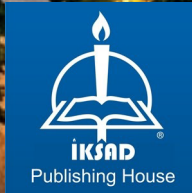


# MİMARLIK, KENT VE ÇEVRE ARAŞTIRMALARI

EDİTÖR: Doç. Dr. Merve BULDAÇ



# MİMARLIK, KENT VE ÇEVRE ARAŞTIRMALARI

## EDİTÖR

Doç. Dr. Merve BULDAÇ

## YAZARLAR

Prof. Dr. Arzuhan Burcu AYDIN

Prof. Dr. Fatih CANAN

Prof. Dr. Gamze YÜCEL IŞILDAR

Dr. Öğr. Üyesi Minel KURTULUŞ

Dr. Yusuf EŞİDİR

Yük. Mimar Beyza KAÇAR

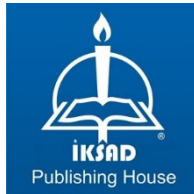
Yük. Mimar Sinem Tuğçe ŞAHİN

Yük. Mimar Şadan Sena KAYHAN

Doktora Öğrencisi, Aleyna KEVEN

Doktora Öğrencisi Kezban Ekin YARAMIŞ

Şeyma ÖZTÜRK



Copyright © 2026 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,  
distributed or transmitted in any form or by  
any means, including photocopying, recording or other electronic or  
mechanical methods, without the prior written permission of the  
publisher, except in the case of  
brief quotations embodied in critical reviews and certain other  
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of  
Economic Development and Social  
Researches Publications®  
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)  
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75  
USA: +1 631 685 0 853  
E mail: iksadyayinevi@gmail.com  
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.  
Iksad Publications – 2026©

**ISBN: 978-625-378-690-8**  
Cover Design: İbrahim KAYA  
June / 2026  
Ankara / Türkiye  
Size: 16x24cm

## **İÇİNDEKİLER**

**SUNUŞ/ÖNSÖZ.....1**

### **BÖLÜM 1**

**MİMARLIKTA YİNELEMELİ SİNİR AĞLARI (RNN):  
KURAMSAL ÇERÇEVE, LİTERATÜR ANALİZİ VE  
UYGULAMA POTANSİYELLERİ**

Dr. Öğr. Üyesi Minel KURTULUŞ.....5

### **BÖLÜM 2**

**VERNAKÜLER MİMARİDE FİZİKSEL ÇEVRENİN  
TASARIMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ:  
TAŞKALE KÖYÜ VE DÜLÜK KÖYÜ ÖRNEKLERİ**

Yüksek Mimar Şadan Sena KAYHAN

Yüksek Mimar Sinem Tuğçe ŞAHİN

Yüksek Mimar Beyza KAÇAR

Prof. Dr. Fatih CANAN.....19

### **BÖLÜM 3**

**MEKÂNSAL TEMELLİ BİR ENTEGRE KENTSEL SU  
YÖNETİMİ DEĞERLENDİRME ÇERÇEVESİ: GAZİ  
ÜNİVERSİTESİ BEŞEVLER KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Doktora Öğrencisi, Kezban Ekin YARAMIŞ

Doktora Öğrencisi, Aleyna KEVEN

Prof. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR.....59

### **BÖLÜM 4**

**MİMARİ TASARIMDA BİLİŞİM PERSPEKTİFİNDEN  
FİZİKSEL ÇEVRE DENETİMİ VE YAPI BİLGİ  
MODELLEMESİ (BIM): LİTERATÜRE DAYALI TEMATİK  
BİR İNCELEME**

Dr. Öğr. Üyesi Minel KURTULUŞ.....107

### **BÖLÜM 5**

**YÜKSEK YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE  
TASARIMININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (LCA)  
PERSPEKTİFİNDEN İNCELENMESİ**

Şeyma ÖZTÜRK

Dr. Yusuf EŞİDİR

Prof. Dr. Arzuhan Burcu AYDIN.....127





## SUNUŞ / ÖNSÖZ

Mimarlık ve kent araştırmaları; insan, mekân, teknoloji, kültür ve doğal çevre arasındaki çok katmanlı ilişkileri anlamaya ve geliştirmeye yönelik geniş bir çalışma alanını kapsamaktadır. Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, çevresel sorunlar, toplumsal dönüşümler ve değişen kullanıcı gereksinimleri, yapılı çevrenin farklı ölçeklerde ve disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda mimarlık, iç mimarlık, şehir ve bölge planlama, peyzaj mimarlığı ve mühendislik gibi farklı disiplinler; mekânın tasarlanması, değerlendirilmesi ve sürdürülebilir biçimde dönüştürülmesi süreçlerine kendi kuramsal ve yöntemsel birikimleriyle katkı sunmaktadır.

“Mimarlık, Kent ve Çevre Araştırmaları” başlıklı bu kitapta, yapılı çevreyi farklı ölçeklerden ve bakış açılarından ele alan kuramsal ve uygulamaya yönelik çalışmalar bir araya getirilmektedir. Kitapta yer alan bölümler; yapay zekâ teknolojilerinin mimarlık alanındaki kullanımından vernaküler mimariyi biçimlendiren çevresel etkenlere, kentsel su yönetiminden bilişim destekli fiziksel çevre denetimine ve yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımının yaşam döngüsü perspektifinden değerlendirilmesine kadar uzanan çok yönlü bir araştırma çerçevesi sunmaktadır. Birbirinden farklı konulara odaklanan çalışmaların ortak noktasını; insan, mekân, teknoloji ve çevre arasındaki ilişkilerin güncel yöntemler ve farklı araştırma yaklaşımları aracılığıyla değerlendirilmesi oluşturmaktadır.

*“Mimarlıkta Yinelemeli Sinir Ağları (RNN): Kuramsal Çerçeve, Literatür Analizi ve Uygulama Potansiyelleri”* başlıklı birinci bölümde, yapay zekâ ve derin öğrenme alanında kullanılan yinelemeli sinir ağlarının mimarlık disipliniyle ilişkisi ele alınmaktadır. Çalışmada RNN modellerinin temel çalışma prensipleri ve mimarlık alanındaki mevcut kullanımları literatür üzerinden değerlendirilmekte; tasarım süreçleri, mekânsal veri analizi, enerji performansı tahmini ve kullanıcı davranışlarının incelenmesi gibi alanlardaki potansiyel uygulamalar tartışılmaktadır.

İkinci bölümde yer alan *“Vernaküler Mimaride Fiziksel Çevrenin Tasarım Etkisinin İncelenmesi: Taşkale Köyü ve Dülük Köyü Örnekleri”* başlıklı çalışmada, yerel mimari biçimlenmenin doğal ve fiziksel çevre koşullarıyla ilişkisi iki farklı yerleşim örneği üzerinden incelenmektedir.

İklim, topoğrafya, yapı malzemeleri ve yerel yapım teknikleri gibi unsurların mimari karakterin oluşumundaki etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmekte; vernaküler mimarinin çevresel koşullara uyum sağlayan özgün tasarım yaklaşımları ortaya konulmaktadır.

“*Mekânsal Temelli Bir Entegre Kentsel Su Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi: Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü Örneği*” başlıklı üçüncü bölümde, kentsel su kaynaklarının sürdürülebilir ve bütüncül biçimde yönetilmesine yönelik mekânsal temelli bir değerlendirme yaklaşımı sunulmaktadır. Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü üzerinden gerçekleştirilen çalışma; yağmur suyu yönetimi, geçirimsiz yüzeyler, yeşil alanlar ve su kullanım biçimleri arasındaki ilişkileri ele almakta ve kampüs ölçeğinde uygulanabilecek entegre su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

“*Mimari Tasarımda Bilişim Perspektifinden Fiziksel Çevre Denetimi ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM): Literatüre Dayalı Tematik Bir İnceleme*” başlıklı dördüncü bölümde, mimari tasarım süreçlerinde bilişim teknolojileri, fiziksel çevre denetimi ve Yapı Bilgi Modellemesi arasındaki ilişki tematik bir yaklaşımla incelenmektedir. Çalışmada BIM, dijital ikizler, Nesnelerin İnterneti, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve hesaplamalı tasarım uygulamaları; çevresel performans, kullanıcı konforu, veri odaklı karar verme ve mimarlık eğitiminin dönüşümü bağlamlarında değerlendirilmekte, alanın güncel eğilimleri ile araştırma boşlukları ortaya konulmaktadır.

Beşinci bölümde yer alan “*Yüksek Yapılarda Sürdürülebilir Cephe Tasarımının Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Perspektifinden İncelenmesi*” başlıklı çalışmada, yüksek yapılarda cephe tasarımını belirleyen yapısal, çevresel ve kullanıcı odaklı performans ölçütleri yaşam döngüsü yaklaşımı çerçevesinde ele alınmaktadır. Enerji verimliliği, malzeme seçimi, iç mekân konforu, iklim koşullarına uyum, güvenlik, dayanıklılık ve hizmet ömrü gibi tasarım kararlarının üretimden kullanım ömrü sonuna kadar oluşturduğu çevresel etkiler tartışılmakta; LCA metodolojisinin farklı cephe alternatifleri arasındaki çevresel ödünleşmeleri görünür kılan bütüncül bir karar destek aracı olarak rolü vurgulanmaktadır.

Kitapta yer alan çalışmalar; teknolojik gelişmeler ile geleneksel mimari bilgi birikimini, çevresel sürdürülebilirlik ile mekânsal planlama yaklaşımlarını, veri odaklı tasarım ve performans değerlendirme yöntemleri

ile yapı ve kent ölçeğindeki uygulamaları bir araya getiren çok yönlü bir içerik oluşturmaktadır. Bu yönüyle kitap, mimarlık ve kent araştırmalarındaki güncel tartışmalara katkıda bulunmayı; farklı yöntem, yaklaşım ve örnekler üzerinden yapılı çevrenin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamayı hedeflemektedir.

**“Mimarlık, Kent ve Çevre Araştırmaları”** kitabının; mimarlık, iç mimarlık, şehir ve bölge planlama, peyzaj mimarlığı ve ilgili disiplinlerde çalışan akademisyenler, meslek insanları, araştırmacılar ve öğrenciler için yararlı bir kaynak olmasını arzu ediyoruz.

Kitabın hazırlanması ve yayımlanması sürecinde editörü ve bölüm yazarlarını destekleyen İKSAD Yayınevine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bilimsel bilgi ve birikimlerini paylaşarak kitabın ortaya çıkmasına katkı sağlayan tüm bölüm yazarlarına, değerli emekleri ve özverili çalışmaları için içtenlikle teşekkür ederim.

**Editör**

Doç. Dr. Merve BULDAÇ





## BÖLÜM 1

### MİMARLIKTA YİNELEMELİ SİNİR AĞLARI (RNN): KURAMSAL ÇERÇEVE, LİTERATÜR ANALİZİ VE UYGULAMA POTANSİYELLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Minel KURTULUŞ<sup>1</sup>

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21538402>

---

<sup>1</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye. minelkurtulus@gmail.com, orcid id: 000-0003-4623-0613



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, birçok disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da dönüşümü hızlandırmıştır. Özellikle veri odaklı tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, mimari tasarım, analiz ve karar verme süreçlerinde akıllı sistemlerin kullanımı giderek daha önemli hâle gelmiştir. Bu bağlamda, zamana bağlı verilerin modellenmesinde yüksek başarı gösteren Recurrent Neural Networks (RNN'ler), mimarlık alanında henüz tam anlamıyla keşfedilmemiş ancak önemli bir potansiyel barındıran yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Mimarlık disiplini, doğası gereği yalnızca mekânsal değil aynı zamanda zamansal verileri de içeren karmaşık bir yapıdadır. Kullanıcı davranışları, mekânsal deneyim, çevresel veriler, enerji tüketimi, iklimsel değişkenler ve kentsel dinamikler gibi birçok parametre zaman serisi niteliği taşımakta ve bu verilerin doğru şekilde analiz edilmesi tasarım süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bu noktada, ardışık verileri öğrenme ve geçmiş bilgiyi modelleyebilme kapasitesine sahip RNN tabanlı yaklaşımlar, mimari problemlerin çözümünde güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU) gibi gelişmiş RNN türevleri, uzun dönemli bağımlılıkları modelleme yetenekleri sayesinde karmaşık mimari veri setlerinin analizinde önemli avantajlar sunmaktadır.

Literatürde RNN'lerin farklı alanlardaki uygulamalarını ele alan çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların büyük bir kısmının doğal dil işleme, sağlık, finans, robotik ve akıllı şehirler gibi alanlara odaklandığı görülmektedir. Örneğin, dil modelleme, hastalık tahmini, trafik analizi ve çevresel modelleme gibi uygulamalarda RNN'lerin yüksek performans gösterdiği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, mimarlık alanında RNN kullanımına yönelik çalışmaların sınırlı olduğu ve mevcut çalışmaların çoğunlukla dolaylı uygulamalarla (örneğin enerji analizi, kullanıcı davranışı tahmini veya kentsel veri modelleme) sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir. Bu durum, mimarlık disipliniinde RNN tabanlı yaklaşımların sistematik ve kapsamlı bir şekilde ele alınmasına duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

Mimarlıkta dijitalleşme süreci, parametrik tasarım, performans temelli tasarım ve simülasyon tabanlı yaklaşımların gelişmesiyle birlikte yeni bir boyut kazanmıştır. Ancak bu süreçte kullanılan birçok yöntem hâlâ statik veri

analizine dayanmaktadır. Oysa mimari süreçler dinamik, çok katmanlı ve zamana bağlıdır. Bu nedenle, yalnızca mekânsal değil, aynı zamanda zamansal ilişkileri de modelleyebilen yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. RNN'ler, bu noktada tasarım sürecine yeni bir bakış açısı kazandırarak değişkenler arası ilişkilerin zaman içindeki evrimini analiz etme imkânı sunmaktadır. Böylece, mimari tasarımın sadece mevcut durumunu değil, gelecekteki olası senaryolarını da öngörebilen daha akıllı sistemlerin geliştirilmesi mümkün hâle gelmektedir.

Bu çalışma, mevcut literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve RNN'lerin mimarlık alanındaki kullanımını kapsamlı bir şekilde incelemeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda, RNN mimarilerinin temel prensipleri, farklı varyantları ve gelişim süreçleri ele alınarak bu yöntemlerin mimarlık bağlamında nasıl uygulanabileceği tartışılmaktadır. Ayrıca, mevcut akademik çalışmalar doğrultusunda RNN'lerin farklı disiplinlerdeki kullanım örnekleri analiz edilerek bu yaklaşımların mimarlık alanına nasıl adapte edilebileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmanın bir diğer amacı ise RNN tabanlı yöntemlerin mimarlıkta kullanımına yönelik potansiyel uygulama alanlarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda, enerji performansı analizi, kullanıcı davranışı modelleme, mekânsal kullanım tahmini, akıllı bina sistemleri, kentsel veri analizi ve çevresel simülasyonlar gibi alanlar öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, hibrit modeller, veri entegrasyonu ve çok ölçekli analiz gibi güncel yaklaşımlar da değerlendirilerek mimarlıkta RNN kullanımının gelecekteki yönelimlerine ışık tutulmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, RNN'lerin mimarlık alanındaki potansiyelini ortaya koyarak disiplinlerarası bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır. Derin öğrenme tekniklerinin mimari tasarım ve analiz süreçlerine entegrasyonu, daha verimli, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı mekânların tasarlanmasına katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, RNN'lerin mimarlık disipliniinde daha geniş bir kullanım alanı bulacağı ve gelecekteki araştırmalar için önemli bir zemin oluşturacağı öngörülmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

RNN'ler (Yinelemeli Sinir Ağları), özellikle zaman serisi uygulamaları başta olmak üzere farklı alanlarda uygulanmış ve son teknoloji (state-of-the-art) performansları elde etmiştir. Recurrent Neural Networks alanındaki erken

gelişmeler arasında, Anthony C. Tsoi ve Andrew D. Back tarafından incelenen yerel olarak yinelemeli, küresel olarak ileri beslemeli ağlar ile Panagiotis A. Mastorocostas ve Nikolaos G. Theocharis tarafından önerilen blok diyagonal yinelemeli sinir ağları, karmaşık dizi modellemenin anlaşılması açısından önemli bir temel oluşturmuştur.

RNN'ler ve uygulamalarına ilişkin çeşitli derleme çalışmaları gerçekleştirilmiş olup her biri alanın anlaşılmasına ve gelişimine katkı sağlamıştır. Örneğin, Dutta ve arkadaşları, RNN'lerin teorik temelleri ve dizi öğrenmedeki uygulamalarına dair kapsamlı bir genel bakış sunmuştur. Bu çalışma, özellikle sönümlenen gradyan (vanishing gradient) problemi başta olmak üzere RNN'lerin eğitimiyle ilişkili zorlukları vurgulamış ve Long Short-Term Memory (LSTM) ile Gated Recurrent Unit (GRU) mimarilerindeki gelişmeleri tartışmıştır. Bununla birlikte, söz konusu derleme daha çok teorik yönleri ve uygulamalara odaklanmış; biyoinformatik ve otonom sistemler gibi yükselen alanlardaki güncel yenilikleri ve pratik uygulamaları kapsamlı biçimde ele almamıştır. Kuradaa ve arkadaşları ise RNN'lerin temel mimarilerini kapsayan ve özellikle kod benzerliği (code clone) uygulamalarına odaklanan güncel bir derleme sunmuştur.

Benzer şekilde, Tarwani ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma, RNN'leri Natural Language Processing (Doğal Dil İşleme, NLP) bağlamında derinlemesine incelemiştir. Bu derleme, NLP alanındaki gelişmelere dair değerli içgörüler sunmasına rağmen diğer uygulama alanlarına ve son mimari yeniliklere ilişkin daha geniş bir perspektif sunmamaktadır. Bir diğer önemli çalışma olan Ian Goodfellow ve arkadaşları tarafından hazırlanan derleme, derin öğrenmenin temellerine odaklanmış ve RNN'ler dâhil olmak üzere farklı alanlardaki uygulamaları ele almıştır. Ancak bu çalışma, RNN mimarilerindeki özgül gelişmeleri ve özelleşmiş uygulamaları derinlemesine incelememiştir.

Klaus Greff ve arkadaşları, farklı LSTM varyantlarını, çeşitli uygulamalardaki etkinliklerini belirlemek amacıyla kapsamlı biçimde karşılaştırmıştır. Bu çalışma, detaylı bir karşılaştırma sunmakla birlikte ağırlıklı olarak LSTM mimarilerine odaklanmış; diğer RNN varyantlarını ve güncel hibrit modelleri kapsamamıştır. Benzer doğrultuda, Al-Selwi ve arkadaşları, 2018–2023 yılları arasındaki literatürü kapsayacak şekilde LSTM uygulamalarını incelemiştir. Wojciech Zaremba ve arkadaşları ise dil

modelleme bağlamında RNN kullanımını ele almış, önemli başarıları ve süregelen zorlukları ortaya koymuştur. Bu çalışma, NLP alanında değerli katkılar sunsa da yalnızca dil modellemeyle sınırlı kalmış ve diğer potansiyel uygulamaları kapsamamıştır.

Shaojie Bai ve arkadaşları, RNN'leri ve varyantlarını Convolutional Neural Networks (CNN) ve dikkat temelli modeller gibi diğer dizi modelleme teknikleriyle karşılaştırarak eleştirel bir değerlendirme sunmuştur. Zhengping Che ve arkadaşları ise RNN'lerin sağlık alanındaki uygulamalarına odaklanmış; özellikle elektronik sağlık kayıtlarının (EHR) analizi ve hastalık tahmini üzerinde durarak bu modellerin tıbbi uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymuştur.

Daha güncel çalışmalar, RNN'lerin farklı yönlerini ve yeni uygulama alanlarını incelemiştir. Örneğin, Junyoung Chung ve arkadaşları, son on yılda RNN mimarilerindeki gelişmeleri inceleyerek eğitim teknikleri, optimizasyon yöntemleri ve yeni mimari yaklaşımlardaki ilerlemelere odaklanmıştır. Badawy ve arkadaşları, sağlık alanında RNN kullanımına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmuş; özellikle kestirimsel analiz ve hasta izleme uygulamalarını ele almıştır. Ayrıca bu çalışma, RNN'lerin diğer makine öğrenmesi teknikleriyle entegrasyonunu ve klinik ortamlarda uygulanmasındaki zorlukları tartışmıştır.

Ismaeel ve arkadaşları, RNN'lerin akıllı şehir teknolojilerindeki kullanımını incelemiş; trafik tahmini, enerji yönetimi ve kentsel planlama gibi alanlara odaklanmıştır. Mers ve arkadaşları ise yol performansı tahmini uygulamalarında RNN'lerin kullanımını değerlendirerek, basit RNN'ler, LSTM, GRU ve hibrit LSTM-tam bağlantılı sinir ağları (LSTM-FCNN) arasında kapsamlı bir performans karşılaştırması gerçekleştirmiştir.

Chen ve arkadaşları, çevresel izleme ve iklim modellemede RNN kullanımına odaklanmış; bu modellerin çevresel değişimleri tahmin etme ve doğal kaynak yönetimindeki etkinliğini tartışmıştır. Linardos ve arkadaşları, doğal afet tahmini ve yönetiminde RNN'lerdeki gelişmeleri inceleyerek erken uyarı sistemleri, afet müdahalesi ve iyileştirme süreçlerindeki başarıları ve zorlukları ortaya koymuştur. Zhang ve arkadaşları ise robotik alanında RNN uygulamalarını ele almış; özellikle yol planlaması, hareket kontrolü ve insan-robot etkileşimi konularına odaklanmıştır. Ayrıca bu çalışmada RNN'lerin diğer derin öğrenme teknikleriyle entegrasyonu da tartışılmıştır.

Bu çalışma, mevcut literatürdeki sınırlılıkları ele alarak hibrit modeller ve sinir ağı mimarisi araması (neural architecture search) gibi RNN mimarilerindeki en güncel gelişmeleri kapsayan daha kapsamlı bir derleme sunmaktadır. Ayrıca, farklı uygulama alanlarını geniş bir perspektifte ele alarak ölçeklenebilirlik, sağlamlık ve birlikte çalışabilirlik gibi kritik konuların tartışılmasıyla RNN araştırmalarının mevcut durumu ve gelecekteki yönelimlerine ilişkin bütüncül bir anlayış geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

### **3. ANALİZLER**

#### **3.1. RNN Mimarilerinin Mimarlık Verisi Bağlamında Kuramsal ve Teknik Değerlendirmesi**

Mimarlık alanında üretilen veriler; zamansal süreklilik, çok değişkenlilik ve doğrusal olmayan ilişkiler gibi özellikler göstermektedir. Bu veri yapısı, Recurrent Neural Networks (RNN) mimarilerinin temel çalışma prensipleriyle doğrudan örtüşmektedir. RNN’lerin geçmiş bilgiyi bellekte tutarak ardışık veri akışını modelleyebilmesi, mimarlıkta özellikle performans verilerinin analizinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

RNN mimarilerinin gelişim süreci incelendiğinde, erken dönem çalışmalarda yerel geri beslemeli ve küresel ileri beslemeli yapıların önerildiği görülmektedir (Tsoi & Back, 1994). Bu yaklaşımlar, karmaşık veri ilişkilerinin modellenmesi için temel bir altyapı sunmuştur. Benzer şekilde, blok diyagonal yapıya sahip RNN modelleri, sistem kararlılığı ve öğrenme süreçlerinin iyileştirilmesi açısından önemli katkılar sağlamıştır (Mastorocostas & Theocharis, 2006).

Ancak klasik RNN modelleri, özellikle uzun dönemli bağımlılıkların öğrenilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu problem, literatürde “sönümlenen gradyan problemi” olarak tanımlanmış ve derin öğrenme çalışmalarının önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Dutta ve arkadaşları, 2022). Bu bağlamda geliştirilen Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU) mimarileri, kapı mekanizmaları sayesinde uzun süreli bağımlılıkları modelleyebilmekte ve mimarlık verisi gibi karmaşık yapılar için daha uygun çözümler sunmaktadır (Chung ve arkadaşları, 2014; Greff ve arkadaşları, 2016).

Dolayısıyla, mimarlık bağlamında gerçekleştirilen analizler, RNN kullanımında klasik modeller yerine LSTM ve GRU gibi gelişmiş mimarilerin tercih edilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

### **3.2. Zaman Serisi Tabanlı Mimari Verilerin Modellemesi ve Tahminleme Performansı**

Mimarlıkta enerji tüketimi, iç mekân konforu, kullanıcı yoğunluğu, iklim verileri ve çevresel faktörler gibi birçok parametre zaman serisi niteliği taşımaktadır. Bu tür verilerin modellenmesinde RNN tabanlı yaklaşımlar, geleneksel istatistiksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve esneklik sunmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar, RNN'lerin özellikle çok değişkenli zaman serisi verilerinde yüksek performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Che ve arkadaşları). Eksik veri içeren veri setlerinde dahi RNN'lerin etkili sonuçlar üretebildiği belirtilmiştir. Bu durum, mimarlıkta sıklıkla karşılaşılan eksik veya düzensiz veri problemleri açısından önemli bir avantajdır.

Ayrıca, çevresel faktörlerin tahmin edilmesine yönelik çalışmalar, RNN'lerin iklim verileri ve çevresel değişkenlerin modellenmesinde güçlü bir araç olduğunu göstermektedir (Chen ve arkadaşları, 2018). Bu bulgu, mimarlıkta sürdürülebilir tasarım ve enerji etkin yapı üretimi açısından kritik öneme sahiptir.

Bu analizler doğrultusunda, RNN tabanlı modellerin mimarlıkta özellikle enerji modelleme, bina performans analizi ve çevresel simülasyonlarda etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

### **3.3. Mimari Tasarım Süreçlerinde RNN Tabanlı Yaklaşımların Rolü**

Mimari tasarım süreci, çok sayıda parametrenin dinamik olarak etkileşimde bulunduğu karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu süreçte RNN'ler, tasarımın zamansal evrimini analiz ederek yeni tasarım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Derin öğrenme alanındaki temel çalışmalar, RNN'lerin karmaşık veri temsillerini öğrenme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016). Bu özellik, mimari tasarım süreçlerinde veri temelli karar destek sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.



Bununla birlikte, literatürde RNN'lerin doğrudan mimari tasarım üretiminde kullanımının sınırlı olduğu, daha çok analiz ve tahminleme odaklı çalışmalarda yer aldığı görülmektedir. Doğal dil işleme alanındaki gelişmeler (Tarwani & Edem, 2017), ardışık veri modelleme açısından önemli yöntemler sunmakta ve bu yöntemlerin tasarım süreçlerine uyarlanabileceği değerlendirilmektedir.

Analizler, RNN'lerin parametrik tasarım ve üretken tasarım süreçlerinde kullanılmasının tasarım alternatiflerinin çeşitliliğini artırabileceğini ve daha iyi optimize edilmiş çözümler üretilebileceğini göstermektedir. Ancak bu alanda daha fazla deneysel ve uygulamalı çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

### **3.4. Disiplinlerarası Uygulamalar ve Mimarlığa Aktarım Potansiyeli**

RNN'lerin farklı disiplinlerdeki uygulamaları incelendiğinde, mimarlık alanına aktarılabilecek önemli metodolojik yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Örneğin, akıllı şehirlerde trafik tahmini üzerine yapılan çalışmalar (Ismaeel ve arkadaşları, 2023), kentsel mekân kullanımının modellenmesi açısından önemli bir referans oluşturmaktadır.

Benzer şekilde, robotik alanında hareket tahmini üzerine yapılan çalışmalar (Zhang ve arkadaşları, 2020), kullanıcı hareketlerinin mekânsal analizine uyarlanabilir niteliktedir. Afet yönetimi alanındaki çalışmalar ise (Linardos ve arkadaşları, 2022), risk analizi ve senaryo üretimi bağlamında mimarlık ve kentsel tasarım süreçlerine entegre edilebilecek yaklaşımlar sunmaktadır.

Ayrıca, kod benzerliği analizi gibi daha teknik alanlarda gerçekleştirilen çalışmalar (Quradaa ve arkadaşları, 2024), veri örüntülerinin tespiti ve tekrar eden tasarım kararlarının analiz edilmesi açısından mimarlıkta yeni araştırma alanları açmaktadır.

Bu bağlamda yapılan analizler, RNN'lerin mimarlıkta kullanımının büyük ölçüde disiplinlerarası bilgi transferine bağlı olduğunu ve farklı alanlardaki metodolojik yaklaşımların mimarlığa uyarlanmasının önemli bir araştırma potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır.

### 3.5. Sınırlılıklar, Hibrit Yaklaşımlar ve Gelecek Araştırma Yönelimleri

RNN tabanlı yöntemlerin mimarlık alanındaki kullanımına ilişkin en önemli sınırlılıklardan biri, yüksek kaliteli ve süreklilik arz eden veri setlerine duyulan ihtiyaçtır. Mimarlık projelerinde veri toplama süreçlerinin standartlaşmamış olması, model performansını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, RNN modellerinin yorumlanabilirlik düzeyinin düşük olması, tasarım kararlarına entegrasyon sürecini zorlaştırmaktadır.

Literatürde, RNN'lerin düzenlileştirilmesi ve performansının artırılmasına yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir (Zaremba, Sutskever & Vinyals, 2014). Bunun yanı sıra, hibrit modellerin geliştirilmesi ve farklı derin öğrenme yaklaşımlarının entegrasyonu, model performansını artıran önemli stratejiler arasında yer almaktadır (Al-Selwi ve arkadaşları, 2024).

Özellikle Convolutional Neural Networks (CNN) ve dikkat mekanizmaları ile RNN'lerin birlikte kullanıldığı hibrit modellerin, dizi modelleme performansını artırdığı gösterilmiştir (Bai, Kolter & Koltun). Bu tür yaklaşımlar, mimarlıkta çok ölçekli veri analizinin gerçekleştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, gelecekteki çalışmaların veri standardizasyonu, model yorumlanabilirliği, hibrit sistemler ve gerçek zamanlı uygulamalar üzerine yoğunlaşması gerektiği değerlendirilmektedir. RNN'lerin mimarlık alanında etkin bir şekilde kullanılabilmesi için disiplinlerarası iş birliklerinin artırılması ve uygulama temelli araştırmaların geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır.

## 4. SONUÇ

Bu çalışma, Recurrent Neural Networks (RNN) modellerinin mimarlık disiplini bağlamındaki kullanımını kuramsal, kavramsal ve uygulama odaklı bir çerçevede incelemeyi amaçlamıştır. Yapılan literatür taraması ve analizler, mimarlık alanında üretilen verilerin önemli bir kısmının zaman serisi niteliği taşıdığını ve bu nedenle RNN tabanlı yaklaşımların disiplin için güçlü bir yöntemsel alternatif sunduğunu ortaya koymuştur.

Çalışma kapsamında, RNN mimarilerinin özellikle ardışık veri modelleme yetenekleri sayesinde enerji tüketimi analizi, kullanıcı davranışı tahmini, çevresel veri değerlendirmesi ve kentsel dinamiklerin incelenmesi gibi alanlarda yüksek potansiyel taşıdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, klasik

RNN modellerinin sınırlılıkları dikkate alındığında, Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU) gibi gelişmiş varyantların uzun dönemli bağımlılıkları modelleme açısından daha etkin çözümler sunduğu görülmüştür.

Analizler, RNN tabanlı yaklaşımların mimarlıkta özellikle veri odaklı karar verme süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak mevcut literatür incelendiğinde, bu yöntemlerin mimarlık alanında doğrudan ve sistematik kullanımının sınırlı olduğu; çalışmaların çoğunlukla dolaylı uygulamalar düzeyinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, RNN modellerinin mimarlık disiplinine entegrasyonu açısından önemli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir.

Bunun yanı sıra, veri erişimi, veri standardizasyonu ve model yorumlanabilirliği gibi temel sorunlar, RNN tabanlı sistemlerin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonunu zorlaştıran başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle mimarlıkta karar destek sistemlerinin geliştirilmesi bağlamında, model çıktılarının tasarımcılar tarafından anlaşılabilir ve yorumlanabilir olması kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Disiplinlerarası çalışmalar incelendiğinde, RNN'lerin sağlık, çevre, robotik ve akıllı şehirler gibi farklı alanlarda başarılı bir şekilde uygulandığı görülmekte; bu durum, mimarlık alanı için önemli bir metodolojik transfer potansiyeline işaret etmektedir. Bu bağlamda, mimarlıkta RNN kullanımının geliştirilmesi, büyük ölçüde farklı disiplinlerde elde edilen bilgi birikiminin uyarlanmasına ve uygulama temelli araştırmaların artırılmasına bağlıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma, RNN tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarının mimarlık alanındaki potansiyelini ortaya koyarak veri odaklı ve zamansal analiz temelli tasarım süreçlerine yönelik kuramsal bir zemin sunmaktadır. Gelecekteki araştırmaların model geliştirme, veri entegrasyonu, gerçek zamanlı uygulamalar ve deneysel tasarım süreçleri üzerine yoğunlaşması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, RNN'lerin mimarlık disiplinde daha etkin kullanımı, daha sürdürülebilir, uyarlanabilir ve kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Tarwani, K.M., Edem, S. (2017). Survey on recurrent neural network in natural language processing. *Int. J. Eng. Trends Technol*, 48, 301–304.
- Tsoi, A.C., Back, A.D. (1994). Locally recurrent globally feedforward networks: A critical review of architectures. *IEEE Trans. Neural Netw*, 5, 229–239.
- Masterocostas, P.A., Theocharis, J.B. (2006). A stable learning algorithm for block-diagonal recurrent neural networks: Application to the analysis of lung sounds. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Part B (Cybern.)*, 36, 242–254.
- Dutta, K.K., Poornima, S., Sharma, R., Nair, D., Ploeger, P.G. (2022). Applications of Recurrent Neural Network: Overview and Case Studies. In *Recurrent Neural Networks*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 23–41.
- Quradaa, F.H., Shahzad, S., Almoqbily, R.S. (2024). A systematic literature review on the applications of recurrent neural networks in code clone research. *PLoS ONE*, 19, e0296858.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*; MIT Press: Cambridge, MA, USA.
- Greff, K., Srivastava, R.K., Koutník, J., Steunebrink, B.R., Schmidhuber, J. (2016). LSTM: A search space odyssey. *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst*, 28, 2222–2232.
- Al-Selwi, S.M., Hassan, M.F., Abdulkadir, S.J., Muneer, A., Sumiea, E.H., Alqushaibi, A. (2024). Ragab, M.G. RNN-LSTM: From applications to modeling techniques and beyond—Systematic review. *J. King Saud-Univ.-Comput. Inf. Sci*, 36, 102068.
- Zaremba, W., Sutskever, I., Vinyals, O. (2014). Recurrent neural network regularization. *arXiv*, arXiv:1409.2329.
- Bai, S.; Kolter, J.Z.; Koltun, V. An empirical evaluation of generic convolutional and recurrent networks for sequence modeling.
- Che, Z., Purushotham, S., Cho, K., Sontag, D., Liu, Y. Recurrent neural networks for multivariate time series with missing values.

- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. arXiv, arXiv:1412.3555.
- Badawy, M., Ramadan, N., Hefny, H.A. (2023). Healthcare predictive analytics using machine learning and deep learning techniques: A survey. *J. Electr. Syst. Inf. Technol*, 10, 40.
- Ismaeel, A.G., Janardhanan, K., Sankar, M., Natarajan, Y., Mahmood, S.N., Alani, S., Shather, A.H. (2023). Traffic pattern classification in smart cities using deep recurrent neural network. *Sustainability*, 15, 14522.
- Mers, M., Yang, Z., Hsieh, Y.A., Tsai, Y. Recurrent neural networks for pavement performance forecasting: Review and model.
- Chen, Y., Cheng, Q., Cheng, Y., Yang, H., Yu, H. (2018). Applications of recurrent neural networks in environmental factor forecasting: A review. *Neural Comput*, 30, 2855–2881.
- Linardos, V., Drakaki, M., Tzionas, P., Karnavas, Y.L. (2022). Machine learning in disaster management: Recent developments in methods and applications. *Mach. Learn. Knowl. Extr*, 4, 446–473.
- Zhang, J., Liu, H., Chang, Q., Wang, L., Gao, R.X (2020). Recurrent neural network for motion trajectory prediction in human-robot collaborative assembly. *CIRP Ann*, 69, 9–12.



## BÖLÜM 2

### VERNAKÜLER MİMARİDE FİZİKSEL ÇEVRENİN TASARIMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ: TAŞKALE KÖYÜ VE DÜLÜK KÖYÜ ÖRNEKLERİ

Yüksek Mimar, Doktora Öğrencisi Şadan Sena KAYHAN<sup>1</sup>

Yüksek Mimar, Doktora Öğrencisi Sinem Tuğçe ŞAHİN<sup>2</sup>

Yüksek Mimar Beyza KAÇAR<sup>3</sup>

Prof. Dr. Fatih CANAN<sup>4</sup>

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21538439>

---

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. [s.senakayhan@hotmail.com](mailto:s.senakayhan@hotmail.com), orcid id: 0000-0002-2928-7864

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. [sinemt.duraksahin@hotmail.com](mailto:sinemt.duraksahin@hotmail.com), orcid id: 0000-0001-6948-884X

<sup>3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. [kcarbyza@gmail.com](mailto:kcarbyza@gmail.com), orcid id: 0009-0009-4008-6885

<sup>4</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye. [fcanan@ktun.edu.tr](mailto:fcanan@ktun.edu.tr), orcid id: 0000-0003-4469-1993





## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan enerji talebinin büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanması; yenilenemeyen kaynakların tükenmesi, ozon tabakasının incilmesi, buzulların erimesi, çevre kirliliğinin artması ve doğal yaşamın tehdit edilmesi gibi çok sayıda sorunu beraberinde getirmiştir. Nüfus artışı ve kaynakların giderek sınırlı hâle gelmesi, ülkeleri artan enerji talebini karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kullanımına yönelik politikalar geliştirmeye yöneltmiştir. Dünya genelinde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %40'ı binalar tarafından kullanılmaktadır (Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi, 2009). İklim ve çevreye duyarlı tasarım yaklaşımları, binaların enerji tüketim düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik kavramı, enerji sorununu azaltmaya ve yeni çözüm önerileri geliştirmeye yönelik arayışlarla birlikte 20. yüzyılın sonlarından itibaren mimarlık disiplinde merkezi bir konum kazanmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilirliği yalnızca çağdaş bir kavram olarak değerlendirmek doğru değildir. Gezegenin kaynakları ve çevre üzerindeki insan etkilerine ilişkin ilk tartışmaların yaklaşık iki yüz yıl önce başladığı kabul edilmektedir (Paul, 2008). Robert Malthus'un 1798 yılında ortaya koyduğu nüfus teorisi, sınırlı doğal kaynakların artan insan nüfusunun gereksinimlerini karşılayıp karşılayamayacağı sorusunu gündeme getirmiştir (Mensah, 2019). Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından 1987 yılında yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" (Our Common Future) başlıklı raporla sürdürülebilir kalkınma kavramı uluslararası ölçekte görünürlük kazanmıştır (Middleton ve Hawkins, 1998). Raporla sürdürülebilir kalkınma, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan günümüz gereksinimlerinin karşılanması olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, özellikle temel gereksinimlere öncelik verilmesini ve teknoloji ile toplumsal örgütlenmenin çevrenin bugünkü ve gelecekteki gereksinimleri karşılama kapasitesi üzerindeki sınırlayıcı etkisini vurgulamaktadır (Aydın, 2022; Paul, 2008). Bu bağlamda sürdürülebilirlik, yalnızca teknolojik çözümlerle değil, çevreyle uyumlu tasarım ilkeleriyle birlikte ele alınması gereken çok boyutlu bir kavramdır.

Sürdürülebilir mimari; fiziksel çevre koşullarını gözetken, yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik veren, çevresel etkileri azaltan ve kullanıcı konforunu koruyan ilkeler bütünüdür. Bu yaklaşım; kaynak yönetimi, yaşam döngüsü tasarımı ve yaşam kalitesi gibi temel ölçütler etrafında

şekillenmektedir (Beşiroğlu ve Özmen, 2022). Sağlıklı ve nitelikli yaşam çevrelerinin oluşturulması ve gelecek kuşaklara aktarılması amacıyla mimarlık alanında sürdürülebilir tasarım yaklaşımları geliştirilmiştir. İklim koşullarını dikkate alan sürdürülebilir tasarım, yerel teknik ve malzemelerden yararlanarak ısıtma, havalandırma ve aydınlatma gereksinimlerini karşılamayı amaçlamaktadır (Vissilia, 2009). Geleneksel bilgi birikiminin ürettiği çözümler, sürdürülebilir mimari açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu noktada vernaküler mimari, sürdürülebilirlik tartışmalarında öne çıkan bir alan hâline gelmektedir. Belirli bir coğrafyada zaman içinde biriken yerel bilgiye dayanan; fiziksel, doğal ve kültürel etmenlerle biçimlenen vernaküler mimari, sürdürülebilir tasarımın güçlü örneklerini sunmaktadır.

Vernaküler mimarlık kavramı, özellikle geleneksel sivil mimari üzerinden gelişmiştir. Geleneksel mimari, çoğunlukla kırsal çevrelerde ve endüstri öncesi dönemin teknolojik olanaklarıyla üretilmiştir. Bu yapılar, uzun yıllara yayılan deneme-yanılma süreçleri ile bölgenin fiziksel ve coğrafi koşullarına ilişkin deneyimlerin birikimi sonucunda ortaya çıkmıştır. Geleneksel yapı tipolojileri, iklim koşulları ve topografya gözetilerek biçimlenmiş ve bulundukları coğrafyayla uyumlu hâle gelmiştir (Evans, 1980; Kıstır ve Kurtoglu, 2018). Vernaküler mimari, coğrafi bölgenin karakteristik özelliklerine bağlı olarak sürekli yenilenen ve gelişen geleneksel modellere dayanır; toplumun gereksinimlerine ekonomik, rasyonel ve işlevsel çözümler üretir (Crespo, Barrera ve Ramos, 2015). Bunun yanı sıra yapı malzemelerinin yerel doğal kaynaklardan düşük enerjiyle elde edilmesi, çevreye zarar vermemesi ve geri dönüştürülebilir olması vernaküler mimarinin önemli bileşenleri arasındadır.

Geleneksel mimarinin çevresel verilere duyarlı biçimde oluşması, sürdürülebilirlik açısından önemli yapı örneklerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Modern mimarinin gelişmesiyle birlikte vernaküler mimarinin birikimi zaman içinde geri planda kalmış; çağdaş çözümler ve yeni mimari arayışlar öne çıkmıştır. Bununla birlikte vernaküler mimari, sürdürülebilir ve yenilikçi yaklaşımların gelişmesiyle son yarım yüzyılda yeniden değerlendirilmiştir (Crespo ve diğerleri, 2015; Paul, 2003; Rudofsky, 1964). Türkiye’de özellikle 1960’lı yıllardan bu yana araştırılan vernaküler mimarlık; sivil mimarlık, yerel mimari ve halk mimarlığı başlıkları altında çoğunlukla geleneksel konutlar üzerinden ele alınmaktadır (Paköz, 2016). Vernaküler

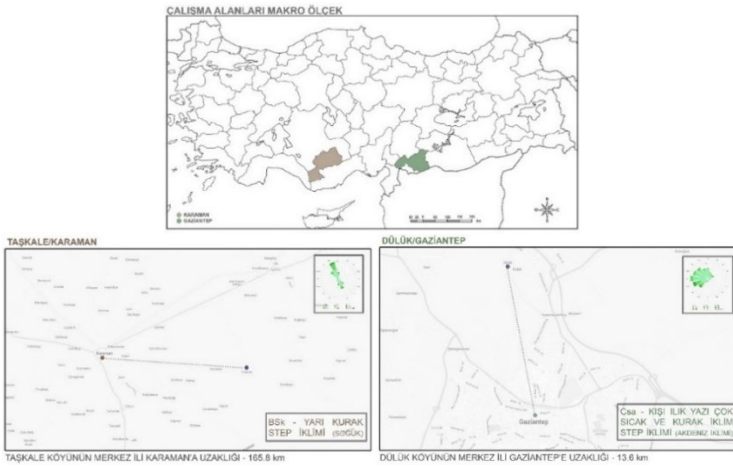
mimariden elde edilen birikimin güncel tasarım pratiğine yeterince aktarılmadığı görülmektedir. Bu nedenle söz konusu birikimin anlaşılması ve çağdaş yapılarda yeniden yorumlanması önem taşımaktadır (Zhai ve Previtali, 2010). Vernaküler mimarinin biçimlenmesinde jeoloji, tarih, ekonomi ve kültürün yanı sıra biyoklimatik etmenler, yapı malzemeleri ve yapım sistemleri de belirleyicidir (Crespo ve diğerleri, 2015). İklim; yapılı çevrenin organizasyonu ve tasarımında temel bir parametredir. Sıcaklık, güneşlenme, nem, yağış ve hâkim rüzgâr gibi iklim bileşenleri; yerleşim düzeni, yönlendirme, bina formu, bina kabuğu, mekân organizasyonu, yapım tekniği ve malzeme kullanımı üzerinde doğrudan etkilidir.

Dünyada aynı iklim bölgesinde ve farklı kültürün etkisindeki geleneksel yerleşimlerin, benzer mimari özellikler sergilediği ve aynı kültürün etkisinde fakat farklı iklim bölgelerinde yer alan geleneksel yerleşimlerin de farklı mimari özellikler sergilediği görülebilmektedir. Örneğin, Poçitelj, Bosna Hersek ve Safranbolu’da Cfa iklim tipi görülmektedir. Her iki kentin geleneksel mimari dokusu benzer yerleşim karakteri sergilemektedir. Yapılar topografya ile uyumlu, yazın havalandırma, kışın ise güneşlenmeden yararlanacak şekilde konumlanmıştır. Yapı plan tipleri benzerlik göstermektedir (Berkovic ve Canan, 2020). Güney Portekiz ve Kuzey Mısır farklı kültürlerin etkisinde bulunan Akdeniz ikliminin görüldüğü iki bölgedir. İki bölgede geleneksel konutlar benzer mimari karakter sergilemektedir. Akdeniz ikliminin etkisiyle topografyaya uyumlu, gölgelik ve havalandırma sağlayacak sokak çözümleri görülmektedir. Avlulu, dar pencerelere sahip içe dönük, soğuk hava sirkülasyonu sağlayan yapılar benzer tipolojik karakter sergilemiştir (Fernandes vd., 2014). Bu doğrultuda aynı kültürün etkisinde fakat farklı iklim ve coğrafi şartlarda kurulmuş yerleşim yerleri farklı mimari karakterler sergileyebilmektedir.

Anadolu coğrafyası, çevresel ve kültürel koşullara göre biçimlenmiş çok sayıda geleneksel yerleşime ev sahipliği yapmaktadır. Bu yerleşimler, özellikle kırsal bölgelerde tarihsel sürekliliklerini önemli ölçüde korumuştur. Anadolu’nun mimari morfolojisi; kültür ve geleneklerin yanı sıra iklimsel ve çevresel etmenlerin etkisiyle gelişmiştir. Yüzyıllar boyunca farklı toplumlara ev sahipliği yapan bu coğrafyada çeşitli mimari karakterler ortaya çıkmıştır. Geleneksel yapılı çevreler, kültürel miras değerlerinin yanı sıra sürdürülebilir

planlama ve tasarıma katkı sağlayabilecek özellikleri bakımından da ele alınmalıdır.

Bu çalışmada, benzer kültürel özelliklere sahip olmakla birlikte farklı iklim ve çevre koşullarında gelişen iki geleneksel yerleşim karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Çalışmanın temel amacı, vernaküler mimaride sürdürülebilirliğin sağlanmasında fiziksel çevrenin bölgesel ve yapı ölçeğindeki tasarım kararlarına etkisini ortaya koymak ve yaşanabilir, iklime duyarlı yerleşimler için gerekli mimari tasarım ölçütlerini belirlemektir. Araştırma, vernaküler mimarinin çevreye duyarlı ve sürdürülebilir yapı tasarımına sunduğu katkılar bakımından önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, Anadolu’da Türk kültürünün etkili olduğu ancak farklı iklim bölgelerinde yer alan iki kırsal yerleşim çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma, mimari sürdürülebilirlik çerçevesinde biyoklimatik etmenlerle sınırlandırılmış; kültür, tarih ve ekonomi gibi diğer değişkenlerin görece benzer olduğu örneklerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Bu kapsamda İç Anadolu Bölgesi’nde yarı kurak karasal iklim özellikleri gösteren Karaman ili Taşkale Köyü ile Akdeniz ikliminin etkili olduğu Gaziantep ili Dülük Köyü incelenmiştir (Şekil 1). Dülük Köyü’nün arkeolojik sit alanı, Taşkale Köyü’nün ise arkeolojik, kentsel ve doğal sit alanı olması, her iki yerleşimin de yüzyıllar içinde oluşmuş özgün mimari ürünleri korumasına katkı sağlamıştır. İki yerleşimin karşılaştırmalı analizi yoluyla iklimin yerleşim karakteri ve yapı biçimlenmesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.



**Şekil 1.** Çalışma alanlarının konumu: Karaman Taşkale ve Gaziantep Dülük köyleri (Yazar(lar) tarafından düzenlenmiştir).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın ilk aşamasında, Taşkale ve Dülük köylerinin coğrafi ve tarihsel verileri analiz edilerek yerleşim karakterleri tanımlanmıştır. Taşkale Köyü ve Dülük Köyü geleneksel mimarisine yönelik literatürde bu iki bölgeyi sürdürülebilirlik odağında inceleyen kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Karasal İklim bölgesinde yer alan Taşkale Köyü ve Akdeniz İklim bölgesinde yer alan Dülük Köyü geleneksel yerleşimlerinin karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir. Yerleşimin karakterini anlamakta yardımcı olacak parametreler literatürde yer alan çalışmalardan derlenerek oluşturulmuştur. Tasarım yaklaşımlarını detaylı değerlendirmek adına bölgesel ölçek ve tek yapı ölçeğinde analizler hazırlanmıştır (Tablo 1). Bölgesel ölçekte analiz için köy yerleşimine ait imar planı elde edilmiş ve tek yapı ölçeğinde analiz için birer adet geleneksel konut belirlenmiştir. Bölgesel ölçekte analizlerde haritalama, fotoğraflama ve yerinde gözlemden yararlanılmıştır. Tek yapı ölçeğinde yapıların tasarım yaklaşımını incelemek adına fotoğraflama ve rölöve çalışması yapılmıştır. Yapı seçiminde geleneksel dokuyu temsil edecek tarihi konutlar belirlenmiştir. Tarihi ve tescilli yapıların birçoğunun strüktürel olarak sağlam olmaması nedeniyle güvenlik riski bulunması ve yapılara erişim izni çalışmanın kısıtlarını oluşturmuştur. Tarihi yapılardan strüktürel olarak sağlam ve orijinal planını muhafaza eden, ev sahibinin yapıya erişim izni verdiği birer adet yapı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Vernaküler mimaride sürdürülebilirlik araştırması için yapıların zaman içindeki müdahalelerden arındırılmış, özgün, sürdürülebilir karakterini saptayabilmek amacıyla restitüsyon çalışmaları yapılmıştır ve analizler bu veriler üzerinden yürütülmüştür. Yerleşim yerlerinin ve yapıların sürdürülebilirlik bağlamında karşılaştırmalı analizi verilmiştir. Çalışma, etik kurallara uygun olarak hazırlandığından etik onay gerektirmemektedir.

**Tablo 1.** Seçilen bölgelerin karşılaştırılmasında kullanılan parametreler (Yazar(lar) tarafından üretilmiştir).

| Bölgesel Ölçekte Analiz                                                                                                              | Tek Yapı Ölçeğinde Analiz                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Yerleşim karakteri ve sokak dokusu<br>-Arazi kullanımı<br>-Yapıların birbiriyle ilişkisi ve bina aralıkları<br>-Yapı-sokak ilişkisi | -Arazi formuna uyum ve bina yönelmesi<br>-Bina formu<br>-Mekân organizasyonu<br>-Bina kabuğu ve malzeme kullanımı |

### 3. TAŞKALE VE DÜLÜK KÖYLERİNİN YERLEŞİM KARAKTERİ

Taşkale ve Dülük köylerinin mimari morfolojisinin anlaşılması adına öncelikle yerleşimlerin genel mimari yapıları, tarihi ve coğrafi özellikleri hakkında veriler elde edilmiştir.

#### 3.1. Taşkale Köyü Genel Yapısı

Karaman yüzyıllar boyunca ticaret yolları üzerinde yer alan, verimli tarım alanlarıyla çevirili tarihi bir kent olarak günümüze ulaşmıştır (Korumaz ve Kayhan, 2019). Taşkale yerleşimi de Karaman İli'nin Merkez İlçesine 46 km uzaklıkta, kuzeyinde tepenin yer aldığı, güneyinde Yeşildere'nin aktığı İbrala vadisinde yer alan tarihi bir köydür (Şekil 2-3). Doğal, arkeolojik ve kentsel sit alanı olan bu köy geleneksel konut dokusuyla tarihi bir yerleşim karakteri sergilemektedir (Topal, 2009). M.S. 2. yüzyıl'dan itibaren Erken Hristiyanlık, Bizans, Selçuklu, Karamanoğulları ve Osmanlı dönemlerinde yerleşim alanı olarak kullanılan köyde Manazan, Zanzana ve Miske Mağaralarındaki arkeolojik kalıntılardan Frig ve Roma devirlerinde de yerleşim alanı olarak kullanıldığı düşünülmektedir (Tapur, 2009). Bölgenin bulunduğu polikistik vadinin kuzey yamacında kurulan alanda rüzgâr erozyonuna açık kolivyal topraklarda yerleşim yeri bulunmaktadır (Gültekin ve Uysal, 2018a). Alüvyal topraklarda sulu tarım yapılırken; volkanik formasyonlu, karstik oluşumlu kireç taşı kaya kütlelerinde el ile oyulmuş mağaralar yer almaktadır. Hristiyanlık ve Bizans devirlerinde yerleşim yeri olarak kullanılan Manazan mağaraları kil oranı yüksek kireç taşı arazide el ile oyulmuş mağara

yerleşimidir (Topal, 2009) (Şekil 2a-b). İnce kalkerli ve volkanik tabakadan meydana gelen kaya kütlesi tarih boyunca ambar olarak kullanılmıştır (Gültekin ve Uysal, 2018b) (Şekil 3a-b). Taşkale ve Yeşildere kasabaları arasında Karaman'a 40 km uzaklıkta, bölgede bulunan Bizans döneminden kalan tahıl ambarları ısıyı ve nemi yıl boyu sabit tutan killi kireç taşından oluşan kayanların el ile oyulmasıyla oluşturulmuştur (Gültekin ve Uysal, 2018a). Killi kireç taşının nemi engellemesi ve ısıyı aynı sabit sıcaklıkta muhafaza etmesi organik maddelerin yıllarca korunmasını sağlamıştır. Yörede yer alan bu killi kireç taşı geleneksel konutların ana yapı malzemelerinden biridir. Alanda meydana gelen heyelan ve kaya kopmaları gibi doğal afetler sonucu 1970'lerde yerel kullanıcıların köyden 17 km uzaklıkta inşa edilen afet evlerine yerleşmesi alanın terk edilmesinde başlıca etkenlerdir (Gültekin ve Uysal, 2018a). Günümüzde geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş yapıların, çağdaş yaşam ihtiyaçlarına cevap verememesi nedeniyle yapılar orijinallikinden uzaklaşarak niteliksiz eklerle donatılmıştır. Yörenin kalkındırılmasına yönelik kapsamlı bir çalışma bulunmaması ve ekonomik faktörlerin etkisi ile çoğu yapı terk edilerek tahrip olmuştur.



**Şekil 2a-b.** Taşkale Köyü haritası (sol) (URL-1); Taşkale Köyü genel görünümü (sağ) (Yazar(lar) arşivinden 2022).



Şekil 3a-b. Manazan Mağaraları (sol); Tahıl Ambarları (sağ), (Yazar(lar) arşivinden 2023).

### 3.2. Dülük Köyü Genel Yapısı

Tarihi bir kent olan Gaziantep'te M.Ö. 4000 yıllarında şehir merkezinde yer alan kale civarında en eski yerleşim yeri izleri tespit edilmiştir. Sonraki dönemlerde de ilk gelişmeler kale çevresinde olmuştur. Antik bir yerleşim olan Dülük Köyünün Gaziantep kentinin tarihi yerleşmesinden daha önce var olduğu bilinmektedir (Kuban, 2001). Bu köy, eğimli bir topografya üzerinde yer almaktadır (Şekil 4 a-b). Gaziantep'in 10 km kuzeyinde yer alan Dülük Köyü, doğu-batı ve güney-kuzey yollarının kavşağında olmasından dolayı tarih boyunca önemini korumuştur. Gaziantep'in tarihi, kentsel ve arkeolojik değerlerine sahip en eski yerleşim yerlerinden birisi olan Dülük Köyü Arkeolojik sit alanıdır (Şekil 5). Bizanslılar 10. yüzyıl'da kentin merkezini Dülük'e tabi olan ve küçük bir köy olan bugünkü Antep merkezine taşımışlar ve yine Dülük ismi ile kullanmışlardır. (Kuban, 2001). Bölge, Alt Paleolitik döneme ait çok sayıda çakmaktaşı aletin bulunduğu ve o dönemin barınma kültürünü yansıtan bir mağaranın yer aldığı son derece önemli bir merkezdir (Başgelen, 1999). Cumhuriyet dönemi ile birlikte Gaziantep kenti, hızlı bir değişim ve dönüşüm sürecine girmiştir (Şahin, 2022). Kentleşme ve modernleşme süreçleri, kırsal doku üzerinde dönüştürücü bir etki yaratmıştır. Günümüzde Dülük Köyü kentleşmenin etkisiyle sanayi bölgesi olarak gelişim göstermiş, yeni yapılan konut alanları ile tarihi dokusunun büyük ölçüde kaybedildiği dağınık bir yerleşim karakteri sergilemektedir (İller Bankası İmar Planlama Dairesi, 1972). Köyde sanayinin hızla gelişmesi ihtiyaç duyulan konut talebini artırmıştır. Bölgede altyapı çalışmaları, yol çalışmaları ve imar planlamaları betonarme konut yapımını hızlandırarak geleneksel dokunun yok olmasına neden olmaktadır. Çağdaş yaşamı desteklemediği için geleneksel



konutlar terk edilerek yok olma tehlikesi altındadır. Mevcut geleneksel yapılarda uyumsuz ekler ve bozulmalar gözlemlenmiştir.



**Şekil 4a-b.** Dülük Köyü haritası (sol) (URL-2); Dülük Köyü genel görünümü (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).



**Şekil 5.** Dülük Köyü Arkeolojik Sit Alanı (Yazar(lar, 2022).

### 3.3. İklim Verileri

Çalışma alanlarının iklim parametrelerini belirlemek için Karaman ve Gaziantep iklim verileri karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Karaman Köppen iklim sınıflandırmasında BSk (yarı-kurak step iklimi- soğuk) parametresinde yer alır. Ortalama sıcaklıklar (1951-2022 yılları arasında) değişken olup en düşük sıcaklık ocak ayında, en yüksek sıcaklık ise temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12,1 °C'dir. Ocak ayında ortalama en düşük sıcaklık -3.7 iken, Temmuz ayında ortalama en yüksek sıcaklık 31,1 °C'dir. Toplam ortalama yağış miktarı en çok Aralık-Ocak aylarında ortalama 43.4 mm ve en az Temmuz ayında 5.3 mm'dir (URL-1). Rüzgâr 22 Nisan'dan 14 Kasım tarihine kadar 6,7 ay boyunca kuzey yönden, 14 Kasım tarihinden 22 Nisan tarihine kadar 5.3 ay boyunca güney yönden esmektedir (URL-2).

Gaziantep Köppen iklim sınıflandırmasında Csa- Kış ılık, Yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi) kategorisinde yer almaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık 15.3°C'dir. Ocak ayında ortalama en düşük sıcaklık -0.6 iken, Temmuz ayında ortalama en yüksek sıcaklık 35.2°C'dir. Toplam ortalama

yağış miktarı en çok Ocak ayında ortalama 103.3 mm ve en az Temmuz ayında 6.9 mm'dir (URL-3). Hâkim rüzgâr 3 Mart'tan 15 Ekim tarihine kadar 7,4 ay boyunca batı yönünden eser. 15 Ekim tarihinden 10 Kasım tarihine kadar 3,7 hafta boyunca kuzey yönden, 10 Kasım'dan 3 Mart tarihine 3,8 ay boyunca doğu yönünden esmektedir (URL-4).

**Tablo 2.** Karaman ve Gaziantep'in 1951-2022 dönemine ait ortalama sıcaklık, yağış ve hâkim rüzgâr verileri (URL-1, URL-2, URL-3 ve URL-4'ten yararlanılarak yazar(lar) tarafından düzenlenmiştir).

|                                                                          | Ortalama Sıcaklık (°C) |      | Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C) |      | Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C) |      | Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm) |       | Hâkim Rüzgâr Yönü |      |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|------|----------------------------------|------|---------------------------------|------|--------------------------------------------|-------|-------------------|------|
| Yıllık                                                                   | 12.1                   | 15.3 | 18.8                             | 21.6 | 5.5                             | 9.4  | 337.8                                      | 564.8 | Kuzey             | Batı |
| Ocak                                                                     | 0.6                    | 3.1  | 5.5                              | 7.5  | -3.7                            | -0.6 | 43.4                                       | 103.3 | Güney             | D/K  |
| Temmuz                                                                   | 23.4                   | 28   | 31.1                             | 35.2 | 15.2                            | 21.2 | 5.3                                        | 6.9   | Kuzey             | Batı |
| <div> <div></div> KARAMAN           <div></div> GAZİANTEP         </div> |                        |      |                                  |      |                                 |      |                                            |       |                   |      |

#### 4. TAŞKALE VE DÜLÜK KÖYLERİNDE İKLİME DUYARLI MİMARİ TASARIM

İklimin vernaküler mimari üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için yerleşimlerin genel mimari karakterinin yanı sıra geleneksel yapı morfolojisinin de incelenmesi gerekmektedir.

##### 4.1. Bölgesel Ölçekte İklim Duyarlı Tasarım Yaklaşımları

Geleneksel yerleşimlerin iklim duyarlı mimari karakterini değerlendirmek amacıyla sokak dokusu, yapıların konumlanması, arazi kullanımı, yapıların birbirleriyle ilişkisi ve bina aralıkları gibi ölçütlerden

yararlanılmıştır. Bu ölçütler, yerleşimlerin çevresel koşullara verdiği tasarımsal tepkileri ortaya koymaktadır.

#### 4.1.1. Yerleşim Karakteri ve Sokak Dokusu

Taşkale Köyü eğimli bir topografya üzerinde konumlanmıştır. Yerleşim, kuzeyindeki dağı arkasına alan, güneydeki vadi ve yeşil alana yönelen bir mikroklima içerisinde kurgulanmıştır. Yerleşim yerinin kayalık yapısı nedeniyle yapılar kayalık bir araziye oturmuş ya da ana kaya oyularak inşa edilmiştir. Eğimle şekillenen yatayda ana akslara bağlanan dik ara yollar şeklinde topografyayla bütünleşik, organik bir doku sergilemektedir. Sokaklar yapıların doğu-batı doğrultusunda yan yana dizilmesiyle oluşmuştur. Yerleşimin güneye yönelmesi ile sokaklar yıl boyunca en yüksek gün ışığından faydalanmaktadır (Şekil 6).



**Şekil 6a-b.** Taşkale Köyü’nde geleneksel dokunun kayalık alanda konumlanması (sol) ve sokakların eğime göre biçimlenmesi (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

Dülük Köyü, eğimli bir topografyada ve batısındaki dağın eteğinde konumlanmaktadır. Topografyayla uyumlu dar ve kıvrımlı sokaklar organik bir yerleşim karakteri oluşturmaktadır (Şekil 7). Dar sokaklar, yapı kütleleri ve yüksek avlu duvarlarının birbirine gölge düşürmesini sağlayarak sokak düzeyindeki güneş ışımasını azaltmaktadır. Yerel olarak “kabaltı” olarak adlandırılan ve sokakların yapıların altından devam etmesini sağlayan geçitler, gölge ve rüzgâr koridorları oluşturarak sıcak yaz günlerinde pasif havalandırmaya katkıda bulunmaktadır (Şekil 8).



Şekil 7. Dülük Köyü sokak dokusu (Yazar(lar) arşivinden, 2022).



Şekil 8a-b. Kabaltı kullanımına ilişkin örnekler (Yazar(lar,) arşivinden 2022).

#### 4.1.2. Arazi Kullanımı

Taşkale Köyü, güneye açılan eğimli bir tepe üzerinde yer almaktadır. Mekânlar ve avlular güneye yönelmiştir (Şekil 9a). Kuzeydeki yükselti, yerleşimi hâkim soğuk rüzgârlara karşı doğal bir bariyer gibi korumaktadır. Yapıların kuzey cepheleri genellikle sağırdır veya toprağa gömülüdür (Şekil 9b). Kuzey duvarlarının sağır olması ve yapıların bitişik nizamda inşa edilmesi, ısı kayıplarını azaltarak kış aylarında termal konforun korunmasına katkı sağlamaktadır. Yapılar, güneş ışığından ve manzaradan en yüksek düzeyde yararlanacak biçimde konumlandırılmıştır. Konutların ve avluların güneye açılması, yıl boyunca güneşlenmeden yararlanılmasını sağlamaktadır. Vadinin ortasında yer alan dere ve geniş yeşil alan ise sıcak yaz aylarında serinletici bir mikroklima oluşturmaktadır.



**Şekil 9a-b.** Topografyaya uyumlu inşa edilmiş yapılar (sol); kaya oyma ağıl ve evler (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

Dülük Köyü'nde kuzey ve batı yönlerindeki topografik eşikler, yerleşimin güney ve doğu yönlerine açılmasına neden olmuştur. Binalar, kış aylarında batı ve kuzeybatıdan esen hâkim rüzgârlara karşı korunaklı; yaz aylarında ise güneybatıdan esen rüzgâra açık olacak biçimde konumlandırılmıştır. Yapıların güney ve batı yönlerine açılması, yıl boyunca güneşlenmeden yararlanılmasını; yaz aylarında ise hâkim rüzgârın iç mekâna alınarak pasif havalandırma ve soğutmanın desteklenmesini sağlamaktadır (Şekil 10).



**Şekil 10.** Yeni yapılaşma içerisinde kalmış, muhdes kat eklenen topografyayla uyumlu geleneksel konutlar (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

#### ***4.1.3. Yapıların Birbiriyle İlişkisi ve Bina Aralığı***

Taşkale Köyü'nde yapılar genellikle bitişik nizamda ya da birbirine çok yakın inşa edilmiştir. Topografik eğimden yararlanılarak oluşturulan kademeli yerleşim düzeninde, bir konutun düz damı üst kottaki konutun avlusu veya terası olarak kullanılmaktadır. Bitişik nizam ve dar sokaklar, iklimsel

yararlarının yanı sıra güçlü komşuluk ilişkilerini destekleyen bir mekânsal örgütlenme oluşturmaktadır.

Dülük Köyü'nde yapılar, yüksek avlu duvarlarıyla sokaktan ayrılan ancak sokak dokusunu daraltarak mahremiyeti ve gölgeyi maksimize eden bitişik-ayrık bir nizam sergilemektedir. Sokağa erişimin avluyla sağlanması mahremiyeti sağlarken aynı zamanda birbirine yakın konumlandırılmış yapılar ve dar sokaklar komşuluk ilişkilerini güçlendirmektedir. Sokak silüetleri ve mekân doluluk-boşluk oranları, insan ölçeğini temel alan bütüncül bir kentsel doku oluşturmaktadır.

#### **4.1.4. Yapı-Sokak İlişkisi**

Taşkale'de konut birimleri, yüksek duvarlarla çevrili bir avlu etrafında biçimlenmiştir. Avlu; yaşam alanlarının yanı sıra ahır, depo ve samanlık gibi servis birimlerini de kapsayan ve konutun sokakla ilişkisini düzenleyen ortak bir alandır. Yüksek avlu duvarları güvenlik ve mahremiyet sağlamaktadır. Sokakla fiziksel ilişki çoğunlukla geniş, çift kanatlı giriş kapıları üzerinden kurulmakla birlikte bazı konutlar doğrudan sokağa açılmaktadır.

Dülük'te konutlar avlu içerisinde çözümlenmiştir. Benzer şekilde ev, ahır ve depo birimlerini barındıran bu alan, konutun iklimsel kontrol merkezi ve mahrem yaşam odağıdır. Taşkale'den farklı olarak sokakla etkileşim daha kontrollü, genellikle tek kanatlı kapılar üzerinden kurulmaktadır. Yüksek avlu duvarları, sadece güvenliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sıcak Gaziantep yazlarında gölge yaratarak bir mikroklima oluşturma görevini de üstlenmektedir.

#### **4.2. Ev-1 Hasan Karaca Evi ve Ev-2 Sofu Çelik Evi İklima Duyarlı Tasarım Yaklaşımları**

Karaman geleneksel evlerinde görülen avlulu, bir veya iki katlı, içe dönük ve sofasız (mabeynli) plan tipine sahip konutlar, Taşkale'nin yerleşim karakterini de oluşturmaktadır (Kayhan, 2022). Çalışma kapsamında incelenen Hasan Karaca Evi (Ev-1), 1925 yılında inşa edilmiş ve zemin kat üzerinde tek katlı olarak düzenlenmiştir (Şekil 11a). Yapı mabeynli (sofasız) plan tipine sahiptir. Dülük Köyü'nde ise konutların özgün hâlinde tek katlı, avlulu ve dış sofalı, içe dönük bir tasarım anlayışı hâkimdir. Gaziantep kırsal mimarisini temsil eden Sofu Çelik Evi (Ev-2), özgün durumunda tek katlı ve dış sofalı



olarak inşa edilmiştir (Şekil 11b). Yapım tarihi kesin olarak bilinmeyen yapıyı Sofu Çelik 1970 yılında satın almıştır. Yapıya 1972 yılında bir üst kat eklenmiş; böylece yapı özgün tek katlı formundan uzaklaşarak muhdes eklerle dönüşmüştür.

Yapıların mevcut durumlarına ilişkin rölöve şemaları hazırlanmış; özgün durumun belirlenmesi ve ikinci dönem ekleri ile muhdes müdahalelerin tespiti amacıyla restitüsyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4). Ev-1, kırma çatı ve ıslak hacim gibi sonradan eklenen müdahalelere rağmen ana kurgusu bakımından özgünlüğünü büyük ölçüde korumaktadır. Ev-2’de zemin kat özgünlüğünü sürdürürken üst kat ile avludaki mutfak birimi ikinci dönem ekidir (Tablo 5).



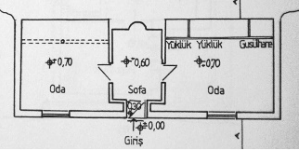
**Şekil 11a-b.** Ev-1’e ait ön görünüş (sol); Ev-2’ye ait ön görünüş (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

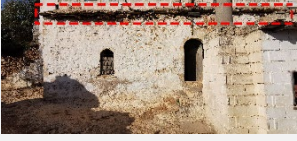






**Tablo 5.** Yapıların özgün durumlarının tespiti (Yazar(lar) tarafından üretilmiştir).

| Ev-1 Dönem ekleri tespiti |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | Benzer örnekler/ yapı üzerindeki izler                                                                                                                              | Notlar                                                                                                                                                                       |
| 1                         |  <p>Taşkale, düz toprak damlı evler (Karaman Belediyesi Dijital Arşivi, 2006).</p> | Günümüzde Marsilya kiremit örtülü ahşap kırma çatının benzer örnekler, sözlü veriler ve arşiv fotoğrafları incelendiğinde özgün durumda düz toprak dam olduğu görülmektedir. |
| 2                         |  <p>Taşkale, düz toprak damlı evler (Karaman Belediyesi Dijital Arşivi, 2006).</p> | Günümüzde beton kaplama üst örtünün benzer örnekler ve sözlü veriler incelendiğinde özgün durumda düz toprak dam olduğu düşünülmektedir.                                     |
| 3                         |  <p>Oda kapatılmış ocak (Yazar(lar) arşivinden, 2022).</p>                        | Günümüzde sıva ile muhdes kapatılmış ocakların yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde özgün durumda ocak olduğu düşünülmektedir.                              |
| 4                         |  <p>Sofada yer alan ocak örneği (Özkan, 1992; Tokay ve Duran, 2018).</p>         | Günümüzde mabeynde sıva ile muhdes kapatılmış ocağın yapı üzerindeki izler, benzer örnekler ve sözlü veriler incelendiğinde özgün durumda ocak olduğu düşünülmektedir.       |
| Ev-2 Dönem ekleri tespiti |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                              |
| 5                         |                                                                                  | Günümüzde mevcut olan üst katın yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde ikinci dönem eki olduğu ve özgün durumda düz toprak dam olduğu düşünülmektedir.        |

|   |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Üst kat dış görünüm (Yazar(lar) arşivinden,2022).                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                     |
| 6 |  <p>Beton kaplama teras (Yazar(lar) arşivinden, 2022).</p>                                                       | Günümüzde beton zemin kaplamalı terasın yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde özgün durumda düz toprak dam olduğu düşünülmektedir.                                                                                  |
| 7 |  <p>Ahır ve samanlığın tahrip olmuş çatısı (Yazar(lar) arşivinden, 2022).</p>                                    | Günümüzde ahır ve samanlık üzerindeki yok olmuş üst örtünün bir kısmında düz toprak dam ve loğ taşı günümüze ulaşmıştır. Yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde özgün durumda düz toprak dam olduğu anlaşılmaktadır. |
| 8 |  <p>Muhdes eklenmiş mutfak mekânı-tuğla duvar ile inşa edildiği görülmektedir (Yazar(lar) arşivinden, 2022).</p> | Günümüzde mevcut mutfak mekânının yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde ikinci dönem eki olduğu anlaşılmaktadır.                                                                                                    |
| 9 |  <p>Merdiven (Yazar(lar) arşivinden, 2022).</p>                                                                | Günümüzde mevcut merdivenin yapı üzerindeki izler ve sözlü veriler incelendiğinde ikinci dönem eki olduğu düşünülmektedir.                                                                                                          |

#### 4.2.1. Arazi Formuna Uyum ve Bina Yönlenmesi

Ev-1 düz bir zemin üzerine inşa edilmiştir. Yapının kuzey cephesi tamamen sağırdır; diğer mekânlar ve avlu güneye yönelerek yıl boyunca gün ışığından yararlanmaktadır. Bu yönlenme, özellikle kış döneminde güneş kazancını artırmaktadır (Şekil 12).



**Şekil 12a-b.** Üst kat yaşam alanı ve avlunun güneşlenmesi (sol) ile yapının sağır kuzey cephesi (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

Ev-2'nin kuzey ve doğu cepheleri tamamen sağırdır. Teras ve avlu güney ile batı yönlerine açılmaktadır (Şekil 13a). Yaşam mekânları güneye yönelirken servis mekânları avlunun doğu ve kuzeyinde konumlanmış ve çoğunlukla sağır duvarlarla çevrelenmiştir (Şekil 13b). Yapının batı ve güney yönlerine açılması, güneşlenme ve doğal havalandırmayı desteklemektedir.



**Şekil 13a-b.** Terasın gün ışığından yararlanması (sol) ve evin sağır kuzey ve doğu cepheleri (sağ) (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

#### **4.2.2. Bina Formu**

Ev-1, doğu-batı doğrultusunda uzanan belirgin bir dikdörtgen forma sahiptir. Yaşam alanının bulunduğu üst katın kısa kenarı 5 m, uzun kenarı 10 m'dir. Yapının doğu ve batı yönlerinde bitişik nizamda inşa edilmesi, dış yüzey alanını ve buna bağlı ısı kayıplarını azaltmaktadır. Ev-2 de doğu-batı doğrultusunda uzanan dikdörtgen bir forma sahiptir. Üst katın kısa kenarı 4 m, uzun kenarı 12,30 m'dir. Yapının daha geniş dış yüzey alanı, sıcak iklim koşullarında ısı dağılımını ve soğutma gereksinimini destekleyen bir özellik olarak değerlendirilebilir.

### 4.2.3. Mekân Organizasyonu

Ev-1’de yaşam mekânları üst katta, servis mekânları ise zemin katta çözümlenmiştir. Sofasız plan tipine sahip yapının üst katında bir mabeyn ve iki oda bulunmaktadır. Zemin katta avluya açılan ahır, samanlık ve mutfak birimleri yer almaktadır. Yapıya güney cephesindeki avludan erişilmekte; yatay ve düşey dolaşım avlu çevresinde örgütlenmektedir. Z-1 mutfak mekânı, özgün durumda Taşkale halılarının dokunduğu bir üretim odasıdır (Şekil 14a). Avludan Z-2 samanlığa, buradan Z-3 samanlığa ve dolaylı olarak Z-4 ahıra geçilmektedir. Avluda “örtme” olarak adlandırılan yarı açık bir mekân bulunmaktadır (Şekil 14b). Z-2 ve Z-3 samanlıklarında ocak ve nişler yer almakta; bu birimlerin belirli dönemlerde oda olarak da kullanıldığı anlaşılmaktadır. Kuzeydeki ahıra hayvan girişini sağlamak amacıyla ikinci bir kapı eklenmiştir. Mekânın doğal aydınlatması küçük bir pencereyle sağlanmaktadır (Şekil 14c). Üst katta, zemin kattaki birimlerin damları avlu olarak kullanılmakta ve böylece açık kullanım alanı genişlemektedir. Örtme bölümündeki ocak yaz aylarında mutfak işlevi görmekte; örtme aynı zamanda gölgelendirilmiş bir oturma alanı sunmaktadır. Avludan ahşap bir kapıyla ulaşılan mabeyn, odalar arasındaki dolaşımı sağlamaktadır. Bu mekân hem özgün durumda hem de günümüzde mutfak olarak kullanılmıştır. Üst kat odaları günlük yaşam gereksinimlerine göre düzenlenmiştir. Her iki odanın giriş ekseninde birer ocak bulunmaktadır. Pencereleer güney cephede yer alırken kuzey duvarları yüklük, dolap ve gusülhane gibi sabit elemanlarla donatılmış; böylece ısı kaybını azaltan bir tampon bölge oluşturulmuştur.



**Şekil 14a-b-c.** Z-1 mutfak mekânı (sol) örtme elemanı (orta) samanlık ve ahır (sağ), (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

Ev-2, günümüzde zemin kat üzerinde bir katlı ve dış sofalı plan tipindedir. Yapının özgün hâli tek katlıdır; değişen kullanım gereksinimleri doğrultusunda özgün kütleyle çağdaş malzemelerle uyumsuz bir üst kat eklenmiştir. Eklenen katta yaşam mekânları oluşturulmuş, zemin kat ise ağırlıklı olarak servis birimlerine ayrılmıştır. Yapıya güney cephesindeki avludan erişilmekte ve ana dolaşım avlu üzerinden sağlanmaktadır. Zemin katta işlevlerin zaman içinde değişebildiği esnek bir kullanım düzeni görülmektedir. Z-1 oda, yapımından itibaren uzun yıllar yaşam alanı olarak kullanılmış; Z-2 ise kiler ve mutfak işlevlerini üstlenmiştir (Şekil 15). Z-2’de küçük bir pencere ve duvar nişleri bulunmaktadır. Z-3 depo olarak kullanılmaktadır. Avludan ulaşılan samanlık ve ahır birimleri harap durumdadır ve toprak damları çökmüştür. Samanlıkta bir ahşap kapı ile küçük bir pencere açıklığı bulunmaktadır (Şekil 16a). Üst katta, zemin kattaki bazı birimlerin düz çatıları teras olarak değerlendirilmiş; bu alan kış hazırlıkları ve farklı gündelik işlevler için avluya ek kullanım olanağı sağlamıştır. Üst kattaki ana dolaşım sofadan sağlanmaktadır (Şekil 16b). Odanın güney cephesinde iki ahşap pencere bulunmaktadır (Şekil 16c). Mutfakta batı ve kuzey yönlerinde birer ahşap pencere yer almakta; üst kat ahşap kirişli tavanla örtülmektedir. Odanın doğusundaki WC ve banyo birimlerine terastan ulaşılmaktadır.



**Şekil 15.** Z-1 oda görünümü (sol) Z-2 mekanına giriş kapısı (orta) Z-2 Mutfak/Kiler-Duvarı yer alan küçük nişler ve kuzeye açılan küçük pencere görünüşü (sağ), (Yazar(lar) arşivinden, 2022).





**Şekil 16a-b-c.** Üst kat terastan ahır ve samanlık görünüşü (sol) sofa görünümü (orta) üst kat oda görünüşü (sağ), (Yazar(lar) arşivinden, 2022).

#### 4.2.4. Bina Kabuğu ve Malzeme Kullanımı

Malzeme, vernaküler mimaride ve geleneksel yapıım sistemlerinde temel bir belirleyici olmuştur. Ulaşım ağlarının sınırlı olduğu dönemlerde yapı malzemelerinin yakın çevreden elde edilmesi, ekonomik koşullar ve erişilebilirlikle doğrudan ilişkilidir (Örmecioğlu vd., 2013). Geleneksel mimaride bölgelere göre değişmekle birlikte taş, ahşap, saman, sıkıştırılmış toprak ve kerpiç yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

**Taş Malzeme Kullanımı:** Yüksek termal kütleyle sahip olan taş malzeme yazın aşırı ısınmayı, kışın ise hızlı soğumayı engelleyerek ısı konfor sağlar. Taşkale’de bütün yapıların zemin katı ya da subasmanları nemi engellemek adına yöresel killi kireç taşından imal edilmektedir. Killi kireç taşı nemi ve ıyı dengelemektedir. Ev-1 zemin katta moloz taş malzemeden yığma olarak inşa edilmiştir. Dülük Köyünde geleneksel yapılarda genelde bölgede bulunan kayaların kırılmasıyla elde edilen moloz taş malzeme kullanılmaktadır. Gaziantep geleneksel mimarisinde kullanılan taşlar killi kireç taşıdır (Cansunar

Yetki ve Çobancoğlu, 2019). Killi kireç taşı mekânın yazın serin, kışın ise sıcak kalmasını sağlamaktadır. Ev-2 moloz taş malzemeden yığma olarak inşa edilmiştir. Döşemeler taş kaplamadır.

**Kerpiç Malzeme Kullanımı:** Ev-1’de üst kat kerpiç yığma olarak inşa edilmiştir. Kerpiç malzeme yörede bulunan topraktan elde edilmektedir. Kerpiç üretimi sırasında ve malzeme ömrünü tamamladığında çevreye zarar vermeyen, yıkımı fazla enerji gerektirmeyen geri dönüşümlü bir malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı sürdürülebilir bir malzemedir (Çavuş vd., 2015). Killi kireçli topraktan yapılan kerpiç tuğlaya iri saman katkı uygulanarak neme karşı dayanım sağlanmıştır.

**Ahşap Malzeme Kullanımı:** Taşkale bölgesinde ve Ev-1’de yapıdaki bütün taşıyıcı elemanlar ahşaptır. Tavanlar ahşap kirişli tavan, döşemeler ahşap kaplamadır. Pencere, dolap ve kapılar ahşap malzemeden imal edilmiştir. Ev-2’de ahşap malzeme kullanımı ahşap kirişli tavan, ahşap döşeme ve pencere, kapı ve dolap gibi mimari elemanlarda görülmektedir.

**Cephe kaplama malzemesi:** Ev-1’in duvarlarında çamur sıva üzerine kireç sıva uygulanmıştır. Ev-2’de ise cephelerde ve iç mekânlarda kireç sıva kullanılmıştır.

**Çatı malzemesi:** Taşkale’de geleneksel çatılar, ahşap kirişler üzerine hasır örgü ve toprak tabakasıyla oluşturulan düz dam biçimindedir. Ancak bakım gereksinimi ve yağış koşullarına karşı dayanıksızlık nedeniyle zaman içinde yapılara Marsilya kiremitli veya oluklu sac örtülü kırma ve beşik çatılar eklenmiştir. Ev-1’de de özgün düz toprak damın yerine ahşap taşıyıcılı, Marsilya kiremitli kırma çatı uygulanmıştır. Dülük’te geleneksel çatılar, ahşap kirişler ve ince dallar üzerine serilen toprak tabakasıyla oluşturulmaktadır. Rutubete karşı dayanımı artırmak amacıyla kamış veya sazlar 5-7 cm kalınlığında bir tabaka hâlinde serilmektedir. Ev-2’nin ahır ve samanlık birimlerinde düz toprak dama ait izler görülmekte; konutun çatısı ise betonarme teras çatıya dönüştürülmüş durumdadır.

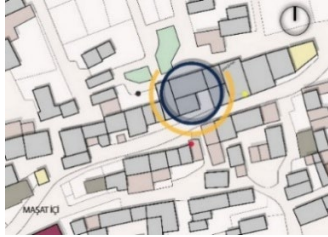
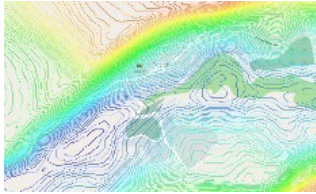
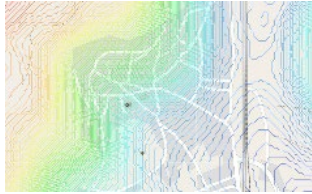
## **5. GELENEKSEL YERLEŞİMLERDE FİZİKSEL ÇEVRENİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

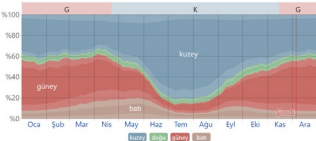
Taşkale Köyü ve Dülük Köyü benzer topografik özelliklere sahiptir. Eğimli bir topografyaya kurulmuş yerleşim yerlerinde Taşkale güneye, Dülük



Köyü doğu ve güneye yönelmiştir. Yerleşim alanlarının güneye yönelmesi güneşlenmeden faydalanma süresini artırmıştır. Taşkale Köyü'nde sıcaklık ortalamasının daha düşük olması ve kış aylarında sıcaklığın düşük olması yapıların bitişik nizamlı inşa edilmesini gerektirmiş ve sokaklardan rüzgâr geçişi engellenmiştir. Dülük Köyü'nde sıcaklık ortalamasının yüksek olması ve kışları da ılık geçmesi yerleşim karakterine etki etmiş olup yapılar ayrık nizama inşa edilmiştir. Ayrıca binalarda yüzey alanları artırılmış ve sokaklarda kabaltı denilen gölgelendirmeyi sağlayan yarı açık mekânlar oluşturulmuştur. Eğimle şekillenen köylerde sokaklar doğu-batı doğrultusunda uzanmıştır. Soğuk step ikliminde yer alan Taşkale Köyünde mevcut sokak dokusu yaz-kış rüzgârı engellemekle birlikte, Dülük Köyü'nde sokak dokusu batı ve doğudan esen rüzgârları yaz- kış içine alarak alanda pasif havalandırma ve soğutma sağlanmıştır. Aynı kültüre sahip olan bu yerleşim yerlerinde yapılar avlulu inşa edilmiştir. Yüksek bahçe duvarları ve pencerelerin genelde sokağa değil avluya açılması, mahremiyet olgusu yüksek içe dönük bir yapılaşma karakteri meydana getirmiştir. Taşkale Köyü'nde ısı kaybını azaltmak için evler iki katlı inşa edilmiş ve alt katı ahır mekânı olarak kullanılmıştır. Zemin katta mekânlarda kullanılan saman ve ahırlardaki hayvanların ısısı ile zeminden gelen soğukun üst kattaki yaşama alanlarına erişimini azaltmaktadır. Dülük Köyü'nde ise konutlar özgün halinde tek katlıdır. Servis mekânları ayrı ve avlu içerisinde çözümlenmiştir. Yüzey alanının artırılmasıyla soğutma sağlanması amaçlanmıştır. Taşkale'de yapıların kuzey cephesi tamamen sağır tutulmuş ya da toprak altında kalmıştır. Dülük Köyü'nde genellikle kuzey cephesi sağır tutularak kışın soğuktan korunma sağlanmaktadır. Yapılar batıya yöneltilerek yaz rüzgârlarının yapı içine alınmasını ve pasif iklimlendirmeyi oluşturarak soğutma sağlanması amaçlanmıştır. İki köyde de ana yapı malzemesi taş ve ahşaptır. Yapılar yığma taş duvarlı, düz toprak damlı inşa edilmiştir. Taşkale evlerinde kerpiç yığma ve üst katlarda ahşap karkas arası kerpiç tuğla duvar da görülmektedir (Tablo 6).

**Tablo 6.** Taşkale ve Dülük yerleşimlerinin sürdürülebilirlik bağlamında karşılaştırılması (Yazarlar tarafından üretilmiştir).

|                           | TAŞKALE YERLEŞİMİ                                                                                                                                                                                                         | DÜLÜK YERLEŞİMİ                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Yerleşim Karakteri</b> |  <p>Taşkale Yerleşim Planı (Taşkale yerleşim planı işlev analizinden düzenlenmiştir (Kilit, 2021).</p>                                   |  <p>Dülük Köyü yerleşim planı (İmar Planından Düzenlenmiştir)</p>                                                                      |
| <b>Topoğrafya</b>         |  <p>İzohips Eğrileri</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eğimli bir arazi eteğine kurulmuştur.</li> <li>Rakım: 1.475 m</li> </ul> |  <p>İzohips Eğrileri</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eğimli bir arazi eteğine kurulmuştur.</li> <li>Rakım: 949 m</li> </ul> |
| <b>İklim sınıfı</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>BSk-Yarı kurak step iklimi- kışı soğuk ve yazı sıcak ve kurak (Karasal İklim)</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Csa- Kışı Ilık, Yazı çok Sıcak ve Kurak İklim (Akdeniz İklimi)</li> </ul>                                                                                                         |
| <b>Sıcaklık</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yıllık ort. en yüksek sıcaklık: 18.8 °C</li> <li>Yıllık ort. en düşük sıcaklık: 5.5°C</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yıllık ort. en yüksek sıcaklık: 21.6 °C</li> <li>Yıllık ort. en düşük sıcaklık: 9.4 °C</li> </ul>                                                                                 |

|                                           |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rüzgâr Yönü</b>                        |  <p>Rüzgâr grafiği (URL-2)</p>                                                                                          | <b>Rüzgâr grafiği (URL-4)</b>                                                                                                                                                                                                       |
|                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rüzgâr genelde kuzey yönden esmektedir.</li> </ul>                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rüzgâr genelde batı yönden esmektedir.</li> </ul>                                                                                                                                            |
| <b>Tarihsel önem</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tahıl Ambarları</li> <li>Manazan Mağaraları</li> <li>Arkeolojik Sit Alanı</li> <li>Kentsel Sit Alanı</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Antik Dolikhe Nekropolü</li> <li>Dülük Mağarası</li> <li>Arkeolojik Sit Alanı</li> </ul>                                                                                                     |
| <b>Sokak Dokusu</b>                       |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Eğimle şekillenen organik sokak dokusu (Yazar(lar) arşivinden, 2022)</li> </ul> |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Eğimle şekillenen organik sokak dokusu</li> <li>Kabaltı Kullanımı (Yazar(lar) arşivinden, 2022)</li> </ul> |
|                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>İki katlı</li> <li>İçe dönük</li> <li>Avlulu</li> </ul>                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tek katlı</li> <li>İçe dönük</li> <li>Avlulu</li> </ul>                                                                                                                                      |
| <b>Yapılaşma</b>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zemin kat servis mekânı</li> <li>Yüksek bahçe duvarı</li> </ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zemin kat servis mekânı</li> <li>Yüksek bahçe duvarı</li> </ul>                                                                                                                              |
| <b>Yapım tekniği ve malzeme kullanımı</b> |  <p>(Yazar(lar) arşivi, 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Moloz taş, killi kireç taşı</li> </ul>       |  <p>(Yazar(lar) arşivi, 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Moloz taş ve killi kireç taşı</li> <li>Taş yığma</li> </ul>             |

|  |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taş yığma, taş oyma, kaya oyma</li> <li>• Kerpiç yığma ve ahşap karkas arası kerpiç tuğla</li> <li>• Ahşap strüktür</li> <li>• Düz toprak dam</li> <li>• Ahşap mimari elemanlar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahşap strüktür</li> <li>• Düz toprak dam</li> <li>• Ahşap mimari elemanlar</li> </ul> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Ev-1’de pencerelerin tek yönde (güney) toplanması, iç mekânda basınç farkı oluşmasını engelleyerek çapraz havalandırma imkânını kısıtlamış; bu durum pasif soğutma performansının zayıf kalmasına neden olmuştur. Ev-2’de yapının kuzey doğu cephesinde kışın hâkim rüzgâra kapalı bir tasarım anlayışı uygulanmıştır. Kuzey cephede yer alan küçük bir pencereden havalandırma sağlanır. Sıcak yaz aylarında ve ilkbahar aylarında güneybatıdan esen rüzgârı eve rahat alabilmek için açık bir plan sisteminde tasarlandığı görülmüştür. Mekân açıklıklarının karşılıklı konumlanmasıyla iç mekânda pasif havalandırma sağlanır. Pasif havalandırma yaz aylarında soğutmaya desteklemektedir.

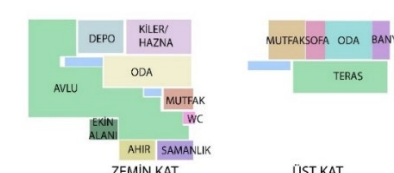
Ev-1’de avlu ve mekânların yaz ve kış güneşlenme oranı yüksektir. Üst katın aydınlatması yeterlidir. Mekânların tüm pencereleri ve giriş kapıları güneye açılmaktadır. Pencereler güneye bakarken, soğuğu ve hâkim rüzgârı engellemek adına mekânların kuzeyine dolap gibi elemanlar eklenmiştir. Kalın yığma duvarlarda uygulanan iç bükey şevli pencere açıklıkları, gün ışığının iç mekânda kırılmasını sağlayarak aydınlatma verimliliğini artırmıştır. Mekânların ve avlunun güneye yönelmesi binanın yıl boyu güneş almasını sağlamaktadır. Zemin kat mekânlarında az sayıda ve küçük pencerelerin yer alması nedeniyle aydınlatma çok yetersizdir. Zemin katta açıklıkların minimal düzeyde tutulması, depo, kiler, ahır mekânlarının serin kalmasını sağlamaktadır. Ev-2’de avlu, zemin ve üst kat yaz ve kış gün ışığı almaktadır. Mekânların çoğunda güneye bakan pencere ve kapılar yer almaktadır. Yaşama alanlarında güneye bakan pencereler yeterli aydınlatma sağlamaktadır. Samanlık ve ahır mekânlarında pencere bulunmamaktadır. Zemin katta bulunan odalarda pencere sayısı yetersiz olduğu için doğal aydınlatma da zayıf kalmıştır. Depo ve kiler mekânının kuzeyde yer almasıyla bu mekânlar serin

tutulmuştur. Mekânların ve terasın güneye yönelmesi binanın yıl boyu güneş almasını sağlamaktadır.

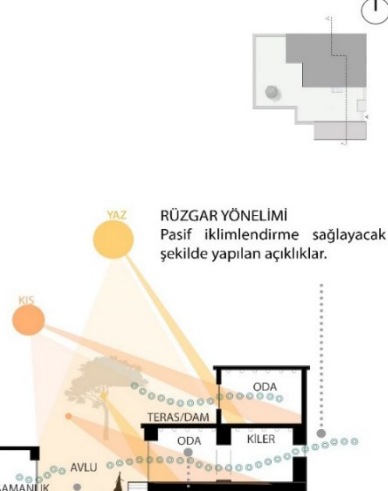
Sonuç olarak BSk iklim bölgesinde yer alan Taşkale Köyü ve Ev-1’de ısıtma ve güneşlenme odaklı; Csa iklim bölgesinde yer alan Dülük Köyü ve Ev-2’de ise soğutma, güneşlenme ve havalandırma odaklı bir tasarım yaklaşımı hâkimdir (Tablo 7 ve Tablo 8).

**Tablo 7.** Konutların çevresel sürdürülebilirlik bağlamında karşılaştırılması (Yazar(lar) tarafından üretilmiştir).

| Analiz                                         | EV-1                                                                                                                                                                                                           | EV-2                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zemin Kat- Rüzgar ve Güneşlenme Analizi</b> | <p>Rüzgar genelde kuzey yönden esmektedir.</p> <p>Yapılar yan yana, bitişik nizam şeklinde tasarlanmıştır.</p> <p>İçeride küçük Avlulu yapılaşma</p> <p>Avluları güneye yönelmiş (pasif iklimlendirme)</p>     | <p>Rüzgar genelde batı yönden esmektedir.</p> <p>Yapılar ayrı nizam şeklinde tasarlanmıştır.</p> <p>İçeride küçük Avlulu yapılaşma</p> <p>Avluları güney ve batıya yönelmiş (pasif iklimlendirme)</p> |
| <b>Üst Kat- Rüzgar ve Güneşlenme Analizi</b>   | <p>Rüzgar genelde kuzey yönden esmektedir.</p> <p>Yapılar yan yana, bitişik nizam şeklinde tasarlanmıştır.</p> <p>İçeride küçük Üst Avlulu yapılaşma</p> <p>Avluları güneye yönelmiş (pasif iklimlendirme)</p> | <p>Rüzgar genelde batı yönden esmektedir.</p> <p>Yapılar ayrı nizam şeklinde tasarlanmıştır.</p> <p>Üst Teras güney ve batıya yönelmiş (pasif iklimlendirme)</p>                                      |

|               |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İşlev Analizi |  <p>ZEMİN KAT<br/>Zemin katı servis mekanları üst katı ise yaşama mekanları ve servis mekanından oluşmaktadır.</p> <p>ÜST KAT</p> |  <p>ZEMİN KAT<br/>Zemin katı servis mekanları üst katı ise yaşama mekanları ve servis mekanından oluşmaktadır.</p> <p>ÜST KAT</p> |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tablo 8.** Ev-1 ve Ev-2'ye ait güneşlenme ve havalandırma diyagramları (Yazar(lar) tarafından üretilmiştir).

| Ev-1 Şematik Kesit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ev-2 Şematik Kesit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>RÜZGAR YÖNELİMİ<br/>Pasif iklimlendirme sağlayacak şekilde yapılan açıklıklar.</p> <p>GÜNEŞLENME<br/>Avlulara yaz ve kış aylarında düşen güneş ışınları.</p> <p>GÜNEŞLENME<br/>Yaz ve kış ayları öğle saatlerinde güneşlenme açısının odalardaki izdüşümü.</p> |  <p>RÜZGAR YÖNELİMİ<br/>Pasif iklimlendirme sağlayacak şekilde yapılan açıklıklar.</p> <p>GÜNEŞLENME<br/>Avlulara yaz ve kış aylarında düşen güneş ışınları.</p> <p>GÜNEŞLENME<br/>Yaz ve kış ayları öğle saatlerinde güneşlenme açısının odalardaki izdüşümü.</p> |

## 6. SONUÇ

Mimari tasarımda yapıların yaşam döngüsü boyunca doğal ve yapılı çevreyle uyumlu olması, sürdürülebilirliğin sağlanması açısından temel bir gerekliliktir. İklimsel verilerin tasarım sürecine dâhil edilmesi, enerji tüketiminin azaltılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Günümüzde birçok yapı, iklimsel etkileri teknolojik ekipmanlar ve endüstriyel malzemeler

aracılığıyla dengelemekte; bu durum kullanım sürecinde enerji kaynaklarına bağımlılığı artırmaktadır. Bu nedenle binalarda geliştirilecek pasif ve yerel çözümler, küresel ısınmanın etkilerinin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve enerji gereksiniminin düşürülmesi bakımından önemlidir. Yerel malzeme ve yapım tekniklerinden yararlanılması, düşük enerji ve maliyetle iklime duyarlı yapılar geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Geleneksel konutlar çağdaş yaşamın tüm konfor beklentilerini doğrudan karşılamasa da yenilenemeyen enerji kullanımını azaltmaya yönelik önemli tasarım ilkeleri sunmaktadır.

Bu çalışmada iklimsel ve çevresel koşulların vernaküler mimari üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kültürel etken görece sabit kabul edilmiş; iklim ve fiziksel çevre koşulları temel değişkenler olarak ele alınmıştır. Türkiye, benzer kültürel birikimin farklı iklim ve coğrafi bölgelerde çeşitli mimari biçimlere dönüştüğü zengin bir çalışma alanı sunmaktadır.

Anadolu'nun geleneksel mimarisi, sınırlı kaynaklar ve yerel olanaklar çerçevesinde kullanıcı gereksinimlerine bütüncül yanıtlar üreten önemli bir kültürel mirastır. Farklı bölgelerde coğrafi ve iklimsel koşullara uyum sağlayan çeşitli yapı tipolojileri geliştirilmiş ve bu yapılar günümüze kadar ulaşmıştır. Geleneksel mimari birikimin bölgesel ölçekte okunabildiği kırsal yerleşimler, sürdürülebilir tasarım açısından önemli örnekler oluşturmaktadır.

Taşkale ve Dülük köylerinin geleneksel dokularında yerleşim, yapı ve iklim arasında güçlü bir etkileşime dayanan biyoklimatik tasarım anlayışı görülmektedir. Farklı iklim koşulları, yerleşim düzeni ve konut mimarisinde belirgin farklılıklara yol açmıştır. İki yerleşim arasındaki benzerlik ve farklılıklar, güncel sürdürülebilir tasarım uygulamaları açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Araştırma bulguları, iklimin geleneksel mimari tasarımın temel belirleyicilerinden biri olduğunu göstermektedir. Her iki köyde de yapılar, yerel iklim ve coğrafi koşullara uyum sağlayacak biçimde uzun bir deneyim süreci içinde gelişmiştir. Bu durum, yerel toplulukların doğal kaynakları etkin kullanma ve çevresel koşullara uyum sağlama kapasitesini ortaya koymaktadır. Enerji etkin tasarım, yerel malzeme kullanımı ve pasif iklimlendirme ilkeleri açısından değerlendirildiğinde, her iki yerleşimin de sürdürülebilir tasarım bakımından önemli bir birikim sunduğu görülmektedir.

Sonuç olarak yerel kültür ve iklim koşullarını dikkate alan vernaküler mimari, sürdürülebilir yapı tasarımı için önemli bir referans oluşturmaktadır. Bu yerel bilgi birikiminin korunması, güncel gereksinimlere uyarlanması ve çağdaş tasarım süreçlerine aktarılması, gelecek kuşaklara nitelikli yaşam çevreleri bırakılması bakımından önemlidir. Benzer araştırmalarda nicel çevresel verilerin kullanılması, doğrudan ve dolaylı etkenlerin ayrıştırılması ve alanların sosyokültürel boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesi daha kapsamlı sonuçlar sağlayacaktır. Ayrıca vernaküler tasarım ilkelerinin çağdaş yapılarla karşılaştırmalı olarak incelenmesi ve günümüz konut tasarımına nasıl aktarılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

Çalışma, vernaküler mimarinin ve özellikle Anadolu'nun geleneksel kırsal mimarisinin anlaşılması, korunması ve güncel tasarım yaklaşımıyla yeniden değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu birikim, yalnızca yerel kültürel mirasın sürdürülmesi açısından değil, küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi bakımından da önem taşımaktadır.



## KAYNAKÇA

- Alves, S. (2017). The sustainable heritage of vernacular architecture: The historic Center of Oporto. *Procedia environmental sciences*, 38, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.105>
- Aydın, D. (2022). *Sürdürülebilir proje teslim sistemi için Türkiye'de yapılan inşaat projelerine yönelik model önerisi* (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi, FBE, Edirne.
- Başgelen, N. (1999). *Dünya kültür mirasında Gaziantep*. Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Berkovic, A., ve Canan, F. (2020). The influence of climate and culture in the formation of vernacular settlements in Počitelj, Bosnia and Herzegovina and Safranbolu, Turkey. *bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 1(2), 260-277. <https://dergipark.org.tr/en/pub/babdergisi/article/715432>
- Beşiroğlu, Ş., ve Özmen, E. (2022). Sürdürülebilir mimarlık kapsamında ekolojik bina ve enerji etkin binanın basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi ile karşılaştırılması. *Tasarım+ Kuram Journal*, 18(35), 194. <https://doi.org/10.14744/tasarimkuram.2022.00378>
- Bourdeau, L. (1999). National Report: Sustainable development and future of construction in France. *France: Centre Scientifique Et Technique Du Bâtiment*.
- Canan, F., Koby, H. B., Aköz, A. B. ve Temizci, A. (2020). Vernaküler ve çağdaş mimarlık örneklerinin sürdürülebilirlik bağlamında karşılaştırmalı analizi: Antalya Kaleiçi ve Deniz mahallesi örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 256-266. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.651622>
- Cansunar Yetki, G. ve Çobancaoğlu, T. (2019). Düünden bugüne Gaziantep geleneksel mimarisinde taşın kullanımı. *Art-Sanat Dergisi*, (12), 129-162. <https://doi.org/10.26650/artsanat.2019.12.0014>
- Crespo, I. J. G., Barrera, M. M. B. ve Ramos, L. M. (2015). Climatic analysis methodology of vernacular architecture. In M. V. G. S. Cristini (Ed.), *Vernacular Architecture: Towards a Sustainable Future* (CRC Press ed., pp. 327-332). Taylor & Francis Group.

- Çavuş, M., Dayı, M., Ulusu, H. ve Aruntaş, Y. (2015). Sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak kerpiç. İçinde S. Fırat, H.Y. Aruntaş ve A.B. Gültekin (ed.), *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 28- 30 Mayıs 2015, 184-192. [https://www.researchgate.net/profile/Murat-Cavus-2/publication/356038230\\_SURDURULEBILIR\\_BIR\\_YAPI\\_MALZEMESI\\_OLARAK\\_KERPIC/links/618a2f9607be5f31b75be062/SUeRDUeRUeLEBILIR-BIR-YAPI-MALZEMESI-OLARAK-KERPIC.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Murat-Cavus-2/publication/356038230_SURDURULEBILIR_BIR_YAPI_MALZEMESI_OLARAK_KERPIC/links/618a2f9607be5f31b75be062/SUeRDUeRUeLEBILIR-BIR-YAPI-MALZEMESI-OLARAK-KERPIC.pdf) adresinden alınmıştır.
- Demirel, M. (2022). Ekolojik ayak izi tarih yazıyor: dünya limit aşım günü. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 963-980. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.1135975>
- Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi. (2009). Enerji tüketiminde dönüşüm için binalarda enerji verimliliği. *Sürdürülebilir Bir Dünya İçin Kurumsal Çözümler*, Haziran, İstanbul: SKD Türkiye.
- Evans, M. (1980). *Housing, climate and comfort*. London: The Architectural Press Ltd.
- Fernandes, J. E. P., Dabaieh, M., Mateus, R. ve Bragança, L. (2014). The influence of the Mediterranean climate on vernacular architecture: a comparative analysis between the vernacular responsive architecture of southern Portugal and north of Egypt. Paper presented at World Sustainable buildings SB14, Lund University, Barcelona, Spain, October 28-30 2014, 1-7. <https://lup.lub.lu.se/search/files/6264593/4697961.pdf> adresinden alınmıştır.
- Gültekin, N., T. ve Uysal, M. (2018a). Kültür mirasının sürdürülebilirliğinde alan tanımı: Taşkale kaya oyma tahıl ambarları örneği. *Humanities sciences*, 13(3), 36-56. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.3.4C0224>
- Gültekin, N. T. ve Uysal, M. (2018b). Kültürel miras bilinci, farkındalık ve katılım: Taşkale Köyü örneği. *OPUS International Journal of Society Researches*, 8(15), 2030-2065. <https://doi.org/10.26466/opus.446272>
- İller Bankası İmar Planlama Dairesi. (1972). *İller Bankası*.

- Kayhan, Ş., S. (2022). *Kaybedilen konut dokusu Karaman Kale yerleşiminin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kilit, R. M. (2021). *Taşkale Yerleşim Alanı'nın yönetim planı ve UNESCO dünya miras geçici listesi adaylık denemesi* (Yüksek Lisans Tezi), Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kilmer, R. ve Kilmer, L. (2007). Teaching beyond sustainable awareness: graduating leed accredited professionals. Paper presented at *2007 Annual Conference & Exposition*, Honolulu, Hawaii, June 24-27, 2007, 12.1346.1- 12.1346.9. <https://peer.asee.org/2838> adresinden alınmıştır.
- Kıstır, M., R. ve Kurtoğlu, D. (2018). Geleneksel konut mimarisinin sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesi: Ayvalık ve Oxford Evleri örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 83-90. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/436084>
- Korumaz, M. ve Kayhan, Ş., S. (2019). Karaman Tarihî Kalesi'nin yeniden kullanım olanaklarının değerlendirilmesi. İçinde Ö. Onargüneş ve H. Çolaklar (Ed.), *Dil – Edebiyat ve Tarih Araştırmaları II*, Hiper Yayın, (371-402).
- Kuban, D. (2001). *Türkiye'de kentsel koruma: kent tarihleri ve koruma yöntemleri* (116. baskı). İstanbul: Türkiye Ekonomik ve Toplumsal Tarih Vakfı.
- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent social sciences*, 5(1), 1653531. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Middleton, V., T., C. ve Hawkins, R. (1998). *Sustainable Tourism: A Marketing Perspective*. NY, Routledge: Taylor & Francis Group. [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781136360565\\_A24430449/preview-9781136360565\\_A24430449.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781136360565_A24430449/preview-9781136360565_A24430449.pdf) adresinden alınmıştır.
- Örmecioglu, H. T., Er Akan, A. ve Uçar, A. (2013). Çevresel faktörlerin geleneksel yapım sistemleri üzerindeki etkisi: Anadolu örneği. *Akdeniz Sanat*, 6(11), 269-279. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/275450>

- Özkan, N. (1992). *Karaman, Taşkale’de geleneksel mimari* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Paköz, A., E. (2016). Geleneksel Maraş Evleri. *Vakıflar Dergisi*, 45, 209-234.  
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/230037>
- Paul, B., D. (2008). A history of the concept of sustainable development: literature review. The Annals of the University of Oradea, *Economic Sciences Series*, 17(2), 576-580.
- Paul, O. (2003). *Dwellings, the vernacular house worldwide*. London and New York: Phaidon Press Inc.
- Rudofsky, B. (1964). *Architecture without architects, an introduction to nonpedigreed architecture*, Garden City, N.Y., The Museum of Modern Art:  
Distributed by Doubleday.  
[https://www.moma.org/documents/moma\\_catalogue\\_3459\\_300062280.pdf](https://www.moma.org/documents/moma_catalogue_3459_300062280.pdf)
- Şahin, S., T. (2022). *1930-1980 yılları arasında üretilen Gaziantep modern mimarlık yapılarının cephe ve kütle özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi) Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tapur, T. (2009). Atatürk’ün ecdat yurdu Taskale yerleşmesinin coğrafyası. *Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 265-292.  
<https://dergipark.org.tr/en/pub/sutad/article/276670>
- Tokay, H. ve Duran, A. (2018). Karaman “Taşkale” yerleşimi ve yöresel mimari özellikleri. *Tasarım+ Kuram Journal*, 14(26), 143.  
<https://doi.org/10.23835/tasarimkuram.529935>  
<https://doi.org/10.23835/tasarimkuram.529935>
- Total, C. (2009). *Karaman kültür envanteri* (3. baskı), Karaman: T.C. Karaman Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.
- URL-1. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KARAMAN> adresinden 23.12.2022 tarihinde alınmıştır  
<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KARAMAN>
- URL-2. <https://tr.weatherspark.com/y/97718/Karaman-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca#:~:text=Karaman%20b%C3%B6lgesinde%20yazlar%20%C4%B1l%20ortalaması>

%B11%C4%B1k%2C%20kurak,35%C2%B0C%20%C3%BCzerinde%  
20olur adresinden 26.12.2022 tarihinde alınmıştır.  
<https://tr.weatherspark.com/y/97718/Karaman-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca#:~:text=Karaman%20b%C3%B6lgesinde%20yazlar%20%C4%B11%C4%B1k%2C%20kurak,35%C2%B0C%20%C3%BCzerinde%20olur>

URL 3. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=GAZIANTEP> adresinden 26.12.2022 tarihinde alınmıştır. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=GAZIANTEP>

URL 4. <https://tr.weatherspark.com/y/100231/Gaziantep-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca> adresinden 26.12.2022 tarihinde alınmıştır.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the world commission on environment and development: our common future*. United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/139811?v=pdf> adresinden alınmıştır.

Vissilia, A., M. (2009). Evaluation of a sustainable Greek vernacular settlement and its landscape: Architectural typology and building physics. *Building and Environment*, 44(6), 1095-1106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.026>

Zhai, Z., J. ve Previtali, J., M. (2010). Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy and buildings*, 42(3), 357-365. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.002>



## BÖLÜM 3

### MEKÂNSAL TEMELLİ BİR ENTEGRE KENTSEL SU YÖNETİMİ DEĞERLENDİRME ÇERÇEVESİ: GAZİ ÜNİVERSİTESİ BEŞEVLER KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

Doktora Öğrencisi, Kezban Ekin YARAMIŞ<sup>1</sup>

Doktora Öğrencisi, Aleyna KEVEN<sup>2</sup>

Prof. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR<sup>3</sup>

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21538734>

---

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, ŞBP Bölümü, Ankara, TÜRKİYE.  
kzbnyaram@gmail.com, orcid id:0009-0006-3984-5088

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, ŞBP Bölümü, Ankara, TÜRKİYE.  
kevenaleyna@gmail.com, orcid id: 0009-0006-4820-5584

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, ŞBP Bölümü, Ankara, TÜRKİYE.  
gyisildar@gmail.com, orcid id: 0000-0001-8528-1806





## 1. GİRİŞ

Küresel tatlı su kaynakları, miktar ve kalite açısından giderek artan baskılarla karşı karşıyadır. 2016 yılında 933 milyon kişinin temiz suya erişimde sorun yaşadığı, bu sayının 2050 yılına kadar 1,69–2,37 milyara ulaşabileceği öngörülmektedir (He vd., 2021). Ayrıca, nüfusu 1 milyonun üzerindeki 304 kenti kapsayan bir çalışmada şehirlerin yaklaşık %90'ının su kalitesi riski altında olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2024). Bu veriler, su güvensizliğinin artık yalnızca kırsal alanlara özgü bir sorun olmadığını, büyük kentsel sistemleri de doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği su kaynakları üzerindeki baskıyı artırırken, kentsel mekânın fiziksel dönüşümü bu süreci daha da karmaşık hâle getirmektedir. Özellikle yollar, çatılar, otoparklar ve diğer geçirimsiz yüzeyler yağış suyunun toprağa sızmasını engelleyerek yüzey akışının miktarını ve hızını artırmakta, böylece kentsel su döngüsünü önemli ölçüde etkilemektedir (US EPA, 2024). Bu bağlamda arazi kullanım kararları, su döngüsünü dolaylı olarak etkileyen ikincil bir planlama unsuru olarak değil; yüzey akışını, infiltrasyon kapasitesini ve alıcı ortam kalitesini doğrudan belirleyen birincil bir su yönetimi aracı olarak ele alınmalıdır (L. Li vd., 2021). Ancak günümüzde hâkim olan arazi kullanım planlaması ile su yönetimi arasındaki geleneksel ayrımın sürdürülmesi, kentsel su krizine karşı geliştirilen politika yanıtlarının etkinliğini sınırlandırmakta ve bütüncül çözümlerin önünde yapısal bir engel oluşturmaktadır. Entegre Kentsel Su Yönetimi (EKSY) tam da bu kırılma noktasında devreye girmekte; su tüketimi, yağmur suyu yönetimi, gri su ve atık su geri kazanımı ile alıcı ortam su kalitesini tek bir analitik çerçeve altında ele alarak mekânsal planlama kararlarını su döngüsünün ayrılmaz bir bileşeni olarak yeniden konumlandırmaktadır (Fletcher vd., 2015; Mitchell, 2005; Marlow vd., 2013; Salas-García vd., 2024).

Kentsel ölçekte entegre su yönetiminin hayata geçirilmesi yalnızca teknik bir mesele değil, aynı zamanda önemli bir yönetim sorunu. Farklı kurumsal aktörlerin yetki alanlarının örtüşmesi, veri paylaşımındaki güçlükler ve mekânsal planlama ile su altyapısı arasındaki koordinasyon eksikliği, EKSY ilkelerinin kentsel ölçekte uygulanmasının önündeki başlıca yapısal engeller olarak öne çıkmaktadır (Grison vd., 2023; Loucks & van Beek, 2017; Koop vd., 2022; UN-Water, 2024). Bu karmaşıklık, bütüncül dönüşüm

gerçekleştirilmeden önce EKSİ ilkelerinin daha küçük, yönetilebilir ve kontrollü sistemlerde sınanmasını gerekli kılmaktadır.

Bu bağlamda üniversite kampüsleri, entegre su yönetimi stratejilerinin pilot ölçeğe sınanabileceği özgün kentsel laboratuvarlara dönüşme potansiyeli taşımaktadır. Yönetimsel bütünlük, tanımlı arazi mülkiyeti, merkezi karar alma yapısı ve kurumsal izleme altyapısını eş zamanlı olarak bünyesinde barındıran kampüsler; farklı arazi kullanım türlerini sınırlı bir mekânda bir arada sunmaları nedeniyle, kontrollü koşullar altında gerçek ölçekli uygulamaların izlenebildiği ve değerlendirilebildiği sistemler olarak öne çıkmaktadır (Brown vd., 2009; Nyborg vd., 2023; Erzurumlu & Pehlivanoglu-Mantas, 2023). Nitekim güncel çalışmalar, kampüs ölçeğinde yağmur suyu yönetiminden gri su geri kazanımına uzanan geniş bir yelpazede EKSİ bileşenlerinin ölçülebilir ve tekrarlanabilir biçimde ele alınabildiğini ortaya koymaktadır (Osorio-Tejada vd., 2022; Carrión-Mero, 2025). Ayrıca bu deneyimlerin akademik üretim süreciyle doğrudan ilişkilendirilmesi, elde edilen bulguların kentsel su politikalarına sistematik biçimde aktarılmasını kolaylaştırmaktadır (Rivera & Savage, 2020; Herth vd., 2025).

Buradan hareketle, Türkiye’de kampüs ölçeğinde su yönetimi ile mekânsal planlama ilişkisini birlikte ele alan öncü çalışmalardan biri olmayı hedefleyen bu araştırma iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. İlk aşamada, EKSİ’nin temel su yönetimi bileşenlerinden hareketle farklı çalışmalarda da uygulanabilecek aktarılabilir bir gösterge seti geliştirilmiştir. Bu set; Geçirimsiz Yüzey ve Zemin (B1), Yeşil Alan ve Peyzaj (B2), Bina ve Altyapı (B3) ile Hidro-ekolojik İlişki (B4) olmak üzere, uzaktan algılama verileri ile saha gözlemlerini bütünleştiren dört boyuttan oluşmaktadır. İkinci aşamada ise geliştirilen gösterge seti Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü’ne uygulanmıştır. 2015 ve 2025 yıllarına ait uydu görüntüleri ve saha verileri kullanılarak mekânsal baskılar ölçülmüş, su yönetimi açısından öncelikli sorun alanları belirlenmiş ve bu bulgulara dayalı mekânsal planlama önerileri geliştirilmiştir. Bu bağlamda çalışma aşağıdaki araştırma sorularını yanıtlamayı hedeflemektedir:

1. Kampüsteki arazi kullanım örüntüleri B1, B2, B3 ve B4 boyutları üzerinden su döngüsüne ne ölçüde etki etmektedir?

2. 2015–2025 yılları arasındaki yapılaşma süreci kampüsün su dengesini, yeşil altyapısını ve yüzey sıcaklıklarını (mikroklima) nasıl dönüştürmüştür?
3. Geliştirilen gösterge temelli model, kampüsü "**su duyarlı**" bir yerleşkeye dönüştürecek hangi somut ve uygulanabilir stratejileri sunmaktadır?

Bu çalışmada kullanılan göstergeler, doğrudan su tüketim verilerine dayalı ölçümler yerine, mekânsal yapı ve arazi kullanım özellikleri üzerinden su döngüsünü dolaylı biçimde açıklayan vekil göstergeler olarak seçilmiştir. Bu yaklaşım, veri erişiminin sınırlı olduğu kampüs ortamlarında dahi mekânsal yapının su döngüsü üzerindeki etkilerinin analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

Çalışmanın özgün yanı, üniversite kampüslerinde su yönetimini EKSY yaklaşımı doğrultusunda mekânsal göstergeler üzerinden bütüncül olarak değerlendirmesidir. NDVI, NDBI ve LST gibi uzaktan algılama verilerini CBS analizleriyle bütünleştirerek kampüsün su yönetimi performansını ölçen gösterge temelli bir çerçeve geliştirilmiş; ayrıca 2015–2025 dönemindeki mekânsal değişimlerin su döngüsü üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Kentsel su sistemleri, iklim değişikliği, hızlı kentleşme ve artan geçirimsiz yüzey baskısı nedeniyle giderek daha kırılgan hâle gelmektedir. Özellikle büyük kentlerde beton, asfalt ve yoğun yapılaşma nedeniyle doğal hidrolojik döngü bozulmakta; yağmur suyunun toprağa sızması azalırken yüzey akışı, taşkın riski ve su kalitesi problemleri artmaktadır (Paul & Meyer, 2001; US EPA, 2024; Walsh vd., 2012). Bununla birlikte kentleşme yalnızca hidrolojik süreçleri değil, kentsel mikroklimayı da dönüştürmektedir. Geçirimsiz yüzeylerin artması, evapotranspirasyonun azalması ve yüzeylerin güneş enerjisini depolaması nedeniyle yer yüzeyi sıcaklıkları yükselmekte ve kentsel ısı adası etkisi güçlenmektedir (Gupta vd., 2023; Yılmaz & Öztürk, 2023). Bu nedenle, su döngüsünü yalnızca teknik altyapı meselesi olarak değil; arazi kullanımı, yüzey özellikleri ve mekânsal organizasyonla doğrudan ilişkili çok boyutlu bir süreç olarak ele alan entegre su yönetimi yaklaşımları (EKSY) giderek önem kazanmaktadır.

EKSY; su, arazi ve ilişkili kaynakların ekonomik, sosyal ve ekolojik sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda birlikte yönetilmesini öngören bütüncül bir çerçeve olarak tanımlanmaktadır (GWP, 2000). Ancak güncel literatür, EKSY'nin yalnızca havza veya altyapı ölçeğinde ele alınmasının yetersiz olduğunu; özellikle kentlerde arazi kullanım kararları, geçirimsiz yüzey oranı, yeşil altyapı ve mikroklimatik süreçlerin de su yönetiminin ayrılmaz bileşenleri olduğunu vurgulamaktadır (Mitchell, 2005; Grison vd., 2023).

Bu bağlamda uzaktan algılama teknolojileri, kentsel su yönetiminin mekânsal boyutunu analiz etmek için önemli araçlar sunmaktadır. Uydu görüntüleri aracılığıyla elde edilen spektral indeksler, kent yüzeyinin biyofiziksel özelliklerini sayısal olarak değerlendirmeye olanak tanımaktadır (Awasthi, 2023). Özellikle NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDBI (Normalized Difference Built-up Index) ve Yer Yüzey Sıcaklığı (LST) göstergeleri, kentleşme süreçlerinin su döngüsü üzerindeki etkilerini analiz etmek için yaygın biçimde kullanılmaktadır (Gupta vd., 2023). NDVI, bitki örtüsü yoğunluğunu ve ekolojik geçirgenliği; NDBI ise yapılaşma ve geçirimsiz yüzey yoğunluğunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. LST göstergesi ise bu mekânsal değişimlerin termal sonuçlarını ortaya koymaktadır. Literatürde NDVI ile LST arasında genellikle negatif, NDBI ile LST arasında ise pozitif ilişki bulunduğu kabul edilmektedir (Weng vd., 2004; Weng vd., 2015a; B. Yılmaz vd., 2025). Buna göre yapılaşmanın arttığı ve yeşil alanların azaldığı bölgelerde yüzey sıcaklıkları yükselmekte, bu durum su döngüsü ve mikro iklim üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Bu çalışmada söz konusu göstergeler, yalnızca çevresel değişkenler olarak değil, aynı zamanda EKSY performansının mekânsal göstergeleri olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yüksek NDBI değerleri geçirimsizlik baskısını, düşük NDVI değerleri ekolojik geçirgenlik kaybını ve yüksek LST değerleri ise su döngüsündeki bozulmanın termal yansımalarını temsil etmektedir. Üniversite kampüsleri ise bu ilişkilerin incelenmesine olanak sağlayan önemli mikro kentsel laboratuvarlar olarak değerlendirilmektedir.

### 3. LİTERATÜR ANALİZİ

Üniversite kampüslerinde entegre su yönetimine yönelik çalışmalar son on yılda önemli ölçüde artmıştır. Ancak mevcut literatürün büyük bölümü yüzey akışı modellemesi, yağmur suyu hasadı veya yeşil çatı performansı gibi

belirli konulara odaklanmakta; su yönetiminin farklı bileşenlerini bütüncül bir mekânsal çerçevede birlikte ele alan çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Tablo 1’de, 2015–2026 yılları arasında kampüs ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar; dört analitik boyut (B1–B4) ve mekânsal analiz yetkinliği (CBS/GIS) açısından karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

**Tablo 1.** Üniversite kampüslerinde entegre su yönetimi çalışmalarının karşılaştırmalı analizi (2015–2026): B1–B4 boyutları ve mekânsal analiz kapasitesi.

| Çalışma (Yazar/Yıl)       | Kullanılan Yöntem ve Araçlar                  | Temel Bulgular ve Çıktılar                                                                 | Kapsam Dışında Kalan Boyutlar                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| UBC Vancouver (2017/2025) | Bütünlük politikası ve planlama belgeleri     | Yeni yapılarda yağmursuyu yönetimi zorunluluğu, uzun vadeli yeşil altyapı hedefleri.       | Nicel göstergeler, CBS analizi, bina tesisatı, gri su.      |
| İsmail (2022)             | Saha gözlemi ve sulama analizi (Kseriskaping) | Yerel türler ve damla sulama ile %40 su tasarruf potansiyeli.                              | Geçirimsiz yüzey analizi, akış modelleme, CBS.              |
| Kumar vd. (2022)          | SWMM ve ArcGIS entegrasyonu                   | Kritik taşkın noktalarının belirlenmesi ve drenaj kapasite analizi.                        | Yeşil alan, sulama, bina altyapısı, ısı adası.              |
| Kabbani vd. (2022)        | PCSWMM ve ArcGIS                              | Önerilen değişikliklerle runoff hacmi ve tepe akışında anlamlı azalma.                     | Yeşil alan, sulama, gri su, ısı adası.                      |
| Gezici ve Kesgin (2023)   | Kavramsal karşılaştırma (LID, WSUD, IUWM vb.) | Sürdürülebilir drenaj yaklaşımlarının terminolojik ve uygulama bazlı sistematığı.          | Nicel skorlar, mekânsal analiz.                             |
| Almeida vd. (2023)        | SWMM ile dinamik modelleme                    | Yeşil çatı ve RWH (hasat) sistemlerinin yağışlı dönemlerdeki sinerjik yararı.              | CBS desteği, geçirimsiz yüzey ve hidro-ekolojik bileşenler. |
| Çalışkan (2024)           | ArcGIS Arc Hydro ve DEM                       | Otomatik akım ağı ve havza sınırları türetimi, ulaşım planlaması ilişkisi.                 | Yeşil alan, bina altyapısı, sulama sistemleri.              |
| Si vd. (2024)             | Yüksek çözünürlüklü CBS ve altyapı verisi     | Kampüs gibi karma alanlarda altyapı odaklı CBS'nin daha gerçekçi havza sınırları üretmesi. | Yeşil alan, bina altyapısı, ısı adası.                      |
| Wang vd. (2025)           | SWMM ve çok amaçlı LID optimizasyonu          | Geçirimli kaplama ve yağmur bahçeleriyle tepe akışında %25 azalma.                         | CBS mekânsal katmanı, bina altyapısı, sulama sistemi.       |
| Si ve Brito (2024)        | L-GrID-WQ modeli ve yüksek çözünürlüklü CBS   | Geçirimsiz yüzey türüne göre kirlenici yükü haritalandırması ve önceliklendirme.           | Bina altyapısı, sulama, gri su, ısı adası.                  |
| Das (2025)                | Rasyonel yöntem ve hidrolojik modeller        | Yeşil altyapı artışının tepe akışını azaltması; yüksek su açığı tespiti.                   | CBS analizi, bina altyapısı, sulama sistemleri.             |
| Zuo vd. (2025)            | SWMM ile aşırı yağış simülasyonu              | Drenaj düğümlerinin %72'sinin taşıtının ve kapasite aşımının tespiti.                      | Yeşil alan, sulama, bina altyapısı, ısı adası.              |
| Dai vd. (2025)            | SWMM ve WCA2D (2B taşkın modeli)              | Farklı dönüş periyotlarında (10-100 yıl) yüksek riskli bölgelerin hassas tespiti.          | Mekânsal CBS katmanları ve diğer su yönetimi boyutları.     |
| Ramos vd. (2026)          | GIS ve Su İzi Analizi (Mavi, Yeşil, Gri)      | Geçirimsiz yüzeyler ile gri su izi arasındaki doğrudan ilişkinin haritalandırılması.       | Bina tesisatı, sulama sistemi analizi.                      |
| Zhang vd. (2026)          | SWMM ve Peyzaj Tasarımı entegrasyonu          | "Tek Su" stratejisi ile taşkın zirvesi ve yüzey akışında belirgin azalma.                  | Bina tesisatı, sulama, gri su, ısı adası.                   |

Literatürde üniversite kampüsleri, sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli uygulama alanları olarak ele alınmakta ve çalışmalar çoğunlukla SWMM, CBS tabanlı analizler ve Düşük Etkili Geliştirme (LID) uygulamalarına odaklanmaktadır. Geçirimli kaplamalar, yağmur bahçeleri ve yeşil çatılar gibi LID stratejilerinin yüzey akışını ve tepe debisini azaltmadaki etkinliği birçok çalışmada ortaya konulmuştur. Ancak Tablo 1’de görüldüğü üzere, mevcut araştırmaların büyük bölümü yağmur suyu yönetimi, su tüketimi veya hidrolik modelleme gibi belirli konuları ayrı ayrı ele alan parçacıl bir yaklaşım sergilemektedir.

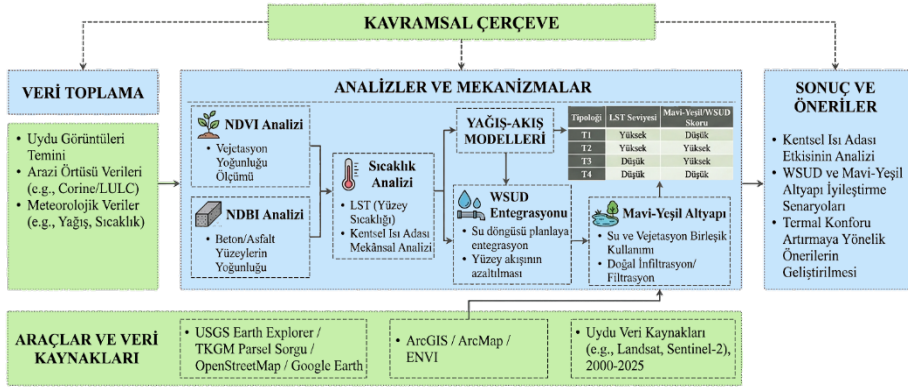
Özellikle kampüs ölçeğindeki çalışmaların önemli bir kısmı mühendislik temelli analizlere dayanırken, uzaktan algılama ve CBS verileri kullanılarak su yönetimi performansını mekânsal göstergeler aracılığıyla değerlendiren araştırmalar sınırlı kalmaktadır. Ayrıca göstergelerin zamansal değişimini inceleyen çalışmalar da oldukça azdır. Türkiye bağlamında ise üniversite kampüslerinin su yönetimi performansını arazi kullanımı, yeşil altyapı, geçirimsiz yüzeyler ve çevresel göstergeler temelinde bütüncül olarak değerlendiren; uzaktan algılama verileri ile CBS analizlerini birleştirerek dönemsel değişimleri ortaya koyan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

## 4. YÖNTEM

### 4.1.Araştırma Tasarımı

Araştırma, uzaktan algılama teknikleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analizler ve gösterge temelli performans değerlendirme yöntemlerini bir araya getiren bütünlük bir metodolojik çerçeveye dayanmaktadır (Mitchell, 2005). Çalışma; veri toplama, mekânsal analiz, gösterge geliştirme ve performans değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır.

Bu kapsamda kampüsün arazi kullanımı, bitki örtüsü yoğunluğu, yapılaşma durumu ve yüzey sıcaklıkları uzaktan algılama verileriyle analiz edilmiş; elde edilen bulgular su yönetimi performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir. Analizler, 2015 ve 2025 yıllarına ait veriler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve kampüsün on yıllık mekânsal değişiminin su yönetimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

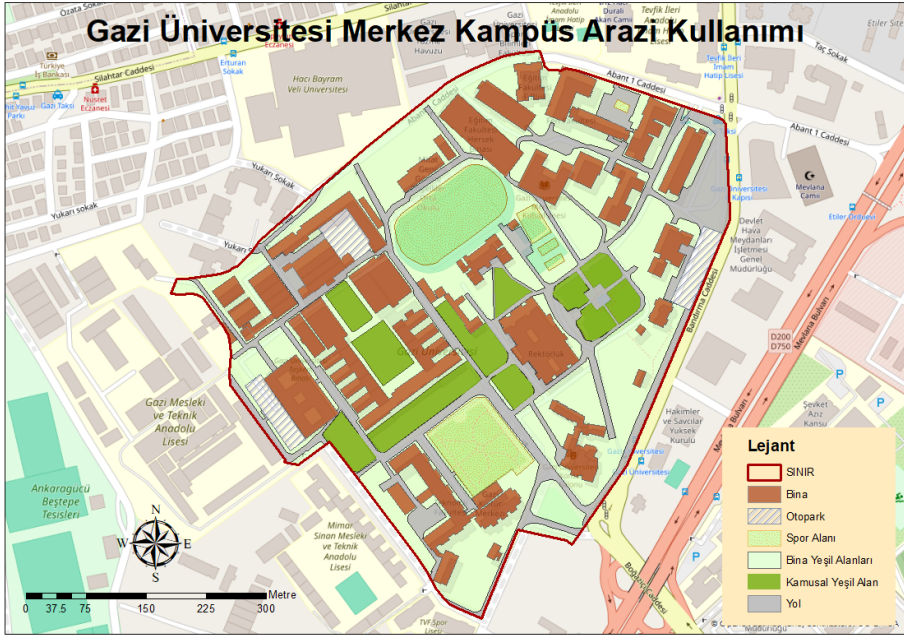


Şekil 1. Çalışmanın analitik çerçevesi ve yöntemsel iş akışı

## 4.2.Çalışma Alanı

Araştırmanın çalışma alanı, Ankara'nın Yenimahalle ilçesinde bulunan Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü'dür. Yaklaşık 282.056 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki kampüs; eğitim, idari, sosyal ve rekreasyonel işlevleri bir arada barındıran karma bir yerleşim yapısına sahiptir. Yoğun kentsel doku içerisinde yer alması nedeniyle su tüketimi, yüzey akışı, geçirimsiz yüzey oranı ve termal koşullar açısından EKSİ yaklaşımının değerlendirilmesine uygun bir çalışma alanı oluşturmaktadır.

Arazi kullanım yapısı incelendiğinde, bina yeşil alanları (%38,03) ile kamusal yeşil alanların (%8,75) toplamda kampüs alanının %46,78'ini oluşturduğu görülmektedir. Buna karşılık yapılaşmış alanların payı %27,64, ulaşım alanlarının payı %15,42 ve otopark alanlarının payı %2,65'tir. Bu dağılım, kampüste önemli ölçüde geçirimsiz yüzey bulunduğunu ve su döngüsünü etkileyen mekânsal baskıların değerlendirilmesini gerekli kıldığını göstermektedir.



Şekil 2. Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü Arazi Kullanım Durumu

### 4.3. Veri Toplama

#### Uydu Görüntüleri ve Uzaktan Algılama Verileri

Gazi Üniversitesi Merkez Kampüsü'nün zamansal ve mekânsal değişimlerini değerlendirmek amacıyla multispektral uydu görüntüleri temin edilmiştir (Pandjaitan vd., 2021). Bu kapsamda, 2015 ve 2025 yıllarına ilişkin Landsat 8-9 OLI/TIRS görüntüleri USGS Earth Explorer platformundan temin edilerek analiz edilmiştir (USGS, 2026).

Tablo 2. Analizlerde Kullanılan Landsat Bantları

| Uydu                    | Bant Türü   |                  |                  |
|-------------------------|-------------|------------------|------------------|
|                         | LST Analizi | NDVI Analizi     | NDBI Analizi     |
| Landsat 8-9<br>OLI/TIRS | Bant 10     | Bant 4 ve Bant 5 | Bant 5 ve Bant 7 |

Görüntü seçim sürecinde, mevsimsel değişimlerin açık biçimde gözlemlenebilmesi amacıyla dört farklı dönem belirlenmiş; atmosferik koşulların görüntü kalitesi üzerindeki etkisini en aza indirmek için bulut örtüsü düşük tarihler tercih edilmiştir. Analizlerin güvenilirliğini artırmak amacıyla



tek bir zaman dilimi yerine çok tarihli görüntü setleri kullanılarak zamansal karşılaştırma yapılmıştır.

**Tablo 3.** Analizlerde Kullanılan Landsat Görüntüleri

| 2015       |            | 2025       |              |
|------------|------------|------------|--------------|
| 04.01.2015 | LST: DÜŞÜK | 31.01.2025 | LST: DÜŞÜK   |
| 25.03.2015 | NDVI: ORTA | 21.04.2025 | NDVI: YÜKSEK |
| 15.07.2015 | LST: TEPE  | 10.07.2025 | WSUD AKTİF   |
| 19.10.2015 | GEÇİŞ FAZİ | 06.10.2025 | GEÇİŞ FAZİ   |

### Su Tüketim Verileri

Su tüketim verileri, farklı bina işlevlerinin (eğitim, yemekhane, yurt, idari birimler ve spor tesisleri) farklı tüketim profilleri oluşturduğu kabulüyle, ilgili literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir (Venkatesh & Brattebø, 2011; Arbués vd., 2003; Okutan & Akkoyunlu, 2021).

### Altyapı ve Topografik Veriler (B2, B3)

Geçirimsiz yüzey haritaları: NDBI ve arazi kullanım verileri ile üretilmiştir.

Altyapı verileri: Mevcut kanalizasyon, yağmur suyu toplama sistemleri ve gri su geri kazanım potansiyeli olan bina konumları haritalanmıştır.

### Su Kalitesi ve Yüzey Akış Verileri (B4)

Kampüs yüzey akışının Ankara Çayı'na etkisi tampon (buffer) analiziyle değerlendirilmiştir. Bu amaçla 100, 200, 500, 1000 ve 2000 metrelik mesafe kademeleri oluşturularak su koridoruna yakınlığın etkisi analiz edilmiştir (Paul & Meyer, 2001).

## 4.4.Gösterge Seti

Gösterge setinin oluşturulmasında EKSİY, Su Duyarlı Kentsel Tasarım (WSUD) ve sürdürülebilir kampüs yaklaşımlarına ilişkin literatür incelenmiş (Wong & Brown, 2009; Fletcher vd., 2013); göstergelerin ölçülebilir, karşılaştırılabilir ve mekânsal analizlerle desteklenebilir olmasına dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda gösterge seti, kampüsün su yönetimi performansını etkileyen fiziksel, çevresel ve mekânsal özellikleri temsil edecek şekilde geliştirilmiştir.

Değerlendirme sürecinde su tüketimi, yağmur suyu yönetimi, gri su geri kazanım potansiyeli ve alıcı ortam üzerindeki etkiler olmak üzere dört temel bileşen esas alınmıştır. Bu bileşenler, su döngüsünü etkileyen çeşitli mekânsal göstergeler aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Temel veri kaynaklarını uzaktan algılama verilerinden elde edilen NDVI, NDBI ve LST analizleri oluşturmuştur. Bunun yanı sıra arazi kullanım verileri, fonksiyonel kullanım özellikleri, geçirimsiz yüzey dağılımları ve hidro-ekolojik ilişkileri temsil eden mekânsal veriler de değerlendirmeye dâhil edilmiştir. NDVI yeşil altyapı kapasitesini, NDBI yapılaşma ve geçirimsiz yüzey baskısını, LST ise kampüsün termal çevre koşullarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Arazi kullanım analizleri ile eğitim, idari, sosyal, ulaşım ve yeşil alanların mekânsal dağılımları belirlenmiş; geçirimsiz yüzey oranları ve su yönetimi performansını etkileyen mekânsal baskılar ortaya konulmuştur. Ayrıca yüzey akışı, drenaj ilişkileri ve alıcı ortam bağlantıları dikkate alınarak kampüsün hidro-ekolojik yapısı değerlendirilmiştir.

Geliştirilen gösterge seti, uzaktan algılama verileri ile arazi kullanımına dayalı mekânsal göstergeleri ortak bir değerlendirme sisteminde bir araya getirerek kampüsün su yönetimi performansının bütüncül olarak analiz edilmesini sağlamaktadır.

#### **4.5. Ağırlıklandırma ve Performans Değerlendirme Yöntemi**

Gösterge temelli değerlendirmelerde, tüm göstergelerin karar verme sürecini eşit düzeyde etkilemediği kabul edilmektedir. Bu nedenle çalışmada, göstergelerin Entegre Su Kaynakları Yönetimi performansı üzerindeki göreceli etkilerini yansıtmak amacıyla ağırlıklandırılmış değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Böylece su yönetimi açısından daha kritik göstergelerin nihai performans skoru üzerindeki etkisi artırılmıştır.

İlk aşamada her gösterge için performans eşik değerleri belirlenmiş ve göstergeler 1 ile 5 arasında puanlandırılmıştır (Singh vd., 2012). Puanlama sürecinde sürdürülebilir su yönetimine katkı düzeyi esas alınmış; yüksek bitki örtüsü yoğunluğu ve düşük geçirimsiz yüzey oranı gibi göstergeler yüksek puanlarla, yapılaşma ve yüzey sıcaklığı artışı gibi göstergeler ise düşük puanlarla değerlendirilmiştir.

Daha sonra her gösterge için su tüketimi, yağmur suyu yönetimi ve alıcı ortam üzerindeki etkiler dikkate alınarak ağırlık katsayıları tanımlanmıştır. Ağırlıklı skorlar, gösterge puanı ile ağırlık katsayısının çarpılmasıyla hesaplanmış ve bileşen bazında birleştirilerek performans değerleri elde edilmiştir. Son aşamada, tüm bileşenlere ait ağırlıklı skorlar toplanarak kampüsün genel su yönetimi performansı belirlenmiştir.

Ağırlıklı değerlendirme süreci aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$TPS = \sum (P_i \times A_i)$$

Burada:

- TPS = Toplam Performans Skoru
- $P_i$  = i göstergesine ait performans puanı
- $A_i$  = i göstergesine ait ağırlık katsayısı
- $\Sigma$  = tüm göstergelerin toplamını ifade etmektedir.

Bu yöntem sayesinde farklı veri türlerinden elde edilen göstergeler ortak bir değerlendirme ölçeğinde bir araya getirilmiş ve farklı yıllara ait sonuçların karşılaştırılabilir biçimde analiz edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen performans skorları, kampüsün su yönetimi açısından güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesinde ve sonraki aşamalarda gerçekleştirilen karşılaştırmalı değerlendirmelerde kullanılmıştır.

**Tablo 4.** Performans Skoru Değerlendirme Aralıkları

| Performans Skoru | Değerlendirme    |
|------------------|------------------|
| 0–3              | Zayıf            |
| 3–5              | Orta             |
| 5–7              | İyi              |
| 7–9              | Çok İyi          |
| 9–10             | Üstün Performans |

#### 4.6.NDVI-NDBI-LST ve CBS Tabanlı Mekânsal Analizler

##### Normalleştirilmiş Fark Bitki Endeksi (NDVI)

Normalleştirilmiş Fark Bitki Endeksi (NDVI), bitki örtüsünün yoğunluğunu, sağlığını ve mekânsal dağılımını belirlemek için kullanılan en yaygın spektral indekstir. Bitkilerin klorofil içeriği, görünür kırmızı ışığı (Red) güçlü bir şekilde soğururken, yaprak hücre yapısı yakın kızılötesi (NIR)

radasyonu güçlü bir şekilde yansıtır (Rouse vd., 1974; Peijun vd., 2010; Zhang vd., 2023). Landsat 8 ve 9 verilerinde bu bantlar sırasıyla 4. ve 5. bantlara karşılık gelmektedir (Tucker, 1979; Zhang vd., 2023).

NDVI hesaplama algoritması şu formüle dayanmaktadır:

### **Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma Endeksi (NDBI)**

Kentsel gelişimin ve geçirimsiz yüzeylerin termal etkisini anlamak için Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma Endeksi (NDBI) kullanılmıştır. NDBI, yapılaşmış alanların kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgedeki yüksek yansıtma özelliğinden yararlanarak betonlaşmış alanları bitki örtüsünden ayırır (Zha vd., 2003; Chen vd., 2006; Hidayati & Suharyadi, 2019; Weng vd., 2015b).<sup>8</sup> 2-çalışmada, kullanıcı tanımlı parametrelere uygun olarak Yakın Kızılötesi (NIR - Bant 5) ve Orta Kızılötesi (MIR/SWIR2 - Bant 7) bantları kullanılmıştır:

### **Yer Yüzeyi Sıcaklığı (LST)**

Yer yüzeyi sıcaklığı (LST), yeryüzünden yayılan termal radyasyonun bir ölçüsü olup, enerji dengesi çalışmalarında, hidrolojik modellemede ve kentsel iklim analizlerinde temel bir değişken niteliğindedir. Uydu sensörleri tarafından kaydedilen veriler başlangıçta sayısal değerler (Digital Numbers-DN) biçimindedir ve bu değerlerin fiziksel bir sıcaklık birimine dönüştürülmesi bir dizi kalibrasyon aşamasını gerektirir (Sobrino vd., 2004; Z. Li vd., 2023).

Bu denklemde 0,0003342 değeri çarpımsal ölçeklendirme faktörünü (ML), 0,1 değeri ise toplamsal ölçeklendirme faktörünü (AL) temsil etmektedir. Bu katsayılar sensörün kalibrasyon parametreleri olup ham piksel değerlerinin  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$  birimindeki radyans değerlerine dönüştürülmesini sağlamaktadır. Spektral radyans, yüzeyden yayılan enerjinin atmosferik etkilerle birleşmiş hâlini yansıttığı için termal analizin temelini oluşturmaktadır.

Analizin ilk aşaması, ham görüntü verilerinin Atmosfer Üstü (Top of Atmosphere- TOA) spektral radyansına dönüştürülmesidir. Bu süreç, sensörün atmosferin dış sınırında algıladığı enerji miktarını belirlemektedir. Landsat 8 ve 9 TIRS verileri için 10. Bant (Termal Kızılötesi 1), bu hesaplamalarda birincil kaynak olarak seçilmiştir (USGS, 2026). Dönüşüm formülü, görüntü metaverilerinde yer alan ölçeklendirme katsayılarına dayanmaktadır:

Radyans değerleri elde edildikten sonra bu veriler, Planck yasası kullanılarak parlaklık sıcaklığına (BT) dönüştürülür. Parlaklık sıcaklığı,

gözlenen radyasyonu yayan bir kara cismin sahip olacağı teorik sıcaklığı ifade etmektedir. Landsat 8 ve 9'un 10. bandı için özel olarak belirlenmiş termal sabitler ( $K_1$  ve  $K_2$ ), bu dönüşümde kritik rol oynamaktadır (Chander vd., 2009). Hesaplama aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

#### Parlaklık Sıcaklığı (Brightness Temperature) Hesabı

Radyans değerleri elde edildikten sonra, bu veriler Planck yasası kullanılarak parlaklık sıcaklığına (BT) dönüştürülür. Parlaklık sıcaklığı, gözlenen radyansı yayan bir kara cismin sahip olacağı teorik sıcaklıktır. Landsat 8 ve 9'un 10. bandı için özel olarak belirlenmiş termal sabitler ( $K_1$  ve  $K_2$ ), bu dönüşümde kritik rol oynar (Chander vd., 2009). Hesaplama şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

Burada 1321.0780 ( $K_2$ ) ve 774.8853 ( $K_1$ ) sabitleri, Landsat TIRS sensörünün spektral yanıt fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Sonuçtan 273.15 çıkarılması, mutlak sıcaklık birimi olan Kelvin'i günlük kullanım ve bilimsel raporlama için daha uygun olan Santigrat dereceye ( $^{\circ}\text{C}$ ) dönüştürmektedir (Sobrino vd., 2004).

**Tablo 5.** Parametre Değerleri

| Parametre     | Değer     | Açıklama                 |
|---------------|-----------|--------------------------|
| $K_1$         | 774.8853  | Termal Sabit 1 (Bant 10) |
| $K_2$         | 1321.0789 | Termal Sabit 2 (Bant 10) |
| Multi_Rescale | 0.0003342 | Bant 10 Radyans Çarpanı  |
| Add_Rescale   | 0.1       | Bant 10 Radyans Toplamı  |

Bu hesaplama, yüzey emissivitesinin 1 olduğu (kara cisim) varsayımına dayalı bir tahmindir.

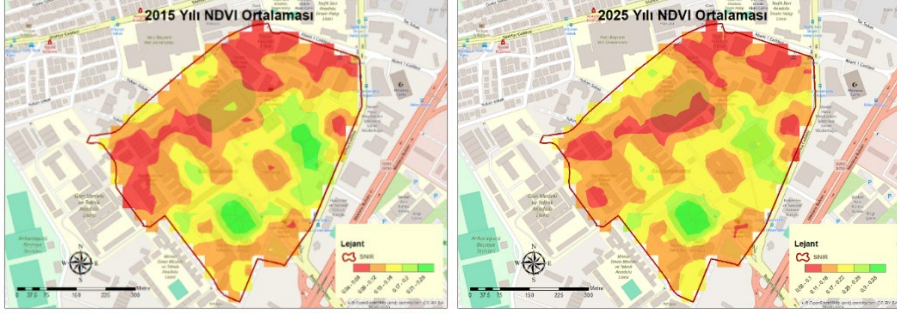
## 5. BULGULAR

### 5.1. NDVI Analizi Bulguları

Bu hesaplama, yüzey yansırılığının 1 olduğu (kara cisim) varsayımına dayalı bir tahmindir.

2025 yılında ortalama NDVI değeri 35,78'e gerilemiş ve on yıllık süreçte 2,05 puanlık bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, kampüsün genel yeşil karakterini korumasına rağmen bazı bölgelerde yapılaşma ve geçirimsiz yüzey artışına bağlı olarak bitki örtüsü yoğunluğunda sınırlı bir azalma yaşandığını göstermektedir.

NDVI değerlerindeki düşüş, ekolojik geçirgenlik ve evapotranspirasyon kapasitesinde kısmi bir gerilemeye işaret etmektedir. NDBI ve LST analizleriyle birlikte değerlendirildiğinde, bu değişim kampüs üzerindeki yapılaşma baskısının çevresel etkilerini ortaya koymaktadır.



**Şekil 3.** 2015- 2025 NDVI Ortalaması

NDVI (Biyokütle/Yeşil Alan) Dönüşümü: 2015 yılında kampüs içi ortalama NDVI pik değerleri 0,21–0,25 bandındayken, 2025 yılında bitki örtüsünün olgunlaşması ve peyzaj alanlarının genişlemesiyle üst sınır 0,30–0,35 bandına taşınmıştır. Haritadaki parlak yeşil odak noktaları, kampüsün güneyindeki spor alanları çeperi ile rektörlüğün doğu ve kuzeybatı aksındaki yerleşik ağaçlık alanların vejetasyon yoğunluğunu koruduğunu, hatta geliştirdiğini net olarak göstermektedir.

## 5.2.NDBI Analizi Bulguları

2015 ve 2025 yıllarına ait Landsat görüntüleri kullanılarak yapılan mevsimsel analizlere göre kampüsün ortalama NDBI değeri 2015 yılında 34,39 iken 2025 yılında 35,28'e yükselmiş ve 0,89 puanlık bir artış göstermiştir. Bu durum, yapılaşmış ve geçirimsiz yüzeylerin kampüs içerisindeki etkisinin arttığını ortaya koymaktadır. NDBI artışı, NDVI analizlerinde belirlenen bitki örtüsü kaybıyla birlikte değerlendirildiğinde, bazı alanlarda geçirimsiz yüzey oranlarının yükseldiğini ve buna bağlı olarak yüzey akışının artma potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Ayrıca yüksek NDBI değerlerinin görüldüğü alanların, LST analizlerinde belirlenen yüksek sıcaklık bölgeleriyle büyük ölçüde örtüştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, yapılaşma yoğunluğunun kampüs mikro iklimi

üzerindeki etkisini ortaya koymakta ve son on yıllık süreçte yaşanan yapılaşma baskısının çevresel performans göstergelerine yansıdığını göstermektedir.



#### Şekil 4. 2015- 2025 NDBI Ortalaması

NDBI (Yapılaşma Yoğunluğu) Dönüşümü: 2015 yılı ortalama NDBI haritasında en yüksek geçirimsiz yüzey sınıfı 0,01 ile 0,06 arasındayken, 2025 yılında bu eşik 0,08 ile 0,16 sınıfına yükselmiştir. Haritadaki koyu kahverengi lekeler incelendiğinde; özellikle Rektörlük Binası çevresi, Teknoloji Fakültesi/Konservatuvar aksı ve Abant 1. Caddesi çeperindeki sert zemin yapısının ve çatı yüzey yoğunluğunun (geçirimsizliğin) arttığı gözlenmektedir.

### 5.3.Yer Yüzeyi Sıcaklığı (LST) Analizi Bulguları

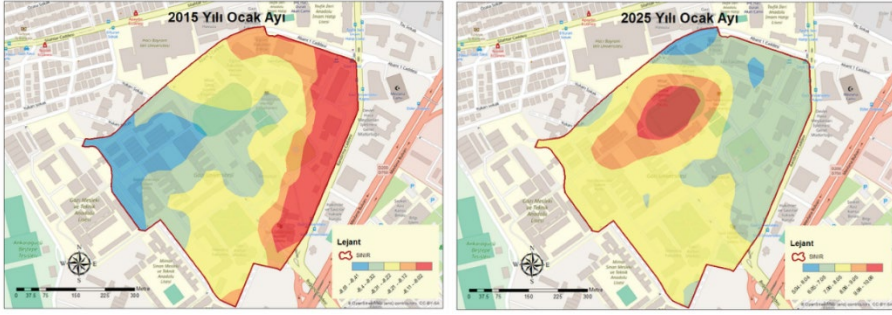
Kampüs alanındaki termal çevre koşullarının belirlenmesi amacıyla Yer Yüzeyi Sıcaklığı (Land Surface Temperature-LST) analizleri gerçekleştirilmiştir. LST analizleri, kampüs içerisindeki farklı arazi kullanım türlerinin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkilerini ortaya koymakta ve yapılaşma ile yeşil altyapı arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Analizler 2015 ve 2025 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yıllık değerlendirmeler mevsimsel ortalama değerler üzerinden yapılmıştır.

LST sonuçları, kampüs içerisinde yeşil altyapının termal konfor üzerindeki kritik rolünü açık biçimde ortaya koymaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda gözlenen düşük sıcaklık değerleri, evapotranspirasyon ve gölgeleme etkilerinin yüzey sıcaklıklarını azaltmadaki önemini göstermektedir. Buna karşılık geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu alanlarda sıcaklıkların yükselmesi, kentsel ısı adası etkisinin kampüs ölçeğinde de hissedilmeye başladığını ortaya koymaktadır.

### Kış Ekstremumu (Ocak 2015 ve Ocak 2025)

Ocak 2015: Kampüs içi yüzey sıcaklık değerleri  $-8.51^{\circ}\text{C}$  ile  $-8.02^{\circ}\text{C}$  arasında dağılmaktadır. Sınıflar arası maksimum mekânsal kontrast  $0.49^{\circ}\text{C}$  gibi çok dar bir aralıktadır.

Ocak 2025: Kampüs içi yüzey sıcaklıkları  $5.04^{\circ}\text{C}$  ile  $10.06^{\circ}\text{C}$  seviyelerine yükselmiştir. Kampüs içi termal makas ise  $5.02^{\circ}\text{C}$  olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5. Kış Ekstremumu (Ocak 2015 ve Ocak 2025)

Kış aylarında iki dönem arasında belirgin bir sıcaklık farkı (negatif değerlerden pozitif değerlere geçiş) görülmektedir. 2015'te yüzeyler benzer termal değerler gösterirken, Ocak 2025'te yüzey türleri arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık  $5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır.

### Yaz Ekstremumu (Temmuz 2015 ve Temmuz 2025)

Temmuz ayı LST sonuçları, kampüs genelinde yüzey sıcaklıklarının 2015 yılında  $28,54^{\circ}\text{C}$ – $39,57^{\circ}\text{C}$ , 2025 yılında ise  $35,46^{\circ}\text{C}$ – $46,82^{\circ}\text{C}$  aralığında değiştiğini göstermektedir. On yıllık süreçte mutlak sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış yaşanmasına rağmen, en sıcak ve en serin yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık  $11^{\circ}\text{C}$  düzeyinde korunmuştur. 2015 yılında bu fark  $11,03^{\circ}\text{C}$  iken, 2025 yılında  $11,36^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır. Bu durum, kampüs içerisindeki yeşil alanların ve peyzaj öğelerinin artan sıcaklık baskısına rağmen mikroklimatik dengeleme işlevini sürdürdüğünü göstermektedir.

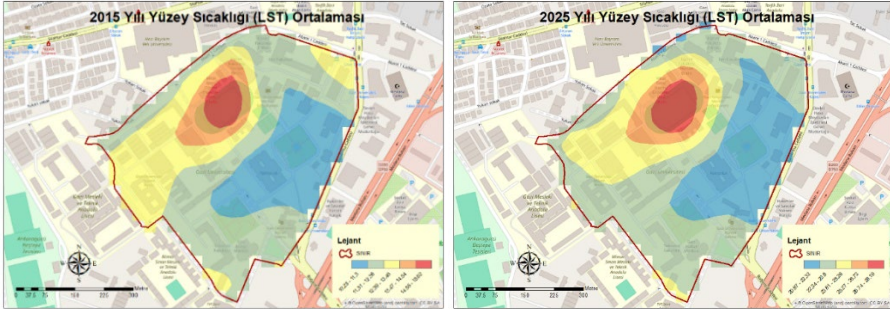




**Şekil 6.** Yaz Ekstremumu (Temmuz 2015 ve Temmuz 2025)

Temmuz ayı verileri, kampüsün ekolojik tamponlama kapasitesini açık biçimde ortaya koymaktadır. 2015–2025 döneminde en yüksek yüzey sıcaklıkları 39,57°C'den 46,82°C'ye yükselerek yaklaşık 7°C'lik bir artış göstermiştir. Buna rağmen, kampüs içerisindeki en sıcak ve en serin yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı büyük ölçüde korunmuştur. 2015 yılında 11,03°C olan termal fark, 2025 yılında 11,36°C olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, kampüs bünyesindeki yeşil altyapı ve bitki örtüsünün artan sıcaklık baskısına karşı mikroklimatik dengeleme işlevini sürdürdüğünü ve kentsel ısı adası etkisini sınırlandırmada önemli katkı sağladığını göstermektedir.

### Ocak–Temmuz Uç Dönem Ortalamaları



**Şekil 7.** Ocak–Temmuz Uç Dönem Ortalamaları

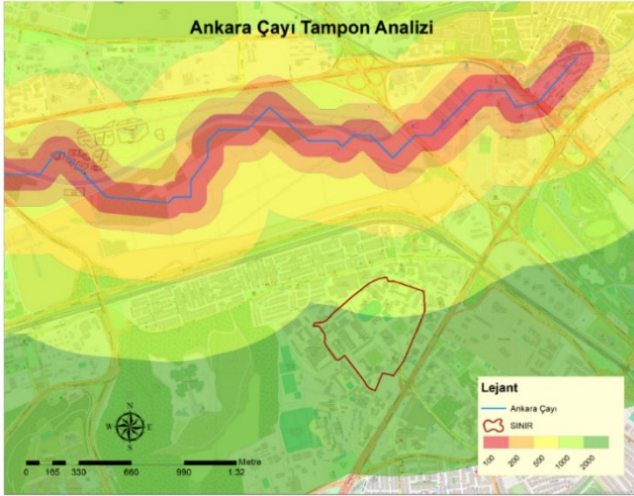
LST analizine göre kampüsün ortalama yüzey sıcaklıkları 2015 yılında 10,23°C–15,62°C aralığında iken, 2025 yılında 20,87°C–28,19°C aralığına yükselmiştir. Ocak ve Temmuz ayları esas alınarak gerçekleştirilen analizler, 2015–2025 döneminde kampüsün yaklaşık 10–12°C düzeyinde bir sıcaklık artışına maruz kaldığını göstermektedir.

Buna karşın, kampüs içerisindeki yeşil altyapı ve vejetasyon varlığı önemli bir mikroklimatik dengeleme işlevi üstlenmektedir. Temmuz ayında

yapılaşmış ve asfalt yüzeylerde sıcaklıklar  $46,82^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselirken, yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda sıcaklıkların  $35,46^{\circ}\text{C}$  düzeyinde kaldığı belirlenmiştir. En sıcak ve en serin alanlar arasında yaklaşık  $11^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık farkının korunması, kampüs peyzajının ve yeşil altyapısının kentsel ısı adası etkisini azaltmadaki etkinliğini ortaya koymaktadır.

#### 5.4.Su Yüzeyine Yakınlık (Buffer) Analizi

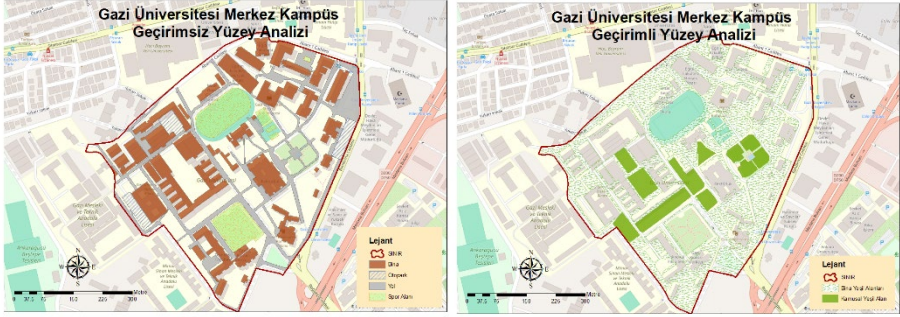
Kampüsün termal rejimi, yakın çevresindeki su öğeleriyle de doğrudan ilişkilidir. Ankara Çayı merkez hattı referans alınarak gerçekleştirilen tampon (buffer) analizi, su öğesinin kentsel ekoloji üzerindeki nüfuz alanını 100, 200, 500, 1000 ve 2000 metre mesafe kademeleriyle görselleştirmektedir.



**Şekil 8.** Su Yüzeyine Yakınlık (Buffer) Analizi

Yerleşkenin kuzey ve kuzeybatı bölümleri Ankara Çayı ekseninden 500 ile 1000 metre arasındaki tampon bölge içerisinde yer alırken, güney kısımları 2000 metre sınırına yakındır. Bu mesafe kademeleri bölgenin spektral değişimleriyle ilişkilidir; su koridoruna yakınlık, kentsel ısı adası etkisini dengeleme potansiyeli taşıyan nemli bir koridor oluşturmaktadır. Bu durumun, yerleşke çeperindeki bitki varlığının korunmasına ve vejetasyon sürekliliğine (NDVI) katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

### 5.5. Geçirimli–Geçirimsiz Yüzey Analizi



**Şekil 9.** Gazi Üniversitesi Merkez Kampüs Geçirimli ve Geçirimsiz Yüzey Analizleri

Kentsel gelişim süreçleri, doğal ekosistemlerin ve hidrolojik döngülerin kalıcı olarak kesintiye uğradığı en radikal mekânsal dönüşümlerdir. Bu dönüşümün en somut göstergesi, doğal toprak örtüsünün yerini beton, asfalt ve çatı yüzeyleri gibi "geçirimsiz yüzeylere" bırakmasıdır. Geçirimsiz yüzey birikimi, yalnızca yağış sularının yeraltına sızmasını engellemekle kalmaz; aynı zamanda kentsel ısı adası etkisini tetikler, yüzey akış katsayısını artırır ve mikroklimatik dengeleri bozar. Bu bölümde, planlama dinamikleri ve arazi kullanım kararları ekseninde, çalışma alanındaki geçirimsiz yüzey oranları, nicel veriler ve harita çıktısı üzerinden analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen toplam alan 282.056,44 m<sup>2</sup> (yaklaşık 28,2 hektar) büyüklüğündedir. Alandaki geçirimsizlik karakteristiğini belirlemek adına mekânsal fonksiyonlar iki temel kategoriye ayrılmıştır:

**Geçirimsiz Yüzeyler (Yapılaşmış/Sert Zemin):** Doğal infiltrasyon yeteneğini tamamen kaybetmiş, yüzey akışını doğrudan artıran alanlardır. Bu grupta Yol, Yapı (Taban Alanı), Otopark ve büyük oranda sert zemin içeren Spor Alanları yer almaktadır.

**Geçirgen/Yarı Geçirgen Yüzeyler (Yeşil Zemin):** Yağış sularının toprakla buluşabildiği ve yeraltı suyunu besleyebildiği alanlardır. Bu grupta ise Kamusal Yeşil Alanlar ve Bina Yeşil Alanları (bahçe, parseller içi bitkilendirilmiş boşluklar) değerlendirilmiştir.

Arazideki fonksiyonel dağılım ve bu dağılımın yüzdelik oranları **Tablo 6'da** özetlenmiştir.

**Tablo 6.** Çalışma Alanı Mevcut Arazi Dağılımı

| Alan Adı            | Durum (m <sup>2</sup> ) | Oran (%)       |
|---------------------|-------------------------|----------------|
| Yapı (Taban Alanı)  | 77.947,88               | %27,64         |
| Yol                 | 43.489,37               | %15,42         |
| Spor Alanı          | 21.185,45               | %7,51          |
| Otopark             | 7.481,23                | %2,65          |
| Bina Yeşil Alanı    | 107.274,39              | %38,03         |
| Kamusal Yeşil Alanı | 24.678,12               | %8,75          |
| <b>Toplam Alan</b>  | <b>282.056,44</b>       | <b>%100,00</b> |

Alan üzerindeki toplam geçirimsiz yüzey yükünü (geçirimsiz) hesaplamak için sert zemin oluşturan fonksiyonlar matematiksel olarak formüle edilmiştir:

$$A_{\text{geçirimsiz}} = \text{Yapı} + \text{Yol} + \text{Spor} + \text{Otopark}$$

$$A_{\text{geçirimsiz}} = 77.947,88 + 43.489,37 + 21.185,45 + 7.481,23 = 150.103,93 \text{ m}^2$$

Buna karşılık, ekolojik dengeyi koruma potansiyeline sahip toplam geçirgen alan (Ageçirgen) ise şu şekildedir:

$$A_{\text{geçirgen}} = \text{Bina Yeşil} + \text{Kamusal Yeşil}$$

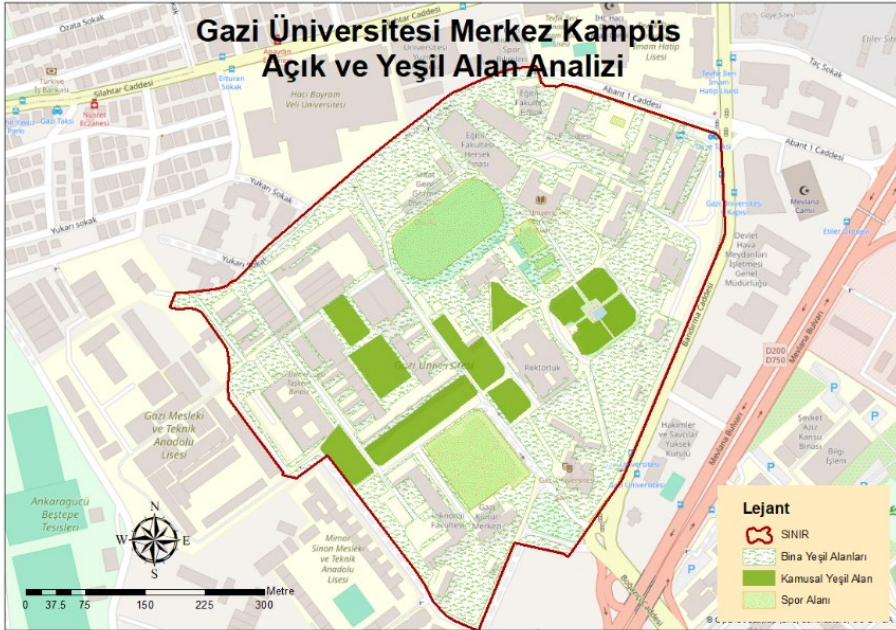
$$A_{\text{geçirgen}} = 107.274,39 + 24.678,12 = 131.952,51 \text{ m}^2$$

Bu değerler doğrultusunda, toplam planlama alanındaki net geçirimsizlik oranı ( $ORAN_{\text{geçirimsiz}}$ ) şu formülle elde edilmiştir:

$$ORAN_{\text{geçirimsiz}} = (150.103,93 \text{ m}^2 / 282.056,44 \text{ m}^2) \times 100 = \%53,22$$

Geçirimsiz yüzey haritası ve hesaplanan %53,22'lik oran, çalışma alanının yarıdan fazlasının yapay yüzeylerle kaplandığını göstermektedir. Morfolojik değerlendirmeler, geçirimsizliğin temel kaynaklarını yapı taban alanları (%27,64) ve ulaşım ağı (%15,42) olarak ortaya koymaktadır. Spor ve otopark alanları ise bu mekânsal yapıyı destekleyen diğer unsurlardır.

Literatürde, geçirimsiz yüzey oranının %25'i aşması kentsel ekosistemler açısından önemli bir eşik olarak kabul edilmektedir (Booth vd., 2002; Faust & Magner, 2025). İnceleme alanında bu oranın %53,22'ye ulaşması, geçirimsiz yüzey baskısının yüksek olduğunu göstermektedir. Buna karşın, toplam alanın %38,03'ünü oluşturan bina yeşil alanları önemli bir yeşil doku sunmakla birlikte, parçalı yapıları nedeniyle yüzey akışını azaltmada sınırlı etki göstermektedir.



Şekil 10. Gazi Üniversitesi Merkez Kampüs Açık ve Yeşil Alanlar

$$A_{\text{Açık ve Yeşil}} = \text{Bina Yeşil} + \text{Kamusal Yeşil} + \text{Spor}$$

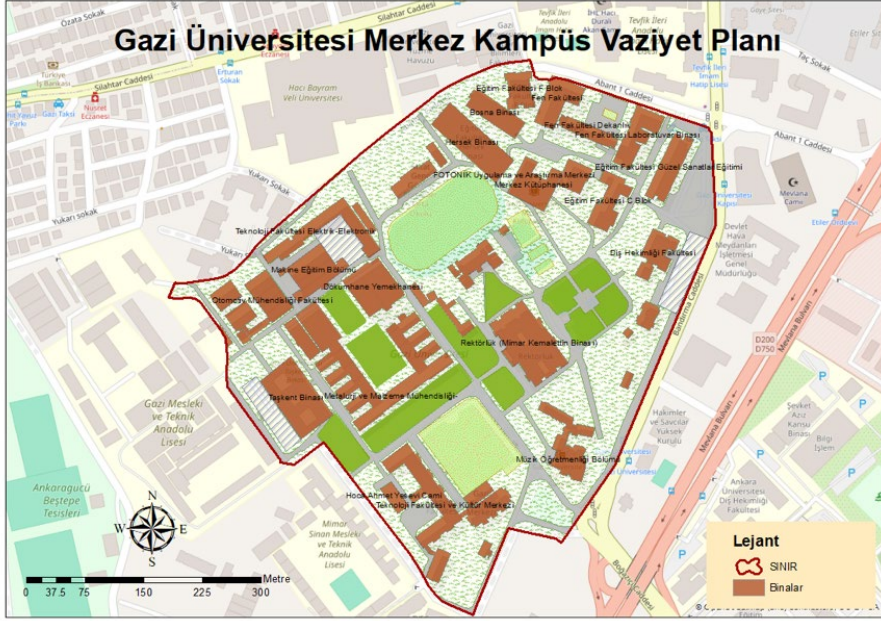
$$A_{\text{Açık ve Yeşil}} = 107.274,39 + 24.678,12 + 21.185,45 = 153.137,96 \text{ m}^2$$

$$\text{Oran} = (153.137,96 \text{ m}^2 / 282.056,44 \text{ m}^2) \times 100 = \%54,29$$

Çalışma alanındaki kentsel peyzaj bütünlüğü, spor alanlarıyla birlikte değerlendirildiğinde açık ve yeşil alan varlığının önemli bir mekânsal ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Bina Yeşil Alanı (107.274,39 m<sup>2</sup>), Kamusal Yeşil Alan (24.678,12 m<sup>2</sup>) ve Spor Alanları (21.185,45 m<sup>2</sup>) birlikte ele alındığında toplam rekreasyonel açık alan büyüklüğü 153.137,96 m<sup>2</sup>'ye ulaşmaktadır. Bu değer, planlama alanının %54,29'unu oluşturmaktadır.



Toplam alanın yarıdan fazlasının açık alan ekosistemine ayrılmış olması olumlu bir durumdur. Bu oranın %46,78'ini geçirgen ve bitkilendirilmiş yeşil alanlar, %7,51'ini ise spor alanları oluşturmaktadır. Söz konusu mekânsal yapı, gelecekte geliştirilecek hidrolojik ve mekânsal planlama stratejileri için önemli bir temel sunmaktadır.



Şekil 11. Gazi Üniversitesi Merkez Kampüs Vaziyet Planı

Gazi Üniversitesi Merkez Kampüsü'nün yapısal morfolojisi, Cumhuriyet döneminin eğitim mirasını yansıtan ve zamanla gelişen bir mekânsal örüntü sergilemektedir. Şekil 11'de verilen vaziyet planı incelendiğinde, kampüsün eğitim yapıları ile bunları destekleyen idari ve sosyal birimler etrafında şekillendiği görülmektedir. Yerleşkenin merkezinde bulunan tarihi Rektörlük (Mimar Kemaleddin Binası) ve Merkez Kütüphane, kampüsün yönetsel ve akademik odağını oluşturmaktadır. Bu merkezin çevresinde Teknoloji, Fen, Eğitim ve Diş Hekimliği fakültelerine ait yapılar kümelenirken, cami ve yemekhane gibi sosyal donatılar mekânsal bütünlüğü desteklemektedir.

Kampüsteki yoğun ve parçalı yapılaşma düzeni, yüksek geçirimsiz yüzey oranının temel mekânsal nedenini ortaya koymaktadır (M. Yılmaz vd., 2025).

Bu durum, gelecekte iklim koşulları ve altyapı yönetimi açısından dikkate alınması gereken önemli bir fiziksel eşik olarak değerlendirilmektedir.

## **5.6. Gösterge Bazlı Performans Sonuçları**

### **B1- Su Tüketimi Boyutu**

Su tüketimi boyutu, kampüs içerisindeki farklı kullanım alanlarının oluşturduğu su talebini değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Eğitim yapıları, idari birimler, sosyal tesisler ve spor alanlarına ilişkin su tüketim göstergeleri dikkate alınmış; tüketim değerleri birim alan başına kullanım miktarları üzerinden puanlandırılmıştır. 2015 ve 2025 yılı sonuçları karşılaştırıldığında, kullanıcı yoğunluğu ve mekânsal kullanım baskısındaki artışa rağmen kampüsün su tüketim performansını büyük ölçüde koruduğu görülmektedir. Bu durum, mevcut su yönetimi uygulamaları ile altyapı sistemlerinin etkinliğine işaret etmektedir. B1 boyutuna ait göstergelerde on yıllık süreçte belirgin bir performans kaybı tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, gelecekte artabilecek kullanıcı sayısı ve faaliyet yoğunluğu dikkate alınarak su verimliliği uygulamalarının geliştirilmesi önem taşımaktadır. Genel değerlendirmede B1 boyutunun yüksek performans düzeyini koruduğu belirlenmiştir.

| BOYUT-1 SU TÜKETİMİ PERFORMANS SKORU |                        |                  |      |        |        |              |        |                |         |                |                  |             |        |        |              |        |                |         |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|------|--------|--------|--------------|--------|----------------|---------|----------------|------------------|-------------|--------|--------|--------------|--------|----------------|---------|
| GÖSTERGE VE BOYUT                    |                        | 2015-OCAK        |      |        |        |              |        |                |         |                |                  | 2015-OCAK   |        |        |              |        |                |         |
| Gösterge                             | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1           | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Geçirimsiz yüzey oranı (%)           | ORTOFOTO               | 45.70%           | >%70 | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70        | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 2              | 0.2     |
| Otopark & sert zemin yoğunluğu       | ORTOFOTO               | 43.06%           | >%30 | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30        | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     |
| Zemin geçirimsizlik çeşitliliği      | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | Orta             | Yok  | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok         | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     |
|                                      |                        |                  |      |        |        |              |        | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |             |        |        |              |        | 6              | 0.2     |
| GÖSTERGE VE BOYUT                    |                        | 2015-MART        |      |        |        |              |        |                |         |                |                  | 2015-MART   |        |        |              |        |                |         |
| Gösterge                             | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1           | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Geçirimsiz yüzey oranı (%)           | ORTOFOTO               | 45.70%           | >%70 | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70        | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 2              | 0.2     |
| Otopark & sert zemin yoğunluğu       | ORTOFOTO               | 43.06%           | >%30 | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30        | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     |
| Zemin geçirimsizlik çeşitliliği      | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | Orta             | Yok  | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok         | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     |
|                                      |                        |                  |      |        |        |              |        | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |             |        |        |              |        | 6              | 0.2     |
| GÖSTERGE VE BOYUT                    |                        | 2015-TEMMUZ      |      |        |        |              |        |                |         |                |                  | 2015-TEMMUZ |        |        |              |        |                |         |
| Gösterge                             | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1           | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Geçirimsiz yüzey oranı (%)           | ORTOFOTO               | 45.70%           | >%70 | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70        | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 2              | 0.2     |
| Otopark & sert zemin yoğunluğu       | ORTOFOTO               | 43.06%           | >%30 | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30        | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     |
| Zemin geçirimsizlik çeşitliliği      | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | Orta             | Yok  | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok         | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     |
|                                      |                        |                  |      |        |        |              |        | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |             |        |        |              |        | 6              | 0.2     |
| GÖSTERGE VE BOYUT                    |                        | 2015-EKİM        |      |        |        |              |        |                |         |                |                  | 2015-EKİM   |        |        |              |        |                |         |
| Gösterge                             | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1           | 2      | 3      | 4            | 5      | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Geçirimsiz yüzey oranı (%)           | ORTOFOTO               | 45.70%           | >%70 | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70        | %50-70 | %25-50 | %10-25       | <%10   | 2              | 0.2     |
| Otopark & sert zemin yoğunluğu       | ORTOFOTO               | 43.06%           | >%30 | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30        | %20-30 | %10-20 | %5-10        | <%5    | 1              | 0.2     |
| Zemin geçirimsizlik çeşitliliği      | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | Orta             | Yok  | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok         | Düşük  | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek | 3              | 0.2     |
|                                      |                        |                  |      |        |        |              |        | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |             |        |        |              |        | 6              | 0.2     |

Şekil 12. Boyut-1 Su Tüketimi Performans Skoru

## B2 -Yağmur Suyu Yönetimi Boyutu

Yağmur suyu yönetimi boyutu, kampüs içerisindeki yüzeylerin yağış suyunu tutma, sızdırma ve yüzey akışını azaltma kapasitesini değerlendirmek amacıyla ele alınmıştır. Bu kapsamda geçirimsiz yüzey oranı, bitki örtüsü yoğunluğu, yapılaşma baskısı ve yüzey sıcaklıkları ile ilişkili göstergeler değerlendirilmiştir. Yağmur suyu yönetim performansının belirlenmesinde özellikle NDVI, NDBI ve LST analizlerinden elde edilen sonuçlar temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

2015–2025 döneminde kampüsün ortalama NDVI değeri 37,83'ten 35,78'e gerilerken, ortalama NDBI değeri 34,39'dan 35,28'e yükselmiştir. Bu değişim, bitki örtüsü yoğunluğunun azaldığını ve yapılaşmış yüzeylerin



arttığını göstermekte; buna bağlı olarak yağmur suyunun doğal infiltrasyon kapasitesinin azalabileceğine, yüzey akışının ise artabileceğine işaret etmektedir.

Yer yüzeyi sıcaklığı analizlerinde belirlenen 3,12°C'lik artış da bu değerlendirmeyi desteklemektedir. Yüzey sıcaklıklarının yükselmesi, geçirimsiz yüzeylerin ve yapılaşmış alanların termal etkilerinin arttığını göstermekte; bu durum yağmur suyu yönetimi açısından yeşil altyapının önemini daha da artırmaktadır. Özellikle bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda sıcaklıkların daha düşük seviyelerde seyretmesi, yeşil alanların hidrolojik ve mikroklimatik işlevlerini koruduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde B2 boyutu kapsamında kampüsün yağmur suyu yönetimi performansının 2015–2025 döneminde büyük ölçüde korunduğu, ancak yapılaşma baskısındaki artış ve bitki örtüsü yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak sınırlı düzeyde bir performans gerilemesi yaşandığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, gelecekte uygulanacak yağmur suyu hasadı sistemleri, geçirgen yüzey uygulamaları ve yeşil altyapı yatırımlarının kampüsün yağmur suyu yönetim performansını güçlendirebileceğini göstermektedir.

| BOYUT-2 YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ PERFORMANS SKORU |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------|------|----------------------|--------|--------------|---------------|----------------|---------|----------------|------------------|------|----------------------|--------|--------------|---------------|----------------|---------|
| GÖSTERGE VE BOYUT                             |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| 2015-OCAK                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2025-OCAK                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2015-MART                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2025-MART                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2015-TEMMUZ                                   |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2025-TEMMUZ                                   |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 36%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 4              | 0.2     | 0.8            | 51%              | <%10 | %10-20               | %20-35 | %35-50       | >%50          | 5              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 3              | 0.2     | 0.6            | 46.78%           | >%70 | %50-70               | %30-50 | %15-30       | <%15          | 2              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     | 0.4            | <10%             | <%5  | %5-15                | %15-35 | %35-60       | >%60          | 2              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     | 2.6            |                  |      |                      |        |              |               | 13             | 0.2     |
| 2015-EKİM                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 45.70%           | >%70 | %50-70               | %25-50 | %10-25       | <%10          | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70 | %50-70               | %25-50 | %10-25       | <%10          | 2              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 43.06%           | >%30 | %20-30               | %10-20 | %5-10        | <%5           | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30 | %20-30               | %10-20 | %5-10        | <%5           | 1              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | Orta             | Yok  | Düşük                | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek        | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok  | Düşük                | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek        | 3              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |      |                      |        |              |               | 10             | 0.2     |
| 2025-EKİM                                     |                        |                  |      |                      |        |              |               |                |         |                |                  |      |                      |        |              |               |                |         |
| Gösterge                                      | Tespit Yöntemi         | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer | 1    | 2                    | 3      | 4            | 5             | Gösterge Skoru | Ağırlık |
| Yeşil alan oranı (%)                          | NDVI+ ORTOFOTO         | 45.70%           | >%70 | %50-70               | %25-50 | %10-25       | <%10          | 3              | 0.2     | 0.6            | 45.70%           | >%70 | %50-70               | %25-50 | %10-25       | <%10          | 2              | 0.2     |
| Sulama gerektiren yüzey oranı                 | ORTOFOTO +SAHA GÖZLEMİ | 43.06%           | >%30 | %20-30               | %10-20 | %5-10        | <%5           | 1              | 0.2     | 0.2            | 43.06%           | >%30 | %20-30               | %10-20 | %5-10        | <%5           | 1              | 0.2     |
| Kurakçıl/ye rli bitki oranı                   | SAHA GÖZLEMİ           | Orta             | Yok  | Düşük                | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek        | 3              | 0.2     | 0.6            | Orta             | Yok  | Düşük                | Orta   | Kısmen Uygun | Yüksek        | 3              | 0.2     |
| Sulama sistemi türü                           | SAHA GÖZLEMİ           | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     | 0.8            | Damla Sulama     | Yok  | Manuel/Y üzey Sulama | Karma  | Damla Sulama | Akıllı Sulama | 4              | 0.2     |
|                                               |                        |                  |      |                      |        |              |               | 7              | 0.2     | 1.4            |                  |      |                      |        |              |               | 10             | 0.2     |

Şekil 13. Boyut-2 Yağmur Suyu Yönetimi Performans Skoru

### B3 – Gri Su ve Atık Su Geri Kazanım Potansiyeli Boyutu

B3 boyutu, kampüs içerisinde oluşan gri su ve atık suların yeniden kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla ele alınmıştır (Otterpohl vd., 1999; Friedler, 2004; F. Li vd., 2009; Gross vd., 2015). Bu kapsamda mevcut altyapı koşulları, bina kullanım özellikleri, teknik uygulanabilirlik durumu ve geri kazanım sistemlerinin entegrasyon potansiyeli dikkate alınmıştır. Değerlendirme, mevcut geri kazanım sistemlerinin performansından çok, kampüsün gelecekte uygulanabilecek gri su yönetimi stratejilerine uygunluğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2015 ve 2025 yılı sonuçları karşılaştırıldığında, kampüste gri su geri kazanımına yönelik altyapıda önemli bir değişim olmadığı görülmektedir.

Bununla birlikte eğitim, idari ve sosyal tesislerin yoğun su kullanımı nedeniyle kampüs, her iki dönemde de gri suyun peyzaj sulaması ve teknik kullanımlarda değerlendirilmesine uygun bir geri kazanım potansiyeli taşımaktadır.

B3 boyutuna ait göstergeler birlikte değerlendirildiğinde, 2015 ve 2025 yılları arasında performans düzeyinde önemli bir değişim meydana gelmediği belirlenmiştir. Bunun temel nedeni, çalışma dönemleri içerisinde gri su geri kazanım sistemlerine yönelik kapsamlı altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Ancak kampüsün mevcut mekânsal yapısı, kullanıcı yoğunluğu ve fonksiyonel çeşitliliği dikkate alındığında gri su geri kazanım uygulamalarının gelecekte uygulanabilecek sürdürülebilir su yönetimi stratejileri arasında önemli bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir.

B3 boyutu, mevcut performanstan ziyade geleceğe yönelik uygulama kapasitesini temsil etmektedir. Elde edilen bulgular, kampüsün gri su ve atık su geri kazanım sistemlerinin entegrasyonu açısından uygun koşullara sahip olduğunu, ancak bu potansiyelin henüz tam olarak kullanılmadığını göstermektedir.

| BOYUT-3 GİRİ SU VE ATIKSU GERİ KAZANIM PERFORMANS SKORU |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------|----------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------|----------------|
| GÖSTERGE VE BOYUT                                       |                | 2015-OCAK                  |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |                            | 2015-OCAK                     |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |
| Gösterge                                                | Testat Yöntemi | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor |
| Bina fonksiyon yeterliliği                              | ORTOKOTO       | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Bina yapı & tesisat durumu                              | SAHA GÖZLEMİ   | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            |
| Yağmur suyu hasadı potansiyeli                          | CBS            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Giriş su atıyışı                                        | SAHA GÖZLEMİ   | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 1              | 0.2     | 0.2            | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 2              | 0.2     | 0.4            |
|                                                         |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 11             | 0.2     | 2.2            |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 12             | 0.2     | 2.4            |
| GÖSTERGE VE BOYUT                                       |                | 2015-MART                  |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |                            | 2015-MART                     |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |
| Gösterge                                                | Testat Yöntemi | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor |
| Bina fonksiyon yeterliliği                              | ORTOKOTO       | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Bina yapı & tesisat durumu                              | SAHA GÖZLEMİ   | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            |
| Yağmur suyu hasadı potansiyeli                          | CBS            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Giriş su atıyışı                                        | SAHA GÖZLEMİ   | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 1              | 0.2     | 0.2            | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 2              | 0.2     | 0.4            |
|                                                         |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 11             | 0.2     | 2.2            |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 12             | 0.2     | 2.4            |
| GÖSTERGE VE BOYUT                                       |                | 2015-TEMİZLÜZ              |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |                            | 2015-TEMİZLÜZ                 |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |
| Gösterge                                                | Testat Yöntemi | Hesaplanan Değer           | <10                           | 10-15                        | 15-19                         | 19-25                              | >25                                 | 2              | 0.2     | 0.4            | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor |
| Bina fonksiyon yeterliliği                              | ORTOKOTO       | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Bina yapı & tesisat durumu                              | SAHA GÖZLEMİ   | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            |
| Yağmur suyu hasadı potansiyeli                          | CBS            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Giriş su atıyışı                                        | SAHA GÖZLEMİ   | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 1              | 0.2     | 0.2            | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 2              | 0.2     | 0.4            |
|                                                         |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 11             | 0.2     | 2.2            |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 12             | 0.2     | 2.4            |
| GÖSTERGE VE BOYUT                                       |                | 2015-EKİM                  |                               |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |                            | 2015-EKİM                     |                              |                               |                                    |                                     |                |         |                |
| Gösterge                                                | Testat Yöntemi | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor | Hesaplanan Değer           | 1                             | 2                            | 3                             | 4                                  | 5                                   | Gösterge Skoru | Ağırlık | Ağırlıklı Skor |
| Bina fonksiyon yeterliliği                              | ORTOKOTO       | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            | Karma                      | Yüksek Tüketim                | Yüksek, karma                | Karma                         | Karma, Düşük                       | Düşük Tüketim                       | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Bina yapı & tesisat durumu                              | SAHA GÖZLEMİ   | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            | Yenileme Yapılmış          | >40 yıl, yenileme yok         | >30 yıl, kısmi yenileme      | 20-30 yıl, karma              | 10-20 yıl, büyük ölçüde yenilenmiş | <10 yıl veya tam tesisat yenilenmiş | 4              | 0.2     | 0.8            |
| Yağmur suyu hasadı potansiyeli                          | CBS            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            | Potansiyel Var, Sistem Yok | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem yok, potansiyel düşük | Sistem yok, potansiyel yüksek | Sistem var, kısmi                  | Sistem var, yeterli                 | 3              | 0.2     | 0.6            |
| Giriş su atıyışı                                        | SAHA GÖZLEMİ   | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 1              | 0.2     | 0.2            | Yok                        | Hiç yok, plan da yok          | Hiç yok, farkındalık var     | Plan aşamasında               | Kısmi uygulama                     | Tam uygulama mevcut                 | 2              | 0.2     | 0.4            |
|                                                         |                |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 11             | 0.2     | 2.2            |                            |                               |                              |                               |                                    |                                     | 12             | 0.2     | 2.4            |

Şekil 14. Boyut-3 Gri Su ve Atık Su Geri Kazanım Potansiyeli Performans Skoru

## B4-Alıcı Ortam Su Kalitesi ve Hidro-Ekolojik İlişki Boyutu

B4 boyutu, kampüs alanı ile alıcı ortam arasındaki hidro-ekolojik ilişkiyi değerlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu kapsamda kampüsün Ankara Çayı ile olan mekânsal ilişkisi, yüzey akışı potansiyeli ve su koridoruna yakınlık durumu dikkate alınmıştır. Değerlendirmede Ankara Çayı çevresinde oluşturulan 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m ve 2000 m tampon bölgeler (buffer zonları) kullanılarak kampüsün alıcı ortam üzerindeki potansiyel etkileri analiz edilmiştir.

Analiz sonuçları, kampüs alanının Ankara Çayı ile doğrudan temas halinde olmamasına rağmen hidrolojik sistem içerisinde alıcı ortamla ilişkili bir konumda bulunduğunu göstermektedir. Kampüs içerisinde oluşan yüzey akışları, geçirimsiz yüzeylerden taşınan kirleticiler ve yağış sonrası oluşan akış süreçleri dolaylı olarak alıcı ortam kalitesini etkileyebilecek potansiyelle

sahiptir (Meyer vd., 2005; Walsh vd., 2005; Zelenáková vd., 2015). Bu nedenle kampüsün su yönetimi performansı yalnızca kampüs içi süreçler açısından değil, çevresindeki hidro-ekolojik sistem üzerindeki etkileri bakımından da değerlendirilmiştir.

2015–2025 döneminde kampüsün hidro-ekolojik ilişki performansı genel olarak korunmuştur. Ancak NDVI değerlerindeki azalma ve NDBI değerlerindeki artış, geçirimsiz yüzey baskısının arttığını ve yağış kaynaklı yüzey akışı ile kirlетici yüklerin alıcı ortama taşınma potansiyelinin yükseldiğini göstermektedir. Buna rağmen göstergelerin genel performans düzeyinde belirgin bir değişim tespit edilmemiştir.

B4 boyutu kapsamında elde edilen bulgular, kampüsün Ankara Çayı ile olan hidro-ekolojik ilişkisinin büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte gelecekte yapılaşma oranlarının artması ve geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşması durumunda yüzey akışı kaynaklı etkilerin daha belirgin hâle gelebileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle yağmur suyu yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi, geçirgen yüzeylerin korunması ve doğa tabanlı çözümlerin yaygınlaştırılması yalnızca kampüs içi çevresel performans açısından değil, alıcı ortam kalitesinin korunması açısından da önem taşımaktadır.

| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BOYUT-4 ALICI ORTAM SU KALİTESİ VE HİDRO-EKOLOJİK İLİŞKİ PERFORMANS SKORU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Şekil 15. Boyut-4 Alıcı Ortam Su Kalitesi ve Hidro-Ekolojik İlişki Boyutu

## 5.7. Genel Performans Değerlendirmesi

Genel olarak değerlendirildiğinde çalışma sonuçları, Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü'nün sürdürülebilir su yönetimi açısından güçlü bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen toplam performans skorlarının her iki dönemde de "üstün performans" sınıfında yer alması, kampüsün mevcut yeşil altyapı kapasitesi, hidro-ekolojik ilişkileri ve altyapı özellikleri sayesinde çevresel performansını büyük ölçüde koruyabildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte NDVI değerlerindeki azalma, NDBI değerlerindeki artış ve yer yüzeyi sıcaklıklarında gözlenen yükselme eğilimi, yapılaşma baskısının hidrolojik ve ekolojik süreçler üzerindeki etkilerinin gelecekte daha belirgin hâle gelebileceğine işaret etmektedir. Bu durum,

kampüs ölçeğinde geçirimsiz yüzeylerin kontrol altında tutulması, yağmur suyu yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve doğa tabanlı çözümlerin planlama süreçlerine entegre edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen gösterge temelli değerlendirme yaklaşımı, kampüsün Entegre Kentsel Su Yönetimi performansının mekânsal ölçekte analiz edilmesine ve zamansal değişimin nicel olarak ortaya konulmasına olanak sağlamıştır. Elde edilen bulgular, kampüsün 2015–2025 döneminde genel performansını büyük ölçüde koruduğunu, ancak yapılaşma baskısındaki artışa bağlı olarak bazı çevresel göstergelerde sınırlı düzeyde gerilemeler yaşandığını göstermektedir. Buna karşın kampüs içerisinde yer alan geniş yeşil alanların varlığı, Ankara Çayı ile sürdürülen hidro-ekolojik ilişki ve mevcut altyapı kapasitesi, performans kaybının daha yüksek seviyelere ulaşmasını engelleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Araştırmanın önemli çıktılarından biri, geliştirilen yöntemin uygulanabilirliğinin ortaya konulmuş olmasıdır. Çalışmada kullanılan gösterge seti; uydu görüntüleri, arazi kullanım verileri, CBS analizleri ve saha gözlemleri gibi erişilebilir veri kaynaklarına dayanmaktadır. Bu durum yöntemin yalnızca Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü için değil, benzer fiziksel ve yönetsel özelliklere sahip diğer üniversite kampüslerinde de uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle ayrıntılı hidrolik modelleme çalışmalarının veya uzun dönemli ölçüm verilerinin bulunmadığı durumlarda, uzaktan algılama verileri ve mekânsal göstergeler aracılığıyla su yönetimi performansının hızlı, sistematik ve karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

Yöntemin bir diğer önemli üstünlüğü, farklı veri türlerini ortak bir performans sistemi içerisinde bir araya getirebilmesidir. Böylece yeşil altyapı kapasitesi, yapılaşma baskısı, termal çevre koşulları ve hidro-ekolojik ilişkiler tek bir değerlendirme çerçevesi altında bütüncül olarak ele alınabilmektedir. Ayrıca farklı yıllara ait verilerin karşılaştırılmasına olanak sağlaması sayesinde mekânsal dönüşüm süreçlerinin çevresel performans üzerindeki etkileri izlenebilmekte ve geleceğe yönelik planlama kararları için karar destek mekanizması oluşturulabilmektedir.

Bu yönleriyle geliştirilen yaklaşım yalnızca mevcut durumun değerlendirilmesine yönelik bir analiz aracı değil, aynı zamanda üniversite

kampüsleri, teknoparklar, sağlık kampüsleri, kamu yerleşkeleri ve benzer ölçekli kurumsal alanlarda Entegre Kentsel Su Yönetimi performansının izlenmesi ve geliştirilmesi amacıyla kullanılabilecek tekrarlanabilir bir karar destek modeli niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla çalışma, kampüs ölçeğinde su yönetimi performansının değerlendirilmesine yönelik literatüre yönetsel bir katkı sunarken, planlama ve tasarım süreçlerinde uygulanabilecek pratik öneriler geliştirilmesine de zemin hazırlamaktadır.

## 6. TARTIŞMA

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü'nün 2015–2025 dönemindeki mekânsal dönüşümünü Entegre Kentsel Su Yönetimi (EKSY) perspektifinden değerlendirerek arazi kullanım örüntülerinin su yönetimi performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bulgular, kampüsün genel olarak yeşil karakterini korumaya devam ettiğini ancak aynı dönemde yapılaşma ve geçirimsiz yüzey baskısının da arttığını göstermektedir. Bu durum, güncel kentsel su yönetimi literatüründe sıklıkla vurgulanan "yeşil alan varlığı" ile "hidrolojik işlevsellik" arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, bir alanda belirli miktarda yeşil alan bulunması tek başına sürdürülebilir su yönetimi performansını garanti etmemekte; bu alanların mekânsal dağılımı, sürekliliği ve geçirimsiz yüzeylerle kurduğu ilişki de en az miktarları kadar önem taşımaktadır.

Bu sonuç, kentleşme süreçlerinin hidrolojik döngü üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarla uyumludur. Literatürde geçirimsiz yüzey artışının yağış suyunun infiltrasyonunu azaltarak yüzey akışını artırdığı, buna bağlı olarak da hem taşkın riskinin hem de alıcı ortam üzerindeki baskının yükseldiği belirtilmektedir. Kampüs ölçeğinde tespit edilen değişimlerin mutlak büyüklüğü sınırlı görünse de NDVI, NDBI ve LST göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi mekânsal dönüşümün yönünü açık biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle yeşil altyapı kapasitesindeki sınırlı gerilemeye rağmen yapılaşma baskısının devam etmesi, kampüsün gelecekteki gelişim kararlarında hidrolojik performansın daha belirleyici bir planlama kriteri olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Literatür analizinde incelenen çalışmaların önemli bir bölümü kampüs ölçeğinde yağmur suyu yönetimi ve taşkın kontrolüne odaklanmaktadır. Özellikle SWMM tabanlı modelleme çalışmalarında drenaj kapasitesi, yüzey



akışı veya düşük etkili gelişim uygulamalarının performansı ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmaların büyük kısmı su yönetiminin belirli bileşenlerini incelemekte, arazi kullanım yapısı ile hidrolojik performans arasındaki ilişkiyi bütüncül olarak değerlendirmemektedir. Bu araştırmanın bulguları, kampüs ölçeğinde su yönetimi performansının yalnızca altyapı sistemleri üzerinden değil, aynı zamanda mekânsal organizasyon ve arazi kullanım kararları üzerinden de okunabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, mühendislik odaklı yaklaşımlarla mekânsal planlama temelli değerlendirmeler arasında bir köprü kurmaktadır.

Çalışmanın dikkat çekici sonuçlarından biri de uzaktan algılama tabanlı göstergelerin EKSİ performansının değerlendirilmesinde kullanılabilirliğini ortaya koymasıdır. Kampüs ölçeğinde gerçekleştirilen birçok çalışmada doğrudan su tüketimi, yağış-akış ilişkileri veya altyapı performansı gibi veriler kullanılırken, bu çalışmada NDVI, NDBI ve LST gibi göstergeler su yönetimi süreçlerini temsil eden mekânsal vekil değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Böylece veri erişiminin sınırlı olduğu durumlarda dahi su yönetimi performansının izlenebileceği ve farklı dönemler arasında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılabilmesi gösterilmiştir. Bu durum, özellikle Türkiye'deki üniversite kampüsleri gibi ayrıntılı hidrolojik verilerin düzenli olarak üretilmediği alanlar açısından önemli bir yöntemsel avantaj sunmaktadır.

Bulgular aynı zamanda kampüslerin EKSİ uygulamalarının test edilebileceği mikro kentsel laboratuvarlar olduğu yönündeki görüşleri desteklemektedir. Kampüsler kentlere kıyasla daha yönetilebilir ve kontrollü sistemler olmaları nedeniyle yeni su yönetimi yaklaşımlarının uygulanması açısından uygun ortamlar sunmaktadır. Beşevler Kampüsü örneğinde geliştirilen gösterge temelli çerçeve, yalnızca mevcut performansın değerlendirilmesine değil, aynı zamanda öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesine ve alternatif planlama senaryolarının geliştirilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, kampüs ölçeğinde elde edilen deneyimlerin daha geniş kentsel sistemlere aktarılabilmesini göstermektedir.

Bununla birlikte elde edilen sonuçlar belirli sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir. Kullanılan göstergeler doğrudan su tüketimi veya yüzey akış ölçümlerini değil, bu süreçlerle ilişkili mekânsal özellikleri temsil

etmektedir. Bu nedenle sonuçlar hidrolojik süreçlerin doğrudan ölçümü olarak değil, su yönetimi performansının mekânsal göstergeler aracılığıyla değerlendirilmesi olarak yorumlanmalıdır. Gelecekte yapılacak çalışmaların yüksek çözünürlüklü uydu verileri, hidrolik modelleme sonuçları ve gerçek su tüketim kayıtları ile desteklenmesi, geliştirilen çerçevenin doğrulanmasına ve daha kapsamlı analizlerin yapılmasına katkı sağlayacaktır.

## 7. SONUÇ VE DOĞA TABANLI ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bu çalışmanın bulguları, kampüsün yeşil altyapı kapasitesini büyük ölçüde koruduğunu; bununla birlikte, yapılaşma ve geçirimsiz yüzey baskısındaki artışın yağmur suyu yönetimi, infiltrasyon kapasitesi ve mikroklimatik koşullar üzerinde giderek belirginleşen etkiler yarattığını ortaya koymuştur.

Bu doğrultuda çalışma yalnızca mevcut performansın değerlendirilmesini değil, aynı zamanda öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesini de amaçlamıştır. Analiz sonuçları, kampüs genelinde uygulanabilecek doğa tabanlı çözümlerin tek tip uygulamalar yerine mekânsal önceliklere göre kademelendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Cohen-Shacham vd., 2016; Kabisch vd., 2017; Raymond vd., 2017; IUCN, 2020; European Commission, 2021).



Şekil 16. Gazi Üniversitesi Merkez Kampüsü Stratejik Müdahale Senaryoları Sentezi

**Tablo 7.** Müdahale Öncelikleri ve Önerilen Doğa Tabanlı Çözüm Stratejileri

| Müdahale Aşaması                                | Öncelik | Mekânsal Sorun Alanı        | Temel Baskı                     | Doğa Tabanlı Çözüm Stratejisi               | Beklenen Etki                                                            |
|-------------------------------------------------|---------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aşama 1: Hidrolojik Rehabilitasyon</b>       | 1       | Otoparklar ve sert zeminler | Yüksek geçirimsizlik            | Geçirgen kaplama sistemleri                 | Yüzey akışının azaltılması                                               |
|                                                 | 2       | Yol ve yaya aksları         | Hızlı yüzey drenajı             | Bioswale ve yağmur bahçeleri                | İnfiltrasyonun artırılması                                               |
|                                                 | 3       | Bina çevreleri              | Yağmur suyunun kaybı            | Biyoretansiyon alanları ve yağmur bahçeleri | Su tutma kapasitesinin artırılması                                       |
| <b>Aşama 2: Mavi-Yeşil Altyapı Entegrasyonu</b> | 4       | Parçalanmış yeşil alanlar   | Ekolojik kopukluk               | Mavi-yeşil koridorlar                       | Hidro-ekolojik sürekliliğin güçlendirilmesi                              |
|                                                 | 5       | Yüksek LST alanları         | Isı adası etkisi                | Ağaçlandırma ve yeşil çatı uygulamaları     | Mikro iklim iyileştirmesi                                                |
| <b>Aşama 3: Su Duyarlı Kampüs Dönüşümü</b>      | 6       | Çatı yüzeyleri              | Kullanılmayan yağış potansiyeli | Yağmur suyu hasadı sistemleri               | Şebeke suyu talebinin azaltılması ve alternatif su kaynağı oluşturulması |

Bu çerçevede kısa vadeli müdahalelerin öncelikle geçirimsiz yüzeylerin yoğunlaştığı alanlara yönlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle otoparklar, yaya dolaşım alanları ve bina çevrelerinde geçirgen kaplama sistemlerinin kullanılması, yağmur bahçeleri ve biyolojik drenaj hendeklerinin oluşturulması yüzey akışını azaltarak yağış suyunun doğal döngüye yeniden katılımını destekleyecektir. Literatürde düşük etkili gelişim (LID) uygulamalarının yüzey akışı ve taşkın riskini azaltmadaki başarısı dikkate alındığında (Ahiablame vd.,

2012), bu müdahaleler kampüs ölçeğinde en hızlı sonuç üretebilecek uygulamalar olarak değerlendirilmektedir.

Orta vadede ise kampüsün mevcut yeşil alan sisteminin yalnızca peyzaj ögesi olarak değil, işlevsel bir mavi-yeşil altyapı ağı olarak yeniden ele alınması gerekmektedir. Analizler, yüksek NDVI değerlerine sahip alanların belirli odaklarda yoğunlaştığını göstermektedir. Bu alanların biyolojik koridorlar, geçirgen peyzaj bantları ve yağmur suyu yönetim elemanları ile birbirine bağlanması hem infiltrasyon kapasitesini artıracak hem de evapotranspirasyon süreçlerini destekleyerek yüzey sıcaklıklarının düşürülmesine katkı sağlayacaktır (Meltem, 2025; Qiao vd., 2025). Böylece kampüs içerisindeki yeşil alanlar, pasif açık alanlar olmaktan çıkarak aktif su yönetimi altyapısının bir bileşeni haline gelecektir.

Uzun vadeli perspektifte ise kampüsün su duyarlı yerleşke modeline dönüştürülmesi hedeflenmelidir. Bu kapsamda çatı yüzeylerinden yağmur suyu toplanması, gri su geri kullanım sistemlerinin geliştirilmesi, yeşil çatı uygulamalarının yaygınlaştırılması ve CBS tabanlı bir izleme sisteminin kurulması öncelikli stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Böyle bir yaklaşım yalnızca yağmur suyu yönetimini iyileştirmeyecek, aynı zamanda kampüsün iklim değişikliğine uyum kapasitesini ve kaynak verimliliğini de artıracaktır.

Çalışma, Beşevler Kampüsü'nde su yönetimine ilişkin temel sorunun yeşil alan eksikliğinden çok, mevcut yeşil sistemlerin hidrolojik işlevlerinin yeterince kullanılmaması ve geçirimsiz yüzey baskısının artması olduğunu göstermektedir. Bu nedenle önerilen doğa tabanlı çözümler yeni altyapı yatırımlarından ziyade mevcut mekânsal sistemin ekolojik performansını artırmaya odaklanmaktadır. Geliştirilen müdahale çerçevesi, kampüs ölçeğinde uygulanabilir bir yol haritası sunarken, benzer üniversite yerleşkelerinde gerçekleştirilecek EKSİ uygulamaları için de aktarılabilir bir planlama modeli ortaya koymaktadır.

## KAYNAKÇA

- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253–4273. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>
- Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2023). Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *Science of the Total Environment*, 870, 161887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161887>
- Arbués, F., García-Valiñas, M. Á., & Martínez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: A state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), 81–102. [https://doi.org/10.1016/S1053-5357\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S1053-5357(03)00005-2)
- Awasthi, A. (2023). Remote sensing and GIS applications in urban water management: A review of spectral indices. *Journal of Urban Environmental Engineering*, 17(1), 45–58. <https://doi.org/10.4090/juee.2023.v17n1.045058>
- Awasthi, M. P. (2023). Mapping and analyzing temporal variability of spectral indices in the lowland region of Far Western Nepal. *Water Practice and Technology*, 18(11), 2971–2988. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.182>
- Booth, D. B., Hartley, D., & Jackson, R. (2002). Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(3), 835–845. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb01000.x>
- Brown, R. R., Keath, N., & Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: Historical, current and future regimes. *Water Science and Technology*, 59 (5), 847–855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Çalışkan, B. (2024). An integrated urban water resources management approach for infrastructure and urban planning. *Journal of Geography and Cartography*, 7(1), 4504. <https://doi.org/10.24294/jgc.v7i1.4504>
- Carrión-Mero, P. (2025). Water availability in a university campus: The role of an artificial lake as a nature-based solution. *Frontiers in Water*, 7, 1631938. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1631938>

- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113 (5), 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes in Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 101 (2), 202-214. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.). (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Dai, Y., Chen, L., Zhang, P., Li, Y., & Wang, X. (2025). Risk assessment of campus waterlogging and evacuation route planning. *Water Resources Management*, 39 (3), 1247–1265. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-04087-1>
- Das, A. (2025). Integrated urban water management for climate resilience: Strategies for sustainable supply and flood risk mitigation. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 5, 7. <https://doi.org/10.1007/s44173-025-00025-5>
- Erzurumlu, S. S., & Pehlivanoglu-Mantas, E. (2023). Sustainable water management: The role of university campuses and comparative implementation approach. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/374968300>
- European Commission. (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners. European Union. <https://doi.org/10.2777/24453>
- Faust, B., & Magner, J. (2025). Impacts of impervious surfaces on urban stormwater quality: Minneapolis case study analysis. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 61 (6), e70066. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.70066>
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261–279. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>

- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12 (7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Friedler, E. (2004). Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*, 25 (9), 997–1008. <https://doi.org/10.1080/09593330408618371>
- Gezici, K., & Kesgin, E. (2023). Sustainable water management: The role of university campuses and comparative implementation approach [Conference paper]. IV International Rural Areas and Ecology Congress Within the Framework of Sustainable Development, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus.
- Global Water Partnership (GWP). (2000). Integrated water resources management (TAC Background Papers No. 4). GWP Technical Advisory Committee.
- Grison, C., Koop, S., Eisenreich, S., Hofman, J., Chang, I.-S., Wu, J., Savic, D., & van Leeuwen, K. (2023). Integrated water resources management in cities in the world: Global challenges. *Water Resources Management*, 37(6–7), 2787–2703. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03475-3>
- Grison, L. R., Martinez, J., & Dupont, H. (2023). Integrating land use planning and water resource management in contemporary urban environments. *Environmental Science & Policy*, 145, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.04.008>
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. (2015). Greywater reuse. CRC Press.
- Gupta, N., Mathew, A., & Khandelwal, S. (2023). Analyzing the relationship between environmental indices and land surface temperature over heterogeneous urban landscapes using satellite data. *Urban Climate*, 49, 101418. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101418>

- Gupta, R., Sharma, M., Singh, G., & Joshi, R. K. (2023). Characterizing urban growth and land surface temperature in the western Himalayan cities of India using remote sensing and spatial metrics. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1122935. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1122935>
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Hidayati, I. N., & Suharyadi, R. (2019). A comparative study of various indices for extraction urban impervious surface of Landsat 8 OLI. *Forum Geografi*, 33 (2), 162-172. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v33i2.9179>
- Ismaeil, E. M. H. (2022). Assessing xeriscaping as a retrofit approach for a desert university campus. *Water*, 14 (11), 1681. <https://doi.org/10.3390/w14111681>
- IUCN. (2020). Global standard for nature-based solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>
- Kabbani, M. S., Mostafavi, A., & Habibian, M. (2022). Assessment of and solutions to the stormwater management system of Auburn University campus. *Journal of Water Management Modeling*, 30, C488. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C488>
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2017). Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Koop, S. H. A., van Dorssen, A. J., & Brouwer, S. (2022). Integrated water resources management in cities in the world: Global solutions. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103817. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103817>
- Kumar, A., Singh, R., & Verma, M. K. (2022). Modelling of surface run-off using SWMM and GIS for efficient stormwater management: A case study of MANIT campus, Bhopal. *Water Science and Technology*, 85 (4), 1032–1048. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.019>



- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407 (11), 3439–3449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- Li, L., Yu, Q., Gao, L., Yu, B., & Lu, Z. (2021). The effect of urban land-use change on runoff water quality: A case study in Hangzhou City. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (20), 10748. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010748>
- Li, Z., Xu, H., & Liu, Q. (2023). Improvements in land surface temperature retrieval algorithms for Landsat 8 and 9 sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1-15. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3262647>
- Liu, Z., Xu, J., He, C., Lü, Y., & Bryan, B. A. (2024). Scarcity and quality risks for future global urban water supply. *Landscape Ecology*, 39 (2), 10. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01832-0>
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
- Marlow, D. R., Moglia, M., Cook, S., & Beale, D. J. (2013). Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. *Water Research*, 47 (20), 7150–7161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.046>
- Meltem, G. T. (2025). Spatial Analysis of the Cooling Effects of Green and Blue Infrastructure Using Remote Sensing: A Case Study in Amasya (Türkiye). *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 12 (2), 166-175. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET25122141>
- Meyer, J. L., Paul, M. J., & Taulbee, W. K. (2005). Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society*, 24 (3), 602–612. <https://doi.org/10.1899/04-080.1>
- Mitchell, V. G. (2005). Applying integrated urban water management concepts: A review of innovative drainage schemes. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 29 (4), 589-605. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp461ra>

- Nyborg, S., Horst, M., O'Donovan, C., Bombaerts, G., Hansen, M., & Takahashi, M. (2023). University campus living labs. *Science and Technology Studies*, 37, 60–81. <https://doi.org/10.23987/sts.120246>
- Okutan, P., & Akkoyunlu, A. (2021). Identification of water use behavior and calculation of water footprint: A case study. *Applied Water Science*, 11, 120. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01459-5>
- Osorio-Tejada, J. L., Varón-Hoyos, M., & Morales-Pinzón, T. (2022). Comprehensive water footprint of a university campus in Colombia: Impact of wastewater treatment modeling. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233, 196. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05644-3>
- Otterpohl, R., Braun, U., & Oldenburg, M. (1999). Innovative technologies for decentralized wastewater management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology*, 39 (5), 171–178. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00098-7)
- Pandjaitan, N., Shiddiq, M. A., & Sukmono, A. (2021). Application of high-resolution remote-sensing data for land use land cover mapping of university campus. *Remote Sensing*, 13 (16), 3109. <https://doi.org/10.3390/rs13163109>
- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 333–365. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Peijun, D. U., Xingli, L. I., Wen, C. A. O., & Yan, L. U. O. (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. *Mining Science and Technology (China)*, 20(6), 922-932. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60308-2](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60308-2)
- Qiao, Y., Yang, Z., & Li, Y. X. (2025). Urban Thermal Regulation Through Cold Island Network Evolution: Patterns, Drivers, and Scenario-Based Planning Insights from Southwest China. *Land*, 14(9), 1828. <https://doi.org/10.3390/land14091828>
- Ramos, M. A., Santos, J. L., & Cruz, R. V. O. (2026). Quantifying blue, green, and gray water footprints in a mixed land use urban catchment for sustainable urban water management. *Frontiers in Water*, 7, 1655691. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1655691>
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D., & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing

- and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium, NASA SP-351, 309-317.
- Salas-García, J., Garrido, A., & Aldaya, M. M. (2024). Rethinking urban water management through drivers-p pressures-states-impacts-responses framework application in Chennai, India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21 (10), 1324. <https://doi.org/10.3390/ijerph21101324>
- Si, Q., & Brito, H. C. (2024). Modeling benefits and tradeoffs of green infrastructure: Evaluating and extending parsimonious models for neighborhood stormwater planning. *Sustainable Cities and Society*, 103, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105282>
- Si, Q., Brito, H. C., Alves, P. B., Pavao-Zuckerman, M. A., Rufino, I. A., & Hendricks, M. D. (2024). GIS-based spatial approaches to refining urban catchment delineation that integrate stormwater network infrastructure. *Discover Water*, 4, 83. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00083-z>
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15 (1), 281–299. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90 (4), 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8 (2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- UN-Water. (2024). Progress on implementation of integrated water resources management – 2024 update. UN-Water. <https://www.unwater.org/publications/progress-implementation-integrated-water-resources-management-2024-update>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2024). Urbanization and stormwater runoff. US EPA.

- <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/urbanization-and-stormwater-runoff>
- University of British Columbia, Campus & Community Planning. (2025). Integrated Stormwater Management Plan (Updated ed.). University of British Columbia. <https://planning.ubc.ca/sustainability/sustainability-action-plans/integrated-stormwater-management-plan>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2024). Urban stormwater management and the impacts of impervious surfaces on hydrological cycles (EPA Report No. 841-R-24-001). Washington, DC.
- USGS (U. S. Geological Survey). (2026). Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide (Version 5.0). U. S. Geological Survey.
- Venkatesh, G., & Brattebø, H. (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). *Energy*, 36(2), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.040>
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Burns, M. J. (2012). Urban stormwater runoff: A new class of environmental flow problem. *PLoS ONE*, 7 (9), e45814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24 (3), 706–723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>
- Wang, R., Eckelman, M. J., & Anastas, P. T. (2025). Optimization of urban stormwater systems: A multi-criteria approach to sustainable and cost-effective LID implementation. *Water Science & Technology*, 91 (5), 654–670. <https://doi.org/10.2166/wst.2025.019>
- Weng, Q., Firozjaei, M. K., Sedighi, A., Kiavarz, M., & Alavipanah, S. K. (2015a). Statistical analysis of the relationships between land surface temperature and vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 164, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.010>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2015b). Using Landsat vegetation indices to estimate impervious surface fractions for European cities. *Remote Sensing*, 7 (6), 8224–8249. <https://doi.org/10.3390/rs70608224>
- Wong, T. H. F., & Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science and Technology*, 60 (3), 673–682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>
- Yılmaz, B., Kara, Y., & Toros, H. (2025). Spatio-temporal assessment of land surface temperature, vegetation cover, and built-up areas using LST, NDVI, and NDBI in Balıkesir, Türkiye (1985–2025). *Sustainability*, 17(20), 9245. <https://doi.org/10.3390/su17209245>
- Yılmaz, D., & Öztürk, S. (2023). Kentsel ısı adası etkisinin sistematik bir incelemesi: Kentsel form, peyzaj ve planlama stratejileri. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2 (4), 302-323. <https://doi.org/10.55244/izlek.1284594>
- Yılmaz, M., Demir, E., & Arslan, A. (2025). Kentsel morfoloji ve yer yüzey sıcaklığı ilişkisi: Uzaktan algılama tabanlı bir termal çevre analizi. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 7 (1), 12-28.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhang, L., Wang, Q., & Sun, Y. (2023). Spatiotemporal analysis of urban vegetation indices and their impacts on land surface temperature. *Landscape and Urban Planning*, 235, 104752. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104752>
- Zhang, Y., Liu, H., Chen, W., & Wang, M. (2026). A landscape–hydrology-driven strategy for flood management and ecological integration on a university campus. *Landscape Architecture Frontiers*, 14 (1), 1–18. <https://doi.org/10.15302/J-LAF-2026-0005>
- Zelenáková, M., Vranayová, Z., Hlavínek, P., & Mésároš, P. (2015). Storm water contamination and its effect on the quality of urban surface waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (17), 13123-13131. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3806-z>
- Zuo, C., Yin, B., Tan, F., Ma, Z., Gong, S., & Qi, X. (2025). Runoff simulation and waterlogging analysis of rainstorm scenarios with different return

periods on campus: A case study at China University of Geosciences.  
*Applied Sciences*, 15 (2), 691. <https://doi.org/10.3390/app15020691>

## BÖLÜM 4

### MİMARİ TASARIMDA BİLİŞİM PERSPEKTİFİNDEN FİZİKSEL ÇEVRE DENETİMİ VE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BIM): LİTERATÜRE DAYALI TEMATİK BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Minel KURTULUŞ<sup>1</sup>

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21538900>

---

<sup>1</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye. minelkurtulus@gmail.com, orcid id: 000-0003-4623-0613





## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, birçok disiplinin olduğu gibi mimarlık alanının da dönüşümünü hızlandırmıştır. Özellikle veri odaklı tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, mimari tasarım, analiz ve karar verme süreçleri yeniden şekillenmiştir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, mimarlık disiplininde tasarım, analiz ve uygulama süreçlerinin yeniden biçimlenmesine neden olmuştur. Geleneksel tasarım yaklaşımlarında mimari kararlar büyük ölçüde tasarımcının deneyimi ve iki boyutlu çizim teknikleri üzerinden geliştirilirken, günümüzde bilişim temelli dijital tasarım araçları sayesinde tasarım süreci çok disiplinli, veri odaklı ve performans temelli bir yapıya dönüşmüştür. Bu dönüşüm yalnızca çizim ve modelleme tekniklerini değiştirmekle kalmamış; tasarımın değerlendirilme, analiz edilme ve yönetilme biçimini de önemli ölçüde etkilemiştir. Özellikle mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, tasarım sürecinin erken aşamalarında alınan kararların çevresel performans üzerindeki etkilerinin sayısal olarak değerlendirilebilmesi mümkün hâle gelmiştir.

Bilişim teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonu, tasarım kararlarının yalnızca estetik ve işlevsel ölçütler doğrultusunda değil, aynı zamanda enerji verimliliği, gün ışığı kullanımı, ısı konfor, doğal havalandırma, akustik performans ve iç ortam kalitesi gibi fiziksel çevre kriterleri dikkate alınarak geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, fiziksel çevre denetiminin tasarım sürecinin son aşamalarında gerçekleştirilen bir kontrol mekanizması olmaktan çıkarak, tasarımın başlangıcından itibaren karar verme sürecine yön veren temel bileşenlerden biri hâline gelmesine katkıda bulunmaktadır. Böylece mimari tasarım süreci, yalnızca mekânsal organizasyonu şekillendiren bir üretim süreci olmaktan uzaklaşmakta; çevresel performansın sürekli olarak değerlendirildiği dinamik ve bütünlük bir karar verme sürecine dönüşmektedir.

Bu dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri olan Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling–BIM), yalnızca üç boyutlu model üretmeye yönelik bir yazılım teknolojisi olarak değil, yapı yaşam döngüsü boyunca farklı disiplinler arasında bilgi paylaşımını sağlayan kapsamlı bir bilgi yönetim sistemi olarak değerlendirilmektedir. BIM yaklaşımı; mimarlar, mühendisler, danışmanlar ve diğer proje paydaşlarının aynı dijital

model üzerinde eş zamanlı çalışabilmesine olanak tanırken, tasarım sürecinde oluşturulan verilerin analiz, koordinasyon ve performans değerlendirme aşamalarında yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece tasarım sürecinde ortaya çıkabilecek birçok teknik problem henüz uygulama aşamasına geçmeden önce belirlenebilmekte ve alternatif çözümler dijital ortamda karşılaştırılabilmektedir.

Özellikle sürdürülebilir mimarlık anlayışının yaygınlaşmasıyla birlikte, BIM tabanlı çalışma ortamları fiziksel çevre denetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Günümüzde bina enerji performansı, gün ışığı analizleri, gölgeleme etkileri, doğal havalandırma senaryoları, karbon emisyonu hesaplamaları ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri gibi birçok çevresel analiz, BIM modeli üzerinden gerçekleştirilebilmekte; böylece farklı simülasyon araçlarıyla elde edilen veriler tasarım sürecine doğrudan aktarılabilmektedir. Bu durum, tasarım kararlarının yalnızca sezgisel yaklaşımlarla değil, bilimsel verilere dayalı performans analizleri doğrultusunda şekillendirilmesini desteklemektedir. Aynı zamanda dijital simülasyon araçlarının BIM ile bütünleşmesi, fiziksel çevre denetiminin daha hızlı, daha doğru ve daha bütüncül biçimde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, bilişim teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerinde giderek daha fazla yer alması, fiziksel çevre denetimine ilişkin araştırmaların da çeşitlenmesine neden olmuştur. Literatürde enerji performansı, gün ışığı optimizasyonu, bina performans simülasyonları, dijital ikizler, parametrik tasarım, yapay zekâ destekli karar verme sistemleri ve BIM tabanlı çevresel analizler üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu araştırmaların büyük bölümü belirli performans kriterlerine odaklanmaktadır. Buna karşılık bilişim perspektifinden fiziksel çevre denetimi ile Yapı Bilgi Modellemesi arasındaki ilişkinin bütüncül olarak ele alındığı ve farklı araştırma eğilimlerinin ortak temalar altında değerlendirildiği çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bu durum, mevcut bilgi birikiminin sistematik biçimde sentezlenmesini ve literatürde öne çıkan temaların birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu gereksinimden hareketle, mimari tasarımda bilişim perspektifinden fiziksel çevre denetimi ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) arasındaki ilişkiyi literatüre dayalı tematik bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, Scopus ve Web of Science Core Collection veri tabanlarında indekslenen Q1 kategorisindeki 30 hakemli akademik makale

değerlendirilerek, araştırma alanında öne çıkan temel eğilimler belirlenmiştir. İncelenen çalışmalar; dijital tasarım süreçleri, BIM tabanlı bilgi yönetimi, fiziksel çevre performans analizleri, çevresel simülasyon uygulamaları, karar destek mekanizmaları ve bütünlük tasarım yaklaşımları çerçevesinde tematik olarak sınıflandırılmıştır. Böylece mevcut literatürdeki bilgi birikiminin bütüncül bir bakış açısıyla ortaya konulması, araştırma boşluklarının belirlenmesi ve gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalara kavramsal bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Mimarlık, Mühendislik, İnşaat ve İşletme (AECO) endüstrisi, son yıllarda geometrik modelleme araçlarından, bina yaşam döngüsü boyunca bilgiyi yöneten altyapısal bir paradigmaya doğru evrilmiştir (Hammes ve diğerleri, 2026). Bu dönüşümün merkezinde yer alan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), sadece teknik bir yardım aracı değil, aynı zamanda binaların siber-fiziksel sistemler (CPS) haline gelmesini sağlayan operasyonel bir bilgi mimarisidir (Hammes ve diğerleri, 2026). BIM'in metodolojik çerçevesi, politikalar, süreçler ve teknolojiler bütünü olarak tanımlanmakta ve projenin başlangıcından yıkımına kadar güvenilir bir karar verme temeli sunmaktadır (Succar, 2009; Wang ve diğerleri, 2015). BIM'in yaygınlaşması, proje maliyetlerinin azaltılması, üretkenliğin artırılması ve disiplinler arası koordinasyonun iyileştirilmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır (Abbasnejad ve diğerleri, 2021; Liu ve diğerleri, 2024).

Bina performansının optimize edilmesi sürecinde BIM, Bina Enerji Modellemesi (BEM) ve Bina Otomasyon ve Kontrol Sistemleri (BACS) ile entegre edilmektedir (Hammes ve diğerleri, 2026). Bu entegrasyon, binaların statik yapılar olmaktan çıkıp veri odaklı ve uyarlanabilir sistemlere dönüşmesine olanak tanıyan Dijital İkiz (DT) kavramının temelini oluşturur (Hammes ve diğerleri, 2026; Zierke ve Kołata, 2021). Özellikle veri merkezleri gibi enerji yoğun altyapılarda, havalandırma ve soğutma sistemlerinin (HVAC) dağıtık kontrolü için Çoklu Ajan Sistemleri (MAS) önerilmektedir (Astudillo ve Koch, 2025). MAS tabanlı mimariler, merkezi olmayan karar alma süreçleri sayesinde sistemin yanıt verebilirliğini, esnekliğini ve güvenliğini artırırken, enerji tüketiminde %5–20 oranında tasarruf sağlayabilmektedir (Astudillo ve Koch, 2025). Bu süreçte Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri, binaların gerçek

zamanlı durumunu izlemek ve adaptif algoritmaları beslemek için kritik veriler sağlamaktadır (Yang ve diğerleri, 2025; Astudillo ve Koch, 2025).

Hesaplamalı tasarım yaklaşımları da bu teknolojik gelişimle birlikte büyük bir değişim geçirmiştir. Geleneksel çizim yöntemlerinden algoritmik, üretken (generative) ve parametrik tasarıma geçiş, mimarların karmaşık çözümleri keşfetme ve performans odaklı kararlar alma yeteneğini genişletmiştir (Caetano ve Leitão, 2020; Caetano ve diğerleri, 2020). Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi (ML) algoritmaları, günümüzde bina performans tahmini, yapısal optimizasyon ve otomatik tasarım doğrulaması gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu ve diğerleri, 2024; Topuz ve Alp, 2023). Hatta Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BCI) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) gibi ileri teknolojiler, tasarım sürecini daha sezgisel hâle getirmek ve sanal modelleri gerçek mekânlarla ilişkilendirmek için kullanılmaya başlanmıştır (Yang ve diğerleri, 2023; Cakici Alp ve diğerleri, 2023). Kinetik mimari yaklaşımları ise, çevresel değişimlere fiziksel hareketle tepki veren cepheler ve çatılar geliştirerek binaların bağlama duyarlı çözümler sunmasını sağlamaktadır (Ramzy, 2011; Ukrayna Mimarlık Dergisi, 2025). Ancak yüksek düzeydeki otomasyon her zaman kullanıcı memnuniyetiyle sonuçlanmamaktadır. Literatür, bina sakinlerinin iç mekân iklimi üzerindeki "algılanan kişisel kontrolünün" (PPC), termal konfor, sağlık ve üretkenlik üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu vurgulamaktadır (Hellwig, 2015; Xie ve diğerleri, 2023). Tam otomatik sistemlerde kullanıcıların kontrol imkânlarının kısıtlanması, memnuniyetsizliğe ve "hasta bina sendromu" semptomlarının artmasına neden olabilmektedir (Hellwig ve diğerleri, 2020; Sakellaris ve diğerleri, 2019). Bu nedenle otomasyonun potansiyel enerji tasarrufu ile kullanıcıların kontrol ihtiyacı arasında hassas bir denge kurulmalıdır (Hellwig ve diğerleri, 2020). Kullanıcıların pencereleri açabilmesi veya termostatları bireysel olarak ayarlayabilmesi gibi basit kontrol imkânları, yüksek konfor toleransı ve psikolojik tatmin sağlamaktadır (Xie ve diğerleri, 2023; Sustainability Dergisi, 2023).

Bunca teknolojik ilerlemeye rağmen, BIM ve akıllı sistemlerin uygulama aşamasında önemli engellerle karşılaşmaktadır. Bilgi eksikliği, değişime karşı direnç, standart eksikliği ve yüksek yazılım maliyetleri, özellikle gelişmekte olan pazarlarda ve küçük ölçekli firmalarda BIM adaptasyonunu yavaşlatmaktadır (Leśniak ve diğerleri, 2021; Akinlolu ve diğerleri, 2022). Bu

engelleri aşmak için üst yönetimin desteği, stratejik bir uygulama planı ve sürekli eğitim programları hayati önem taşımaktadır (Abbasnejad ve diğerleri, 2021). Ayrıca, mimarlık eğitiminin de bu hesaplamalı ve veriye dayalı yeni pratiklere uyum sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılması gerekmektedir (Soliman ve diğerleri, 2019). Sonuç olarak, AECO endüstrisinin geleceği, sadece teknolojik araçların geliştirilmesine değil, aynı zamanda bu araçların insan odaklı, sürdürülebilir ve disiplinler arası bir yaklaşımla entegre edilmesine bağlıdır (Liu ve diğerleri, 2024; El-Halwagy, 2024; Hyde, 2016).

### 3. ANALİZLER

#### 3.1. Tematik Analiz: Bilişim Perspektifinden Mimari Tasarım, Fiziksel Çevre Denetimi ve Yapı Bilgi Modellemesi

Çalışmalar, mimarlık, mühendislik, inşaat ve işletme sektörünün dijitalleşme sürecini teknik, örgütsel ve insani boyutlarıyla ele aldığını göstermektedir. Aşağıda bu kaynaklar üzerinde gerçekleştirilen derinlemesine tematik analiz yer almaktadır.

Birinci ana tema yapı bilgi modellemesi sürecinin yapısal bir paradigmaya dönüşümü ve dijital ikiz kavramıdır. Kaynakların önemli bir bölümü yapı bilgi modellemesini sadece bir çizim aracı olarak değil, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca veri akışını yöneten altyapısal bir çerçeve olarak tanımlamaktadır (Hammes ve diğerleri, 2026). Bu süreçte modelleme araçlarının metodolojik bir zemine oturması ve politikalar, süreçler ve teknolojilerle bütünleşmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Succar, 2009). Literatürdeki bibliyometrik analizler yapı bilgi modellemesinin sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve akıllı şehirler bağlamında merkezi bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır (Li ve diğerleri, 2019; Liu ve diğerleri, 2024). Özellikle binaların fiziksel durumunu gerçek zamanlı izlemeye ve analiz etmeye olanak tanıyan dijital ikizlerin yapı bilgi modellemesinin bir uzantısı olarak gelişmesi, binaları siber-fiziksel sistemler haline getirmektedir (Hammes ve diğerleri, 2026; Zierke ve Kořata, 2021). Bu dönüşüm veri merkezleri gibi enerji yoğun yapıların yönetiminde çoklu ajan sistemleri ve dağıtık kontrol mimarilerinin kullanımını da beraberinde getirmektedir (Astudillo ve Koch, 2025).

İkinci tema hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının evrimi ve tasarımcının değişen rolüdür. Kaynaklar geleneksel çizim pratiklerinden algoritmik,

parametrik ve üretken tasarım yöntemlerine geçişi derinlemesine incelemektedir (Caetano ve Leitão, 2020; Caetano ve diğerleri, 2020). Bu yaklaşımlar tasarımın sadece geometrik temsiline değil, arkasındaki mantıksal ve matematiksel kurallara odaklanmaktadır (Caetano ve Leitão, 2020). Üretken tasarım yöntemleri tasarımcının doğrudan müdahale etmediği ancak sistemin belirli performans kriterlerine göre en uygun seçenekleri sunduğu bir iş birliği ortağı olarak görülmektedir (Mukkavaara ve Sandberg, 2020). Bu noktada teknolojinin mimarları tamamen ikame edip edemeyeceği tartışılmaktadır. Literatür karmaşık rutinlerin otomasyonla çözülebileceğini ancak yaratıcılık, sosyal zekâ ve duygusal algı gibi alanlarda insan faktörünün hâlâ belirleyici olduğunu savunmaktadır (Zierke ve Kołata, 2021). Hyde (2016) ise bilgisayar destekli mimari tasarımın tasarım sürecini daha etkili hâle getirmek için bütünleşik bir simülasyon stratejisi sunduğunu belirtmektedir.

Üçüncü ana tema kullanıcı odaklı yaklaşımlar ve iç mekân iklimi üzerinde algılanan kişisel kontroldür. Akıllı bina sistemlerinin başarısının sadece enerji tasarrufuyla değil, kullanıcı memnuniyeti ve sağlığıyla da ölçülmesi gerektiği birçok kaynakta ortak bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır (Xie ve diğerleri, 2023; Wegertseder-Martínez, 2023). Bina sakinlerinin iç mekân parametreleri üzerindeki kontrol imkânı ile termal konfor, sağlık ve üretkenlik arasında doğrudan bir ilişki saptanmıştır (Hellwig, 2015; Sakellaris ve diğerleri, 2019). Tam otomatik sistemlerin kullanıcıları süreçten dışlaması memnuniyetsizliğe ve hasta bina sendromu belirtilerinin artmasına neden olabilmektedir (Hellwig ve diğerleri, 2020; Sakellaris ve diğerleri, 2019). Bu nedenle otomasyonun potansiyel verimliliği ile bireylerin pencereleri açabilme veya sıcaklığı ayarlayabilme gibi psikolojik kontrol ihtiyacı arasında hassas bir dengenin kurulması gerekmektedir (Hellwig ve diğerleri, 2020; Xie ve diğerleri, 2023). Modern Mimarlık ve Şehircilik Sorunları (2025) dergisindeki çalışma da mimari çevredeki uyarlabilirliğin fiziksel ve psikolojik sağlık üzerindeki etkisine dikkat çekmektedir.

Dördüncü tema ileri teknolojilerin entegrasyonu ve veri odaklı yönetimdir. Kaynaklar yapay zekâ, makine öğrenmesi, nesnelerin interneti ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerin sektörel uygulamalarına odaklanmaktadır (Topuz ve Alp, 2023; Yang ve diğerleri, 2025). Yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarının bina performans tahmini, yapısal optimizasyon ve tasarım çakışmalarının çözülmesinde sunduğu imkânlar

bibliyometrik çalışmalarla desteklenmektedir (Liu ve diğerleri, 2024; Topuz ve Alp, 2023). Nesnelerin interneti sensör ağları ise gerçek zamanlı veri toplayarak akıllı bina otomasyonlarını besleyen kritik bir damar olarak tanımlanmaktadır (Yang ve diğerleri, 2025; Wang ve diğerleri, 2015). Ayrıca artırılmış gerçeklik ve beyin-bilgisayar arayüzleri gibi teknolojilerin tasarım stüdyolarında ve uygulama alanlarında kullanımı, tasarım sürecini daha sezgisel ve etkileşimli hâle getirmektedir (Çakıcı Alp ve diğerleri, 2023; Yang ve diğerleri, 2023). Ramzy (2011) ise kinetik tasarım öğelerinin sürdürülebilir dinamik mimari üzerindeki etkisini vurgulayarak bu teknolojik gelişimin fiziksel bir harekete nasıl dönüştüğünü analiz etmektedir.

Beşinci ve son tema ise uygulama sürecindeki engeller, kolaylaştırıcı faktörler ve mimarlık eğitimidir. Teknolojik gelişime rağmen yapı bilgi modellemesi ve akıllı sistemlerin sektörde tam anlamıyla kabul görmesinin önünde ciddi bariyerler bulunmaktadır (Abbasnejad ve diğerleri, 2021; Leśniak ve diğerleri, 2021). Bilgi eksikliği, değişime karşı direnç, yüksek maliyetler ve standart eksikliği bu sürecin yavaşlamasına neden olan başlıca faktörlerdir (Akinlolu ve diğerleri, 2022; Leśniak ve diğerleri, 2021). Bu engelleri aşmak için üst yönetimin desteği, sürekli eğitim ve stratejik planlama kritik önemdedir (Abbasnejad ve diğerleri, 2021). Bu noktada mimarlık eğitiminin dijital çağın gereksinimlerine göre yeniden şekillendirilmesi gerektiği savunulmaktadır (Soliman ve diğerleri, 2019). Teknik derslerin tasarım stüdyolarıyla erken aşamada entegre edilmesi ve öğrencilere çevresel kontrol stratejilerinin aşılması, geleceğin mimarlarının bu siber-fiziksel sistemleri yönetebilmesini sağlayacaktır (El-Halwagy, 2024; Soliman ve diğerleri, 2019). Li ve diğerleri (2017) ise yapı bilgi modellemesi bilgi alanlarını haritalandırarak bu disiplinin akademik ve pratik gelişim yörüngesini göstermektedir.

### **3.2. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), Dijital İkizler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Altyapı Entegrasyonu Analizi**

Mimarlık ve inşaat sektörü, basit geometrik modellemeden, bina yaşam döngüsü boyunca veri akışını yöneten karmaşık bir paradigmatik dönüşüme uğramıştır (Hammes ve diğerleri, 2026). Bu dönüşümün temel taşı olan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), yalnızca teknik bir araç değil; politikalar, süreçler ve teknolojilerin etkileşime girdiği bütüncül bir metodoloji olarak tanımlanmaktadır (Succar, 2009; Wang ve diğerleri, 2015). Literatür, BIM'in

yapıların tasarımından yıkımına kadar olan süreçte güvenilir bir karar verme mekanizması oluşturduğunu ve veri odaklı planlama süreçlerine olanak tanıdığını vurgulamaktadır (Abbasnejad ve diğerleri, 2021; Liu ve diğerleri, 2024).

Binaların statik nesnelerden "siber-fiziksel sistemlere" (CPS) dönüşmesi, BIM'in Bina Otomasyon ve Kontrol Sistemleri (BACS) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) ile entegrasyonu sayesinde mümkün olmaktadır (Hammes ve diğerleri, 2026; Yang ve diğerleri, 2025). Özellikle veri merkezleri gibi enerji yoğun altyapılarda, havalandırma ve soğutma sistemlerinin dağıtık kontrolü için Çoklu Ajan Sistemleri (MAS) mimarileri önerilmektedir (Astudillo ve Koch, 2025). Bu sistemler, merkezi olmayan karar alma süreçleri ile sistemin yanıt verebilirliğini ve güvenliğini artırırken, enerji tüketiminde %5–20 oranında tasarruf sağlayabilmektedir (Astudillo ve Koch, 2025). IoT sensörleri ise sıcaklık, nem, doluluk ve hava kalitesi gibi granüler verileri toplayarak, bu adaptif kontrol algoritmalarını beslemektedir (Yang ve diğerleri, 2025; Astudillo ve Koch, 2025). Bu veri akışının BIM modellerine geri beslenmesi, binaların gerçek zamanlı izlenmesini, analiz edilmesini ve performans tahminlerinin yapılmasını sağlayan Dijital İkiz (DT) kavramının temelini oluşturur (Hammes ve diğerleri, 2026; Zierke ve Kolata, 2021).

### 3.3. Algoritmik, Üretken ve Yapay Zekâ Tabanlı Analiz

Geleneksel mimari tasarım süreçleri, yerini hesaplamalı tasarım (Computational Design–CD) yöntemlerine bırakmış ve bu durum tasarımın temsilinden ziyade mantığına odaklanan bir değişim yaratmıştır (Caetano ve Leitão, 2020). Literatürde Parametrik Tasarım, parametreler arası ilişkilerin kurulduğu süreç; Algoritmik Tasarım (AD), belirli bir sonucun kodlanmış talimatlarla üretilmesi; Üretken Tasarım (GD) ise tasarımcının doğrudan müdahale etmediği, sistemin otonom olarak çözümler ürettiği yaklaşımlar olarak ayrıştırılmaktadır (Caetano ve diğerleri, 2020; Muckavaara ve Sandberg, 2020). Bu yöntemler, mimarların karmaşık geometrileri keşfetmesine ve performans odaklı kararlar almasına olanak tanır (Caetano ve Leitão, 2020).

Günümüzde Yapay Zekâ (AI) ve Makine Öğrenmesi (ML), bu hesaplamalı süreçlerin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. ML algoritmaları, bina enerji performans tahminleri (Liu ve diğerleri, 2024), yapısal optimizasyon ve tasarım çakışmalarının otomatik olarak çözülmesi gibi



alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Topuz ve Alp, 2023; Liu ve diğerleri, 2024). Hatta Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BCI) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) gibi ileri teknolojiler, mimari tasarım stüdyolarında sanal modellerin fiziksel mekânlarla ilişkilendirilmesi ve tasarım sürecinin daha sezgisel hale getirilmesi için test edilmektedir (Yang ve diğerleri, 2023; Cakici Alp ve diğerleri, 2023). Ancak, bilgisayar algoritmalarının ve yapay zekânın mimarları tamamen ikame edip edemeyeceği tartışma konusudur. Mevcut bulgular, algoritmaların rutin görevleri hızlandırdığını ancak karmaşık algı, sosyal zekâ ve yaratıcılık gerektiren alanlarda insan faktörünün hala kritik olduğunu göstermektedir (Zierke ve Kolata, 2021).

### 3.4. İnsan Odaklı Otomasyon ve Stratejik Adaptasyon Analizi

Teknolojik ilerlemeye rağmen, binalardaki otomasyon düzeyinin kullanıcı memnuniyetiyle olan ilişkisi karmaşıktır. Literatür, bina sakinlerinin iç mekân iklimi üzerindeki "algılanan kişisel kontrolünün" (PPC), termal konfor ve sağlık üzerinde en güçlü belirleyici olduğunu savunmaktadır (Hellwig, 2015; Xie ve diğerleri, 2023). Tam otomatik sistemlerde kullanıcıların kontrol imkânlarının kısıtlanması, memnuniyetsizliğe ve "hasta bina sendromu" (SBS) semptomlarının artmasına neden olabilmektedir (Hellwig ve diğerleri, 2020; Sakellaris ve diğerleri, 2019). Bu nedenle otomasyonun getirdiği enerji verimliliği ile kullanıcının pencereleri açabilmesi veya termostatı ayarlayabilmesi gibi "psikolojik kontrol" ihtiyacı arasında hassas bir denge kurulmalıdır (Hellwig ve diğerleri, 2020; Xie ve diğerleri, 2023).

BIM ve akıllı sistemlerin geniş çaplı uygulanmasında ise ciddi teknik ve organizasyonel engeller bulunmaktadır (Hammes ve diğerleri, 2026). Bilgi eksikliği, değişime karşı direnç, yüksek yazılım/donanım maliyetleri ve standartlaştırılmış veri arayüzlerinin (IFC gibi) eksikliği, özellikle gelişmekte olan pazarlarda BIM adaptasyonunu yavaşlatmaktadır (Leśniak ve diğerleri, 2021; Akinlolu ve diğerleri, 2022). Bu engelleri aşmak için üst yönetimin desteği, sürekli eğitim programları, kültürel hazırlık ve stratejik bir uygulama planı "kolaylaştırıcılar" (enablers) olarak tanımlanmaktadır (Abbasnejad ve diğerleri, 2021). Sonuç olarak, binaların sadece enerji tasarruflu değil, aynı zamanda kullanıcıların fiziksel ve psikolojik sağlığını destekleyen interaktif

sistemler olarak tasarlanması gerektiği sonucuna varılmaktadır (Modern Mimarlık ve Şehircilik Sorunları, 2025; El-Halwagy, 2024).

### **3.5. Dijital Çağda Mimarlık Eğitimi: Müfredat Entegrasyonu, Beceri Dönüşümü ve Sektör-Akademi Uyum Analizi**

Mimarlık, teknoloji yoğun bir disipline dönüşürken; dijital bilgisayar teknolojileri tasarım süreçlerini, üretim yöntemlerini ve dolayısıyla mimarlık eğitimini kökten etkilemiştir (Soliman ve diğerleri, 2019). Geleneksel eğitim yöntemleri temel olarak 2D çizimler ve fiziksel 3D modellere dayanırken, 21. yüzyılın pedagojik gereksinimleri algoritmik düşünme, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ve dijital simülasyonların müfredata tam entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır (Soliman ve diğerleri, 2019; Caetano ve Leitão, 2020). Literatür, mimarlık eğitiminin bu dönüşüme uyum sağlaması gerektiğini, aksi takdirde akademik çıktıların profesyonel pratiklerin ihtiyaçlarını karşılayamayacağını savunmaktadır (Soliman ve diğerleri, 2019; El-Halwagy, 2024).

BIM ve akıllı sistemlerin sektörde yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden birinin "eğitilmiş personel eksikliği" ve "BIM uzmanlığının yetersizliği" olduğu saptanmıştır (Hammes ve diğerleri, 2026; Abbasnejad ve diğerleri, 2021). Bu bağlamda, mimari stüdyolarda teknik derslerin tasarım dersleriyle senkronize edilmesi kritik bir başarı faktörü olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, "Çevresel Kontrol" derslerinin stüdyo dersleriyle erkenden entegre edilmesi, öğrencilerin iklim duyarlı tasarım stratejilerini (pasif çözümler, enerji verimliliği vb.) projelerine henüz başlangıç aşamasında dahil etmelerini ve tasarım kararlarının çevresel etkilerini daha iyi kavramalarını sağlamaktadır (El-Halwagy, 2024). Yapılan araştırmalar, bu entegrasyonun öğrencilerin "iklim tasarımı" konusundaki kavrayışını anlamlı şekilde artırdığını ve projelerin daha olgun/performans odaklı hâle geldiğini göstermektedir (El-Halwagy, 2024).

Eğitimdeki teknolojik dönüşümün bir diğer boyutu, Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BCI) gibi ileri teknolojilerin stüdyo ortamına dahil edilmesidir. AR teknolojileri, öğrencilerin sanal modellerini gerçek fiziksel mekânlarla ilişkilendirmelerine olanak tanıyarak ölçek ve mekânsal algı problemlerini çözmelerine yardımcı olmakta, bu da tasarım hızını ve yaratıcı fikir üretimini olumlu yönde etkilemektedir (Çakıcı Alp ve

diğerleri, 2023). Benzer şekilde, BCI araçları tasarım sürecindeki bilişsel yükü ölçmek ve tasarımcı ile bilgisayar arasındaki geri bildirim döngüsünü kısaltmak için deneysel bir araştırma mecrası sunmaktadır (Yang ve diğerleri, 2023).

Buna karşın, uluslararası okulların dijital derslerin %68'ini tasarım stüdyosuyla entegre ederken, birçok yerel okulun hala %90 oranında "tekil ders" (stand-alone) yaklaşımını benimsediği ve derslerin stüdyo pratiğinden kopuk kaldığı gözlemlenmektedir (Soliman ve diğerleri, 2019). BIM eğitiminin sadece bir yazılım öğretimi olarak değil, disiplinler arası bir iş birliği ve bilgi yönetimi kültürü olarak ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Wang ve diğerleri, 2015; Li ve diğerleri, 2017). Sonuç olarak, AECO endüstrisinin gelecekteki liderleri olacak mimarların yetişmesi, müfredatın teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli güncellenmesi, sektörle iş birliği içinde stratejik uygulama planlarının oluşturulması ve öğrencilerin bu siber-fiziksel sistemleri yönetebilecek becerilerle donatılmasına bağlıdır (Soliman ve diğerleri, 2019; Topuz ve Alp, 2023; Abbasnejad ve diğerleri, 2021).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, mimari tasarımda bilişim perspektifinden fiziksel çevre denetimi ile Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling–BIM) arasındaki ilişki, güncel literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda tematik olarak incelenmiştir. İncelenen araştırmalar, BIM'in artık yalnızca üç boyutlu modelleme sağlayan bir yazılım yaklaşımı olmaktan çıktığını; bina yaşam döngüsünün tamamını kapsayan, disiplinler arası bilgi yönetimini mümkün kılan dijital bir platform haline geldiğini göstermektedir. Özellikle son yıllarda BIM'in dijital ikizler (Digital Twins), Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI), makine öğrenmesi (ML), parametrik tasarım ve bina performans simülasyonlarıyla birlikte değerlendirilmesi, mimari tasarım sürecinin veri temelli karar verme anlayışı doğrultusunda yeniden şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların büyük bölümünün BIM'in teknik avantajları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. BIM'in disiplinler arası koordinasyonu artırdığı, hata oranlarını azalttığı, proje maliyetlerini düşürdüğü ve tasarım süreçlerini hızlandığı çok sayıda araştırmada ortaya konmuştur (Succar, 2009; Wang ve diğerleri, 2015; Abbasnejad ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada ulaşılan bulgular da söz konusu

sonuçlarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Ancak mevcut araştırmaların önemli bir kısmının BIM'i daha çok proje yönetimi veya yapım süreçleri açısından değerlendirdiği; fiziksel çevre denetimi, kullanıcı deneyimi ve çevresel performans analizleriyle bütüncül biçimde ele alan çalışmaların ise görece sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, fiziksel çevre performansının yalnızca teknik simülasyonlar üzerinden değil, tasarım kararlarının ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Araştırmanın önemli bulgularından biri, BIM'in tek başına yeterli bir teknoloji olmadığı; gerçek potansiyeline ancak diğer dijital sistemlerle bütünleştiğinde ulaşabildiğidir. Özellikle dijital ikiz teknolojileri sayesinde bina performansının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi, tasarım aşamasında geliştirilen öngörülerin kullanım sürecinde doğrulanmasını mümkün hâle getirmektedir. IoT sensörlerinden elde edilen verilerin BIM modellerine aktarılması sayesinde enerji tüketimi, kullanıcı yoğunluğu, iç ortam hava kalitesi, termal konfor ve bakım süreçleri sürekli olarak izlenebilmektedir. Böylece tasarım süreci yalnızca yapının inşa edilmesine kadar devam eden doğrusal bir süreç olmaktan çıkmakta; kullanım sonrasında da sürekli güncellenen dinamik bir bilgi sistemine dönüşmektedir. Bu yaklaşım, literatürde "yaşayan bina modeli" anlayışı olarak tanımlanan dijital ikiz kavramıyla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Bununla birlikte, analizler bilişim teknolojilerindeki hızlı gelişmelere rağmen insan faktörünün önemini koruduğunu açık biçimde göstermektedir. Literatürde özellikle tam otomatik bina sistemlerinin kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Hellwig (2015) ve Hellwig ve diğerleri (2020), kullanıcıların çevresel kontrol hissinin azalmasının konfor algısını olumsuz etkileyebileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada incelenen araştırmalar da benzer şekilde, enerji verimliliği ile kullanıcı kontrolü arasında dengeli bir ilişkinin kurulmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla geleceğin akıllı binalarında yalnızca maksimum otomasyonun hedeflenmesi yerine, kullanıcı tercihlerini öğrenebilen ve gerektiğinde kullanıcıya müdahale imkânı tanıyan hibrit sistemlerin geliştirilmesi daha sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Hesaplamalı tasarım, parametrik modelleme ve yapay zekâ tabanlı tasarım sistemleri açısından değerlendirildiğinde ise literatürde önemli bir paradigma değişimi yaşandığı görülmektedir. Geleneksel CAD tabanlı temsil

yöntemleri yerini algoritmik düşünceye bırakırken, yapay zekâ destekli üretken tasarım sistemleri tasarımcılara çok sayıda alternatif çözüm üretebilmektedir. Ancak analiz edilen çalışmalar, bu teknolojilerin mimarın yerini almadığını; aksine karar verme sürecini destekleyen araçlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yaratıcı problem çözme, bağlamsal değerlendirme, estetik yorumlama ve kültürel değerlerin tasarıma aktarılması gibi konularda insan tasarımcının rolü hâlen vazgeçilmezdir. Bu nedenle gelecekte mimarlık pratiğinin "insan + yapay zekâ" iş birliği temelinde gelişeceği öngörülebilir.

Araştırmanın ortaya koyduğu bir diğer önemli sonuç, dijital dönüşümün önündeki temel engellerin teknolojik yetersizliklerden ziyade organizasyonel ve eğitsel sorunlar olduğudur. Birçok çalışmada bilgi eksikliği, değişime karşı direnç, standartlaşma problemleri ve yüksek yazılım maliyetleri BIM uygulamalarının önündeki temel engeller olarak tanımlanmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde küçük ve orta ölçekli ofislerin BIM tabanlı çalışma sistemlerine geçişte önemli zorluklar yaşadığı görülmektedir. Bu durum yalnızca teknik altyapının güçlendirilmesiyle çözülememekte; aynı zamanda kurum kültürü, disiplinler arası iş birliği ve sürekli mesleki eğitim gerektirmektedir. Dolayısıyla dijital dönüşüm yalnızca yazılım satın alınmasıyla değil, organizasyonel değişim stratejileriyle birlikte ele alınmalıdır.

Mimarlık eğitimi açısından değerlendirildiğinde ise analiz edilen çalışmalar önemli bir dönüşüm ihtiyacına işaret etmektedir. Günümüzde birçok eğitim programında BIM, parametrik tasarım veya çevresel simülasyon araçları birbirinden bağımsız dersler olarak yürütülmektedir. Oysa literatürde başarılı örnekler incelendiğinde, bu teknolojilerin tasarım stüdyolarıyla bütünleşik biçimde yürütüldüğü programların öğrencilerin problem çözme becerilerini ve performans odaklı tasarım yaklaşımlarını daha fazla geliştirdiği görülmektedir. Bu nedenle geleceğin mimarlık eğitiminde BIM'in yalnızca teknik bir yazılım eğitimi olarak değil, veri yönetimi, çevresel analiz, sürdürülebilirlik ve disiplinler arası iş birliği kültürünü geliştiren temel bir pedagojik araç olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın genel değerlendirmesi, fiziksel çevre denetiminin gelecekte yalnızca enerji simülasyonlarından ibaret olmayacağını göstermektedir. Yapay zekâ destekli analizler, gerçek zamanlı sensör verileri, dijital ikiz platformları, büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde binaların

çevresel performansı sürekli olarak değerlendirilebilecek ve tasarım kararları kullanım sürecinde elde edilen veriler doğrultusunda yeniden optimize edilebilecektir. Böylece bina tasarımı statik bir ürün olmaktan çıkarak, kullanım sürecinde öğrenen ve kendini geliştirebilen dinamik bir sisteme dönüşecektir.

Bununla birlikte mevcut literatürde önemli araştırma boşlukları bulunduğu da görülmektedir. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu enerji performansı, BIM entegrasyonu veya dijital modelleme üzerine yoğunlaşırken; kullanıcı davranışlarının yapay zekâ destekli çevresel kontrol sistemlerine etkisi, fiziksel çevre performansının sosyal sürdürülebilirlikle ilişkisi, dijital ikizlerin uzun dönemli kullanım sonuçları ve BIM tabanlı yapay zekâ karar destek sistemlerinin gerçek projelerdeki etkinliğini değerlendiren ampirik araştırmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerde gerçekleştirilen uygulama örneklerinin azlığı, elde edilen sonuçların farklı coğrafyalara genellenmesini güçleştirmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmaların farklı iklim bölgelerinde, farklı bina tiplerinde ve farklı kullanıcı profilleri üzerinde karşılaştırmalı uygulamalar gerçekleştirmesi, literatürdeki bu boşlukların giderilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, mimari tasarımda bilişim perspektifinden fiziksel çevre denetimi ile Yapı Bilgi Modellemesi arasındaki ilişkinin yalnızca teknolojik bir dönüşümü değil, aynı zamanda tasarım kültüründe yaşanan kapsamlı bir paradigma değişimini temsil ettiğini göstermektedir. BIM, dijital ikizler, yapay zekâ ve hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının birlikte değerlendirilmesi; çevresel performans, enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve sürdürülebilirlik hedeflerinin tek bir dijital ekosistem içinde ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Ancak bu dönüşümün başarılı olabilmesi için teknolojik altyapının geliştirilmesinin yanı sıra, disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesi, uluslararası veri standartlarının yaygınlaştırılması, kullanıcı odaklı tasarım anlayışının korunması ve mimarlık eğitiminin dijital çağın gerekliliklerine uygun biçimde yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Bu yönüyle çalışma, mevcut literatürü tematik bir bakış açısıyla sentezleyerek yalnızca mevcut durumu ortaya koymakla kalmamakta; aynı zamanda gelecekte geliştirilecek BIM tabanlı fiziksel çevre denetimi araştırmaları için kavramsal ve metodolojik bir yol haritası sunmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Abbasnejad, B., Nepal, M. P., Ahankoob, A., Nasirian, A., & Drogemuller, R. (2021). Building Information Modelling (BIM) adoption and implementation enablers in AEC firms: A systematic literature review. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(5-6), 411–433.
- Akinlolu, M. T., Haupt, T. C., Edwards, D. J., & Gossel, N. (2022). A bibliometric review of building information modeling research in the architecture, engineering and construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(3), 689–712.
- Astudillo, N., & Koch, F. (2025). Multi-Agent Architecture in Distributed Environment Control Systems: Vision, challenges, and opportunities. arXiv preprint arXiv:2502.15663v1.
- Caetano, I., & Leitão, A. (2020). Architecture meets computation: An overview of the evolution of computational design approaches in architecture. *Architectural Science Review*, 63(2), 165–174.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287–300.
- Cakici Alp, N., Erkan Yazici, Y., & Oner, D. (2023). Augmented reality experience in an architectural design studio. *Multimedia Tools and Applications*, 82, 45639–45657.
- El-Halwagy, E. (2024). Environmental control and automation studies in architecture. *Results in Engineering*, 23, 102768.
- Hammes, S., Zech, P., Geisler-Moroder, D., Weninger, J., Steindl, G., Hauer, M., Miller, J., & Pfluger, R. (2026). BIM-based configuration and parameterization of building automation and control systems. *Building and Environment*, 296, 114497.
- Hellwig, R. T. (2015). Perceived control in indoor environments: A conceptual approach. *Building Research & Information*, 43(3), 302–315.
- Hellwig, R. T., Schweiker, M., & Boerstra, A. (2020). The ambivalence of personal control over indoor climate - how much personal control is adequate? E3S Web of Conferences, 172, 06010.
- Hyde, R. (2016). Computer-aided architectural design and the design process. *Architectural Science Review*, 59(4), 255–256.

- Leśniak, A., Górka, M., & Skrzypczak, I. (2021). Barriers to BIM implementation in architecture, construction, and engineering projects—*The Polish study. Energies, 14*(8), 2090.
- Li, X., Wu, P., Shen, G. Q., Wang, X., & Teng, Y. (2017). Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach. *Automation in Construction, 84*, 195–206.
- Li, Y., Liu, Z., & Osmani, M. (2019). Patterns and trends and main topics of Building Information Modelling (BIM) research: A scientometric analysis. *Buildings, 9*(10), 210.
- Liu, Z., Hu, G., Demian, P., & Osmani, M. (2024). Research on the integration of Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) for sustainable building in the context of smart city: A bibliometric and systematic review. *Sustainability, 16*(24), 10848.
- Modern Mimarlık ve Şehircilik Sorunları. (2025). Mimari ortamda uyarlanabilirliğin fiziksel ve psikolojik sağlık üzerindeki etkisi. *Modern Mimarlık ve Şehircilik Sorunları Dergisi, 74*, 315–317.
- Mukkavaara, J., & Sandberg, M. (2020). Architectural design exploration using generative design: Framework development and case study. *Buildings, 10*(11), 201.
- Ramzy, N. (2011). Sustainable dynamic architecture: Rethinking kinetic design elements. *Sustainable Cities and Society, 1*, 170–177.
- Sakellaris, I. O., Sarigiannis, D. A., Sfakianaki, A., Santamouris, M., & Bartzis, J. G. (2019). Perceived control over indoor environment in office buildings: Associations with comfort and health. *Applied Sciences, 9*(16), 3227.
- Soliman, S., Taha, A. S., & El Sayad, Z. (2019). Architectural education in the digital age: Computer applications: Curriculum with architectural profession. *Alexandria Engineering Journal, 58*, 809–818.
- Succar, B. (2009). Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction, 18*(3), 357–375.
- Sustainability Dergisi. (2023). Algılanan kontrolün çalışma ortamındaki kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkisi. *Sustainability, 15*, 5980.
- Topuz, B., & Alp, N. Ç. (2023). Machine learning in architecture: A systematic review. *Automation in Construction, 154*, 105012.



- Wang, Y., Wang, X., Wang, J., Yung, P., & Jun, G. (2015). Engagement of building information modelling in smart built environments. *Buildings*, 5, 100–116.
- Wu, J., & Xie, Y. (2021). A survey of machine learning for computer architecture and systems. *ACM Computing Surveys*, 1(1), 1–40.
- Xie, K., Lee, M., Khalid, R., & Zakka, V. G. (2023). The impact of personal environmental control on the performance of thermal systems: Building energy consumption, occupant thermal comfort, and productivity. *Energy and Buildings*, 298, 113552.
- Yang, Q., Cruz-Garza, J. G., & Kalantari, S. (2023). Brain–computer interfaces as an architectural design tool: Feasibility and usability study. *Automation in Construction*, 154, 105011.
- Yang, X., Jin, X., & Gu, Z. (2025). Research on intelligent building environment control and automation system based on Internet of Things. *EDPEE IEEE*, 32–38.
- Zierke, P., & Kołata, J. (2021). Will computer algorithms replace architects? *Buildings*, 11(8), 338.



## BÖLÜM 5

### YÜKSEK YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE TASARIMININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (LCA) PERSPEKTİFİNDEN İNCELENMESİ

Şeyma ÖZTÜRK<sup>1</sup>

Dr. Yusuf EŞİDİR<sup>2</sup>

Prof. Dr. Arzuhan Burcu AYDIN<sup>3</sup>

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21538979>

---

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye. seyma.ozturk1@gazi.edu.tr, orcid id: 0000-0002-2432-2659

<sup>2</sup> Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, Türkiye. yusufesidir@gmail.com, orcid id: 0000-0003-0221-729X

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye. arzuhanburcu@gazi.edu.tr, orcid id: 0000-0003-1246-6468



## 1. GİRİŞ

Yüksek yapılar, sınırlı kentsel alanların daha etkin kullanılmasına olanak sağlamaları nedeniyle günümüz kentleşme politikalarının önemli yapı tipolojilerinden biri hâline gelmiştir. Ancak, bu yapıların inşasında kullanılan yüksek miktardaki malzeme, uzun hizmet ömürleri boyunca tükettikleri enerji ve kullanım ömrü sonunda ortaya çıkan atık miktarı, çevresel sürdürülebilirlik açısından tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yüksek yapıların çevresel performansının yalnızca kullanım aşamasındaki enerji tüketimi üzerinden değil, yaşam döngüsünün tamamı dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yüksek yapıların çevre üzerindeki etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi günümüz araştırmalarının temel konularından biri olarak öne çıkmaktadır (Ali ve Armstrong, 2008).

Yapı sektörünün küresel enerji tüketimi, sera gazı salımları ve doğal kaynak kullanımı üzerindeki belirgin etkisi dikkate alındığında, sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüksek yapılarda çevresel performansı belirleyen temel unsurlardan biri ise yapı kabuğu olarak tanımlanan cephe sistemleridir. Cepheler, iç mekân ile dış çevre arasındaki fiziksel etkileşimi düzenleyerek enerji tüketimi, ısıl konfor, gün ışığı kullanımı, iç hava kalitesi ve kullanıcı konforu gibi pek çok performans ölçütünü doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte cephe sistemlerinde kullanılan malzemelerin üretimi, taşınması, uygulanması, bakım süreçleri ve kullanım ömrü sonrasındaki geri dönüşüm ya da bertaraf aşamaları da önemli çevresel etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle yüksek yapılarda tercih edilen cephe sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, yapıların toplam çevresel etkisinin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde yalnızca kullanım aşamasındaki performansın incelenmesi yeterli görülmemekte, malzemenin ham madde olarak elde edilmesinden başlayarak üretim, kullanım, bakım, yenileme ve kullanım ömrü sonu süreçlerine kadar uzanan tüm yaşam döngüsünün analiz edilmesi gerekmektedir. Bu noktada Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Life Cycle Assessment-LCA), yapı bileşenlerinin çevresel etkilerini bilimsel ve ölçülebilir veriler üzerinden değerlendirmeye olanak sağlayan önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. LCA metodolojisi sayesinde farklı cephe sistemleri ve malzeme alternatifleri; enerji tüketimi, karbon salımları, kaynak

kullanımı ve atık oluşumu gibi çevresel etki göstergeleri doğrultusunda karşılaştırılabilmekte, böylece daha bilinçli tasarım kararlarının alınması mümkün olmaktadır.

Geleneksel sürdürülebilirlik yaklaşımları, büyük ölçüde yapıların kullanım evresindeki operasyonel enerji performansına odaklanmakta; yapı malzemelerinin üretimi, taşınması, bakım süreçleri ve kullanım ömrü sonundan kaynaklanan gömülü çevresel etkiler ise çoğu zaman ikinci planda kalmaktadır. Yapı malzemelerinin üretiminden kaynaklanan gömülü salımlar, toplam çevresel yükte önemli bir paya sahiptir (Sev, 2002). Bu bağlamda, binanın dış kabuğunu oluşturan cephe sistemleri, iç ve dış çevre arasındaki fiziksel etkileşimi düzenleyen ve yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkilerin belirlenmesinde stratejik rol üstlenen temel yapı bileşenlerinden biridir.

Yüksek yapı kabuğu tasarımında, malzeme seçiminden ısı performansına kadar uzanan çok sayıda tasarım parametresinin eş zamanlı olarak optimize edilmesi gerekmektedir. Ancak tasarım sürecinde karşılaşılan estetik beklentiler, enerji korunumu ve ekonomik kısıtlar arasındaki çelişkiler, optimum çözümlere ulaşılmasını zorlaştırmaktadır (Bonner ve Rein, 2018). Yüksek yapıların cephe tasarım kararlarının sıklıkla sübjektif yargılara ve kişisel tecrübelerle dayanması, dolayısıyla karar verme mekanizmalarında bilimsel dayanaktan yoksun yaklaşımların benimsenmesi sürdürülebilir cephe tasarımlarının yaygınlaşmasının önündeki önemli engellerden biridir. Söz konusu engellerin aşılmasında ve sürdürülebilirlik hedeflerine nesnel verilerle ulaşılmasında LCA metodolojisi önemli bir karar destek aracı olarak öne çıkmaktadır.

Literatürde sürdürülebilir cephe tasarımına ilişkin çalışmaların önemli bir bölümü enerji verimliliği, ısı performans, kullanıcı konforu veya cephe teknolojileri üzerine yoğunlaşmaktadır. Buna karşılık, söz konusu performans ölçütlerinin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerle birlikte değerlendirildiği çalışmaların sayısı sınırlıdır. Benzer şekilde, LCA metodolojisini kullanan araştırmaların büyük kısmı belirli malzemelerin veya cephe sistemlerinin çevresel etkilerini sayısal olarak ortaya koymakta, ancak elde edilen bulguların cephe tasarım sürecindeki karar mekanizmalarıyla nasıl ilişkilendirileceği yeterince tartışılmamaktadır. Bu durum, cephe tasarımında çevresel performansın tasarım sürecine hangi ölçüde ve hangi aşamada dâhil edilmesi gerektiği konusunda önemli bir boşluk oluşturmaktadır.

Cephe tasarımına ilişkin kararlar tek bir performans ölçütünü etkilememektedir. Isıl performansın iyileştirilmesi amacıyla tercih edilen bir çözüm, üretim aşamasındaki karbon salımlarını artırabilmekte, uzun hizmet ömrüne sahip bir malzeme ise ilk üretim aşamasında daha fazla doğal kaynak tüketimine neden olabilmektedir. Başka bir ifadeyle, sürdürülebilir cephe tasarımı farklı performans ölçütleri arasında denge kurulmasını gerektiren çok ölçütlü bir karar problemidir. Bu nedenle cephe tasarımına ilişkin kararların teknik ve ekonomik gerekliliklerin yanı sıra yaşam döngüsünün farklı evrelerinde ortaya çıkan çevresel etkiler dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımına ilişkin tasarım ölçütlerini yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı çerçevesinde yeniden yorumlayarak, cephe tasarım kararlarının çevresel performans üzerindeki etkilerini bütüncül bir değerlendirme çerçevesi içinde ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımına ilişkin temel ölçütler yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı çerçevesinde ele alınmakta, cephe tasarım kararları ile yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkiler arasındaki ilişki literatür bulguları üzerinden tartışılmaktadır.

## **2. YÜKSEK YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE TASARIMININ TEMEL BELİRLEYİCİLERİ**

Yüksek yapılarda sürdürülebilirliğin sağlanması, yalnızca enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik teknik çözümler geliştirilmesiyle sınırlı değildir. Yapının bulunduğu çevresel koşullar, taşıyıcı sistem özellikleri, malzeme tercihleri, cephe teknolojileri ve kullanım sürecine ilişkin kararlar birlikte değerlendirildiğinde, yüksek yapıların çevresel performansını belirleyen çok sayıda tasarım parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler arasında cephe sistemleri, yapı ile dış çevre arasındaki fiziksel etkileşimi düzenleyen temel yapı bileşenlerinden biri olması nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Yapının enerji gereksinimi, gün ışığından yararlanma düzeyi, iç mekân konforu, bakım gereksinimi ve kullanım ömrü boyunca göstereceği performans büyük ölçüde cephe tasarımına bağlı olarak şekillenmektedir.

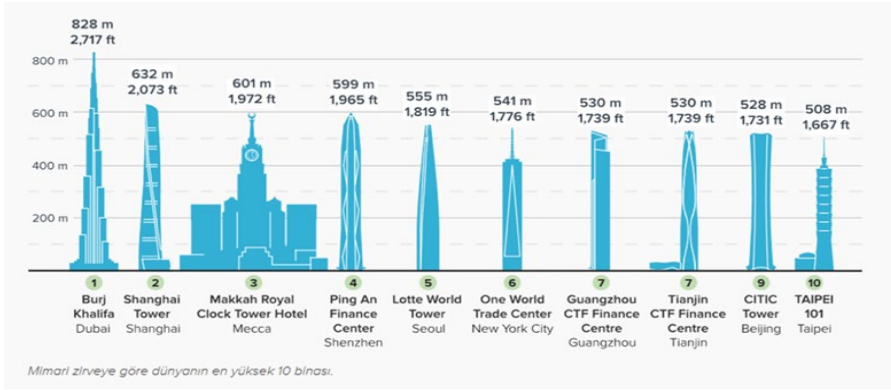
Sürdürülebilir cephe tasarımı, birbirinden bağımsız performans ölçütlerinin ayrı ayrı sağlanmasından ibaret bir süreç değildir. Yapısal

güvenlik, yangın dayanımı, su ve hava geçirimsizliği, ısı ve akustik performans ile gün ışığından yararlanma gibi performans ölçütleri, tasarım sürecinde eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gereken ve çoğu zaman birbirini etkileyen ölçütlerdir. Bu nedenle yüksek yapılarda cephe tasarımı, farklı performans ölçütleri arasında denge kurulmasını gerektiren çok ölçütlü bir karar süreci olarak ele alınmaktadır. Bu bölümde yüksek yapı kavramı ve tarihsel gelişimi açıklanmakta, ardından sürdürülebilir cephe tasarımını şekillendiren temel performans ölçütleri incelenerek yaşam döngüsü değerlendirme kapsamında ele alınacak çevresel etkilerin teknik altyapısı ortaya konulmaktadır.

### 2.1. Yüksek Yapı Tanımı ve Kapsamı

Yüksek Yapılar ve Kentsel Yaşam Alanı Derneği (Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH), yüksek yapıların ölçülmesi ve tanımlanmasına yönelik uluslararası standartları geliştirmiştir ve “Dünyanın En Yüksek Yapısı” gibi unvanların verilmesinde hakem olarak kabul edilmektedir. CTBUH tarafından yapılan tanımlardan birinde yüksek yapılar kavramı 14 kattan fazla olan veya yüksekliği 50 m’den fazla ve 300 m’den az olan yapılar olarak tanımlanmaktadır. Yüksekliği 300 m’nin ve 600 m’nin üzerinde olan yapılar sırasıyla "süper yüksek" ve "mega yüksek" olarak değerlendirilmektedir (CTBUH, 2024). Şekil 1’de, mimari zirve yüksekliğine göre dünyanın en yüksek 10 yapısı gösterilmektedir. Yüksek yapılar, kentsel arazi miktarının giderek azalmasıyla birlikte gelecekte daha baskın bir mimari tipoloji olma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, inşalarında kullanılan yüksek miktardaki malzeme nedeniyle bu yapıların çevresel sürdürülebilirliği konusunda çeşitli tartışmalar bulunmaktadır (Mazumder vd., 2022; Oldfield, 2012; Potekhin vd., 2018; Zhu vd., 2011). Bu tartışmaları sayısal verilerle değerlendiren çalışmaların sayısı ise sınırlıdır (Li vd., 2011; Zhang vd., 2024; Gao vd., 2024; Mostafavi vd., 2021).





Şekil 1. Mimari zirveye göre dünyanın en yüksek on yapısı (Wang ve Liu, 2015)

Sürdürülebilirlik, yüksek yapı tasarımında gözetilmesi gereken temel tasarım yaklaşımlarından biridir. Bu yaklaşım, yerel ve küresel çevresel etkilerin, yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların kullanımının, sosyal etkilerin ve toplumun farklı paydaşlarının görüşlerinin dikkate alındığı kapsamlı bir yaklaşımı gerektirmektedir. Sürdürülebilir bir yüksek yapı tasarımında mimarlar, planlamacılar, mühendisler, sosyal bilimciler, davranış bilimciler ve diğer toplum temelli grupların iş birliğinin sağlanması ve inşaat sürecinin her aşamasının bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir (Ali ve Armstrong, 2008).

Yüksek yapılar, sınırlı arazi kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaları nedeniyle sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Buna karşılık, inşaları ve işletilmeleri sırasında yüksek düzeyde doğal kaynak tüketmeleri, bu yapıların çevresel sürdürülebilirliği konusunda çeşitli tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, yüksek performanslı yapı tasarımında enerji verimliliği, tasarım esnekliği, kaynakların korunması ve iç mekân çevre kalitesinin sağlanması gibi unsurlar da sürdürülebilirlik bağlamında ele alınmaktadır.

## 2.2. Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi

Yüksek yapı tipolojisinin tarihsel kökenleri incelendiğinde, bu yapısal formların başlangıç aşamasında öncelikle anıtsal ve dini gayelerle inşa edildiği görülmektedir. Bilimsel gelişmelerin hız kazanması, sosyo-ekonomik yapıdaki dönüşümler ile yapı malzemeleri ve yapım teknolojilerinde yaşanan yeniliklerin etkisiyle binaların düşey doğrultuda gelişimi belirgin biçimde

artmıştır (Özgen ve Sev, 2000). Bu gelişmelerle birlikte ortaya çıkan düşey yapılaşma eğilimi, kentsel alanlardaki arazi kullanım baskısı ve ekonomik verimlilik arayışlarının doğal bir sonucu olarak şekillenmiştir (Ciravoğlu, 2007). Ada Louise Huxtable tarafından önerilen ve literatürde kabul gören yaklaşıma göre, yüksek yapıların tarihsel gelişimi dört ana dönem altında sınıflandırılmaktadır (Al-Kodmany ve Ali, 2013).

**Fonksiyonel Dönem (1875-1915):** Bu dönemde, artan ticari ve ekonomik gereksinimler doğrultusunda biçimlenen yapılaşma anlayışı kapsamında, çelik çerçeve taşıyıcı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmış ve bu sayede binaların düşey doğrultuda gelişimi mümkün hâle gelmiştir (Al-Kodmany ve Ali, 2013).

**Eklektik Dönem (1916-1940):** Bu dönemde, yapı tasarımlarında estetik niteliklerin ve farklı mimari üslupların birlikte ele alındığı bir yaklaşım benimsenmektedir. Bu süreç kapsamında, asansör sistemlerinde gerçekleştirilen teknik iyileştirmeler ile yangın güvenliğini sağlamaya yönelik olarak yürürlüğe alınan düzenlemeler, yapıların düşey doğrultuda gelişimini teşvik eden unsurlar arasında yer almıştır (Aytıs, 1996).

**Modern Dönem (1950-1979):** İkinci Dünya Savaşı sonrasında, modern mimarlık anlayışının etkisi altında biçimlenen bu dönemde, teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi ve uygulanmasında Amerika Birleşik Devletleri'nin öncü bir konum üstlendiği belirtilmektedir. İzleyen süreçte, söz konusu teknolojik birikim Pasifik ülkeleri başta olmak üzere Avrupa ve Orta Doğu bölgelerine doğru yayılmıştır (Ali ve Al-Kodmany, 2012).

**Postmodern Dönem (1980-1989):** Bu dönem Modernizmin katı kurallarına ve tekdüzeliğine bir tepki olarak doğmuştur. Postmodern dönemde mimari tasarımda çeşitlilik ve farklı form arayışlarına odaklanılmıştır (Ali ve Al-Kodmany, 2012).

Postmodern dönemi izleyen süreçte, küresel ısınma ve doğal kaynakların sınırlılığı gibi çevresel faktörlerin de etkisiyle yüksek yapı tasarımında sürdürülebilirlik kavramı, yenilikçi cephe sistemleri ve ikonik mimari yaklaşımları tartışmaların odağında yer almıştır (Ali ve Al-Kodmany, 2012). Taşıyıcı sistemlerin tarihsel gelişimi, başlangıçta kullanılan kâğır ve demir malzemelerden çelik ve betonarme sistemlere, günümüzde ise kompozit taşıyıcı sistemlere uzanan teknik bir dönüşümü ortaya koymaktadır.

### 2.3. Yüksek Yapılarda Sürdürülebilir Tasarım Ölçütleri

Yüksek yapılarda cephe sistemleri, yapı ile dış çevre arasındaki fiziksel, çevresel ve görsel etkileşimi sağlayan temel yapı bileşenlerinden biridir. Cephe tasarımı, yapıların enerji performansını, iç mekân konfor koşullarını, çevresel etkilerini ve dayanıklılığını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle sürdürülebilir yüksek yapı tasarımında cephe sistemlerinin çok boyutlu performans ölçütleri doğrultusunda ele alınması gerekmektedir (Mir, 2008). Literatürde sürdürülebilir cephe tasarımına ilişkin ölçütlerin çoğunlukla enerji verimliliği, malzeme seçimi, iklim koşullarına uyum, güvenlik ve hizmet ömrü başlıkları altında değerlendirildiği görülmektedir. Ancak bu ölçütlerin sıklıkla birbirinden bağımsız olarak ele alındığı, tasarım sürecinde bütüncül ve sistematik bir yaklaşımın yeterince uygulanmadığı vurgulanmaktadır (Bonner, 2018).

### 2.4. Yüksek Yapılarda Cephe Tasarımı

Yüksek yapılarda cephe sistemleri, yapı ile dış çevre arasındaki fiziksel, çevresel ve görsel etkileşimi sağlayan temel yapı bileşenlerinden biridir. Yapının enerji performansı, iç mekân konforu, dayanıklılığı, güvenliği ve çevresel etkileri büyük ölçüde cephe tasarımına bağlı olarak şekillenmektedir. Bu nedenle cephe tasarımı, yalnızca yapının mimari kimliğini belirleyen bir unsur değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında belirleyici rol oynayan temel tasarım bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Yüksek yapılar kent silüetindeki belirgin konumları, gelişmiş yapı teknolojileri gerektirmeleri ve yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle çoğu zaman prestij yapıları olarak değerlendirilmektedir. Bu yapılarda cephe, yalnızca iç ve dış mekânı birbirinden ayıran bir yapı elemanı olmanın ötesinde, yapının mimari karakterini, teknolojik düzeyini ve çevresel performansını yansıtan temel bileşenlerden biridir. Yapım teknolojilerindeki gelişmeler, daha yüksek yapıların inşa edilmesini mümkün kılmış; buna bağlı olarak taşıyıcı sistemlerde ve yapı kabuğu teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, cephe tasarımının önemini daha da artırmıştır.

En genel tanımıyla cephe, yapının iç mekânını dış çevreden ayıran ve iki ortam arasındaki fiziksel ilişkinin düzenlenmesini sağlayan yapı kabuğudur (Harmankaya ve Soyluk, 2010). Cephe sistemleri, iç ve dış çevre arasında ısı,

ışık, hava, su ve ses gibi çevresel etkenlerin kontrolünü sağlayan, mimari, teknik ve çevresel performansı doğrudan etkileyen bütünlüklü yapı sistemleri olarak değerlendirilmektedir (Bonner ve Rein, 2018).

Cephe sistemleri, yalnızca yapının estetik görünümünü belirlemekle kalmamakta, aynı zamanda enerji tüketimi, kullanıcı konforu, bakım gereksinimi, kullanım ömrü ve çevresel performansı üzerinde de önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Yapı maliyetinin yaklaşık %10-20'sini oluşturan cephe sistemlerinin doğru tasarlanması, doğal çevre koşullarından kaynaklanabilecek hasarların önlenmesine katkı sağlamakta ve kullanım sürecindeki bakım ve onarım maliyetlerini azaltmaktadır (Sev, 2002).

Literatürde yüksek yapılarda kullanılan cephe sistemleri genel olarak strüktürel cephe sistemleri, giydirme cephe sistemleri, enerji verimli cephe sistemleri, çift kabuk cephe sistemleri ve biyoreaktör cephe sistemleri şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çüçen ve Altuncu, 2022). Bu sistemler, taşıyıcı sistemle kurdukları ilişki, enerji performansı, kullanıcı konforuna katkıları ve çevresel etkileri bakımından birbirinden farklı özellikler göstermektedir.

Strüktürel cephe sistemleri, cephe elemanlarının taşıyıcı sistemin davranışına katkı sağladığı sistemler olup, tasarım sürecinde cephe elemanlarına ilişkin taşıyıcı sistem hesaplarının birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Giydirme cephe sistemleri ise taşıyıcı özelliğe sahip olmayan ve yüklerini ana taşıyıcı sisteme aktaran hafif cephe sistemleri olup, yüksek yapılarda en yaygın kullanılan cephe çözümleri arasında yer almaktadır (Gülakan, 2014).

Enerji verimli cephe sistemleri, iç ve dış ortam arasındaki ısı geçişini kontrol ederek enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamakta; uygun cam ve cephe bileşenleri sayesinde istenmeyen ısı kazançlarını ve kayıplarını sınırlandırmaktadır (Katırcıoğlu, 2016). Çift kabuk cephe sistemleri ise iki cephe katmanı arasında oluşturulan hava boşluğu sayesinde ısı performansını iyileştirilmesi, gürültünün azaltılması ve olumsuz iklim koşullarına karşı ek koruma sağlanması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır (Çakır, 2011).

Yüksek yapılarda kullanılacak cephe sisteminin seçimi yalnızca mimari tercihlere bağlı değildir. Enerji verimliliği, yapısal güvenlik, kullanıcı konforu, dayanıklılık, bakım gereksinimi ve çevresel etkiler gibi çok sayıda performans ölçütünün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir cephe tasarımında, farklı cephe sistemlerinin çeşitli performans ölçütleri

açısından bütüncül bir yaklaşımla ele alınması önem taşımaktadır. Bir sonraki bölümde, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımını belirleyen temel performans ölçütleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

## 2.5. Yüksek Yapılarda Sürdürülebilir Cephe Tasarım Ölçütleri

Dış ve iç mekân koşulları arasında fiziksel etkileşimi sağlayan cephelerin kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda şekillendirilmesi ve dış çevresel etkenlere yanıt verecek biçimde çeşitli performans ölçütlerini karşılaması gerekmektedir. Bu kapsamda, yüksek yapılarda cephe tasarımında dikkate alınan temel ölçütler; iklim, bina tipolojisi ve kullanım senaryosu gibi farklı koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun yanı sıra, söz konusu ölçütler ülkeler arasında olduğu kadar, yerel yönetimler düzeyinde yürürlükte olan standartlar ve mevzuatlar doğrultusunda da farklılaşabilmektedir (Kültür, 2019).

### 2.5.1. Yapısal Performans

Bir cepheye ilişkin yapısal performansın değerlendirilmesine yönelik ölçütlerin belirlenebilmesi için, cephe üzerinde etkili olan koşulların tanımlanması gerekmektedir. Bu koşullar, çevresel etkenler ile bina veya mekâna bağlı özellikler kapsamında ele alınmaktadır. Cephe üzerinde etkili olan çevresel koşullar rüzgâr yönü, rüzgâr yükleri ve deprem etkileri gibi dış etkenleri kapsamaktadır. Bina ve mekâna ilişkin koşullar ise yapı geometrisi ve bina yüksekliği gibi parametreleri kapsamaktadır. Özellikle bina yüksekliği arttıkça rüzgâr etkileri de artmakta ve bu parametreler cephelerin yapısal performansının değerlendirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Kültür, 2019).

Cephelerin yapısal performansına ilişkin temel değerlendirme ölçütlerinden biri cephe düzlemlerinin hâkim rüzgâr yönüne doğrudan yönlendirilmemesi ve böylece rüzgâr yüklerine daha sınırlı düzeyde maruz kalmasının sağlanmasıdır. Rüzgâr yönünde konumlanan cepheler hem basınç hem de emme etkilerine eşzamanlı olarak maruz kalmaktadır. Ancak bu yaklaşımın geçerli olabilmesi için rüzgâr rejiminde belirgin bir hâkim yönün olması gerekir. Aksi durumda yönlendirme kararı anlamlı bir sonuç üretmemektedir. Hâkim rüzgâr yönüne dik doğrultular görece daha korunaklı yönlendirme seçenekleri sunmaktadır. Özellikle yüksek rüzgâr hızlarının etkili

olduğu bölgelerde yer alan yüksek yapılarda, cephelerin rüzgâr etkilerinden en fazla korunan yönler doğru konumlandırılması yapısal güvenlik açısından daha kritik hâle gelmektedir (Khallaf ve Jupp, 2017; Vongsingha, 2015; Krem, 2012; Herzog vd., 2008; Rich ve Dean, 1999).

Bir cephenin farklı yük kombinasyonları altında taşıyıcılığını yitirmemesi ve güvenli biçimde bütünlüğünü koruması temel bir yapısal gerekliliktir. Bu bağlamda, cephenin stabilitesinin sağlanması öncelikli hâle gelmektedir. Ayrıca olağanüstü iklim koşulları söz konusu olmadıkça bina taşıyıcı sistemine aktarılan yüklerin sınırlandırılabilmesi amacıyla cephe sistemlerinin mümkün olduğunca hafif çözümlerle tasarlanması tercih edilmelidir (Herzog vd., 2008; Rich ve Dean, 1999).

### **2.5.2. Yangın Performansı**

Cephe sistemlerinin, belirli bir süre boyunca yangına karşı dayanım göstermesi ve yangın ile dumanın yayılımını sınırlandıracak nitelikte tasarlanması gereklidir. Cephe tasarımında, yapı bileşenlerinin yangına neden olabilecek özellikler taşıması ve yangının cephe aracılığıyla farklı katlara veya bölgelere yayılmasının önlenmesi hedeflenmelidir. Ayrıca, rüzgâr etkisiyle yangının yayılma riskinin artabileceği durumlara karşı cephe tasarımında koruyucu önlemlerin dikkate alınması önem taşımaktadır. Tüm bu hususlara ek olarak, cephelerin yangın anında güvenli tahliyeye katkı sağlayacak şekilde kurgulanması, yangın güvenliği performansının ayrılmaz bir parçasıdır (Herzog vd., 2008; Jin, 2013; Rich ve Dean, 1999).

Cephelerin yangın performansını etkileyen temel parametreler rüzgâr etkisi, bina veya mekân tipi, yapı yüksekliği, kat sayısı ve mekânsal konumdur. Bu parametreler, yangının yayılım biçimini ve cephe sistemlerinin yangına karşı gösterdiği performansı doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla cepheye ilişkin yangın performansı ölçütleri bu koşullara bağlı olarak farklılaşabilmektedir.

Cephe sistemleri, rüzgâr etkisiyle yangının yayılma potansiyeli üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Yangın performansına ilişkin temel değerlendirme ölçütlerinden biri olarak, rüzgâr rejiminde belirgin bir hâkim yönün bulunması durumunda cephelerin hâkim rüzgârlardan korunacak biçimde konumlandırılması önem taşımaktadır. Söz konusu koruma, cephe yönlendirmesi yoluyla sağlanabilmektedir. Ayrıca, bina ve mekân türlerine

bağlı olarak yürürlükteki yönetmeliklerde farklı yangın güvenliği gereksinimleri tanımlanmakta, özellikle eğitim yapıları ve sağlık tesisleri gibi kullanıcı tahliyesinin kritik olduğu yapı türlerinde daha yüksek güvenlik düzeyleri öngörülmektedir. Buna ek olarak, yüksek rüzgâr hızları yangının yayılma riskini artırmakta ve bu durum cephelerin hâkim rüzgârdan korunacak biçimde konumlandırılmasına yönelik tasarım ölçütünü daha da kritik hâle getirmektedir (Fitzgerald, 2004; Fitzgerald ve Meacham, 2017; Park, 2014; Rich ve Dean, 1999).

### **2.5.3. Su Performansı**

Cephe sistemlerinin, binaya su girişini engelleyecek şekilde tasarlanması temel bir gerekliliktir. Cephelerin özellikle rüzgâr etkisiyle sürüklenen yağmur yüklerine karşı yeterli dayanım göstermesi ve su geçirimsizliğini sağlayacak performans düzeyini karşılaması beklenmektedir. Cephelerin su performansını etkileyen temel parametreler; yağış miktarı ve karakteri, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ve bina yüksekliğidir. Bu parametreler, cephelerin suya karşı gösterdiği davranışı doğrudan etkilemekte ve su geçirimsizliğine ilişkin performans ölçütleri bu koşullara bağlı olarak farklılaşabilmektedir.

Rüzgâr tarafından sürüklenen yağmur, yapı kabuğu açısından başlıca su ve nem kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bina cephelerinde rüzgârla taşınan yağmur yükünün mümkün olduğunca düşük seviyelerde tutulması hedeflenmelidir. Cephelerin su performansına ilişkin temel değerlendirme ölçütlerinden biri, baskın rüzgâr yönlerinin ve anlamlı düzeyde yıllık yağış miktarının bulunduğu iklim koşullarında cephenin baskın rüzgâr doğrultuları dışında yönlendirilmesidir. Bu ölçütün önemi, özellikle bina yüksekliğinin arttığı ve rüzgâr hızlarının yükseldiği durumlarda daha da artmaktadır. Bina yüksekliğinin kritik bir parametre olarak değerlendirilmesinin temel nedeni, rüzgâr hızının yükseklikle birlikte artma eğilimi göstermesi ve buna bağlı olarak cephe yüzeylerinde oluşan rüzgâr yüklerinin de artmasıdır. Bu durum, cephe sistemlerinin maruz kaldığı rüzgârla sürüklenen yağmur miktarını doğrudan etkileyen bir faktör olarak literatürde geniş biçimde ele alınmıştır (Rich ve Dean, 1999; Beall, 2000; Blocken vd., 2009; Blocken vd., 2013; Blocken ve Carmeliet, 2015; Künz, 2015; Gao vd., 2017; Olsson, 2017).

#### **2.5.4. Hava Geçirgenliği Performansı**

Cephe sistemleri, hava akışı yoluyla oluşabilecek enerji kayıplarını sınırlandıracak şekilde tasarlanmalıdır (Ramachandran, 2004). Cephe sistemlerinde hava geçirgenliğine ilişkin performans değerlendirmeleri rüzgâr koşulları, iklim özellikleri ve bina yüksekliği gibi çevresel ve fiziksel parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Cephe düzlemi boyunca gerçekleşen kontrolsüz hava hareketleri (infiltrasyon), iç mekân ile dış ortam arasındaki basınç ve sıcaklık farklarına bağlı olarak oluşmakta ve bu durum yapı kabuğunda enerji kayıplarına yol açabilmektedir. Özellikle yüksek yapılarda rüzgâr hızının artış göstermesine bağlı olarak cephe yüzeylerinde oluşan basınç farkları büyümekte, hava sızdırmazlık performansı daha kritik bir tasarım ölçütü hâline gelmektedir (Blocken ve Carmeliet, 2015; Künz, 2015).

Hava geçirgenliği performansının iyileştirilmesine yönelik temel tasarım ölçütlerinden biri, hava akışına karşı daha yüksek düzeyde korunma gereksinimi bulunan baskın rüzgâr yönlerine bakan cephelerde ilave koruyucu katmanların kullanılmasıdır. Bu bağlamda, ikinci bir kabuk tabakası içeren çift cidarlı cephe sistemleri, hava geçirgenliğinin sınırlandırılması ve basınç farklarının dengelenmesi açısından daha avantajlı çözümler sunmaktadır. Ek cidarlar, rüzgâr etkisiyle oluşan ani basınç değişimlerini azaltarak iç kabuğun maruz kaldığı yükleri düşürmekte ve sızdırmazlık performansını iyileştirmektedir. Özellikle yüksek katlı yapılarda rüzgâr hızının artması ve buna bağlı olarak cephe yüzeylerinde oluşan basınç etkilerinin büyümesi, bu tasarım yaklaşımının önemini artırmaktadır (Schittich, 2006; Knaack vd., 2007; Herzog, 2008; Aksamija, 2013; Boswell, 2013; Ching, 2014; Yu, 2014; Hermann vd., 2015; Toydemir vd., 2019).

#### **2.5.5. Isıl Performans**

Cephe sistemleri, iç mekânlarda uygun ısı konfor koşullarının sürdürülebilir biçimde sağlanabilmesi amacıyla bütünleşik bir tasarım anlayışıyla ele alınmalıdır. Bu kapsamda, güneş ışıınımı ve rüzgâr gibi çevresel etkenlerden iklim koşullarına bağlı olarak yararlanılması veya bu etkenlere karşı koruma sağlanması hedeflenmelidir. Yapı kabuğunun yeterli düzeyde ısı yalıtımı sağlaması, ısı kayıplarının sınırlandırılması ve enerji etkinliğinin artırılması açısından temel bir performans ölçütüdür. Cephe bileşenlerinde oluşabilecek ısı köprülerinin engellenmesi, hem enerji kayıplarının azaltılması



hem de iç mekân konfor koşullarının sürdürülebilirliği bakımından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, güneş enerjisinin pasif sistemler aracılığıyla kontrollü biçimde değerlendirilmesi, ısıtma yüklerinin azaltılmasına ve enerji performansının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Düşük dış ortam sıcaklıklarının iç mekân üzerindeki olumsuz etkilerine karşı koruma sağlanması da cephe tasarımında dikkate alınması gereken temel gereklilikler arasında yer almaktadır (Rich ve Dean, 1999; Koçlar Oral vd., 2004; Grondzik vd., 2010; Oraklıbel, 2014).

### **2.5.6. Nem Performansı**

Cephe katmanları boyunca gerçekleşen su buharı hareketi, yapı bileşenleri içerisinde yoğuşmaya neden olmayacak şekilde kontrol altına alınmalıdır. Cephe sistemlerinde nem performansı büyük ölçüde su buharı hareketinin ve yoğuşma oluşumunun kontrol edilmesine bağlıdır. Su buharının çiğlenme sıcaklığına ulaşmadan önce sınırlandırılması, yapı kabuğunda nem birikiminin ve buna bağlı malzeme hasarlarının önlenmesi açısından temel bir performans ölçütüdür. Olası kritik noktalarda yoğunlaşma oluşması durumunda, biriken nemin uygun drenaj detayları aracılığıyla uzaklaştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte, doğal havalandırma stratejileri yapı bileşenlerindeki nem oranının düşürülmesine katkı sağlamakta, böylece yoğuşma riskinin azaltılması mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım hem yapı fiziki performansının korunması hem de dayanıklılığın sağlanması açısından önemlidir.

Cephe sistemlerinde yoğuşma oluşumunun kontrol altına alınması, yapı fiziki performansı açısından temel gerekliliklerden biridir. Nem transferinin cephe kesiti boyunca sınırlandırılması ve özellikle rüzgârla taşınan yağmurun oluşturduğu dış kaynaklı nem yükünün yapı kabuğuna nüfuz etmesinin engellenmesi gerekmektedir. Nem hareketinin kontrol altına alınması sayesinde hem iç mekân konfor koşullarının korunmasına hem de yapı bileşenlerinin hizmet ömrünün uzatılmasına katkı sağlanmaktadır. Bu bağlamda, cephe tasarımında nem kontrolüne yönelik katmanlaşma ve detay çözümleri kritik öneme sahiptir (Oraklıbel, 2014).

### **2.5.7. Gün Işığı Performansı**

Cephe sistemlerinin, iç mekânlarda yeterli düzeyde ve nitelikli gün ışığı sağlayacak biçimde tasarlanması gerekmektedir. Gün ışığından etkin biçimde

yararlanılması sayesinde yapay aydınlatma gereksinimi azaltılabilmekte ve buna bağlı olarak enerji tüketimi düşürülebilmektedir. Mekân içerisinde gün ışığının homojen biçimde dağılımı, görsel konfor açısından önemlidir. Aşırı kamaşma oluşumu ise kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilecek başlıca etkenlerden biridir. Bu nedenle, cephe tasarımında gün ışığı miktarının yanı sıra ışığın niteliği, dağılımı ve kamaşma kontrolünün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, dış çevre ile görsel ilişkinin korunması kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik esenlik hâlini desteklemektedir (Kutlu, 2008; Şener Yılmaz, 2016).

Gün ışığı performansını etkileyen temel parametreler; pencere alanı, cephe yönelimi, camın görünür ışık geçirgenliği, gölgeleme elemanları ve çevresel koşullardır. Bu parametreler, iç mekânlara ulaşan gün ışığı miktarını ve dağılımını doğrudan etkilemektedir. Gün ışığı performansına ilişkin temel tasarım ölçütlerinden biri, yeterli gün ışığının sağlanması ile kamaşmanın kontrol altına alınması arasındaki dengenin kurulmasıdır. Bu kapsamda, pencere alanı, cam özellikleri ve gölgeleme sistemleri birlikte değerlendirilerek hem görsel konforun sağlanması hem de yapay aydınlatma gereksiniminin azaltılması hedeflenmelidir.

### **2.5.8. Akustik Performans**

Cephelerin akustik performansı, maruz kalınan çevresel gürültünün türüne, yönüne ve düzeyine, ayrıca iç mekânın kullanım amacına bağlı olarak belirlenmektedir. Mekânın fonksiyonuna bağlı olarak değişen gürültüye duyarlılık düzeyi, gerekli iç ortam ses sınır değerlerinin tanımlanmasında belirleyici olmaktadır. Bu çerçevede, cephe akustik performans ölçütleri dış ortam gürültü düzeyi ile hedeflenen iç ortam akustik konfor koşullarına göre belirlenmektedir. Ses yalıtımı için gerekli asgari performans değerleri, basitleştirilmiş hesap yaklaşımlarıyla veya ilgili mevzuatta (Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 2022) tanımlanan yöntemler kullanılarak belirlenmelidir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB], 2022).

Akustik performansı değerlendirmede kullanılan temel göstergeler ses azaltma indeksi (Sound Reduction Index–SRI) ve ses iletim sınıfıdır (Sound Transmission Class–STC). Bu göstergelerin yüksek olması, cephe sistemlerinin ses yalıtım performansının daha iyi olduğunu göstermektedir. Cephe

sistemlerinde hava sızdırmazlığının artırılması da ses iletimini azaltarak akustik performansı iyileştirmektedir.

### **3. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (LCA) METODOLOJİSİNİN CEPHE TASARIMINDAKİ ROLÜ**

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) metodolojisi, başlangıçta tüketim ürünlerinin çevresel etkilerini analiz etmek amacıyla geliştirilmiş olup, zaman içerisinde Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization) tarafından yayımlanan ISO 14040 ve ISO 14044 standartları çerçevesinde sistematik bir metodoloji hâline getirilmiştir. Günümüzde inşaat sektöründe yapıların ve yapıli çevrenin çevresel performansının değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılan bu metodoloji amaç ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanteri (LCI), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) ve yorumlama olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır (Allacker vd., 2019). Söz konusu çerçeve, Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization) tarafından yayımlanan EN 15804 ve EN 15978 standartları ile yapı sektörü özelinde daha ayrıntılı biçimde ele alınmakta, özellikle yapı malzemeleri ve bina ölçeğinde uygulanabilirliği bu standartlarla desteklenmektedir. Bu standartlar kapsamında bir yapının yaşam döngüsü üretim ve inşaat süreçlerini kapsayan A grubu, kullanım evresini içeren B grubu, ömür sonu senaryolarını kapsayan C grubu ve sistem sınırları ötesindeki geri kazanım potansiyelini ifade eden D grubu aşamalarına ayrılmaktadır (Junnla vd., 2006).

Uygulama sürecinde analiz yükünün azaltılması ve veri tutarlılığının sağlanması amacıyla yapı malzemelerine özgü veritabanları kullanılmakta, bu kapsamda çevresel ürün verilerinin standartlaştırılmış biçimde sunulduğu veri setlerinden yararlanılmaktadır. Ayrıca, modelleme sürecinde ortaya çıkabilecek veri belirsizliklerinin ve varsayımlara dayalı sapmaların değerlendirilmesi amacıyla duyarlılık ve belirsizlik analizleri gerçekleştirilmektedir (Ortiz vd., 2009).

LCA metodolojisinin en kritik aşamalarından biri olarak kabul edilen yorumlama aşamasında ise elde edilen sonuçların karar vericiler açısından anlaşılabilir hâle getirilmesi hedeflenmekte, bu aşamada yüksek çevresel etkiye sahip bileşenler belirlenmekte, alternatif tasarım senaryoları karşılaştırılmakta

ve elde edilen sonuçlar çeşitli referans değerler veya sertifika sistemleri ile kıyaslanmaktadır (Passer vd., 2016; Röck vd., 2020; Habert vd., 2020).

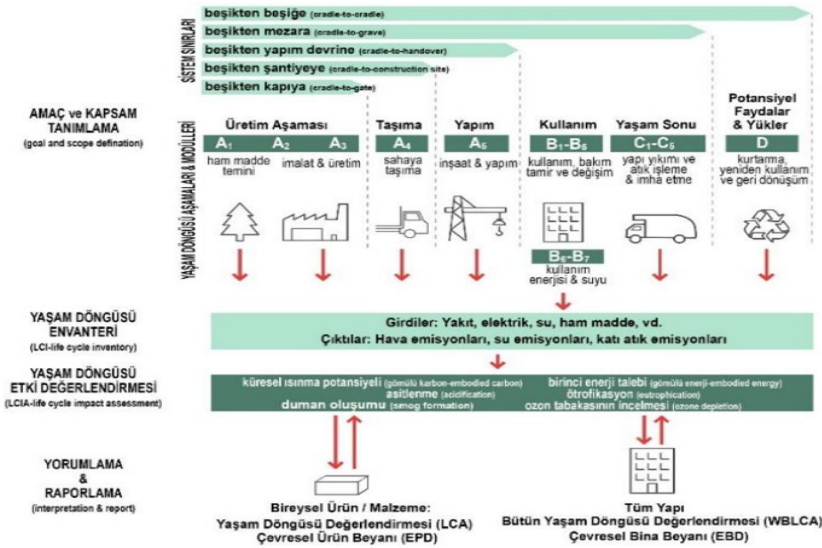
### 3.1. LCA Metodolojisinin Çerçevesi

LCA metodolojisi bir ürünün, sürecin veya faaliyetin tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik nicel bir araç olarak tanımlanmaktadır. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde LCA metodolojisinin erken tasarım aşamasında kullanılması önem arz etmektedir. LCA metodolojisinin yapıların tasarım aşamasında kullanılmasıdaki temel amaç karar verme süreçlerini daha sürdürülebilir çözümler doğrultusunda yönlendirmek ve ürünün çevresel etkilerini tasarım aşamasında öngörerek azaltmaktır (Stranddorf vd., 2005).

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization) tarafından yayımlanan ISO 14040 standardı kapsamında LCA metodolojisi dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar amaç ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanteri (LCI), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) ile yorumlama ve raporlama süreçlerini kapsamaktadır. Söz konusu aşamaların birbirleriyle ilişkili ve tekrarlı (iterative) bir anlayışla ele alındığı, analiz sürecinin bütüncül bir yaklaşımla yürütülmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

LCA metodolojisinin dört temel aşamasını gösteren şematik gösterim Şekil 2’de sunulmaktadır. Bir LCA analizinin aşamalı yapısı bu gösterimde açık biçimde ortaya konmaktadır (Soust-Verdaguer vd., 2017). Bir LCA analizi amaç ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanteri, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yorumlama olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır. ISO 14040 standardı bu aşamaların tamamının bir LCA analizinde yer almasını zorunlu tutmaktadır. Ancak bir LCA çalışmasının sistem sınırlarını ve ayrıntı düzeyini içeren kapsamı, çalışmanın konusuna ve kullanım amacına bağlı olarak oldukça farklılaşmaktadır. Sistem sınırları LCA aşamalarının tamamını veya bir kısmını içerebilmektedir. Sistem sınırları belirlenirken üretim aşaması, taşıma, yapım, kullanım, yaşam sonu gibi aşamaların bir kısmının veya tamamının analize dâhil edilmesi, çalışmanın amacına göre tercihe bağlıdır.

LCA aşamalarının tümünün analize dâhil edildiği ve sistem sınırlarının buna göre belirlendiği analiz “beşikten mezara” olarak ifade edilmektedir. Eğer yeniden kullanım ve geri dönüşüm gibi süreçler de sistem sınırlarına dâhil edilerek yapının ömrünün tamamlanmasından sonraki aşamalardaki çevresel yükler ve kazanımlar da sistem sınırları dâhilinde ele alınırsa bu analiz “beşikten beşiğe” olarak tanımlanmaktadır. Sistem sınırlarının yalnızca hammadde temini, taşıma ve üretim süreçlerini kapsadığı, ürünün fabrikadan çıkışına kadar gerçekleşen yaşam döngüsü aşamalarının değerlendirildiği yaklaşım “beşikten kapıya” olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımda ürünün kullanım, bakım, onarım, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve nihai bertaraf aşamaları sistem sınırlarının dışında bırakılmaktadır. Özellikle çevresel ürün beyanları (EPD), ürün karşılaştırmaları ve üretim süreçlerinin çevresel performansının değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda beşikten kapıya yaklaşımı yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 2. LCA metodolojisinin dört ana aşaması (Soust-Verdaguer vd., 2017).

### 3.1.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

“Yaşam döngüsü” kavramı, bir ürünün hammadde çıkarımından başlayarak üretim, kullanım, bakım ve ömür sonu süreçlerini kapsayacak şekilde nihai bertarafa kadar uzanan temel evrelerini ifade etmektedir. Bu bağlamda LCA metodolojisi, yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında

çevresel etkileri azaltırken diğer aşamalarda artışa neden olmamayı hedefleyen bir dengeleyici araç olarak işlev görmektedir. Başka bir ifadeyle etkilerin bir aşamadan diğerine aktarılmasının önlenmesini sağlayarak toplam çevresel yükün minimize edilmesine katkı sunmaktadır (Stranddorf vd., 2005). Amaç ve kapsam tanımı, LCA sürecinin ilk ve en temel adımıdır ve tüm analiz süreci üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu nedenle amaç ve kapsamın doğru tanımlanması önem arz etmektedir.

LCA metodolojisi kapsamında bir yapının çevresel etkileri hammadde çıkarımından başlayarak üretim, kullanım ve ömür sonu süreçlerini kapsayan tüm yaşam döngüsü boyunca bütüncül biçimde analiz edilebilmektedir. Bu kapsamda yapı üretim sürecinin ilk aşamasından itibaren ortaya çıkan çevresel yüklerin sistematik olarak değerlendirilmesine olanak tanınmakta ve farklı yaşam döngüsü evrelerinde oluşan etkiler karşılaştırılabilir hâle getirilmektedir. Söz konusu değerlendirme yaklaşımının şematik gösterimi Şekil 3'te sunulmakta ve yaşam döngüsü aşamalarının birbirleriyle ilişkili biçimde ele alındığı gösterilmektedir (Bruce-Hyrkäs, 2021).



Şekil 3. Yapı üretimi sürecinde yaşam döngüsü değerlendirmesi (Bruce-Hyrkäs, 2021).

LCA uygulayıcılarının LCA analizi sırasında bir model oluşturdukları göz önünde bulundurulduğunda, karmaşık sistemlerin uygun biçimde temsil edilebilmesi için belirli sınırlandırmaların ve sadeleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Yapılan basitleştirmelerin ve olası sapmaların sonuçlar üzerindeki etkisini en aza indirecek şekilde kurgulanması önem taşımaktadır (Goedkoop vd., 2016). Bu nedenle amaç ve kapsam tanımı, analiz hedefi ile

elde edilen sonuçlar arasındaki tutarlılığın sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte çalışmanın başında açık ve net biçimde tanımlanması gereken amaç ve kapsam, LCA'nın tekrarlı (iterative) yapısı nedeniyle analiz sürecinde ortaya çıkabilecek değişikliklere bağlı olarak gerektiğinde güncellenebilmektedir.

### **3.1.2. Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI)**

Yaşam döngüsü envanteri (LCI) aşamasında binanın tüm yaşam döngüsü boyunca tüketilen malzeme ve enerji miktarları nicel olarak listelenmektedir. Bu aşamada elde edilen veriler genellikle sistemde yer alan girdi ve çıktı akışlarını içerecek biçimde envanter tabloları halinde düzenlenmektedir. Bu süreçte, analiz kapsamında belirlenen sistem sınırları, veri toplama aşamasında elde edilen bulgular doğrultusunda yeniden gözden geçirilerek gerekli durumlarda güncellenebilmektedir. LCA metodolojisinin tekrarlı yapısı gereği, ilk modelleme sonrasında gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda bazı alt sistemler veya süreçler analiz kapsamı dışında bırakılabilmekte, özellikle sonuçlar üzerinde ihmal edilebilir düzeyde etkiye sahip olan malzeme ve enerji akışları sistem sınırlarından çıkarılabilmektedir. Bu yaklaşım, analiz modelinin hem daha yönetilebilir hâle getirilmesine hem de sonuçların anlamlılığının korunmasına katkı sağlamaktadır (Stranddorf vd., 2005).

### **3.1.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA)**

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA) aşamasında, yaşam döngüsü envanteri (LCI) kapsamında elde edilen girdi ve çıktı verileri, çevresel etki kategorilerine dönüştürülerek analiz edilmektedir. Bu süreçte, sera gazı salımları, asidifikasyon, ötrofikasyon ve kaynak tükenmesi gibi çevresel etkiler karakterizasyon faktörleri aracılığıyla nicel olarak ifade edilmektedir (Menoufi, 2011). LCIA aşaması, farklı çevresel etkilerin karşılaştırılabilir şekle getirilmesine olanak tanımakta ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (ISO, 2006). Bu aşamada kullanılan etki değerlendirme yöntemleri (ReCiPe, CML gibi) sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle yöntem seçiminin analiz amaçına uygun biçimde yapılması gerekmektedir (Huijbregts vd., 2017). Etki değerlendirme süreci sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon ve ağırlıklandırma gibi alt adımlardan oluşmaktadır. Bu adımlar çevresel etkilerin yorumlanabilir hâle getirilmesini sağlamaktadır (Guinée vd., 2002).

### 3.1.4. Yorumlama

LCA analizinin nihai aşaması olan yorumlama aşamasında, Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI) ve Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA) kapsamında elde edilen bulgular bütüncül ve kapsayıcı bir yaklaşımla ele alınarak karar verme süreçleri açısından anlamlı çıkarımlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada, sistem içerisinde çevresel etkisi yüksek olan süreçler ve bileşenler ortaya konmakta ve bu kapsamda kritik etki noktalarının neler olduğu belirlenmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçların güvenilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla duyarlılık ve belirsizlik analizlerinin yapılması da yapılan LCA analizini destekleyen hususlardan biridir. Böylece, model varsayımlarının ve veri kalitesinin sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiş olmaktadır (ISO, 2006). Yorumlama sürecinde, alternatif tasarım senaryoları karşılaştırılarak elde edilen bulgular sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda değerlendirilebilmekte ve sonuçlar karar mekanizmalarına entegre edilebilmektedir. Bu aşama, LCA çalışmasının başlangıçta tanımlanan amaç ve kapsamı ile elde edilen sonuçlar arasındaki tutarlılığın sağlanmasında belirleyici bir rol üstlenmektedir (Heijungs ve Suh, 2002).

### 3.2. Yapı Sektöründe LCA Metodolojisinin Kullanımı

Son yıllarda, yapı tasarım süreçlerinde LCA metodolojisinin kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yapılar, yüksek miktarda yapı malzemesi kullanımını gerektiren ve uzun kullanım ömürleri boyunca önemli düzeyde enerji tüketimi oluşturan karmaşık sistemlerdir. Bu nedenle, yapıların çevresel performansı hem kullanılan malzemelerin özellikleri ve miktarları hem de işletme sürecindeki enerji ve kaynak tüketimi tarafından belirlenmektedir (Lasvaux vd., 2017; Röck vd., 2020). Geleneksel yaklaşımlarda yapıların çevresel değerlendirmeleri büyük ölçüde enerji performansı düzenlemeleri ve çeşitli çevresel sertifikasyon sistemleri çerçevesinde ele alınmakta, enerji verimliliği odaklı politikalar ve sertifikasyon uygulamaları ön plana çıkmaktadır (Economidou vd., 2020; Georg ve Justesen, 2017; Schweber, 2013; Thomson ve El-Haram, 2019). Bununla birlikte, bina ölçeğinde gerçekleştirilen LCA çalışmalarında belirgin bir artış gözlemlenmesine rağmen, bu yöntemin tasarım ve karar verme süreçlerine nasıl etkin biçimde entegre edileceğine ilişkin bilgi birikiminin sınırlı olduğu ifade edilmektedir (Fnais vd., 2022; Roberts vd., 2020; Francart vd., 2022).



Uygulamada yapıların tasarım ve inşa süreçleri yerel pazar dinamikleri ile proje alanına özgü fiziksel koşullara uyum sağlayacak şekilde proje bazlı olarak yürütülmektedir (Dubois ve Gadde, 2002; Winch, 2010). Planlama aşamasında, yeni bir yapıya ilişkin hedefler ve gereksinimler tanımlanmakta, bu doğrultuda başlangıçta kavramsal düzeyde oluşturulan tasarım ilerleyen süreçlerde detaylandırılarak nihai projeye dönüştürülmektedir. Erken tasarım aşamalarının yapıların çevresel etkilerinin azaltılmasında kritik bir rol oynadığı bilinmesine rağmen, LCA çalışmaları çoğunlukla tasarım sürecinin ilerleyen safhalarında gerçekleştirilmektedir (Hansen vd., 2023; Meex vd., 2018; Roberts vd., 2020; Soust-Verdaguer vd., 2022). Bu durum, çevresel performansın tasarım kararlarına etkin biçimde entegre edilmesini sınırlamaktadır. LCA metodolojisinin yapılar için en etkin biçimde kullanılabilmesi, ilk tasarım aşamasından başlayarak proje ve yapım süreçlerinin tamamına bütüncül biçimde entegre edilmesine bağlıdır.

#### **4. CEPHE TASARIM ÖLÇÜTLERİNİN LCA PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek yapılarda cephe tasarımına ilişkin kararlar, yapının enerji performansını, kullanıcı konforunu ve yapısal güvenliğini belirlemenin yanı sıra, yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkiler üzerinde de doğrudan belirleyici olmaktadır. Cephe tasarımına ilişkin değerlendirmelerin önemli bir bölümü teknik performans, estetik özellikler veya ilk yatırım maliyeti gibi ölçütler üzerinden yapılmaktadır. Bu yaklaşım, cephe sistemlerinin üretiminden kullanım ömrünün sonuna kadar geçen süreçte oluşan çevresel etkilerin tasarım kararlarına yeterince yansıtılamamasına neden olmaktadır. Oysa sürdürülebilirlik açısından gerçek performans, cephe sistemlerinin yalnızca kullanım aşamasındaki davranışlarıyla değil, yaşam döngüsünün tamamında ortaya çıkan çevresel yüklerin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenebilmektedir.

LCA, cephe tasarımında dikkate alınan performans ölçütlerini ortak bir çevresel değerlendirme zemini üzerinde ele alma imkânı sunmaktadır. Enerji verimliliği, malzeme seçimi, bakım gereksinimi, dayanıklılık ve hizmet ömrü gibi tasarım kararları, yaşam döngüsünün farklı evrelerinde farklı çevresel sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle herhangi bir performans ölçütünün tek başına iyileştirilmesi, toplam çevresel etkinin azalacağı anlamına

gelmemektedir. Cephe tasarımında sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için, farklı tasarım alternatiflerinin yaşam döngüsü boyunca neden oldukları çevresel etkilerin birlikte değerlendirilmesi ve karar sürecinin bu bütüncül bakış açısıyla yürütülmesi gerekmektedir. Bu bölümde, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımını şekillendiren temel performans ölçütleri, yaşam döngüsü değerlendirmesi perspektifinden ele alınarak söz konusu ölçütlerin çevresel performans üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Bu kapsamda amaç, hangi cephe sisteminin en iyi olduğunu belirlemekten ziyade, farklı tasarım kararlarının yaşam döngüsünün hangi aşamalarında çevresel yük oluşturduğunu ortaya koymak ve bu kararlar arasında oluşabilecek çevresel ödünleşmeleri görünür hâle getirmektir.

#### **4.1. Enerji Verimliliği ve Operasyonel Enerji Performansı**

Sürdürülebilir cephe tasarımında enerji verimliliği, en temel değerlendirme ölçütlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yüksek yapılarda cephe sistemleri aracılığıyla gerçekleşen ısı kazançları ve kayıpları, toplam enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, cephelerde ısı yalıtım performansının artırılması, güneş kontrolünün sağlanması ve doğal aydınlatmadan etkin biçimde yararlanılması enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle üç katmanlı cam cephe sistemlerine entegre edilen ışık saptırıcı elemanlarının, iç mekân gün ışığı kalitesini artırırken enerji performansını iyileştirdiği deneysel verilerle ortaya konulmuştur (Kazanas vd., 2014).

Özellikle cam ağırlıklı cephe sistemlerinde cam türünün seçimi, cephe açıklık oranları ve gölgeleme elemanlarının tasarımı, yapının kullanım aşamasındaki enerji tüketimini ifade eden operasyonel enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Literatürde, enerji verimliliği odaklı cephe çözümlerinin yapıların kullanım aşamasındaki enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı vurgulanmaktadır (Ochoa vd., 2012). Bununla birlikte, yalnızca operasyonel enerji performansına odaklanan yaklaşımların, cephe sistemlerinin tüm yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkileri yeterince yansıtmadığı değerlendirilmektedir.

#### **4.2. İç Mekân Konforu ve Kullanıcı Gereksinimleri**

Cephe sistemlerinin, iç mekânlarda sağlanan ısı, görsel ve akustik konfor koşulları üzerinde doğrudan etkili olduğu bilinmektedir. Sürdürülebilir

cephede tasarımı, enerji verimliliği hedefleri ile kullanıcı konforunun dengeli biçimde sağlanması gerekmektedir. Gün ışığından yeterli düzeyde yararlanılması, kamaşmanın kontrol altına alınması ve iç mekân sıcaklık dengesinin korunması, kullanıcı sağlığı ve mekânsal kalite açısından kritik öneme sahiptir (Heschong vd., 2002). Uygun şekilde tasarlanan cephe sistemleri, kullanıcı memnuniyetine ve çalışma verimliliğine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir cephe tasarımının yalnızca enerji tasarrufuna odaklanmaması, aynı zamanda kullanıcı odaklı bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir (Mostafavi vd., 2021).

### 4.3. Malzeme Seçimi ve Çevresel Etkileri

Cephe sistemlerinde kullanılan malzemelerin çevresel etkileri, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Malzeme seçimi, gömülü enerji, karbon ayak izi ve doğal kaynak tüketimi gibi çevresel göstergeler üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle cephe tasarımı düşük karbon ayak izine sahip, geri dönüştürülebilir ve uzun ömürlü malzemelerin tercih edilmesinin sürdürülebilirlik açısından öncelikli bir ölçüt olduğu değerlendirilmektedir (ISO, 2006). Yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan cam ve alüminyum üretim aşamalarında yüksek miktarda enerji tüketimine ve dolayısıyla sera gazı salımına neden olmaktadır. Bu nedenle cephe sistemlerinin çevresel performansı yalnızca kullanım aşamasındaki etkilerle değil, üretimden kullanım sonuna kadar tüm yaşam döngüsü boyunca değerlendirilmelidir (Cabeza vd., 2014).

### 4.4. İklim Koşullarına Uyum ve Dayanıklılık

Cephe sistemlerinin yerel iklim koşullarına uyum sağlayacak şekilde tasarlanması, sürdürülebilirliğin temel gereklilikleri arasında yer almaktadır. Yüksek yapılarda cepheler rüzgâr yükleri, sıcaklık değişimleri, güneş ışınımı ve yağış gibi çevresel etkilere doğrudan maruz kalmaktadır. Bu nedenle cephe sistemlerinin iklimsel etkiler karşısında dayanıklı olacak biçimde tasarlanması gerekmektedir (CTBUH, 2020). İklim koşullarına uyum sağlayamayan cephe sistemlerinde kullanım süreci boyunca bakım, onarım ve yenileme gereksinimleri artabilmekte, bu durum hem ekonomik maliyetleri hem de yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkileri artırabilmektedir. Bu nedenle cephe sistemlerinin yerel iklim koşullarına uygun biçimde tasarlanması, yalnızca dayanıklılığın artırılmasına değil, aynı zamanda kaynak kullanımının

azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine de katkı sağlamaktadır. İklim değişikliği kaynaklı aşırı hava olaylarının artmasıyla birlikte, cephe sistemlerinde dayanıklılık ve iklim koşullarına uyum ölçütlerinin önemi artmıştır.

#### 4.5. Güvenlik ve Hizmet Ömrü

Yüksek yapılarda kullanılan cephe sistemlerinde yangın güvenliği, yapısal dayanım ve kullanıcı güvenliği sürdürülebilir tasarımın ayrılmaz bileşenleridir. Cephe sistemlerinin yangına dayanımı, kullanılan malzemelerin özellikleri ve detay çözümleri ile doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında, cephe sistemlerinin rüzgâr yükleri, sıcaklık değişimleri ve diğer çevresel etkilere karşı uzun süre performansını koruyabilmesi, kullanım sürecindeki bakım ve onarım gereksinimlerinin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Erken bozulma veya sık yenileme gerektiren cephe sistemleri, yalnızca ekonomik maliyetleri artırmakla kalmamakta, aynı zamanda ilave malzeme ve enerji kullanımına bağlı olarak yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkileri de artırabilmektedir. Cephe sistemlerinin uzun hizmet ömrüne sahip olması, bakım, onarım ve yenileme gereksinimlerini azaltarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Ali ve Armstrong, 2008).

### 5. BÜTÜNCÜL DEĞERLENDİRME VE TASARIM YAKLAŞIMI

Yüksek yapılarda cephe tasarımının, birbirinden bağımsız performans ölçütlerinin ayrı ayrı optimize edildiği doğrusal bir süreç olarak değerlendirilemeyeceği düşünülmektedir. Tasarım sürecinde alınan tek bir karar, aynı anda birden fazla performans ölçütünü etkileyebilmekte ve bu etkiler yaşam döngüsünün farklı aşamalarında farklı çevresel sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin, cephede cam kullanım oranının artırılması iç mekânlara ulaşan doğal gün ışığını artırarak yapay aydınlatma ihtiyacını azaltabilmektedir. Bununla birlikte, aynı tasarım kararı güneşten kaynaklanan ısı kazançlarını artırarak soğutma yüklerinin yükselmesine neden olabilmekte ve yüksek miktarda cam kullanımına bağlı olarak üretim aşamasındaki gömülü karbon salımını da artırabilmektedir. Bu durum, tek bir tasarım kararının yaşam döngüsünün farklı aşamalarında birbirinden farklı çevresel sonuçlar ortaya çıkarabileceğini göstermektedir.

Cephe sistemlerinde daha yüksek ısı performans sağlamak amacıyla yalıtım kalınlığının artırılması da yaşam döngüsü perspektifinden değerlendirilmesi gereken tasarım kararlarından biridir. Yalıtım kalınlığının artırılması, kullanım aşamasında enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlarken, kullanılan yalıtım malzemesi miktarındaki artış üretim aşamasında ilave enerji tüketimine ve sera gazı salımına neden olabilmektedir. Dolayısıyla enerji tüketimindeki azalma ile malzeme üretiminden kaynaklanan çevresel yük arasında bir denge kurulması gerekmektedir.

Çift cidarlı cephe sistemleri de yaşam döngüsü perspektifinden benzer bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu sistemler, doğal havalandırma olanaklarını geliştirmesi ve enerji performansını iyileştirmesi bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak ikinci cephe kabuğunun oluşturulması için ilave cam, alüminyum ve taşıyıcı eleman kullanılması, üretim aşamasındaki malzeme tüketimini ve buna bağlı çevresel etkileri artırabilmektedir. Bu nedenle çift cidarlı cephe sistemlerinin sürdürülebilirliği, yalnızca operasyonel enerji tasarrufu üzerinden değil, yaşam döngüsünün tamamı dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Cephe malzemelerinin seçimi de yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkiler bakımından benzer değerlendirmeleri gerektirmektedir. Uzun hizmet ömrüne sahip ve bakım gereksinimi düşük malzemeler kullanım sürecinde çevresel yükün azalmasına katkı sağlayabilmekte, ancak bu malzemelerin üretim süreçleri daha yüksek enerji tüketimi ve karbon salımı gerektirebilmektedir. Buna karşılık daha düşük gömülü karbon değerine sahip bazı malzemeler ise daha kısa hizmet ömrü veya daha sık bakım gereksinimi nedeniyle kullanım sürecinde ilave çevresel yük oluşturabilmektedir.

Sürdürülebilir cephe tasarımında herhangi bir performans ölçütünün tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir. Tasarım kararlarının çevresel sonuçları, yaşam döngüsünün farklı aşamalarında farklı biçimlerde ortaya çıkmakta ve çoğu zaman birbirleriyle çelişen etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir cephe tasarımında temel amaç, belirli bir performans ölçütünü en üst düzeye çıkarmaktan ziyade, farklı tasarım alternatiflerinin yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkiler arasında en uygun dengeyi kurabilmektir.

Cephe tasarımında farklı çevresel etkiler arasında kaçınılmaz olarak belirli ödünleşmeler (trade-off) ortaya çıkmaktadır. Tasarım sürecinde alınan kararlar, yaşam döngüsünün farklı aşamalarında birbirinden farklı çevresel

sonuçlar doğrulamakta ve bir performans ölçütünün iyileştirilmesi başka bir performans ölçütünün olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir cephe tasarımında tek bir performans ölçütünün esas alınması çoğu zaman yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Farklı tasarım alternatiflerinin yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkilerin birlikte değerlendirilmesi, daha dengeli ve sürdürülebilir tasarım kararlarının alınabilmesi açısından önem taşımaktadır.

LCA metodolojisinin temel katkısı da bu noktada ortaya çıkmaktadır. LCA, farklı tasarım alternatiflerinin çevresel etkilerini ortak bir değerlendirme çerçevesinde inceleyerek, çevresel yüklerin yaşam döngüsünün hangi aşamalarında yoğunlaştığını ve tasarım kararlarının bu dağılımı nasıl değiştirdiğini nicel olarak ortaya koymaktadır. Böylece tasarım sürecinde yalnızca belirli bir performans ölçütünün iyileştirilmesi yerine, farklı çevresel etkiler arasında dengeli ve gerekçelendirilebilir kararlar alınabilmesine olanak sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle LCA, sürdürülebilir cephe tasarımında “en iyi” çözümü belirleyen bir yöntem olmaktan ziyade, farklı tasarım seçeneklerinin çevresel sonuçlarını karşılaştırılabilir hâle getiren bilimsel bir karar destek aracıdır.

Bu bölümde yapılan değerlendirmeler, cephe sistemlerinin çevresel performansının herhangi bir tasarım ölçütünden bağımsız olarak açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Cepheye ilişkin tasarım kararları, yaşam döngüsünün farklı aşamalarında birbirinden farklı çevresel sonuçlar doğurduğundan, tasarım sürecinin de bu ilişkileri dikkate alan bütünlük bir değerlendirme anlayışıyla yürütülmesi gerekmektedir. Bu yönüyle LCA, cephe tasarımına sonradan eklenen bir analiz yöntemi olmaktan ziyade, tasarım kararlarının çevresel sonuçlarını ortaya koyan ve alternatiflerin karşılaştırılmasına imkân veren analitik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek yapılar, artan kentleşme, sınırlı arazi kaynaklarının etkin kullanımı ve değişen kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda çağdaş kentlerin temel yapı tipolojilerinden biri hâline gelmiştir. Bununla birlikte, bu yapıların inşasında kullanılan yüksek miktardaki malzeme, uzun kullanım ömürleri boyunca gerçekleşen enerji tüketimi ve kullanım ömrü sonunda ortaya çıkan

çevresel etkiler, yüksek yapıların yalnızca işletme performansları üzerinden değerlendirilmesini sürdürülebilirlik açısından yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle, özellikle yapı kabuğunu oluşturan cephe sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerinin tasarım sürecinin ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmeler, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımının tek bir performans ölçütü üzerinden tanımlanamayacağını ortaya koymaktadır. Cephe sistemlerinin yapısal güvenlik, enerji verimliliği, kullanıcı konforu, dayanıklılık ve hizmet ömrü gibi farklı performans gereksinimlerini aynı anda karşılaması beklenirken, bu gereksinimlere yönelik tasarım kararlarının yaşam döngüsünün farklı evrelerinde farklı çevresel sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir cephe tasarımında temel amaç, herhangi bir performans ölçütünün en yüksek düzeye ulaştırılmasından çok, birbirini etkileyen tasarım hedefleri arasında dengeli ve gerekçelendirilebilir kararların alınabilmesidir.

İncelenen literatür, yüksek yapılara ilişkin sürdürülebilirlik çalışmalarının büyük ölçüde operasyonel enerji tüketiminin azaltılmasına odaklandığını, buna karşılık malzeme üretiminden kaynaklanan gömülü çevresel etkilerin, bakım süreçlerinin ve kullanım ömrü sonu senaryolarının tasarım kararlarıyla birlikte ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. LCA metodolojisini kullanan araştırmaların önemli bir kısmı, farklı cephe sistemlerinin çevresel performanslarını nicel olarak ortaya koymakla birlikte, elde edilen bulguların tasarım kararlarına nasıl yansıtılabileceği yeterince tartışılmamaktadır. Bu durum, LCA metodolojisinin yalnızca bir analiz yöntemi olarak değil, tasarım sürecini yönlendiren bir karar destek aracı olarak ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, sürdürülebilir cephe tasarımına ilişkin temel performans ölçütlerini LCA perspektifinde birlikte ele alarak farklı tasarım kararlarının çevresel sonuçlarının birbirinden bağımsız değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Özellikle enerji verimliliği, malzeme seçimi, hizmet ömrü ve bakım gereksinimi gibi ölçütlerin birbirleriyle etkileşim içerisinde olduğu; bir performans ölçütünde sağlanan iyileşmenin yaşam döngüsünün başka bir aşamasında çevresel yükün artmasına neden olabileceği görülmektedir. Bu nedenle cephe tasarımına ilişkin kararların, yaşam döngüsünün farklı aşamalarında ortaya çıkan çevresel etkiler dikkate alınarak verilmesi,

sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından daha sağlıklı bir değerlendirme zemini oluşturmaktadır.

Gelecekte yürütülecek çalışmaların, kavramsal değerlendirmelerin ötesine geçerek farklı cephe sistemlerine ilişkin yaşam döngüsü analizlerinin gerçek bina uygulamaları üzerinde karşılaştırılmasına odaklanmasının literatüre önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir. LCA metodolojisinin bina bilgi modellemesi (BIM), parametrik tasarım araçları ve sayısal optimizasyon yöntemleri ile birlikte kullanıldığı karar destek modellerinin geliştirilmesi, çevresel performansın tasarım sürecinin erken aşamalarında dikkate alınmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca farklı iklim koşullarına, yapı yüksekliklerine ve cephe tipolojilerine yönelik geliştirilecek karşılaştırmalı çalışmaların, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımına yönelik tasarım ilkelerinin daha nesnel ve uygulamaya dönük biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, yüksek yapılarda sürdürülebilir cephe tasarımı, herhangi bir performans ölçütünün bağımsız olarak iyileştirilmesine dayanan bir süreç değil, yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok ölçütlü bir karar problemidir. LCA metodolojisi ise bu karar sürecinde farklı tasarım alternatiflerinin çevresel sonuçlarını karşılaştırılabilir hâle getirerek, sürdürülebilirlik hedeflerinin bilimsel verilere dayalı biçimde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu yönüyle LCA, cephe tasarımının son aşamasında uygulanan bir doğrulama aracı olmaktan ziyade, tasarım sürecini yönlendiren temel karar destek araçlarından biri olarak değerlendirilmelidir.



## KAYNAKÇA

- Aksamija, A. (2013). *Sustainable facades: Design methods for high-performance building envelopes*. John Wiley & Sons.
- Ali, M. ve Armstrong, P. (2008). Overview of sustainable design factors in high-rise buildings. İçinde Proceedings of the CTBUH 8th World Congress (s. 1-10). Council on Tall Buildings and Urban Habitat.
- Ali, M. M. ve Al-Kodmany, K. (2012). Tall buildings and urban habitat of the 21st century: A global perspective. *Buildings*, 2(4), 384–423.
- Al-Kodmany, K. ve Ali, M. M. (2013). *The future of the city: Tall buildings and urban design*. WIT Press.
- Allacker, K., Castellani, V., Baldinelli, G., Bianchi, F., Baldassarri, C. ve Sala, S. (2019). Energy simulation and LCA for macro-scale analysis of eco-innovations in the housing stock. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(6), 989–1008.
- Aytıs, S. (1996). Yüksek binaların yapım kriterleri ve bu kriterlerin İstanbul'dan dört örnek üzerinde analizi [Doktora tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 51838)
- Beall, C. (2000). Water penetration in building envelopes. *Interface*, 18(4), 29–36.
- Blocken, B., Abuku, M., Roels, S. ve Carmeliet, J. (2009). Wind-driven rain on building facades: Some perspectives. Proceedings of the 5th European and African Conference on Wind Engineering (EACWE2009), Floransa, İtalya.
- Blocken, B., Derome, D. ve Carmeliet, J. (2013). Rainwater runoff from building facades: A review. *Building and Environment*, 60, 339–361.
- Blocken, B. ve Carmeliet, J. (2015). Wind-driven rain infiltration, runoff and drying on window glass surfaces: Numerical modeling based on experimental validation. *Building and Environment*, 84, 170–180.
- Bonner, M. ve Rein, G. (2018). Flammability and multi-objective performance of building façades: Towards optimum design. *International Journal of High-Rise Buildings*, 7(4), 363–374.
- Boswell, C. K. (2013). *Exterior building enclosures: Design process and composition*. John Wiley & Sons.

- Bruce-Hyrkäs, T. (2021). Building life cycle assessment white paper: Discover why you need LCA to build sustainably. One Click LCA.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. ve Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394–416.
- Ching, F. D. K. (2014). Building construction illustrated (5. baskı). John Wiley & Sons.
- Ciravoğlu, A. (2007). Sürdürülebilir mimarlık ve yüksek yapılar. *Mimarist*, (25), 68–71.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat [CTBUH]. (2024, 10 Ekim). Height criteria for measuring & defining tall buildings [Teknik rapor].
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat. (2020). Tall buildings and urban habitat: Sustainability guidelines.
- Çakır, G. (2011). Sürdürülebilir mimarlık bağlamında yüksek yapıların irdelenmesi [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 297746)
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Çevresel gürültü kontrol yönetmeliği. Resmî Gazete (Sayı: 32029).
- Çüçen, A. ve Altuncı, Y. T. (2022). Yüksek yapıların yapım tekniklerinin incelenmesi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 5(1), 20–32.
- Dubois, A. ve Gadde, L. E. (2002). The construction industry as a loosely coupled system: Implications for productivity and innovation. *Construction Management and Economics*, 20(7), 621–631.
- Economidou, M., Todeschi, V., Bertoldi, P., D'Agostino, D., Zangheri, P. ve Castellazzi, L. (2020). Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225, Makale 110322.
- Fitzgerald, R. W. (2004). *Building fire performance analysis*. John Wiley & Sons.
- Fitzgerald, R. W. ve Meacham, B. J. (2017). *Fire performance analysis for buildings*. John Wiley & Sons.
- Fnaïs, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghoroghi, A. ve Kubicki, S. (2022). The application of life cycle assessment in buildings:

- Challenges and directions for future research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(4), 627–654.
- Francart, N., Polycarpou, K., Malmqvist, T. ve Moncaster, A. (2022). Demands, default options and definitions: How sustainability is mediated in public housing projects in Sweden and Cyprus. *Energy Research & Social Science*, 92, Makale 102765.
- Gao, G., Zhao, L., Wang, C., Grunewald, J. ve Li, L. (2017). Wind-driven rain on a building facade in an urban environment. *Procedia Engineering*, 205, 1678–1684.
- Gao, J., Shen, Z., Shao, Z., Pan, X., Tang, D., Zhao, K., Feng, J. ve Lv, H. (2024). Carbon emission analysis of RC core wall-steel frame structures. *Applied Sciences*, 14(17), Makale 7727.
- Georg, S. ve Justesen, L. (2017). Counting to zero: Accounting for a green building. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 30(5), 1065–1081.
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T. ve Meijer, E. (2016). Introduction to LCA with SimaPro. PRé Sustainability.
- Grondzik, W. T., Kwok, A. G., Stein, B. ve Reynolds, J. S. (2010). *Mechanical and electrical equipment for buildings* (11. baskı). John Wiley & Sons.
- Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R. ve Huijbregts, M. A. (2002). Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers.
- Gülakan, E. (2014). Yüksek yapılarda uygulanan yapım teknolojilerinin irdelenmesi ve sorunların ortaya konması [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 370425)
- Habert, G., Röck, M., Steininger, C., Lupísek, A., Birgisdottir, H., Desing, H., Chandrakumar, J., Pittau, F., Passer, A., Rovers, R., Slavkovic, K., Hollberg, A., Hoxha, E., Jusselme, T., Nault, E., Allacker, K. ve Lützkendorf, T. (2020). Carbon budgets for buildings: Harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions. *Buildings and Cities*, 1(1), 429–452.

- Hansen, R. N., Hoxha, E., Rasmussen, F. N., Ryberg, M. W., Andersen, C. E. ve Birgisdóttir, H. (2023). Enabling rapid estimation of quantities to accelerate LCA for decision support in early building design. *Journal of Building Engineering*, 76, Makale 106974.
- Harmankaya, Z. Y. ve Soyluk, A. (2010, 15–16 Nisan). Giydirmce cephe sistemlerinin bina ile bütünleşmesinde kullanılabilecek performans ölçütlerinin ve bağıl önemlerinin belirlenmesi [Bildiri sunumu]. 5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Heijungs, R. ve Suh, S. (2002). *The computational structure of life cycle assessment*. Springer.
- Herrmann, E. M., Krammer, M., Sturm, J. ve Wartzeck, S. (2015). Enclose | Build: Walls, facade, roof (A. Reichel ve K. Schultz, Ed.). Birkhäuser.
- Herzog, T., Krippner, R. ve Lang, W. (2008). Cephe yapım kılavuzu. Birkhäuser.
- Heschong, L., Wright, R. L. ve Okura, S. (2002). Daylighting impacts on human performance in school environments. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), 101–114.
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. ve Van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework.
- Jin, Q. (2013). A whole life value optimization model for facade design [Doktora tezi, University of Cambridge]. Apollo - University of Cambridge Repository.
- Junnla, S., Horvath, A. ve Guggemos, A. A. (2006). Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(1), 10–17.
- Katırcıoğlu, N. (2016). Yüksek yapıların avantajlarının ve dezavantajlarının İstanbul örneği üzerinde irdelenmesi [Yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 444360)

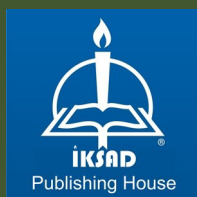
- Kazanasmaz, T., Grobe, L. O., Bauer, C., Krehel, M. ve Wittkopf, S. (2014). Three-layered glass façade system with integrated light-deflecting elements: Daylighting and energy performance. *Energy and Buildings*, 78, 1–13.
- Kazimov, T., Arslan Selçuk, S. ve Ilgın, H. E. (2017). Yüksek binalarda performatif tasarım: Shangai Kulesi örneği. *Yapı Dergisi*, (428), 118–126.
- Khallaf, M. ve Jupp, J. (2017). Performance-based design of tall building envelopes using competitive wind load and wind flow criteria. *Procedia Engineering*, 180, 583–592.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M. ve Auer, T. (2007). *Façades: Principles of construction*. Birkhäuser.
- Koçlar Oral, G., Köknel Yener, A. ve Tamer Bayazıt, N. (2004). Building envelope design for providing thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Building and Environment*, 39(3), 281–287.
- Krem, M. (2012). The effect of building morphology on the energy and structural performance of high-rise office buildings [Doktora tezi, University of Massachusetts Amherst]. ScholarWorks@UMass Amherst.
- Kutlu, R. (2008). İlköğretim dersliklerinde aydınlatma enerjisi yönetimi açısından yönlere uygun cephe seçeneklerinin belirlenmesi üzerine bir yaklaşım [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 234190)
- Kültür, S. (2019). Cephe tasarımı için bütünsel bir karar destek aracı [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 542456)
- Künzel, H. (2015). Criteria defining rain-tight exterior insulation cladding systems. *Energy Procedia*, 78, 2524–2529.
- Lasvaux, S., Favre, R., Périsset, B. ve Citherlet, J. (2017). Towards benchmark values for building environmental performance: An application to the statistical analysis of a LCA database of 40 low-energy single-family houses in France. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(5), 657–674.

- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X. ve Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249–3263.
- Mazumder, R., Spiers, H. J. ve Ellard, C. G. (2022). Exposure to high-rise buildings negatively influences affect: Evidence from real world and 360-degree video. *Cities & Health*, 6(6), 1081–1093.
- Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L. ve Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228–236.
- Menoufi, K. A. I. (2011). Life cycle analysis and life cycle impact assessment methodologies: A state of the art [Yüksek lisans tezi, Universitat de Lleida]. Repositori Obert de la Universitat de Lleida.
- Mostafavi, F., Tahsildoost, M. ve Zomorodian, Z. (2021). Energy efficiency and carbon emission in high-rise buildings: A review (2005-2020). *Building and Environment*, 206, Makale 108329.
- Mostafavi, M., Doherty, G. ve Ecological Urbanism Project. (2021). *Ecological urbanism*. Lars Müller Publishers.
- Ochoa, C. E., Capeluto, I. G. ve Gómez-Azpeitia, G. (2012). Evaluation of window-to-wall ratio for different climates and building orientations. *Energy and Buildings*, 55, 356–366.
- Oldfield, P. (2012). Tall buildings and sustainability [Doktora tezi, Nottingham Üniversitesi]. Nottingham ePrints. Skyline.
- Olsson, L. (2017). Rain resistance of facades with facade details: A summary of three field and laboratory studies. *Journal of Building Physics*, 41(3), 253–274.
- Oraklıbel, A. (2014). Giydirmce cephe sistemlerinin bina ile bütünleşmesinde kullanılabilecek performans ölçütlerinin ve bağıl önemlerinin belirlenmesi [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 370217)
- Ortiz, O., Castells, F. ve Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction sector: A review of recent LCA-based developments. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28–39.
- Özgen, A. ve Sev, A. (2000). Çok katlı yüksek yapılarda taşıyıcı sistemler. Birsan Yayınevi.

- Park, H. (2014). Development of a holistic approach for integrating fire safety performance into building design [Doktora tezi, Worcester Polytechnic Institute]. Digital WPI.
- Passer, A., Ouellet-Plamondon, C., Kenneally, P., John, V. ve Habert, G. (2016). The impact of future scenarios on building renovation strategies towards plus energy buildings. *Energy and Buildings*, 124, 153–163.
- Potekhin, I., Mischenko, V., Mottaeva, A. ve Zheltenkov, A. (2018). Evaluation of possibility to increasing sustainability of high-rise buildings through use university intellectual property. *E3S Web of Conferences*, 33, Makale 03020.
- Ramachandran, S. (2004). An integrated computer tool to support the building envelope design process [Yüksek lisans tezi, Concordia University]. Spectrum Research Repository.
- Rich, P. ve Dean, Y. (1999). *Principles of element design*. Butterworth-Heinemann.
- Roberts, M., Allen, S. ve Coley, D. (2020). Life cycle assessment in the building design process - A systematic literature review. *Building and Environment*, 185, Makale 107274.
- Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T. ve Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, Makale 114107.
- Schittich, C. (Ed.). (2006). *Building skins: Concepts, layers, materials* (Genişletilmiş ed.). Birkhäuser.
- Schweber, L. (2013). The effect of BREEAM on clients and construction professionals. *Building Research & Information*, 41(2), 129–145.
- Sev, A. (2002). Yüksek yapıların mimari tasarım ve taşıyıcı sistem açısından analizi [Doktora tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Soust-Verdaguer, B., Bernardino Galeana, I., Llatas, C., Montes, M. V., Hoxha, E. ve Passer, A. (2022). How to conduct a consistent environmental, economic, and social assessment in the building design process? A BIM-based life cycle sustainability assessment method. *Journal of Building Engineering*, 45, Makale 103516.

- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. ve García-Martínez, A. (2017). Critical review of BIM-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110–120.
- Stranddorf, H. K., Hoffmann, L. ve Schmidt, A. (2005). Impact categories, normalisation and weighting in LCA (Environmental News No. 78). Danish Environmental Protection Agency.
- Şener Yılmaz, F. (2016). Binalarda günışığı performansının belirlenmesi için bir cephe tasarımı yaklaşımı önerisi. *İTÜ Dergisi/a: Az Mimarlık*, 13(2), 57–64.
- Thomson, C. S. ve El-Haram, M. A. (2019). Does the evolution of building sustainability assessment methods promote the desired sharing of knowledge among project stakeholders? *Construction Management and Economics*, 37(8), 433–460.
- Toydemir, N., Gürdal E. ve Tanaçan L. (2019). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme* (4. Baskı). Literatür Yayıncılık.
- Vongsingha, P. (2015). Wind adaptive building envelope for mitigating wind effect in high-rise [Teknik rapor]. Architectural Association School of Architecture. Open Thesis.
- Wang, X. ve Liu, X. (2015). Blue Star: Proposed energy efficient high-rise buildings and vertical city strategies in Chicago. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 241–259.
- Winch, G. (2010). *Managing construction projects: An information processing approach* (2. baskı). Wiley-Blackwell.
- Yu, M. L. (2014). *Skins, envelopes, and enclosures: Concepts for building facade design*. Routledge.
- Zhang, Y., Chen, S. ve Pan, W. (2024). Systematic initial embodied carbon assessment of concrete modular high-rise residential buildings: A case in Hong Kong. *Building and Environment*, 265, Makale 111917.
- Zhu, W. ve Chiu, R. L. (2011). *The planning and design of environmentally sustainable high-rises*. B. Yuen ve A. Yeh (Eds.), *High-rise living in Asian cities içinde* (s. 49–67). Springer.





ISBN: 978-625-378-690-8