2019 dataset, providing diverse DDoS attack types, improved model robustness and generalizability, crucial for real-world applications.



#### 5.4. Optimization Strategies

Hyperparameter optimization and class weighting techniques, such as Random Search and SMOTE, improved model accuracy, precision, recall, and F1-score.

#### 5.5. Generalization Capability

The combined approach showed better generalization on test data, indicating lower susceptibility to overfitting compared to individual models.

#### 5.6. Comparison with Literature

Compared to the other studies shown in Table 13, which all use the CICDDoS2019 dataset, our research uniquely employs ensemble methods and transfer learning. This approach has proven effective in developing precise DDoS detection systems and enhancing cybersecurity.

**Table 13.** Compare with other studies

Title	Authors, Year	Algorithms	Features	Accuracy
<b>A Machine Learning Approach for DDoS Detection on IoT Devices</b>	Seifousadati, Ghasemshirazi, Fathian, 2021	Naïve Bayes, SVM, AdaBoost, XGBoost, KNN, Random Forest	Top 10 important features	<b>100%</b>
<b>Detection and Characterization of DDoS Attacks Using Time-Based Features</b>	Halladay, Cullen, 2022	LightGBM, XGBoost, Adaptive Boosting, DNN	Time-based features(25 features)	<b>98-99%</b>
<b>DDoSNet: A Deep-Learning Model for Detecting Network Attacks</b>	Elsayed, Le-Khac, Dev, Jurcut, 2022	RNN, Deep Learning techniques	77 features	<b>99%</b>
<b>DDoS Detection using Machine Learning Techniques</b>	Gopinaath, Amrith, Kumar, Bavapriyan, 2022	KNN, Decision Tree, Random Forest, ANN	Top 15 features by ExtraTrees	<b>99.95%</b>
<b>Analysis of Machine Learning Classifiers for Early Detection of DDoS Attacks on IoT Devices</b>	Kumar Ranjeesh, Gaur Vimal ,2022	KNN, Decision Tree, Random Forest, ANN	Top 15 features from	<b>99.95%</b>
<b>Enhanced Ensemble-Based DDoS Attack Detection</b>	Md. Alamgir Hossain, 2023	Ensemble Method (e.g., Random Forest)	--	<b>100%</b>
<b>This study</b>		<b>Stacking Model</b> <b>Transfer-learning</b>	<b>Correlation and XGBoost (Top 15 features)</b>	<b>99.94%</b> <b>99.81%</b>

#### 5.7. Complexity and Implementation:

The ensemble approach requires intensive computation due to multiple model training and combination. Transfer learning, though needing initial pre-training, is easier to implement and fine-tune.

#### 5.8. Scalability:

Transfer learning is more scalable, quickly adapting pre-trained models to new datasets without extensive retraining.

#### 5.9. Implications for Cybersecurity:

This research enhances cybersecurity by demonstrating effective DDoS attack detection, particularly valuable for protecting vulnerable IoT devices.

### 5.10. Future Directions:

- **Exploration of Additional Feature Groups:** Investigate more feature sets from datasets to improve DDoS detection performance.
- **Optimal Flow Intervals:** Experiment with different flow intervals to refine detection mechanisms.
- **Extended Hyperparameter Optimization:** Apply advanced optimization techniques across more classifiers and neural networks.
- **Comparative Analysis of Class Balancing Techniques:** Compare oversampling, undersampling, and ensemble methods to evaluate their impact on model performance and efficiency.
- **Real-Time DDoS Detection Systems:** Develop and test real-time systems integrating optimized models for live network environments.
- **Cross-Dataset Generalization:** Test model robustness on various datasets and real-world traffic to ensure adaptability to different attack patterns and network conditions.

## 6. CONCLUSION

Distributed Denial-of-Service (DDoS) assaults pose a significant threat to cybersecurity, necessitating the development of robust detection techniques. This thesis explored the application of machine learning techniques to enhance DDoS detection using the CICDDoS2019 and CICIDS2017 datasets. Two distinct approaches were examined: combining multiple algorithms using a meta-classifier and utilizing a pre-trained model through transfer learning. These approaches provide valuable insights for developing efficient and effective DDoS detection systems.

The first approach involved training K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF) on the CICDDoS2019 dataset, and then combining them using a logistic regression meta-classifier. This ensemble method capitalized on the strengths of each algorithm, resulting in a stacked model with a high accuracy of 99.94%. Despite the superior performance, this approach was computationally intensive, requiring significant training time and resources.

The second approach utilized transfer learning, where a pre-trained Artificial Neural Network (ANN) model on the CICIDS2017 dataset was fine-tuned using the CICDDoS2019 dataset. This method achieved an accuracy of 99.78% with a significantly reduced training time of 2.75 minutes, compared to the 3 hours required for the stacked model. The transfer learning approach also demonstrated lower inference latency, making it a more efficient solution for scenarios requiring rapid model deployment.

In comparing these methods, the meta-classifier approach offers the highest detection accuracy, making it ideal for scenarios where computational resources are not a limiting factor. In contrast, the transfer learning approach, while slightly lower in performance metrics, provides a more practical balance between effectiveness and efficiency, particularly suitable for real-time applications.

The findings of this study have significant implications for cybersecurity, demonstrating the efficacy of combining multiple algorithms and leveraging transfer learning techniques. These methods offer a foundation for developing advanced DDoS detection systems that are resilient to evolving attack patterns and adaptable to new data. The scalability and efficiency of the transfer learning approach, in particular, present a promising avenue for future research.

Future research could explore the integration of the two approaches examined in this thesis, potentially yielding further improvements in detection performance and robustness. Additionally, investigating the application of these methods across different datasets and exploring the use of unsupervised learning techniques and anomaly detection methods could further enhance the ability to detect novel and sophisticated attack vectors.

In conclusion, this study demonstrates the potential of advanced machine learning techniques in enhancing the detection of Distributed Denial-of-Service (DDoS) attacks. The combination of multiple algorithms through ensemble methods and the utilization of pre-trained models via transfer learning offer effective strategies for improving detection accuracy and efficiency. These findings contribute to ongoing efforts to develop robust,

adaptive, and scalable cybersecurity solutions capable of safeguarding against the persistent threat of DDoS attacks.

## REFERENCES

- Bhushan, B., Chaganti, R., & Ravi, V. (2022). A survey on Blockchain solutions in DDoS attacks mitigation: Techniques, open challenges and future directions. *Computer Communications*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.10.026>
- Chong, Y.-W., Ali, T. E., & Manickam, S. (2023). Comparison of ML/DL Approaches for Detecting DDoS Attacks in SDN. *Applied Sciences*, 13. <https://doi.org/10.3390/app13053033>
- Elsayed, M. S., Le-Khac, N.-A., Dev, S., & Jurcut, A. D. (2020). *DDoSNet: A Deep-Learning Model for Detecting Network Attacks* (arXiv:2006.13981). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2006.13981>
- Gaur, V., & Kumar, R. (2022). Analysis of Machine Learning Classifiers for Early Detection of DDoS Attacks on IoT Devices. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(2), 1353–1374. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05947-3>
- Gopinaath, V., Amrishi, R., Kumar, C. V., Jawahar, A., & Bavapriyan, K. (2022). DDoS Detection using Machine Learning Techniques. *Journal of ISMAC*, 4. <https://doi.org/10.36548/jismac.2022.1.003>
- Halladay, J., Cullen, D., Briner, N., Warren, J., Fye, K., Basnet, R., Bergen, J., & Doleck, T. (2022). Detection and Characterization of DDoS Attacks Using Time-Based Features. *IEEE Access*, 10, 49794–49807. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3173319>
- Hossain, M. A. (2023). Enhanced Ensemble-Based Distributed Denial-of-Service (DDoS) Attack Detection with Novel Feature Selection: A Robust Cybersecurity Approach. *Artificial Intelligence Evolution*. <https://doi.org/10.37256/aie.4220233337>
- Kasture, P. (2023). DDoS Attack Detection using ML. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53133>
- Khan, M. A. (2021). HCRNNIDS: Hybrid Convolutional Recurrent Neural Network-Based Network Intrusion Detection System. *Processes*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/pr9050834>
- Li, S., & Wang, D. (2022, December 2). *Automated DDoS Attack Mitigation for Software Defined Network*. <https://doi.org/10.1109/asid56930.2022.9996013>
- Ojha, S. P., Qureshi, Z., Kumar, S. P., & Sadhu, A. (2023, April 19). *Detection and Prevention of Distributed Denial of Service in Mobile ADHOC Network*. <https://doi.org/10.1109/raeeucci57140.2023.10134098>
- Seifousadati, A., Ghasemshirazi, S., & Fathian, M. (2021). *A Machine Learning Approach for DDoS Detection on IoT Devices* (arXiv:2110.14911). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.14911>
- Shakya, H. K., & Karnani, S. (2022). Mitigation strategies for distributed denial of service (DDoS) in SDN: A survey and taxonomy. *Information Security Journal: A Global Perspective*, 32. <https://doi.org/10.1080/19393555.2022.2111004>
- Singh, D. N. P., Kumar, D. N., & Kumar, S. (2022). Literature Review of Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks, its Detection Techniques and Prevention Mechanisms. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46882>
- Suhag, A., & Daniel, A. (2022). Study of statistical techniques and artificial intelligence methods in distributed denial of service (DDOS) assault and defense. *Journal of Cyber Security Technology*, 7. <https://doi.org/10.1080/23742917.2022.2135856>
- T, R., E, A., U, D., Sumathi, A. C., Yuvaraj, N., & Ghazali, N. H. (2023). Improved Intrusion Detection System That Uses Machine Learning Techniques to Proactively Defend DDoS Attack. *ITM Web of Conferences*, 56. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235605011>
- Umamaheswari, K., Subramanian, N., & Subramaniyan, M. (2023). Distributed Denial of Service Attack Detection Using Hyper Calls Analysis in Cloud. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 15. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2023.04.06>

Wang, C., Zheng, J., & Li, X. (2017). Research on DDoS Attacks Detection Based on RDF-SVM. *2017 10th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 161–165. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2017.43>

Jia, Y., Zhong, F., Alrawais, A., Gong, B., & Cheng, X. (2020). FlowGuard: an intelligent edge defense mechanism against IoT DDoS attacks. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 9552–9562.

Cheema, A., Khan, M.M., Anwar, M., Tariq, M., Ahmad, F., & Hafiz, A. (2022). Prevention Techniques against Distributed Denial of Service Attacks in Heterogeneous Networks: A Systematic Review. *Security and Communication Networks*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8379532>

Rajendran, N.A., & Vincent, D.R. (2021). Heart Disease Prediction System using Ensemble of Machine Learning Algorithms. *Recent Patents on Engineering*, 15. <https://doi.org/10.2174/1872212113666190328220514>

Sultana, N., & Islam, M.M. (2019). Meta Classifier-Based Ensemble Learning For Sentiment Classification. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7564-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7564-4_7)

Islam, M.M. (2024). The Impact of Transfer Learning on AI Performance Across Domains. *Journal of Artificial Intelligence General Science (JAIGS)*, 1. <https://doi.org/10.60087/jaigs.v1i1.37>

Sharafaldin, I., Lashkari, A.H., Hakak, S., & Ghorbani, A.A. (2019). CICDDoS2019 Dataset. Canadian Institute for Cybersecurity, University of New Brunswick. Available at: <http://www.unb.ca/cic/datasets/CICDDoS2019>

Canadian Institute for Cybersecurity. (2017). CICIDS2017 Dataset. University of New Brunswick. Available at: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html>

Gurjar, A., Voditel, P., 2022. Transfer Learning: A Paradigm for Machine Assisted Knowledge Transfer. *ECS Transactions* 107. <https://doi.org/10.1149/10701.7179ecst>

## ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS

The authors contributed equally to the study. There are no potential conflicts of interest in this study. Research and publication ethics were complied with in the study.

**Note:** This article was prepared using the preliminary studies of the master's thesis titled "Enhanced DDOS Attack Detection Through Hybrid Machine Learning Techniques", which will be carried out by Feraidoon Farahmandnia, under the supervision of Prof. Dr. Serhat Özekes, at Üsküdar University Institute of Science, Cybersecurity Thesis Master's Program.

ISSN: 2645-8969

**Teknoloji  
ve  
Uygulamalı Bilimler  
Dergisi**