

# Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar

**Editör: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ORMAN**

# Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar

**Editör:**

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ORMAN



Published by

**Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.**

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgur yayinlari.com

✉ info@ozgur yayinlari.com

---

## Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar

Editor: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ORMAN

---

Language: Turkish-English

Publication Date: 2024

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

**ISBN (PDF):** 978-625-95522-0-0

**DOI:** <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub581>

---



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>  
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

---

Suggested citation:

Orman, A. (ed) (2024). *Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub581>. License: CC-BY-NC 4.0

---

*The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgur yayinlari.com/>*

---



## Ön Söz

Değerli Okuyucular,

Bilim ve teknolojinin hızla ilerlediği günümüz dünyasında mühendislik disiplinleri, yalnızca teknik çözümler üretmekle kalmamakta; toplumsal, çevresel ve ekonomik problemlere yenilikçi bakış açıları getiren multidisipliner çalışmaları da beraberinde getirmektedir. *Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar* başlıklı bu değerli eser, mühendislik alanında gerçekleştirilen özgün araştırmaları bir araya getirerek, akademisyenlere, mühendislere ve araştırmacılara kapsamlı bir kaynak sunmayı amaçlamaktadır.

Kitabın bölümlerinde, mühendisliğin farklı dallarından önemli konular ele alınmıştır. Sayın Adem Ahıskalı'nın çalışması, karayolları üstyapı malzemeleri üzerine odaklanarak, yolların dayanımını, sürdürülebilirliğini ve çevresel etkilerini ele almakta; üstyapı sistemlerinde modern malzemelerin kullanılmasına yönelik deneysel çalışmalara yer vermektedir.

Sadettin Topçu, Hasan Savaş ve Hasan Tosun tarafından hazırlanan bölüm ise, dolgu barajlarda içsel erozyon mekanizmalarını derinlemesine incelemekte ve baraj güvenliği açısından kritik önem taşıyan analizler sunmaktadır. Baraj göçmelerinin nedenlerini ve bu alanda alınması gereken teknik önlemleri detaylı bir şekilde aktarmaktadır.

Teknolojinin bir başka yönü ise, dijital dünyada güvenliğin sağlanmasıdır. Mürsel Ozan İncetaş ve Murat Meriçelli'nin katkılarıyla hazırlanan bölümlerde, kenar belirleme teknikleri ve dijital damgalama yöntemleri ele alınmıştır. Bu çalışmalar, görsel veri güvenliği ve görüntü işleme alanında önemli yenilikler sunarak günümüzün dijital ihtiyaçlarına ışık tutmaktadır.

Toplumsal ve kültürel dönüşümün bir parçası olan moda sektörü ise, Mahmut Kayar ve Nuray Ceviz'in araştırmasında sosyal medya fenomenlerinin etkisiyle değerlendirilmiştir. Sosyal medya platformlarının tüketici davranışlarını nasıl şekillendirdiği, özellikle Türkiye bağlamında detaylandırılmıştır.

Bu eser, mühendislik çalışmalarını farklı açılardan ele alarak; akademik dünyada ihtiyaç duyulan multidisipliner bakış açısını güçlendiren bir rehber niteliğindedir. Her bir bölümde, konular derinlemesine incelenmiş ve gelecekteki araştırmalar için önemli referans noktaları oluşturulmuştur.

Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar, geleceğin mühendislik uygulamalarına ilham vermek, mevcut problemleri çözmek ve yeni fırsatlar yaratmak amacıyla siz değerli okuyucuların beğenisine sunulmuştur. Emeği geçen tüm yazarlarımıza ve katkı sağlayanlara teşekkür eder, bu eserin sizlere yeni ufuklar açmasını dileriz.

# Preface

Dear Readers,

In today's world, where science and technology are rapidly advancing, engineering disciplines produce technical solutions and bring multidisciplinary studies that offer innovative perspectives on social, environmental, and economic problems. This valuable work, titled *Innovative and Multidisciplinary Studies in Engineering Applications*, aims to provide a comprehensive resource for academics, engineers, and researchers by bringing together original research conducted in the field of engineering.

The chapters of the book cover important topics from different branches of engineering. Mr. Adem Ahiskali's study focuses on highway superstructure materials, addressing the durability, sustainability, and environmental impacts of roads, and includes experimental studies on the use of modern materials in superstructure systems.

The chapter prepared by Sadettin Topçu, Hasan Savaş, and Hasan Tosun examines the internal erosion mechanisms in embankment dams in-depth and presents analyses that are critical to dam safety. It explains in detail the causes of dam collapses and the technical measures to be taken in this area.

Another aspect of technology is ensuring security in the digital world. In the chapters prepared with the contributions of Mürsel Ozan İncetaş and Murat Meriçelli, edge detection techniques, and digital watermarking methods are discussed. These studies offer important innovations in the field of visual data security and image processing, thus shedding light on today's digital needs.

The fashion sector, which is part of social and cultural transformation, has been evaluated with the influence of social media phenomena in the research of Mahmut Kayar and Nuray Ceviz. How social media platforms shape consumer behavior is detailed, especially in the context of Turkey.

This work serves as a guide that strengthens the multidisciplinary perspective needed in the academic world by examining engineering studies from different viewpoints. In each chapter, the topics are explored in depth, and significant reference points are created for future research.

Innovative and Multidisciplinary Studies in Engineering Practices are presented to you, our valued readers, to inspire future engineering applications, solve existing problems, and create new opportunities. We would like to thank all our authors and contributors who participated and wish for this work to open new horizons for you.

# İçindekiler

Ön Söz	iii
Preface	v

## Bölüm 1

---

Dolgu Barajların Göçmesi ve İçsel Erozyon Mekanizması	1
<i>Sadettin Topçu</i>	
<i>Hasan Savaş</i>	
<i>Hasan Tosun</i>	

## Bölüm 2

---

Kara Yollarında Üstyapı Malzeme Çalışmaları	31
<i>Adem Abıskalı</i>	

## Bölüm 3

---

The Impact of Social Media Phenomena' On Fashion Through Social Media in Türkiye and New Trends in the World	45
<i>Mahmut Kayar</i>	
<i>Nuray Ceviz</i>	

## Bölüm 4

---

Kenar Belirleme Tekniklerinin Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Damgalama Yaklaşımının Başarısına Etkisi	63
<i>Mürsel Ozan İncetaş</i>	
<i>Murat Meriçelli</i>	



## Bölüm 5

---

Renk İndirgeme ve Kenar Belirleme Yardımıyla SRG Tabanlı Görüntü  
Bölütleme 75

*Mürsel Ozan İncetaş*

*Murat Meriçelli*

## Bölüm 6

---

IoT-Based Smart Public Transport Systems 85

*Harun Çakır*

*Gül Fatma Türker*

# Dolgu Barajların Göçmesi ve İçsel Erozyon Mekanizması<sup>1</sup>

Sadettin Topçu<sup>2</sup>

Hasan Savaş<sup>3</sup>

Hasan Tosun<sup>4</sup>

## Özet

Son yıllarda baraj göçme vakaları ve sonuçları tüm dünyada ilgi çeken felaketler arasına girmiştir. Rezervuarlarında biriktirdikleri milyonlarca metreküp suyun ani bir şekilde sellenmesiyle mansap bölgelerinde yer alan yerleşim alanlarında can ve mal kayıplarına yol açan baraj göçme vakaları, afet kapsamında değerlendirilen bir konu haline gelmeye başlamıştır. Ülkelerin altyapı yatırımlarını tehdit eden baraj göçmeleri, uzun yıllar boyunca yaşanan vakalardan tecrübe edinilerek elde edilen verilere dayalı bir konudur. Bu nedendir ki özellikle yer yapısının taklit edilmesiyle tasarlanan dolgu barajların göçme nedenleri ve mekanizmaları oldukça fazla başlık halinde değerlendirilmektedir. Bu kitap bölümü çalışması kapsamında da dolgu barajların göçme nedenleri anlatılmış ve bununla birlikte dolgu barajların göçme nedenlerinin başında gelen içsel erozyon mekanizması detaylı bir şekilde sunulmuştur.

- 1 Bu bölüm Prof. Dr. Hasan Tosun danışmanlığında Dr. Öğr. Üyesi Sadettin Topçu tarafından Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsünde hazırlanan “*İnce Daneli Zeminlerin Farklı Gerilme Koşullarında İçsel Erozyon Davranışının Mukayeseli Analizi*” başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.
- 2 Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, sadettin.topcu@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1306-2502
- 3 Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, hsavas@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3138-5308
- 4 Prof.Dr., Baraj Güvenliği Derneği, Ankara, Türkiye, hasantosun26@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9481-7956

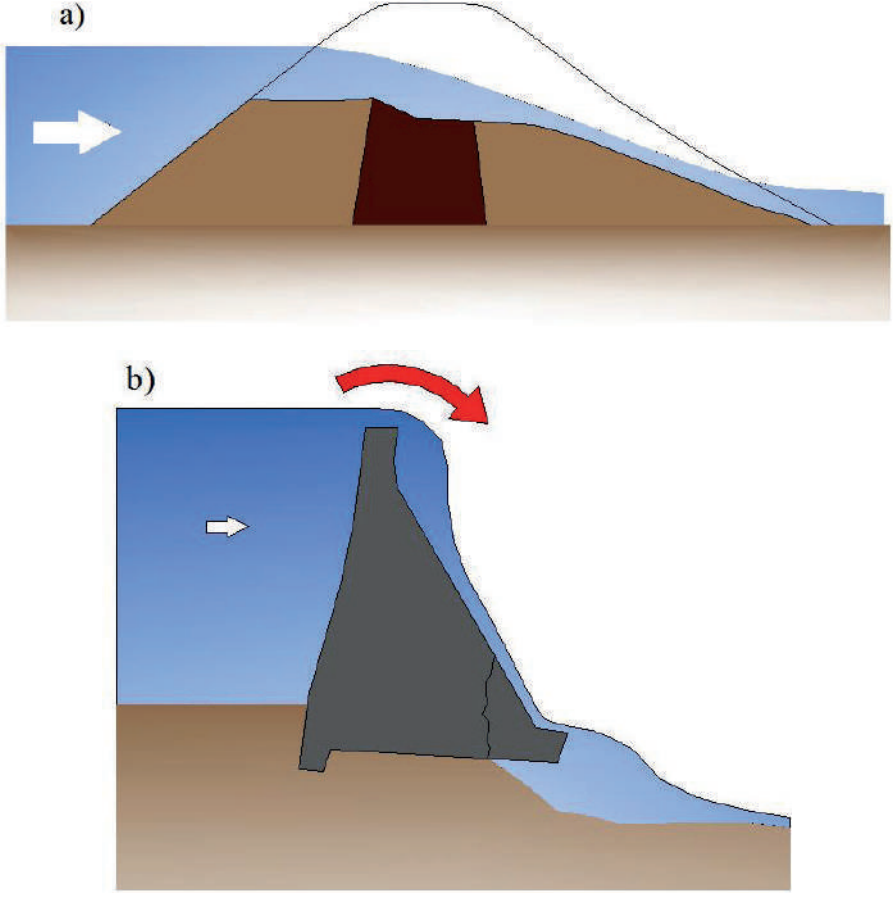
## 1. GİRİŞ

Baraj yapılarında oluşan hasar ve/veya göçme, farklı nedenlerle oluşmaktadır. ICOLD (2015), baraj yapılarında oluşan göçme olayını, “gövde ve yardımcı yapılarda oluşan hasarlardan dolayı, yapının işlevselliğini kaybederek kısmen veya tamamen göçmesi sonucunda suyun tutulamama durumu” olarak tanımlamıştır. Dolgu ve rijit barajlarda göçme nedenleri aynı olsa bile göçme mekanizmaları birbirinden farklı olabilmektedir. Örneğin; dolgu barajlarda üstten aşmada malzemenin erozyon etkisine bağlı olarak taşınması sonucunda dolguda bir gedik açılırken, beton gövdeli baraj yapılarında ise üstten aşan akım, gövdenin topuğunu oymaktadır. Benzer tanımlamalar, farklı baraj tipleri için de geçerlidir.

Baraj yapılarında oluşacak göçmelerin nedeni olarak; üstten aşma, sızma erozyonu, şev koruma kusurları, dolgu ve temel zemininde oluşan kaçaklar ve borulanma, baraj gövdesinde oluşan kayma, oturma ve yaşlanma, deprem, dolgu malzemesi özelliklerinden kaynaklanan içsel erozyon ve teknik kusurlar gösterilebilir. Bir baraj yapısında göçme, çoğu zaman yukarıda tanımlanan faktörlerin bir veya birden fazlasının etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu kitap bölümünde baraj yapılarında göçmeye neden olan faktörlere değinilecek ve içsel erozyon detaylı değerlendirilecektir.

### 1.1. Üstten Aşma

Baraj rezervuarlarında şiddetli yağışlar neticesinde oluşan aşırı yüklenme, dolusavak deşarj kapasitesinin yetersiz kalması halinde suyun gövde üzerinden aşmasına neden olur. Şekil 1’de iki genelleştirilmiş tip için üstten aşma mekanizması verilmektedir. Dolgu barajlarda üstten akan akımın oluşturduğu kayma gerilmeleri, dolgu malzemesinin taşınmasını sağlayan kritik kayma gerilmelerini aşması sonucunda dolgunun erozyona uğrayarak taşınmasına neden olur. Başlangıçta “V” şeklinde oluşan gedik zamanla ters trapez şekline dönüşür. Wahl (1997) dolgu barajlarda dışsal faktörlerle oluşan gedik genelinde ters trapez şeklinde sonuçlandığını ifade etmiştir.



Şekil 1. Genelleştirilmiş üstten aşma göçme mekanizması: a) dolgu gövdeli baraj, b) beton gövdeli baraj.

Dolgu barajlarda üstten aşma nedeni ile oluşan göçme prosesinin mekanizması; dolgunun geometrisine, rezervuar hacmine ve şekline, havzadan rezervuara gelen akımın debisine, yardımcı yapıların (dolosavak ve dipsavak) deşarj kapasitesine, dolguda kullanılan malzeme tipine göre değişiklik arz etmektedir. ABD'deki 18 metre yüksekliğindeki Lake Delhi Barajı, 2010 yılında rezervuar havzasına 12 saat içerisinde düşen 250 mm'lik rekor yağışla oluşan aşırı yüklenme nedeniyle üstten aşmayla göçmüştür (McDaniel vd., 2011).

Dolgu barajların gedik oluşturarak yırtılma mekanizmalarının analizinde iki ayrı model kullanılır: (1) parametrik model ve (2) fiziksel model. Parametrik model, genelde edilen deneyime bağlı olarak oluşturulur. Bu model, geçmişte göçmüş dolgu barajların dolgu yüksekliği, rezervuar hacmi

ve şekli ile göçme biçimi gibi parametreler kullanılarak gediğin fiziksel parametreleri, taşkın pik debisi ve göçme süresinin regresyonla belirlenmesi esasına dayanır. Fiziksel model ise Hidrolik ve Zemin Mekanığı bilim dalları esasında katı madde taşınımı prensibi kullanılarak gediğin oluşma sürecini ve taşkın pik debisinin tahmin edilmesini sağlar.

Beton ağırlık barajlarda gövdeye etkiyen yatay kuvvetlerin etkisiyle bozulan statik dengeyle topuk etrafında devrilme sonucunda üstten aşma gerçekleşebilir. Bunun yanında beton barajların temel zemininde gelişen içsel erozyon sonucu malzeme taşınımıyla meydana gelen aşırı ve farklı oturmalar ile gövdenin stabilitesi bozulur ve yine üstten aşma gerçekleşebilir. Amerika Montana’da bulunan 60,6 m yüksekliğindeki beton kemer Gibson Barajı’nın drenaj havzasına 30 saatte düşen 406 mm yüksekliğindeki yağışın etkisiyle oluşan aşırı yüklenme sonucu 1964 yılında üstten aşma gerçekleşmiştir. Gövdenin üzerinden taşan sular abatanların devamındaki toprak kütlelerini aşındırmış, baraj gövdesinde yapısal bir hasar gerçekleşmemiştir (Anderson vd., 1998).

235 metre yüksekliğindeki toprak dolgu Oroville Barajı’nda 2017 yılında aşırı yağışları sonucunda gelişen taşkın akımının etkisiyle servis dolusavağının tabanında hasar meydana gelmiştir. Kapakları kapatılan servis dolusavağından bağlama yapısı şeklinde inşa edilen acil durum savağına yönelen taşkın akımı, bağlamanın topuğunun ve devamındaki toprak yüzeylerin aşınmasına neden olmuştur. Acil durum dolusavağının devrilmesi sonucu mansap bölgesinde can ve mal kaybına neden olacak katastrofik taşkın akımını engellemek için servis dolusavağının kapakları tekrar açılarak akım, bu dolusavağa yönlendirilmiştir. Akımın etkisiyle dolusavağın tabanındaki hasar iyice büyümüş ve dolusavaktan taşan akım dolusavağın sol tarafında bulunan yamaçları oymuştur (France vd., 2018).

## **1.2. Sızma Erozyonu**

Tüm zeminlerin, taneler arasındaki içsel bağıntılı boşluklarda serbest akış koşullarının oluşması nedeniyle, geçirimli olduğu dikkate alınır. Zemin içinde biriken suyun üst seviyesi “su tablası” olarak tanımlanır ve bu seviyenin altında zeminin bütünüyle doymun olduğu düşünülür. Su tablası altında su yükünün oluşturduğu boşluk suyu basıncı, statik konuma sahiptir ve hidrostatik davranış arz eder. Ancak zemin içindeki su, hidrolik eğime bağılı olarak sızma davranışı gösterir. Zeminde suyun sızma davranışı, sızma hızı yükünün çok düşük olması nedeniyle Bernoulli enerji denkleminde iki parçalı bir büyüklük olarak tanımlanır ve sızma işleminde toplam yük, boşluk suyu basıncının bir fonksiyonu olarak tanımlanan basınç yükü ile yerçekimi

yükünün toplamına eşit alınır. Özetle sızma, zemin suyunun sızma ve yer çekimi yükü etkisi altında zemin içindeki davranışı olarak tanımlanır.

Zemin içindeki kontrollü sızma hareketi, yapı stabilitesi açısından sorun yaratmamaktadır. Bu nedenle ilgili denge koşullarının sağlanması halinde süzülen suyun ortamdaki zararsız olarak alınması, bir inşaat önlemi olarak değerlendirilmektedir. Toprak yapılarında tane boyutuna bağlı olarak birbirini koruyan filtrasyon sisteminin oluşturulması, buna örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca yapı mansap topoğrafisinde oluşan boşluk suyu basınçlarının düşürülmesi de bir tasarım önlemi olarak dikkate alınmaktadır.

Sızma işlemi özellikle homojen toprak dolgu barajlarda sorun yaratmaktadır. Bu baraj tiplerinde gövde içinde gelişen sızma akımı, topoğrafik erozyonuna ve yapı mansap seviğinde göçmeye neden olur. Bununla birlikte sızma erozyonu ile gelişen boşluk suyu basınçları ve sızma kuvvetleri efektif dayanım parametrelerinin ve dolayısıyla zeminin kayma dayanımının düşmesini sağlayarak şev göçmesine neden olabilir (Okeke ve Wang, 2016). Sızma erozyonunu etkileyen en önemli faktörler; mansap seviyesinin eğimi, sızma hızı ve dolgu malzemesinin erozyon hassasiyetidir. Chu-Agor vd. (2008) mansap seviyesinin yatayla yaptığı açının 60° büyük olması durumunda sızma erozyonu etkisiyle şevin göçebileceğini belirtmişlerdir. Sızma erozyonu dolgu barajlardan ziyade malzemeye sistematik sıkıştırma işlemi uygulanmadığı doğal olarak oluşan heyelan sedlerinde görülür (Schuster ve Costa, 1986). 1972 yılında 18 m yüksekliğinde maden atık barajı olarak inşa edilen Buffalo Creek Barajı sızma erozyonuyla birlikte görülen çamurlu su kaçağının görülmesinin ardından mansap seviyesinin kayması sonucu göçmüştür (Wahler, 1973).

### 1.3. Şev Koruma Kusurları ve Rezervuarda Şev Kayması

Dolgu barajlar, özellikle toprak dolgu barajlarda memba şevi, bir riprap zonu ile korunur. Kaya malzemedeki oluşan bu zon, rezervuarda oluşan dalgalara karşı bir dalgakıran görevi görür ve dalga etkisinin daha iç seviyelerde yer alan geçiş zonuna ve geçirimsiz zona ulaşmasına engel olur. Aksi halde şev malzemesi aşınmaya başlar ve dolgu yırtılarak baraj hasarı ve göçmesi yaşanır. Uygun korumanın yapılmadığı hallerde, şevde meydana gelen aşınmanın miktarı; baraj gölünde dalga oluşturan rüzgâr akımlarının yönü ile dolgunun bu rüzgâr yönlerine göre konumuna, şevin eğimine, rezervuar su seviyesinin değişimine ve göldeki işletme kotunun sık sık ve hızlı olarak değişmesine bağlıdır. Rezervuar işletme kotunda görülen hızlı değişimlerde, memba yönünde oluşması muhtemel kaymaları tetikler ve dolgu içinde ilerleyen bir göçme biçimi ortaya çıkar. Bu durumda stabiliteyi

artırıcı önlemler alınmazsa, gövde toplam göçme moduna ulaşabilir. Özellikle maden atık barajlarda bu tip göçme biçimlerine çok rastlanmaktadır.

Rezervuarda oluşabilecek şev kaymaları, dolaylı olarak baraj gövdesinin hasarına neden olmakta ve buna bağlı toplam göçmeler oluşmaktadır. İtalya'daki Vaiont Barajı buna güzel bir örnektir. İtalya'nın kuzeydoğusunda 267 m yüksekliğinde ve beton kemer tipinde inşa edilen bu baraj, rezervuarında oluşan kayma nedeniyle 9 Ekim 1963 tarihinde göçtü ve 2000'den fazla insanın ölmesine neden oldu. Vaiont Barajı'nda oluşan katastrofik göçme, farklı jeolojik faktörlere dayandırıldı. Göçmeye neden olan temel etkinin, kanyon rezervuar duvarlarındaki oluşumlar ile rezervuar alanı içinde yer alan ve eski bir kayma düzlemini oluşturan fay ve rezervuar suyunun neden olduğu kaldırma basıncı olarak görüldü (Tosun vd., 1999). Kayma, 1,8 km uzunluğunda ve 1,6 km genişliğinde bir alanda oluştu. Kayan kütle çok büyüktü (270 milyon m<sup>3</sup>) ve baraj gövdesi üzerinden aşan 125 m yüksekliğinde dalga oluşturdu (Kiersch, 1988).

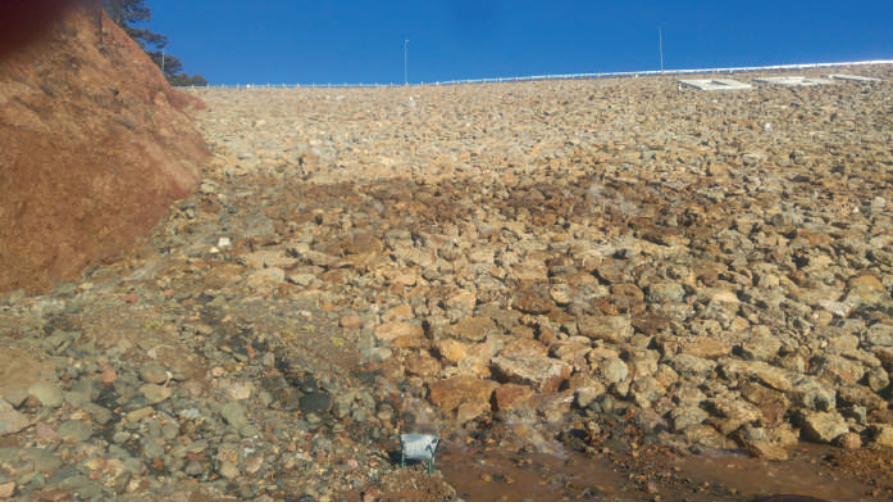
#### 1.4. Dolgu ve Temel Zemininde Oluşan Su Kaçakları ve Borulanma

Dolgu içinde değişik fiziki faktörlerle akış yönüne dik oluşan boyuna çatlaklar ile temel biriminde bulunan fisür, eklem, foliasyon yüzeyi, fay gibi jeolojik yapısal unsurlar (eğer su tutmadan önce uygun şekilde enjekte edilmemişse) rezervuardaki suyun akış yollarını oluşturur, bu akış yolları zaman içinde gelişerek ilgili malzeme içinde borulanmaya neden olur. Bu oluşum süreci, yapıda toplam göçmeye veya rezervuardaki suyun ani boşalımı sağlayarak yapının işlevselliğinin kaybolmasına neden olur.

Lowe'a (1970) göre dolgu barajların gövdesinde; enine çatlak, yatay çatlak, boyuna çatlak ve kuruma(büzülme) çatlakları oluşur. Dolguda su kaçağının başlaması için çatlağın memba-mansap doğrultusunda gelişen bir çatlak olması gerekir. Bu nedenle enine ve yatay çatlaklar dolgu içinden oluşabilecek kaçak suları açısından büyük önem arz etmektedir. Enine çatlakların duvarları düşeyde; yatay çatlakların duvarları yataydadır. Yatay çatlaklar, duvarı yatayda olan enine çatlak olarak da değerlendirilebilir. Boyuna çatlaklar, dolgu eksenine boyunca oluşan çatlaklardır. Bu çatlaklarda su kaçağının oluşma ihtimali yoktur. Dolgu barajın yapıldığı bölgede yıllık yağış miktarı 250 mm'den az ve kullanılan dolgu malzemesi yüksek plastisiteye sahip değil ise dolgunun üzeri çakıl, asfalt vb. bir koruma tabakası ile kapatılmazsa kuruma çatlakları görülebilir (Bonelli, 2013). Kuruma çatlakları yüzeyeldir. Rezervuar seviyesinin dolgu üst seviyesine yakın olması durumunda su kaçağı açısından risk oluştururlar.



Su kaçakları esnasında akımın etkisiyle çatlak duvarları erozyona uğrar ve borulanmanın gelişmesiyle baraj göçmesi yaşanır. Dolguda oluşan su kaçaklarında barajın göçmesi; kaçağa neden olan çatlağın yerine, çatlak üzerinde kalan rezervuarın su seviyesine ve dolguda kullanılan malzemenin erozyon hassasiyetine bağlıdır. Özellikle erozyon hassasiyeti yüksek dispersif zeminlerin kullanılması durumunda yüksek olasılıkla baraj göçmeleri gözlenir. Amerika Oklahoma'da dispersif zeminin kullanıldığı homojen dolguya sahip Wister Barajı'nda oluşan enine çatlakla birlikte meydana gelen kaçak sonucu 1949 yılında kısmi göçme hadisesi yaşanmıştır (Redlinger, 2013). Bunun yanında kondüvi borunun dolgu içerisinde inşa edildiği durumlarda da kondüvi boru ile dolgunun temas ettiği yüzeylerde meydana gelen kaçak sonucunda da barajlarda göçme hadisesi yaşanabilir. Ülkemizde Afyon'da bulunan Tınaztepe Barajı, kullanılan dispersif zeminin de etkisiyle kondüvi boru boyunca gelişen kaçak sonucu göçmüştür (Tosun ve Kilbiyik, 2006). 2019 yılında Giresun'da bulunan 56 metre yüksekliğindeki kil çekirdekli kaya dolgu olan Alucra Barajı'nda gövde dolgusuyla doğal zemin birleşiminde su kaçağı görülmüştür. Benzer sebeple oluşan kaçak, 2020 yılında Alucra Barajı'yla aynı tip Uşak'da bulunan 49 metre yüksekliğindeki Bahadır Barajı'nda görülmüştür (Şekil 2).



*Şekil 2. Uşak Bahadır Barajı'nda dolgu gövdesi ile doğal zemin birleşiminde meydana gelen su kaçağı*

Bu barajda meydana gelen borulanmayla birlikte dolgu malzemesinin taşınımı gerçekleşmiş ve boşalan malzeme nedeniyle krette memba tarafına doğru yayılım gösteren ciddi büyüklükte kayma meydana gelmiştir (Şekil 3).





*Şekil 3. Krette borulanma sonucu meydana gelen kayma*

Yine dolusavak ve dolgunun birleşim noktalarında oluşacak boşluklardan da su kaçakları gözlemlenebilir. Vuola vd.,'ne (2007) göre dolgu kretinde meydana gelen donma-çözülme döngüsü sonucunda çok sık olmasa da enine çatlaklar gelişebilmektedir. Enine çatlak gelişmese bile çözülme esnasında meydana gelen kabarmalardan dolayı permeabilitesi yüksek zonlar oluşmaktadır. Dolgu çekirdeğinde plastisite indeksi 12'den küçük ve silt, killi silt ve killi kum malzemeler kullanıldığında donma-çözülme olayı kaynaklı kusurlar sıklıkla görülmektedir.

Dolgu barajların temellerinde kohezyonsuz zeminler bulunması durumunda sızma akımının etkisiyle dolgunun mansap topuğu civarında su kaçakları gelişebilir. Ayrıca dolgu-yamaç birimi veya dolgu-temel birimi temas noktasında oluşabilecek kaçaklar, genişleyerek borulanma mekanizmasının ve buna bağlı toplam göçmelerin oluşmasına neden olur. ABD'deki St. Francis ve Teton Barajları ile Fransa'daki Malpasset Barajı, göçme nedenleri bu esasta oluşan kaçak suları oluşturmaktadır. Ancak bu barajlara "Jeolojik kusurlar ve tanımlama eksikliği" başlığı altında Bölüm 1.7.'de değinilecektir.

### 1.5. Kayma, Oturma ve Zamanla Oluşan Deformasyonlar

Baraj Mühendisliğinin tasarım aşamasında yapı genel stabilitesi için dikkate alınan temel bazı hususlar vardır. Bunlardan biri de kret tasarımıdır. Kret tasarımında dikkate alınan önemli esaslardan biri, hava payı yüksekliğidir. Esas itibarıyla hava payı, baraj rezervuarında rüzgar etkisi ile oluşacak dalga yüksekliğine bağlıdır ve “feç” uzunluğuna göre tahmin edilir. Hava payı, daha önce yapılmış çalışmalar doğrultusunda ampirik olarak da tanımlanabilmektedir. Ancak tasarımda çevresel fiziki parametrelere bağlı olarak tanımlanan bu parametrenin, yapının zamanla maruz kalacağı oturma değerlerini de sağlaması gereklidir. Bu amaçla çok genel bir tanımlama yapılmıştır. USBR (1987), dolgu barajlar için krette oluşacak en büyük oturmaların dolgu yüksekliğinin % 2’sini geçmeyeceğini ifade etmiştir. Özetle tasarım aşamasında dikkate alınan hava payının, aynı zamanda dolguda kullanılan malzemenin doğası gereği ortaya çıkacak oturmaları da sağlaması gereklidir.

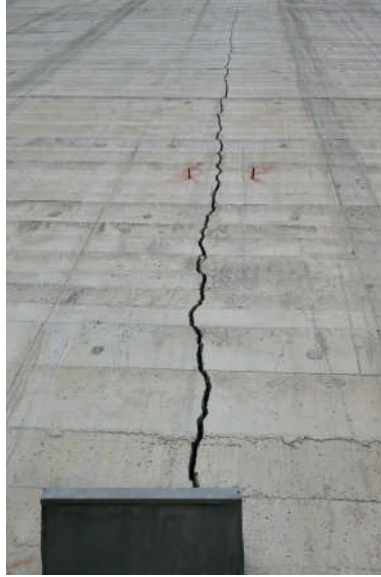
Dolgu içinde gerek inşaat aşamasında gerekse işletme aşamasında oluşacak içsel kaymalar, zamana bağlı oluşan oturmalar ve nihayetinde kalıcı oturmalara neden olabilir (eğer yapı uygun tasarlanmamışsa). Atatürk barajı bunun en güzel örneğidir. 169 m yüksekliğe sahip Atatürk barajı “merkezi kil çekirdekli kaya dolgu” tipinde tasarlanmış ve bu esasta inşa edilmiştir. 1992 yılında bitirilen bu barajın merkezinde kullanılan malzeme, yüksek plastisiteli-kil-silt’tir. Bu malzeme yüksek hacim değiştirme potansiyeline sahiptir. Atatürk Barajı’nın inşası esnasında kret 6.5~7 m civarında aşırı oturma yapmıştır (Çetin vd., 2000).

Dolgu barajlarda dolgunun düşük su muhtevasında kötü sıkıştırılması sonucunda özellikle de dolgunun ilk su tutulması esnasında aniden doygun hale gelmesiyle barajın bütünlüğünü bozacak düzeyde distorsiyon oturmaları meydana gelir. Dolgu barajlarda farklı oturmalarından kaynaklanan enine çatlaklar sonucunda da oluşacak kaçaklardan dolayı göçme hadiseleri yaşanabilir.

Dolgu inşasında kullanılan malzeme ve bu malzemede bulunan bazı maddelerde barajın göçmesine neden olacak şekilde oturmasına neden olabilir. Dolgu malzemesinde su ile çözünebilen jipsin bıraktığı kanalcıklardan dolayı meydana gelecek oturmalar dolguya zarar verebilir. Yine aynı şekilde ağaç kökleri ve organik maddelerin zamanla çürümesiyle oluşacak boşluklarda dolgunun farklı oturmasına neden olabilir. Dolgu barajlarda zamanla malzemenin durumu ve özellikleri değişir. Bununla beraber dolgu içerisinde dayanımı düşük zonlar gelişebilir. Bu dayanımı düşük zonların yeri; dolgu barajların uzun dönemde deformasyon davranışını belirleyen

en kritik etkidir (Jansen, 1983). Dolgunun inşa edildiği temel zemininin yumuşak ve sıkışabilir olması durumunda da dolgunun stabil halde kalması imkansızdır ve göçme hadisesi yaşanabilmektedir.

Beton barajlar için uygun tasarım yapılmışsa ve uygulama bu tasarıma göre gerçekleştirilmişse, dolgu barajlarda görülen kayma, oturma ve zamana bağımlı deformasyonlar kritik değildir. Ancak bu tip yapılar için uzun dönemli olarak beton yaşlanması ve durabilite sorunlarının yaşanması mümkün gözükmemektedir. Beton veya yarı rijit yapı olarak tasarlanan silindire sıkıştırılmış beton dolgu tiplerinde, temel zeminin taşıma kapasitesi yeterli değilse, yapı dönme, farklı oturma çatlağı gibi kusurlar oluşabilir. İstanbul İçmesuyu Projesi kapsamında tasarlanan ve silindire sıkıştırılmış beton tipinde inşa edilen Melen Barajında görülen çatlak sistemi, tipik temel zemini probleminden kaynaklanmaktadır (Şekil 4). 110 m yüksekliğinde olan bu barajda temel zeminindeki ayrışmış kaya üzerindeki gevşek malzemenin iyi temizlenmemesi nedeniyle farklı oturmalar oluşmuş ve düşük çekme dayanımına sahip silindire sıkıştırılmış beton gövde çatlamıştır.

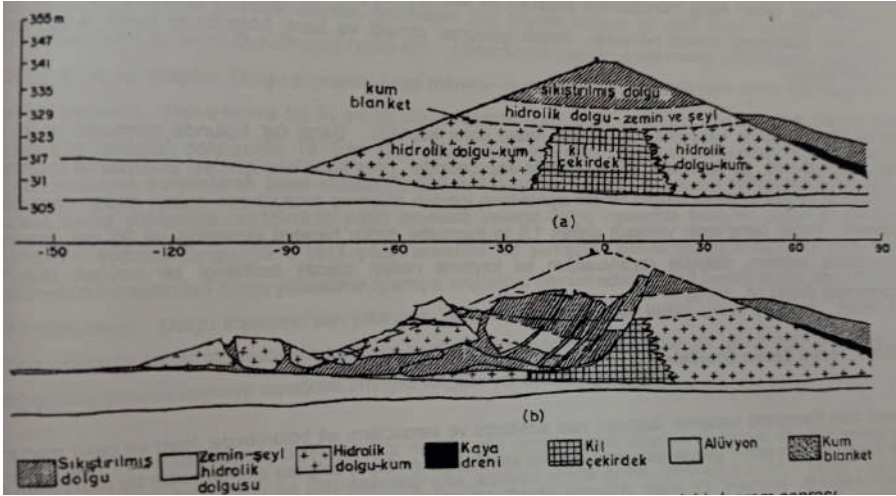


Şekil 4. Melen barajı gövdesinde görülen çatlak (Anonim, 2020).

## 1.6. Deprem

Deprem etkisi ile ortaya çıkan yer hareketleri, deprem esnasında ve sonrasında baraj gövde ve yardımcı yapılarını direk veya dolaylı şekilde etkileyerek göçmelerine neden olabilir. Direk etkiler; dolgunun yapısal

bütünlüğünü bozan deformasyonlar, dolgu şev kaymaları, sıvılaşma ve seiche dalgalarıdır. Dolaylı etkiler ise dolguda oluşan enine çatlaklar ve rezervuar yamaçlarının stabilitesinin bozularak kaymasıdır. Sıvılaşma nedenli göçmeler genelde gevşek kohezyonsuz zeminlerin kullanıldığı hidrolik dolgularda görülmüştür. 1971 yılında  $M_w = 6,4$  büyüklüğündeki depremde Kaliforniya’da bulunan Lower San Fernando Barajı’nın büyük bir bölümünde sıvılaşma oluşmuş ve baraj göçmüştür (Şekil 5). Lower San Fernando Barajı’nda deprem hareketinden dolayı kayma, memba ve mansap şevlerinin üst kısmında meydana geldi. Yapılan gözlemlerde; depremin son aşamasında gövde zeminin büyük bir kısmı sıvılaşmıştır. Sıvılaşan zemin, sıvılaşmayan kabuk zonu ile örtülüydü. Kayma; sıvılaşmanın etkisi ile kabuğun ileri geri hareket etmesiyle gerçekleşmiştir (Tosun, 2002).



Şekil 5. Lower San Fernando Barajı’nda meydana gelen sıvılaşma nedenli göçme (Seed vd.’den, 1975).

Dolgunun ve temelinin depremdeki sarsıntılar etkisiyle mukavemetini kaybetmesi sonucu şev kaymaları veya krette aşırı oturmalar meydana gelerek üstten aşma ile göçme gerçekleşebilmektedir. Yine rezervuar yamaçlarının kaymasıyla ve sarsıntı etkisiyle rezervuarın çalkalanmasıyla oluşan seiche dalgaları sonucunda da üstten aşma ile dolgu barajlar hasar ve göçmeler oluşabilmektedir.

2008 yılında  $M_w = 7,9$  büyüklüğündeki Sichuan depreminde yakın kaynak etkisi altında kalan 156 m yüksekliğindeki ön yüzü beton kaplı Zipingpu Barajı’nda gövde de 20 cm’ye varan farklı oturma sonucu meydana gelen enine çatlaklar ve kret ile mansap şevi birleşiminde 40 cm civarında ayrılmalar

oluşmuştur (Zhang vd., 2015). Yine yakın kaynak etkisinde 2011 yılında  $M_w=9,0$  büyüklüğündeki Tohoku depreminde 18 m yükseklikteki homojen dolgu Fujinuma Barajı, sismik salınımlar etkisiyle kretin büyük düşey deplasmanlar yapmasıyla birlikte üstten aşan akımın etkisiyle göçmüştür (Pradel vd., 2013).

Büyük bir depreme maruz kalan dolgu barajlar büyük oturma yaparlar. Bu oturmaların yanında dolgu; memba-mansap doğrultusunda yayılma davranışı gösterir. Bu oturma ve yayılma davranışı sonucunda çoğu zaman enine çatlaklar görülebilir (Forster ve Donald, 1998). Depreme maruz kalan dolgu barajlarda oluşan bu enine çatlaklar dolgunun üst kesimlerinde oluşur (Bonelli, 2013). Oluşan bu çatlaklardan dolayı birçok dolgu barajda depremden 24 saat sonra içsel erozyon nedeniyle göçme gerçekleşmiştir (Seed vd., 1978).

Beton barajlarda deprem etkisi çok daha farklı ortaya çıkmaktadır. Genelde beton barajlar kompozit bir yapı gibi çalıştıklarından oluşan kalıcı deformasyonlar azdır. Ancak büyük ve yakın kaynak etkisi altında kalan beton baraj ve yardımcı yapılarında ciddi hasarlar görülebilmektedir. Buna en güzel örnek 1990 yılında meydana gelen  $M_w=7,7$  büyüklüğündeki Manjil depreminde ağır hasar gören payandalı baraj olarak inşa edilen Sefid Rud Barajı'dır (Tosun, 2015). 106 metre yüksekliği bulunan barajda kretin hemen alt bölgesinde 18 metre uzunluğunda yatay çatlaklar oluşmuştur. Gövde de meydana gelen bu çatlaklardan su kaçakları gözlemlenmiştir.

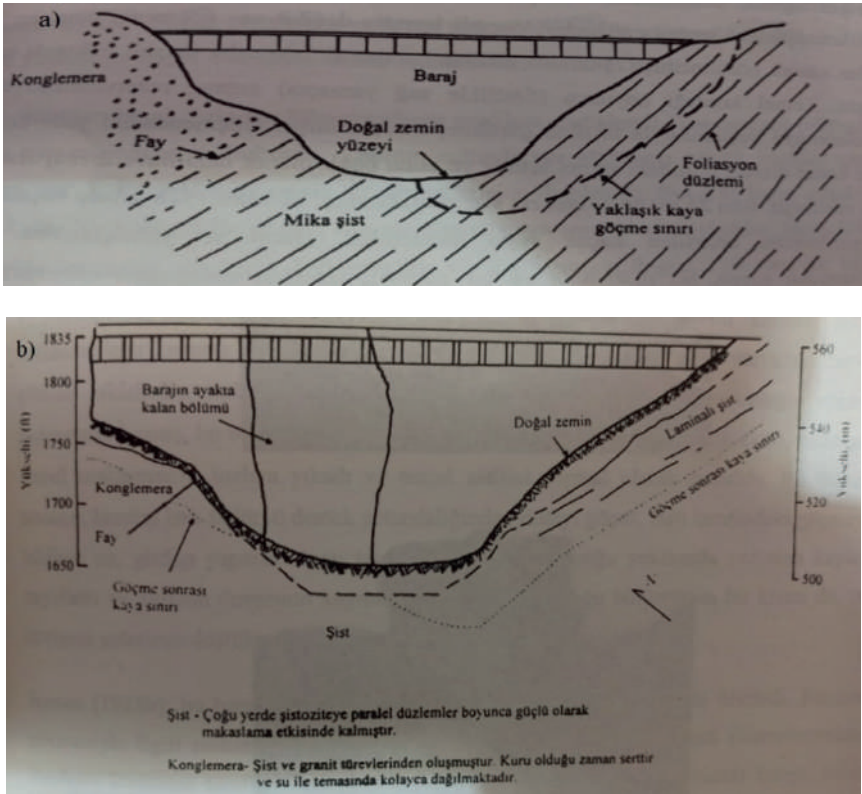
Ayrıca büyük rezervuarlara sahip barajların depremleri tetiklediği bilinmektedir. 1964 yılında işletmeye alınan beton ağırlık Koyna Barajı 2,8 milyar  $m^3$  gibi büyük bir rezervuar hacmine sahiptir. Bu büyük rezervuarın etkisiyle 1967 yılında 6,3 büyüklüğünde deprem tetiklenmiştir.

### **1.7. Jeolojik Kusurlar ve Tanımlama Eksikliği**

Baraj yapılarında oluşan hasarların, göçmelerin ve yaşanan diğer sorunların en önemli nedeni, temel biriminde yer alan jeolojik kusurlar ve bunların tanımlama eksikliğidir. Temel kaya biriminin cinsi, temel biriminde yer alan jeolojik süreksizlikler (tabakalanma düzlemi, fay, foliasyon düzlemleri, eklem sistemleri gibi), yeraltısuyunun konumu oluşabilecek en temel problem kaynağı olarak değerlendirilebilir. Baraj yapılacak alan için genel jeolojik unsurlar ile aks yeri ve rezervuar alanındaki birimlerin geoteknik özellikleri, yapının kısa ve uzun dönem stabilitesi ile işlevselliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Baraj yeri ve çevresindeki jeolojik süreksizliklerin varlığının tasarım aşaması öncesinde bilinmesi, olası problemlerin önlenmesi yönünde çok önemli bir aşamadır.



ABD'nin Kaliforniya eyaletinde 1926 yılında beton kemer tipinde tamamlanan 62,5 m yüksekliğindeki su temin amaçlı St. Francis barajı, 1928 yılında göçtü (Tosun vd., 1999). Baraj yeri ve rezervuar da iki ayrı kaya tipi mevcuttu. Vadi tabanı ve sol yamaçta mika şist mevcuttu. Sağ yamaçta ise kırmızı renkli konglomera yer almaktaydı. İki birim arasındaki kontağı, doğrultusu dere yatağına paralel ve talveg seviyesinin yaklaşık 15 üstünde bir fay bulunuyordu. Bu fayın varlığı başlangıçta bilinmiyordu. Fay zonu 1,2 m kalınlığında bir kil dolgu ihtiva ediyordu ve fay boyunca mika şist içinde serpantin bandı vardı. Baraj su tutulduktan yaklaşık 2 yıl sonra göçtü. Göçmeden sonra yapılan çalışmalarda, genel kanı sağ yamaçta yer alan konglomeranın suyun etkisi ile yumuşadığı ve ayrışma etkisine maruz kaldığı ve fay zonunun içinde yer alan kil dolgunun yıkanması sonucunda da barajın göçtüğü kanısına varılmıştır (Jansen, 1988). St. Francis barajı, beton kemer tipinde göçmenin olduğu ilk örnektir. Bu baraj yeri jeolojik birimleri ile göçme sonrası oluşan kaya sınırları şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. St. Francis Baraj yeri jeolojik birimleri ve göçme sonrası oluşan kaya sınırları: a) Baraj yeri jeolojik birimleri, b) Göçme sonrasında oluşan kaya sınırları (Tosun vd.'den, 1999).

St. Francis barajı gibi göçen diğer bir baraj yapısı ise, Fransa'daki Malpasset Barajıdır. Fransa'nın Riviera bölgesinde ve deniz kıyısından 12 km içerde ve 66,7 m yükseklikte ve çift eğrilikli kemer tipinde inşa edilen baraj, 1954 yılında işletmeye alındı. Baraj yeri, metamorfik kayalardan oluşmaktaydı. Sağ yamaçta masif gnays, sol yamaçta ise alterasyon etkisi ile kompozisyonunda değişiklik oluşmuş ve mikro çatlaklar ihtiva eden ayrılmış gnays birimi mevcuttu. Göçme sonrası yapılan gözlem ve incelemelerde iki ayrı baraj yerinde iki ayrı eklem setinin olduğu tespit edildi. Baraj temelinde eklemlerle aynı orientasyona sahip çok sayıda kayma zonu ve fay bulunuyordu. Kayaç birimleri 1 Lugeon'dan düşük değerlere sahip olduğu için perde enjeksiyonu yapılmamış, ancak beton gövdenin hemen altında kontakt enjeksiyonları gerçekleştirilmiştir (Leonards, 1987). Yapılan analizlerde, sol yamaçta yer alan mikro çatlaklı kaya kaması, baraj gövdesi memba yüzü boyunca oluşan çekme gerilmelerine dayanamadı ve temel birimi içinde bir çatlak oluşturdu. Bu çatlak, rezervuar su yükü altında gelişti ve barajda toplam göçmeye neden oldu.

ABD'de merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj tipinde projelendirilen ve 126 m yüksekliğe sahip Teton barajı, 5 Haziran 1976 yılında rezervuarın ilk dolumu esnasında göçtü. Göçme esnasında su seviyesi, talveg kotundan 84 m yukarıdaydı. Temelde ve yamaçlarda bulunan sık eklemli kayalardan oluşabilecek sızmanın, 21 m<sup>2</sup>'den oluşan dar bir katof hendeği ve bunun altında oluşturulan derin bir enjeksiyon perdesi ile bu perdenin her iki tarafında tasarlanan konsolidasyon enjeksiyonu ile önlenileceği düşünülmüştü. Göçme sonrası yapılan çalışmalar sonucunda barajın; (1) sağ yamaç katof hendeğinde, aşırı derecede eklemli rayolit içinde oluşturulmuş enjeksiyon perdesi içinden veya üstünden oluşan aşırı kaçak suyunun gevrek ve kolayca erozyona uğrayabilir lös zeminin sıkıştırılması ile oluşturulmuş çekirdek zonu alt bölümünü erozyona uğratması, (2) Dik sağ yamaç boyunca farklı oturmadan dolayı katof hendeği içindeki malzemede oluşan boylamsal çatlakların erozyonu ve (3) Çekirdek zon malzemesinin kemerleşmesinden dolayı bu zon içinde oluşan hidrolik çatlakların erozyonundan dolayı göçtüğü tespitinde bulunuldu. Teton Barajı'nda göçme öncesi ve göçme sırası alınan görüntüler, şekil 7'de sunulmaktadır. Tosun vd. (1999) konuyla ilgili çok detaylı bir çalışma yapmıştır. Bölüm 1.4'de değerlendirilen Uşak Bahadır Barajı'ndaki göçmede de benzer biçimde kaçak sağ sahilde başlamış, ancak memba tarafında rezervuara doğru oluşan bir kaymadan dolayı borulanma olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7. Teton barajı göçme öncesi ve göçme anı görüntüleri (Ponce vd.'den, 2020).

### 1.8. İçsel Erozyon

İnşaat mühendisliği toprak işleri uygulamalarında, zemin içinde yer alan ince daneli malzemelerin, sızma ortamında bulunan boşluklardan veya değişik faktörlerin etkisi ile dolgu içinde oluşan çatlaklardan sızma ve yerçekimi kuvvetleri etkisi altında taşınması ve bu işleme bağlı olarak ortamda su taşınmasına neden boşlukların oluşması, genel olarak “içsel erozyon” olarak tanımlanır. Bu işlemin, zemin yüzeyinde yağmur, rüzgar, akarsu ve buzul gibi değişik yüzey etkisiyle oluşmasına “yüzey erozyonu” adı verilir. Yüzey erozyonu, zemin ve kaya oluşumu döngüsündeki doğal bir süreçtir. Yüzey erozyonu, insan yapısı toprak yapılarında (karayolu ve demiryolu dolguları ile sulama kanalları toprak kaplamalarında) da meydana gelebilmektedir.

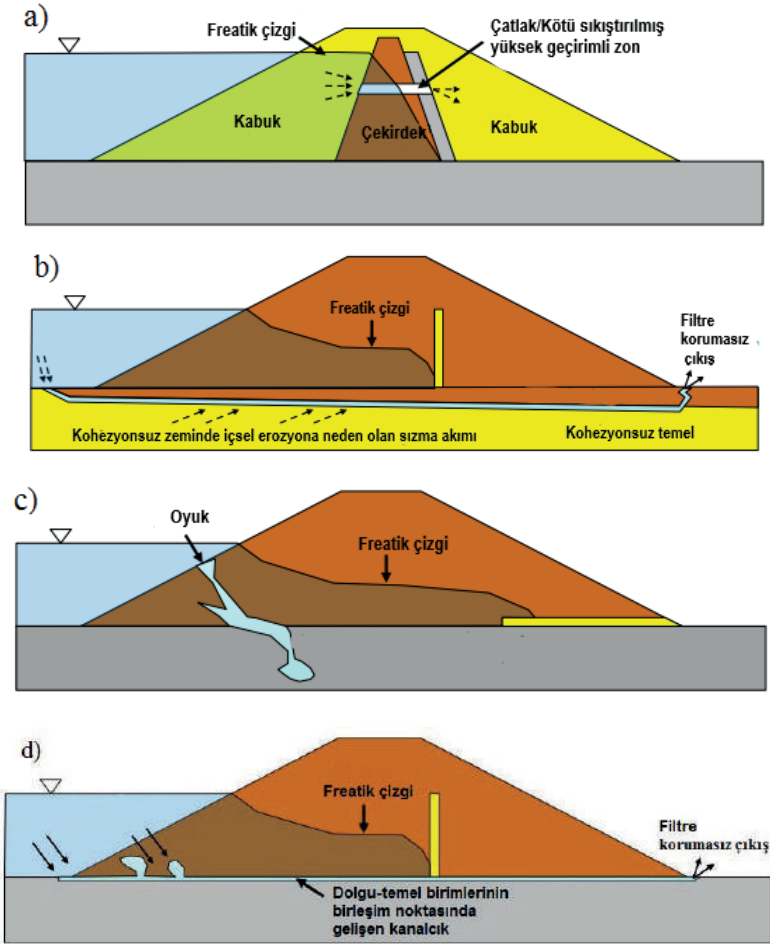
İçsel erozyonda yüzey erozyonundan farklı olarak malzemelerin taşınması sadece su akımı ile gerçekleşir. Bu su akımı bazen sızma akımı iken bazen de basınçlı boru akımı şeklinde olabilmektedir. İçsel erozyon, özetle dolgu barajların dolgu gövdesi ve temellerindeki malzemelerin sızma ve basınçlı akımla taşınmasıdır. İçsel erozyon, su depolayan yapılarda kendini su kaçağının görülmesiyle belli eder. Bu iki farklı erozyon tipinde de, erozyona neden olan suyun kimyasal özellikleri ile erozyona uğrayan zeminlerin



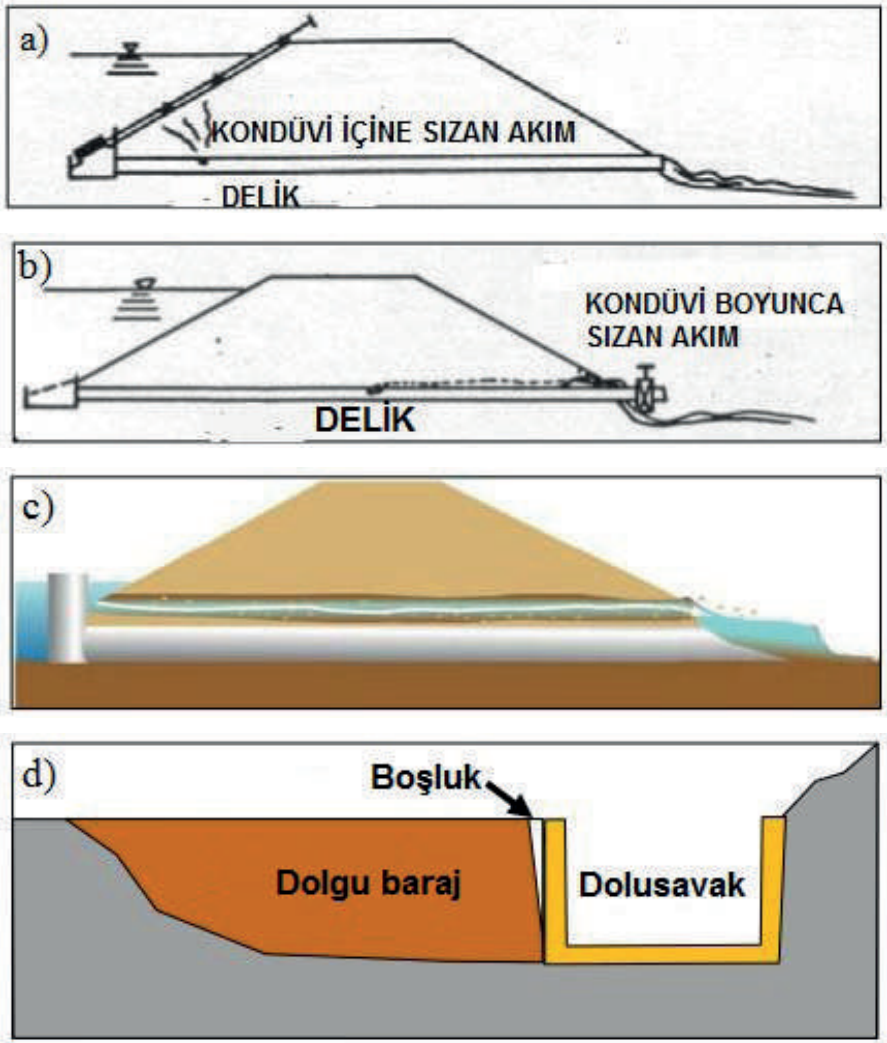
fiziko-kimyasal içerikleri erozyonla taşınan malzeme miktarını büyüklüğünü belirlemekte ve işlemin oluşma hızını etkilemektedir.

### 1.8.1. İçsel erozyon biçimleri

Baraj göçmeleriyle ilgili verilen istatistiklerde içsel erozyon nedeniyle göçen dolgu barajlarda tek bir içsel erozyon biçimi görülmemektedir. Bunun yanında verilen istatistiklerde içsel erozyon yerine içsel erozyon türlerinden olan borulanma kavramı da kullanılmıştır. Şekil 8'de dolgu ve temel zemini içinde veya bu iki malzemenin temas noktasında gelişen içsel erozyon biçimleri, sunulmaktadır. Şekil 9'da ise kondüvi ve dolusavak gibi yardımcı yapılarda oluşan göçme biçimleri özetlenmektedir.



Şekil 8. Dolgu ve temel zemini ile bu iki malzeme temas noktalarında oluşan içsel erozyon biçimleri: a) dolgu içinde, b) temel zemini içinde, c) temel malzeme içine dolgu malzemesinin erozyonu ve d) dolgu-temel zemini birleşim yerinde (USBR'dan, 2015).



Şekil 9. Gömülü yardımcı yapılar ile dolgu temas noktalarında oluşan içsel erozyon: a) Kondüvi içine sızma, b) Kondüvi borusundan çıkan akımdan dolayı boru boyunca oluşan sızma, c) Rezervuardan gelen akımdan dolayı kondüvi boyunca sızma d) dolusavak duvarı-dolgu arasında yer alan boşluktan dolayı oluşan sızma (FEMA'dan, 2005; 2008 ve Fell vd.'den, 2008).

Sherard ve Dunnigan (1985) dolgudaki çatlaklarda meydana gelen içsel erozyon olayını borulanma olarak tanımlamışlardır. Wan ve Fell (2002), içsel erozyonun iki biçiminin bulunduğunu bunların da borulanma ve süfüzyon olduğunu belirtmişlerdir. Fell ve Fry (2007) ise içsel erozyonun kaçak erozyonu, geriye doğru erozyon, kontak erozyonu ve süfüzyon gibi biçimleri

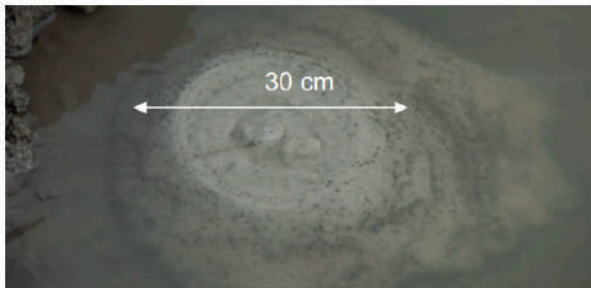
olduğunu söylemişlerdir. USBR'a (2015) göre içsel erozyon beş farklı şekilde oluşmaktadır. Bunlar; geriye doğru erozyon (borulanma), kaçak erozyonu, toplam geriye doğru erozyon, kontak erozyonu ve süfzyon/sufozyondur.

Dolgu barajlarda içsel erozyon mekanizmasının çalışıldığı bazı gelişmiş ülkelerde, içsel erozyon biçimleri ile ilgili farklı terminoloji kullanılmıştır. Bu çalışmada esas itibarıyla, ABD Su İşleri Teşkilatı (USBR) tarafından kullanılan terimlere ve tanımlara bağlı kalınmıştır. USBR (2015) tarafından tanımlanan içsel erozyon biçimleri, aşağıda özet halinde sunulmaktadır.

**Geriye Doğru Erozyon (Borulanma);** kohezyonsuz zeminlerde dolgu ve/veya temelden sızan akımın mansap tarafındaki çıkış noktasından başlayarak geriye yani memba tarafına doğru zemin danelerini taşıması sonucu gelişir. Akımın geçtiği kısımların boru şeklini almasıyla gelişen içsel erozyon türüdür. Borulanmanın gelişebilmesi için; sürekli bir sızma akımı ve bu sızma akımının çıkış noktasının korumasız olması, erozyona uğrayabilir zemin olması ve bu zeminin boru şeklini alarak göçmesi gerekir. Geriye doğru erozyonda yukarı yönlü sızma akımı sırasında hidrolik eğimin artmasıyla efektif gerilmeler azalır. Efektif gerilmelerin sıfır olduğu anda dolgu barajların veya seddelerin mansap topuğunda kabarma (Şekil 10) veya kum kaynaması (Şekil 11) görülebilir.



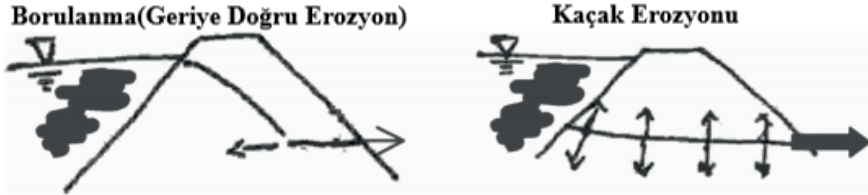
Şekil 10. Dolgunun mansap topuğunda borulanma sonucu meydana gelen kabarma (Pabst vd.'den, 2012).



Şekil 11. Kum kaynaması (van Beek vd.'den, 2010).

**Kaçak Erozyonu**; dolgu barajlarda özellikle enine çatlakların duvarlarını aşındırarak gelişen içsel erozyon biçimidir. Bunun yanında kondüvi ve dolusavak duvarları boyunca oluşan çatlaklarda, boşluklarda veya zayıf sıkıştırılmış dolgunun muhtemel bölgelerinde meydana gelen erozyon da kaçak erozyonuna girmektedir. Temellerde de meydana gelmektedir.

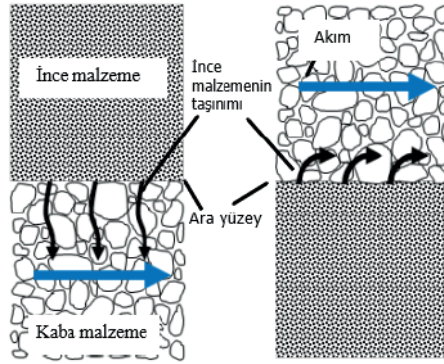
Kaçak erozyonu ile Geriye doğru erozyon biçimleri birbiriyle karıştırılmaktadır. İkisinde de erozyon sonucu boruya benzer bir kanal meydana gelmektedir. Fakat bu kanal kaçak erozyonunda basınçlı boru akımının etkisiyle zeminlerin aşınmaya uğramasıyla genişlerken; borulanmada bu kanal sızma akımının etkisiyle mansaptan membaya doğru gelişerek büyür (Şekil 12).



Şekil 12. Borulanma ve Kaçak Erozyonu mekanizmaları (Bonelli'den, 2012).

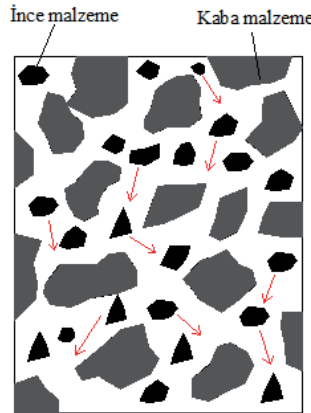
**Toplam Geriye Doğru Erozyon**; dolguda görülen bir içsel erozyon biçimidir. Dolguda yerçekiminin etkisiyle düşey yöndeki sızma akımı tarafından taşınan zemin danelerinin boşalttığı kısımlarda bir kanal (boru) oluşmadığı zamanlarda bu bölgelerde çökmeler görülür. Bu çökmeler krette oyukların oluşmasına neden olur. Bu şekilde oluşan içsel erozyon; dar, merkezi çekirdekli dolgu barajlarda ve üniform derecelenmiş kohezyonsuz zeminlerde görülürler.

**Kontak Erozyonu**; kaba malzemeler ile ince malzemelerin temas noktalarında meydana gelen içsel erozyon biçimidir. Akımın ince malzemeyi, iri malzemenin arasından taşımasıyla meydana gelir (Şekil 13). Homojen ve kil çekirdekli bir dolguda kontak erozyon meydana gelebilir.



Şekil 13. Kontakt erozyonu (ICOLD'dan, 2015).

*Sufüzyon/Sufozyon*; içsel stabilitesi olmayan zeminlerde görülür. Bu tür zeminlerde ince malzemeler; iri malzemelerin arasından akımla birlikte taşınır (Şekil 14). Bu taşınmayla birlikte zemin iskeletinde sadece iri malzemeler kalır. Eğer bu taşınma sonucu hacimsel bir değişiklik meydana gelmiyorsa, “sufüzyon”, geliyorsa “sufozyon” adı verilir. İçsel stabilitesi olmayan zeminler genel anlamda kendi kendini filtrelemeyen zeminler olarak açıklanabilir. Diğer ifade ile sahip oldukları boşlukların büyüklükleri, sahip oldukları ince malzemelerin çapından daha büyüktür.



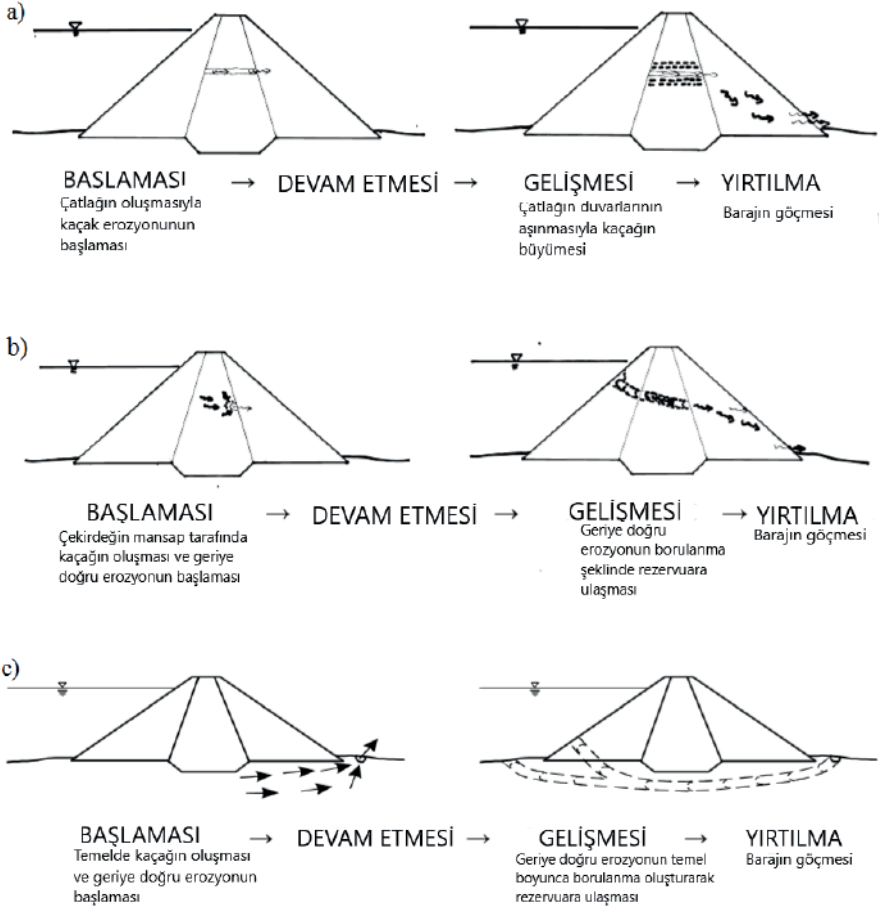
Şekil 14. Sufüzyon/Sufozyon tipi içsel erozyon biçimi

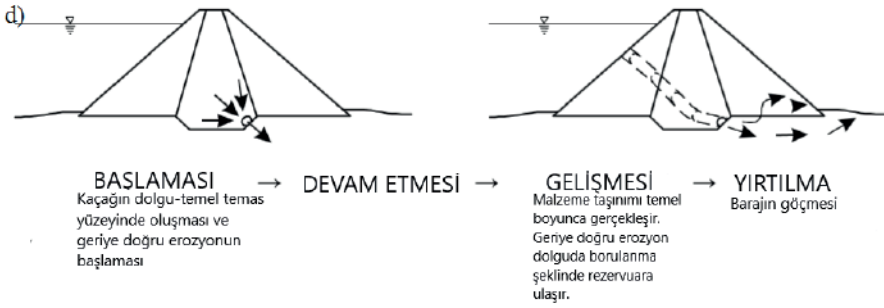
Dolgu barajlarda sadece kontakt erozyonu hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde meydana gelebilmektedir. Kaçak erozyonu ve borulanma dışındaki içsel erozyon biçiminde erozyona sızma akımları neden olmaktadır. Borulanmada başlangıçta sızma akımıyla başlayan erozyon,

kanalın oluşmasından sonra basınçlı boru akımıyla devam eder. Toplam geriye doğru erozyon dışında tüm içsel erozyon biçimleri, barajın dolgu veya temelinde meydana gelebilmektedir.

### 1.8.2. İçsel erozyon aşamaları

İçsel erozyonun oluşmasıyla dolgu barajlarda aniden göçme gerçekleşmeyebilir. Bu işlem için dolgu ve temel malzemesinin belirli bir miktarda ve sürede taşınması gerekir. Bu süreç; Fell vd.'ne (2008) göre toplamda dört aşamadan oluşur ve son aşamada barajın göçmesiyle son bulur. Barajın göçmesine yani yırtılmasına kadarki ilk üç aşama içsel erozyonun başlaması, devam etmesi ve gelişmesidir. Kil çekirdekli dolgu barajlarda içsel erozyon mekanizmasının aşamaları, şekil 15'de görülmektedir.





*Şekil 15. İçsel erozyon gelişim aşamaları: a) Konsantrre bir çatlakta oluşan içsel erozyon, b) Dolguda geriye doğru erozyon (borulanma), c) Temelde geriye doğru erozyon (borulanma), d) Dolgunun temel boşluklarına taşınması ile oluşan içsel erozyon (Fell vd.'den, 2008).*

İçsel erozyonun başladıktan sonra devam etmesi malzemenin filtre ile korunmasına bağlıdır. Eğer içsel erozyona uğrayan malzeme USBR (2011), ICOLD (1994) ve USACE (2004)'de belirtilen kriterlerde uygun bir filtre ile korunursa içsel erozyon başlasa da durur. Bu filtre koruması yoksa içsel erozyon devam ederek gelişir ve barajın göçmesine neden olur.

### 1.8.3. İçsel erozyondan dolayı oluşan baraj göçmeleri

Bugün dünyada içsel erozyon nedeniyle hasara uğramış ve göçmüş çok sayıda baraj vardır. 1800-1986 yılları arasında (Japonya'da ve Çin'de 1930 yılından önce inşa edilmiş barajlar hariç) göçmüş ve hasara uğramış barajlar üzerinde ICOLD (1974; 1995) ve Foster vd. (1998; 2000) tarafından yapılan çalışmalara göre kayıtlı barajların istatistiklerine göre, toplam göçen baraj sayısı 136 adettir. Bu barajlara ait istatistiksel veriler çizelge 1'de sunulmaktadır. Bu barajların 2/3'ünün ilk dolum esnasında veya dolumdan sonraki 5 yıl içinde göçtüğü görülmüştür. Çizelge 2 ve çizelge 3'de sırasıyla dolgu ve temelde gelişen içsel erozyona ait istatistiksel veriler sunulmaktadır.

*Çizelge 1. İçsel erozyonun gözlemlendiği barajlarda kaza ve göçme istatistikleri (Foster vd.'den, 1998; 2000).*

Durum	Toplam	Dolgu ve temellerde	Kondüvi boru ve duvar etrafında
İçsel erozyondan dolayı göçme	36	19	17
İçsel erozyon kazası (göçme yok)	75	52	23
Erozyonun görülmediği sızma/kaçak	36	30	6
Göçme ve kazaların toplam sayısı	146	101	46
Toplam baraj sayısı	11 192	11 192	5 596
Kaza ve göçmelerin toplam geçmiş frekansı	0,013	0,009	0,0082
Rezervuarın ilk dolumu esnasındaki göçme ve kazaların toplam oranı	% 36		
Rezervuarın ilk dolumu sonrasındaki göçme ve kazaların toplam oranı	% 64		
Rezervuarın ilk dolumu esnası için geçmiş frekans		0,0032	0,0030
Rezervuarın ilk dolumu sonrası için geçmiş frekans		0,0058	0,0052
Rezervuarın ilk dolumu sonrası için yıllık geçmiş frekans		$2,2 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$

*Çizelge 2. Dolguda meydana gelen içsel erozyonun oluşma zamanıyla ilgili istatistik (Foster vd.'den, 1998; 2000).*

İçsel erozyonun oluşma zamanı	Sayı		Oran (%)	
	Göçme	Kaza	Göçme	Kaza
İnşaat aşamasında	1	0	2	0
İlk dolum esnasında	24	26	48	26
İlk dolum sonrası ilk 5 yıllık süre	7	13	14	13
İlk 5 yıllık süre sonrası	18	60	36	61
Bilinmeyen	1	3	—	—
Toplam	51	102	100	100



*Çizelge 3. Temelde meydana gelen içsel erozyonun oluşma zamanıyla ilgili istatistik (Foster vd.'den, 1998; 2000).*

İçsel erozyonun oluşma zamanı	Sayı		Oran (%)	
	Göçme	Kaza	Göçme	Kaza
İnşaat aşamasında	1	0	5	0
İlk dolum esnasında	4	23	20	30
İlk dolum sonrası ilk 5 yıllık süre	10	19	50	24
İlk 5 yıllık süre sonrası	5	36	25	46
Bilinmeyen	1	7	—	—
<b>Toplam</b>	<b>21</b>	<b>85</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

ABD'nin Kaliforniya eyaleti Los Angeles vadisinde 1951 yılında tamamlanan Baldwin Hills Barajı, temel zemininde kaynaklanan içsel erozyon için güzel bir örnektir. Baraj, 71 m yüksekliğinde homojen toprak dolgu olarak inşa edilmiştir (Leps ve Jansen, 1988). İlgili toprak yapısı, zaman içinde artan sızan su miktarına bağlı olarak 14.12.1963 tarihinde göçtü. Barajın göçme mekanizmasıyla ilgili değişik değerlendirmeler yapılsa bile, asıl etkinin temelde yer alan genç fayların rezervuar yükünden ve bölgede oluşan sismik aktiviteden dolayı hareket etmesi ve buna bağlı dolgu içinde çatlakların oluşması olarak görülmektedir. Tosun vd. (1999) konuyla ilgili detaylı değerlendirmeler yapmıştır.

ABD'nin Alabama eyaletinde Coosa nehri üzerinde 1967 yılında 50 m yükseklikte inşa edilen Walter Bouldin barajı, 10 Şubat 1975 yılında ani olarak göçtü. Bazı çalışmalarda, göçmeye su alma yapısının solunda yer alan kaymanın neden olduğu ifade edilse de, asıl nedenin temel zemininde oluşan borulanma olduğu bilinmektedir. Göçme, temel zemini içinde yer alan Kretase yaşlı siltli kum kaya ardalanmaları içinde yer alan dolgu zemin ile dolgu topuğunda içsel erozyon şeklinde başladı ve borulanma ile devam etti. Konuyla ilgili detaylı değerlendirme, Tosun vd. (1999) tarafından yapılmıştır.

Amerika Oklahoma'da 1986 yılında 10 metre yüksekliğindeki homojen toprak dolgu Upper Red Rock Site 20 Barajı da içsel erozyon nedeniyle göçmüştür. Dolguda kullanılan malzeme yüksek yoğunlukta dispersif kil ihtiva etmekteydi (FEMA, 2015). 1973 yılında taşkın kontrolü amacıyla inşa edilen barajın krete yakın noktalarında memba-mansap doğrultusunda uzanan kuruma ve farklı oturma çatlakları bulunmaktaydı. Yoğun yağış nedeniyle daha önce çıkmadığı seviyeye çıkan rezervuardaki su seviyesi, çatlaklardan akarak doygun olmayan dispersif kili aşındırmış ve dolgunun

yırtılarak göçmesine neden olmuştur. Konuyla ilgili detaylı değerlendirme FEMA (2015) tarafından yapılmıştır.

2006 yılında U tipi zonlu toprak dolguya sahip 11 metre yüksekliğindeki Watkins Barajı temel zemininde gelişen geriye doğru erozyon(borulanma) sonucu göçmüştür. Silt ve siltli kumdan oluşan temel zemininde hardpan tabakası boyunca geliştiği düşünülen borulanma kendini güney drenaj kanalının şevinde kum kaynamasıyla göstermiştir. Borulanmanın ilk gözlemlendiği güney drenaj kanalında 570~760 L/ min'lik bir debi ile sızan kaçak su tespit edilmiştir (Hanneman, 2011). Çimentolaşmış sert hardpan tabakasının varlığı borulanmanın gelişmesine çatı desteği sunmuştur. Güney drenaj kanalının şevinin filtre korumasız olması ve hayvanların temelde oluşturduğu tüneller geriye doğru erozyonun gelişmesine büyük katkı vermiştir. Konuyla ilgili detaylı değerlendirme Hanneman (2011) tarafından yapılmıştır.

## Kaynakça

- Anderson, C., Mohorovic, C., Mogck, L., Cohen, B., Scott, G., 1998, Concrete Dams Case Histories of Failures and Nonfailures with Back Calculations, DSO-05, p.89-93.
- Bonelli, S., (Ed.), 2013, Erosion in geomechanics applied to dams and levees, ISTE Limited, p.6-84.
- Bonelli, S., (Ed.). 2012, Erosion of geomaterials. John Wiley & Sons, p.156.
- Chu-Agor, M. L., Fox, G. A., Cancienne, R. M., Wilson, G. V., 2008, Seepage caused tension failures and erosion undercutting of hillslopes, *Journal of hydrology*, 359(3-4), 247-259.
- Çetin, H., Laman, M., Ertunc, A., 2000, Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey, *Engineering geology*, 56(3-4), 225-242.
- Fell, R., Foster, M., Davidson, R., Cyganiewicz, J., Sills, G., Vroman, N., 2008, A unified method for estimating probabilities of failure of embankment dams by internal erosion and piping, UNICIV Report R, 446, 10-8, 332 p. (unpublished).
- Fell, R., Fry, J.J. 2007, The state of the art of assessing the likelihood of internal erosion of embankment dams, water retaining structures and their foundations. In *Internal erosion of dams and their foundations*, CRC Press, 9-32.
- FEMA, 2005, *Conduits through embankment dams: Best practices for design, construction, problem identification and evaluation, inspection, maintenance, renovation and repair*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D, p.7-9.
- FEMA, 2008, *Training aids for dam safety*, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 41 p. (unpublished).
- FEMA, 2015, *Evaluation and monitoring of seepage and internal erosion*, FEMA P-1032 Report, Washington DC, 576 p. (unpublished).
- Forster, I.R., Donald, R.B.M, 1998, *Post-Earthquake Response Procedures for Embankment Dams-Lessons from the Loma Prieta Earthquake*, *Ancold Bulletin*, 46-64.
- Foster, M. A., Fell, R., Spannagle, M., 1998, *Analysis of embankment dam incidents*, UNICIV Report No. R-374, University of New South Wales, Sydney, Australia, p.1-169.
- Foster, M., Fell, R., Spannagle, M., 2000, *The statistics of embankment dam failures and accidents*, *Canadian Geotechnical Journal*, 37(5), 1000-1024.
- France, J. W., Alvi, I., Dickson, P., Falvey, H., Rigbey, S., Trojanowski, J., 2018, *Independent forensic team report: Oroville dam spillway incident*, Rep. No.: Riverside, CA: California Institution of Water Resources, p.23-28.

- ICOLD (International Commission on Large Dams), 2015, Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations, 164(1), p.7.
- ICOLD, 1974, Lessons from dam incidents, International Commission on Large Dams, Paris, France, 387 p. (unpublished).
- ICOLD, 1994, Embankment dams: granular filters and drains: Bulletin No. 95, International Commission on Large Dams, Paris, France, p.1-260.
- ICOLD, 1995, Dam Failures – Statistical Analysis, Bulletin No. 99, International Commission on Large Dams, Paris, France, p.45-50.
- Jansen, R. B., 1983, Dams and public safety, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 319 p.101-102.
- Jansen, R. B., 1988, Lessons from Notable Events: The St. Francis Dam Failure, Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, New York NY. p 28-34.
- Kiersch, G. A., 1988, Lessons from notable events: Vaiont reservoir disaster, Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, p 41-53.
- Leonards, G. A., 1987, Dam failures, Engineering Geology, 24(1).
- Leps, T. M., Jansen, R. B., 1988, Lessons from notable events: The Baldwin Hills reservoir failure, Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, New York NY, p 8-16.
- Lowe, J., 1970, Recent development in the design and construction of earth and rockfill dams, Trans. 10th Int. Congr. Large Dams, Montreal, 5, 1-28.
- McDaniel, L., Garton, J., Feidler, W., King, W., Schwanz, N., 2011, Lake Delhi dam breach—two perspectives, In: Association of state dam safety officials annual conference, Washington, DC, USA, 25–29.
- Okeke, A. C. U., Wang, F., 2016, Critical hydraulic gradients for seepage-induced failure of landslide dam, Geoenvironmental Disasters, 3(1), 9.
- Pabst, M., Engemoen, B., Hanneman, D., Redlinger, C., Scott, G., 2012, Heave, uplift, and piping at the toe of embankment dams - A new perspective, Association of State Dam Safety Officials - Dam Safety 2012, 1, 1-12.
- Ponce, V. M., 2020, Dr. Victor Miguel Ponce website, [http://ponce.sdsu.edu/teton\\_dam\\_failure\\_photos.html](http://ponce.sdsu.edu/teton_dam_failure_photos.html), erişim tarihi: 27.10.2020.
- Pradel, D., Wartman, J., Tiwari, B., 2013, Failure of the Fujinuma dams during the 2011 Tohoku earthquake, In Geo-Congress 2013: Stability and Performance of Slopes and Embankments III, p.1559-1573.
- Redlinger, C. G., 2013, Wister Dam-1949 Partial Failure, Presentation at ICOLD European Working Group on Internal Erosion Meeting, Vienna, p.34-47.

- Schuster, R.L., Costa, J. E., 1986, Perspective on landslide dams, R. L., Schuster (Eds), Landslide Dams Processes, Risk and Mitigation, ASCE Special Publication, vol. 3, p. 1-20.
- Seed, H. B., Lee, K. L., Idriss, I. M., Makdisi, F. I., 1975, The slides in the San Fernando dams during the earthquake of February 9, 1971, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 101(7), 651-688.
- Seed, H. B., Makdisi, F. I., De Alba, P., 1978, The performance of earth dams during earthquakes, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 104(7), 967-994.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., 1985, Filters and leakage control in embankment dams, In Seepage and leakage from dams and impoundments, ASCE, 1-30.
- Tosun H., Kilbiyik M., 2006, İnternal erosion resulted from dispersive soils in earthfill dams and a case study, Dam Safety 2006, ASDSO's Annual Conference, p.152-165.
- Tosun, H. (2002). Dolgu baraj depremselliği ve tasarım esasları, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 208 s. 99-100.
- Tosun, H., 2015, Earthquakes and dams, In Earthquake Engineering-From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures, IntechOpen, p.189-202.
- Tosun, H., Zorluer, İ., Savaş, H., Taşkıran, Ö., Demirkol, H., Kar, A., 1999, Temel sorunlarından oluşan baraj göçmeleri. Osmangazi Üniversitesi, Geoteknik Yayınları Serisi: 99/1, Eskişehir, 95 s.
- USACE, 2004, General design and construction considerations for earth and rock-fill dams. Engineer Manual, U.S. Army Corps of Engineers, 130 p. (unpublished).
- USBR, (United States Bureau of Reclamation), 1987, Design of small dams, Water resources technical publication, p.452.
- USBR, 2011, Design Standard No. 13. Embankment dams, protective filters, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, p.1-191.
- USBR, 2015, IV-4. Internal Erosion Risks for Embankments and Foundations, Bureau of Reclamation U.S, Technical Report, 134 p. (unpublished).
- Van Beek, V.M., De Bruijn, H.T.J., Knoeff, J.G., Bezuijen, A., Förster, U., 2010, Levee failure due to piping: A full-scale experiment., In Scour and Erosion, p.283-292.
- Vuola, P., Konrad, J.M., Bartsch, M., 2007, Effects of frost and thaw on dams, Report, Deutsches Talsperrenkomitee , 13, 56 p. (unpublished).
- Wahl, T. L., 1997, Predicting embankment dam breach parameters-A needs assessment. In Proceedings Of The Congress-International Association for Hydraulic Research, 48-53.

- Wahler, W. A., 1973, Analysis of coal refuse dam failure: Middle Fork Buffalo Creek, Saunders, West Virginia. Bureau of Mines, p.1-274.
- Wan, C.F., Fell, R., 2002, Investigation of internal erosion and piping of soils in embankment dams by the slot erosion test and the hole erosion test-interpretative report, 325 p. (unpublished).
- Zhang, J. M., Yang, Z., Gao, X., Zhang, J., 2015, Geotechnical aspects and seismic damage of the 156-m-high Zipingpu concrete-faced rockfill dam following the Ms 8.0 Wenchuan earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 76, 145-156.



## Kara Yollarında Üstyapı Malzeme Çalışmaları

**Adem Ahıskalı<sup>1</sup>**

### Özet

Karayolları, modern ulaşım ağlarının bir arada bulunduğu elamanları bünyesinde barındıran büyük bir altyapı unsurudur. Karayollarının kendi içinde hizmet odaklı çalışmalarda aktarıma yardımcı olunan elemanlar bütünü de içermektedir. Oluşturulan bu yolların öncelikli olarak güvenlik, dayanım ve hizmet ömrünün yüksek kalitede olması istenilmektedir. Karayolları üstyapısında bulunan elamanların araç ve yolcu için daha büyük bir öneme sahiptir. Üstyapı altyapı sistemleri ile birlikte yol kaplamalarının bütünlüğüdür. Üstyapı kaplamaları, trafik yüklerini istenilen düzeyde absorbe edebilen, bunu yapar iken çevresel etkileri de koruyabilen bir karayolu yapı elemanıdır. Karayolları üstyapısında oluşabilecek birçok bakım ve onarım gerektiren uzun süreçlerde, üst yapı özelliğinin daha aktif olarak kullanıcılara ( yük, yolcu ..) emniyet ve konfor sunması için iyileştirmeler gerekmektedir. İhtiyaç duyulan bu iyileştirmeler karayolu üstyapısındaki malzemelerin kalite standartlarının artırılması için yapılan deneysel çalışmalar ile alınacak sonuçlara göre bir düzenleme yapılmasıdır. Deneysel çalışmalardan alınan verilerin ışığında üst yapı malzemelerinde modern bir anlayışın devam etmesi sağlanmalıdır. Modernize edilen malzemeler için gerekli görülen geometrik çalışmalarında aynı hızla devam etmesi bu konuda bütünlük sağlayacaktır. Bütünlüğün birbirleri arasındaki uyumda buna eklendiğinde hizmet verilen ve alan için istenilenler karşılanmış olacaktır. İhtiyaçlar doğrultusunda yapı malzemelerinin hem ekonomik hem de emniyet hususunda istenileni karşılaması çalışmaların birinci dereceden önceliği olarak görülmüştür. Çevresel etki değerlendirme raporlarının, yapılan çalışmalardaki eksikliklere karşı önlem alınması gereken hususları geleceğimizin teminatı olarak uygulama gereksinimi de vardır. Geleceğe temiz bir dünya bırakmamız için karbon izi salınımını sürdürülebilirlik olarak detaylı bir şekilde aktarılması gerekmektedir.

Sonuç olarak çalışmaların yapı malzemesi, tasarım ilkeleri, geometrik standartlar, çevresel etki değerlendirilmesi gibi önemli başlıklar vardır. Bu başlıklar altında anlatılmak istenilen emniyet ve ekonomik yapıların sürdürülebilirlik önceliği taşımasıdır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, e-mail : ahiskali@kastamonu.edu.tr  
Orcid ID : 0000-0002-1265-7312



## 1. Kaplama Malzemeleri ve Türleri

Karayollarında ulaşımı sağlayacak ana unsurlardan birisi üst yapılardır. Üst yapılarda kaplama tipine ve özelliklerine göre sınıflandırılması yapılmaktadır. Kaplama tipine göre sınıflandırılan bu yollarda yolun öncelikli olarak belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda ön hazırlıklarının yapılması sağlanır. Geometrik olarak tasarlanan yolların, üst yapı tasarımı önceden hazırlanan projedeki niceliklerine ve niteliklerine uygun bir şekilde imalat ve yerleştirme yapılır.

### 1.1. Asfalt Kaplamalar

Genellikle stres altında bulunan zeminlerde uygunluğu sağlayan bu tür kaplamalarda, beklenen özellik yumuşak bir yüzey ve elastik özelliklerinin yansımasıdır. Yol yapım tekniği olarak asfalt kaplamalar otoyol, otopark, açık hava alanları, pistler gibi çeşitli alanlarda kullanımı bulunmaktadır. Asfalt kaplamaların istenilen kalitede çıkabilmesi için ön hazırlıklarının yapılması gerekmektedir. Bu hazırlıkların zaman aldığı bilinse de uygulama içerisinde kolaylık sağladığı için ön hazırlığa daha fazla önem verilmektedir (Yardım & Yıldırım, 2022). Asfalt kaplamada görsel olarak örnek teşkil etmesi için şekil 1.1 de gösterilmiş olan örnektir.



*Şekil.1.1 Asfalt Kaplama Görünümü*

*(Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, 2023)*

Asfalt, özellikle bitüm ile olan bağlayıcılığının sağlanmasının üzerine çeşitli eleklenden geçen agregalarında katılması sonucu oluşan üst yapı elemanlarında kullanılan bir malzemedir. Kaplamaların asfalt ile olmasının yolcu ve yük için daha emniyetli olduğu düşünülmektedir. Stres altında

bulunan zeminlerde kullanımı daha sık görülmektedir. Ancak buna aksi su ve donma çözülme olaylarında ne kadar verimli olduğu tartışılmaktadır.

Kaplama türlerinden en çok kullanılan asfaltlar, ülkemizde birçok ulaşım üst yapısında tercih edilenlerde ilk sıralarda yer almaktadır. Asfalt kaplamaların karayolları genel müdürlüğünün planetlerinde özel reçeteler ile hazırlanması ve ihtiyaç duyulan bölgeye intikali sonucunda yerleştirme sağlanmaktadır. Asfalt kaplamalarda imalatın ardından imal edilen ürünün taşımacılığı yapıp son olarak yerleştirme ve uygulama sahasındaki testleri yapılmaktadır. Buna ek olarak sonrasında bakım ve onarım uygulamalarında yer almaktadır.

### 1.1.1. Asfalt Kaplamalarda Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmalarda özellikle bakım ve onarıma el verişsiz olan asfaltın bulunduğu yerden kaldırılarak tekrardan belirli oranlar çerçevesinde karayollarında kullanılabilirliği ölçüklendirilmiştir. Sabit olarak tutulması gereken su/çimento oranlarının ardından oluşan yayılmanın 13,6 cm geldiği ve çalışmanın diğer ana unsurları ile ilişkilendirilemediği öne sürülmüştür. Geri kazanılmış asfaltların arasındaki ve referans numunelerinin geri kazanılmış asfaltlar arasındaki ilişkisinde, eğilme ve basmada, geri kazanılmış asfaltın değersel olarak düşüş gösterdiği aktarılmıştır. Çok testten sonra elde edildiği görülen sonuçlarda geri kazanılmış asfaltların sürdürülebilirlik ve modern kentlerin yapımında ne kadar kullanılabilirliğinin üzerine ön ayak olmuştur (Gündoğdu, 2023).

Temel vurgusu, temel kurs katmanının performansını iyileştirmek için geri kazanılmış asfaltları çarpışma agregasıyla birlikte kullanma olasılığını belirlemek ve yüksek kaliteli kırılmış agrega malzemelerinin ve/veya kimyasal dengeleyici maddelerin (çimento) eklenmesinin geri kazanılmış asfaltları yol temel kurslarının bir bileşeni olarak güçlendirmek için nasıl kullanılacağını belirlemektir. Ek olarak, bu temel kurs katmanının taşıma ve geçirgenlik kapasitesi açısından kalitesini ve performansını etkili bir şekilde artırabilen en iyi optimum geri kazanılmış asfalt çarpışma agregası ve kimyasal dengeleyici madde kombinasyonlarını belirlemeyi içeriyordu (Ameen Mohammed Amen, 2022).

Çalışması yapılan bir diğer husus ise geri kazanılmış asfalt kaplama ve ksantan sakızı ile işlenmiş siltli kumun geoteknik incelenmesidir. Bu genellikle geri kazanılmış asfaltın zemin iyileştirmede kullanılabilirliği açısından ele alınmış bir deneysel çalışmadır. Geri dönüştürülmüş inşaat atığı malzemenin ve çevre dostu bir biyopolimerin yerel toprağın stabilizasyonu üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde araştırmaktadır. Geri kazanılmış asfalt

kaplamanın (RAP) ve çevre dostu biyopolimer Ksantan zambanının (XG) siltli kum (SM) doğal toprağı üzerindeki etkisini incelemek için bir laboratuvar ortamında bir dizi deney yürütüldü. Farklı kütleme sürelerinde farklı SM, RAP ve XG kombinasyonlarını içeren çeşitli numuneler hazırlandı. Bu numuneler bir dizi teste tabi tutuldu. Teste tabi olunan numuneler arasında geri kazanılmış asfaltın zemin üzerinde de iyileştirme için kullanılabilirliği ölçülmüş oldu (Bal, 2024).

Çevreye verilen zararların, nihayetinde insan ve işçi sağlığını tehdit edeceği bilinciyle yola çıkılarak, yol yapımında kullanılan beton ve asfalt kaplamaların; ham maddeden, yola serimine kadar olan süreçteki çevreye olan zararlı etkileri karşılaştırılmıştır. Son zamanlarda yaygınlaştırılması için üzerinde birçok araştırma, çalışma ve deneme yolları yapılan beton kaplamalı yollar, ülkemizde hala en çok tercih edilen kaplama çeşidi olan bitümlü sıcak karışımlar (BSK) kaplamalı asfalt yollar ile çevreye verdikleri zararlar açısından karşılaştırılmıştır. Beton ve asfalt kaplamalı yolların ocaktan başlayan ve atık hale gelene kadar olan yolculuğundaki üretim, nakliye, uygulama, bakım gibi aşamalarda ortaya açığa çıkan karbondioksit eşdeğeri ve partiküler madde emisyon faktörleri kullanılmıştır. Yüksek taşıma gücü sayesinde aynı trafik yükünde asfalt kaplamalara göre daha az kaplama kalınlığı gerektirir. Yüksek mikro dokusu sayesinde daha kısa fren mesafesi sağlar ve yüksek kayma direnimi sayesinde daha düşük su kızığı etkisine sahiptir. Özellikle ülkemizde yük taşımacılığının %90 oranında karayolu ile yapılması nedeniyle asfalt kaplamalı yollarda sıkça görülen kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, ondülasyon, yığılma vb.) beton yollarda gözlenmez (Özırmak, 2019).

## 1.2. Beton Kaplamalar

Beton kaplamaların olduğu karayolu üst yapılarında ihtiyacın genellikle dayanıklı olmasını ve emniyetli bir şekilde malzemelerin uzun kullanım süresine sahip olması istenmektedir. 1950 yılında kurulmuş Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğundaki otoyolların tamamı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalıdır. Bu sebeple ülkemizde asfalt yol yapımına dair belirgin bir tecrübe mevcuttur. Ayrıca ucuz bitüm de sağlanabilmiştir. Bunun da etkisi ile tüm karayolları düşünüldüğünde; günümüzde beton kaplamalı yolların oranı sadece %6'dır. Açık renkli olduklarından özellikle güneşli havalarda göz kamaşmasına sebep olabilir, bunun yaşanmaması için betona boya karıştırılabilirse de maliyeti etkilediğinden kullanımı çok yaygın değildir. Derzli donatılı ve derzli donatısız uygulamalarda derzler ve drenaj amaçlı açılan ince kanallar sebebiyle tekerlek gürültüsü yapabilir, sarsıntıya sebep olabilir Kayma demiri yerleştirilirken, dokulu yüzey oluşturulurken ve derz kesimi yapılırken ince işçilik ve zamana ihtiyaç duyulması. Trafik

altında çalışmaya uygun değillerdir, bakım - onarım sırasında servis yolu gerektirebilir. Yolun trafiğe açılması için beton kaplamanın belirli bir dayanıma ulaşması beklenmelidir. Bakım - onarım çalışmaları uzun süreli ve maliyetlidir. Altyapı çalışmaları için kaplamanın kırılması gereklidir (Kozak, 2011). Beton yol kaplamasına örnek olarak şekil 1.2 de gösterilmiştir.



*Şekil 1.2 Beton Kaplamalı Yol*

Beton yolların kullanımı dayanıklılık önceliği ile yapılması ve üstyapı elemanı tercihlerinden asfalt kaplamaya nispeten daha az kullanılmaktadır. Konfor ve emniyet konularında diğer kaplamalardan farklı olarak daha az sıklıkla kullanımı tercih edilir. Beton yollar, asfalt yollarda kullanılan asfalt betonu aksine çimento betonu kullanılarak yapılmış yollardır. Aslında bu tür yollara adını veren yolun kaplaması olan betondur. Bu kaplamalar hafif, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılabilir. Kaplamaların genel özelliği olarak, betonun buradaki görevi de üzerine gelen tekerlek yüklerini tabana yaymak ve tabanın deforme olmasına engel olmaktır. Beton için harmanlar şeklinde sahaya vagonlar veya kamyonlar ile getirilen malzemelerin plentte kullanılması yanı sıra hazır beton da kullanılır. Döküm alanına çağırılan hazır beton mikseri, servis yolu olmadığı sürece, düzenlenen taban zemini üzerinde gideceğinden, tesviyesi iyi yapılmayan veya iyice sıkılaştırılmayan tabanda bozukluklara sebep olabilir (Özırmak, 2019).

### **1.2.1. Beton Yollar Üzerine Deneysel Çalışmalar**

Beton üretmek için gereken gerekli olan en önemli bağlayıcı malzeme Portland çimentosudur. Portland çimentosu çimentosunun küresel iklim değişikliğine değişikliği üzerinde önemli ölçüde bir katkıda etkisi bulunmaktadır, var çünkü 1 ton çimento üretimi üretmek yaklaşık 1000 m<sup>3</sup> metreküp karbondioksit üretmektedir üretiyor. Geopolimer beton, alüminosilikatların alüminosilikatların alkali aktivasyonu aktivasyonu yoluyla üretilir ve amorf ile yarı kristal bir yapıya sahiptir. Geçirgen bir beton kaplama kaplamalar, yüzey akıntıyı akışını toprağa sızmadan önce emer, depolar ve

altta altında yatan bir taş rezervuara rezervuar sahip olabilir bulunabilir. Bu çalışma, uygun bir karışım miktarı miktarları geliştirerek geliştirilerek ve ayrıca geopolimer geçirimli geçirgen betonun karakteristiklerini özelliklerinin belirleyerek belirlenerek, geopolimer her geçirgen iki beton malzemenin üretmek bir için arada kullanılarak, her iki malzemenin sahip olduğu iyi özellikler özelliklerinden nedeniyle yararlanılarak her geopolimer iki geçirimli malzemeyi beton birlikte üretilmesi kullanmayı amaçlamaktadır amaçlanmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda iri agregaya içeren geopolimer beton karışımlarının karışımının geliştirilmesini de amaçlamaktadır (Abdulmjeed, 2022).

Polipropilen liflerin betonun dayanıklılığını artırabileceğini göstermektedir. Gerçekleştirilen araştırma, liflerin beton karışımlarında kullanılmasının çatlama ve deformasyon risklerini azalttığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, bu tür eklemeler, yol kaplamalarının ömrünü de uzatmaktadır. Beton kaplamalarda suyun etkisi önemlidir. Su geçirimsizliğini azaltan katkı maddeleri kullanmak, beton yapının uzun ömürlü olmasında yardımcı olmaktadır. Özellikle, suyun penetrasyonunu önleyen ve donma-çözülme döngülerinin etkilerini azaltan katkı maddeleri üzerine yapılan araştırmalar, dayanıklılık konusunda önemli veriler sunmaktadır. (Küleççi & Çullu, 2021). (Tuğrul Tunç, 2020).

Kaldırımlar, ulaşımı, ekonomik kalkınmayı ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesini desteklemek için sivil altyapının temel bir bileşeni olarak işlev görür. Sürekli artan yol mesafeleri ve ortaya çıkan işlevsel gereksinimlerle, daha önce çalışmış olan basit prosedürler ve kümülatif ancak yöntemsiz personel deneyimi artık kaldırım ağlarının sürekli genişlemesini yönetmemektedir. Ek olarak, büyük kaldırım ağlarını tatmin edici durumda tutmaya yönelik geleneksel yaklaşımlar kaçınılmaz olarak önemli bütçe ve çevresel yüklerle yol açmaktadır. Bu, karar vericilerin dengelemesi gereken sürdürülebilirliğin çok boyutlu sütunları (çevre, toplum ve ekonomi) arasındaki gerginlikleri daha da kötüleştirilmektedir. Sonuç olarak, etkili ve verimli bir kaldırım yönetim sistemi geliştirmek için kritik bir kısımdır. Bu tezdeki araştırma, sürdürülebilir kaldırım yönetimi için metodolojik bir karar destek çerçevesi önermekte ve bunu birkaç yeni yeşil kaldırım teknolojisinde (örneğin yerinde geri dönüşüm, kauçuklaştırılmış asfalt, ılık karışım asfalt ve düşük gürültülü gözenekli asfalt kaldırım) uygulamaktadır. Tüm çerçeve, proje düzeyi ve ağ düzeyi olmak üzere iki genel karar düzeyinden oluşmaktadır. İki karar düzeyi sistem sınırlarında farklılık gösterse de rakipler arasında optimum alternatiflerin seçimine yönelik aynı nihai prensipleri paylaşırlar. Bu çalışmayla belirlenen sürdürülebilirlik hedefleri yalnızca en iyi yol kaplaması faydasını elde etmekle kalmayıp, aynı zamanda alınan her karardan kaynaklanan ekoloji üzerindeki

etkileri en aza indirmek için de tasarlanmıştır. Sürdürülebilir yol kaplaması yönetimini iki karar alma düzeyinde gerçekleştirmek için, çerçevede çeşitli sürdürülebilir değerlendirme, entegrasyon ve optimizasyon teknikleri geliştirilmiş ve birbirine bağlanmıştır. Proje düzeyinde, yol kaplamasıyla ilgili yaşam döngüsü sürdürülebilirlik göstergeleri (örneğin, çevresel etki, maliyet ve performans) belirlenip değerlendirildikten sonra, alternatiflerin nihai belirlenmesini desteklemek için entegrasyon yöntemi ilk olarak tek boyutlu entegrasyon (yani, maliyet-fayda entegrasyonu) geliştirilerek gerçekleştirildi ve eko-verimlilik kavramının çok boyutlu entegrasyon olarak uygulanmasıyla (yani, eko-verimlilik entegrasyonu) daha da iyileştirildi. Bahsedilmiş olan konularda varılan ortak görüş, yapılan çalışmalar neticesinde alınmıştır (Cao, 2019).

## 2. Tasarım İlkeleri

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamaları, güvenli ve konforlu bir ulaşım sağlamak amacıyla belirli tasarım ilkelerine dayanarak geliştirilir. Bu ilkeler, yolun geometrik standartları, malzeme seçimi ve yapı tasarımı gibi unsurları kapsar.

### Geometrik Standartlar

- Yol tasarımında geometrik standartlar, yolun güvenli ve konforlu bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu standartlar arasında:
- Görüş Mesafesi: Taşıtların güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için yeterli görüş mesafesinin sağlanması gerekir. Bu, sürücülerin yol koşullarını zamanında değerlendirmelerine olanak tanır.
- Yatay ve Dikey Eğriler: Yolun yatay ve dikey eğrileri, sürüş konforunu etkileyen önemli faktörlerdir. Dönüş yarıçapları ve eğim oranları, yolun sınıfına göre optimize edilmelidir.

### Kaplama Malzemeleri

- Kaplama malzemeleri, yolun dayanıklılığını ve performansını etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Farklı kaplama türleri şunlardır:
- Asfalt Kaplama: Genellikle yüksek trafik yüklerine dayanıklıdır ve hızlı bir inşa sürecine sahiptir.
- Beton Kaplama: Uzun ömürlüdür ve ağır taşıt trafiğine karşı daha dirençlidir.
- Stabilize ve Toprak Yollar: Daha düşük maliyetli seçeneklerdir ancak bakım gereksinimleri daha yüksektir.



### Tasarım Süreci

- Yol tasarım süreci, aşağıdaki adımları içerir:
- Trafik Tahmini: Gelecekteki trafik miktarının tahmin edilmesi, yol kapasitesinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.
- Ekonomik Analiz: Yolun inşası ve bakım maliyetleri göz önünde bulundurularak en ekonomik çözümün belirlenmesi gereklidir.
- Çevresel Etkiler: Yol tasarımında çevresel faktörlerin de dikkate alınması, sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

### Güvenlik İlkeleri

- Yol tasarımında güvenlik ilkeleri, kazaların önlenmesi için uygulanmalıdır. Bu ilkeler arasında:
- Şev Eğimi: Yüksek şev eğimleri, araçların yoldan çıkma riskini artırabilir; bu nedenle daha yatık şev eğimleri tercih edilmelidir.
- Drenaj Sistemleri: Su birikintilerini önlemek için etkili drenaj sistemlerinin tasarlanması gereklidir.

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının tasarımı, çok sayıda faktörü dikkate alarak gerçekleştirilmelidir. Geometrik standartlar, kaplama malzemeleri ve güvenlik ilkeleri, yolun işlevselliğini artırmak için titizlikle uygulanmalıdır. Bu tasarım ilkeleri, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla sürekli olarak güncellenmeli ve iyileştirilmelidir.

(Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005). (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). (Alkan & Komut, 2023).

### 3. Uygulama Yöntemleri

Karayolu üst yapı kaplamalarının uygulanması, çeşitli aşamaları ve yöntemleri içermektedir. Bu süreç, yol projesinin hazırlanmasından başlayarak inşaat aşamasına kadar uzanan bir dizi adımı kapsamaktadır.

#### Proje Hazırlığı

- Yol yapım süreci, öncelikle proje hazırlığı ile başlar. Bu aşamada gerçekleştirilen çalışmalar şunlardır:
- Yol Güzergahının Etüdü: Yolun geçeceği arazinin belirlenmesi için yapılan ilk etüt çalışmalarıdır. Bu aşamada, alternatif güzergahlar değerlendirilir ve en uygun olanı seçilir.



- Kesin Güzergahın Aplikasyonu: Seçilen güzergah üzerinde detaylı ölçümler yapılır ve haritalar oluşturulur. Bu süreçte poligon ağları kurulur ve halihazır haritalar çıkarılır.
- Hacim Hesapları ve Maliyet Analizi: Toprak işleri için hacim hesapları yapılır ve yol maliyetleri belirlenir.

#### İnşaat Aşaması

- Yol yapımının inşaat aşaması, aşağıdaki temel adımları içerir:
- Şev Kazıklarının Çakılması: Yol yapımında, şevlerin stabilizasyonu için kazıklar çakılır.
- Alt Yapının İnşası: Bu aşamada toprak işleri, drenaj sistemleri ve sanat yapıları (menfez, köprü, viyadük vb.) inşa edilir. Alt yapı, yolun dayanıklılığını artırmak için kritik öneme sahiptir.
- Üst Yapının Yapılması: Alt temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakası gibi üst yapı elemanları oluşturulur. Asfalt veya beton kaplama gibi malzemeler kullanılarak yol yüzeyi tamamlanır.
- Yol Aksesuarlarının Montajı: Şerit çizgileri, bordürler ve oto korkuluklar gibi aksesuarlar eklenerek yolun işlevselliği artırılır.

#### Performans İzleme

- Kaplama uygulamalarından sonra yol performansının izlenmesi önemlidir:
- Düzgünlük Ölçümü: Uluslararası Düzgünlük İndeksi (IRI) gibi ölçüm yöntemleri kullanılarak yol yüzeyinin düzgünlüğü değerlendirilir.
- Güvenlik Analizleri: Yol güvenliğini sağlamak için çeşitli güvenlik standartları kontrol edilir.

Karayolu üst yapı kaplamalarının uygulanması, titiz bir planlama ve çeşitli aşamaların entegrasyonunu gerektirir. Proje hazırlığından inşaat aşamasına kadar her adımın dikkatlice yönetilmesi, yolun uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlar. Farklı kaplama yöntemlerinin seçimi ise yolun kullanım amacına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005). (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016).

## 4. Çevresel ve Ekonomik Etkiler

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının çevresel ve ekonomik etkileri, projelerin planlama, uygulama ve işletme aşamalarında dikkate alınması gereken önemli unsurlardır. Bu etkilerin değerlendirilmesi, sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmak için kritik öneme sahiptir.

### 4.1 Çevresel Etkiler

Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED), bir projenin çevre üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini belirlemek amacıyla yapılan sistematik bir süreçtir. ÇED süreci, aşağıdaki unsurları içerir:

**Doğal Ortam Üzerindeki Etkiler:** Yol yapımı, doğal habitatların tahrip olmasına, su kaynaklarının kirlenmesine ve biyoçeşitliliğin azalmasına yol açabilir. Projeler, bu etkilerin en aza indirilmesi için önlemler içermelidir.

**Hava Kalitesi:** İnşaat süreci sırasında ortaya çıkan toz ve emisyonlar, hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, inşaat sırasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlemler alınmalıdır.

**Gürültü Kirliliği:** Yol trafiği ve inşaat faaliyetleri gürültü kirliliğine neden olabilir. Gürültü seviyelerinin kontrol altına alınması için ses yalıtım yöntemleri uygulanmalıdır.

**Toprak ve Su Kirliliği:** Proje alanındaki toprak ve su kaynakları, inşaat malzemeleri ve atıkların yanlış yönetimi sonucunda kirlenebilir. Bu nedenle, etkili atık yönetim sistemleri kurulmalıdır.

### 4.2 Ekonomik Etkiler

Karayolu projelerinin ekonomik etkileri hem doğrudan hem de dolaylı olarak toplum üzerinde önemli sonuçlar doğurabilir:

**Yatırım Maliyetleri:** Karayolu yapım maliyetleri yüksek olabilir; bu nedenle projelerin finansal sürdürülebilirliği sağlanmalıdır. Ekonomik analizler, projenin maliyetini ve beklenen faydalarını değerlendirmek için kullanılmalıdır.

**İstihdam:** Yol yapım projeleri, yerel iş gücüne istihdam sağlayarak ekonomik büyümeye katkıda bulunur. Ancak, bu istihdamın sürdürülebilir olması için proje sonrası iş olanaklarının da sağlanması önemlidir.

**Ticaret ve Ulaşım Kolaylığı:** Gelişmiş karayolu altyapısı, ticaretin artmasına ve ulaşım maliyetlerinin düşmesine yardımcı olur. Bu durum, bölgesel ekonomik kalkınmayı destekler.

**Bakım Maliyetleri:** Yol kaplamalarının uzun ömürlü olması, bakım maliyetlerini azaltır. Ancak tasarım hataları veya düşük kaliteli malzeme kullanımı, uzun vadede yüksek onarım maliyetlerine yol açabilir.

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının çevresel ve ekonomik etkileri, projelerin başarısı için kritik öneme sahiptir. ÇED süreçleri aracılığıyla çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve önlenmesi gereken durumların belirlenmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, ekonomik analizler ile projelerin sürdürülebilirliği artırılmalı ve yerel ekonomilere katkı sağlanmalıdır. Bu yaklaşım hem çevre koruma hem de ekonomik kalkınma hedeflerinin dengelenmesine yardımcı olacaktır (Şengün, Öztürk, & Yaman, 2020) ([htt](#)) (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

## 5. Gelişen Teknolojik Atılımlar

Karayolları uygulamaları için geliştirilen birçok ürün ve malzemenin yanı sıra arge çalışmalarında alınan sonuçlar sahada daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Kara yollarında ulaştırma üst yapı kaplamaları, teknolojik gelişmelerin etkisiyle sürekli olarak evrim geçirmektedir. Bu gelişmeler, hem yol güvenliğini artırmakta hem de sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunmaktadır. Aşağıda, bu alandaki önemli teknolojik yenilikler ve uygulama yöntemleri özetlenmiştir.

### Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)

Akıllı ulaşım sistemleri, yol altyapısının yönetiminde ve trafik güvenliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, GPS ve kablosuz teknolojiler kullanarak karayolu ağı ile araçlar arasında etkileşim sağlar. Özellikle otoyollarda buzlanma, yol kapanması gibi durumları önceden bildiren sistemler, kazaların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

### Yüksek Performanslı Malzemeler

Geleneksel asfalt karışımları, artan trafik yükleri ve değişen zemin koşulları karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yüksek performanslı malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır:

**Polimer Modifiye Bitüm (PMB):** Bu tür bitümler, asfalt kaplamaların dayanıklılığını artırmakta ve sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyetini azaltmaktadır.

**Taş Mastik Asfalt (SMA):** Özellikle ağır trafikli yollarda kullanılan SMA, yüksek kayma direnci ve dayanıklılık sunarak uzun ömürlü kaplama çözümleri sağlamaktadır.

### Mekanistik-Ampirik Tasarım Yöntemleri

Mekanistik-ampirik tasarım (M-E) yöntemleri, yol üst yapısının daha gerçekçi ve sürdürülebilir bir şekilde tasarlanmasını sağlamaktadır. Bu yöntemler, zemin, malzeme ve iklim koşullarını dikkate alarak yol performansını optimize eder. ABD’de geliştirilen MEPDG (Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Rehberi), bu alandaki en önemli referanslardan biridir.

### Çevre Dostu Uygulamalar

Gelişen teknolojilerle birlikte çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir. Yeni asfalt üretim süreçleri ile emisyonların kontrol altına alınması sağlanmakta; ayrıca erozyon kontrolü ve peyzaj çalışmaları ile çevreye duyarlı projeler geliştirilmekte.

### Otomatik Kontrol Sistemleri

Yol yapımında kullanılan ekipmanlar artık otomatik kontrol sistemleri ile donatılmaktadır. Bu sistemler, inşaat sürecinin kalitesini artırmakta ve çevreye olan etkileri minimize etmektedir. Ayrıca, bu ekipmanların verimliliği artırılarak maliyetlerin düşürülmesi sağlanmaktadır.

Kara yollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarında gelişen teknolojiler hem yol güvenliğini artırmakta hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu, yüksek performanslı malzemelerin kullanımı ve mekanistik-ampirik tasarım yöntemlerinin benimsenmesi, gelecekte daha güvenli ve dayanıklı karayolu altyapıları oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu yenilikler hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacaktır.

## Kaynakça

- (tarih yok). <https://www.ekolekspertiz.com.tr/karayollarinda-yapim-kriterleri-cvreleri-yuksek-frekansli-hasar-turleri-ve-oneriler/> adresinden alındı
- Abdulmjeed, R. (2022, Haziran). Design And Mechanical Properties Of Geopolymer Pervious Concrete Pavement Cured By Ambient Condition. *Doktora Tezi*. Gaziantep: Hasan Kalyoncu University Institute Of Graduate Studies.
- Alkan , M. A., & Komut, M. (2023). *KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR REHABİLİTASYON TASARIM REHBERİ*. Ankara: ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI ÜSTYAPI GELİŞTİRME ŞUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ.
- Ameen Mohammed Amen, R. (2022). THE USES OF MILLED RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) BLENDED WITH. *Yüksek Lisans Tezi*. Şanlıurfa: Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü. (2023). *Asfalt Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Uygulama Rehberi*. Ankara: T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. <https://asfamak.com/>: <https://asfamak.com/sicak-asfalt-uygulamasi/> adresinden alındı
- Bal, H. (2024, Ocak). GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT AND XANTHAN GUM TREATED SILTY SAND. *Yüksek Lisans Tezi*. Gaziantep: REPUBLIC OF TÜRKİYE GAZİANTEP UNIVERSITY.
- Cao, R. (2019, December). Development of a multi-dimensional life cycle analysis framework towards sustainable pavement management on project and network levels. *Doktora Tezi*. The Hong Kong Polytechnic University .
- Çevre, Şchircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022, Temmuz Cuma). ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ YÖNETMELİĞİ. (31907). Resmi Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/07/20220729-2.htm> adresinden alındı
- Gündoğdu, S. (2023, Ağustos). Geri kazanılmış asfalt kaplamadan elde edilen agregaların çimento esaslı harçların davranışı üzerindeki etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*. Yalova: Yalova Üniversitesi Lisansüstü eğitim Enstitüsü Ulaştırma Mühendislik Anabilim Dalı .
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2005). *Karayolu Tasarımı El Kitabı*. Bayındırlık ve İskan Başkanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *Karayolu Tasarım El Kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü.

- Kozak, M. (2011). Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması. *TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR*, 7(1 ), 89-99. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi.
- Külekcı, G., & Çullu, M. (2021). The investigation of mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced composites produced with the use of alternative wastes. *24(3)*, 1171-1180. Politeknik Dergisi. doi:10.2339/politeknik.777832
- Özırmak, A. (2019, Nisan). BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı.
- Şengün, E., Öztürk, H. I., & Yaman, İ. Ö. (2020). Mekanistik-Ampirik ve Geleneksel Beton Yol Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Afyon-Emirdağ Deneme Kesimi. 10251-10274 . *Teknik Dergi*. doi:10.18400-tekderg.565709-1267841
- Tuğrul Tunç, E. (2020). Effect of Aggregates with Different Physical Properties on Concrete Strength for Different Water to Cement Ratio and Different Cement Content. *Research Article*, 20, 487-497. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi: 10.35414/akufemubid.668948
- Yardımlı, M. S., & Yıldırım, S. A. (2022, Ekim 24-26). Kazınmış Asfalt Kaplamaların Asfalt Üretiminde Yeniden Kullanımı. *Türkiye’de katı Atık yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, (s. 155-166). İstanbul.

## The Impact of Social Media Phenomena' On Fashion Through Social Media in Türkiye and New Trends in the World<sup>1</sup>

Mahmut Kayar<sup>2</sup>

Nuray Ceviz<sup>3</sup>

### Abstract

Social media has become an indispensable element of our lives with the development of technology and the increasing usage of smartphones. Individuals' instant access to any information they want has removed all the limits to accessing information. All sectors are affected by this technological development positively or negatively, and companies have to use social media tools not only to sell products to customers who use products but also to watch, listen, reach, communicate, get to know and evaluate them. Therefore, these channels have created some new concepts thanks to their users and as a result, some new job descriptions have emerged. One of these is social media influencers. It is seen that these influencers inform their followers about the textile products they use, direct them, and sometimes even block them, causing sales to decrease. This development, which companies cannot remain indifferent to, causes some brands in the sector to make agreements with these influencers. Within the scope of this study, the positive and negative effects of social media influencers on the fashion industry will be examined, and the attitudes of companies in social media and the power of influencers in the industry will be discussed. The data regarding the phenomena mentioned in the study are limited to the phenomena in Türkiye.

- 1 This book chapter is produced from the paper titled “The Impact of Social Media on Fashion: Social Media Phenomenons” presented at the 18th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering, Architecture and Mathematical Sciences (August 19-21, 2024 / Istanbul, Turkey).
- 2 Assoc.Prof.Dr. Mahmut Kayar, Marmara University, Technology Faculty, Department of Textile Engineering, İstanbul, Türkiye, mkayar@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0862-6900
- 3 Lect.Dr. Nuray Ceviz Marmara University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Textile Clothing Shoes and Leather, İstanbul, Türkiye, nuray.ceviz@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9670-6176

## 1. INTRODUCTION

With the developing technology and digitalization, social media has taken an important place in the lives of individuals and has become an indispensable part. These applications, which reduce the distances between individuals and allow them to reach each other at any time and be informed about each other, have also caused developments in every area of life. In particular, businesses have found the opportunity to feasibly identify the changing preferences and needs of individuals and their customers from these channels. Figure 1 shows the usage rates of social media tools in the world and our country as of 2022.

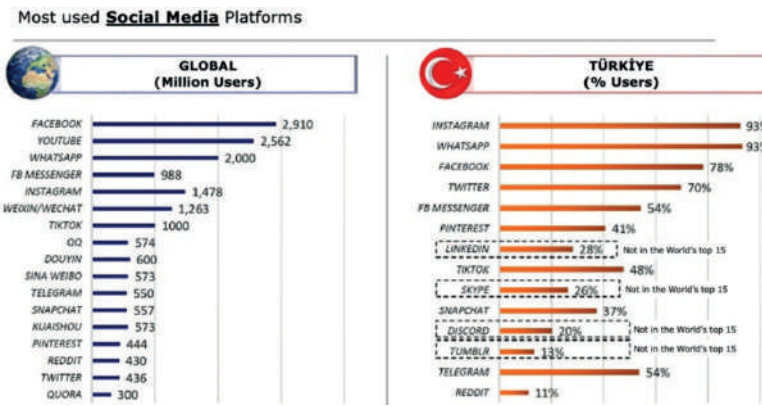


Figure 1. Use of Social Media Tools in the World (Users) and Türkiye (%) (Ceviz, 2020; GuncelVeri, 2024)

These developments and changes have brought the concept of digital marketing with them, and by moving the way of reaching their customers directly to electronic environments, it has enabled companies to reach their customers interactively. Purwar (2019) also defined digital marketing as the phenomenon that brings buyers and sellers together in an electronic environment through the web, e-mail, social networks, TV, online forums or mobile communication, considering these factors (Purwar, 2019). It is seen that social media networks are also stronger and more effective than traditional media tools in this context today (Close, 2012). Therefore, it is seen that social media platforms are also used effectively in digital marketing, and it reveals the need for all institutions and organizations to carefully use these channels where the society is located and to express themselves. It is seen that the rate of social media usage and related channels is increasing day by day (Statista, 2024) and thus the way individuals and institutions



communicate and interact with each other is changing (Dwivedi et al., 2021; Ki et al., 2020).

Social media is defined as a web-based formation where individuals create and share content in line with their wishes and preferences, and users communicate and interact with each other (Sütçü et al., 2014). It is seen that social commerce has also grown with these platforms that allow being online at all times (Collier, 2012). Consumers interact with other consumers, share their experiences, make recommendations or express their complaints. Over time, it has been seen that all consumers who use social media make a lot of searches for information about the products they want to buy and/or get ideas. Therefore, it has become a necessity for businesses to use social media tools to increase brand awareness, protect or improve their image, position their new brand or strengthen their current position. The way companies shape their marketing plans according to changing consumer trends may also change depending on social media (Dwivedi et al., 2021).

## **2. SOCIAL MEDIA PHENOMENA**

There are various social media tools, and platforms such as Facebook, Instagram, X, TikTok, LinkedIn, and YouTube stand out as the most well-known. The content and limitations of each social platform are different. Among these platforms, Instagram emerged as a picture-sharing platform and its content has changed over time. This platform, which allows sharing short videos, and multiple pictures together in different ways or live broadcasting, has brought some of its intensive users to the forefront over time and has introduced a new concept called “Influencer”, which is frequently encountered on the platform, and has entered Turkish as “phenomenon”.

This concept is known in our language with different names such as “impressive” and “opinion leader”. In general, influencers are defined as “people who have a certain level of knowledge about a product or subject and can influence the thoughts and behaviours of the masses” (Armağan & Doğaner, 2018). These people, who have a very large number of viewers and followers, provide their followers with their experiences about brands and products in many areas, along with their opinions (Öztek et al., 2021), and create an interactive environment with their opinions and knowledge. Thus, they take steps towards becoming a brand over time in these media where they reflect themselves as experts. These people regularly produce interesting content.

### **3. EFFECTS OF SOCIAL MEDIA PHENOMENA ON PURCHASING BEHAVIOR**

The challenges brought by the competitive environment and the diversification of product and service opportunities have caused differences in consumers' purchasing behaviours and have become complex. This situation has made it necessary for all brands producing products and services to understand their consumers better and act in line with their requests (Köseoğlu, 2002). It is seen that brands have discovered social media platforms to increase their sales and reach consumers quickly and accurately, and they have carried the developments here to a different area with phenomena with high follower numbers that shape consumers' purchasing behaviours (Canöz et al., 2020).

Social media has increased its impact on consumers with the development and spread of digitalization. Today's brands use social media platforms as an effective marketing tool to reach their target audiences and increase the popularity and awareness of their brands. Thanks to these platforms, they can provide faster and more interactive information flow to their consumers about the products they produce, enrich their collections with the opinions and suggestions of users and shape their brand strategies. Especially the widespread influencer marketing strategies can directly affect purchasing decisions in line with the high follower base and the reliability of the influencer (Çetin & Taşdemir, 2018; Öztekin et al., 2021). In this direction, Mangold and Faulds (2009) stated in their studies that social media tools should be considered within the promotion mix of marketing (Mangold & Faulds, 2009).

Especially consumers' identification with the individuals they follow without missing anything from their posts brings about FoMo behaviour. FoMo is called the emotional state that develops with social media marketing. It refers to the change in anxiety states of individuals who feel inadequate in the face of what others have (Przybylski et al., 2013). Followers feel left behind and miss something when they cannot follow (Çetinkaya & Şahbaz, 2020; Gil et al., 2015). In this context, it is possible to say that social media, which has a significant impact on the digital evolution of society, has a large share in the formation of FoMo. Because of their constant sharing, social media influencers present the products they use or the experiences they have with exaggerated expressions of satisfaction to their followers and create a fear of missing out on their followers. Especially female users of social media platforms are affected by this situation more than men (İşcan et al., 2024).

It is seen that influencers carry out the marketing strategy professionally through word-of-mouth communication (Sudha & Sheena, 2017) and over time, they have had a significant impact on consumers' purchasing decisions. The advice they give to their followers has had an impact on the sales of brands. Therefore, over time, many brands could not remain indifferent to the rise of influencers and started to use influencers as a communication tool to increase the recognition of their products, increase their sales or promote their brands and ensure their use. Therefore, brands choose influencers suitable for their target audiences and choose to collaborate with them. These collaborations can take place in the form of sending gift products, sponsoring the influencer, or over time, in the form of product promotion with story sharing (short-term sharing) for a certain fee or continuous sharing and directing sales by sending the product's sales link. Thus, the influencer can share a photo of the product, promote it by himself, provide information about the product features or convey his/her recommendations for the product to his/her followers in written or verbal form (Can & Koz, 2018). A study shows that 75% of marketing experts work with social media influencers (Vyatkina, 2020). Influencers are divided into 5 groups according to their number of followers: famous, mega, macro, micro and nano influencers. Although this situation greatly affects the fee part of their collaborations with brands, they can sometimes differ in terms of interaction and purchasing behaviour (Campbell & Farrell, 2020). For example, a study has shown that people who are normally uncomfortable with social media ads do not feel uncomfortable with the promotions of the influencers they follow and even behave moderately towards the brand. It is seen that followers want to get more information about the product and brand being promoted (Saritaş, 2018). Trust in the influencer helps to develop a sense of trust in the promoted product in the same way. Contrarily, there may be a sceptical approach to products promoted by an unpleasant influencer. These promotions, which were initially carried out naturally and without the knowledge of the brands, turned into commercial agreements over time, which can create the perception that the product is being promoted only for money, and therefore these products are also seen to be approached with suspicion (Al Mashh Adani, 2019; Woods, 2016).

Influencers can easily bring a brand together with its target audience. Thus, they are effective in attracting traffic to the brand's social media accounts and increasing interaction, and they can easily advertise the product or service with their posts (Patel, 2019). It is seen that the attractiveness of the phenomenon and the attitude towards the brand have a significant and positive relationship, and it is observed that sales increase (Ali & Temizkan,

2022). There are many studies in the literature showing that brands and advertisers turn their focus to this direction as a result of the positive change in purchase intentions following the positive effect of phenomenon marketing (Jansom & Pongsakornrunsilp, 2021; Jin et al., 2019; Khodabandeh & Lindh, 2021; Libunao et al., 2022; Sokolova & Kefi, 2020; Wiedmann & Von Mettenheim, 2020).

The YouTube platform is also called the new generation of television and offers the opportunity to create channels for many phenomena. On this platform, where channels that produce content such as the Youtube fashion channel provide service, it is seen that people present their ideas visually. On these platforms, which allow for longer live broadcasts, unlike Instagram, by getting together with their followers for a fee or free of charge, prominent fashion influencers in Turkey create fashion channels. These influencers share some of their posts with their followers on Instagram and create interaction between social platforms. In addition, the 123GO! Turkish channel stands out as the most important channel that explains different aspects of the fashion category (Adverport, 2020).

#### **4. THE EFFECTS OF SOCIAL MEDIA PHENOMENA ON CLOTHING STYLE**

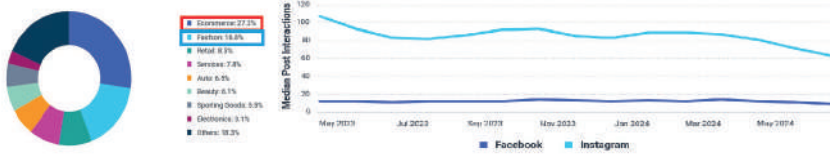
Social media tools enable new fashion trends to be shared and spread rapidly. Celebrities or social media influencers who share, offer suggestions to their followers with the combinations they make and can instantly attract the attention of millions of viewers, making these trends popular. Clothing styles evolve rapidly with followers and their shares, the advice received can be shaped again and again with comments and can spread rapidly (Kuşdoğan, 2023).

Although it seems that personal image is generally given importance with social media tools, followers can also take on the same personality as the clothes they see the influencers they follow wearing. While this situation creates everyone's brand and image, it can also reveal their clothing choices as sometimes original and sometimes as a copy tool. Thus, individuals can use clothes not as an article of clothing, but as a means of expression and belonging.

In addition, it is seen that the consumer culture is developing at an incredible speed, and the "perfection" perception brought by social media also triggers the desire to always look good and show it. Due to this social pressure, individuals have started to spend more money and spend more time in front of the mirror. Thus, it is seen that consumption has increased

on e-commerce platforms, especially considering the effects of the links given by influencers.

Figure 2 shows that the fashion category has the 2nd highest number of interactions with brand profiles on Instagram Worldwide. Also, according to TÜİK (Turkish Statistical Institute) data, sales especially in the clothing and footwear sector increased every year compared to the previous year and reached 5.4% as of 2023 (TÜİK, 2023).



*Figure 2. Total Interactions Distribution of Fashion brands Profiles on Instagram and Median Post Interactions (Emplifi, 2024).*

Card payment transactions in the clothing and footwear sector are also increasing every quarter term. Although no complete data has been shared yet regarding the effect of social media influencers on this situation, it can be concluded that both fashion brands and the most preferred e-commerce sites such as Trendyol and Hepsiburada make good sales with the agreements they make with social media influencers and the promotions they make on these influencers' pages and the links given to these sites, and that their contracts are renewed and they become more preferred. Because many sources show that human resources departments attach importance to influencer collaborations by 75% (Vyatkina, 2020) and that brands reach wider audiences and influence consumers' purchasing decisions through influencer collaborations (Gönülşen, 2020; HaberBülten, 21 Şubat 2024; Öztekin et al., 2021). When its effects on trade are examined, it is seen that the concept of "Influencer Marketing" or "Phenomenon Marketing" has entered the literature (Ki et al., 2020; MarketingTürkiye, 27 Ocak 2017; Öztekin et al., 2021).

It is possible to say that influencers promise their followers to be like them and therefore show them ways to be like them. Thus, it is seen that they create an impression on their followers such as "If you wear the clothes I wear, you can be as stylish as me" and that the followers are quite influenced by the lifestyle and style of the influencers (Alişarlı & Eken, 2018; Çayır Tahtali, 2018). In his field research, Doğan (2019) revealed that especially Instagram influencers are very effective in all categories such as press and

media outlets, non-governmental organizations or official institutions in terms of increasing the number of followers and influencing the followers with the tagging they do. In terms of awareness, he stated that celebrities such as singers and actors are more effective in influencer marketing (Tüney Doğan, 2019).

With this concept gaining more and more importance every passing day, it is stated that the importance of influencers has also increased and influencer marketing has now become an indispensable element of the marketing mix. It is seen that this situation contributes to the development of influencers and that they are able to produce higher quality content and provide more accurate information to their followers. It is stated that the collaborations made by brands through influencers are more effective, create interaction and increase sales by accelerating the promotion rather than their own promotion and advertising activities (MarketingTürkiye, 27 Ocak 2017).

The first major cooperation agreement in our country with influencers, which are especially preferred by fashion brands, is made by KOTON, who make their clothes visible on someone, erase questions such as “How will it look if I buy it?” from the minds of their consumers and make the product visible and present different colours and combinations together. The brand has reached an agreement with social media influencers who stand out with their own style and style suggestions with the “Koton Fashion Clup” project (Editör, 2020). The collaboration, which has been ongoing since 2020, has made a significant contribution to the sales of the brand’s products by presenting the brand’s products to its followers along with style suggestions. It is seen that the brand’s turnover continues to increase every year (PatronlarDünyası, 2024).

## **5. NEGATIVE EFFECTS OF SOCIAL MEDIA PHENOMENA**

In addition to the fact that influencers bring brands to a position where they speak to consumers, it is also extremely important for the appropriate influencer to cooperate with the brand image. Because this process can also pose a risk for some companies/brands. Especially for brands that are new to the market, staying in a competitive environment can bring about both positive and negative effects through influencers. The increase in the number of brands and the increase in the number of advertisements that occur along with it can also develop a feeling of boredom in consumers. Data shows that a US citizen is exposed to an average of 4,000 to 10,000 advertisements (Twentify, 2024). Therefore, in order for the right communication to pass to the right target audience, it is very important to proceed with someone

who has gained the trust of the consumer, to communicate with the right target audience, to ensure that they are remembered, and repeat purchase behaviours are formed, and to increase purchase behaviour in sales channels.

Choosing the wrong influencer can cause products/brands to gain the wrong place among followers/consumers, cause problems in reaching the target audience, go off-target and reduce trust in the brand (Twenty, 2024). Therefore, reputation should be left aside in choosing the influencer, and an agreement should be made with the influencer who is suitable for the brand and the brand's target audience. This will ensure that the message conveyed is understood, internalized and transformed into an experience by the target audience.

In addition, since social media platforms are platforms that allow everyone to produce content, they can sometimes be subject to restrictions after manipulated situations. This situation creates a negative situation for the influencers who have become famous and earn income in this medium. The fact that the companies that cooperated with the influencers terminated their agreements with the influencers after the restrictions and access barriers experienced in different periods in our country has also caused the influencers to enter into legal processes that will put the companies in a difficult position (GerçekHaberci, 2024).

There are approximately 200 thousand social media influencers in our country and companies allocate a budget between 7 and 10 million for Instagram promotions. It is known that 97.7% of social media influencers use Instagram the most. Social platforms constitute 10% of the total e-commerce volume (930 million TL per day). This rate, together with the influencers who generate traffic on the platforms, constitutes a volume of 1.9 billion TL (GerçekHaberci, 2024). Therefore, the restrictions and access barriers experienced by these platforms, which have become the source of income for influencers, also cause companies and influencers to come face to face. This situation also reflects negatively on the images of brands.

Another negative effect of social platforms is the perception of ugly/beautiful that they create on followers. Since each like on social media is considered as data (Mırçık & Elaltuntaş, 2022), the likes that individuals do not receive after each content they create by filming themselves cause negative feelings. Social media platforms, which have become an important part of daily life, allow individuals to follow people from all over the world, and they also offer the opportunity to follow the influencers they take as role models. In particular, the desire not to miss the posts of the influencers followed in different countries or even continents due to the time differences



between countries creates long-term social media use. Daily internet use in our country is approximately 7 hours, and social media use is approximately 3 hours (Günyol, 2024). This rate, which corresponds to 1/8 of a day, can bring about uncontrolled social media use, which leads to serious problems in mental state and communication. In addition, individuals' dislike of themselves in the face of their desire to resemble the fashion influencers they follow can also cause them to disconnect from social life (KTÜ, 2024). This situation also paves the way for individuals to behave aggressively.

In social media applications, especially the phenomena' unrealistically happy and ultra-rich lives, constant travelling, wearing different clothes in each frame, posing with luxury cars, etc. behaviours can create a sense of comparison in their followers. This feeling can cause followers to constantly follow the phenomena' lives and shape their consumption patterns accordingly in order not to miss the developments (Gürdin, 2019).

## **6. NEW TRENDS**

While the fashion industry uses social media influencers quite effectively, it can easily adapt developing technology to its marketing strategy in order to increase the recognition of a newly released collection or existing product range. Thus, individuals who follow fashion or a wider audience do not have to wait for fashion magazines or constantly follow relevant web pages, social media platforms fill this gap.

### **6.1. Smart Mirrors and Applications**

They use various digital information, graphics and interaction elements using high-resolution screens such as OLED or LCD located behind the mirror surface. With the developed software, they can be accessed and used by many people thanks to mobile phones suitable for using the screens in question. While these mirrors are used especially by fashion and ready-to-wear brands in store environments, showrooms, fairs or celebrity-style events, they are now used by influencers on social media platforms with the help of mobile phones for the purposes of combining products differently, easily displaying their variants, etc.

With smart mirrors, it is possible to see the customer's product types, suitability for their body, color and even compatibility with other colors, and accompanying recommendations (Magana, 2018).





*Figure 3. Software that offers combinations and variants simultaneously*

As seen in Figure 3, social media influencers can try on many clothes at the same time. Thanks to the development of smart mirror technology and its adaptation to mobile phones or similar applications developed on mobile phones, influencers can provide information about many products at the same time and produce content.

## **6.2. Virtual Phenomenon**

In our digitalizing world, the development of avatar usage and metaverse has enabled the creation of avatar people on social media platforms and their use mostly by the fashion sector. Thus, virtual phenomena (virtual influencers) have been created and this trend is increasing. These digital characters are mostly used on the Instagram social media platform.

These characters are created entirely in a digital environment. Prepared using 3D modelling and artificial intelligence technologies, these phenomena act like humans, manage their social media accounts, constantly create content and interact with their followers. Lil Miquela, Noonooori, Bermuda and Imma are the most well-known examples. The Lil Miquela character collaborates with famous fashion brands such as Calvin Klein and Prada. While Imma has a great impact on the Asian market, Bermuda, as Lil's friend, produces content that combines technology and fashion. Noonooori, on the other hand, is a famous fashion icon who has taken part in many famous designers' digital fashion shows during Paris and Milan Fashion Week. He collaborates with luxury fashion brands such as Dior, Versace and Balenciaga.



*Figure 4. Virtual Phenomenon*

While real influencers include negativities such as personal discussions, scandals, lawsuits, etc., virtual influencers do not pose a risk in this sense. The influencers, who do not have problems such as vacation, illness, boredom, desire not to produce content or instability in content, can also collect detailed and accurate data for the fashion brands they are the face of and perform data analysis (Adlee, 2024).

## CONCLUSION

Social media platforms that have entered our lives with developing technology have allowed us to access information about all living and non-living beings on Earth faster. These platforms, which have become an indispensable part of our lives thanks to smartphones and which we can access at any time, have created people who spend extra time to produce content, present their ideas and suggestions, and create and share their style and style over time. The fact that these people's posts are shared by others over and over again has made these people popular and followed by many people they do not know. With the growing number of followers, the content management of these people has been professional and their interaction with their followers has increased. Over time, these individuals, who are called influencers, have attracted the attention of companies, especially by sharing, recommending, suggesting and even recommending fashion brands to their followers and then informing them about the fashion brands they promote by tagging them, and these influencers have become fashion icons over time and have managed to take their place in the advertising budgets of ready-made clothing companies.

This study examined the effects of social media influencers on fashion brands. It is estimated that there are approximately 220 thousand influencers

in our country, and the effect and interaction that these influencers create with their followers attract the attention of ready-made clothing brands and fashion companies, and these people are used in promotion and sales areas. The increase in online sales on e-commerce sites along with the rise of influencers in our country also reveals the areas of influence of these people.

This new business line of this uncontrolled growing digital age has also brought some negativities with it. Individuals creating problems in their perception of beauty, problems in reaching the target audience by not matching with the appropriate brand, and financial problems they experience with brands in the face of the limitations of the media they use, reveal the need to take precautions in terms of the formation and institutionalization of the business from the very beginning. New trends are also developing with all these elements. All fashion brands benefit from the blessings of the digital age with smart mirror applications, applications developed for mobile phones and virtual influencers.

## References

- Adlec. (2024). *Dijital Çağda Sanal Influencer'ların Yükselişi ve Markalar için Potansiyel Fırsatlar*. Retrieved 19 Ağustos from <https://www.linkedin.com/pulse/sosyal-medyan%C4%B1n-yeni-fenomenleri-sanal-influencerlar%C4%B1n-g%C3%BCc%C3%BC-adlee-eqcsf/>
- Adverport. (2020). *Moda Alanında Takip Edilmesi Gereken 10 Influencer*. <https://www.adverport.com/post/moda-alaninda-takip-edilmesi-gereken-10-influencer>
- Al Mashh Adani, Y. T. A. (2019). The impact of trust on social media's influencers and the effect of influencer's discount codes on the consumer purchase involvement. *Master's Thesis. Kadir Has University. Istanbul*.
- Ali, A. A. A., & Temizkan, V. (2022). Instagram fenomenlerinin sahip olduğu özelliklerin markaya yönelik tutum ve satın alma niyeti üzerindeki etkisi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 10(2), 740-756.
- Alişarlı, Ö., & Eken, İ. (2018). Yeni medyada ürün yerleştirme: YouTube'da paylaşım yapan fenomenler üzerinden kampanya süreci.
- Armağan, E., & Doğaner, M. C. (2018). Fenomen pazarlaması: Youtube güzelik vloggerları üzerine bir araştırma.
- Campbell, C., & Farrell, J. R. (2020). More than meets the eye: The functional components underlying influencer marketing. *Business horizons*, 63(4), 469-479.
- Can, S., & Koz, K. A. (2018). Sosyal Medyada Tüketici Onaylı Pazarlama: Instagram Örneği. *Kurgu*, 26(3), 444-457.
- Canöz, K., Gülmez, Ö., & Eroğlu, G. (2020). Pazarlamanın yükselen yıldızı influencer marketing: Influencer takipçilerinin satın alma davranışını belirlemeye yönelik bir araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 23(1), 73-91.
- Ceviz, N. Ö. (2020). *Hazır Giyimde Malzeme Bilgisi Ders Notu*. Marmara Üniversitesi.
- Close, A. (2012). *Online consumer behavior: Theory and research in social media, advertising, and e-tail*. Routledge.
- Collier, M. (2012). *Social media commerce for dummies*. John Wiley & Sons.
- Çayır Tahtalı, M. (2018). *Sosyal etki pazarlaması bağlamında Youtuberların iletişim stratejileri üzerine niteliksel bir araştırma* [Ankara Üniversitesi]. Ankara.
- Çetin, F. A., & Taşdemir, N. H. (2018). Sürdürülebilir Sosyal Medya Pazarlaması ve Markaların Sosyal Medyada Sürdürülebilirliğe Karşı Tutumu. *Journal of Institute of Economic Development and Social Researches*, 4(8), 31-42.
- Çetinkaya, F. Ö., & Şahbaz, R. P. (2020). Gelişmeleri Kaçırma Korkusunun Kuşaklar Üzerindeki Tatil Satın Alma Niyetlerine Etkisi (The Effect of Fear

- of Missing Out on Holiday Purchase Intention on Generations). *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 8(Special Issue 4), 152-167.
- Dwivedi, Y. K., Ismagilova, E., Hughes, D. L., Carlson, J., Filieri, R., Jacobson, J., Jain, V., Karjaluo, H., Kefi, H., & Krishen, A. S. (2021). Setting the future of digital and social media marketing research: Perspectives and research propositions. *International journal of information management*, 59, 102168.
- Editör, J. (2020). *Koton Fashion Club 'm İlk Influencer İş Birliği*. Retrieved 19 Ağustos from <https://pazarlamaturkiye.com/koton-fashion-clubin-ilk-influencer-is-birligi/>
- Emplifi. (2024). *Quarterly Industry Benchmarks, Fashion Worldwide*. file:///C:/Users/nuray/OneDrive/Masa%C3%BCst%C3%BC/2024%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1m/istanbul%20kongresi/2024\_q2\_fashion\_worldwide.pdf
- GerçekHaberci. (2024). *Instagram'a erişim engeli, influencerlar ile markaları birbirine düşürdü: Fenomenler şirketleri dava ile tehdit ediyor*. Retrieved 19 Ağustos from <https://www.gercekhaberci.com/instagram-a-erisim-engeli-influencerlar-ile-markalari-birbirine-dusurdu-fenomenler-sirketleri-dava-ile-tehdit-ediyor/211497/>
- Gil, F., Chamarro, A., & Oberst, U. (2015). PO-14: Addiction to online social networks: A question of "Fear of Missing Out"? *Journal of Behavioral Addictions*, 4(S1), 51-52.
- Gönülşen, G. (2020). Olumlu marka imajı yaratmada influencer pazarlama stratejisinin marka algısı üzerindeki etkisi: Foreo Türkiye markasının uygulamalarına yönelik bir araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(8), 9-34.
- GüncelVeri. (2024). *Giyim ve Aksesuar Sektörü Karth Ödeme İşlemleri*. <http://www.guncelveri.com/>
- Günyol, A. (2024). *Dünya nüfusunun yüzde 62'si sosyal medya kullanıyor*. Retrieved 20 Ağustos from <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/dunya-nufusunun-yuzde-62si-sosyal-medya-kullaniyor/3261985#:~:text=Sosyal%20medyada%20g%C3%BCnl%C3%BCk%20ortalama%202,de%20oyun%20oynamaya%20vakit%20ayr%C4%B1%C4%B1yor.>
- Gürdin, B. (2019). Sosyal medyanın hedonik tüketimi ve fomo'nun gücü. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(3), 1259-1278.
- HaberBülten. (21 Şubat 2024). *Sosyal Medyanın Modaya Etkisi ve Yeni Akımlar*. Retrieved 19 Ağustos from <https://gazetemerhaba.com/sosyal-medyanin-modaya-etkisi-ve-yeni-akimlar/>
- İşcan, R. V., Kapusuz, N., Bazancir, S., Bayram, İ., & Durukan, T. (2024). Sosyal Medya Fenomen Bağlılığının Tüketicilerin Kaçırma Korkusu (FoMo) ve Satın Alma Niyetlerine Etkisi. *Academic Social Resources Journal*, 7(42), 1219-1228.

- Jansom, A., & Pongsakornrungsilp, S. (2021). How Instagram influencers affect the value perception of Thai millennial followers and purchasing intention of luxury fashion for sustainable marketing. *Sustainability*, 13(15), 8572.
- Jin, S. V., Muqaddam, A., & Ryu, E. (2019). Instafamous and social media influencer marketing. *Marketing Intelligence & Planning*, 37(5), 567-579.
- Khodabandeh, A., & Lindh, C. (2021). The importance of brands, commitment, and influencers on purchase intent in the context of online relationships. *Australasian Marketing Journal*, 29(2), 177-186.
- Ki, C.-W. C., Cuevas, L. M., Chong, S. M., & Lim, H. (2020). Influencer marketing: Social media influencers as human brands attaching to followers and yielding positive marketing results by fulfilling needs. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 55, 102133.
- Köseoğlu, Ö. (2002). *Değişim fenomeni karşısında markalaşma süreci ve bu süreçte halkla ilişkilerin rolü* Ege Üniversitesi]. İzmir.
- KTÜ. (2024). Kontrolsüz Sosyal Medya Kullanımı Ruhsal Durumu ve Çevreyle İletişimi Olumsuz Etkiliyor. <https://ktu.edu.tr/farabi/haber/kontrolsuz-sosyal-medya-kullanimi-ruhsal-durumu-ve-cevreyle-iletisimi-olumsuz-etkiliyor#:~:text=Yap%C4%B1lan%20%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmalar%2C%20a%C5%9F%C4%B1r%C4%B1%20sosyal%20medya,-septomlar%C4%B1n%C4%B1n%20yan%C4%B1%20s%C4%B1ra%20artm%C4%B1%C5%9F%20stres>
- Kuşdoğan, N. M. (2023). *Sosyal Medyanın Kiyafet Kültürü Üzerindeki Etkisi*. Retrieved 19 Ağustos from <https://marmarabolge.com/sosyal-medyanin-kiyafet-kulturu-uzerindeki-etkisi>
- Libunao, F. M., Martinez, J. D., Rodriguez, M. K., & Castaño, M. C. (2022). Consumers Attitude towards Skincare Products Endorsed by Filipino Macro-Influencers on Instagram. *Journal of Business and Management Studies*, 4(2), 123-135.
- Magana, G. (2018). Alibaba is piloting fashion AI technology. *Business Insider*.
- Mangold, W. G., & Faulds, D. J. (2009). Social media: The new hybrid element of the promotion mix. *Business horizons*, 52(4), 357-365.
- MarketingTürkiye. ( 27 Ocak 2017). *Influencer Marketing'in önlenemeyen yükselişi!* Retrieved 19 Ağustos from <https://www.marketingturkiye.com.tr/haberler/influencer-marketingin-onlenemeyen-yukselisi/>
- Mırçık, A. M., & Elaltuntaş, Ö. F. (2022). Sosyal Medyanın Algı Yönetimi: Dikkat Ekonomisi Perception Management Of Social Media: Attention Economy. *Dijital Communication Journal*, 5(6 ), 55-80.
- Öztek, M., Yerden, N. K., Çolak, E., & Sarı, E. (2021). Fenomen pazarlamasında sosyal medyanın rolü ve moda sektörü üzerine bir içerik analizi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 16(62), 1053-1077.

- Patel, N. (2019). *What Is an Influencer?* <https://neilpatel.com/blog/guide-to-influencer-targeting>. <https://neilpatel.com>
- PatronlarDünyası. (2024). *Koton, 2024 yılı ilk çeyrek finansallarını paylaştı*. <https://www.patronlardunyasi.com/koton-2024-yili-ilk-ceyrek-finansallarini-paylasti>
- Przybylski, A. K., Murayama, K., DeHaan, C. R., & Gladwell, V. (2013). Motivational, emotional, and behavioral correlates of fear of missing out. *Computers in human behavior*, 29(4), 1841-1848.
- Purwar, S. (2019). Digital Marketing: An Effective Tool of Fashion Marketing. Proceedings of 10th International Conference on Digital Strategies for Organizational Success, Gwalior, MP, India.
- Sarıtaş, A. (2018). Sosyal medya reklamlarında fenomen kullanımı ve reklam izleme tercihi. *The Journal of International Scientific Researches*, 3(4), 62-74.
- Sokolova, K., & Kefi, H. (2020). Instagram and YouTube bloggers promote it, why should I buy? How credibility and parasocial interaction influence purchase intentions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 53, 101742.
- Statista. (2024). *Number of internet and social media users worldwide as of July 2024*. <https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/>
- Sudha, M., & Sheena, K. (2017). Impact of influencers in consumer decision process: the fashion industry. *SCMS Journal of Indian Management*, 14(3), 14-30.
- Sütçü, C. S., Aytekin, Ç., Kara, T., AKYAZI, E., Dilmel, N. E., & Değerli, B. (2014). Jetfighter down! Predicting opinions with twitter and the role of social media in turkey within context of attribute agenda-setting theory. *Journal of International Social Research*, 7(34).
- Tünay Doğan, N. N. (2019). *Sosyal medyada marka sayfaları takibi üzerinde fenomen etkisi: Instagram örneği* Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Twentify. (2024). *Marka İletişiminde Ünlülerin Önemi ve Anlam Transferi Modeli*. Retrieved 19 Ağustos from <https://www.twentify.com/tr/blog/marka-iletisiminde-unlulerin-onemi-ve-anlam-transferi-modeli>
- Vyatkina, O. (2020). *The Impact Of Influencer Marketing On The Global Economy*. II International Scientific Conference GCPMED 2019, Wiedmann, K.-P., & Von Mettenheim, W. (2020). Attractiveness, trustworthiness and expertise—social influencers' winning formula? *Journal of Product & Brand Management*, 30(5), 707-725.
- Woods, S. (2016). *Sponsored: The emergence of influencer marketing* University of Tennessee].





## Kenar Belirleme Tekniklerinin Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Damgalama Yaklaşımının Başarısına Etkisi

Mürsel Ozan İncetas<sup>1</sup>

Murat Meriçelli<sup>2</sup>

### Özet

Dijital damgalama (filigranlama), özellikle telif hakkı koruması, kimlik doğrulama ve güvenlik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Damga görüntüsünün, taşıyıcı görüntüye gömülmesi sırasında, filigranın görünürlüğü ve sağlamlığı, görüntünün özelliklerine ve kullanılan tekniklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kenar belirleme teknikleri, görüntünün belirgin hatlarını ve sınırlarını tespit ederek, damga görüntüsünün daha stratejik bir şekilde yerleştirilmesini ve korunmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, görüntü işleme alanında yaygın şekilde kullanılan kenar belirleme teknikleri olan Sobel, Roberts ve Prewitt operatörlerinin, damgalama sürecindeki performansları analiz edilmiştir. Bu amaçla, 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 olmak üzere 4 farklı boyuttaki damga görüntüsü, 7 farklı taşıyıcı görüntüsüne, uygulanmış, sonuçlar SSIM ve PSNR metrikleriyle değerlendirilmiştir. Her bir algoritmanın damgalama işlemi sonrası ve damga görüntüsünün tekrar çıkartılması üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Prewitt yönteminin genellikle daha yüksek başarı sağladığını göstermiştir. Çalışmada ilaveten kenar belirleme tekniklerinin dijital damgalama başarısına olan kritik katkısını vurgulamakta ve damgalama sürecinde hangi tekniklerin daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

1 Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, ozan.inctas@alanya.edu.tr, 0000-0002-1016-1655

2 Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, mmericelli@kastamonu.edu.tr, 0000-0003-0168-3221

## 1. Giriş

Görüntü işleme, görsel verilerin analizi, işlenmesi ve şifrenmesi gibi bazı uygulamalar için kullanılan bir dizi teknik ve yöntem içeren önemli bir çalışma alanıdır [1]. Tıp, adli bilişim, savunma sanayi gibi birçok önemli sektörde görüntü işleme kullanılmaktadır [2]. Görüntü damgalama ise dijital görüntülere, sahibinin haklarını koruma amacıyla görünür ya da gizli işaretler eklemek için kullanılan ve araştırmacıların dikkatini çeken bir alt uygulama alanıdır. Görüntü damgalama, dijital içeriklerin izinsiz kullanılmasını önlemek ve sahibini tanımlamak amacıyla yaygın olarak başvurulan tekniklerdendir [3]. Genellikle telif hakkı koruması ve güvenlik gibi amaçlarla tercih edilen damgalama yöntemlerinde, dijital görüntülerin manipülasyonuna karşı dayanıklılık önem taşır. Filigranın yerleştirildiği noktanın belirlenmesi ve yerleştirilen filigranın güvenli bir şekilde gizlenebilmesi için görüntünün yapısal özelliklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Kenar belirleme teknikleri, söz konusu analiz aşamasında önemli bir rol oynar [4-7]. Filigranın belirgin olmayan, ancak görüntünün temel yapısını koruyan bölgelerde saklanması hem görüntünün bütünlüğünü korumak hem de filigranın görünürlüğünü azaltmak açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle, damgalama süreçlerinde kenar belirleme yöntemlerinin doğru bir şekilde kullanılması, damgalama işleminin güvenliğini ve kalitesini artıran önemli parametrelerdendir. Kenar belirleme, bir görüntünün farklı alanlarındaki piksellerin gri seviye farklarını analiz ederek, nesnelere veya yapıların sınırlarını belirler. Bu teknikler, bir görüntüde keskin geçişlerin olduğu alanları tanımlamak için matematiksel işlemler kullanır [8]. Sobel, Roberts ve Prewitt gibi yaygın kenar belirleme yöntemleri, görüntülerin farklı bölgelerinde hassas sınırların tespit edilmesine olanak tanır. Bu sınırlar, görüntünün anlamlı bölgelerini belirlemek ve filigranın hangi piksellere yerleştirileceğine karar vermek için kullanılmaktadır. Filigranın, kenarların olduğu bölgelerde yerleştirilmesi, filigranın görüntünün yapısal bütünlüğüne zarar vermeden gizlenmesini sağlar. İlâveten, gelişmiş kenar belirleme algoritmaları, görüntüdeki gürültüyü minimize ederek daha doğru sonuçlar elde edebilme yeteneğine sahiptir. Bu durum, filigran yerleştirme süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Çünkü filigranın görüntünün genel yapısal özelliklerini bozmayacak şekilde yerleştirilmesi istenirken, filigranın izinsiz kaldırılmasının da zorlaştırılması gerekmektedir. Kenar belirleme algoritmaları sayesinde, filigranın nereye yerleştirileceği daha doğru bir şekilde belirlenebilir ve bu filigranın güvenliği açısından önemli bir katkı sağlar.

Kenar belirleme görüntü işleme alanında temel bir problem olup birçok çalışma yapılmıştır. Liu ve arkadaşları 2020 yılında etkili bir

kenar belirleme yaklaşımı sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılacak, etkili ve başarılı bir kenar tespit yaklaşımı geliştirmişlerdir. Gradyan yönü boyunca bağlı noktalarla yapılan karşılaştırmalarda, kenar pikselleri olma olasılığı yüksek olan bağlantı noktaları tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen kenar dedektörünün tespit doğruluğu açısından geleneksel kenar takip yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur [9]. Bir başka çalışmada ise Otsu algoritması ve Canny operatörü birleştirilerek kullanılmıştır. Canny operatörünü Otsu eşikleme tekniği çift eşik kullanarak ve mikro çatlaklar için kenar algılama performansını artırılmıştır. Otsu-Canny kenar algılama tekniği, %92,83 algılama oranıyla mikro çatlakları tespit etmek için diğer geleneksel kenar algılama algoritmalarından daha doğru sonuçlar üretmiştir [10]. Benzer şekilde 2019 yılında yapılan bir çalışmada gri ölçekli görüntüler için uyarlanabilir bir Canny kenar tespit algoritması önerilmiştir. Gri ölçekli görüntülerin gradyanı Sobel operatörü ile elde edilerek akabinde gradyan görüntülerinin entropisi hesaplanmıştır [11]. Sobel kenar algılama, yalnızca yatay ve dikey yönlerdeki bilgilerin dikkate alındığı yaygın olarak kullanılan kenar algılama tekniklerinden biridir [12]. Ranjan ve Avasthi Sobel yaklaşımı motivasyonunda yaptıkları çalışmada doğru kenar tespiti için ağırlıklı kılavuzlu görüntü filtrelemeyi de kullanmışlardır. Ağırlıklı kılavuzlu görüntü filtreleme kenarları iyileştirirken, Sobel maskesi kenar tespiti için kullanılmıştır [13]. Kuantum kenar algılama, klasik algoritmaların karşılaştığı kısıtlamaları ele alarak gerçek zamanlı görüntü analizi için umut verici bir yol sunmaktadır. Bununla birlikte, mevcut kuantum kenar algılama yöntemleri genellikle klasik kenar algılama operatörlerine dayanır ve özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerde karmaşık kenar ayrıntılarının kaybolmasına neden olmaktadır. Wang ve diğerleri yeni bir kuantum görüntü kenar algılama algoritması sunmuşlardır. Çalışmalarında görüntünün dalgacık dönüşümü yoluyla kenar tespitinin gerçekleştirilmesini ve ters dalgacık dönüşümü yoluyla kenar görüntüsünün elde edilmesini içermektedir. Bu yenilikçi yöntem sadece kenar bilgisi kaybını azaltmakla kalmamış, aynı zamanda tanımlamadaki hassasiyeti de artırmıştır. Gerçekleştirilen deneyler ve bulgular önerilen şemanın üstün kenar bilgisi ve yüksek doğruluk ile çalıştığını göstermiştir [14].

Literatür incelendiğinde kenar belirleme teknikleri kullanan birçok filigran çalışması ile karşılaşılmaktadır. 2023 yılında en az anlamlı bit (LSB) mekanizmasını kullanan dikkat çeken çalışma Faheem ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Yapılan çalışmada geliştirilen algoritmanın hesaplama karmaşıklığının düşük olması önemli bir avantaj olarak sunulmuştur. Pergel kenar algılamaya dayalı bir optimizasyon tekniği kullanılarak filigran verileri kenar piksellerine gömülmüştür. Filigran sinyallerini şifrelemek

için ise kaos tabanlı S-Box modeli tercih edilen çalışmanın başarısı çeşitli ölçüm metrikleri ile kanıtlanmıştır [15]. 2024 yılında önerilen bir çalışma blok zinciri tabanlı şifreleme ve görünmez resim filigranının birleşimi ile yeni bir model sunmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform - DWT) katsayıları kenar tespiti adına kullanılmaktadır. Tıbbi görüntülerin kullanılmış olduğu söz konusu yaklaşımda HH dalgacık bandı kenar katsayılarını oluşturmak için kullanılmıştır. Filigranın gömülme işlemi için ise genişleme ve kenar katsayısı arasındaki farklar kullanılmıştır. Böylece sağlamlığın artırılması hedeflenmiştir. Filigranın bulunduğu resim, blok zinciri teknolojisine dayanan ve özellikle tıbbi resimler için geliştirilen bir hashing işlemi kullanılarak şifrelenmiştir. Şifre çözme işleminin sonunda şifre çözme prosedürü tamamlandıktan sonra resim yeniden oluşturulur. Farklı bir bakış açısı ile geliştirilen bahsi geçen çalışma deneysel sonuçları ile dikkat çekmektedir [16]. Kuantum Haar dalgacık dönüşümünün Sobel kenar belirleme tekniğinin ile kullanıldığı yaklaşım ise 2023 yılında geliştirilmiştir. Çalışmada, kuantum görüntüsünü ayırıştırmak için Kuantum Haar dalgacık dönüşümü kullanılmakta ve taşıyıcı görüntünün köşegen alt bantlarını elde etmek için görüntü ayırıştırmaya kullanılmaktadır. Akabinde uygun gömme piksellerini bulmak için köşe alt bant üzerinde Sobel kenar tespiti gerçekleştirilmiştir. Son olarak, filigran resmi keşfedilen optimum gömme yerine yerleştirilmiştir [17].

Sonuç olarak, kenar belirleme teknikleri ile görüntü damgalama arasındaki ilişki, dijital görüntü işleme ve güvenlik alanında önemli bir araştırma konusudur. Kenar belirleme tekniklerinin, görüntü damgalama işleminin hem etkinliğini hem de güvenilirliğini artırma potansiyeli büyüktür. Bu çalışmada, Sobel, Prewitt ve Roberts olmak üzere 3 farklı kenar belirleme yaklaşımının, damgalama performansına etkileri analiz edilmiştir.

## 2. Materyal Metot

Bu çalışmadaki testler süresince, 512x512 boyutlu ve 8 bitlik gri-seviyeli 7 adet taşıyıcı görüntü kullanılmıştır. Damgalama için daha önce benzer çalışmalarda da kullanıldığı için seçilen bir görüntünün 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 olmak üzere 4 farklı boyutuna deneysel çalışmalarda yer verilmiştir. Damgalama görüntüsünü gizleme ve tekrar elde etme işlemlerinin seçilen görüntüler üzerinde test edilmesi ve performans metriklerine göre sonuçların elde edilmesine ilişkin tüm kodlama süreçleri MATLAB yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan taşıyıcı görüntüler ile bu görüntüler içerisine gizlenen damgalama görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



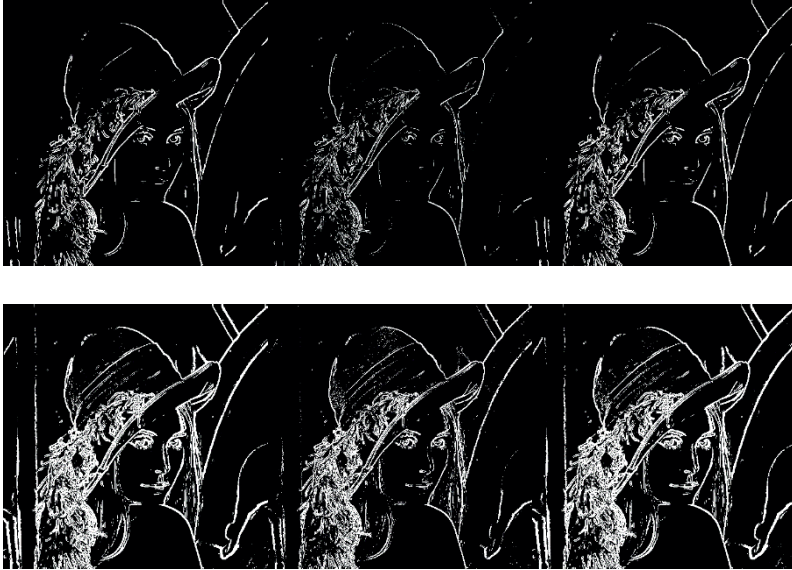
Şekil 1. Deneylerde kullanılan görüntüler. (a-g) Taşıyıcı görüntüler: Baboon, Boats, Couple, Lake, Lena, Peppers, Plane, (h) Damga görüntüsü

Bu çalışmada yapılan deneylerde, ilk olarak taşıyıcı görüntünün kenarları tespit edilir. Bu işlem için Sobel, Prewitt ve Roberts kenar belirleme yaklaşımları kullanılmıştır. Damgalama görüntüsü, kenar olarak işaretlenmiş piksellerin gri seviye değeri olarak atanarak taşıyıcı görüntüde gizlenecek olan mesaj görüntüsü elde edilir. Damgalama sürecinin ilk adımında DWT kullanılarak hem taşıyıcı hem de mesaj görüntülerinin LL, LH, HL ve HH alt bantları elde edilir. Ardından HH bantlarının Tekil Değer Ayrıştırması (Singular Value Decomposition – SVD) yardımıyla tekil değerleri hesaplanır ve  $\alpha$  katsayısı ile birleştirilir. Birleştirilmiş yeni bant ve HH bantının yerini alır ve ters SVD ile ters DWT kullanılarak damgalanmış görüntü elde edilir. Böylece damgalama görüntüsü, taşıyıcı görüntünün içerisine gizlenerek eklenmiş olur. Bu yöntem pek çok çalışmada yer almış [18-21] ve gradyan temelli kenar tespit yaklaşımları ile birlikte kullanılmıştır.

## 2.1. Kenar Piksellerin Tespiti

Bu çalışmada, kenar piksellerinin belirlenmesi ve bu piksellerin damgalama süreçlerinde kullanımı kapsamında en bilinen kenar belirleme tekniklerinden olan Sobel, Prewitt ve Roberts kenar tespit yöntemleri karşılaştırılmıştır. Kenar pikseller belirlenirken, MATLAB *edge* fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bir  $I$  görüntüsü için  $edges = edge(I, 'sobel', 'th*c, 'nothinning')$ ; kod satırı yardımıyla kenar pikseller tespit edilmiştir. Kenarlar belirlenirken *nothinning* parametresi kullanılarak, kenarların inceltilmemesi ve daha çok pikselin kenar olarak işaretlenmesi sağlanmıştır. Ancak, özellikle 128x128 ve 256x256 boyutlarındaki damgalama görüntülerinin saklanabilmesi için gerekli kenar

pikselli sayısı  $c=1$  değeri ile sağlanamamıştır. Bu nedenle bazı görüntüler ve kenar tespit yöntemleri için daha küçük  $c$  değerleri seçilmiştir. Eşik değeri olan  $th$  ise  $[edge, th] = edge(I, 'sobel')$ ; kod satırı ile belirlenmiştir.



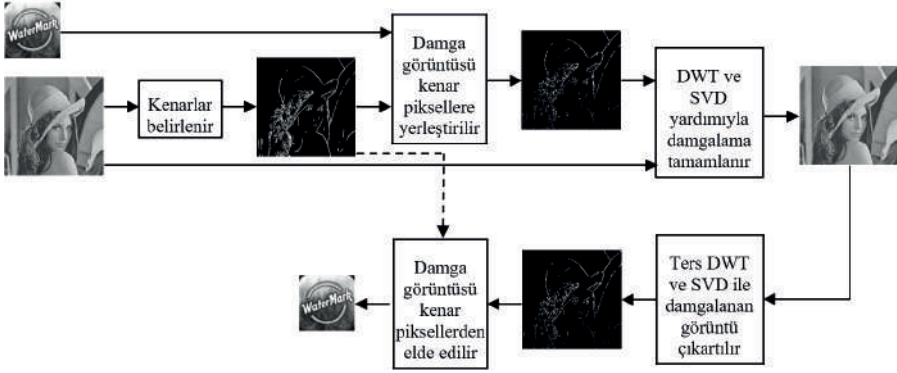
Şekil 2. Taşıyıcı görüntü (Lena) için belirlenen kenar pikselleri. (a) Prewitt  $c=1$ , (b) Roberts  $c=1$ , (c) Sobel  $c=1$ , (d) Prewitt  $c=0.5$ , (e) Roberts  $c=0.5$ , (f) Sobel  $c=0.5$

Çalışmada kullanılan 3 yöntemin her biri ile belirlenmiş kenarlara ilişkin örnek görüntüler Şekil 2'de görülmektedir.  $c$  değerinin küçük seçilmesi durumunda kenar olarak seçilmiş piksellerin sayısının arttığı elde edilen kenar tespit sonuçlarında görülmektedir.

## 2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekli Değer Ayırıştırırmaya Dayalı Damgalama

DeneySEL sonuçlar elde edilirken, görüntüler üzerinde sırasıyla kenar belirleme, ardından da DWT ve SVD yardımıyla damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de damgalama işleminde kullanılan yaklaşımın aşamaları görülmektedir. İlk adımda taşıyıcı görüntünün kenarları belirlenmektedir. Damga görüntüsünü her bir pikselinin gri seviye değeri, kenar piksellere sırasıyla atanmaktadır. Ardından elde edilen görüntü ile taşıyıcı görüntü, SVD ve DWT teknikleri yardımıyla birleştirilerek, damgalanmış görüntü elde edilmektedir.





Damga görüntüsünün çıkarılması sürecinde ise, ilk olarak damgalanmış görüntü üzerinden ters DWT ve SVD yardımıyla, gömülü görüntü elde edilir. Ardından orijinal taşıyıcı görüntünün kenar piksellerinde yer alan gri seviye değerleri bir araya getirilerek damga görüntüsü elde edilir.

### 3. Deneysel Bulgular

Damgalama süreçlerinde başarının ölçülmesinde yaygın olarak PSNR ve SSIM metrikleri kullanılmaktadır. Damga görüntüsünün farklı boyutlarda kullanılması ile gerçekleştirilen damgalama işlemi sonucunda elde edilen damgalanmış görüntü ve bu görüntüden tekrar çıkartılan damga görüntüsüne ilişkin sonuçlar aşağıdaki tablolarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablolar 1, 2, 3 ve 4’de sırasıyla 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 boyutundaki damgalama görüntüsü ile damgalanmış taşıyıcı görüntülerin, orijinal görüntülerle karşılaştırılmasına ilişkin sonuçlar yer almaktadır. 32x32’lik damga görüntüsüne ait sonuçlar incelendiğinde, SSIM açısından damgalanmış görüntü ile orijinal taşıyıcı görüntü neredeyse aynıdır. Bu da damgalama açısından önemli bir başarı göstergesidir. Elbette damga görüntüsünün boyutu arttıkça SSIM değerinde de düşüş olmaktadır. 256x256’lık damga görüntüsünde ortalama SSIM değeri 0,99 seviyesine gerilemesine karşın, bu değer de oldukça yüksektir. Yine PSNR değerleri açısından bakıldığında, başarının hayli yüksek olduğu görülmektedir. Kenar belirleme teknikleri açısından bakıldığında ise her ne kadar sonuçlar yakın olsa da en yüksek ortalama başarının Prewitt operatörü ile yakalandığı görülmektedir. İkinci sırada ise Sobel operatörü bulunmaktadır. Roberts operatörü ise diğer iki kenar operatörüne göre daha düşük başarı elde etmiştir.

*Tablo 1. 32x32 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	56,28	0,9999	58,17	0,9999	58,42
Boats	0,9999	61,61	0,9999	62,72	0,9999	63,36
Couple	1,0000	61,40	1,0000	63,00	1,0000	62,90
Lake	1,0000	69,62	1,0000	87,26	1,0000	96,30
Lena	0,9999	59,95	0,9999	62,13	0,9999	62,22
Peppers	1,0000	71,89	1,0000	100,00	1,0000	100,00
Plane	1,0000	62,92	1,0000	65,17	1,0000	64,77
<b>Ortalama</b>	<b>1,0000</b>	<b>63,38</b>	<b>1,0000</b>	<b>71,21</b>	<b>1,0000</b>	<b>72,57</b>

*Tablo 2. 64x64 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9994	50,65	0,9995	51,54	0,9996	51,98
Boats	0,9990	53,46	0,9993	54,70	0,9993	54,96
Couple	0,9996	54,21	0,9997	55,17	0,9997	55,18
Lake	0,9990	53,26	0,9993	55,26	0,9994	55,77
Lena	0,9989	52,96	0,9993	54,50	0,9993	54,59
Peppers	0,9987	53,96	0,9992	56,27	0,9992	56,60
Plane	0,9998	55,90	0,9998	57,38	0,9998	57,22
<b>Ortalama</b>	<b>0,9992</b>	<b>53,49</b>	<b>0,9994</b>	<b>54,98</b>	<b>0,9995</b>	<b>55,19</b>

*Tablo 3. 128x128 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9981	45,48	0,9984	46,10	0,9985	46,57
Boats	0,9966	48,02	0,9972	48,81	0,9973	48,99
Couple	0,9976	48,06	0,9981	48,93	0,9982	49,13
Lake	0,9967	47,40	0,9975	48,71	0,9976	49,06
Lena	0,9953	47,40	0,9960	48,23	0,9963	48,48
Peppers	0,9953	48,24	0,9965	49,60	0,9967	49,82
Plane	0,9984	49,42	0,9988	50,32	0,9988	50,45
<b>Ortalama</b>	<b>0,9969</b>	<b>47,72</b>	<b>0,9975</b>	<b>48,67</b>	<b>0,9976</b>	<b>48,93</b>



*Tablo 4. 256x256 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9954	41,67	0,9960	42,24	0,9961	42,38
Boats	0,9902	43,26	0,9929	44,67	0,9931	44,81
Couple	0,9939	43,80	0,9950	44,75	0,9953	45,05
Lake	0,9918	43,17	0,9943	44,84	0,9944	44,98
Lena	0,9859	42,48	0,9903	44,10	0,9909	44,45
Peppers	0,9839	42,43	0,9907	45,00	0,9909	45,06
Plane	0,9939	44,22	0,9957	45,89	0,9960	46,17
<b>Ortalama</b>	<b>0,9907</b>	<b>43,00</b>	<b>0,9935</b>	<b>44,50</b>	<b>0,9938</b>	<b>44,70</b>

Tablolar 5, 6, 7 ve 8 ise damgalama işleminin ardından, damga görüntüsünün damgalanmış görüntüden çıkarılmasından sonra elde edilen karşılaştırma sonuçlarını içermektedir. Verilen PSNR ve SSIM sonuçları, çıkartılmış damga görüntüsü ile orijinal damga görüntüsünün karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir. Tablolar incelendiğinde, damga görüntüsünün çıkarılması açısından, operatörlerin SSIM ve PSNR değerleri oldukça benzerdir. Özellikle PSNR değerleri çok yakındır. Ayrıca farklı damga görüntüsü boyutlarında, başarısı en yüksek olan operatörler de değişmektedir.

*Tablo 5. 32x32 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9995	54,04	0,9997	53,72	0,9997	53,74
Boats	0,9991	48,99	0,9993	49,11	0,9992	48,86
Couple	0,9987	51,51	0,9992	51,59	0,9991	51,69
Lake	0,9988	44,39	0,9994	45,97	0,9996	46,50
Lena	0,9991	52,84	0,9992	52,43	0,9992	52,38
Peppers	0,9987	45,34	0,9997	47,47	0,9997	48,29
Plane	0,9991	53,11	0,9995	52,59	0,9995	52,46
<b>Ortalama</b>	<b>0,9990</b>	<b>50,03</b>	<b>0,9994</b>	<b>50,41</b>	<b>0,9994</b>	<b>50,56</b>

*Tablo 6. 64x64 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9990	59,61	0,9993	58,30	0,9991	57,69
Boats	0,9994	58,00	0,9993	55,09	0,9993	54,58
Couple	0,9981	53,99	0,9983	53,45	0,9983	53,51
Lake	0,9989	58,52	0,9985	54,29	0,9986	53,02
Lena	0,9985	55,95	0,9981	54,38	0,9980	54,26
Peppers	0,9990	57,54	0,9981	51,36	0,9981	50,75
Plane	0,9975	55,37	0,9977	54,21	0,9976	54,43
<b>Ortalama</b>	<b>0,9986</b>	<b>57,00</b>	<b>0,9985</b>	<b>54,44</b>	<b>0,9984</b>	<b>54,03</b>

*Tablo 7. 128x128 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	68,91	0,9999	69,23	1,0000	69,08
Boats	0,9999	66,08	0,9998	66,99	0,9997	66,19
Couple	0,9999	69,14	0,9998	67,87	0,9997	67,57
Lake	0,9999	65,99	0,9997	63,02	0,9997	63,20
Lena	0,9999	67,01	1,0000	66,49	1,0000	66,56
Peppers	1,0000	66,49	1,0000	66,02	1,0000	66,05
Plane	0,9995	63,21	0,9984	60,04	0,9984	59,95
<b>Ortalama</b>	<b>0,9999</b>	<b>66,69</b>	<b>0,9996</b>	<b>65,67</b>	<b>0,9996</b>	<b>65,51</b>

*Tablo 8. 256x256 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları*

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	67,31	1,0000	70,06	1,0000	69,54
Boats	0,9999	64,56	1,0000	66,24	1,0000	65,59
Couple	1,0000	68,90	1,0000	67,24	1,0000	66,32
Lake	1,0000	66,01	1,0000	70,06	1,0000	69,58
Lena	1,0000	62,86	1,0000	68,39	1,0000	68,87
Peppers	1,0000	68,18	1,0000	66,92	1,0000	66,38
Plane	1,0000	72,53	0,9999	65,08	1,0000	67,09
<b>Ortalama</b>	<b>1,0000</b>	<b>67,19</b>	<b>1,0000</b>	<b>67,71</b>	<b>1,0000</b>	<b>67,63</b>

#### 4. Sonuç

Dijital damgalama (filigranlama), farklı uygulama alanlarında kullanılan önemli bir görüntü işleme alanıdır. Son yıllarda özellikle kenar tabanlı dijital damgalama çalışmalarının sayısının oldukça arttığı bilinmektedir. Kenar piksellere yerleştirilen damga görüntüsü bilgilerinin, dijital damgalama başarısını arttırdığı da literatürde yer alan pek çok çalışmada belirtilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, en yaygın kenar belirleme tekniklerinden olan Sobel, Roberts ve Prewitt operatörlerinin damgalama süreçlerindeki başarıları analiz edilmiştir. Elde edilen deneysel bulgular, özellikle damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye benzerliği açısından Prewitt tekniğinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak literatürde çok sayıda kenar belirleme yaklaşımı bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen teknikler her ne kadar çok basit ve kolay uygulanabilir olsalar da pikseller arasındaki gri seviye farklarını temel alan lineer yaklaşımlardır. Gelecekte, özellikle insan görsel sistemine benzer sonuçlar üreten ve lineer olmayan tekniklerin damgalama süreçlerine yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.
- [2] Kılıçaslan, M., Tanyeri, U., & Demirci, R. (2020). Tekrarlı Ortalama Yardımıyla Renk İndirgeme ve Görüntü Erişimi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 1042-1057.
- [3] Begum, M., & Uddin, M. S. (2020). Digital image watermarking techniques: a review. *Information*, 11(2), 110.
- [4] Faheem, Z. B., Ishaq, A., Rustam, F., de la Torre Díez, I., Gavilanes, D., Vergara, M. M., & Ashraf, I. (2023). Image watermarking using least significant bit and canny edge detection. *Sensors*, 23(3), 1210.
- [5] Cheng, H., Huang, Q., Chen, F., Wang, M., & Yan, W. (2022). Privacy-preserving image watermark embedding method based on edge computing. *IEEE Access*, 10, 18570-18582.
- [6] Astuti, E. Z., Sari, C. A., Rachmawanto, E. H., Astuti, Y. P., Oktaridha, H., & Isinkaye, F. O. (2023). Discrete Cosine Transform and Singular Value Decomposition Based on Canny Edge Detection for Image Watermarking. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*.
- [7] Faheem, Z. B., Ali, M., Raza, M. A., Arslan, F., Ali, J., Masud, M., & Shor-fuzzaman, M. (2022). Image watermarking scheme using LSB and image gradient. *Applied Sciences*, 12(9), 4202.
- [8] Kılıçaslan, M. Image interpolation with spiking neural network based pixel similarity. *SIViP* 18, 6925–6936 (2024)
- [9] Liu, Y., Xie, Z., & Liu, H. (2020). An adaptive and robust edge detection method based on edge proportion statistics. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 5206-5215.
- [10] Monicka, S. G., Manimegalai, D., & Karthikeyan, M. (2022). Detection of microcracks in silicon solar cells using Otsu-Canny edge detection algorithm. *Renewable Energy Focus*, 43, 183-190.
- [11] Tanyeri, U., Kılıçaslan, M., & Demirci, R. (2019, October). Canny edge detector with half entropy. In *2019 3rd international symposium on multi-disciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT)* (pp. 1-4). IEEE.
- [12] AS, R. A., & Gopalan, S. (2022). Comparative analysis of eight direction sobel edge detection algorithm for brain tumor MRI images. *Procedia Computer Science*, 201, 487-494.
- [13] Ranjan, R., & Avasthi, V. (2023). Edge detection using guided Sobel image filtering. *Wireless Personal Communications*, 132(1), 651-677.

- [14] Wang, G., Zhao, W., Zou, P., Wang, J., Yin, H., & Yu, Y. (2024). Quantum image edge detection based on Haar wavelet transform. *Quantum Information Processing*, 23(8), 1-21.
- [15] Faheem, Z. B., Hanif, D., Arslan, F., Ali, M., Hussain, A., Ali, J., & Baz, A. (2023). An edge inspired image watermarking approach using compass edge detector and LSB in cybersecurity. *Computers and Electrical Engineering*, 111, 108979.
- [16] Mannepalli, P. K., Richhariya, V., Gupta, S. K., Shukla, P. K., Dutta, P. K., Chowdhury, S., & Hu, Y. C. (2024). A robust blockchain-based watermarking using edge detection and wavelet transform. *Multimedia Tools and Applications*, 1-25.
- [17] Mu, X., Wang, H., Bao, R., Wang, S., & Ma, H. (2023). An improved quantum watermarking using quantum Haar wavelet transform and Qsobel edge detection. *Quantum Information Processing*, 22(5), 223.
- [18] Yasmeen, F. and M.S. Uddin, *An efficient watermarking approach based on LL and HH edges of DWT-SVD*. SN Computer Science, 2021. 2(2): p. 82.
- [19] Gong, L.-H., et al., *Robust and imperceptible watermarking scheme based on Canny edge detection and SVD in the contourlet domain*. Multimedia tools and applications, 2021. 80: p. 439-461.
- [20] Zhang, L., et al. *A novel zero-watermarking algorithm based on DWT and edge detection*. in *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing*. 2011. IEEE.
- [21] Gurkahraman, K., R. Karakis, and H. Takci, *A Novel Color Image Watermarking Method with Adaptive Scaling Factor Using Similarity-Based Edge Region*. Computer Systems Science & Engineering, 2023. 47(1).

## Renk İndirgeme ve Kenar Belirleme Yardımıyla SRG Tabanlı Görüntü Bölütleme

Mürsel Ozan İncetas<sup>1</sup>

Murat Meriçelli<sup>2</sup>

### Özet

Görüntü bölütleme, görüntü işlemedeki en temel çalışma konularından biridir. Literatürde pek çok bölütleme çalışması bulunmakla birlikte, günümüzde farklı görüntü işleme tekniklerinin bir arada kullanıldığı yaklaşımların ön plana çıktığı görülmektedir. Bu çalışmada renk indirgeme, kenar belirleme ve bölge genişletmeyi temel alan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu üç aşamalı yaklaşımın birinci aşamasında renk indirgeme işlemi yapılmaktadır. Her bir renk kanalı üzerinde eşit aralıklı çoklu eşik seçimi gerçekleştirilmektedir. İkinci aşamada, indirgenmiş renkli görüntü üzerinde kenar belirleme işlemi yapılmaktadır. Böylece kenar içermeyen piksellerden oluşan bölgeler elde edilmektedir. Söz konusu bölgeler, bölge genişletme yardımıyla genişletilerek, birbirine en benzer piksellerin bir arada olması sağlanmaya çalışılmıştır. Yaklaşımın başarısı, 100 adet renkli görüntü içeren Weizmann tek nesneli görüntü veri seti üzerinde test edilmiştir. MATLAB üzerinde, elde edilen kesinlik (Precision), duyarlılık (Recall) ve F-skor (F-score) sonuçları, indirgeme aşamasında kullanılan farklı eşik sayıları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, renk sayının artışının bölütleme başarısını düşürdüğü belirlenmiştir. Gelecekte, farklı indirgeme ve kenar belirleme yöntemlerinin kullanıldığı ve nesneye ait piksellerin detaylı seçimine odaklanan çalışmaların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

1 Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, ozan.incetas@alanya.edu.tr, 0000-0002-1016-1655

2 Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, mmericelli@kastamonu.edu.tr, 0000-0003-0168-3221

## 1. Giriş

Görüntü işleme alanı, dijital verilerin analizi ve anlamlandırılması sürecinde, hızla gelişen ve değişen bir araştırma konusudur. Günümüzde, görüntü işleme teknolojileri; tıp, güvenlik, tarım, eğlence ve robotik gibi çeşitli sektörlerde kritik bir rol oynamaktadır. Bu alanın temel konularından biri olan görüntü bölütleme, görüntüdeki nesnelere ya da ilgi alanlarını diğer kısımlardan ayırmayı hedefler [1]. Bölütleme sürecinde, görüntünün özelliklerinin çıkarılması ve daha anlamlı bir forma dönüştürülmesi, analiz ve karar verme süreçlerinin doğruluğunu doğrudan etkiler [2-4]. Bu bağlamda, renk indirgeme (color quantization) ve kenar belirleme (edge detection) gibi teknikler, görüntü işleme zincirinde kritik öneme sahiptir ve gelişmiş bölütleme algoritmalarının temel yapı taşlarını oluşturur. Renk indirgeme, bir görüntünün renk yoğunluğunu azaltarak daha sade ve işlenebilir bir yapı oluşturmayı amaçlar [5]. Görüntüdeki farklı tonların daha az sayıda temsilci renk grubuna indirgenmesi, hem işlem hızını artırır hem de depolama maliyetlerini düşürür. Özellikle yüksek çözünürlüklü ve çok renkli görüntülerde, renk indirgeme işlemi, görüntüdeki anlamlı bölgelerin belirlenmesini kolaylaştırır. Bu yaklaşım, genellikle görüntünün genel yapısını korurken, veri kaybını en aza indirmeyi hedefler [6]. Renk indirgeme teknikleri, sınırlı kaynaklarla çalışılan uygulamalarda ve gerçek zamanlı işlem gerektiren senaryolarda büyük avantaj sağlar. Kenar belirleme ise, görüntüdeki nesnelere sınırlarını tespit ederek, şekil, boyut ve konum gibi geometrik özelliklerin çıkarılmasını sağlar [7-9]. Kenarların doğru bir şekilde belirlenmesi, bir nesnenin diğerinden ayrılmasını kolaylaştırır ve bölütleme sürecinin doğruluğunu artırır. Sobel, Canny ve Laplace gibi kenar belirleme algoritmaları, farklı görüntü tiplerine ve uygulamalara uygun şekilde uyarlanabilen esnek araçlardır. Bu tekniklerin etkinliği, özellikle gürültülü ya da karmaşık arka plana sahip görüntülerde daha da önemli hale gelir. Kenar belirleme, sadece bölütleme için değil, aynı zamanda nesne tanıma [10], görüntü filtre uygulamaları [11], hareket algılama [12] ve görüntü entropolayonu [13] gibi ileri seviye görüntü işleme uygulamaları için de kritik bir aşamadır.

Çekirdekli bölge genişletme (SRG - Seeded Region Growing) tabanlı görüntü bölütleme, dijital görüntülerde belirli nesnelere ya da bölgelere tespit etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, önceden tanımlanmış başlangıç noktaları (tohumlar) ile çalışır ve komşu piksellerin özelliklerine dayanarak benzerlik analizine dayalı bir şekilde bölge genişletir. SRG'nin avantajları arasında, gürültüye dayanıklı olması ve bölütleme sonuçlarının başlangıç tohumlarına bağlı olarak hassas bir şekilde kontrol edilebilmesi yer alır. SRG, medikal görüntüleme, nesne tespiti, uydu görüntü analizi

ve çeşitli bilgisayarla görme uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem, özellikle homojen bölgeler içeren görüntülerde etkili bir performans sunar. Literatürde SRG, kenar ve renk indirgeme yöntemlerine dayalı birçok bölütleme çalışması bulunmaktadır. Frank ve Suxian renkli görüntü segmentasyonu için otomatik tohumlanmış bölge genişletme algoritmasını 2005 yılında sunmuşlardır. İlk olarak, giriş RGB renkli görüntü YCbCr renk uzayına dönüştürmüşler ve akabinde başlangıç tohumları otomatik olarak seçilmiştir. Son olarak, benzer veya küçük bölgeleri birleştirmek için bölge birleştirme kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, algoritmanın bazı mevcut algoritmalarla karşılaştırıldığında olumlu sonuçlar üretebildiğini göstermiştir [14]. Feng ve arkadaşları 2020 yılında bulanık C-ortalama (FCM) algoritmasına dayalı etkili bir bölütleme çalışması dikkat çekmektedir. Geliştirilen söz konusu yöntemde öncelikle arka plan ve nesne ayrımı yapılmıştır. Sonra, hem nesnenin hem de arka plan histogramının tepe değerlerinin sayısı hesaplanarak, bölgesel belirgin renklerin niceliği elde edilmiştir. Başka bir ifade ile renk indirgeme kullanılmıştır. Renk sayısı, FCM algoritmasının kümeleme merkezlerinin sayısıdır. Berkeley segmentasyon veri kümesi kullanılarak yapılan deneylere incelendiğinde ilgili yöntemin etkili bir segmentasyon yöntemi olduğunu kanıtlanmıştır.. Algoritma, yüksek kalitede, kararlı ve doğru renkli görüntü segmentasyon sonuçları elde edebilmektedir [15]. Dermatoskopik görüntü segmentasyonu uygulamaları için genişletilmiş bir GrabCut görüntü segmentasyonu algoritması önerilen çalışmada benzer şekilde renk indirge algoritmasından faydalanılmıştır. Yöntem, sekizli ağaç renk indirgeme ve yeni bir enerji fonksiyonuyla değiştirilmiş bir GrabCut yöntemini entegre ederek başarılı bir tıbbi görüntü segmentasyon çalışmasına örnektir. Çeşitli veritabanları üzerinde gerçekleştirilen ve yaygın olarak kullanılan segmentasyon araçlarıyla hem nitel hem de nicel değerlendirmelerde olumlu bir şekilde karşılaştırıldığı gösterilmiştir [16]. Bir diğer makalede, yerel histogramlara dayalı yeni bir görüntü segmentasyonu yöntemi önerilmiştir. Kümeleme tabanlı renk indirgeme ile, yeterli sayıda temsili renk çıkarılarak başlanan çalışmada, her piksel için dairesel bir yerleşimde yerel bir histogram elde edilmiştir. Dairesel yerleşim birkaç ölçeğe genişletildikten sonra, uygun bir ölçeğe sahip yerel bir histogram, görüntü segmentasyonu için karşılık gelen pikselde bir renk-doku tanımlayıcısı olarak benimsenmiştir. Hem sentetik hem de doğal renk-doku görüntüleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel bulgular değerlendirildiğinde önerilen yöntemin, özellikle dokulu alanlarda, görüntü segmentasyonunda en son yöntemlere kıyasla çok daha iyi performans gösterdiği açıkça görülmüştür [17]. Geliştirilmiş kenar algılama algoritması kullanılan 2015 yılında önerilen makalede beyin tümörü



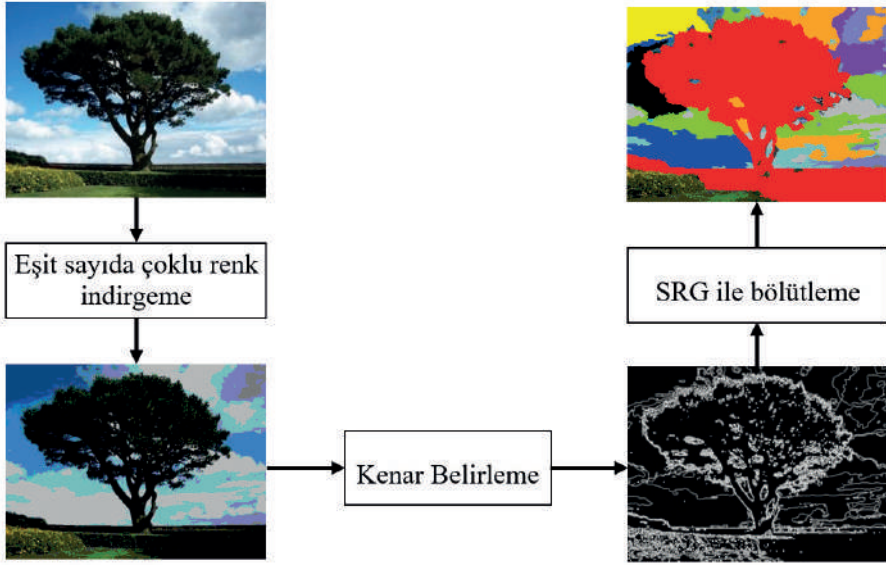
segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. İlgili yaklaşım, Sobel kenar algılamaya dayanmaktadır. Sobel yöntemini görüntü bağımlı eşikleme yöntemiyle birleştirilmiş ve kapalı kontur algoritması kullanarak farklı bölgeler bulunmuştur. Son olarak, tümörler kapalı konturlar içindeki yoğunluk bilgisi kullanılarak görüntüden çıkarılmıştır. Algoritmanın performansı hem nesnel hem de öznel olarak ölçülmüştür. Simülasyon sonuçları, önerilen algoritmanın geleneksel segmentasyon yöntemlerine göre üstün performans verdiğini göstermektedir. Karşılaştırmalı analiz için, önerilen yöntemin geleneksel yöntemlere göre üstünlüğünü göstermek için çeşitli parametreler kullanılmıştır [18]. Narkhede ve Gökhale 2015 yılında önerdikleri çalışma renkli görüntünün segmentasyonu için kenar algılama ve bölge genişletmeyi kullanan bütünleşmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen bahsi geçen yöntem, kenar bilgisine dayalı otomatik tohum seçimini içermektedir. Seçilen tohum piksellerine göre, piksellerin renk benzerliğine ve bağlantısına dayalı bölge genişletme gerçekleştirilmiştir. İlgili yöntem, birçok renkli görüntü için etkili ve verimli sonuçlar sağlamıştır [19]. 2022 yılında meme kanseri tanı modeli için bir segmentasyon modeli önerilmiştir. Makale öncelikle, bir makine öğrenme yaklaşımı kullanılarak memenin mamogram görüntülerine dayalı tümörleri teşhis etmek için etkili bir yöntem önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada çekirdekli bölge genişletme (SRG) algoritması kullanılarak görüntü segmentasyonu, farklı özellik çıkarma sınıfları kullanılarak özellik çıkarma ve sıralı ileri seçim tekniği kullanılarak önemli ve etkili özellik seçimi olmak üzere beş adımdan geçirilmesiyle gerçekleştirilmiştir ve son olarak Destek Vektör Makinesi (SVM) algoritması iki sınıflandırma seviyesinde ikili bir sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntemin pratik uygulaması ve grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) CAD aracı MATLAB yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin normal ve anormal mamogram görüntüleri olarak sınıflandırma doğruluğunun %100'e ulaştığını, iyi huylu ve kötü huylu için sınıflandırma doğruluğunun ise %87,1'e eşit olduğunu göstermiştir [20].

Bu çalışmada renkli görüntüler için çoklu renk indirgeme, kenar belirleme ve SRG tabanlı bir bölütleme tekniği önerilmiş ve bu tekniğin performansı incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda Weizmann [21] tek nesnel renkli görüntü veri seti kullanılmıştır. Bölütleme sonucunda elde edilen görüntüler Weizmann değerlendirme yazılımı yardımıyla MATLAB üzerinde değerlendirilmiştir. Kesinlik (Presicion), duyarlılık (Recall) ve F-skor (F-score) olarak elde edilen sonuçlar, indirgeme için kullanılan eşik sayılarına göre karşılaştırılmıştır.



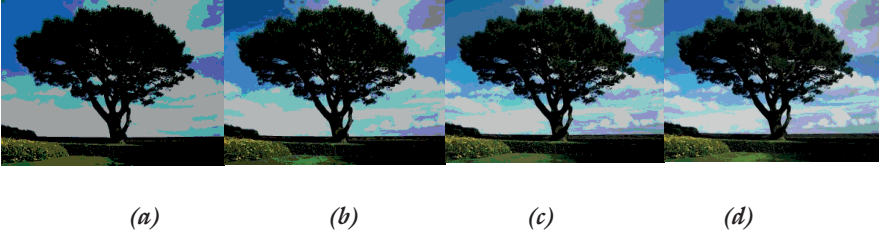
## 2. Önerilen Yöntem

Önerilen yaklaşımın ilk adımında çoklu indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çoklu indirgeme için eşit aralıklı (uniformly) renk indirgeme yaklaşımı kullanılmıştır. Her renk kanalı eşit sayıda (3, 4, 5 ve 6) ayrı gri seviye değerine indirgenmiş ve sırasıyla 27, 64, 125 ve 216 farklı renk değerine sahip görüntüler elde edilmiştir. Ardından komşu pikseller arasındaki Öklid mesafesi ile indirgenmiş görüntülerdeki kenarlar ortaya çıkarılmıştır. İndirgenmiş görüntüler üzerinde, kenar pikseller dışında kalan komşu pikseller birleştirilerek çekirdek bölgeler elde edilmiştir. Son olarak da SRG tekniği yardımıyla bölgeler genişletilmiştir. Önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



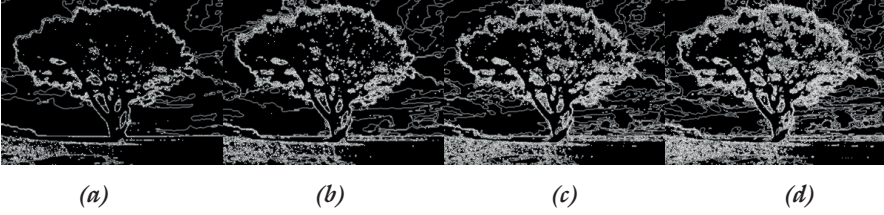
Şekil 1. Önerilen yöntemin akış diyagramı

Şekil 1'de de görüldüğü gibi önerilen yöntemin ilk adımında, renk indirgeme işlemi yapılmaktadır. Bu çalışmada, her bir renk kanalı için 2, 3, 4 ve 5 adet eşit aralıklı eşik seçimi uygulanmıştır. Böylece her bir renk kanalı 3, 4, 5 ve 6 eşit parçaya bölünmüştür. Bu renk kanalları tekrar bir araya getirilerek 27, 64, 125 ve 216 farklı renk değerlerine sahip renkli görüntüler elde edilmiştir. Renk indirgeme işlemi için örnek görüntüler Şekil 2'de görülmektedir.



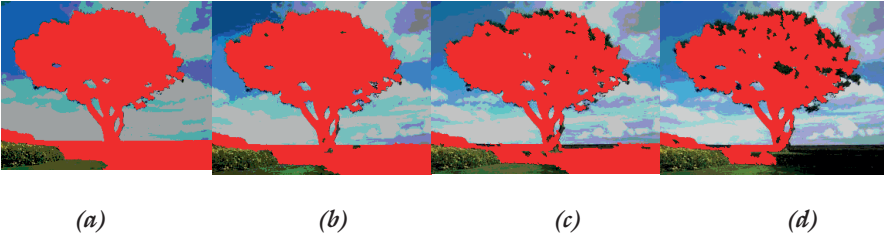
Şekil 2. Renk indirgeme sonuçları, a) 27 renk, b) 64 renk, c) 125 renk, d) 216 renk

Renk indirgeme işleminin ardından, kenar belirleme adımı uygulanmıştır.  $3 \times 3$ 'lük maske içerisindeki merkez pikselin komşuları ile arasındaki Öklid mesafesinin ortalaması, aynı pikselin kenar görüntüsündeki gri seviye değeri olarak atanmıştır. Böylece aynı renk değerlerine sahip pikseller 0 gri seviye değeri yani siyah renk ile gösterilmiştir. Kenar piksellerin gri seviye değerleri ise daha yüksek olarak elde edilmiştir. Şekil 3'de elde edilen kenar görüntülerine ilişkin örnekler verilmiştir.



Şekil 3. Kenar belirleme sonuçları, a) 27 renk, b) 64 renk, c) 125 renk, d) 216 renk

Son aşamada ise gri seviye değeri 0 olan pikseller seçilerek, indirgenmiş renkli görüntü üzerinden SRG tekniği yardımıyla bölge genişletme işlemi yapılmıştır. Bu işlem ile birbirine en benzer pikseller, ilgili bölgeye atanmaktadır. Ayrıca aynı renk değerine sahip komşu bölgeler birleştirilmiştir. Son olarak da görüntüdeki nesne üzerinde rastgele seçilmiş bir noktanın içerisinde bulunduğu bölge boyanarak karşılaştırma için kaydedildi. Elde edilen nesne bölgesi örnekleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 3. Bölütleme sonucu nesne örneği, a) 27 renk, b) 64 renk, c) 125 renk, d) 216 renk

### 3. Deneysel Bulgular

Yapılan çalışma Weizmann tek nesneli renkli görüntü veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veri setinde her görüntü içerisinde 1 adet nesne olmak üzere 100 adet renkli görüntü bulunmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi boyanan görüntüler, Weizmann veri setinde yer alan değerlendirme modülü ile değerlendirilmiştir. Söz konusu modül, her bir sonuç görüntüsünü veri setinde yer alan doğrulama görüntüleri ile karşılaştırmaktadır. Sonuçlar ise kesinlik, duyarlılık ve F-skor olarak elde edilmektedir. İndirgenen renk sayısına göre elde edilen bölütleme sonuçları, her 100 resim için ortalama olarak Tablo 1'de verilmiştir.

İndirgenmiş Renk Sayısı	Kesinlik	Duyarlılık	F-skor
27	0,4743	0,8553	0,5694
64	0,4129	0,8768	0,5268
125	0,3419	0,8593	0,4571
216	0,2924	0,8761	0,4091

Duyarlılık değeri, nesne olarak işaretlenen piksellerin ne kadarının gerçek nesne üzerinde olduğunu gösterir. Kesinlik değeri ise gerçek nesnenin piksellerinin ne kadarının bulunduğunu ifade eder. Kesinlik ile duyarlılık değerlerinin harmonik ortalaması ise F-skor değerini belirler. Tablo 1'de verilen sonuçlarda ilk göz çarpan duyarlılık değerlerinin oldukça yüksek olduğudur. Buna göre, görüntülerde nesne olarak işaretlenen pikseller, büyük oranda doğrudur. Kısaca büyük çoğunluğu gerçek nesne üzerinde yer almaktadır. Ancak gerçek nesnenin seçimi söz konusu olduğunda, yani kesinlik değerleri incelendiğinde başarının genel olarak düştüğü görülmektedir. Her ne kadar bu durum, rastgele nokta seçimi ile alakalı olsa da indirgenmiş renk sayısı arttıkça Kesinlik değerinde önemli bir düşüş görülmektedir. Dolayısıyla indirgenmiş renk sayısının az olmasının SRG tabanlı başarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada renk indirgeme, kenar belirleme ve SRG tabanlı bölütlemeye dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım ile eşit sayıda çoklu eşiklemeler yapılarak, görüntüler farklı sayıda renklere indirgenmiş ve renk sayısı azaltılan görüntüler üzerinde kenar belirleme yapılmıştır. Kenar olmayan piksellerin çekirdek olarak seçilmesinin ardından bölge genişletmeye dayalı bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca başarı değerlendirmesi için 100 adet renkli görüntüden oluşan Weizmann tek nesneli görüntü veri seti

kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım ile yapılan testlerde, renk sayının artmasının bölütleme başarısını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ancak bu sonuca etki eden pek çok faktör bulunmaktadır. Bunların başında indirgeme işlemi için eşit aralıklı eşikler seçilmesidir. Renk indirgeme amacıyla literatürde pek çok çalışma olduğu bulunmaktadır. Ayrıca kenar belirleme işlemi için doğrudan Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Son olarak da nesneye ait bölgenin belirlenmesinde nesne üzerinde rastgele seçilen bir nokta temel alınmıştır. Bunların tamamı da başarıya etki edebilecek durumlardır. Bu nedenle gelecekte, farklı indirgeme ve kenar belirleme tekniklerinin kullanıldığı ve nesneye ait piksellerin detaylı seçimini içeren çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Y. Yu *et al.*, “Techniques and challenges of image segmentation: A review,” *Electronics*, vol. 12, no. 5, p. 1199, 2023.
- [2] S. Minaee, Y. Boykov, F. Porikli, A. Plaza, N. Kehtarnavaz, and D. Terzopoulos, “Image segmentation using deep learning: A survey,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 44, no. 7, pp. 3523-3542, 2021.
- [3] X. Zhang, Q. Yao, J. Zhao, Z. Jin, and Y. Feng, “Image semantic segmentation based on fully convolutional neural network,” *Comput. Eng. Appl*, vol. 44, pp. 45-57, 2022.
- [4] A. Garcia-Garcia, S. Orts-Escolano, S. Oprea, V. Villena-Martinez, P. Martinez-Gonzalez, and J. Garcia-Rodriguez, “A survey on deep learning techniques for image and video semantic segmentation,” *Applied Soft Computing*, vol. 70, pp. 41-65, 2018.
- [5] M. Kılıçaslan and M. O. İncetaş, “Adaptive Color Quantization Method with Multi-level Thresholding,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 16, no. 1, p. 7, 2023.
- [6] M. Kılıçaslan, U. Tanyeri, and R. Demirci, “Image Retrieval using One-Dimensional Color Histogram Created with Entropy,” *Advances in Electrical & Computer Engineering*, vol. 20, no. 2, 2020.
- [7] X. Pang, C. Lin, F. Li, and Y. Pan, “Bio-inspired XYW parallel pathway edge detection network,” *Expert Syst Appl*, vol. 237, p. 121649, 2024.
- [8] U. Tanyeri, M. Kılıçaslan, and R. Demirci, “Canny edge detector with half entropy,” in *2019 3rd international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT)*, 2019: IEEE, pp. 1-4.
- [9] N. You, L. Han, D. Zhu, and W. Song, “Research on image denoising in edge detection based on wavelet transform,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, p. 1837, 2023.
- [10] M. C. Shin, D. B. Goldgof, and K. W. Bowyer, “Comparison of edge detector performance through use in an object recognition task,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 84, no. 1, pp. 160-178, 2001.
- [11] M. Kılıçaslan, “Adaptive threshold selection of anisotropic diffusion filters using spiking neural network model,” *Signal, Image and Video Processing*, vol. 18, no. 1, pp. 407-416, 2024.
- [12] J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, and R. Hingorani, “Hierarchical model-based motion estimation,” in *Computer Vision—ECCV’92: Second European Conference on Computer Vision Santa Margherita Ligure, Italy, May 19–22, 1992 Proceedings 2*, 1992: Springer, pp. 237-252.

- [13] M. Kılıçaslan, "Image interpolation with spiking neural network based pixel similarity," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 18, no. 10, pp. 6925-6936, 2024.
- [14] F. Y. Shih and S. Cheng, "Automatic seeded region growing for color image segmentation," *Image Vision Comput*, vol. 23, no. 10, pp. 877-886, 2005.
- [15] L. Feng, H. Li, Y. Gao, and Y. Zhang, "A color image segmentation method based on region salient color and fuzzy c-means algorithm," *Circuits, Systems, and Signal Processing*, vol. 39, pp. 586-610, 2020.
- [16] V. Frants and S. Agaian, "Dermoscopic image segmentation based on modified GrabCut with octree color quantization," in *Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2020*, 2020, vol. 11399: SPIE, pp. 119-130.
- [17] Y. Liu, G. Liu, C. Liu, and C. Sun, "A novel color-texture descriptor based on local histograms for image segmentation," *Ieee Access*, vol. 7, pp. 160683-160695, 2019.
- [18] A. Aslam, E. Khan, and M. S. Beg, "Improved edge detection algorithm for brain tumor segmentation," *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 430-437, 2015.
- [19] P. R. Narkhede and A. V. Gokhale, "Color image segmentation using edge detection and seeded region growing approach for CIELab and HSV color spaces," in *2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, 2015: IEEE, pp. 1214-1218.
- [20] F. A. Al-Fahaidy, B. Al-Fuhaidi, I. AL-Darouby, F. AL-Abady, M. AL-Qadry, and A. AL-Gamal, "A diagnostic model of breast cancer based on digital mammogram images using machine learning techniques," *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, vol. 2022, no. 1, p. 3895976, 2022.
- [21] Eitan Sharon, Meirav Galun, Dahlia Sharon, Ronen Basri, and Achi Brandt, "Hierarchy and adaptivity in segmenting visual scenes," *Nature*, Vol. 442(7104): 719-846, 2006.

## IoT-Based Smart Public Transport Systems

Harun Çakır<sup>1</sup>

Gül Fatma Türker<sup>2</sup>

### Abstract

Today, rapidly increasing urbanization and population density cause serious traffic problems in cities. Among these problems, the inadequacy of public transportation systems used by a significant number of people, especially in large cities, is also a serious problem. IoT (Internet of Things) and Artificial Intelligence technologies, which have gained importance in recent years, are used to provide solutions to traffic and public transportation problems in cities. In this study, IoT and Artificial Intelligence technologies in public transportation and public transportation systems are discussed and theoretically examined. As a result, IoT-based smart public transportation systems stand out as one of the cornerstones of the smart cities of the future as well as solving today's transportation problems.

### 1. INTRODUCTION

Today, rapidly increasing urbanization and population density cause serious traffic problems in cities. Especially in urban transportation, there are problems such as heavy traffic, increased waiting times in traffic, increased traffic accidents, air pollution, which have serious negative effects on the health of urban residents (Dui et al. 2024). In addition to these problems, the inadequacy of public transportation systems used by a significant number of people, especially in big cities, is also a serious problem.

The Internet of Things (IoT-Internet of Things), which has become increasingly important in recent years, is especially used in solving urban

---

1 Doctoral Student, Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer Engineering, d2440138006@ogr.sdu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1472-7844.

2 Assistant Professor, Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer Engineering, gulturker@sdu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5714-5102.

problems. IoT can be defined as a system in which all devices/objects that can be connected to a network can collect and share data among themselves within the framework of certain protocols without the need for human intervention and data input (Syed. Et al., 2021). Devices connected to each other over the internet; sensors, cameras, vehicles, buildings, machines, electrical appliances, etc. can be included in this system. The important thing is that these devices can collect data and share this data within the system. Due to these features, IoT technology is trying to find solutions to the problems experienced in public transportation systems in cities.

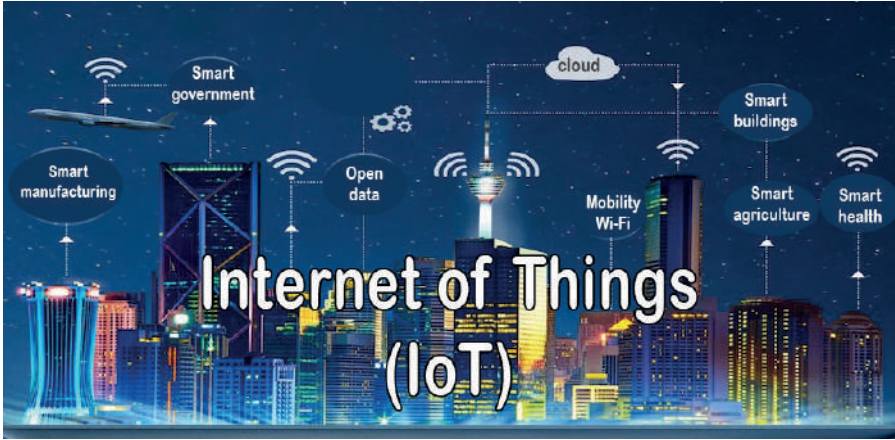
Smart city management aims to manage the city's resources more efficiently with the help of technology and thus improve the quality of life of city dwellers. IoT has an important place in smart city management. Important operations such as collecting, storing or processing data in smart city management can be done with IoT technology (Doruk, 2022).

IoT technology used in traffic systems in cities enables more effective management of traffic systems by collecting public transport vehicles, stops, passengers, intersection traffic information and providing real-time data exchange between the control center (Dui et al. 2024, Javaid et al., 2018). Especially in big cities, more than half of road transportation is carried out by public transportation. In big cities such as Istanbul, Ankara and Izmir, the intensity of public transportation use is higher. IoT technology helps to make transportation processes safer, faster and more user-friendly by providing real-time data exchange between vehicles, infrastructure and passengers, especially in large cities where public transportation is used more.

## **2. INTERNET OF THINGS AND PUBLIC TRANSPORTATION**

The concept of the Internet of Things (IoT) was first used in 2005 by the International Telecommunication Union (ITU), an expert organization of the United Nations (ITU, 2005). IoT enables objects or devices to communicate and exchange information by connecting them through the internet, radio frequencies, GPS and laser scanners (Bao, 2016). Today, IoT technology is used in many fields such as logistics, transportation, security, energy, medicine, architecture, manufacturing, home, retail (Dai et al. 2021).





*Figure 1. Internet of Things (IoT)*

IoT is a system that enables physical objects that can collect data or share data on the network to communicate with each other and central systems over the internet, and process data from objects in real time.

IoT applications are used to make the sensors within the system accessible and to generate data by combining the data obtained from these sensors. High amounts of sensor data coming from physical environments are transmitted to operators or relevant people as information after evaluations, or the data is processed with the help of systems to make decisions about a situation (Giordano et al. 2011).

Today, urban areas, especially large cities, face transportation problems due to population growth and increasing use of individual vehicles. The convenience and comfort of individual vehicles has led to a large increase in the number of motor vehicles in cities. As a result, the high demand for transportation in urban centers leads to heavy traffic and related

problems such as air and noise pollution and traffic accidents (Greene, 1997; Newman and Kenworthy, 2006). For this reason, developed countries are adopting more sustainable policies such as reducing the use of individual vehicles, encouraging nonmotorized transportation, developing practices to support pedestrians to provide a more comfortable and safe transportation, improving public transportation systems in particular, and reducing greenhouse gas emissions (Newman and Kenworthy, 2015; Pojani and Stead, 2015).

Individual car use has some negative effects on human health. According to the researches, it has been determined that public transportation users walk

between 8-33 minutes more than individual vehicle users. In the same study, it was found that about 30% of public transportation users' physical activity during the day is only walking to the transportation vehicles. Although it is considered that these walking times are not sufficient for human health, walking to access public transportation provides health benefits (Rissel et al. 2015).

In order to collect various data in public transportation systems, sensors with various features are installed in public transportation vehicles. Thanks to these sensors, data such as the speed, location, number of passengers, temperature, fuel quantity, etc. of the public transport vehicle can be monitored instantaneously and these data are collected in a center and used to evaluate the system performance. These collected data are helpful for system users or system administrators in many areas such as real-time location tracking, dynamic route and time calculation, energy efficiency, vehicle maintenance tracking, and passenger experience.

### **2.1. In-Vehicle Sensors and GPS Technology**

In-vehicle sensors used in public transportation collect various types of data to improve the safety, efficiency and passenger experience. These sensors are usually installed in

public transportation vehicles such as buses, trams, subways and trains, which are used by a large number of people.

Thanks to the in-vehicle sensors in the IoT system, data such as speed, location, passenger density of the public transportation vehicle as well as technical data of the vehicle can be obtained. For example, fuel information, engine status, temperature inside the vehicle. Thanks to this data collected, instant data about the vehicle condition can be obtained and the maintenance needs of the vehicle can be determined in advance. Some types of sensors and their intended use can be summarized as follows;

Speed and acceleration sensors are generally used to measure the dynamic movements of vehicles. The data obtained is sent to the central system and processed. These sensors contribute to ensuring in-vehicle passenger safety and detecting the driver's driving habits by detecting situations such as sudden braking or acceleration of the vehicle. In addition, it can also be used to detect mechanical problems that may occur in the vehicle or to determine the causes of the accident when an accident occurs thanks to vehicle speed and acceleration data.

Passenger counting sensors are used to detect the current density in public transportation. The systems usually use cameras and image processing methods, infrared sensors or by monitoring the weight change of the vehicle to obtain occupancy information. These sensors are usually installed in vehicles such as buses, trains and subways, counting the number of passengers boarding and alighting the public transportation vehicle and determining the occupancy status of the vehicle (Pronello et al. 2023). Passenger mobility data can also be used to plan future services.

Air conditioning sensors measure parameters such as ambient temperature, humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) level and air quality. These sensors are used in public transport to increase

passenger comfort or optimize energy consumption. For example, in crowded countries such as China where public transportation is used intensively, ventilation systems are optimized and fresh air flow is ensured thanks to the data received from air conditioning sensors (Zhang et al. 2023). Smart air conditioning systems use only as much energy as necessary based on data from sensors. For example, thanks to the temperature control used in trains and buses, energy consumption is minimized, contributing to reduced operating costs and environmental impact (Cepeliauskaite et al. 2021).

Vibration and noise sensors have a wide range of applications in public transport systems, both to improve passenger comfort and to optimize infrastructure and vehicle maintenance. Thanks to noise sensors, internal noise data of public transport is collected and acoustic insulation can be optimized when necessary. In this way, passengers can travel more comfortably. There are also projects where environmental noise and vibration effects of public transport vehicles are analyzed and necessary optimizations are carried out (Seismic Surveys).

The Global Positioning Systems (GPS) is a network of 27 satellites orbiting the earth that was first developed by the US military as a military navigation system, but later made available to everyone (Theiss so., 2005, gps.gov). GPS is a system based on measuring the time of data exchange from at least 4 satellites that determine the position of a GPS device located anywhere in the world at any given time. In the GPS system, the earth is divided into 6 orbits determined by certain angles and there are 4 satellites in each orbit. In this way, a GPS device whose location is being determined can exchange data with at least 4 satellites (BOUN, 2022). Thanks to the connection of the GPS device with satellites, its position on the earth can be determined.

The signal sent by GPS satellites to users consists of a Pseudo Random Noise (PRN) code and a navigation message that

does not contain any information. The PRN code, which is generated using the binary number system (0 and 1), resembles a random sequence of numbers and is generated using a shift register according to a specific algorithm or rule. In satellites, PRN codes differ from each other thanks to the output bits from different cells in the shift registers (Tsui, 2004). PRN codes not only identify the satellite from which the signal is received, but are also used to calculate the distance between the receiver and the satellite. Traditional GPS satellites have two different PRN codes. One is the C/A code (Coarse Acquisition) for civilian users and the other is the P- (Precision) code for military applications. These two PRN codes and the navigation message are overlaid on the L1 carrier frequency. L2 carrier frequency consists of only the P code and the navigation message (Kahveci, 2012).

GPS consists of three main parts: space, control and user. The space segment consists of satellites that send navigation information to users to help them calculate their three-dimensional position and velocity. The user section of receivers that provide time, position and velocity information for civilian and military purposes. The main function of the control section is to set satellite clocks, correct deviations in satellite orbits, monitor GPS satellites, correct and update errors in the content of the navigation message, identify and correct clock errors of satellites, check battery charge status, orbit information, satellite health status and correct operation. Another task is to activate the backup satellite in case of any problems with the satellites (Kahveci, 2012, Zhang, 2013, Kaplan, 2006)

Thanks to the GPS devices installed in public transportation vehicles, the location of the vehicles can be continuously monitored and real-time traffic information can be transmitted to the center. In this way, the necessary route arrangements of public transportation vehicles can be made and passengers can be instantly informed about vehicle location or arrival times (Spatialpost, 2023).

## **2.2. Smart Stops and Passenger Information Systems**

Smart stops refer to stops designed to serve passengers using public transportation systems thanks to technological tools. These stops are usually equipped with information screens for passengers, free Wi-Fi service for passengers, sensors for data collection, digital signs, etc. These stops are designed to reduce waiting times, provide accurate information to passengers,

improve the travel experience and increase energy efficiency (Republic of Turkey Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024)

Passenger Information Systems (PIS) are systems that aim to provide accurate, timely and easily comprehensible information to passengers in vehicles in the public transportation system and also at stops. Thanks to these systems, passengers who will use public transportation can organize their travel plans by accessing information such as estimated arrival times of vehicles, vehicle routes, and passenger density in the vehicle. In addition, they can also determine the routes they will use to reach their destination thanks to the route and route screens at the stops (Bursa Metropolitan Municipality, 2024, Istanbul Metropolitan Municipality, 2024, Izmir Metropolitan Municipality, 2024).

Passenger information screens are also used inside public transportation vehicles as well as at bus stops. Passengers can access data such as the estimated time left to reach their destination, the route to be used during the journey and stop information from inside the vehicle. Passengers can also access this information through mobile applications developed by municipalities. Thus, these systems aim to increase the efficiency of public transportation systems and improve the passenger experience.

The functions of passenger information systems can be summarized as follows:

- **Live Information:** By providing real-time movement information of public transportation vehicles such as buses, subways and trams, information such as estimated arrival times of vehicles, stops on the current route and transfer points can be transferred to passengers
- **Route and Route Information:** Shows which vehicles and routes travelers should choose to reach their destination.
- **Announcements and Emergencies:** Provides instant notifications about technical problems, delays or schedule changes.
- **Language and Accessibility Support:** It offers more comfortable information to foreign passengers with multilingual options. It also includes special designs for disabled individuals.

### **3. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS**

Machine learning is one of the fastest growing fields today, located at the intersection of computer science and statistics and at the center of artificial

intelligence and data science. Within artificial intelligence (AI), machine learning has emerged as the method of choice for developing practical software for computer vision, speech recognition, natural language processing, robot control and other applications (Jordan and Mitchell, 2015).

For machine learning, a model is first created and thanks to this model, suggestions or predictions about the future are produced from the available data. Some of the data in machine learning is used in the training of the model and some of it is used as test data to determine whether the model produces correct results as a result of training (Grigorev, 2020).

Intelligent transportation systems (ITS) typically refer to the application of information, communication and sensing

technology to transportation and transit systems. ITS is likely to be an integral component of tomorrow's smart cities and will include a variety of services and applications such as road traffic management, passenger information systems, public transport system management and autonomous vehicles. ITS services are expected to contribute significantly to road and traffic safety, transportation and transit efficiency, as well as increasing energy efficiency and reducing environmental pollution. Although ITS applications have been made possible by unprecedented advances in sensing, computing and wireless communication technologies, they will pose several challenges due to their scalability and various quality of service needs, as well as the large amount of data they will generate (Yuan et al., 2022). In particular, it is important that the data obtained can be used in artificial intelligence technologies to provide solutions to the city's current or potential traffic problems.

Data from ITS paves the way for machine learning's ability to discover knowledge from data. The results obtained from machine learning algorithms such as regression, classification, prediction, clustering and even decision-making form the basis for solving transportation problems (Yuan et al., 2022).

Accurately forecasting the demand or need for public transport in a city in the short term is very important for public transport users. For example, knowing where and when future passenger congestion is likely to occur will help improve the quality and reliability of service by allowing public transit agencies to quickly adjust their schedules. Liyagane et al. (Liyagane, S, et al. -2022) used AI-based deep learning models to predict bus passenger demand based on real user data from a smart card system in Melbourne. They used real data from 18 bus routes and 1,781 bus stops from the busiest

bus routes in Melbourne. LSTM and BiLSTM deep learning models were evaluated and compared with five traditional deep learning

models using the same dataset. As a result of the study, they predicted passenger demands with an accuracy of over 90%.

Artificial intelligence applications exist for passenger density forecasting in air transportation. Jin et al. (Jin et al., 2020) used passenger demand data from Beijing, Guangzhou and Pudong airports in different artificial intelligence models to predict passenger demand with high accuracy.

Especially in big cities, malfunctions in public transportation vehicles pose a significant problem. Güven and Şahin (2022) ran classification techniques in machine learning based on vehicle health data obtained from IoT sensors in public transportation vehicles. For maintenance planning, they examined the probability of normal and faulty vehicles with fuzzy logic method. As a result of the study, they were able to detect almost all of the faults in vehicles with the methods they applied.

In public transportation systems, long queues for buying tickets, reading cards, etc. cause loss of time for passengers. In 2019, the authorities also announced the installation of a facial recognition system to help overcome overcrowding problems in Beijing's subway areas, the Daily Sun reported. With this system, they aimed to reduce the long queues that form during peak public transportation hours. The system analyzes facial data to ensure that only identified passengers enter the station. It can also detect potential threats as artificial intelligence quickly verifies identities and prevents unauthorized access (Biometricupdate, 2024).

In 2021, Dubai started using machine learning algorithms to manage crowds on public transportation. It is stated that the waiting time is reduced to 30 minutes thanks to the system that recommends the shortest time to reach the point they want to reach according to the crowds (RTA, 2021).

The safety of passengers on public transportation depends on detecting malfunctions before they occur. Thanks to a system

pioneered by Dell Technologies in the US, it has created a trackside portal that uses artificial intelligence to inspect trains traveling at speeds of over 125 miles per hour and flag any railcar problems in real time. This system captures 360-degree images of each train car in a very short period of time within seconds, and thanks to artificial intelligence systems, it can communicate potential problems to the center (Dell Technologies, 2024).



Energy management and optimization is an important issue for public transport systems. On average, 2.3 million passengers use the Madrid metro (Metro de Madrid) system every day, which includes a network of 294 kilometers of track and 301 stations. To help keep passengers cool inside the stations, especially during the hot summer months, Metro de Madrid operates 891 ventilation fans that consume up to 80 gigawatt hours of energy per year. An AI-based ventilation system used in the Madrid metro system reduces the cost of energy used for ventilation by 25%. Accordingly, it has reduced annual CO<sub>2</sub> emissions by 1,800 tons. In this way, it improves the air quality in metro stations and offers passengers a more comfortable travel opportunity (Accenture, 2019).

#### 4. CONCLUSION

IoT-based smart public transport systems transform the transportation infrastructure of modern cities, increasing efficiency, supporting sustainability and improving the passenger experience. Data from sensors, GPS devices and real-time processing by smart algorithms enable public transport vehicles to optimize their routes and manage traffic flow more effectively.

Among the most important benefits of these systems are dynamic service planning based on passenger demand, energy savings and reduction of carbon emissions, especially in public transportation systems. In addition, IoT technology increases safety in public transportation, enabling predictive maintenance practices and ensuring uninterrupted operation of the system.

However, the effective implementation of IoT-based systems faces significant challenges, such as data security, infrastructure costs and the development of harmonized standards. In the future, the integration of artificial intelligence and IoT technology could allow these systems to operate autonomously and open the door to a new era in public transportation services.

In conclusion, IoT-based smart public transportation systems not only solve current transportation problems, but also stand out as one of the cornerstones of the smart cities of the future. City planners, policy makers and technology providers can collaborate to implement these systems on a wide scale and build a more sustainable and user-friendly future for public transportation.

## References

- Accenture (2019). Accenture Helps Metro de Madrid Balance Energy Efficiency and Passenger Comfort with AI-Based Self-Learning Ventilation System, Available at: <https://newsroom.accenture.com/news/2019/accenture-helps-metro-de-madrid-balance-energy-efficiency-and-passenger-comfort-with-ai-based-self-learning-ventilation-system> (Access Date: 05.12.2024)
- Bao, Y. F. (2016). Analysis of the learning evaluation of distance education based on the Internet of Things. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 14(1), 168- 172.
- Biometricupdate. (2024), Biometric payments for public transportation expand in China, Russia, Available at: <https://www.biometricupdate.com/202403/biometric-payments-for-public-transportation-expand-in-china-russia#:~:text=Authorities%20said%20at%20the%20time,Beijin g%20Rail%20Traffic%20Control%20Center.> (Access Date: 05.12.2024)
- Boun (Boğaziçi University) Department of Geodesy. (2022). [https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS\\_BUKR-DAE\\_GED.pdf](https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS_BUKR-DAE_GED.pdf) (Date of access: 05.12.2024)
- Bursa Metropolitan Municipality. (2024), Access Address: <http://www.bursa.bel.tr> (Access Date: 08.12.2024)
- Dai, Z., Zhang, Q., Zhu, X., & Zhao, L. (2021). A comparative study of Chinese and foreign research on the internet of things in education: Bibliometric analysis and visualization. *IEEE Access*, 9, 130127-130140.
- Dell Technologies (2024). AI inspections at the edge increase railroad safety, Available at: [https://www.dell.com/en-us/dt/case-studies/customer-stories/duos-technologies-edge.htm?dgc=Af&cid=aithoughtleadership&lid=fbvfy25\\_010](https://www.dell.com/en-us/dt/case-studies/customer-stories/duos-technologies-edge.htm?dgc=Af&cid=aithoughtleadership&lid=fbvfy25_010) (Accessed: 05.12.2024)
- Doruk, B. (2022). *Analysis of Smart City Management in Cities Integrating with Technology* (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Giordano V., Gangale F. & Fulli G. (2011). “Smart Grid Projects in Europe”, JRC Reference Reports, Netherlands.
- Greene, D. L., & Wegener, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of Transport Geography*, 5(3), 177-190.
- Grigorev, A. (2020). Machine Learning Bookcamp MEAP V06 (A. Books.
- Güven, Ö., & Şahin, H. (2022). Predictive Maintenance Based On Machine Learning In Public Transportation Vehicles. *Journal of Engineering Sciences and Research*, 4(1), 89-98.
- H. Dui, S. Zhang, M. Liu, X. Dong and G. Bai, “IoT- Enabled Real-Time Traffic Monitoring and Control Management for Intelligent Transportation

- Systems,” in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 11, no. 9, pp. 15842-15854, May 1, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3351908.
- ITU. (2005). *The internet of things*. Retrieved from <https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf>
- Istanbul Metropolitan Municipality. (2024), Where’s My Bus Application, Access Address: <https://iETT.istanbul> (Access Date: 08.12.2024)
- Izmir Metropolitan Municipality. (2024), General Directorate of ESHOT, Access Address: <https://www.eshot.gov.tr> (Access Date: 08.12.2024)
- Jin, F., Li, Y., Sun, S., & Li, H. (2020). Forecasting air passenger demand with a new hybrid ensemble approach. *Journal of Air Transport Management*, 83, 101744.
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255260.
- Liyanage, S., Abduljabbar, R., Dia, H., & Tsai, P. W. (2022). AI-based neural network models for bus passenger demand forecasting using smart card data. *Journal of Urban Management*, 11(3), 365-380.
- M. Kahveci, F. Yıldız, GPS/GNSS Satellites Position Determination Systems Theory and Practice, Nobel Academic Publishing, Ankara, 2012.
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2006). Urban Design To Reduce Automobile Dependence. *Opolis*, 2(1).
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). The end of automobile dependence (pp. 105-140). Washington, DC, USA:: Island Press/Center for Resource Economics.
- Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784-7805.
- Pronello, C., & Garzón Ruiz, X. R. (2023). Evaluating the Performance of Video-Based Automated Passenger Counting Systems in Real-World Conditions: A Comparative Study. *Sensors*, 23(18), 7719.
- Roads and Transport Authority (RTA). (2021), RTA to tap into artificial intelligence for better crowd management at metro stations, Available at: <https://www.rta.ac/wps/portal/rta/ac/home/news-and-media/all-news/News-Details/rta-to-tap-into-artificial-intelligence-for-better-crowd-management-at-metro-stations> (Accessed: 05.12.2024)
- S. Javaid, A. Sufian, S. Pervaiz and M. Tanveer, “Smart traffic management system using Internet of Things,” *2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, Chuncheon, Korea (South), 2018, pp. 1-1, doi: 10.23919/ICACT.2018.8323769.
- Spatialpost (2023). 57 Applications of GPS: The Ultimate Guide for Navigation, Safety, and Scientific Research, <https://www.spatialpost.com/applications-of-gps/>, (Accessed: 05.12.2024)

Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. *Smart Cities*, 4(2), 429-475.

<https://doi.org/10.3390/smartcities4020024>

T.C. Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Geographical Information Systems Smart City Guidance Applications Project Smart Stop Application, Access Address:

<https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/fizibilite-rapor/21-Akilli%20Durak.pdf> (Access Date: 10.12.2024)

Theiss, A., Yen, D. C., & Ku, C. Y. (2005). Global Positioning Systems: an analysis of applications, current development and future implementations. *Computer Standards & Interfaces*, 27(2), 89-100.

Tsui, J. B. Y. (2004). *Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach*. John Wiley & Sons.

Yuan, T., da Rocha Neto, W., Rothenberg, C. E., Obraczka, K., Barakat, C., & Turetli, T. (2022). Machine learning for next-generation intelligent transportation systems: A survey. *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 33(4), e4427.



# Mühendislik Uygulamalarında Yenilikçi ve Multidisipliner Çalışmalar

Editör:

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ORMAN