

EDİTÖR

Prof. Dr. Z. Özlem PARLAK BİÇER

Alanında Araştırmalar
ve Değerlendirmeler

MİMARLIK

Haziran 2025

İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel
Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı
Editör • Prof. Dr. Z. Özlem PARLAK BİÇER

Birinci Basım • Haziran 2025 / ANKARA

ISBN • 978-625-388-416-1

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt
No: 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com
gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt
Bizim Buro
Sertifika No: 42488

Mimarlık Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

Haziran 2025

Editör:
Prof. Dr. Z. Özlem PARLAK BİÇER

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

KENTSEL DONATI TASARIMINDA BİYOMORFİK DOĞAL TAŞ KULLANIMI: DİYARBAKIR PARKLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

Gül Şebnem TUTAL, F. Demet AYKAL.....1

BÖLÜM 2

ERKEN TASARIMDA VERİ AKTARIMI VE BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK SORUNLARI: BIM TABANLI BEM SÜREÇLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nahide NANVAI FARKHAD, Figen BEYHAN15

BÖLÜM 3

MİMARLIKTAKİ BİR FORM ÜRETME VE YAPI KURMA STRATEJİSİ OLARAK MORFOGENEZ YAKLAŞIM: ACHİM MENGES'İN PARAMETRELERİ İLE DENEYSEL PAVYONLARI OKUMAK

Sevim Seyhan AYTEN, Halide İrem ERKAN KAYA43

BÖLÜM 4

PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNDE TAHLİYE SİMÜLASYONLARI VE YAZILIMLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Muammer YAMAN.....73

BÖLÜM 5

DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ TASARIMA ENTEGRASYONU

İrem CEYLAN ENGİN.....93

BÖLÜM 6

MİMARİ GELENĞİN SÜREKLİLİĞİN'DE SİVAS ULU CAMİ ÖRNEĞİ

Esra ÖZDAL, Mehmet Akif ÖZDAL 115

BÖLÜM 7

YABANCI UYRUKLU ÖĞRENCİLERİN MİMARLIK EĞİTİMİNE BAKIŞ AÇISI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME: SİİRT ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Nur Selcen KARAASLAN 133

BÖLÜM 8

EKOLOJİ VE MİMARLIK

Vahide ARSLAN, Zöhre POLAT 159



BÖLÜM

1

KENTSEL DONATI TASARIMINDA BİYOMORFİK DOĞAL TAŞ KULLANIMI: DİYARBAKIR PARKLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

Gül Şebnem TURAL¹

Fatma Demet AYKAL²

¹ Doktora Öğrencisi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı

ORCID: 0000-0002-1871-287X

² Prof. Dr., Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

ORCID: 0000-0003-2424-0407

GİRİŞ

Kentsel donatılar kullanıcıların kent yaşamındaki sosyal ihtiyaçların karşılandığı önemli unsurlardır. Kent donatılarının kullanıcılar tarafından etkili bir şekilde kullanılabilmesi için, tasarımında güvenlik, sağlık, koruma ve kullanım kolaylığı gibi unsurların yanı sıra, çevreye uyumlu renk, doku, malzeme ve form özelliklerinin de üzerinde durulması gerekmektedir (Sağlık vd., 2021).

Kent donatı elemanları, bireysel ve toplumsal yaşamı kolaylaştıran, mekânlara işlevsellik ve estetik katan temel unsurlar olarak kent kimliğinin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Kent içinde doğru konumlandırılmış ve kullanıcı ihtiyaçlarına cevap veren donatı elemanları, sosyal yaşamı desteklemekte ve mekânsal konforu artırmaktadır. Donatıların mekânsal tasarım ve bitkilendirme ile bütünlük içinde ele alınması, hem görsel kaliteyi artırmakta hem de kullanıcılara yönelik çevresel uyum sağlamaktadır (Cengiz vd., 2018).

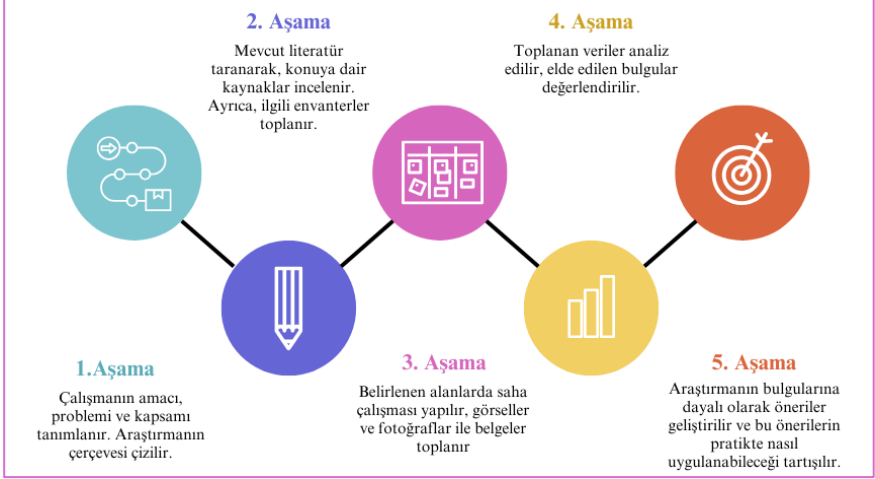
Kentsel donatı elemanları sürekli rüzgâr, nem, güneş gibi dış etmenlere maruz kaldığı için malzeme seçimi titizlikle yapılmalıdır. Bu noktada, yaşayan bir malzeme olan doğal taşın kentsel tasarımda kullanımı öne çıkmaktadır. Yörenin jeolojik özelliklerine uygun olarak seçilen doğal taşların kullanımı kent kimliğinin korunması için de etkili olacaktır.

Bu alanların tasarımında, malzeme seçimi yalnızca yapısal dayanıklılık ya da estetik kaygılarla sınırlı kalmamaktadır. Aynı zamanda kentsel mekanların kullanıcılar için işlevsel alanlara dönüşmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle doğadan ilham alan biyomorfik yaklaşımlar, doğal taş malzemenin hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi hem de mekânsal bütünlük sağlaması bakımından önemli bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Bu doğrultuda, doğal taşın kentsel alanlarda kullanımı, yerel malzeme kullanım geleneğini koruyarak kültürel sürekliliğe katkı sağlamakta ve çevreyle uyumlu yeni kentsel alanların oluşturulmasına imkan tanımaktadır.

Son yıllarda, kentlerin sürdürülebilirliği ve çevresel uyumu giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, kentsel alanlarda kullanılan malzemeler, sadece estetik değil, aynı zamanda ekolojik dengeyi koruma açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, Diyarbakır'daki kent parklarında biyomorfik doğal taşların kullanımını inceleyerek, doğal taşların estetik ve çevresel katkılarını ele almaktadır.

Günümüzde kullanılan kentsel donatılarda genellikle doğal ortamlarla uyumlu olmayan, kentlere göre özelleşmeyen, estetik açıdan sınırlılıkları olan yapı malzemelerine yer verilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı verimli ve çevreyle uyumlu mimari çözümler yaratmak için biyomorfik doğal taş malzemelerin kentsel donatılarda kullanımının araştırılmasıdır. Doğal taşların çevresel sürdürülebilirliği artırması ve yapıyla çevreyle doğal ortam arasındaki bağı güçlendirme özelliğinin kentsel donatılar üzerinden okunması hedeflenmiştir. Diyarbakır'daki

peyzaj alanlarında doğal taş kullanımının nasıl şekillendiği araştırılmıştır (Şekil 1).

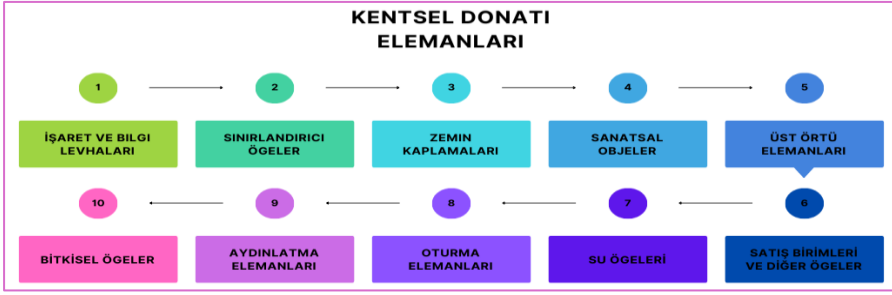


Şekil 1 Çalışmanın Aşamaları

Çalışmada öncelikle mevcut literatürde biyomorfoloji, tasarımda doğal taş kullanımı ve kentsel tasarım ile ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Ardından amaçlı örneklem yöntemiyle çalışma alanı olarak belirlenen Diyarbakır'daki dört parkta kullanılan doğal taş donatılar üzerinde incelemeler yapıp fotoğraflama yöntemiyle belgelenmiştir. Elde edilen veriler taşların özelliklerine göre değerlendirilip sürdürülebilirlik ve estetik özelliklerine göre uygunluğu tespit edilmiştir. Alternatif öneriler sunulmuştur. Çalışmada Diyarbakır şehrindeki kentsel donatı elemanlarında biyomorfik doğal taş kullanım eğilimleri araştırılmıştır. Araştırma kentleşmenin hızla devam ettiği kuzeybatı gelişim aksında yer alan Kayapınar ilçesindeki Evrensel Park, Tema Park, Kayapınar Spor Parkı, Bilim ve Kültür Parkı üzerinden yürütülmüştür.

KENT DONATILARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Kent parkları insanları şehir hayatının karmaşasından uzaklaştırıp yaşam kalitesinin artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Burada kullanılan donatı elemanlarının nitelikleri parkların kentin genel kimliğiyle ilişki kurmasında etkili olmaktadır. Donatı elemanlarının kentsel alanlarda ya da peyzaj alanlarında kullanıcıların konfor, korunma, eğlenme ve dolaşım ihtiyacını karşılayan elemanlar olarak tanımlanmaktadır (Vural ve Yılmaz, 2018). Kentsel donatı elemanları Akyol (2006) tarafından Şekil 2'deki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 2 Kentsel donatı elemanları (Akyol, 2006)'dan düzenlenmiştir.

Kentlerdeki açık alanlarda potansiyel tüm kullanıcılara uygun olması gereken donatı elemanlarının işlevsel, estetik, ergonomik, dayanıklı, uygun maliyetli, standartlara uygun ve özgün özellikler taşıması beklenmektedir (Cengiz vd., 2018).

Kent donatıları, günümüzde kentlerin vazgeçilmez unsurları olarak, kamusal alanların işlevselliğini ve estetiğini etkileyen önemli yapı elemanlarıdır. Parklarda, meydanlarda ve diğer kamusal alanlarda bulunan oturma grupları, işaret ve bilgi levhaları, sınırlandırıcı öğeler, aydınlatma direkleri, çöp kutuları, çeşmeler ve oyun alanları gibi çeşitli elemanları kapsar. Bu donatılar, şehir yaşamının kalitesini artırmanın yanı sıra, estetik değerleri ile de kent kimliğini pekiştirir (Özgeriş, 2018).

Şehirlerin mimari dokusuna uyum sağlayacak şekilde tasarlanan donatılar, estetik bir görünüm oluşturur. Özellikle tarihi dokunun korunduğu bölgelerde, doğal taş gibi geleneksel malzemelerle yapılan donatılar, modern mimari elemanlarla harmanlanarak özgün ve estetik değeri yüksek alanlar oluşmasını sağlar.

Kent donatıları, açık havada sürekli olarak çevresel etkilere maruz kalır. Bu nedenle donatıların malzemelerinin dayanıklı ve uzun ömürlü olması gerekmektedir. Metal, beton ve ahşap gibi malzemeler sıkça tercih edilirken, son yıllarda doğal taş kullanımının da yaygınlaştığı görülmektedir. Doğal taş kullanımı estetik özelliğine ek olarak aşınma ve iklim koşullarına karşı gösterdikleri direnç ile de öne çıkar. Dayanıklı olması ve yerel malzeme kullanımı kent donatılarının maliyet özelliklerine de etki eder. Donatı elemanlarının doğru malzeme kullanımıyla yukarıda bahsedilen tüm özellikleri sağlaması kolaylaşacaktır.

MİMARLIKTA DOĞAL TAŞ KULLANIMI

Mimarlıkta yüzyıllardır kullanılan doğal taş, estetik ve dayanıklılığıyla öne çıkan yapı malzemelerinden biridir. Tarihi yapılardan modern binalara kadar geniş bir kullanım alanı olan doğal taşlar, mimari projelere hem görsel zenginlik hem de dayanıklılık kazandırır (Sağlık vd., 2012).

Doğal taşlar, insanlık tarihi boyunca barınma, savunma ve sanat gibi temel ihtiyaçların karşılanmasında önemli bir yapı malzemesi olmuştur. İlk insanlardan günümüze kadar taş, doğadaki dayanıklı yapısıyla işlevsel

olarak değerlendirilmiştir. Tarihi süreçte evler, anıtsal yapılar, surlar, kaleler ve dini yapılar gibi çeşitli mimari eserlerde kullanılan doğal taş, zamana karşı direncini kanıtlamış ve pek çok kültürel yapının günümüze ulaşmasını sağlamıştır. Taşın doğal yapısı, çıkarıldığı yere özgü dokusu mekânlar kimlik kazandırmaktadır.

Mimari tasarımıda doğal taşların kullanımı, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak farklı alanlarda değerlendirilmiştir. Yapının taşıyıcı elemanlarından zemin kaplamalarına, cephe kaplamalarından dekoratif unsurlara kadar geniş bir kullanım alanı bulan doğal taşlar, sağlamlık, estetik çeşitlilik ve uzun ömür gibi avantajlar sunmaktadır. Taş seçimi sırasında su emme oranı, don direnci, aşınma dayanımı ve yüzey işlenebilirliği gibi kriterlerin göz önünde bulundurulması, yapıların performansı ve estetik kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle yerel taşların kullanımı, hem ekonomik hem de kültürel sürdürülebilirlik açısından önemli bir yaklaşım sunmaktadır (Yalçın vd., 2023).

Doğal taşların mimarlıkta kullanılmasında estetik etkisinin önemli yeri vardır. Mermer, granit, kireçtaşı, traverten gibi çeşitli taş türleri, dokuları ve renkleri ile mekanlara doğal bir güzellik katar. Bu malzeme tasarımcılara yapacakları projelerde yaratıcı alan sağlar.

Dayanıklılık, doğal taşların bir diğer özelliğidir. Taşlar iklimsel koşullara, aşınmaya ve darbelere karşı yüksek dayanım sağlar. Bu nedenle hem iç mekanlarda hem de dış mekanlarda uzun ömürlü ve bakımı kolay kullanım çözümleri sunması mümkündür. Tarihi yapılarda sıkça rastlanan doğal taşlardan, bu malzemelerin yüzyıllar boyunca dayanıklılıklarını koruyabildiği grlmştir. Kısacası yapı malzemesi olarak doğal taş kullanımı, mimarlıkta birçok avantaj sağlamaktadır. Hem tarihi hem de modern projelerde yaygın olarak tercih edilen bu malzeme, mekanların kimliğini ve karakterini belirlemede etkili olmaktadır.

ÇALIşMA ALANI VE ARAşTIRMAYA KONU PARKLAR

Çalışmada incelemek üzere seçilen kentsel alanlar Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Diyarbakır kentinin Kayapınar ilçesinde bulunmaktadır. Diyarbakır'da 2010 yılından sonra kentleşme Kuzeybatı yönüne doğru hızlanmıştır ve o yıllardan itibaren Kayapınar ilçesinde modern kentleşmenin gerekliliklerini taşıyan, yeşil alanların ve binaların dengeli dağıldığı yapılaşma başlamıştır. Bu sebeple bölgede çok sayıda yeni park yapılmıştır. Çalışmaya konu olan parklar sırasıyla Evrensel Park, Tema Parkı, Kayapınar Spor Parkı, Bilim ve Kültür Parkı'dır (şekil 3).

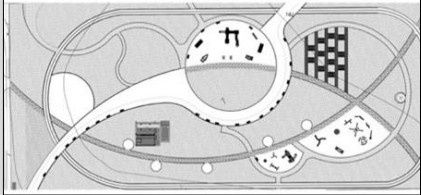


Şekil 3 Çalışma Alanı

Bu parklar, Kayapınar ilçesinin modern kentleşme süreci içinde düzenli yapılaşma ve yeşil alan dengesi gözetilerek oluşturulmuş önemli açık alan örnekleridir. Seçimlerde, farklı doğal taş türlerinin kullanımına olanak tanıyan donatı çeşitliliği, güncel peyzaj düzenlemeleri ve aktif kullanıcı yoğunluğu etkili olmuştur. Bu doğrultuda yapılan alan çalışması, doğal taş kullanımının çağdaş kent parklarındaki estetik, işlevsellik ve sürdürülebilirlik katkılarını değerlendirmek için uygun bir zemin sağlamıştır.

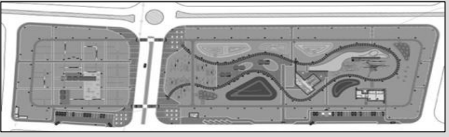
Evrensel Park, çalışmada incelenen en yeni park özelliğini taşımaktadır. Parkın yapımı 2024 yılında tamamlanmıştır. 13.600 m²'lik bir alanda yapılan parkın içinde çok sayıda oyun alanı ve oturma alanı bulunmaktadır. Bu alanları birbirine bağlayan yollarda birçok doğal taş ve beton uygulaması yapılarak yürüme yolları oluşturulmuştur. Parkta kullanılan doğal taşlar incelenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 Evrensel Park Doğal Taş İncelemesi

Evrensel Park	
	
Google Earth Görüntüsü (2024)	Vaziyet Planı (Ekap, 2024).
	Kayapınar evrensel parkta ara bağlantı yolları Sleyt (Kayrak Taşı/Andezit) doğal taş kaplama kullanılarak oluşturulmuştur. Devamında ve parkın meydanında bazalt ve granit terrazzo beraber kullanılarak damalı yüzey uygulaması yapılmıştır. İlerleyen bölümlerde göreceğiniz gibi kentteki diğer parklardan farklı olarak bazalt taşın tek başına kullanıldığı bir yüzey görülmemiştir. Doğal taş kullanımının yanında baskı beton uygulamalarla yüzey çeşitliliği artırılmıştır.
Alandan Görseller	
	
Kayrak Taş	Bazalt-Granit
Baskı Beton	Bazalt-Granit Terrazzo
	Kayrak Taş

Tema Park, 2018 yılında 34.000 m2 alanda kentlilerin kullanımına açılmıştır. Yeşil alanların yanında mescit ve kitap kafe gibi yapıların da bulunduğu parkta çok sayıda oyun alanı ve su öğeleri de bulunmaktadır. Parkta kullanılan zeminde, mescit ve kitap kafenin cephesinde çeşitli doğal taşlar kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2 Tema Park Doğal Taş İncelemesi

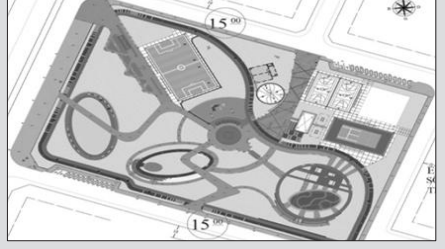
Tema Park	
	
Google Earth Görüntüsü (2024)	Vaziyet Planı (Ekap, 2024).
	Tema parkın zemin kaplamasında doğal taş olarak yalnızca bazalt plak taş kullanılmıştır. Kalan yüzeyler beton uygulamalarla tamamlanmıştır. Parkın içinde yer alan mescit ve kitap kafenin dış cephesinde ise Diyarbakır kaba yonu bej de denilen Küfeki taşı kullanılmıştır. Parkta bazalt taşların zamanla yer yer yüzey deformasyonları gösterdiği, Küfeki taşlarında ise kısmi renk değişimleri olduğu gözlemlenmiştir.
Alandan Görseller	
	
Küfeki Taşı	Bazalt Plak Taş

Kayapınar Spor Parkı 2022 yılında 28.000 m2 alan içinde yapılmıştır. İçinde futbol, basketbol, voleybol ve tenis sahaları bulunan, kaykay pisti, çeşitli parkurlar ve oyun alanlarının da olduğu geniş kapsamlı bir rekreasyon alanı olduğu görülmüştür. İçerisinde küçük bir kafe de bulunan parkta birçok değişik yüzey uygulaması olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3 Kayapınar Spor Parkı Doğal Taş İncelemesi

Kayapınar Spor Parkı

Google Earth Görüntüsü (2024)



Vaziyet Planı (Ekap, 2024).



Geniş bir alana yayılmış olan parkta birçok doğal malzemenin farklı formlarda ve farklı kombinasyonda kullanıldığı görülmüştür. Bazalt plak taş farklı ölçülerde kullanılırken parkın girişindeki alanda bazalt küp taş kullanımına yer verilmiştir. Baskı beton, klinker tuğla gibi yapay malzemelerle doğal taşlar beraber kullanılarak yüzeyler arası geçişler yapılmıştır. Parktaki kafenin dış cephesi ise tamamen ahlat taşı ile kaplanmıştır.

Alandan Görseller

Baskı Beton Klinker Tuğla Bazalt Plak Taş



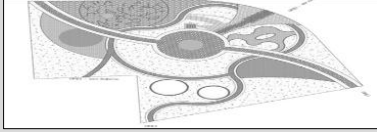
Ahlat Taşı



Bazalt Plak Taş Bazalt Küp Taş

Kayapınar Bilim ve Kültür Parkı 9.850 m² ile incelenen parklar içerisindeki en küçük parktır. 2022 yılında yapılan parkta teması gereği birçok farklı donatı kullanılmıştır. Oyun ve oturma alanlarının yanı sıra büstler, modeller, maketler, kamp alanı gibi bölümlere yer verilmiştir. Tüm bu alanlarda çeşitli doğal taşlar kullanılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4 Bilim ve Kültür Parkı Doğal Taş İncelemesi

Bilim ve Kültür Parkı	
	
Google Earth Görüntüsü (2024)	Vaziyet Planı (Ekap, 2024).
	Parkın girişinden itibaren doğal taş kullanımı tüm alana yayılmıştır. Girişin zemin döşemesinde traverten ve bazalt taş beraber kullanılırken bazalt kaideleri olan büstler bulunmaktadır. Parkın içerisinde özel kesim mermer ve bazalt kullanılarak oluşturulan yüzeylere yer verildiği, parkın meydanında ise bazalt küp taş uygulaması yapıldığı görülmüştür. Su ögelerinde de bazalt taş kullanılmıştır. Oturma alanlarında parkın genelinde olduğu gibi çeşitlilik söz konusudur. Parkın bir kısmında mermer oturma alanları bir kısmında bazalt kaplı oturma elemanları kullanılmıştır.
Alandan Görseller	
	
Traverten	Bazalt
Özel Kesim Mermer ve Bazalt	Özel Kesim Mermer ve Bazalt
Bazalt Küp Taş	



Örneklere bakıldığında özellikle Bilim ve Kültür Parkı'nın hem malzeme çeşitliliği hem de uygulanan donatıların çeşitliliği açısından doğal taş malzemenin yoğun olduğu belirlenmiştir. Onu Kayapınar Spor Parkı ve Evrensel Park takip ederken, en az doğal taş uygulamasının Tema Park'ta yapıldığı görülmüştür. Bu durum, parklar arasında doğal taş kullanımına verilen önemin ve tasarım tercihlerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Bazalt malzeme, sertliği ile aşınmaya dirençli bir yapıya sahiptir. Atmosferik koşullara uygun olan bu taş, yörede doğal olarak bulunması sebebiyle incelenen parklarda en sık karşılaşılan malzeme olmuştur. Cilalanmaya uygun olmayan bazalt taşın, zemin döşemelerinde ve donatı elemanlarında doğal yüzeyi korunarak kullanıldığı, bu sayede yüzeylerde doğal bir doku oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Kullanımına farklı formlarda yer verildiği görülmüştür.

Granit dayanıklılığı yüksek, asitlere karşı dirençli bir doğal taştır. Bazaltın aksine cilalanması mümkün olan taşın renk ve desen çeşitliliği fazladır (Türkeri vd., 2022). Çalışmada incelenen parklarda granit zemin döşemesine hareketlilik katması için kullanıldığı görülmüştür.

Sleyt taşı incelenen parklarda kullanılan ve sert taş sınıfına giren son taştır. Genelde doğal yüzeyleri korunarak uygulanan taş sert ve dayanıklıdır. Renk çeşitliliği olan taş dış mekân kullanımına elverişlidir (Türkeri vd., 2022). Çalışmada yalnızca bir parkta kullanıldığı görülmüştür. Sleyt taşının, sınırlı kullanımına rağmen seçildiği alanlarda doğal ve rustik bir görünüm sağladığı belirlenmiştir.

Küfeki taşı bej tonlarında bulunan, boşluklu yapıya sahip olan karbonatlı yumuşak bir taştır. İncelenen parkta yer döşemesi değil cephe kaplaması kullanıldığı belirlenmiştir. Küfeki taşının gözenekli yapısı nedeniyle zamanla yüzeyinde hafif renk değişimlerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Ahlat taşı bej, siyah, kırmızı ve kestane rengi gibi renk çeşitliliğine sahiptir. Bitlis yöresine özgü bir taştır. Çalışmada incelenen parkta zemin döşemesinde değil cephe kaplamasında kullanıldığı görülmüştür. Ahlat taşının kullanıldığı cephelerde, doğal yapısının korunduğu ve estetik bir zemin oluşturduğu tespit edilmiştir.

Mermer emicilik ve dayanıklılık gibi özellikleri türlerine göre değişiklik gösteren, kullanım alanı bakımından çeşitliliğe sahip bir doğal taştır (Türkeri vd., 2022). İncelenen parkta da hem yer döşemesi hem oturma

alanlarında kullanıldığı görülmüştür. Mermerin hem oturma birimlerinde hem zemin kaplamalarında kullanılması, estetik bütünlüğü ve kullanım konforunu artırmıştır.

Traverten genellikle sert özellik göstermeyen işlenmesi kolay bir taştır. Traverten taşının gözenekli yapısının, işlenerek dayanıklılığının artırıldığı ve böylece dış mekân kullanımına daha uygun hale getirildiği belirlenmiştir.

SONUÇ

Çalışmada Diyarbakır’da bulunan dört farklı parktaki donatı elemanlarında doğal taş kullanımı incelenmiştir. İnceleme sonucunda parklarda kullanılan doğal taş çeşitliliğinin zamanla arttığı parkların estetik değerini önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür.

Taşlar işlevsellik açısından değerlendirildiğinde zemin döşemesinde kullanılan taşların yüzeylerinin yürümeye elverişli olduğu, cephelerde kullanılan taşların da nefes alan malzemeler olması sebebiyle iklime uygun ısısal özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Estetik katkıya bakıldığında alanda kullanılan taşların zengin renk ve doku çeşitliliği oluşturduğu, parklarda karakteristik bir görsel etki meydana getirdiği görülmüştür.

Malzemelerin kullanım yerine ve formuna bakıldığı zaman tabiatına uygun uygulamalar yapıldığı belirlenmiştir. Dayanıklılık özellikleri göz önüne alınarak seçilen taşların gerekli yerlerde dayanıklılığının artması için formunun değiştirildiği görülmüştür. Bu durum, doğal taşların uzun ömürlü ve düşük bakım gerektiren kentsel alanlar oluşturulmasında etkili bir malzeme olduğunu göstermiştir. Çalışmada doğal taş kullanımının sürdürülebilirliğe etkisi incelendiğinde yerel taş ocaklarından temin edilen malzemelerin yaygın olduğu, uzun ömürlü doğal taşların seçildiği görülmüştür.

Çevre dostu ve çok yönlü bir malzeme olan doğal taşların kullanımının gelecekteki park projelerinde yaygınlaştırılması doğayla daha uyumlu yeşil alanların oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Malzemenin kentsel donatılarda sadece zemin döşemesiyle sınırlı kalmaması; oturma elemanları, su öğeleri ve sanatsal objelerde de değerlendirilmesi, parkların niteliklerinin artmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, doğal taşların doğru malzeme seçimleri ve çeşitli tasarım uygulamalarıyla kent peyzajına entegre edilmesi, nitelikli kentsel açık alanlar oluşturulmasına önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

Akyol, E. (2006). *Kent Mobilyaları Tasarım ve Kullanım Süreci* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cengiz, C., Karaelmas, D., & Keçecioęlu Dağlı, P. (2018). The Examination of Urban Furniture in Bülent Ecevit University Farabi Campus in Terms of Landscape Design. *Bartın Orman Fakóltesi Dergisi*, 20(3), 465-476.

Elektronik Kamu Alımları Platformu (EKAP). Alınan Yer: <https://ekapv2.kik.gov.tr/ekap/search> Erişim Tarihi: 20 Nisan 2024

Google Earth (2024). Alınan Yer: <https://earth.google.com/web/@37.9317657,40.13383133,766.41472567a,3369.28015121d,35y,-0h,0t,0r/data=CgRCaggBMikKJwolCiExeXFqWjJGcG8xRldpT1R6dEw5YVExRU02SUIPQ0h5RjYgAToDCgEwQgIIAEoICoyw1pkCEAE> Erişim Tarihi: 20 Nisan 2024

Özgeriş, M. (2018). Kentsel Donatı Elemanlarının Kent Dokusu Yönünden Değerlendirilmesi: Erzurum İli Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 561-574.

Sağlık, A., Kartal, F., şenkuş, D., & Özcan, Ç. B. (2021). Kent Kimliğinde Peyzaj Donatı Elemanlarının Önemi Çanakkale Çarşı Caddesi Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 125-140. <https://doi.org/10.30785/mbud.869581>

Sağlık, A., Kelkit, A., & Sağlık, E. (2012). Peyzaj Mimarlığında Doğal Taş Kullanımı: Çanakkale Kenti Örneği. In *8th International Marble and Natural Stone Congress* (763-770).

Türkeri, A. N., Baş, C., Dinçay, D. A., Aslan, D., İyigönül, E., Berkin, G., Uygur, N. S., Angı, O. S., & Özgünler, S. A. (2022). *Mimarlar İçin Doğal Taş Rehberi*. Stoneline Yayınları.

Vural, H., & Yılmaz, S. (2018). Erzurum Kenti Okul Bahçelerinin Fiziki Yeterlilikleri. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(2), 109-120. <https://doi.org/10.30910/turkjans.421342>

Yalçın, Ç., Özdoğlar, E., & Bingöl, K. (2023). Mimaride Doğal Taş Kullanımı: Harput şefik Gül Kültür Evi Örneği. *Fırat Üniversitesi Harput Araştırmaları Dergisi*, 10(19), 1-18.



BÖLÜM

2

ERKEN TASARIMDA VERİ AKTARIMI VE BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK SORUNLARI: BIM TABANLI BEM SÜREÇLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nahide NANVAI FARKHAD¹

Figen BEYHAN²

¹ Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, nahid.kiani@gazi.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-7962-4785

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, fbeyhan@gazi.edu.tr,

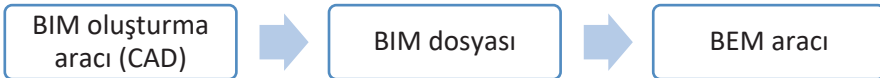
ORCID: 0000-0002-4287-1037

Bina Enerji Modellemesi Tabanlı Bina Bilgi Modellemesi

Bina bilgi modellemesi (BIM), bir binanın enerji performansının projenin ilk aşamalarından itibaren değerlendirilmesini kolaylaştırabilir (Ramaji, Messner, & Mostavi, 2020). Piyasada yaygın olarak kabul edilen birkaç BIM yazılımı uygulaması mevcuttur ve her uygulama kendi özel dosya formatını kullanır. Bina enerji performansını tahmin etmek üzere bina tasarımını yönlendirmek için BIM tabanlı bina enerji modelleme (BEM) yöntemlerini kullanmak giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu yöntem, özellikle gelecekteki tasarım, yani bütünleşik tasarım süreci için uygundur ve aynı zamanda erken tasarım aşamasında da uyarlanabili (Gao, Koch, & Wu, 2019). Araştırmacıların çoğu, erken tasarım aşamasında verilen tasarım kararlarının binaların maliyeti, enerji verimliliği ve genel performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu kabul etmektedirler (Echenagucia, Capozzoli, Cascone, & Sassone, 2015).

Binaların enerji tüketimi ve dolaylı karbon emisyonları üzerindeki olumsuz etkilerine yönelik artan farkındalık, tasarım uzmanları arasında enerji kodu uyumluluk eşiklerinin ötesinde projeler tasarlamak ve tüm bina enerji optimizasyonunu elde etmek için artan bir ilgi uyandırmaktadır. Önceden belirlenmiş bir bina tasarımının başarısız olup olmadığını analiz etmek yerine, tasarım geliştirme sürecinin son aşamalarında bir uyumluluk sağlamak için tasarımcılar, bina performansı ve kullanıcı konforu üzerinde en büyük etkilere sahip olan kararları belirlemek amacıyla tasarımın erken aşamalarında hızlı ve yinelemeli performans geri bildirimleri almakla giderek daha fazla ilgilenmektedirler (Konis, Gamas, & Kensek, 2016).

Konis ve arkadaşları (Konis et al., 2016), tasarımcıların onaylanmış aydınlatma ve enerji simülasyon araçlarını kullanarak pasif çevre sistemlerinin erken tasarım aşamasındaki uygulamalarını inceleyip optimize etmelerini sağlayan bir tasarım çerçevesi ve simülasyon tabanlı iş akışı geliştirmişlerdir. Bu çalışma, tasarım sürecinde pasif çevre stratejilerinin kullanımını artırmayı hedeflemektedir. Bina bilgi modellemesi (BIM) tabanlı bina enerji modellemesi süreci, katkıda bulunan farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Her bir bileşeni ayrı ayrı incelemek, zorlukları ve sorunlarıyla ilgili çözümlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 1'de, bina bilgi modellemesi tabanlı bina enerji modellemesi sürecine genel bir bakış gösterilmektedir.



Şekil 1: Bina bilgi modellemesi tabanlı bina enerji modellemesi sürecine genel bakış

BIM-BEM Teknolojik Yaklaşımları

Önerilen teknolojik yaklaşımlar, farklı model entegrasyon yöntemleri ve teknik yönler tarafından yönlendirilir. Bu nedenle, bu yöntemler öncelikle teknolojik makalelerin gözden geçirilmesini desteklemek için bir temel olarak tartışılmaktadır. BIM ve BEM araçlarının nasıl entegre edileceği veya bağlanacağı, BIM-BEM sürecinin en zorlu kısmıdır. Negendahl (2015) ve Toth, Janssen, Stouffs, Chaszar ve Boeykens (2012) tarafından yürütölen çalışmalarda tanımlandığı gibi, model entegrasyonu için üç yöntem bulunmaktadır: birleşik, merkezi ve dağıtılmış yöntemler (Negendahl, 2015; Toth, Janssen, Stouffs, Chaszar, & Boeykens, 2012). Ancak yapılan araştırmalara göre, BIM tabanlı BEM sürecinin birlikte çalışabilirlik sorununu halletmek için literatürde beş yöntem mevcuttur.

1. Birleşik model yöntemi¹
2. Merkezi model yöntemi²
3. Uygulama zinciri³
4. Ara yazılım aracı⁴
5. Değişim gereksinimi⁵

1. Birleşik Model Yöntemi

Simölasyon paketleri, örneğin IESVE (Integrated Environmental Solutions), birleşik bir model içerir (Şekil 2) ve operatörün model üretiminin ve simölasyonunun tüm adımlarında modelin hassasiyetini kontrol edebilme avantajına sahiptir. Negendahl (2015), IESVE gibi birleşik model tabanlı simölasyon paketlerinin, modelleme ve simölasyon süreçlerini tek bir ortamda bütünleştirerek kullanıcıya model hassasiyeti üzerinde tam kontrol imkânı sunduğunu belirtmektedir. Bu yaklaşım, tasarım ve simölasyon işlevlerinin entegre olması sayesinde araçlar arası tutarlılığı artırırsa da, temel dezavantajı kullanıcıyı belirli bir yazılımın sunduğu seçeneklerle sınırlamasıdır (Negendahl, 2015).

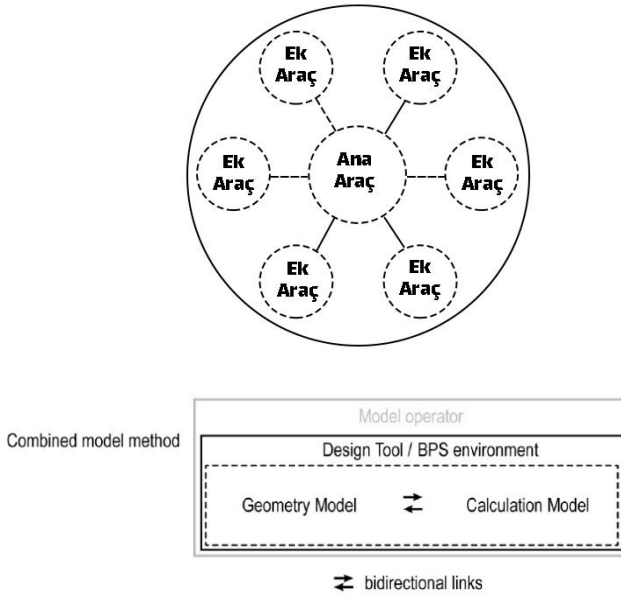
¹ Combined model method

² Central model method

³ tool-chain

⁴ Middleware tool

⁵ Exchange requirement



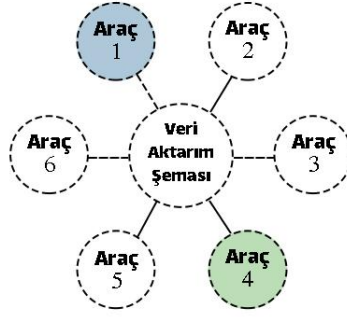
Şekil 2: Birleşik model. Aynı ortamda bir tasarım aracı ve BPS'den oluşur (Negendahl, 2015).

Abanda ve Byers (Abanda & Byers, 2016), bina yöneliminin bina enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için Revit ve GBS'yi kullanmışlardır. Revit ve GBS uygulamaları, BEM araçlarında bina geometrisinin yeniden yaratılmasına gerek kalmadan bina yönelimleri açısından hızlı tasarım seçeneklerinin oluşturulmasını sağlamıştır. Benzer şekilde, Kim et al. gbXML veri şemasına dayalı BIM tabanlı GBS simülasyonu kullanarak pencere boyutu, konum ve yönelimin bina enerji yükü üzerindeki etkisini değerlendiren bir çalışma yürütmüştür. BIM tabanlı GBS simülasyonu, bina modelinin parametrik olarak kontrol edilmesini ve enerji simülasyonu için tasarım alternatiflerinin hızla oluşturulmasını sağlar (S. Kim, Zadeh, Staub-French, Froese, & Cavka, 2016).

Birleşik modeller, modelleme ortamının işlevleriyle sınırlı olsa da, çoğu birleşik model, diğer araçlardan içe ve dışa geometriyi destekler; ancak harici araçlar arasındaki iki yönlü güncellemelerin dinamiklerini desteklemez. Simülasyon paketlerini ve birleşik modelleri kullanmanın zorlukları, katılan tüm katılımcıların modeller arasındaki yüksek yakınsamayı sürdürmek için aynı temel aracı kullanmayı kabul etmeleridir. Bu bağlamda, daha büyük koordine edilmemiş gruplarda ve gevşek disiplinler arası projelerde birleşik hesaplama modellerini kullanmak zor olabilir.

2. Merkezi Model Yöntemi

Merkezi modelde (Şekil 3) BIM temelli modeller aracılığıyla RenewBIM, Simergy ve OpenStudio gibi araçlar üzerinden tasarım ve BPS araçları arasında bilgi alışverişı sağlanmaktadır. Ancak hangi tarafın (tasarım ya da simülasyon aracı) veri yakınsamasını üstleneceği konusunda uzlaşa bulunmamaktadır. Bu nedenle, Rose ve Bazjanac tarafından önerilen IFC uyumlu mekân sınırı üretimi gibi ara algoritmaların yanı sıra, otomatik termal bölgeleme ve geometri sadeleştirme gibi ek otomasyon süreçlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Rose & Bazjanac, 2015). Diğer otomatik veya yarı otomatik algoritmaların uygulanması, otomatik termal bölgeleme veya karmaşık bina geometrisinin basitleştirilmesi gibi, BIM araçları ile BEM araçları arasındaki bağlantı sürecini otomatik hale getirmek için tasarım araçlarında, BEM araçlarında veya IFC şemasının kendisinde gerekli olacaktır.

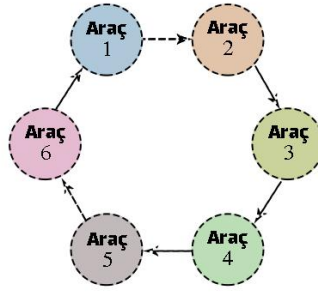


Şekil 3: Merkezi model yöntemi

3. Uygulama Zinciri

BIM dosyaları ile enerji simülasyon araçları arasındaki veri alışverişı ile ilgili sorunların riskini azaltmak için bazı çalışmalar, geleneksel yöntemler yerine BIM uygulama programı arabirimi (API¹) yöntemini kullanmayı önermektedir. API, Revit, ArchiCAD veya Bentley gibi doğrudan BIM araçlarından bağımsız bir BIM dosyası geliştirmek olarak tanımlanabilir (Jeong, Kim, Clayton, Haberl, & Yan, 2014; J. B. Kim, Jeong, Clayton, Haberl, & Yan, 2015).

¹ Application Program Interface



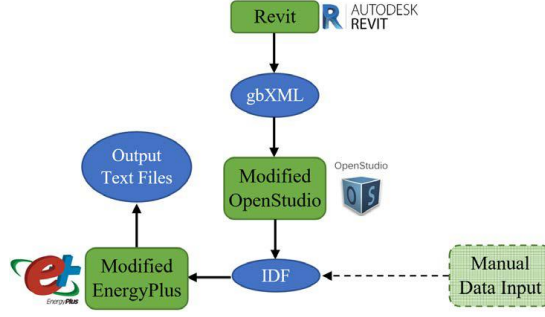
Şekil 4: Uygulama zinciri yöntemi

Bu yöntem, BIM ile enerji simülasyonu arasındaki veri alışverişini gerçekleştirmek için özel yazılım (çoğu durumda BIM yazılımının API'si) kullanır. Böyle bir yaklaşım, genel bir birlikte çalışabilirlik çözümü olarak düşünülmesine de bazı çekici noktalar sunmaktadır. Sorunsuz bir veri aktarımına izin verir çünkü yazılımın API'si, veri bilgi modeliyle tamamen uyumludur; ancak her zaman tüm dahili veri yapısını açığa çıkarmaz. Sonuç olarak, veri kaybı ve uyumsuzluk sınırlanırken bir operasyonel iş akışının uygulanması sağlanır.

Asl et al., erken tasarım sırasında farklı tasarım seçeneklerinin tanımlanmasını kolaylaştırmayı amaçlayan bina bilgi modellemesi (Guide) tabanlı performans optimizasyonu (BPOpt) çerçevesini önermektedir. Farklı araçlar arasındaki birlikte çalışabilirlik sorununun üstesinden gelmek için veri alışverişi sürecinde Autodesk Revit'in API'si kullanılır (Asl, Zarrinmehr, Bergin, Yan, & Buildings, 2015). Benzer şekilde, Jeong et al. BIM ve simülasyon arasında sorunsuz bilgi alışverişi sağlamak için Modelica kitaplığıyla birlikte Autodesk Revit™ API'sini kullanmaktadır (Jeong & Kim, 2016).

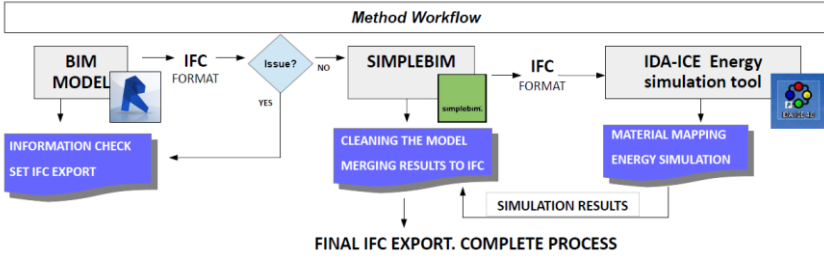
Kamel ve Memari, 2018'de BIM kullanarak enerji modellemesi yapmak için yeni bir yazılım aracı tanıtmış ve yapı kabuğu bileşenleri yoluyla ısı transferini ayrıntılı çıktılar sağlamaktadır. Bu araç, EnergyPlus ve OpenStudio kaynak kodları kullanılarak geliştirilmiştir ve onu enerji analizi için giriş veri dosyasına (IDF1) dönüştüren gbXML dosya şemasıyla uyumludur. Bu aracın genel görünümü Şekil 1'de gösterilmektedir (Kamel & Memari, 2018).

¹ input data file



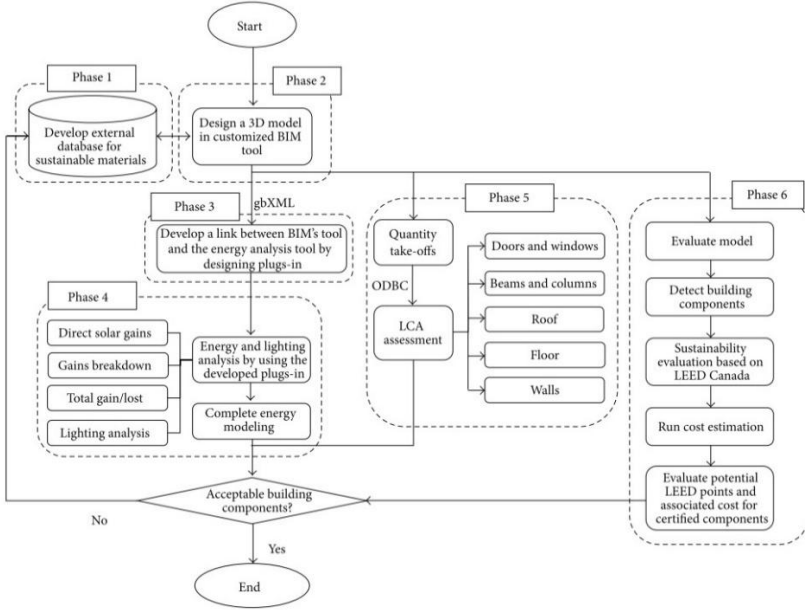
Şekil 5: Otomatik enerji simülasyonu için geliştirilmiş bilgisayar aracına genel bakış (Kamel & Memari, 2018)

Spiridigliozzi et al. (2019) binaların enerji performans değerlendirmesi için BIM-BEM birlikte çalışabilirliğini optimize etmeye izin veren yeni bir iş akışının uygulanmasını ve test edilmesini amaçlayan bir yöntem sunmuşlardır (Spiridigliozzi, Pompei, Cornaro, De Santoli, & Bisegna, 2019).



Şekil 6: (Spiridigliozzi et al., 2019)

Jalaei ve Jade (Jalaei & Jade, 2014a), Revit ve Ecotect arasında bilgi entegrasyonunu sağlamak amacıyla IFC ve gbXML veri şemalarına dayalı bir Revit eklentisi geliştirmiştir. Bu entegre platform, mimari tasarım sürecinde enerji ve gün ışığı analizleri yoluyla sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir. gbXML tabanlı dönüşüm, IFC'ye kıyasla yalnızca geometrik verileri değil; aynı zamanda konum, bina tipi ve yapı bileşeni atamaları gibi bilgileri de içerecek şekilde daha gelişmiş bir veri aktarımı sunmaktadır. Ancak bu süreçte bazı bilgilerin manuel girilmesi gerekebilmekte ve gbXML dosyalarında değişiklik yapılması oldukça karmaşık olabilmektedir (Jalaei & Jade, 2014b).



Şekil 7: Entegrasyon sürecinin akış şeması (Jalaei & Jrade, 2014a)

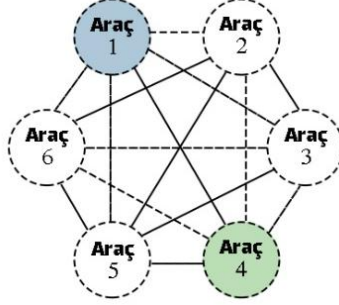
Asl et al., erken tasarım sırasında farklı tasarım seçeneklerinin tanımlanmasını kolaylaştırmayı amaçlayan bina bilgi modellemesi (BIM) tabanlı performans optimizasyonu (BPOpt) çerçevesini önermektedir. Farklı araçlar arasındaki birlikte çalışabilirlik sorunlarının üstesinden gelmek için, veri alışverişi sürecinde Autodesk Revit'in API'si kullanılmaktadır (Asl et al., 2015).

Ratajczak vd. (2023) tarafından geliştirilen çalışma, BIM projelerine yönelik yenilikçi bir otomatik tasarım iş akışı sunmaktadır. Grasshopper platformunda entegre edilen simülasyon ve optimizasyon süreçleri aracılığıyla, ofis binalarında gün ışığı ve enerji performansı iyileştirilmektedir. RBFOpt algoritması ile gerçekleştirilen 200 tasarım yinemesinin ardından elde edilen veriler Excel ortamında analiz edilmekte ve seçilen çözüm BIM yazılımına aktararak yapı elemanları otomatik olarak oluşturulmaktadır. Yöntem, güvenlik yönetmeliklerine uygunluk ve gün ışığı erişimini gözeterek ofis alanlarının generatif tasarımla optimize edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, mimarların farklı tasarım alternatiflerini etkin biçimde değerlendirmelerine imkân tanınmakta ve gelişmiş simülasyon araçları tasarım sürecine entegre edilmektedir (Ratajczak, Siegle, & Niederwieser, 2023)

4. Ara Yazılım Aracı

Ara yazılım araç yöntemi, IFC ve gbXML gibi açık kaynaklı veri modellerine dayanmaktadır. Bu yöntem, BIM'den çıkarılan bilgilerin

kontrol edilebildiği ve gerektiğinde düzeltilip zenginleştirilebildiği çeşitli araçlar ve ara yazılımlar geliştirilerek farklı birlikte çalışabilirlik sorunlarını ve BIM yazılımının sınırlamalarını ele alır.



Şekil 8: Ara yazılım araç yöntemi

BIM aracı ile BIM dosyası arasında çalışan bir ara katman yazılımı geliştirmek, birlikte çalışabilirlik sorunlarını çözmek için bir çözümdür. Yu, 2014 yılında BIM tabanlı BEM sürecindeki mevcut sorunların üstesinden gelmek amacıyla Revit'ten IFC dosyasını okumak, verileri almak ve gerekli bilgileri çıkarmak için BIMserver ve Query Generator'ı kullanarak bir ara katman yazılımı geliştirmiştir. Temel amaç, binanın geometri verileriyle ilgili sorunları çözmek ve OpenStudio'da enerji simülasyonu için düzeltilmiş bir dosya sağlamaktır (Yu, 2014).

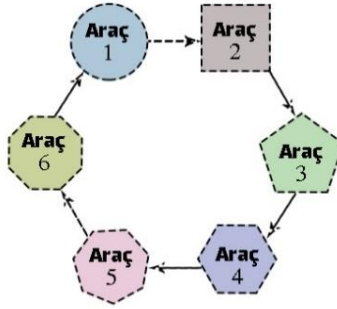
2013 yılında Kim ve Anderson, Ifcxml formatı ile DOE 2.2 enerji simülasyon analizi arasındaki bilgi alışverişini (zellikle geometri) kolaylaştırabilecek başka bir Ruby tabanlı araç önermiştir. Ancak, malzeme özelliklerinin ve HVAC sistem verilerinin modele manuel olarak entegre edilmesi gerekmektedir (H. Kim & Anderson, 2013). Aynı kategoride O'Donnell et al. BIM veri modeli ile simülasyon modelleri arasındaki boşluğu doldurmak için ara veri modeli SimMODEL'i önermektedir. SimModel, BIM veri modelinin bilgilerini ve enerji simülasyon araçlarının gereksinimlerini (başlangıçta EnergyPlus için) sıralar

Benzer şekilde, Kim et al. bir IFC dosyasını ayrılaştırabilen, malzemenin adını tanımlayabilen ve DOE 2.2 simülasyon motoru için bir girdi dosyası oluşturmak üzere bir veritabanından karşılık gelen özelliklerini bulabilen bir araç geliştirmişlerdir (H. Kim et al., 2016). Choi et al. ise bir malzeme kitaplığının geliştirilmesini ve malzeme bilgilerini alabilen, EnergyPlus için bir IDF girdisi oluşturabilen bir iş akışı önermektedir (Choi, Shin, Kim, & Kim, 2016). Aynı kategoride O'Donnell et al. BIM veri modeli ile simülasyon modelleri arasındaki boşluğu doldurmak için ara veri modeli SimMODEL'i önermektedir. SimMODEL, BIM veri modelinin bilgilerini

ve enerji simülasyon araçlarının gereksinimlerini (başlangıçta EnergyPlus için) sıralar (O'Donnell, 2012).

5. Değişim Gereksinimi

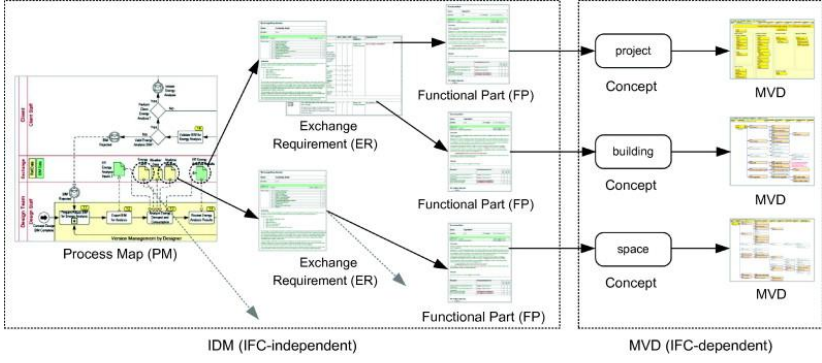
Bu yöntem, enerji simülasyonu için bina ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren bir BIM'i hedefler. BIM (IFC) yetenekleri, değiştirilen dosyanın enerji simülasyonu için gereken değişim gereksinimlerini karşılaması amacıyla genişletilir. Bu strateji, EN ISO 29481'den Model Görünüm Tanımları (MVD) ile Bilgi Teslim Kılavuzu (IDM¹) metodolojisini ve veri modelinin kendisini (EN ISO 16739'da tanımlandığı gibi IFC) içeren açık BIM çerçevesinin esnekliğine dayanır.



Şekil 9: Değişim gereksinimi

Bu yaklaşım, özel bir araca veya formata dayanmadığından, simülasyon değişim gereksinimleriyle doğrudan uyumlu bir IFC dosyasına sahip olmanın, yinelenen iş ve bilgileri önlediği için en esnek yaklaşım olarak kabul edilebileceği ifade edilmektedir (Andriamamonjy, Saelens, & Klein, 2019). MVD'ler, sektördeki belirli bir süreç için yazılım araçları geliştirmek amacıyla kullanılır. Şekil 10, değişim gereksinimlerini tanımlamak için bir çerçevenin iki farklı bölümünü temsil etmektedir. İlk bölüm, aktörler tarafından kontrol edilen bir sürecin bileşenlerini ve belirli süreçle ilişkili değişim gereksinimlerini açıklamaktadır. İkinci bölüm ise meta-model şemasına dayalı olarak iki farklı yazılım uygulaması arasındaki arayüzü tanımlamaktadır (Lee, Park, & Ham, 2013).

¹ Information Delivery Manual



Şekil 10: Değişim gereksinimlerini tanımlamak için çerçeve (Lee et al., 2013)

Daha sonra Cemesova et al., IFC ile Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP) arasındaki birlikte çalışabilirlik sorunlarını ele almaktadır. IFC'nin değişim gereksinimlerini kısmen karşılayan mevcut kısımlarını tanımlamış ve PHPP için değişim gerekliliğini yerine getirmek amacıyla yeni varlıklar ve ilişkiler sunmuşlardır (Cemesova, Hopfe, & McLeod, 2015). Pinheiro et al. ise EnergyPlus veya Modelica (özellikle AixLib Modelica kitaplığı ile) kullanarak bina enerji performansı simülasyonu için değişim gereksinimlerini yakalamak ve çevirmek için IDM ve MVD teknolojisini kullanan standart bir yaklaşım önermişlerdir (S. Pinheiro et al., 2018).

Andriamamonjy et al., IFC4 ve Modelica arasında doğrudan bilgi alışverişini sağlamak amacıyla IDM ve MVD'ye dayalı benzer bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşım, BIM'deki sistem ve kontrol modellerinin yanı sıra geometri modellemeyen simülasyon modeline eksiksiz bilgi aktarımı sağlamaktadır. Standart ve farklı konseptler olgunlaşmış ve kanıtlanmış olsa da, bu stratejilerin ana sınırlamaları, gerekli iş akışlarının yavaş benimsenmesi ve farklı BIM yazılım uygulamalarının IFC4 ve özel MVD'lerle hâlâ yetersiz uyumlu olmasıdır (Andriamamonjy, Saelens, & Klein, 2018).

Ramaji et al. ise bina bilgi modellerini bina enerji modellerine dönüştürmek için BIMserver'da geliştirilen ve uygulanan bir algoritmayı sunmaktadır. Bu algoritma, açık standart IFC formatındaki bir BIM modelini OpenStudio (OSM) için açık formattaki bir enerji modeline dönüştürmek üzere uygulanmıştır (Ramaji et al., 2020). Ancak, bu algorithmada çift yönlü veri alışverişisi olmasına rağmen optimizasyon uygulanamamaktadır.

Kaynak	Yıl	Problem	Çözüm	Yöntem	Teknolojik Yaklaşımları	Tasarım Aşaması
(Negendahl, 2015)	2015	Veri Aktarımı (Geometri)	VPL dilinden yararlanarak geometri model oluşturmak	VPL dili	Birleşik model	İlk aşama
(Jalaei, 2015)	2014	Veri kaybı	BIM aracına yeni eklenti tasarlamak (mevcut olanları özelleştirerek)	IES-VE plugin	Uygulama zinciri	Yaşam döngüsü
(Asl et al., 2015)	2015	Birlikte çalışabilirlik	Veri alışverişi sürecinde Autodesk Revit'in API'si kullanılır	(BPOpt) çerçevesini	Uygulama zinciri	İlk aşama
(Rose & Bazjanac, 2015)	2015	Veri Aktarımı (Geometri ve material)	IFC ile CAD modellerini BEM geometrisine dönüştürmek için bir algoritma sunulmak.	Algoritma	Merkezi model	-
(Abanda & Byers, 2016; S. Kim et al., 2016)	2016	Tasarım alternatiflerini karşılaştırmak	BIM tabanlı GBS simülasyonu	BIM tabanlı GBS	Birleşik model	İlk aşaması
(Kamel & Memari, 2018)	2018	Birlikte çalışabilirlik	BIM kullanarak enerji modellemesi yapmak için yeni bir yazılım aracı tanıtmış (ABEMAT)	ABEMAT aracı	Uygulama zinciri	Tasarım süreci (yapı kabuğu bileşenleri)
(Spiridigliozzi et al., 2019)	2019	Birlikte çalışabilirlik	Enerji performans değerlendirmesi için BIM-BEM sürecini optimize eden yeni iş akışı	EQUA tarafından geliştirilen IDA ICE	Uygulama zinciri	İlk aşama
(Jalaei & Jrade, 2014a)	2014	Veri Aktarımı (Geometri)	gbXML ve IFC veri şemasına dayalı Revit ve Ecotecl'i LEED sistemine entegre etmektir	Entegrasyon süreç	Uygulama zinciri	Kavramsal Tasarım
(Yu, 2014)	2014	Veri Aktarımı (Geometri)	OpenStudio'da enerji simülasyonu için düzeltilmiş	BIMserver ve Query Generator	Ara yazılım araç	-
(H. Kim & Anderson, 2013)	2013	Veri Aktarımı (Geometri)	DOE 2.2 enerji simülasyon analizi arasındaki bilgi alışverişini kolaylaştırabilecek	Ruby tabanlı araç	Ara yazılım araç	-
(Choi et al., 2016)	2016	Veri Aktarımı (Material)	Malzeme bilgilerini alabilen ve EnergyPlus için bir IDF	İş akışı	Ara yazılım araç	Gelişmiş aşama

(Cemesova et al., 2015)	2015	Birlikte çalışabilirlik	IFC ile Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP) arasındaki birlikte çalışabilirlik ele almış.	PHPP için değişim gerekliliğini	Değişim gereksinimi	Gelişmiş aşama
(Andriamamonjy et al., 2018)	2018	Birlikte çalışabilirlik	IDM ve MVD'ye dayalı bir yaklaşım geliştirdiler	IFC4 ve Modelica	Değişim gereksinimi	Gelişmiş aşama
(Ramaji et al., 2020)	2020	Birlikte çalışabilirlik	BIMserver'da geliştirilen ve uygulanan bir algoritma sunmakta.	Algoritme geliştirmek	Değişim gereksinimi	Gelişmiş aşama
(Ratajczak et al., 2023)	2023	Tasarım alternatiflerini karşılaştırmak	RBFOpt algoritması ile yöntem sunulmaktadır	Algoritme geliştirmek	Uygulama zinciri	İlk aşama

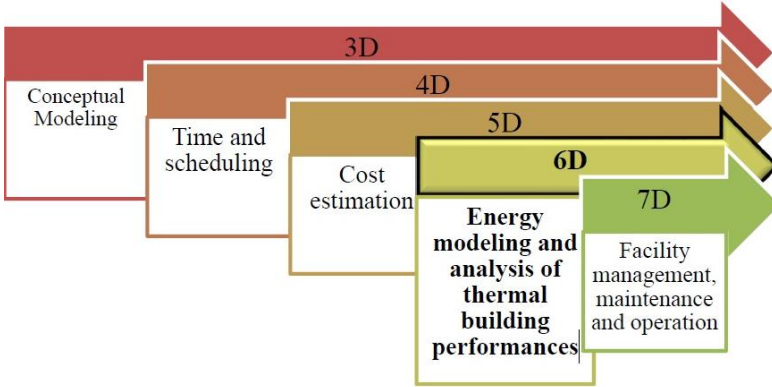
Literatür araştırmalarına dayanarak, Tablo 2'de BIM tabanlı BEM için teknolojik yaklaşım yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Uygulama zinciri yöntemi, araştırma hedeflerine ulaşmak için en uygun yöntem olabilir.

Tablo 1: BIM tabanlı BEM için Teknolojik Yaklaşımlar Yöntemleri karşılaştırmak.

	Hız	Veri Aktarımı	Optimizasyon	Tasarım ilk aşaması
Birleşik model yöntem	✓	✓	✓	✓
Merkezi model yöntemi	✗	✗	✗	✗
Uygulama zinciri	✗	✓	✓	✓
Ara yazılım aracı	✓	✗	—	✗
Değişim gereksinimi	✓	✓	✗	✗

BIM Kavramı

Teknik açıdan, bir bina, bina bilgilerinin tüm yönlerini birden fazla boyutta paylaşılabilen 3B sanal bir formatta (Eastman ve diğerleri, 2011) içeren uygun bir BIM aracı kullanılarak dijital olarak inşa edilebilir. Tüm bina yaşam döngüsü boyunca binaların fiziksel ve fiziksel olmayan özelliklerini tanımlamak için yedi BIM boyutu bulunmaktadır (Charef, Alaka ve Emmitt, 2018), bu boyutlar Şekil 11'de gösterilmektedir (Dong, Quan, & Yang, 2018).



Şekil 11: BIM'in farklı boyutları (Dong, Quan, & Yang, 2018)

Şekil 3'te gösterildiği gibi, BIM 6D, optimize edilmiş bir binanın enerji analizine odaklanır. BIM tabanlı veri paylaşım özelliği sayesinde, farklı profesyonellere, erken tasarımdan ayrıntılı tasarım ve işletim aşamalarına kadar enerji performansı analizini tamamlamak için çeşitli enerji simülasyon araçlarıyla bilgi alışverişi yapma fırsatları sunar (Kim et Woo, 2011).

Bina tasarımı, çeşitli disiplinlerin katkıda bulunduğu, doğası gereği kolektif ve işbirlikçi bir süreçtir. Bu süreç, bilgi modellerinin birçok kez değişimini içerir. BIM modeli, öğeler (u değeri, maliyet, eğim vb.) ve aynı zamanda parametreler (çatı, zemin, duvar, pencere) hakkında bilgileri içeren bir 3B modeldir. Model, yapısal tahminler ve enerji analizi yapmak için değerli bilgiler içerdiğinden, bu parametreler son derece önemlidir. Bunlar ayrıca maliyet tahmini, çakışma tespiti ve tesis yönetiminde önemli bir rol oynayabilir. BIM'in standart programları arasında en yaygın olarak kullanılanlar ArchiCAD ve Revit'tir (Kensek, 2015). Model bilgi ile zenginleştirildiği ve anlamsal olarak zengin 3B veri modellerinin değiş tokuşuna olanak tanıdığı için BIM kullanmak büyük avantaj sağlar. BIM, tasarım ve mühendislik kararları aşamalı olarak alınırken, farklı

aşamalarda modellerin düzenli olarak iyileştirilmesine olanak tanır. Geometrik ve grafik bilgiler açısından bu kademeli iyileştirmeler, Gelişim Düzeyi (LOD9) olarak adlandırılabilir (Abualdenien ve Borrmann, 2019).

Erken Tasarım Aşamasında BIM Tabanlı BEM Sürecin Problemleri

Binanın yaşam döngüsünde sıklıkla sorunlar meydana gelir; örneğin, tekrarlı ve hataya açık veri çoğaltma veya dönüştürme (Bazjanac, 2001), veri “sızıntıları,” yedekli veri işleme ve depolama. Bu kusurlar, verimlilik kayıplarından paydaşların iletişim bozukluklarına ve binadaki gerçek kusurlara kadar değişen istenmeyen etkilere sahiptir (Cormier, Robert, Roger, Stephan, & Wurtz, 2011).

Yapılan araştırmada, kaynakların çoğunda BIM tabanlı BEM’in sorunları ve zorlukları tartışılmaktadır. Örneğin, Smith ve Tardif, BIM değişiminde yönetim, özgünlük, gerekli kalite, detay, güvenilirlik, şeffaflık ve bilginin erişilebilirliği gibi genel zorlukları gözden geçirmiştir. Farklı paydaşların görüşlerini tatmin etmek ve farklı araçlar arasında birlikte çalışabilirlik sağlamak, diğer çalışmalarda ve bu kitapta tartışılan BIM değişim zorluklarından ikisidir (Smith & Tardif, 2009). Her ne kadar agcXML veya İnşaat Operasyonları Bina Bilgi Değişimi (COBIE) gibi bina bilgi değişim standartları örnekleri olsa da, bazı araştırmacılar veri değişim süreci için bir standardın yetersizliğine işaret etmektedir (S. V. Pinheiro, Wimmer, Maile, & O'Donnell, 2016; Smith & Tardif, 2009). Prada-Hernández ve diğ. geometri verilerini sırasıyla Revit’ten eQUEST ve IES-VE’ye dönüştürerek inşaat projesinin ayrıntılı tasarım aşamasında BIM ve BEM yazılımı arasındaki birlikte çalışabilirliği incelemişlerdir. Dönüşüm sırasında Revit modelinde birkaç değişiklik yapılması gerektiği bulunmuştur. Sonuçlar, BIM ve BEM yazılımlarının, birçok yazılım geliştirme şirketi tarafından belirtilenlerin aksine, şu anda sorunsuz bir şekilde birlikte çalışmadığını göstermiştir (Prada-Hernández, Rojas-Quintero, Vallejo-Borda, & Ponz-Tienda, 2015).

Bir CAD aracında bir duvarın kalınlığını görselleştirmek ve göstermek önemlidir. Ancak, enerji simülasyon aracı, bir duvar bileşeninin termal özelliklerine ihtiyaç duyar ve bu da iki farklı bileşen arasında bir boşluğa neden olabilecek merkez çizgisinin kullanılmasına yol açabilir (Steel, Drogemuller, & Toth, 2012). Kumar tarafından araştırılan bu konu, yapısal hacim ile enerji simülasyonu için analitik hacim ihtiyacı arasındaki farkı açıklamaktadır. Örneğin, IES-VE, enerji simülasyonu ve hava sirkülasyonu hesaplamaları yapmak için binanın iki farklı kabuk yüzeyine ihtiyaç duyar. Hava sirkülasyonu için IES iç hacmi kullanırken, binanın enerji ve termal değerlendirmesi için yapı kabuğu bileşenlerinin merkez düzlemi tarafından sınırlanan analitik hacim gereklidir (Kumar, 2008).

⁹ Level of Development

Enerji simülasyon motorlarının yanı sıra, GUI'nin arkasında çalışan ve içe aktarılan BIM dosyalarının yorumlanmasından sorumlu olan bu tür araçlarda yerleşik kodlar bulunur. Tek bir BIM dosyasındaki bazı öznitelikler, belirli bir enerji simülasyon aracı tarafından desteklenmeyebilir, bu da bir BIM dosyasını içe aktarmayı zorlaştırabilir. Örneğin, malzeme ve pencere türü gibi öznitelikler gbXML biçiminde kullanılabilir; bununla birlikte, malzeme özelliğinden farklı olarak, pencere türü, Revit tarafından dışa aktarılan yapı malzemesini veya mekanik verileri almayan EnergyPlus veya IES-VE ile uyumlu olmayabilir (Hyun, Marjanovic-Halburd, & Raslan, 2015; Moon, Choi, Kim, & Ryu, 2011).

Araçlar arasında bilgi alışverişi yoluyla veri kaybı, en yaygın sorunlardan biridir (Jalaei & Jade, 2014a). Bu nedenle, gerekli tüm veriler BIM modeli aracılığıyla enerji simülasyon araçlarına aktarılamaz; eksik veriler manuel olarak eklenmeli veya kullanılan simülasyon araçları tarafından otomatik olarak oluşturulmalıdır. Bunun nedeni, bina bilgilerinin dışa aktarılmasında, BIM araçları da dahil olmak üzere, Şekil 10'da gösterilen farklı bileşenlerin etkisi olabilir. Ayrıca, veriler BIM dosyasına düzgün bir şekilde aktarılamayabilir. BIM dosyası, verileri kaydedemeyebilir veya belirli bir bilgi parçası için herhangi bir öznitelik tanımlayamayabilir. Aynı sorun, BEM aracı içindeki verileri eşlerken de ortaya çıkabilir. Bu nedenle, BIM tabanlı BEM sürecindeki hemen hemen tüm bileşenler veri kaybına neden olabilir. Kim ve Anderson'un IFC gibi BIM dosyaları ile DOE2 gibi enerji simülasyon araçları arasındaki birlikte çalışabilirlik üzerine yaptıkları bazı çalışmalar, çalışma süresi ve inşaat programı hakkında olası bilgi eksikliklerini göstermektedir (H. Kim & Anderson, 2013).

Gerekli verilerin eksikliği, veri kaybına benzer bir başka zorluktur; ancak, gerekli tüm veriler ilk BIM aracı tarafından tanımlanıp sağlandığı sürece işlenmesi daha kolaydır (Kamel & Memari, 2019). BIM kullanarak enerji simülasyonu gerçekleştirdikten sonra bile, üretilen verileri BIM dosyasında saklamak, yeni bir simülasyon (örneğin, enerji simülasyonu) yaptıktan sonra güncellemek ve çıktıları görselleştirmek gibi konularda zorluklar devam etmektedir (Türkyılmaz, 2014). Sanguinetti ve arkadaşları, IFC ve IDF dosyalarını kullanarak bir vaka çalışması gerçekleştirmiş ve burada enerji performans çıktıları, yapı kabuğu bileşenlerinin ayrıntılı termal akışlarını sağlayan Revit'te otomatik termal bölge üretimi kullanılarak görselleştirilmiştir (Sanguinetti & Eastman, 2015). İlk tasarım aşamalarında enerji simülasyonu için veri eksikliği ve performansın ölçülmesi ile geri bildirim sağlanması gibi zorluklar belirlenmiştir (Kamel & Memari, 2019).

Belirlenen zorlukların ve sorunların çoğunun, birlikte çalışabilirlik ve veri aktarım sorunları altında kategorize edilebilen tasarım sürecinde ortaya

çıktığı gözlemlenmektedir. Bu tür zorluklara örnek olarak aşağıdakiler not edilebilir:

- BIM aracı bir modeldeki tüm bilgileri aktaramayabilir,
- BIM dosyası tüm bilgileri düzgün kaydedemeyebilir,
- BEM aracı tüm bilgileri okuyamayabilir ve bilgiler eşlenmeyebilir,
- BEM ve enerji simülasyon motorunun dosya biçimine düzgün şekilde aktarılamayabilir.

Tablo 2: BIM Tabanlı BEM Sürecin Sorunları

Veri Aktarımı
•geometri •konstrüksiyonlar ve malzemeler •bina veya alan tipi •termal bölgeler •alan yükü •HVAC sistemi ve bileşenleri
Birlikte Çalışabilirlik
•sözdizimi düzeyi (syntax level) •görselleştirme düzeyi (visualization level) •anlambilim düzeyi (semantic level)

Tasarım süreci, bir proje içindeki tasarımın teknik ve teknik olmayan işlevlerinin koordinasyonunu içerir. Bina enerji simülasyonu, proje hedeflerine en uygun olanı seçmek için tasarım çözümlerinin performansını karşılaştırmaya izin veren bu sürecin önemli parçalarından biridir (Tuomas Laine, 2012). Optimal bir çözüme ulaşmak için, projenin ilk aşamalarından itibaren mimarlar ve mühendisler arasındaki işbirliği büyük bir önem taşır.

Tasarım süreci geleneksel olarak bina geometrisinin tasarımını mevcut binaların kalitatif tasarımına ve önceki deneyimlere dayalı olarak gerçekleştiren mimarla başlar. Daha sonra mühendisler, doğrulama için ayrıntılı tasarım aşamasında genellikle simülasyonlar gerçekleştirir. Bina sürecinin ilk aşamalarında, binanın enerji verimliliğine karar vermede büyük etkisi olan binanın genel formu, yerleşim planı, yönelimi ve yapım

yöntemi ile ilgili önemli kararlar alınır. Erken kararlar, tasarım alternatifinin kullanılabilirliğini, üretkenliğini ve esnekliğini etkiler. Pasif tasarım kararları, aktif tasarım stratejilerine büyük ölçüde aşırı talepler getirebileceğinden, aktif ve pasif tasarım stratejilerini entegre etmek çok önemlidir.

Geleneksel bir tasarım sürecinde, model sapması riskleri yüksektir ve bu da erken aşamalarda çeşitli hata ve yanlış anlamalara yol açabilir. Ek olarak, enerji kullanımını etkileyen kararların ve analizlerin çoğu (örneğin, güneş ışığı analizi gibi) erken tasarım aşamalarında dikkate alınmamaktadır (GSA05, 2012 ve Eastman vd., 2011). Bina tasarım performansının geç analizi, verimli bir tasarım süreci olmayan tüm çizimlerde birkaç değişiklik ve yeniden çalışma gerektirir.

Bunun aksine, BIM tabanlı bir tasarım süreci daha entegre olmalıdır; bunun için birden çok disiplin ve tasarım ögesi, çeşitli sistemler ve bileşenler arasında bir sinerji oluşturmak amacıyla işbirliğine dayalı bir ortamda çalışabilir (Todd ve Hayter, 2003). Bu bağlamda, BIM tabanlı BEM süreci projenin en erken aşamalarında başlamalıdır; bu süreçte mimarlar ve mühendisler, projede daha önce varsayımlar yerine doğru verilere dayanarak tasarım kararları verebilirler. Bilgi paylaşımı, işbirliği ve erken karar verme, binanın kaynak tüketimini, çevresel etkisini ve tasarım çatışmalarını azaltma açısından bina performansı üzerinde en fazla etkiye sahiptir (Azari & Kim, 2016).

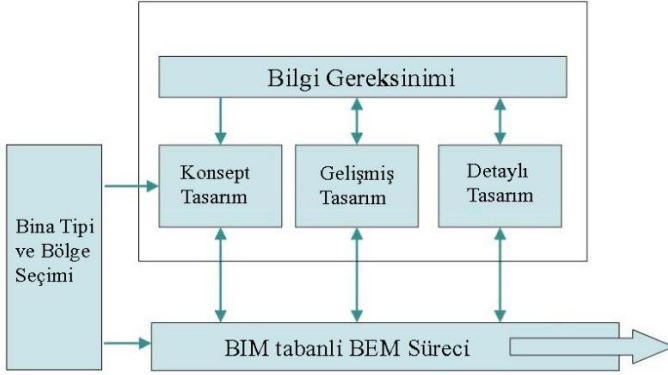
Tablo 3'te grafik model, BIM veya BEM araçlarında 2B veya 3B formatlarda görsel olarak sunulan bilgiler kullanılarak oluşturulan modeli ifade eder. Sanal bir bina modelindeki öğeler arasındaki ilişkileri kurarak görsel bir referans, konum ve bağlam sağlar. Grafiksel bir model oluşturmak için fiziksel boyut veya boyut bilgisi gereklidir. Grafik olmayan model ise, BIM veya BEM araçlarında elemanlar veya elemanların özellikleri için genellikle metin formatında sunulan bilgiler tarafından oluşturulan modeli ifade eder; bunlara bileşen özellikleri, termal özellikler vb. dahildir.

Tablo 3: Tasarım aşamasında farklı LODES tanımları

LOD	Tanım	Tasarım aşaması
100	Makro düzeyde yaklaşık yapı elemanlarını kapsayan grafik model: alan, kütle ve biçim.	Ön konsept tasarımı: Hedef, erken ve geniş alan tasarımı, iklim koşulları, bina yönelimi ve tasarım alternatiflerinin büyük ölçekli etkilerinin değerlendirilerek bina tasarımı ve güneş ışığı hakkında erken geri bildirim sağlanmasıdır.
150	Genel proje özelliklerini, iklim ve konum özelliklerini kapsayan grafik olmayan model.	
200	Orta düzeyde yaklaşık yapı elemanlarını kapsayan grafik model (mikro ve makro düzeyler arasında kalan bir nüfus büyüklüğünü)	Nihai konsept tasarımı: Hedef, yüksek performans seçeneklerini, bina geometrisini tanımlamak, mekansal konfigürasyonu,

	gösterir): geometri, mekansal, boyut, yerleşim ve yönelim.	yerleşimleri, pencere-duvar oranını ve güneş radyasyonunu değerlendirmek için boşluk-mekân tasarımıdır. Bina yüklerini ve enerji tüketimini tahmin etmek için ön simülasyon tamamlandı.
250	Boşlukları, termal bölgeleri ve ön HVAC sistemlerini kapsayan grafiksel ve grafiksel olmayan model.	
300	Doğru yapı elemanlarını ve ayrıntılı geometri, mekansal, açıklıklar, miktar, düzen, konum ve yönelim bilgilerini kapsayan mikro düzeyde grafiksel model. Yapı elemanlarının, yapı ve malzeme türlerinin, iç yüklerin, ayrıntılı HVAC sistemlerinin doğru ve ayrıntılı termal özelliklerini kapsayan grafiksel ve grafiksel olmayan bilgiler.	Ayrıntılı tasarım: Hedef, tahminler yapmak ve doğru enerji sağlamak için nihai teknik sistem kararları ve enerji maliyeti tahmini için içeriden dışarıya ve yukarıdan aşağıya ayrıntılı bir uzay-uzay tasarımıdır.

Bununla birlikte, BIM tabanlı BEM sürecinin eleştirel düşünme yoluyla doğru bir şekilde takip edilmesi gerekir ve başarılı bir uygulama için tasarım sürecinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir (Council, 2014). Şekil 12, farklı tasarım aşamalarında BIM tabanlı BEM yönteminin uygulanmasını göstermektedir. Literatürdeki araştırmalarda, genellikle ileri aşamalarda BIM tabanlı BEM sürecinin değerlendirilmesine odaklanılmakta, erken aşamalarda ise bu sürecin kullanılmasına çok az ilgi gösterilmektedir. Bu nedenle, bu alanın daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir.



Şekil 12: Farklı tasarım aşamaları

BIM tabanlı BEM metodolojisi literatürde yaygın olmasına rağmen, çok az uygulama bu kavramları inşaat sektöründeki bina tasarım kararları için bir karar destek çerçevesine entegre etmektedir. Binalar için uygun yapı kütlesi, form, yerleşimler, WWR (pencere alan oranı) veseçmek amacıyla, Bina Bilgi Modellemesi (BIM) tabanlı Bina Enerji Modelleme

(BEM) süreci ile karar verme yöntemlerinin entegrasyonunu içeren inşaat profesyonelleri ve tasarımcılar için bir çerçeve önerilmelidir. Bu çerçevede, özellikle de ilk adımlarda mimarlar tarafından verilen kararları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yüksek enerji performanslı tasarım hedeflerine ulaşmak amacıyla desteklemek önemlidir.

BIM-BEM İçin Sürdürülebilirlik Yaklaşımları

Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve Bina Enerji Modellemesi (BEM) entegrasyonunun, sürdürülebilir bina tasarımında enerji verimliliğini önemli ölçüde artırarak ve kapsamlı çevresel etki analizlerini kolaylaştırarak dönüştürücü bir yaklaşım olarak ortaya çıktığı görülmektedir. BIM tabanlı BEM sentezi, gelişmiş hesaplama araçlarını kullanarak, enerji tüketimi ve çevresel sürdürülebilirliği ele alarak bina performansını yaşam döngüsü boyunca optimize etmektedir.

BIM, çok disiplinli bilgileri bir araya getiren temel bir platform olarak mimarların, mühendislerin ve inşaat profesyonellerinin bina tasarımlarını uyumlu bir şekilde görselleştirmelerine ve analiz etmelerine olanak tanır. Bu entegrasyon, enerji verimli tasarım stratejilerinin proje yaşam döngüsünün erken aşamalarında belirlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Örneğin, Liu ve arkadaşları, bir binanın yönünün BIM ve enerji simülasyon yazılımı aracılığıyla analiz edilmesinin, enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyebileceğini ve bu durumun bilinçli tasarım kararlarının önemini vurguladığını göstermiştir (Liu, Ding, Li, & Xue, 2023). Ayrıca Borkowski, IoT'nin BIM yeteneklerini geliştirerek enerji sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesini ve yönetilmesini sağladığını, bunun da operasyonel verimliliği artırabileceğini vurgulamıştır (Borkowski, 2024).

BIM ve BEM arasındaki birlikte çalışabilirlik, doğru enerji performansı değerlendirmelerine ulaşmak için hayati öneme sahiptir. Ciccozzi, BIM tabanlı BEM sürecinin yalnızca tasarım seçeneklerini geliştirmekle kalmadığını, aynı zamanda hataları azalttığını ve inşaat sektöründe üretkenliği artırdığını belirtmiştir (Ciccozzi, de Rubeis, Paoletti, & Ambrosini, 2023). Bu birlikte çalışabilirlik, BIM modellerinin enerji analizi için uygun formatlara otomatik olarak dönüştürülmesine olanak tanıyarak tasarımdan performans değerlendirmesine kadar olan iş akışını hızlandırır (Jeong & Son, 2016). Ayrıca BEM araçlarının BIM sistemine entegrasyonu, tasarımcıların projelerinin çevresel etkilerini anında analiz etmelerini sağlayarak daha sürdürülebilir binaların ortaya çıkmasını desteklemektedir (Reeves, Olbina, & Issa, 2012).

Sürdürülebilir bina uygulamaları, BIM ile ilişkili yaşam döngüsü faydalarıyla daha da desteklenmektedir. Kapsamlı veri yönetimini

kolaylaştıran BIM, paydaşların bina performansını zaman içinde optimize etmelerini sağlarken, bu durum operasyonel maliyetlerin azaltılması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi için gereklidir (Zhang, 2024). Örneğin, Azhar ve arkadaşlarının savunduğu gibi, tasarım aşamasında performans analizlerinin yapılabilmesi, inşaat sonrası yenileme yerine sürdürülebilirlik kriterlerine proaktif olarak uyum sağlanması olanak tanımaktadır (Azhar & engineering, 2011).

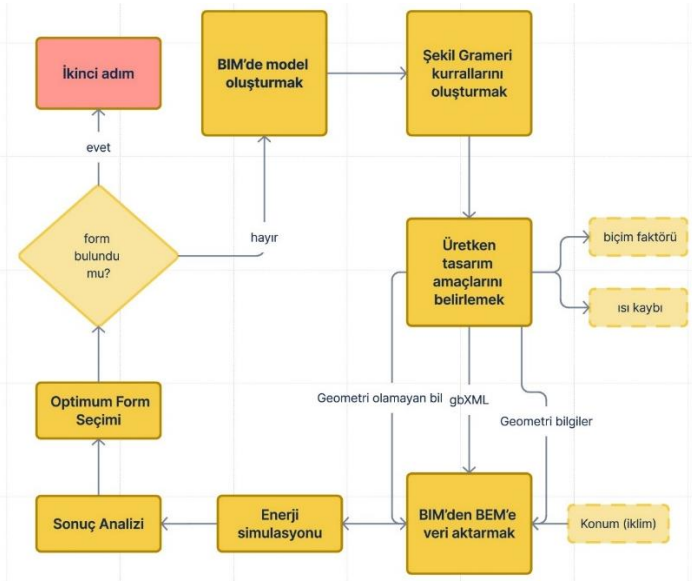
BIM tabanlı BEM entegrasyonu sayesinde gerçekleştirilen çevresel etki analizleri de dikkate değerlidir. Gelişmiş simülasyon araçları kullanılarak tasarımcılar, enerji kullanımı, malzeme seçimi ve atık üretimi gibi çeşitli senaryoları değerlendirebilir ve bu sayede daha bilinçli karar verme süreçlerine ulaşabilirler (Wong & Fan, 2013). Andriamamonjy ve arkadaşlarının çalışması, otomatik iş akışlarının enerji performansı simülasyonlarını nasıl geliştirdiğini ve bu sayede bir binanın enerji dinamiklerinin daha doğru bir şekilde temsil edildiğini göstermektedir (Andriamamonjy et al., 2018). Bu yetenek, iyileştirme alanlarını belirlemek ve sürdürülebilirlik standartlarına uyumu sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, BIM ve BEM'in entegrasyonu, sürdürülebilir bina tasarımında önemli bir ilerlemeyi temsil etmekte, enerji verimliliğini artırmakta ve kapsamlı çevresel etki analizlerine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım tasarım ve inşaat süreçlerini iyileştirmenin yanı sıra, bina yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliği ön planda tutan işbirlikçi bir ortamı teşvik etmektedir.

Geometrik parametreler, enerji verimli bina tasarımında temel bir rol oynamaktadır. Binanın formu, yüzey alanı, yönelimi ve hacim gibi geometrik özellikler, enerji tüketimini ve çevresel performansı doğrudan etkiler. Özellikle yüzey alanı/hacim oranı, ısı kayıpları ve kazançları açısından kritik bir parametredir ve optimal değerler, iklim koşullarına göre belirlenmelidir. Ayrıca, bina yönelimi, güneş işığı ve doğal aydınlatma potansiyelini maksimize etmek için dikkatle tasarlanmalıdır. Bu parametreler, enerji simülasyonları ve performans analizleri ile değerlendirilerek, tasarım sürecinde enerji verimliliğini artırıcı kararların alınmasına olanak tanır. Geometrik parametrelerin etkin şekilde optimize edilmesi, enerji verimliliğini artırırken bina yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına da katkı sağlar.

Bu alışma, BIM tabanlı projelerinde enerji verimliliğini esas alarak tasarımın optimize edilmesini amaçlamakta ve bu doğrultuda çok değişkenli, çok kriterli kararları değerlendirebilen bir üretken tasarım yaklaşımı önermektedir. şekil 13'te gösterilen süreç kapsamında, BIM ortamında oluşturulan başlangıç modeli analiz eden ve enerji performansına göre optimize edilmiş tasarım varyasyonlarını otomatik

olarak üretebilen döngüsel bir iş akışı geliştirilmiştir. Optimizasyon süreci, Dynamo platformunda genetik algoritma kullanılarak yürütülmekte; üretilen alternatifler, belirlenen performans kriterlerine göre değerlendirilmekte ve en uygun tasarım çözümü yeniden oluşturularak Autodesk Revit ortamına entegre edilmektedir. Bu yöntem, erken tasarım aşamasında hem enerji etkin hem de çevresel açıdan sürdürülebilir ve kullanıcı konforunu gözeten yaşam alanlarının sistematik biçimde geliştirilebilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 13: Genel iş akışı

Sonuç

Bu çalışmada, bina enerji verimliliğinin erken tasarım aşamasında artırılmasına yönelik olarak, Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ile Bina Enerji Modellemesi (BEM) süreçlerinin entegrasyonunu esas alan, üretken tasarım yaklaşımına dayalı bir yöntem önerilmiştir. BIM tabanlı bir platform olan Autodesk Revit ile parametrik modelleme ve enerji simülasyonu araçlarının entegre biçimde kullanılması, tasarımcıların enerji performansı yüksek alternatifleri erken aşamalarda değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, geliştirilen iş akışı, Revit ve Dynamo araçları üzerinden parametrik modelleme ve genetik algoritma temelli optimizasyon süreçlerini bir araya getirerek çok kriterli karar destek mekanizması oluşturmuştur.

Literatür incelemesinde, BIM-BEM entegrasyonunun özellikle birlikte çalışabilirlik, veri aktarımı, geometri uyumluluğu ve yazılım farklılıkları

gibi zorluklarla karşılaştırılmıştır. Bu sorunların, simülasyon doğruluğu ve tasarım sürecinin verimliliği üzerinde doğrudan etkili olduğu anlaşılmıştır. Buna rağmen, BIM tabanlı enerji modellemesi ile erken aşamada geri bildirim sağlanması, sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanması önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Önerilen yöntem, yapı formunun ve cephe özelliklerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini analiz ederek karar verme süreçlerine doğrudan katkı sağlamaktadır. Yüzey alanı/hacim oranı (SA/V), yönlenme, pencere-duvar oranı (WWR) gibi geometrik parametrelerin parametrik olarak kontrol edilmesi ve performansa göre optimize edilmesi, enerji etkin tasarım hedeflerine ulaşmayı mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, BIM tabanlı BEM tasarım yaklaşımı, bina tasarım süreçlerine yalnızca görsel ve işlevsel değil, aynı zamanda enerji performansı odaklı bütüncül bir değerlendirme olanağı sunmaktadır. Erken tasarım aşamasında parametrik modelleme ve enerji simülasyonunun entegrasyonu, sürdürülebilir ve yüksek performanslı bina çözümlerinin sistematik olarak üretilmesine katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, tasarım sürecini daha veriye dayalı ve optimize edilebilir hale getirirken, enerji verimliliğini artırma hedeflerini de somut biçimde desteklemektedir. İlerleyen çalışmalarda, üretken tasarım destekli analizlerin, disiplinler arası veri entegrasyonunun ve birlikte çalışabilirlik protokollerinin daha da geliştirilmesi, BIM-BEM entegrasyonunun sektör genelinde yaygınlaştırılmasına ve etkinliğinin artırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Abanda, F., & Byers, L. (2016). An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy*, 97, 517-527.
- Andriamamonjy, A., Saelens, D., & Klein, R. (2019). A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation. *Journal of Building Engineering*, 22, 513-527.
- Andriamamonjy, A., Saelens, D., & Klein, R. J. A. i. C. (2018). An automated IFC-based workflow for building energy performance simulation with Modelica. 91, 166-181.
- Asl, M. R., Zarrinmehr, S., Bergin, M., Yan, W. J. E., & Buildings. (2015). BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. 108, 401-412.
- Azari, R., & Kim, Y.-W. (2016). Integration evaluation framework for integrated design teams of green buildings: Development and validation. *Journal of Management in Engineering*, 32(3), 04015053.
- Azhar, S. J. L., & engineering, m. i. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. 11(3), 241-252.
- Bazjanac, V. (2001). Acquisition of building geometry in the simulation of energy performance.
- Borkowski, A. S. (2024). Low-Cost Internet of Things Solution for Building Information Modeling Level 3B—Monitoring, Analysis and Management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(2), 19.
- Cemesova, A., Hopfe, C. J., & McLeod, R. S. (2015). PassivBIM: Enhancing interoperability between BIM and low energy design software. *Automation in construction*, 57, 17-32.
- Choi, J., Shin, J., Kim, M., & Kim, I. (2016). Development of openBIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment. *Automation in construction*, 72, 52-64.
- Ciccozzi, A., de Rubeis, T., Paoletti, D., & Ambrosini, D. (2023). BIM to BEM for Building Energy Analysis: A Review of Interoperability Strategies. *Energies*, 16(23), 7845.
- Cormier, A., Robert, S., Roger, P., Stephan, L., & Wurtz, E. (2011). *Towards a BIM-based service oriented platform: application to building energy performance simulation*. Paper presented at the Proceedings of the 12th conference of international building performance simulation association, Sydney, Australia.
- Dong, Z., Quan, L., & Yang, J. (2018). Tracked walking mechanism for large hydraulic excavators. *Automation in construction*, 96, 88-102.
- Echenagucia, T. M., Capozzoli, A., Cascone, Y., & Sassone, M. J. A. E. (2015). The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. 154, 577-591.

- Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. J. A. e. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. 238, 320-343.
- Guide, G. J. U. S. G. S. A. (2015). 05-Energy performance.
- Hyun, S., Marjanovic-Halburd, L., & Raslan, R. (2015). Investigation into informational compatibility of Building Information Modelling and Building Performance Analysis software solutions. *WIT Transactions on The Built Environment*, 149, 543-553.
- Jalaei, F. (2015). *Integrate building information modeling (BIM) and sustainable design at the conceptual stage of building projects*. Université d'Ottawa/University of Ottawa,
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014a). An automated BIM model to conceptually design, analyze, simulate, and assess sustainable building projects. *Journal of Construction Engineering*, 2014.
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014b). Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings. *Itcon*, 19, 494-519.
- Jeong, W., Kim, J. B., Clayton, M. J., Haberl, J. S., & Yan, W. J. T. S. W. J. (2014). Translating building information modeling to building energy modeling using model view definition. 2014.
- Jeong, W., & Kim, K. J. S. (2016). A performance evaluation of the BIM-based object-oriented physical modeling technique for building thermal simulations: a comparative case study. 8(7), 648.
- Jeong, W., & Son, J. J. E. (2016). An algorithm to translate building topology in building information modeling into Object-Oriented physical modeling-based building energy modeling. 9(1), 50.
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2018). *Software Tool for Automation in Building Energy Simulation Using Building Information Modeling (BIM)*. Paper presented at the 4th Residential Building Design & Construction ConferenceAt: Penn Stater Conference Center, , State College, PA.
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in construction*, 97, 164-180.
- Kim, H., & Anderson, K. (2013). Energy modeling system using building information modeling open standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(3), 203-211.
- Kim, H., Shen, Z., Kim, I., Kim, K., Stumpf, A., & Yu, J. (2016). BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information. *Automation in construction*, 68, 183-193.
- Kim, J. B., Jeong, W., Clayton, M. J., Haberl, J. S., & Yan, W. J. A. i. c. (2015). Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. 50, 16-28.
- Kim, S., Zadeh, P. A., Staub-French, S., Froese, T., & Cavka, B. T. (2016). Assessment of the impact of window size, position and orientation on building energy load using BIM. *Procedia Engineering*, 145, 1424-1431.

- Konis, K., Gamas, A., & Kensek, K. (2016). Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*, 125, 161-179.
- Kumar, S. (2008). *Interoperability between building information models (BIM) and energy analysis programs*: University of Southern California.
- Lee, G., Park, Y. H., & Ham, S. (2013). Extended Process to Product Modeling (xPPM) for integrated and seamless IDM and MVD development. *Advanced engineering informatics*, 27(4), 636-651.
- Liu, X., Ding, Z., Li, X., & Xue, Z. (2023). Research progress, hotspots, and trends of using bim to reduce building energy consumption: Visual analysis based on wos database. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3083.
- Moon, H. J., Choi, M. S., Kim, S. K., & Ryu, S. H. (2011). *Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs*. Paper presented at the Proceedings of 12th conference of international building performance simulation association.
- Negendahl, K. (2015). Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. *Automation in construction*, 54, 39-53.
- O'Donnell, J. (2012). SimModel: A domain data model for whole building energy simulation.
- Pinheiro, S., Wimmer, R., O'Donnell, J., Muhic, S., Bazjanac, V., Maile, T., . . . van Treeck, C. J. A. i. C. (2018). MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation. 90, 91-103.
- Pinheiro, S. V., Wimmer, R., Maile, T., & O'Donnell, J. (2016). *Model view definition for advanced building energy performance simulation*. Paper presented at the CESBP/BauSIM 2016: CESBP Central European Symposium on Building Physics, Technische Universität Dresden, Germany, 14-16 September 2016.
- Prada-Hernández, A. V., Rojas-Quintero, J., Vallejo-Borda, J., & Ponz-Tienda, J. J. P. o. t. S. E. (2015). Interoperability of building energy modeling (BEM) with building information modeling (BIM). 519-526.
- Ramaji, I. J., Messner, J. I., & Mostavi, E. J. J. o. C. i. C. E. (2020). IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation. 34(3), 04020005.
- Ratajczak, J., Siegele, D., & Niederwieser, E. (2023). Maximizing Energy Efficiency and Daylight Performance in Office Buildings in BIM through RBFOpt Model-Based Optimization: The GENIUS Project. *Buildings*, 13(7), 1790.
- Reeves, T., Olbina, S., & Issa, R. (2012). Guidelines for using Building Information Modeling (BIM) for environmental analysis of high-performance buildings. In *Computing in Civil Engineering (2012)* (pp. 277-284).
- Rose, C. M., & Bazjanac, V. (2015). An algorithm to generate space boundaries for building energy simulation. *Engineering with Computers*, 31(2), 271-280.

- Sanguinetti, P., & Eastman, C. (2015). Automated energy performance visualization for BIM. *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, 119-128.
- Smith, D., & Tardif, M. (2009). Building Information Modeling: A strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers. In: UK: John Wiley & Son.
- Spiridigliozzi, G., Pompei, L., Cornaro, C., De Santoli, L., & Bisegna, F. (2019). *BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Steel, J., Drogemuller, R., & Toth, B. (2012). Model interoperability in building information modelling. *Software & Systems Modeling*, 11(1), 99-109.
- Toth, B., Janssen, P., Stouffs, R., Chaszar, A., & Boeykens, S. (2012). Custom digital workflows: A new framework for design analysis integration. *International Journal of Architectural Computing*, 10(4), 481-499.
- Türkyılmaz, E. (2014). A proposal for energy efficient design: An IFC based design decision system and its application.
- Wong, K. d., & Fan, Q. (2013). Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*, 31(3/4), 138-157.
- Yu, N. (2014). Information interoperability between building information modeling authoring tools and simulation tools to support energy efficient building design.
- Zhang, Y. (2024). Optimizing infrastructure development through BIM: A comprehensive analysis of lifecycle benefits and applications. *Theoretical and Natural Science*, 34, 250-255.



BÖLÜM

3

**MİMARLIKTAKİ BİR FORM ÜRETME VE YAPİ
KURMA STRATEJİSİ OLARAK MORFOGENEZ
YAKLAŞIM:**

**ACHİM MENGE'İN PARAMETRELERİ İLE
DENEYSEL PAVYONLARI OKUMAK**

Sevim SEYHAN AYTEN¹

Halide İrem ERKAN KAYA²³

1 Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi Anabilim Dalı, sayten@erciyes.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2016-0776

2 Araş. Gör. Dr., Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi Anabilim Dalı, halideiremerkan@erciyes.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2016-0776

3 Erciyes Üniversitesi, Urban and Housing Research Group, Kayseri

1. Giriş

Morfogenez, doğa bilimlerinden gelen bir kavram olarak, formların oluşum süreçlerini anlamaya yönelik bir yaklaşım sunar ve son yıllarda mimarlıkta biçimlenme ve yapı kurma süreçlerini yeniden düşünmenin önemli araçlarından biri hâline gelmiştir. Geleneksel mimarlıkta biçim genellikle estetik, sembolik ya da işlevsel ölçütlerle tanımlanırken, morfogenez bu anlayışa alternatif olarak biçimi, sabit bir nesne yerine, değişken girdilerle evrilen bir süreç olarak ele alır. Bu dönüşüm, dijital tasarım araçları, hesaplamalı modelleme teknikleri ve parametrik sistemlerin gelişmesiyle birlikte mimarlık pratiğinde uygulanabilir hâle gelmiştir.

Mimarlık disiplini tarih boyunca biçim üretimiyle özdeşleştirilmiş; yapıların fiziksel görünüşü, estetik değeri ve mekânsal organizasyonu üzerinden anlamlandırılmıştır. Ancak Lynn'e göre (1999) 20. yüzyılın sonlarından itibaren mimari form, sabit ve değişmez bir nesne olmaktan çıkarak dinamik bir oluş süreci olarak yeniden düşünülmeye başlanmıştır. Biçimin, belirli kurallarla son hâlini alan bir tasarım nesnesi değil; çevresel, yapısal, programatik ve malzeme-temelli girdilerin etkileşiminden doğan bir süreç olarak ele alınması, mimarlıkta yeni bir düşünme biçiminin önünü açmıştır (Oxman, 2006, s.234). Bu dönüşüm, yalnızca teorik düzeyde değil; hesaplamalı tasarım araçlarının ve dijital üretim teknolojilerinin gelişmesiyle uygulamada da karşılık bulmuştur. Hesaplamalı tasarım ortamları ve dijital üretim teknolojileri, morfogenetik yaklaşımların mimari tasarımda uygulanabilirliğini artırmıştır. Karmaşık verilerin modellenmesi, parametrik ilişkilerin kurulması, performans simülasyonlarının yapılabilmesi ve dijital üretim tekniklerinin biçimsel sonuçlarla bütünleştirilmesi, mimarlıkta sürece dayalı form üretimini mümkün kılmıştır (Kolarevic, 2003, s.39). Böylece morfogenez yalnızca doğadan ilham alan bir metafor değil, dijital çağın hesaplamalı potansiyelleriyle donatılmış yeni bir biçimlenme ve yapı kurma stratejisi olarak ele alınmaktadır.

Bu çalışma, morfogenez yaklaşımının kuramsal altyapısını incelemeyi, mimarlık kuramı ve pratiği bağlamında derinlemesine tartışmayı amaçlar. Bu doğrultuda çalışmada morfogenez kavramının mimarlıkla kesişimi, bu kavramın anlamı ve tarihsel arka planı sunulmakta, doğadaki morfogenetik süreçler üzerinden mimarlıkta süreç-temelli tasarım anlayışı kuramsal bir zeminde tartışılmakta ve hesaplamalı tasarım ve dijital üretimle olan ilişkisi ortaya konulmaktadır. Morfogenez yaklaşımının mimari biçimlenme ve yapı kurma süreçlerindeki yansımalarını ele alan çalışma, bu yaklaşımın çağdaş mimarlıkta nasıl biçim bulduğunu, form üretimi, malzeme kullanımı, çevresel adaptasyon ve yapısal organizasyon gibi alanlardaki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Analizler, Achim Menges'in tanımladığı beş temel

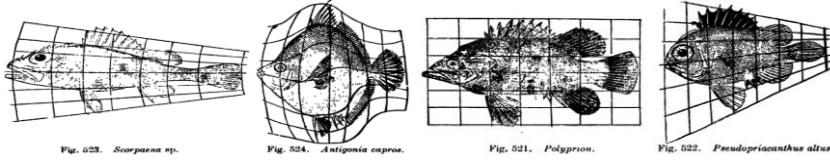
parametre - yapı malzemesi, yapım sistemi, üretim süreci, tasarım yöntemi ve biyolojik rol model - çerçevesinde yürütülecek ve morfogenez temelli tasarım yaklaşımları doğrultusunda geliştirilen deneysel pavyon tasarımları malzeme zekâsı, yapısal performans ve çevresel uyum bağlamında karşılaştırmalı olarak çözümlenecektir. Menges'in çalışmaları, biyolojik organizasyonların morfogenetik ilkelerinden ilham alan süreç-temelli tasarım anlayışını dijital üretim teknolojileriyle birleştirerek, mimarlıkta morfogenetik yaklaşımların hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde temsilini sunması bakımından bu çalışma için referans niteliğindedir. Böylece, her bir tasarımın ardındaki kuramsal ve teknik stratejiler açığa çıkarılarak morfogeneze odaklı mimari üretimin yapısal bütünlüğü ortaya konacaktır.

Sonuç olarak morfogeneze yaklaşımının mimarlık düşüncesine katkıları, karşılaştığı sınırlılıklar ve geleceğe yönelik potansiyeller üzerine genel bir değerlendirme sunulmaktadır. Formu dinamik bir süreç olarak ele alan bu yaklaşım, doğa, malzeme ve yapısal mantıkla kurduğu ilişki sayesinde çağdaş mimarlıkta yeni tasarım stratejileri geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Deneysel pavyon örnekleri üzerinden yapılan analizler, morfogeneze temelli üretim anlayışının tasarım sürecine sağladığı yapısal ve çevresel avantajları gözler önüne sermektedir.

2. Biyolojik Sistemlerde Biçim Oluşumu: Doğadan Mimariye Morfogenezin İzleri

Yunanca “morphē” (biçim) ve “gēnesis” (oluşum) sözcüklerinden türeyen morfogeneze, doğadaki organizmaların gelişim süreçleri içinde biçim kazanmalarını açıklayan biyolojik bir kavramdır. Bu terim yalnızca biyolojik organizmaların değil, daha geniş anlamda bir biçimin, bir strüktürün ya da bir sistemin oluşum ve evrimsel gelişim süreçlerini ifade eder. Biyolojik morfogeneze, hücre düzeyindeki genetik bilgilerin; fiziksel kuvvetler, çevresel faktörler ve içsel mekanizmalarla etkileşim hâlinde organizmanın nihai formunu nasıl belirlediğini araştırır. Bu bağlamda, D'Arcy Wentworth Thompson'ın klasik eseri *On Growth and Form* (1917), biçim oluşumuna dair biyolojik yaklaşımların ötesine geçerek, bu sürecin ardındaki fiziksel ve matematiksel ilkeleri ortaya koymuştur. Thompson'a göre doğadaki formlar, yalnızca genetik kodlamaların bir sonucu değil; aynı zamanda mekanik kuvvetlerin, akışkanlık, basınç ve gerilim gibi fiziksel etkilerin yön verdiği geometrik ve topolojik dönüşümlerin ürünüdür. Bu dönüşümler, sayısal olarak modellenilebilir hale gelir (Thompson, 1917). Thompson'un en bilinen katkılarından biri, farklı türlerin benzer anatomik yapılarını matematiksel bir ızgara sistemiyle karşılaştırarak, aralarındaki morfolojik farkları dönüşüm yoluyla

modellemesidir. Bu yaklaşım Şekil 1’de görüleceği üzere özellikle balık türlerinin kafatası formlarını karşılaştıran dönüşüm ızgaralarıyla somutlaşır. Thompson’un çalışmasında farklı balık türlerinin kafatası biçimleri, karşılaştırmalı olarak matematiksel ızgara sistemleri üzerinden modellenmiştir.



Şekil 1. D’Arcy Wentworth Thompson’un “On Growth and Form” (1917) adlı eserinde yer alan dönüşüm ızgaraları.

Biyolojik sistemlerde morfogenez, organizmaların çevresel koşullara adaptif şekilde biçimlenmesini sağlayan evrimsel süreçleri ifade eder. “Mimarlıkta morfogenez, önceden belirlenmiş planların uygulanması meselesi değil, formun kendi kendini örgütlenme ve çevre ile etkileşim yoluyla üretildiği biyolojide bulunan süreçlere benzer süreçleri içerir” (DeLanda, 2002, s. 78). Bu süreçler genetik bilgi, içsel malzeme özellikleri ve dışsal çevresel etkenlerin etkileşimiyle gerçekleşir. Bu biyolojik süreçlerde dikkat çeken bir diğer unsur, organizmanın çevresel koşullara adaptasyon yetisidir. Epigenetik faktörlerin, organizmanın gelişimi üzerindeki etkisi; formun önceden belirlenmiş bir şemaya göre değil, koşullara bağlı olarak şekillendiğini göstermektedir. “Mimarlık, biyolojik organizmalar gibi, dinamik çevresel koşullar altında birden fazla farklı bileşenin etkileşiminden ortaya çıkan karmaşık adaptif bir sistem olarak anlaşılabilir” (DeLanda, 2006, s.45). Bu yönüyle morfogenez, durağan değil; sürekli evrilen, geri besleme mekanizmalarıyla biçimini değiştiren bir sistem olarak tanımlanır.

Doğadaki yapıların organizasyon prensipleri, mimarlıkta yenilikçi tasarım biçimlerine ilham vermektedir. Mimarlık alanında bu anlayış doğal sistemlerin davranış biçimlerinin yapay sistemlere aktarılmasıyla, biçim üretiminde sezgisel yaklaşımların yerini veriye dayalı, dinamik stratejilere bırakmasıyla karşılık bulur. Böylece tasarımın öngörülebilir kalıplar yerine değişken girdilerle şekillenmesini mümkün kılar. Bu bağlamda morfogenez; parametrik tasarım, algoritmik biçim üretimi ve hesaplamalı simülasyon teknikleriyle ilişkilendirilerek, mimari formun yalnızca görsel bir sonuç değil, performatif ve çevresel etkileşimlerle şekillenen bir süreç olduğunu ileri sürer.

2.1. Morfogenez Yaklaşımının Mimari Tasarım ve Yapı Kurma Üzerindeki Yansımaları

Morfogenez yaklaşımı, mimarlıkta tasarım sürecine çevresel, yapısal, programatik ve malzeme temelli farklı türde biçim bulma anlatılarından beslenen birçok verinin aynı anda dâhil edilmesine olanak tanır. Bu durum, mimari formun tekil bir niyetin sonucu olmaktan çıkıp, farklı etmenlerin dinamik birleşimiyle şekillenen çok katmanlı bir sürece dönüşmesini sağlar. Özellikle dijital üretim teknikleri ve gelişmiş modelleme araçları sayesinde, karmaşık geometriler sadece simüle edilmekle kalmaz, aynı zamanda fiziksel olarak üretilebilir hâle gelmiştir. Bu durum, yapıların estetik dilinden öte, yapısal performanslarını, enerji etkileşimlerini ve kullanıcı davranışlarını da biçimlendiren bir tasarım anlayışını beraberinde getirir. Morfogenezin bu yönü, çağdaş mimarlıkta form ve işlev arasındaki ilişkiyi yeniden kurarak, sürdürülebilirlik ve bağlamsallık gibi kavramlarla doğrudan temas kurar.

Morfogeneze dayalı mimari tasarım anlayışı, formun oluşumunu sabit bir ürün olarak değil; değişken, dinamik ve çevresel girdilere duyarlı bir süreç olarak ele alır. Bu bağlamda form, yalnızca estetik bir ifade değil; çevresel, yapısal ve işlevsel verilerin bütünlüşük bir çıktısıdır (Hensel, 2013). Çevresel faktörler, tasarımın başlangıç parametreleri olarak devreye girerken; strüktürel sistemlerin taşıyıcılık kapasitesi, açıklık geçme gibi mühendislik gereklilikleri de formun şekillenmesinde belirleyici olur (Oxman, 2010). Bununla birlikte, mekânın işlevsel ihtiyaçları, örneğin kullanıcı sirkülasyonu, alan organizasyonu veya değişen programatik talepler, formun içsel kurgusunu yönlendirir. Morfogenez yaklaşımı, bu farklı etkenleri sayısal ve parametrik modellerle bir araya getirerek, formun dışsal değil içkin bir mantıksal yapı içinde evrimleşmesini sağlar (Lynn, 1999). Böylece biçim, çevresiyle etkileşime giren, programla uyumlu, yapısal açıdan optimize edilmiş bir sistem olarak ortaya çıkar.

Morfogenezin fiziksel gerçekliğe dönüştürölmesi, gelişmiş dijital tasarım ve üretim teknolojileri ile mümkündür. Algoritmik modelleme ve parametrik tasarım yaklaşımları, karmaşık geometrilerin veriye dayalı olarak üretilebilmesini sağlarken, robotik üretim, CNC işleme ve 3D baskı gibi dijital imalat yöntemleri bu formların kusursuz biçimde üretilmesine olanak tanır (Kolarevic, 2003). Özellikle Achim Menges ve ekibinin geliştirdiği projelerde, dijital üretim teknikleri form ve malzeme ilişkisini doğrudan etkilemektedir.

Morfogenezin sunduğu mimari biçimler, yalnızca teknik veya yapısal değil; aynı zamanda estetik ve mekânsal deneyim açısından da güçlü etkilere sahiptir. Bu formlar genellikle doğadan türeyen, kompleks, akışkan ve çoğu zaman organizmaya benzer nitelikler taşır. Ancak bu estetik nitelikler biçimsel bir süsleme değil; formun çevresel, yapısal ve

işlevsel gereksinimlerle bütünleşerek oluşmasının sonucudur (Leach, 2009).

Morfogenetik tasarımlarda estetik, formun performansına içkindir: örneğin bir yüzeyin eğilmesi, yalnızca görsel bir etki yaratmakla kalmaz, aynı zamanda ışık kontrolü, akustik dağılım ya da yük taşıma kapasitesiyle de ilişkilidir (Hensel & Menges, 2006). Bu nedenle estetik ile işlev arasında klasik modernist ayrımların ötesine geçilerek, çok katmanlı ve eşzamanlı performanslara sahip yapılar üretilebilir. Bağlamsal olarak ise morfogeneze dayalı yapılar, çevrelerinden ayrı düşünülmez; topoğrafya, iklim, mevcut yapılar ve doğal sistemlerle karşılıklı ilişki içinde form kazanırlar. Böylece yapı, bağlamla pasif bir uyum değil, aktif bir etkileşim kurar.

Sürdürülebilirlik, morfogeneze yaklaşımının en güçlü yönlerinden biridir. Bu anlayışta, yapıların çevresel performansı sonradan eklenen sistemlerle değil, formun oluşum sürecine dahil edilen parametrelerle sağlanır. Örneğin doğal havalandırma, gün ışığından maksimum fayda, termal kütle gibi performatif özellikler; formun gelişimini yönlendiren girdiler haline getirilir (Hensel, Menges & Weinstock, 2010). Bu sayede yapı, doğayla uyumlu, enerji etkin ve minimum kaynak tüketen bir sistem hâline gelir.

Morfogeneze, yenilikçi yapı tekniklerinin ve disiplinler arası iş birliklerinin önünü açar. Biyomimikri, malzeme bilimi, yapay zekâ ve robotik gibi alanlarla kurduğu ilişki, mimarlığın sınırlarını genişleten deneysel bir zemin sunar (Menges, Sheil, Glynn & Skavara, 2017). Bu çerçevede morfogeneze yalnızca yeni estetik diller değil, aynı zamanda mimarlıkta üretim biçimlerinin ve düşünme modellerinin dönüşümü anlamına gelir. Mimarlık bu yaklaşımla yalnızca nesneler inşa etmez; aynı zamanda doğayla iş birliği içinde, evrimsel süreçler üreten sistemler geliştirir.

2.2. Mimarlıkta Form Üretiminin Dönüşümü: Biçim Yerine Süreci Tasarlamak

Modernizm sonrası mimarlıkta, biçimin yalnızca geometrik düzenleme veya estetik kompozisyonla sınırlı olmadığı; üretim süreci, bağlam, çevre ve kullanıcı etkileşimi gibi parametrelerle ilişkili olduğu yönünde artan bir farkındalık gelişmiştir. Bu farkındalık, tasarımı son ürüne değil, sürece odaklayan bir paradigma değişimini beraberinde getirmiştir (Leatherbarrow & Mostafavi, 2002, s.3). Süreç-temelli tasarım anlayışı, özellikle doğadan türetilmiş organizasyon ilkeleri, adaptif sistemler ve performansa dayalı biçimlenme stratejileri üzerinden gelişmiştir.

Biyolojiden mimarlığa taşınan morfogenez (morphogenesis) kavramı, biçimlenme süreçlerinin yeniden ele alınmasına imkân tanıyan güçlü bir kuramsal araç sunmaktadır. Mimarlıkta morfogenez, yapıların ve meknların benzer şekilde çok katmanlı ve değişken girdilere bağlı olarak biçimlendiği bir tasarım yaklaşımını ifade eder. Morfogenezin mimarlıkla olan bağının kurulmasında en kritik eşiklerden biri, hesaplamalı tasarım ortamlarının gelişmesidir. Parametrik modelleme, algoritmik tasarım, simülasyon tabanlı araçlar ve dijital üretim teknikleri; form üretiminde çoklu girdilerin dinamik ilişkilerle modellenmesini ve bu modellerin fiziksel gerçekliğe dönüştürülmesini mümkün kılar (Kolarevic, 2003). Hesaplamalı ortamlar, doğadaki morfogenetik sistemlerin mimari bağlamda yeniden kurgulanmasına imkân tanırken, tasarımı hem biçim hem süreç açısından yeniden tanımlar.

Bu yönüyle morfogenez, tasarımcıyı biçimin “yaratıcısı” olmaktan çıkarak, biçimi yönlendiren parametreleri tanımlayan ve bu süreci yöneten bir aktör hâline getirir (Hensel & Menges, 2008, s.11). Tanyeli (2017, s.312) biçimi “tasarımsal ve / veya inşa edilmiş nitelikteki mimari ürün” olarak tanımlarken; süreci “doğrudan ve dolaylı biçimde o ürünün gerçekleşmesini sağlayan ya da etkileyen tüm teknolojik, toplumsal, siyasal, estetik vs. etkinlikler” şeklinde ifade eder. Mimari düşünme yaklaşımı ve pratiğinde, biçimin ideolojilerinin yerini sürecin bilişsel haritalarının aldığı, sonuç ürünün ne olduğundan çok sonuç ürünü ortaya koyan sürecin tartışıldığı bir değişim yaşanmaktadır. Bu değişim tasarımcıyı çok katmanlı sistemler arasında ilişkiler kuran ve onları yöneten bir rol üstlenmeye iter.

Biçim artık yalnızca görsel veya simgesel bir unsur değil; performans, çevresel uygunluk, üretim süreci ve kullanıcı deneyimi gibi parametrelerin kesişiminde oluşan bir yapı olarak değerlendirilir (Hensel, Menges & Weinstock, 2010, s.12). Bu bağlamda morfogenez, dijital çağın bir tasarım stratejisine dönüşür. Özellikle performans tabanlı tasarım yöntemleri; işık, hava, nem, strüktürel gerilim gibi parametrelerin modellenmesine ve bunların form üzerindeki etkilerinin test edilmesine olanak sağlar (Oxman, 2006). Böylece form, sezgisel kararlardan çok; sayısal girdilere ve ölçülebilir çıktılara dayalı olarak biçimlenir.

2.3. Performatif Mimarlık ve Malzeme Zekâsı Kavramları

Morfogenezin mimarideki kuramsal zeminini güçlendiren kavramlardan biri de *performatif mimarlık*tır. Performatif yaklaşımlar, yapının sadece estetik değil; aynı zamanda çevresel, yapısal ve kullanım bağamlarında nasıl işlediğini dikkate alır. Bu doğrultuda tasarım, estetik kompozisyondan çok, yapı performansını optimize eden bir süreç olarak değerlendirilir (Hensel & Menges, 2006).

Bu süreçte malzeme yalnızca biçimi taşıyan pasif bir araç değil; formun oluşumunu yönlendiren aktif bir bileşen hâline gelir. *Malzeme zekâsı* (material intelligence), malzemenin içsel özelliklerinin (esneklik, lif yönü, gerilim-yayılm ilişkileri) dijital tasarıma entegre edilmesiyle form üretim sürecine doğrudan katkı sunmasını ifade eder (Menges, 2012). Bu yaklaşımda biçim, malzemeye dışarıdan dayatılmaz; malzemenin fiziksel özelliklerinden türeyen bir form oluşumu söz konusudur. “Malzeme zekâsı” (material intelligence) kavramı çerçevesinde, malzemenin bükülme, esneme, çekme gibi fiziksel tepkileri, hesaplamalı modellerin bir parçası olarak tasarım sürecine entegre edilir. Böylece üretim süreci, malzemenin doğasına uygun ve çevresel performansa duyarlı bir şekilde gerçekleşir. Malzeme-temelli tasarım, formun rastlantısal değil, fiziksel gerçekliklerle bütünleşik biçimde ortaya çıkmasını mümkün kılar (Oxman, 2014).

Bu kuramsal arka plan, doğadaki biçimlenme süreçlerinin mimarlıkla nasıl ilişkilendirildiğini ve dijital araçlarla nasıl yeniden üretilebildiğini göstermektedir. Takip eden bölümde, bu kuramsal yaklaşımların tasarım ve yapı üretimi süreçlerine nasıl somut biçimde yansıdığı tartışılacaktır.

2.4. Morfogenetik Tasarımda Doğal Süreçlerden Dijital Strüktürlere

Bu bölüm, 20. yüzyıl mimarlığında organik form ve doğa temelli tasarımın öncülerinden Frei Otto’nun çalışmaları üzerinden morfogenezin mimarlığa uygulanışını ele almaktadır. Otto’nun biyomorfik geometriler ve fiziksel süreçlerle geliştirdiği yapılar, doğadaki form üretim stratejilerinin mimariye aktarımına dair erken ve somut örnekler sunar. Ayrıca, Otto’nun bu biyofiziksel yaklaşımlarının dijital teknoloji ve parametrik tasarım araçlarıyla nasıl yeniden yorumlandığını, özellikle Greg Lynn gibi mimarların perspektifinden tartışarak, doğadan dijitale doğru evrilen morfogenez kavramının mimarlık pratiğindeki yansımalarına değinilecektir.

20. yüzyıl mimarlığında organik form ve doğa temelli tasarım anlayışının erken öncülerinden biri olan Frei Otto’nun çalışmaları, doğadaki minimal yüzeyler, gerilim dengeleri ve biyomorfik geometriler üzerine derinlemesine gözlemler içerir. Organik formları yalnızca estetik değil, aynı zamanda fiziksel gerçeklikler üzerinden anlamaya çalışmıştır. Sabun filmi deneyleri, ip ve ağ gerilim sistemleri, yerçekimi modelleri gibi analog yöntemlerle doğanın form üretim stratejilerini mimari yapıya aktarmıştır. Otto’nun yaklaşımları, doğadaki optimizasyon süreçlerini yapının formuna yansıtmayı amaçlamıştır.

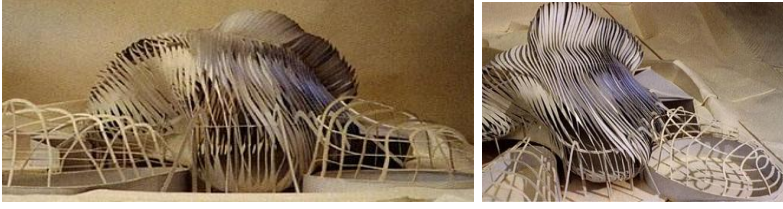
Doğal formların yapı ve malzeme kullanımındaki etkinliklerini inceleyerek, hafif ve dayanıklı yapı sistemleri geliştirmiştir. Özellikle, su damlalarının oluşturduğu minimal yüzeyler ve ipliklerin gerilim altında aldığı doğal formlar gibi biyolojik ve fiziksel süreçler, Otto'nun membran yapılarının form oluşumunda temel ilham kaynaklarıdır. Morfogenezle ilişkisi açısından, Frei Otto'nun yapıları, doğanın büyüme, gerilim ve optimizasyon süreçlerini mimari yapıya entegre eden deneysel çalışmalardır. Tasarımlarında, doğal formların oluşumunda rol oynayan fiziksel ve biyolojik parametreler, yapı geometrilerinin belirlenmesinde arasallaştırılır. Bu yöntem, mimari tasarımda formun sadece estetik değil, aynı zamanda işlevsel ve yapısal olarak da evrimsel süreçlerle şekillenmesini sağlar.



şekil 2. 1972 Münih Olimpiyat Stadyumu, Frei Otto (Dezeen, 2015)

Otto'nun 1972 Münih Olimpiyat Stadyumu atı yapısı ve çeşitli sergi pavyonları, bu yaklaşımın somut örnekleridir (şekil 2). Bu yapılar, minimal yüzey geometrisi ve gerilim yapıları kullanarak hafif, büyük açıklıklı ve esnek mimari formlar üretmiştir. Bu yapılar aynı zamanda mühendislik ve mimarının organik formlar çerçevesinde birleştiği, morfogenezel ilkelerin mimariye uygulandığı erken örnekler olarak değerlendirilir. Otto'nun çalışmaları morfogenez için bir biyofiziksel zemin kurmuştur, ancak dijital teknolojilerle değil, doğrudan doğanın fiziksel yasalarıyla çalışır.

Greg Lynn, Frei Otto'nun doğadan aldığı form üretim ilhamını, dijital teknolojilerle yeniden yorumlayan ilk mimarlardanır. Doğadaki organik evrim süreçlerini, parametrik tasarım araçları kullanarak sayısal modellemelere dönüştürmüştür. Embryological House projesinde olduğu gibi, yapı formunu biyolojik embriyonun evrimine benzer biçimde sanal olarak evrimleştirmiştir. Greg Lynn'in Embryological House'u, mimarlıkta morfogenezel form üretiminin deneysel ve kavramsal olarak ilk başarılı örneklerinden biri olarak öne çıkar.



Şekil 3. *Embryological House* (DOCAM, t.y.)

Bu proje, doğadaki büyüme ve dönüşüm süreçlerinin dijital araçlarla nasıl tasarıma entegre edilebileceğini göstererek (Şekil 3), modern mimarlığın dijital ve organik form arayışlarına öncülük etmiştir. Lynn, doğadaki embriyonik gelişim süreçlerini parametrik tasarım teknikleriyle yeniden yorumlayarak, mimarlıkta canlı form üretiminin sınırlarını zorlamıştır. Tasarım yaklaşımında, embriyo gelişimindeki organik dönüşümlerin temel prensipleri baz alınmış; form, parametrik değişkenler yoluyla evrilen, büyüyen ve dönüşen bir sistem olarak modellenmiştir. Bu süreç, doğadaki morfolojik adaptasyonların dijital karşılığıdır. Tasarımda kıvrımlı ve akışkan yüzeylerle karakterize edilen bir yapı dili benimsenmiştir. Bu dil, hem estetik hem de yapısal açıdan biyolojik organizmaların adaptif yapısını andırmaktadır. Lynn'in katkısı, morfogenez kavramını mimarlıkta ilk kez dijitalleşmiş ve parametrikleşmiş bir forma taşımaktır. *Embryological House*, mimarlık tarihindeki parametrik ve dijital morfogenez hareketinin temel taşlarından biri olmuş, daha sonra Achim Menges gibi araştırmacıların biyomimikri ve performansa dayalı morfogenezsel tasarımlarına ilham kaynağı sağlamıştır. Lynn'in bu yapısı, dijital tasarımın organik form üretimindeki potansiyelini ortaya koyması bakımından kritik bir dönüm noktasıdır.

Achim Menges, Lynn'in dijital morfogenezini daha da ileriye taşıyarak, biyolojik sistemlerin form üretimindeki yapısal performanslarını, hesaplamalı tasarım ve robotik üretim teknikleriyle birleştirmiştir. Menges'in projelerinde doğa yalnızca biçimsel bir metafor değil, aynı zamanda bir yapım stratejisi ve fiziksel bilgi kaynağı olarak işler. Örneğin, böcek kabukları ya da ipekböceği kozası gibi sistemlerin malzeme davranışı, robotik örme ve üretim teknikleriyle yeniden yorumlanır. Menges'in çalışmaları, morfogenez sürecini hem sayısal olarak simüle eden hem de robotik yollarla gerçekleştiren bir üst aşamaya taşır.

3. Achim Menges'in Morfogenetik Parametreleri

Achim Menges'in tasarım yaklaşımı, doğadaki formasyon süreçlerinin matematiksel, fiziksel ve biyolojik ilkelerini dijital ortamda yeniden üretmeyi ve bu veriler doğrultusunda mimari biçimlenme süreçlerini yönlendirmeyi amaçlar (Menges, 2006; Menges, 2009). Onun

tasarım felsefesi, doğanın evrimsel süreçlerinden ilham alan morfogenetik tasarım anlayışına dayanır. Bu anlayış, formun önceden çizilip belirlenmesi yerine, bir dizi çevresel ve yapısal girdinin etkileşimiyle ortaya çıkmasını hedefler. Menges'e göre mimarlık, statik ve durağan nesneler yaratmak yerine, çevresiyle sürekli etkileşim içinde olan, performans duyarlı ve malzeme davranışına uygun yapılar geliştirmelidir (Menges, 2015). Tasarım süreci, biyolojik organizmaların gelişim süreçlerine benzer şekilde, hesaplamalı araçlar ve algoritmalarla yönetilen dinamik bir evrim süreci olarak ele alınır. Menges'in yaklaşımında, tasarım ve üretim birbirinden ayrı süreçler değil, bütünleşik bir döngünün parçalarıdır. Tasarım verileri, malzeme özellikleri ve çevresel koşullar, üretim süreci boyunca yeniden değerlendirilir ve yapının optimizasyonu sağlanır. Bu bağlamda, Menges'in çalışmaları mimarlıkta süreç odaklılık, adaptasyon ve sürdürülebilirlik kavramlarını ön plana çıkartır.

Achim Menges ile Stuttgart niversitesi bünyesindeki Institute for Computational Design and Construction (ICD) ve Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) tarafından yrtlen deneysel pavyon projeleri, mimarlıkta morfogenetik tasarım yaklaşımının deneysel ve uygulamalı bir biçimde test edilmesine olanak sağlayan özgün örneklerdir. Araştırma pavyonları, yeni yaklaşımların ve kavramların ortaya çıkarılmasına hizmet eden araçlardır. Bu yaklaşımların teknik ve mimari olarak araştırılmasına, test edilmesine ve tam ekli uygulamalar yoluyla doğrulanmasına imkân tanırırlar. Bu retim pratiğinde pavyonların tercih edilmesinin temel nedeni, onların mimari ekte yapısal, estetik ve üretimsel deneyleri bir araya getiren; kısa sürede uygulanabilir, esnek ve yenilikçi tasarım araştırmalarına olanak tanıyan deneysel prototipler olmalarıdır. Kalıcı yapılara kıyasla daha düşük yapım riskleri taşıyan pavyonlar, özellikle hesaplamalı tasarım, diğital simülasyon ve robotik üretim gibi yenilikçi teknolojilerin uygulanabilirliğini test etmek için elverişli birer araştırma platformu sunar (Knippers & Menges, 2011). ICD/ITKE pavyonları bu yönüyle, yalnızca mimari formların değil, aynı zamanda tasarım süreçlerinin, üretim tekniklerinin ve malzeme davranışlarının disiplinlerarası bir çerçevede bütüncül olarak incelendiği deneysel laboratuvarlar işlevi görmektedir.

Bu bağlamda pavyonlar; yeni tasarım ve simülasyon yöntemlerinin, malzeme araştırmalarının çıktılarının ve diğital-robotik üretim teknolojilerindeki gelişmelerin deneyimlenebilir mekânsal çıktılara dönüştürülmesini mümkün kılar. Pavyonlar, mimarideki yeniliklerin uygulanmasını sınırlayan çok sayıda işlevsel, ekonomik ve yasal gerekliliğe tabi olmaksızın, seçilmiş araştırma sorularının hedeflenmiş biçimde sınanmasına olanak tanır. Bununla birlikte, tasarlanan sistemlerin mimarlık eğinde gerçek bir uygulamaya dönüştürülmesini gerektirmesi nedeniyle, söz konusu fikirlerin geniş kapsamlı kullanıma uygunluğu da

bu prototipler aracılığıyla değerlendirilmiş olur. Bu yönüyle pavyonlar, dijital ve fiziksel üretim dünyaları arasında köprü kuran, mimarlıkta dijitalleşmeye dayalı yeni bir kültürün inşa edilmesinde stratejik bir rol üstlenmektedir (Menges & Reichert, 2015; Menges, 2009).

Menges ve araştırma ekibi tarafından üretilen tüm projelerin ortak noktası; yapı malzemeleri, yapım sistemleri, üretim süreçleri tasarım yöntemleri ve biyolojik rol model olmak üzerine yapılan bütüncül ve birbirini besleyen araştırmalardır. Her projede odak noktası farklı olsa da, aynı gelişim çizgileri tüm projelerde yer almakta ve projeler arasında da iç içe geçmektedir. Bu çapraz bağlantılar ve ilişkiler, tüm ayrıntılarıyla birlikte, bilimsel ve mimari çalışmalar için çok yönlü ama aynı zamanda birleştirici bir unsur oluşturmaktadır. Bu bölümde söz konusu yaklaşım, Menges'in çalışmalarına paralel olarak beş temel bileşen üzerinden sistematik biçimde ele alınmaktadır: yapı malzemesi, yapım sistemi, üretim süreci, tasarım yöntemi ve biyolojik rol model.

3.1. Yapı Malzemesi

ICD/ITKE projelerinde yapı malzemesi, pasif bir taşıyıcıdan öte, tasarım sürecine aktif olarak katılan ve fiziksel davranışıyla biçim üretimini etkileyen bir unsurdur. Menges'in "*material computation*" (malzeme temelli hesaplama) kavramı çerçevesinde, malzemenin elastikiyet, nem tepkisi, çekme dayanımı gibi özellikleri doğrudan hesaplamalı modellere entegre edilmektedir (Menges, 2009). Bu anlayış, formun önceden belirlenmiş bir tasarım girdisi olmaktan çıkarak, malzemenin davranışsal potansiyeli doğrultusunda evrilen bir sonuç haline gelmesini sağlar. Bu yaklaşımın en çarpıcı örneklerinden biri olan 2012 pavyonunda (Şekil 4) ise, cam ve karbon fiberler çok eksenli robotlar aracılığıyla katman katman sarılmış; fiberlerin yönelimi ve yoğunluğu, yapının taşıyıcı strüktürünü belirlemiştir (Helm, Schleicher & Menges, 2015).



Şekil 4. 2012 pavyonunda fiber sarım örüntülerini gösteren yakın plan malzeme detayları (ICD / ITKE Pavilion, t.y.)

Böylece üretim süreci, yalnızca uygulama aşaması değil, tasarımın biçimsel mantığını kuran bir araç haline gelmiştir. Menges ve ekibi tarafından geliştirilen bu projelerde malzeme, hesaplamalı tasarım algoritmaları, çevresel performans kriterleri ve robotik üretim teknikleri ile eş zamanlı çalışarak mimarlıkta malzeme, biçim ve üretim arasındaki

ilişkileri yeniden tanımlar. Bu durum, morfogenetik tasarımın yalnızca biyolojik analogiler üzerinden değil; aynı zamanda somut fiziksel girdiler aracılığıyla da kurgulanabileceğini göstermektedir.

3.2 Yapım Sistemi

Achim Menges'in liderliğindeki ICD/ITKE araştırma grubunun deneysel projelerinde, yapım sistemleri statik bir mühendislik çözümü olmaktan öteye geçerek, tasarım, malzeme ve üretim süreçleriyle dinamik olarak bütünleşen birer organizasyon stratejisi olarak ele alınmaktadır. Bu sistemler, genellikle geleneksel yapı elemanlarının montajı ile değil; hesaplamalı olarak tanımlanmış elemanların, üretim sürecine entegre olacak şekilde optimize edilmesiyle ortaya çıkar. Yapım sisteminin biçimlenişi, yapının taşıyıcılığına, malzemenin davranışına ve robotik üretim olanaklarına bağlı olarak evrilir (Menges, 2006). Örneğin, 2010 ICD/ITKE pavyonunda (Şekil 5), eğilme yoluyla biçimlenen ahşap levhaların belirli açılarla bir araya gelmesiyle, önceden tanımlı bağlantı sistemlerine gerek kalmadan, malzemenin elastik kuvvetleri ile dengelenen bir kabuk yapısı oluşturulmuştur (Knippers & Menges, 2011).



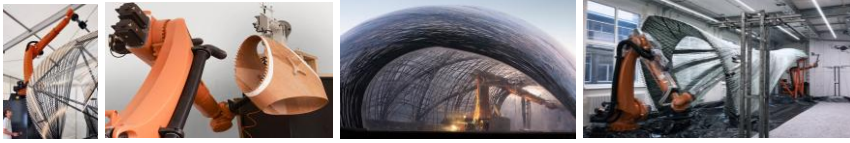
Şekil 5. 2010 pavyonunda kontrplak panellerin elastik bükülme süreci (ICD / ITKE Pavilion, t.y.)

Yapım sistemlerinin tasarımla eşzamanlı geliştiği bu yaklaşım, özellikle 2012 ve sonrasındaki pavyon projelerinde belirginleşmiştir. 2012 pavyonunda, karbon ve cam fiberlerin robotik sarım yoluyla üç boyutlu bir yapısal kabuk oluşturması, bağlantısız ama süreklilik sağlayan bir strüktürel sistem ortaya koymuştur (Helm, Schleicher & Menges, 2015). Bu yaklaşımda yapım sistemi, yapının geometrik bütünlüğünü sağlayan taşıyıcı bir çerçeve değil; üretim süreciyle birlikte evrilen, yerinde üretilen ve yapısal davranışa göre şekillenen bir sistem olarak değerlendirilmiştir. Menges'in yapım sistemlerine ilişkin yaklaşımı, mimarlıkta strüktürel organizasyonun yalnızca hesaplamalı olarak optimize edilmesini değil, aynı zamanda üretimle iç içe geçmiş formasyonel bir süreç olarak kurgulanmasını da mümkün kılar.

3.3 Üretim Süreci

Morfogenetik tasarım yaklaşımında üretim süreci, tasarımın son aşaması değil; biçimsel, strüktürel ve malzeme temelli kararların birlikte evrildiği bütünleşik bir süreçtir. Achim Menges ve ICD/ITKE araştırma grubu, üretim süreçlerini yalnızca fiziksel uygulama safhası olarak değil,

aynı zamanda tasarımın hesaplamalı olarak yönlendirildiği, optimize edildiği ve test edildiği bir deneysel ortam olarak ele alır. Bu bağlamda, özellikle robotik üretim tekniklerinin kullanımı, tasarımın dijital ortamda modellenmesi ile fiziksel olarak gerçekleştirilmesi arasındaki boşluğu kapatmayı amaçlar. Menges'in "*design to robotic production*" olarak tanımladığı bu yaklaşımda, üretim süreci tasarım algoritmalarının devamı olarak işler (Menges & Reichert, 2015).

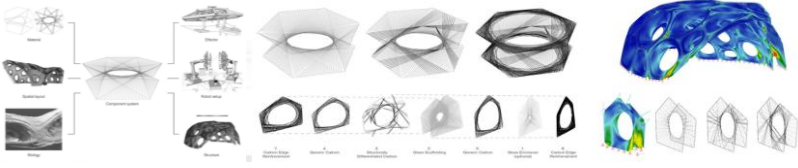


Şekil 6. ICD/ITKE pavyonları robotik üretim süreçleri örnekleri (ICD / ITKE Pavilion, t.y.)

Özellikle 2012 ICD/ITKE pavyonunda, üretim süreci çok eksenli endüstriyel robotlarla gerçekleştirilmiş ve fiber sargı işlemi, dijital simülasyonlarla entegre biçimde yürütülmüştür. Bu projede robotik üretim, fiberlerin yönü, katman sayısı ve gerilimi gibi parametreleri gerçek zamanlı olarak işleyerek yapının strüktürel davranışını doğrudan etkilemiştir (Helm, Schleicher & Menges, 2015). Benzer şekilde, 2015 ve 2017 yıllarındaki projelerde üretim, yalnızca önceden modellenmiş geometriyi üretmekle kalmamış; robotik sistemler aracılığıyla malzeme tepkisi gözlemlenerek üretim stratejileri dinamik biçimde yeniden şekillendirilmiştir (Şekil 6). Bu durum, üretimin yalnızca fiziksel bir uygulama değil, tasarıma geri besleme sağlayan adaptif bir araştırma aracı olarak kurgulandığını göstermektedir.

3.4 Tasarım Yöntemi

Menges'in morfogenetik mimari üretim yaklaşımında tasarım yöntemi, doğadaki biçimlenme süreçlerinin analizine ve bu süreçlerin dijital modellemelerle yeniden üretilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda tasarım, baştan sona çizilmiş bir plan olarak değil, çok katmanlı çevresel, yapısal ve malzeme girdilerinin etkileşimli şekilde işlediği bir süreç olarak tanımlanır (Menges, 2006). Menges bu çerçevede, biyolojik sistemlerdeki gelişim ve adaptasyon mekanizmalarını referans alarak biçimin oluşumunu yönlendiren hesaplamalı modeller geliştirir. Tasarım yöntemi, doğadan alınan örüntülerin doğrudan biçimsel kopyalanması değil; bu örüntülerin davranışsal ve organizasyonel ilkelerinin algoritmik tasarıma dönüştürülmesi üzerine kuruludur (Knippers & Menges, 2011).



Şekil 7. ICD/ITKE Pavilion 2013-14 parametrik tasarım arayüzü görselleri (ICD/ITKE Pavilion)

Tasarım süreci parametrik modelleme, topolojik optimizasyon, çevresel simülasyon ve biyolojik verilerin sayısallaştırılması gibi araçlarla desteklenir (Şekil 7). Örneğin 2015 ICD / ITKE pavyonunda, bitki hücrelerinin fototropik büyüme davranışı dijital ortama aktarılmış; panellerin oryantasyonu ve yerleşimi, güneş ışınımına verilen tepkilere göre optimize edilmiştir (Menges & Reichert, 2015). Benzer şekilde 2017 pavyonunda, tasarım süreci, örgü teknolojilerinin olanaklarını araştıran bir modelleme stratejisine dönüşmüştür; strüktürel performans, malzeme davranışı ve robotik üretim parametreleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımla tasarım, biçimsel bir hedefe ulaşma süreci olmaktan çok, sistemler arası ilişkileri çözen, üreten ve dönüştüren bir araştırma aracı haline gelmektedir.

3.5 Biyolojik Rol Model

Menges'in morfogenetik tasarım yaklaşımının temel dayanaklarından biri, doğadaki organizmaların biçimlenme, yapılaşma ve çevresel adaptasyon süreçlerinden ilham alan biyolojik rol modellerin tasarım girdisi olarak değerlendirilmesidir. Ancak bu yaklaşımda amaç, biyolojik formların doğrudan biçimsel taklidi değil; onların organizasyonel ilkeleri, strüktürel verimlilikleri ve morfogenetik davranışları üzerinden mimari sistemler geliştirmektir (Knippers & Menges, 2011). Menges, biyolojik örüntülerin genetik, fiziksel ve çevresel etkileşimlerle nasıl biçimlendiğini analiz ederek, bu ilkeleri dijital ortama aktarır ve tasarım süreçlerini yönlendiren parametrik modeller oluşturur (Menges, 2009).

Örneğin 2010 ICD/ITKE pavyonunda, kınkanatlı böceklerin dış iskelet yapılarından (elytra) esinlenilmiştir. Bu yapılar, yüksek strüktürel dayanım ile hafifliği bir arada sağlayan biyolojik organizasyon örnekleridir. Ahşap levhaların elastik özellikleri kullanılarak, benzer bir taşıyıcılık ve form üretimi elde edilmiştir. 2012 pavyonunda ise, örümcek ağı ve ipek salgı mekanizmaları, fiber sargı teknolojisiyle yeniden yorumlanmış; biyolojik üretim davranışları, robotik üretim sistemleriyle mimariye aktarılmıştır (Helm, Schleicher & Menges, 2015). 2014–2015 ICD/ITKE pavyonunda, su örümceğinin su altında hava odacıkları oluşturma davranışı, fiber bazlı strüktürlerin tasarımına ilham kaynağı olmuştur (Şekil 8). 2015 yılında ise, bitki hücrelerinin fototropik büyüme

örüntüleri, güneş ışığına verilen yanıtlar üzerinden optimize edilmiş panel yönelimleriyle mekânsal performansa dönüştürülmüştür. Bu yaklaşımlarda doğa, yalnızca estetik bir referans değil; hesaplamalı ve üretimsel ilkelerin kaynağı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 8. ICD/ITKE 2014-2015 pavyonunda biyolojik rol model (ICD / ITKE Pavilion, t.y.)

Sonuç olarak ICD/ITKE tarafından geliştirilen deneysel pavyon projeleri, yapı malzemesi, yapım sistemi, üretim süreci, tasarım yöntemi ve biyolojik rol model gibi beş temel bileşeni, yalnızca ardışık değil; eşzamanlı ve birbirine gömülü süreçler olarak tanımlar. Bu strateji, malzemenin fiziksel özelliklerinin tasarımı, üretimin üretkenliğini, biyolojinin davranışsal örüntülerinin formu doğrudan etkilediği bir sistem önerir. Menges'in öncülüğünde geliştirilen bu bütüncül yaklaşım, mimarlığı çok disiplinli bir inovasyon alanı olarak yeniden tarif ederken, morfogenetik süreci biçimsel üretimin ötesine taşıyan bir metodolojik zemin sunmaktadır.

4. Deneysel Pavyonlar Üzerine Bir İnceleme

Mimarlıkta morfogenetik tasarım anlayışının güncel yansımalarını değerlendirmek amacıyla, Achim Menges ve araştırma grubu tarafından geliştirilen parametrik ilkeleri temel alan beş özgün proje örneği seçilerek incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı tasarım ekipleri tarafından hayata geçirilen *Bloom* (Doris Sung), *Hy-Fi* (The Living / David Benjamin), *Silk Pavilion* (Neri Oxman), *Pillars of Dreams* (Marc Fornes) ve *Lumen* (Jenny Sabin) projeleri değerlendirme kapsamına alınmıştır. Bu projelerin seçilme gerekçesi, her birinin biçimlenme sürecinde doğadan esinlenen morfogenetik ilkelere başvurması, hesaplamalı tasarım araçlarını sistematik olarak kullanması ve üretim süreçlerinde ileri teknolojilerle malzeme-yapı ilişkisinin yeniden tanımlanmasına olanak sağlamasıdır.

Seçilen örnekler, yalnızca formel benzerlikler üzerinden değil; aynı zamanda tasarımın kavramsal düzeyde nasıl yapılandığını, yapım sistemlerinin hangi prensiplerle kurgulandığını ve üretim tekniklerinin hangi parametrelere dayandırıldığını karşılaştırmalı olarak değerlendirme imkânı sunmaktadır. Böylece morfogenetik tasarım yaklaşımının çağdaş mimarlık uygulamalarındaki çeşitlenmiş ve çok katmanlı yansımaları hem

Menges'in kuramsal/pratik üretimi hem de farklı coğrafya ve ölçeklerdeki deneysel projeler üzerinden analiz edilmektedir.

4.1. Bloom / Doris Sung

Bloom 2012 yılında Los Angeles'ta, Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc) bünyesinde Doris Sung tarafından geliştirilmiştir. Morfogenez yaklaşımıyla güçlü biçimde kesişen ve özellikle malzeme zekâsı, çevresel duyarlılık ve davranışsal yüzey sistemleri bağlamında değerlendirilebilecek deneysel bir pavyon yapısıdır (Şekil 9).

Morfogenetik parametrelerden yapı malzemesi burada merkezi rol oynar; malzemenin termal genleşme karakteristiği, form üretimini yönlendirir. Yapı malzemesi olarak kullanılan termobimetal, çevresel sıcaklığa duyarlı olarak kendiliğinden bükülen iki farklı metal katmanının lamine edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu malzeme, harici bir enerji kaynağına gerek duymaksızın, çevresel değişkenlere tepki vererek hareket edebilen bir yüzey davranışı üretir. Malzemenin bu özelliği, mimarlıkta pasif iklimlendirme sistemleri ve kinetik cephe tasarımı gibi alanlara önemli katkılar sunmakta ve malzemeyi, sadece taşıyıcı ya da kaplama unsuru olmanın ötesinde, form üretiminin aktif bir bileşeni hâline getirmektedir (Sung, 2013). Achim Menges'in çeşitli projelerinde vurguladığı gibi, malzemenin içsel davranışı, tasarımın biçimsel yönlendirilmesinde belirleyici bir role sahiptir (Menges, 2009). Bu yönüyle Bloom, morfogenetik tasarımın “malzeme merkezli düşünce” paradigmasına karşılık gelmektedir.



Şekil 9. Bloom Pavyonu Yapım Sistemi, Tasarım ve Üretim Süreci görselleri, (DOSU Studio Architecture, t.y.)

Yapı kurma sistemine bakıldığında, Bloom yaklaşık 1000 parçadan oluşan, CNC lazer kesimiyle üretilmiş modüler bir yüzey sisteminden meydana gelmektedir. Bu parçalar, parametrik olarak tanımlanmış bir model aracılığıyla birbirleriyle bağlantılanarak kurulum sürecinde bir araya getirilmiştir. Yapının kurulumu herhangi bir mekanik hareketli sistem içermemekte, sistemin davranışı doğrudan malzemenin

kendiliğinden hareket kapasitesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, formu sabit ve yekpare bir bütün olarak değil, davranışa dayalı, esnek ve çevresel etkilerle evrilen bir organizma olarak yeniden ele alma çabasını yansıtmaktadır. Bu durum, Menges'in doğadaki formasyon süreçlerinden ilham alarak geliştirdiği morfogenetik yapı sistemleri ile paralellik göstermektedir.

Bloom'un üretim süreci, sayısal modelleme ve dijital üretim tekniklerinin entegrasyonunu içermektedir. Tasarım süreci boyunca parametrik modelleme araçları (Rhino-Grasshopper gibi) kullanılarak her bir parçanın geometrisi ve tepki potansiyeli simüle edilmiştir. Üretim ise dijital ortamda üretilmiş verilerin doğrudan CNC kesimle fiziksel forma dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, Menges'in "tasarım-simülasyon-üretim" entegrasyonu üzerine kurulu üretim hatları ile büyük ölçüde örtüşmektedir (Menges & Ahlquist, 2011).

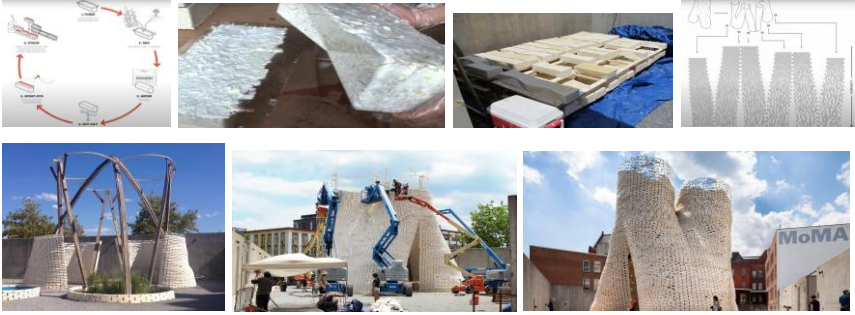
Tasarım yöntemi açısından Bloom, çevresel veriyi yalnızca bağlamsal bir bilgi olarak değil, formun oluşum sürecine doğrudan müdahil olan bir parametre olarak kullanmaktadır. Özellikle sıcaklık değişimi, sistemin çalışmasını yönlendiren başat girdidir. Bu durum, morfogenetik tasarımın çoklu veri katmanlarını eş zamanlı olarak değerlendiren yapısına karşılık gelir. Mimari yüzeyin sabit olmayıp, sıcaklıkla birlikte zamanla değişen bir nitelik taşıması, mimari nesnenin bir "süreç" olarak yeniden kurgulanmasını mümkün kılar. Sung'un bu yaklaşımı, performatif tasarım anlayışına ve çevresel adaptasyona yönelik mimari paradigmaların önemli bir örneğini teşkil eder (Leach, 2009).

Biyolojik rol model açısından ise Bloom, doğadaki bazı organizmaların sıcaklığa duyarlı davranış biçimlerinden ilham almaktadır. Özellikle bitkilerin heliotropik hareketleri ve bazı tohum kabuklarının sıcaklıkla açılıp kapanma mekanizmaları, projenin davranışsal mantığına temel teşkil eder. Her ne kadar Doris Sung'un projelerinde doğrudan bir biyolojik form taklidi görülme de, biyolojik davranış biçimlerinin mimari sistemlere aktarılması, onu morfogenetik yaklaşımın sınırları içerisine dâhil eder.

Sonuç olarak, Bloom pavyonu, mimarlıkta davranışsal yüzeyler, pasif iklimsel adaptasyon, malzeme zekâsı ve dijital üretim süreçlerinin entegrasyonu gibi güncel temalar etrafında şekillenen morfogenetik tasarım paradigmasının güçlü bir temsilcisi olarak değerlendirilebilir. Proje, mimari formun yalnızca görsel değil, aynı zamanda çevresel, yapısal ve malzeme temelli parametrelerin kesişiminde evrildiği bir düşünce sistemini pratiğe dökmektedir. Bu bağlamda Bloom, mimarlıkta disiplinler arası tasarım anlayışlarının ve biyolojik sistemlerden türetilen performatif stratejilerin gelecekteki potansiyeline dair önemli ipuçları sunmaktadır.

4.2. Hy-Fi / The Living (David Benjamin)

Hy-Fi, Amerikalı mimar David Benjamin öncülüğünde çalışan The Living mimarlık ofisi tarafından tasarlanmış, 2014 yılında New York'taki MoMA PS1'in Young Architects Program (YAP) kapsamında inşa edilmiş geçici bir pavyondur. Proje, çağdaş mimaride sürdürülebilirlik, biyoteknoloji ve dijital üretim süreçlerini bir araya getiren deneysel bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Programın amacı, genç mimarları yenilikçi mekânsal fikirler ve çevresel duyarlılığı bir arada ele alan projeler üretmeye teşvik etmektir. Bu bağlamda Hy-Fi, sadece geçici bir strüktür olarak değil, aynı zamanda mimarlığın doğa, teknoloji ve üretim süreçleriyle olan ilişkisini yeniden tarif eden bir araştırma manifestosu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 10. Hy-Fi Pavyonu Yapım Sistemi, Tasarım ve Üretim Süreci görselleri,

(Holcim Foundation, t.y.)

Hy-Fi, geleneksel yapı malzemelerinden farklı olarak, doğrudan doğadan türetilmiş bir malzeme olan mantar miselyumu ve tarımsal atıklardan oluşan biyobozunur bloklardan üretilmiştir (Şekil 10). Bu bloklar, mimarlıkta giderek önem kazanan “yetiştirilebilir malzeme” kavramının ilk gerçek ölçekli uygulamalarından biri olarak dikkat çeker. Organik bileşenlerin laboratuvar ortamında bir araya getirilerek belirli bir formda büyütülmesi, malzemenin yalnızca taşıyıcı ya da yüzeysel işlevler üstlenmesinden öte, yapının üretim sürecinin doğrudan bir parçası haline gelmesini sağlar. Böylelikle, malzeme ve biçim arasındaki ilişki, Achim Menges'in de sıklıkla vurguladığı gibi, önceden tanımlanmış bir formun uygulanmasından çok, performatif bir sürecin çıktısı olarak şekillenir (Menges, 2012).

Projenin üretim süreci de bu bağlamda yenilikçidir. Tasarım öncelikle dijital parametrik modelleme teknikleriyle geliştirildikten sonra, bu model biyolojik üretimle eş zamanlı bir şekilde biçimlendirilmiştir. Burada hesaplamalı tasarım araçları yalnızca biçimsel estetik üretmek için değil, aynı zamanda hava akımı, gün ışığı geçirgenliği, yapısal denge ve

üretim kolaylığı gibi çoklu performans kriterlerini dengelemek amacıyla kullanılmıştır. Bu yaklaşım, mimari formun çok sayıda çevresel, yapısal ve üretimsel parametre ile optimize edilmesini hedefleyen morfogenetik tasarım metodolojisinin temel prensiplerini yansıtır.

Hy-Fi'nin inşa mantığı ise yapının strüktürel sistemini malzemenin doğal özellikleriyle uyumlu bir şekilde kurgular. Bloklar, herhangi bir bağlayıcı madde kullanılmaksızın, yalnızca sıkıştırma kuvvetine dayalı olarak üst üste yerleştirilmiştir. Bu yöntem, doğada bulunan kendi kendine örgütlenme ve denge kurma ilkelerini mekânsal bir organizasyona dönüştürür. Bu anlamda yapı, doğadaki organizmaların içsel düzeninden ilham alarak, dışsal müdahale olmadan oluşan bir bütünlük önerir. Bu sistematik kurgu, Achim Menges'in vurguladığı şekilde, yapısal verimlilik ve çevresel adaptasyonun form üretim süreciyle iç içe geçtiği bir tasarım paradigmasına işaret eder.

Projenin biyolojik rol modeli doğrudan bir canlı formun taklidi olmaktan ziyade, doğadaki yapı üretme ve organizasyon biçimlerinin yorumlanmasıdır. Miselyumun büyüme, birleştirme ve strüktürel bağlantı kurma kapasiteleri, mimari formun hem malzeme hem de sistem düzeyinde yeniden düşünülmesini sağlar. Bu, mimarlığın yalnızca doğal formu estetik bir biçimde alıntılamanın bir pratik değil, doğanın üretim mantığını içselleştiren bir sistem olarak yeniden tanımlanmasını mümkün kılar.

Sonuç olarak, Hy-Fi, morfogenetik tasarım yaklaşımının dijital üretim ve biyoteknolojiyle kesiştiği bir eşikte yer alır. Achim Menges'in kuramsal çerçevesiyle okunacak olursa, bu proje malzemenin aktif bir aktör olduğu, üretim süreçlerinin çevresel ve biyolojik girdilere dayandığı ve mimari formun sabit bir nesne değil, değişken ve çoğul etkilerle şekillenen bir süreç olduğu yönündeki tezleri somut bir örnekle gözler önüne serer.

4.3. Silk Pavilion / Neri Oxman

Silk Pavilion, Neri Oxman liderliğindeki MIT Media Lab – *Mediated Matter Group* tarafından 2013 yılında geliştirilmiş deneysel bir mimari prototiptir. Proje, geleneksel yapı malzemeleri ve üretim yöntemlerinden farklı olarak, canlı organizmaların davranışlarına dayalı yeni bir mimari üretim paradigması ortaya koyar. Bu yaklaşım, Achim Menges'in geliştirdiği morfogenetik tasarım stratejileriyle önemli kesişim noktalarına sahiptir. Bu bağlamda, malzeme seçimi, yalnızca estetik veya dayanıklılıkla değil, aynı zamanda üretim sürecinin aktif bir bileşeni olarak değerlendirilir. Projede kullanılan ipek, doğal bir biyopolimer olması ve doğrudan canlı organizmalar (ipek böcekleri) tarafından üretilmesi açısından dikkat çekicidir. Menges'in projelerinde olduğu gibi,

malzemenin içkin özellikleri (liflenme, esneklik, geçirgenlik) form üretim sürecinde belirleyici bir rol üstlenir.



şekil 11: Silk Pavilion Yapım Sistemi, Tasarım ve retim Süreci görselleri, (Oxman, t.y..)

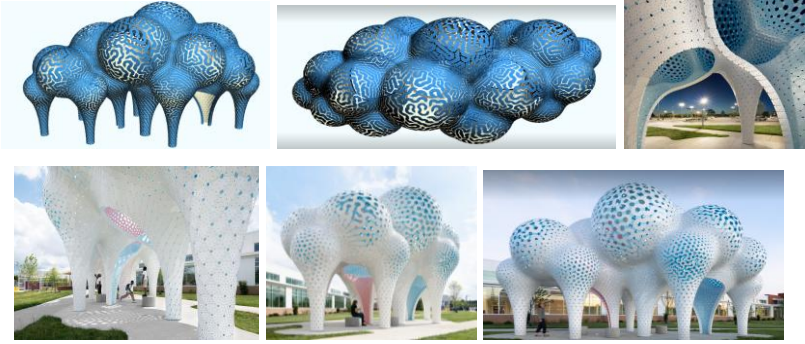
Silk Pavillion'un yapım sistemi iki aşamalı hibrit bir yapıya sahiptir: ilk olarak parametrik olarak tanımlanmış geometrik bir iskelet CNC makineyle üretilmiş; ardından ipek böcekleri bu iskelet üzerinde dokuma işlemine geekleştirmiştir. Bu retim süreci, hem dijital fabrikasyonun kesinliğini hem de biyolojik organizmanın çevresel girdilere verdiği adaptif tepkiyi bir araya getirir (şekil 11). Bu hibritlik, Menges'in projelerinde sıklıkla rastlanan hesaplamalı tasarım ile biyolojik davranışın birlikte ele alınması fikriyle örtüşür (Menges, 2012).

Tasarım yöntemi parametrik modelleme ile canlı organizma davranışlarının analizi ve yönlendirilmesini içeren bir süreçtir. İpek böceklerinin ısı ve ışık gibi çevresel faktörlere göre farklı dokuma kalıpları üretmesi, formun sabit bir şablondan değil, süreç içerisinde gelişen bir sistemden türemesini sağlar. Bu yaklaşım, morfogenезin özünde yer alan "biçimin oluşum süreci" fikrinin somut bir uygulamasıdır (DeLanda, 2006).

Biyolojik rol model, ipek böceklerinin dokuma davranış ile doğrudan ilişkilidir. Burada organizmanın davranış yalnızca metaforik bir model değil, retilimin aktif bir bileşeni haline gelir. Canlı organizmaların davranış biçimleri, sadece tasarıma ilham vermekle kalmaz; doğrudan üretim sürecine katılır. Menges'in de vurguladığı gibi, bu tür "performans odaklı biyolojik sistemler", morfogenetik mimarinin temellerindendir (Menges, 2009). Son olarak, sürdürülebilirlik ve çevresel etkileşim konuları, Silk Pavilion'un bütünsel tasarımında merkezi bir yer tutar. Proje, doğal malzemelerin kullanımı, düşük enerji tüketimi ve biyolojik geri dönüşümlülük gibi özellikleriyle çevresel performans açısından morfogenetik yaklaşımın bir temsilidir.

4.4. Pillars of Dreams / Marc Fornes

Pillars of Dreams, 2017 yılında Marc Fornes tarafından Massachusetts Institute of Technology kampüsünde tasarlanmış ve kamusal etkileşimi destekleyen, çevresel duyarlılığı yüksek bir pavilyon olarak inşa edilmiştir. Bu yapı, Achim Menges'in morfogenetik tasarım yaklaşımında tanımladığı beş temel parametre çerçevesinde değerlendirildiğinde, disiplinlerarası entegrasyonun başarılı bir örneğini sunmaktadır.



Şekil 12: *Pillars of Dreams* görselleri, (THEVERYMANY, t.y.)

Yapı malzemesi olarak tercih edilen PET esaslı hafif ve yarı saydam polimer modüller, formun esnekliğini, ışık geçirgenliğini ve geri dönüştürülebilirliğini mümkün kılmakta; böylece malzemenin fiziksel özellikleri, biçimsel tasarımı doğrudan yönlendirmektedir. Yapım sistemi, iç içe geçerek strüktürel süreklilik sağlayan ve kabuk etkisi oluşturan modüller bir kurguyu benimsemektedir (Şekil 12). Bu sistem, biyolojik yapılarda sıklıkla gözlenen segmentasyon ve örüntüsel bütünlük ilkeleriyle örtüşmektedir (Knippers & Menges, 2011).

Üretim süreci, ön üretimli modüllerin sahada hızlı montajı esasına dayanmaktadır. Bu süreç, hesaplamalı modellemeyle entegre edilen dijital üretim akışlarını desteklemekte, her bir modülün geometrik bilgisinin dijital ortamda optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Tasarım yöntemi ise çevresel veriler, özellikle güneş ışınımı, rüzgâr yönü ve sirkülasyon yoğunluğu, temelli parametrik modelleme ve enerji simülasyonlarına dayanmaktadır. Böylelikle form, bağlamsal veriler doğrultusunda davranışsal olarak biçimlenmektedir (Menges, 2009).

Son olarak, yapının biyolojik rol modeli bitki yapraklarının kıvrımlı yüzey organizasyonu olarak değerlendirilebilir. Bu biyolojik referans, doğal yapılarda gözlemlenen yüzey alanı genişletme, ışık dağılımını artırma ve hava geçirgenliğini optimize etme gibi stratejilerin mimari düzlemde yeniden yorumlanmasına olanak tanımaktadır. *Pillars of Dreams*, bu yönleriyle morfogenetik tasarımın malzeme zekâsı, dijital

Üretim teknolojileri ve doğadan üretilmiş davranışsal biçimlenme ilkeleriyle nasıl bütüncül bir strateji hâline geldiğini ortaya koymaktadır.

4.5. Lumen / Jenny Sabin:

Lumen, 2017 yılında Jenny Sabin tarafından Cornell niversitesi'nin desteğiyle tasarlanmış ve üretilmiştir. Proje, hem gündüz hem de gece farklı çevresel uyarıcılara duyarlı tepkiler geliştiren, tekstil esaslı geçici bir strüktür olarak öne çıkar (şekil 13). Menges'in morfogenetik yaklaşımında belirlediği tasarım parametreleri açısından ele alındığında, *Lumen*, organizmalarda gözlemlenen yapısal esneklik, adaptif davranış ve çevresel uyum ilkelerini dijital teknolojiler aracılığıyla yeniden üretilir.



şekil 13: *Lumen* görselleri, (Sabin, t.y.)

Yapı malzemesi olarak ışığa duyarlı iplikler ve fotolminesan tekstil bileşenleri tercih edilmiştir. Bu malzemeler, gün boyunca güneş ışığını soğurup gece boyunca ışıma yaparak, çevresel koşullara fiziksel tepkiler verir. Bu durum, Menges'in malzeme zekâsı kavramıyla doğrudan rtmekte, malzemenin pasif değil, etkin bir tasarım bileşeni olarak kullanıldığını göstermektedir (Menges, 2009). Yapım sistemi, esnek örgü yüzeylerin, gergi elemanları ve kolonlarla desteklenerek hafif ve geirgen bir kabuk oluşturacak biçimde mekna yerleştirilmesiyle kurulmuştur. Bu sistem, biyolojik dokuların yapısal sürekliliğini taklit eden, tek parça ama farklı gerilim bölgelerine sahip mekânsal örüntülerle oluşturulmuştur. Böylece tekil modüllerden çok, bir sistemin topolojik sürekliliği ön plandadır (Knippers & Menges, 2011).

Üretim süreci, dijital ortamda parametrik olarak tasarlanan örgü desenlerinin CNC destekli örme makineleriyle üretilmesi ve ardından elle montaj yoluyla mekna adapte edilmesini içermektedir. Bu süreç, üretim teknolojisi ile tasarım algoritmasının bütünleşik çalıştığı, dijital-maddesel eşzamanlılık ilkelerine dayanmaktadır. Tasarım yöntemi, ışık yoğunluğu, ısı ve insan hareketi gibi çevresel girdilere göre örgü gerginliğini optimize eden parametrik sistemlere dayanmaktadır. Bu yaklaşımla, strüktürün

biçimi sabit değil; çevresel etkileşimlere göre yeniden konfigüre edilebilecek potansiyeller taşır. Menges'in çevresel morfogeneze kavramı burada açık biçimde görünür olur: tasarım, önceden belirlenmiş bir form değil, davranışsal bir sistemdir (Menges, 2009).

Biyolojik rol model olarak, canlı dokuların çevresel uyarıcılara adaptif biçim değiştirme yetisi örnek alınmıştır. Kas, deri veya epitel dokular gibi sürekli yeniden yapılanan biyolojik yüzeylerin ilkesel mantığı, burada tekstil mimarlığına aktarılmış; organizma yüzeylerinin duyarlılığı, strüktürel bir mantığa dönüştürülmüştür. Sonuç olarak *Lumen*, dijital tasarım ve tekstil teknolojilerini sentezleyerek, morfogenetik mimarinin doğaya referans veren, fakat doğayı yalnızca görselleştirmeyen; onun yapısal, çevresel ve üretimsel ilkelerini yeniden kodlayan bir yorumunu sunmaktadır. Bu yönüyle proje, Menges'in hesaplamalı tasarım ve biyomimesis arasındaki ilişkileri yeniden tanımlayan yaklaşımıyla güçlü biçimde örtüşmektedir.

4.6. Tartışma

Bu bölümde, Tablo 1'de görüldüğü üzere çalışmada ele alınan deneysel pavyonlar -Bloom, Hy-Fi, Silk Pavilion, Pillars of Dreams ve Lumen- morfogenetik tasarımın beş temel parametresi (malzeme, yapı sistemi, üretim süreci, tasarım yöntemi ve biyolojik rol model) üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Her bir pavyon, doğadan ilham alma biçimi, teknolojik entegrasyon düzeyi ve üretim stratejileri bakımından farklı yaklaşımlar sunmakta, morfogenezin mimari pratikte ne kadar esnek ve çoğulcu biçimlerde yorumlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Bloom, bükülebilen metal panellerin termal genleşme ile hareket etmesi sayesinde pasif iklim kontrolünü biçimsel bir stratejiye dönüştürmekte, yapının davranışsal yönünü öne çıkaran bir örnek sunmaktadır. Yapı sistemi olarak kinetik özellik taşıması ve çevreyle etkileşim kurması, bu pavyonu morfogenetik yaklaşıma güçlü biçimde bağlar. Biyolojik modelleme yönü ise dolaylıdır; bitkilerin güneşe yönelme davranışına benzer bir prensibe sahiptir. *Hy-Fi*, yapı malzemesi olarak kullanılan miselyum tuğlalarıyla sürdürülebilirliği radikal bir biçimde yorumlamaktadır. Bu pavyon, malzemenin kendiliğinden gelişme kapasitesine dayanmakta ve doğanın yapı üretme mantığını doğrudan taklit eden bir örnek oluşturmaktadır. Ancak üretim süreci dijital olmaktan çok biyolojik temellidir. Bu durum tasarım sürecinin dijital parametrelerle kontrolü yerine, doğanın kendisini tasarımcı kıldığı bir yaklaşımı temsil eder. *Silk Pavilion*, doğrudan biyolojik rol modelin (ipek böceği) tasarımcıyla birlikte yapı üretimine katıldığı bir senaryo sunmaktadır. Burada, robotik sistemlerin iskeleti oluşturduğu, ardından ipek böceklerinin yapıyı tamamladığı bir hibrit üretim süreci vardır. Bu pavyon,

hem üretim süreci hem de malzeme parametresi açısından morfogenetik yaklaşımın en uç örneklerinden biridir. Biyolojik ajanlar doğrudan tasarımcı haline gelmiştir. *Pillars of Dreams*, biçimsel olarak doğadan esinlenmiş görünse de, üretim süreci ve yapı sistemi açısından daha çok görselliğe dayalı bir yorum sunmaktadır. Dijital fabrikasyon olanaklarının kullanılması ve kamuya açık bir yapının geçici bir kamusal alan olarak inşa edilmesi, onu kent bağlamında deneyimlenebilir bir prototipe dönüştürmektedir. Ancak doğayla ilişki kurma düzeyi daha zayıftır; biyolojik modelleme dolaylıdır. *Lumen*, ışığa tepki veren yapısıyla çevresel verilerle etkileşim kuran bir diğer örnektir. Fiber optik malzeme kullanımı ve ışığın biçim üretiminde aktif rol oynaması, onu Bloom ile benzer bir eksen de konumlandırır. Ancak üretim süreci, kullanıcı deneyimi ve çevresel duyarlılık açısından daha gelişkindir. *Lumen*, yapay zekâ entegrasyonuna açık bir sistem mimarisi önermesi bakımından geleceğe dönük bir potansiyel barındırır.

Tablo 1. Menges'in parametreleri üzerinden deneysel pavyonların çözümlemesi

Proje Adı	Tasarımcı / Stüdyo	Yapı Malzemesi	Yapım Sistemi	Üretim Süreci	Tasarım Yöntemi	Biyolojik Rol Modeli
Bloom (2012)	Doris Sung	Termo-bimetalik metal levhalar	Pasif kinetik panellerle sabit sistem	Ön üretilmi panellerin montajı	Çevresel veriye dayalı parametrik tasarım	Pasif termal adaptasyon (ör. yaprak davranışı)
Silk Pavilion (2013)	Neri Oxman / MIT	İpek ipliği, çelik çubuklar	Robotik iskelet + biyolojik örme	CNC destekli fiber çekimi + ipekböceği eğitimi dokuması	Biyolojik örüntülerin dijital simülasyonu	İpekböceği kozası
Hy-Fi (2014)	The Living / D. Benjamin	Miselyum esaslı biyolojik tuğlalar	Biyolojik tuğla sistemi-Kuru istifleme ile modüler strüktür	Yerinde yetiştirilen biyolojik tuğlalar	Çevresel simülasyon + modüler sistem	Mantar köklerinin kolonizasyon davranışı

Pillars of Dreams (2017)	Marc Fornes THEVE RYMAN Y	PET esashlı hafif polimer modüller	İç içe geçen modüler kabuk sistemi	CNC kesim, parametrik montaj	Enerji simülasyon ları + parametrik model	Yapraklar daki kvrırmalı yüzey organizasy onu
Lumen (2017)	Jenny Sabin Studio	Işığa duyarlı ve fotolümine san iplikler	Gergi destekli tekstil strüktürü	Parametrik örme + elle montaj	Işık verisine göre örgü gerginliği hesaplaması 1	Canlı dokuların adaptif deformasyon kapasitesi

Analiz edilen projelerde özellikle dikkat çeken ortak yönler şunlardır:

Malzeme, artık pasif bir yapı bileşeni değil; biçimlenme sürecinin etkin bir belirleyicisi hâline gelmiştir. Termobimetal (Bloom), miselyum (Hy-Fi), ipek kozası (Silk Pavilion) gibi biyolojik ya da biyomimetik malzemeler, yapının çevresel verilerle ilişki kurmasını ve kendiliğinden davranış sergilemesini sağlamaktadır. Yapı sistemleri, önceden belirlenmiş strüktürel çözümler yerine, malzemenin davranışına ve performansına dayalı olarak biçimlenmekte; genellikle modüler, yeniden düzenlenebilir ve esnek yapılardan oluşmaktadır. Bu sistemler, doğadaki kendiliğinden örgütlenme ve denge kurma ilkelerini taklit etmektedir.

Üretim süreçleri, dijital tasarım ve üretim teknolojilerinin (parametrik modelleme, simülasyon, robotik üretim, dijital fabrikasyon) entegrasyonu ile yürütülmekte; böylece yapım süreci, formun gelişimiyle eşzamanlı ve etkileşimli bir sürece dönüşmektedir. Tasarım yöntemi, tekil bir tasarımcının müdahalesine dayanan geleneksel yaklaşımların aksine, çok sayıda çevresel ve fiziksel verinin birlikte işlenmesine dayalı parametrik ve veriye dayalı bir süreci benimsemektedir. Böylece tasarım, çevresel bağlamla daha uyumlu ve tepkisel hâle gelmektedir.

Biyolojik rol modeller, doğrudan form kopyası olmaktan ziyade; doğadaki davranışsal ve üretimsel ilkelerin yeniden yorumlanması şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, mimarlığın biyolojiyi taklit etmenin ötesine geçerek, biyolojinin üretim stratejilerini kendi tasarım sistemine entegre etmesi anlamına gelmektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, morfojenetik yaklaşımın çağdaş mimarlık pratikleri için sunduğu en önemli potansiyel, mimari formun sabit, bitmiş bir nesne olarak değil; değişken, çevresel verilerle etkileşen ve evrilebilen bir süreç olarak tasarlanmasını mümkün kılmasıdır. Bu yaklaşım, sürdürülebilirlik, çevresel uyum, malzeme verimliliği ve üretim sürecinde enerji optimizasyonu gibi günümüz mimarlığının temel sorun alanlarına yenilikçi çözümler geliştirmeye olanak tanımaktadır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu alışma, mimarlıkta biçim üretim süreçlerini yeniden tanımlayan morfogenetik tasarım yaklaşımını; malzeme, yapı sistemi, üretim süreci, tasarım yöntemi ve biyolojik rol model gibi beş temel parametre üzerinden inceleyerek, bu yaklaşımın ağdaş mimari pratikteki yansımalarını açığa çıkarmayı amaçlamıştır. Achim Menges'in hesaplamalı tasarım ve biyolojik organizasyon ilkelerine dayanan üretim anlayışı, bu çalışmada hem kuramsal bir ereve hem de karşılaştırmalı analiz için yöntemsel bir zemin olarak değerlendirilmiştir.

İncelenen projeler, mimarlığın artık yalnızca görsel-estetik bir biçim arayışı değil; aynı zamanda malzemenin içkin özelliklerinden beslenen, çevresel verilerle etkileşen ve üretim sürecini yapının bir parçası hâline getiren bir düşünce biçimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda morfogenetik yaklaşım, doğadaki organizmaların büyüme, evrim ve adaptasyon süreçlerini dijital tasarım araçlarıyla birleştirerek, mimari formu sabit bir nesne olmaktan çıkarıp, süreç temelli ve çok katmanlı bir üretim alanına dönüştürmektedir.

Morfogenetik tasarım, biçim üretimini yalnızca bir sonuç değil, çok katmanlı bir süreç olarak ele alarak; doğanın kendini örgütleme ilkelerini dijital tasarım ortamlarıyla bütünleştirmekte ve böylece mimarlığın düşünsel zeminine radikal katkılarda bulunmaktadır. Tasarımcıyı yalnızca biçim belirleyici bir özne olmaktan çıkarıp, süreçlerin yöneticisi ve katılımcısı haline getiren bu yaklaşım, mimarlığı sabit, tekil ve hiyerarşik bir yapı üretim pratiği olmaktan uzaklaştırarak, çoğulcu, adaptif ve ilişkilere dayalı bir sistemler bütününe dönüştürmektedir. Malzemenin yapısal potansiyelinin ve üretim biçiminin doğrudan tasarımı yönlendirdiği bu anlayışta, yapı elemanları yalnızca taşıyıcı değil, biçimlendirici öğeler haline gelmektedir.

Bununla birlikte, bu yaklaşımın uygulanabilirliğini sınırlayan birtakım yapısal ve teknolojik engeller söz konusudur. Gerek dijital üretim altyapılarının maliyeti, gerekse kullanılan deneysel malzemelerin ömrü, dayanıklılığı ve standartlara uygunluğu gibi teknik sınırlılıklar, morfogenetik yaklaşımların gündelik ve kalıcı mimari pratiklerde yaygınlaşmasının önünde engel oluşturmaktadır. Ayrıca, doğadan ilham alan biçimlerin yalnızca yüzeysel bir taklit düzeyinde kalması, bu yaklaşımın eleştirel bir süzgeçten geçirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, morfogenezin sadece teknolojik bir araç değil, aynı zamanda felsefi ve kavramsal bir ereve olarak değerlendirilmesi önemlidir.

Morfogenetik yaklaşımın en güçlü yönlerinden biri, farklı disiplinlerle kurduğu üretken ilişkilerdir. Biyoloji, yapay zekâ, robotik, malzeme bilimi ve bilgisayar destekli üretim teknolojileriyle kurulan bu çok yönlü bağ, mimarlığın bilgi üretim biçimini de dönüştürmektedir. Bu

bağlamda mimarlık, artık yalnızca formların değil, süreçlerin, ilişkilerin ve sistemlerin tasarlandığı bir alan haline gelmektedir. Disiplinler arası geçişkenlik sayesinde yapı, çevresiyle karşılıklı etkileşime giren bir organizma gibi düşünülebilmekte; bu durum, sürdürülebilirlik ve adaptasyon gibi günümüzün öncelikli meselelerine çözüm üretme potansiyeli taşımaktadır.

Geleceğe yönelik olarak, morfogenetik tasarımın mimari düşünce ve üretimde giderek daha etkin hale gelmesi beklenmektedir. Bu yaklaşımın kent ölçeğine taşınması, kullanıcıyla daha doğrudan ilişki kuran adaptif sistemlerin geliştirilmesi, yapay zekâ ve biyoteknoloji entegrasyonlarıyla daha karmaşık ve esnek tasarım senaryolarının üretilmesi gibi araştırma alanları; mimarlığın evrimsel bir zeka ile biçimlenen, öğrenen ve kendini uyarlayabilen yapılara doğru yönelmesini mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın hedeflediği üzere; morfogenetik tasarımın kuramsal temelleri ile çağdaş mimari uygulamalar arasındaki bağın ortaya konması, mimarlıkta yeni bir düşünce biçiminin filizlendiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, doğa ile teknoloji, süreç ile ürün, tasarımcı ile üretici arasındaki sınırları bulanıklaştırarak; mimarlığı yeniden düşünmeye davet etmektedir. Geleceğin mimarlık pratiği, bu tür deneysel üretimlerin çoğalmasıyla birlikte daha esnek, adaptif, ekolojik ve bilgi temelli bir çerçeveye evrilecektir. Bu bağlamda, morfogenetik tasarımın, mimari üretimin yeni epistemolojisinin şekillenmesinde kritik bir rol oynayacağı öngörülebilir.

Kaynaklar

- DeLanda, M. (2002). *Intensive science and virtual philosophy*. Continuum.
- DeLanda, M. (2006). *A new philosophy of society: Assemblage theory and social complexity*. Continuum.
- DeLanda, M. (2006). *Philosophy and Simulation: The Emergence of Synthetic Reason*. Continuum.
- Dezeen. (2015, March 11). *Frei Otto: A life in projects*. <https://www.dezeen.com/2015/03/11/frei-otto-a-life-in-projects/>
- DOCAM. (t.y.). *Embryological house*. <https://www.docam.ca/conservation/embryological-house/index.html>
- DOSU Studio Architecture. (t.y.). *Bloom*. <https://www.dosu-arch.com/bloom>
- Helm, V., Schleicher, S., & Menges, A. (2015). Fibrous tectonics: Computational design and robotic fabrication of filament-based building systems. *Architectural Design*, 85(5), 64–71. <https://doi.org/10.1002/ad.1946>
- Hensel, M. (2013). *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*. AD Wiley, London.
- Hensel, M., & Menges, A. (2006). Material and digital design synthesis. *Architectural Design*, 76(2), 88–95. <https://doi.org/10.1002/ad.244>
- Hensel, M., & Menges, A. (2006). *Morpho-Ecologies*. Architectural Association Publications.
- Hensel, M., & Menges, A. (2008). Versatility and vicissitude: An introduction to performance in morpho-ecological design. *Architectural Design*, 78(2), 6–11. <https://doi.org/10.1002/ad.635>
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2010). *Emergent technologies and design: Towards a biological paradigm for architecture*. Routledge.
- Holcim Foundation. (t.y.). *Hy-Fi*. <https://www.holcimfoundation.org/projects/hy-fi>
- Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). (n.d.). *ICD/ITKE research pavilions*. <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/>
- Knippers, J., & Menges, A. (2011). Biomimetic design in architecture: Computer-based simulations for morphological analysis and fabrication of natural structures. *Computer-Aided Design*, 43(10), 1399–1409. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.12.009>
- Kolarevic, B. (Ed.). (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis.
- Leach, N. (1999). *The anaesthetics of architecture*. MIT Press.
- Leach, N. (2009). *Digital Morphogenesis*. In A. Menges (Ed.), *Morphogenetic Design: Architectural Design* (Vol. 79, No. 3, pp. 32–37). Wiley.

- Leatherbarrow, D., & Mostafavi, M. (2002). *Surface architecture*. MIT Press.
- Lynn, G. (1999). *Animate form*. Princeton Architectural Press.
- Menges, A. (2006). Computational morphogenesis: Bridging the gap between digital design and fabrication in architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 4(1), 89–104. <https://doi.org/10.1260/147807706776320187>
- Menges, A. (2009). *Material Computation*. Architectural Design, 79(3), 26–31.
- Menges, A. (2009). Material computation: Higher integration in morphogenetic design. *Architectural Design*, 79(3), 34–41. <https://doi.org/10.1002/ad.868>
- Menges, A., & Ahlquist, S. (2011). *Computational Design Thinking: A Primer*. Wiley.
- Menges, A. (2012). *Morphogenesis and Performance*. In: Performance-Oriented Architecture.
- Menges, A., & Reichert, S. (2015). Performative wood: Digital design and robotic fabrication of wood constructions. In A. Menges et al. (Eds.), *Fabricate 2014* (pp. 64–71). London: UCL Press.
- Menges, A., Sheil, B., Glynn, R., & Skavara, M. (Eds.). (2017). *Fabricate 2017: Rethinking design and construction*. UCL Press
- Oxman, N. (2013). *Silk Pavilion*. MIT Media Lab.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Oxman, R. (2010). *The new structuralism: Design, engineering and architectural technologies*. Architectural Design, 80(4), 14–23. <https://doi.org/10.1002/ad.1070>
- Oxman, R. (2014). Naturalizing design: In pursuit of tectonic materiality. In F. Migayrou & M.-A. Brayer (Eds.), *Archilab 2013: Naturalizing architecture* (pp. 15–27). Springer.
- Oxman. (t.y.). *Silk pavilion I*. <https://oxman.com/projects/silk-pavilion-i>
- Sabin, J. (t.y.). *Lumen*. <https://www.jennysabin.com/lumen>
- Sung, D. (2013). *Bloom: A thermo-bimetal installation*. In ACADIA 2013: Adaptive Architecture (pp. 143–148). The Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA).
- Tanyeli, U. (2017). *Yıkarak yapmak: Anarşist bir mimarlık kuramı için altlık* (1. baskı). Metis Yayınları.
- THEVERYMANY. (t.y.). *Pillars of dreams*. <https://theverymany.com/pillars-of-dreams>
- Thompson, D. W. (1917). *On growth and form*. Cambridge University Press.



BÖLÜM

4

PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNDE TAHLİYE SİMÜLASYONLARI VE YAZILIMLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Muammer YAMAN¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Samsun, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8767-4811

1. Giriş

Günümüzde yapı üretiminde, geleneksel kurallara dayalı tasarım ve mühendislik yaklaşımlarının yerini giderek performansa dayalı tasarım anlayışları almaktadır. Artan yapı ve tesis karmaşıklığı, sürdürülebilir tasarımlar ve kullanıcı gereksinimlerinin çeşitlenmesi, geleneksel ve tanımlayıcı tasarım yöntemlerinin sınırlarını zorlaştırmaktadır. Bu anlayış, yapının sadece geometrik veya malzeme özelliklerine değil işlevsel, yapısal, enerji, akustik, yangın güvenliği gibi alanlardaki gerçek davranışına göre tasarlanmasını ve değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Hassanzadeh ve diğ., 2024; Oxman, 2008). Performansa dayalı çözümler, yapıların farklı senaryolara karşı tepkilerini önceden modelleme ve optimize etme imkânı sunarak, sürdürülebilirlik, kullanıcı konforu ve güvenlik açısından daha yüksek standartlara ulaşmasını amaçlamaktadır (Goubran ve Cucuzzella, 2019; Nguyen, 2020).

Afet riski yüksek bölgelerde ve karmaşık yapı türlerinde, performansa dayalı çözümler geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha esnek ve işlevsel sonuçlar sunmaktadır. Bu durum hem tasarımcının rolünü daha aktif hale getirmekte hem de uygulama açısından daha verimli bir sürecin gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır. Performansa dayalı tasarım anlayışlarının yaygınlaşması yapı yapma pratiğinde pek çok alanda kendine bir yer edinmekte ve büyük gelişme göstermektedir. Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (*Performance Based Earthquake Engineering, PBEE*), yapıların yalnızca yıkılmadan ayakta kalmasını değil, belirlenen performans düzeylerinde işlevselliıklarını sürdürmesini amaçlamaktadır (FEMA P-58, 2018). Bu kapsamda malzeme seçimi, taşıyıcı sistem konfigürasyonu, enerji verimliliği ve yangın güvenliği gibi çok disiplinli parametreler bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Farklı bir parametre olarak enerji performansı odaklı çözümler, bina kabuğu tasarımı, pasif stratejiler ve akıllı sistemlerin entegrasyonu ile sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Attia, ve diğ., 2011; Oreounig ve diğ., 2015).

Bina Performans Simülasyonu (*Building Performance Simulations, BPS*) araçları, tasarım sürecinde enerji tüketimi, ısıtma-soğutma yükleri ve karbon emisyonu gibi ölçütlerin senaryoya bağlı analizini mümkün kılmaktadır (Bazjanac, 2005). Ayrıca akustik, termal konfor ve aydınlatma kalitesi gibi kullanıcı deneyimini etkileyen unsurlar da bu yaklaşıma entegre edilebilmektedir (Yaman, 2025). Yapı Bilgi Modellemesi (*Building Information Modeling, BIM*) ve dijital ikiz teknolojilerinin

yaygınlaşması, performans temelli karar destek sistemlerinin entegrasyonunu ve disiplinler arası eşgüdümü kolaylaştırmaktadır (Eastman ve diğ., 2011). Tüm bu çalışma alanları ile birlikte, yangın güvenliği açısından performansa dayalı yaklaşımlar, geleneksel mevzuatların yetersiz kaldığı karmaşık bina tiplerinde daha gerçekçi ve esnek çözümler sunmaktadır. Performansa Dayalı Yangın Tasarımı (*Performance-Based Fire Design, PBFD*) yöntemleri özellikle yüksek katlı yapılar, alışveriş merkezleri ve havaalanı gibi kompleks yapılarda, tahliye süresi, duman yayılımı ve yapısal dayanım gibi kriterlere göre yangın senaryolarını analiz ederek çözümler geliştirmektedir (Alvarez ve diğ., 2013; Gernay, 2024; Shrivastava, 2019). Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımında, değerlendirmenin temelini oluşturan ilk adım, yapının karşılaması gereken performans hedeflerinin açık ve ölçülebilir şekilde tanımlanmasıdır. Bu hedefler genellikle ASET (*Available Safe Egress Time*) ve RSET (*Required Safe Egress Time*) kavramları çerçevesinde ele alınmakta; buna göre, mevcut güvenli tahliye sresinin gereken sreden uzun olması beklenmektedir ($ASET \geq RSET$) (Poon, 2014). Buna ek olarak, tahliye sırasında kullanıcıların karşılaştığı görüş mesafeleri, zehirli gaz maruziyet sınırları ve ısıya maruziyet değerleri gibi nicel kriterler de performans değerlendirmesinde dikkate alınan parametreler arasında yer almaktadır. Bu süreçte, tasarım ve analiz için yangın senaryolarının oluşturulması kritik bir aşamadır. Yangın yükü, tutuşma noktaları, gelişim süreci ve tahliye süresince kullanıcı davranışları detaylı şekilde modellenmektedir. Kullanıcı davranışları, sosyal kuvvet modelleri, ajan tabanlı simülasyonlar ve kalabalık hareketi algoritmaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu tür simülasyonlar, duman yayılımı ile entegre olarak yürütülmekte ve genellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) tabanlı yangın modelleme yazılımları (FDS, PyroSim, ANSYS Fluent gibi) ile kullanıcı tahliye simülasyonları (Pathfinder, Simulex gibi) eş zamanlı ve veri tabanlı biçimde entegre edilmektedir. Gerçekleştirilen analizlerin doğruluğu ve geçerliliği, özellikle ASET ve RSET hesaplamalarının karşılaştırılmasıyla ve çeşitli ölçüm verileriyle test edilerek sağlanmaktadır. Elde edilen çıktılar, yangın kompartıman stratejilerinin, havalandırma sistemlerinin, algılama ve erken uyarı sistemlerinin etkinliğini optimize etmek amacıyla alternatif senaryolar üzerinden değerlendirilmektedir. Tüm bu analizler, Yangın Koruma Mühendisleri Derneği (*Society of Fire Protection Engineers, SFPE*) rehberleri, Uluslararası Standartlar Teşkilatı (*International Organization for Standardization, ISO*) teknik raporları ve

yerel/bölgesel mevzuatlarla uyumlu olarak belgelenmekte ve yetkili otoritelerin onay süreçlerine entegre edilmektedir.

Performansa dayalı yangın güvenliğinde tahliye simülasyonları, bina içinde yangın anında gerçekleşen kullanıcı hareketlerinin modellenmesi ve tahliye sürecinin analiz edilmesi açısından merkezi bir öneme sahiptir. Bu tür simülasyonlar, yangın sırasında oluşan duman, ısı ve yapısal hasarın tahliye yolları üzerindeki etkilerini, kullanıcı davranışlarını ve kalabalık dinamiklerini bütüncül şekilde değerlendirmektedir. Böylece, tahliye sürelerinin güvenli sınırlar içinde olup olmadığı, potansiyel daralan bölümler (*bottleneck*), tıkanmalar ve riskli alanlar sayısal olarak ortaya konmaktadır. Performansa dayalı yaklaşımlar, bu tür analizlerle yangın güvenliği tasarımında esnek ve bina özelinde optimize edilmiş çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Ronchi ve diğ., 2019; Aldahlawi ve diğ., 2024; Bakhshian ve Martinez-Pastor, 2023). Tahliye simülasyonlarında uygulama alanları geniş olup, yüksek katlı binalar, alışveriş merkezleri, toplu konutlar, sağlık tesisleri, ulaşım istasyonları ve karma kullanımlı yapılar gibi karmaşık ve yoğun kullanıcı trafiğine sahip yapılar önceliklidir. Tahliye simülasyonları, sadece acil durum planlamasında değil, aynı zamanda yapısal yangın güvenliği, otomatik söndürme sistemleri tasarımı ve yangın yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde de kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, gelişen bilgisayar gücü ve yazılım teknolojileri sayesinde gerçek zamanlı tahliye analizleri ve senaryo bazlı değerlendirmeler daha yaygın hale gelmekte, bu da yangın güvenliğinin tasarım ve işletme süreçlerine entegre edilmesini kolaylaştırmaktadır (Kanangkaew ve diğ., 2023; Jing ve diğ., 2025). Buna bağlı olarak çalışmada, performansa dayalı bir yöntem olarak tahliye simülasyonları yazılım programları incelenmiştir. Programların detaylı özellikleri, kullanım alanları ve ara yüzleri hakkında bilgiler sağlanmış ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

2. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada, performansa dayalı yangın güvenliği yaklaşımı kapsamında, tahliye simülasyon yazılımlarının teknik, fonksiyonel ve senaryo bazlı özellikleri analiz edilmiştir. Yöntemsel olarak, karşılaştırmalı analiz modeli benimsenmiş ve bu doğrultuda çok sayıda yazılımın teknik dokümantasyonları, akademik literatür kaynakları, kullanıcı ara yüzleri ve örnek simülasyon senaryoları dikkate alınarak kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. İlk olarak, tahliye

simölasyonlarının yapı performans analizlerindeki yeri ve önemi belirlenmiş, ardından bu amaca hizmet eden yaygın yazılımların özellikleri kategorize edilmiştir. Analiz edilen yazılımlar; ajan tabanlı modelleme, sosyal kuvvet tabanlı hareket algoritmaları, BIM ve CAD veri uyumu, CFD uyumu, grup davranışı modellemesi, tahliye süresi ve kalabalık yoğunluğu gibi anahtar parametrelere göre sınıflandırılmıştır.

Çalışmada nitel karşılaştırma yöntemi esas alınmış ve her bir yazılım kendi teknik kapasitesi, kullanım senaryosu ve uyum yetenekleri açasından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda incelenen yazılımlar arasında şunlar yer almaktadır: Pathfinder, MassMotion, FDS+Evac, BuildingEXODUS, Simulex, Legion, VISWALK, Pedestrian Dynamics, STEPS, EVACNET4 ve AnyLogic. Her bir yazılımın veri girişi biçimi, analiz kapasitesi, çıktı üretme yeteneği ve uygulama alanı ayrı başlıklar altında analiz edilmiştir. Karşılaştırmalı analizde aşağıdaki ana kriterler temel alınmıştır:

- CFD Uyum Seviyesi: Yangın senaryolarının duman, sıcaklık ve gaz yayılımı açasından modellenebilirliği.
- BIM Uyumluluğu: CAD ve BIM tabanlı veri entegrasyonları ile gerçeķi ve modelleme olanakları.
- Modelleme Yaklaşımı: Ajan tabanlı mı, ağ tabanlı mı olduğu ve sosyal kuvvet modelleri iķerip iķermedięi.
- Davranışsal Senaryo Yeteneği: Grup davranışları, yön seķimi, karar verme ve engellilik gibi etmenleri modele dâhil edebilme düzeyi.
- Doğrulama ve Uygulama Alanı: Yazılımın akademik ve/veya sektörel uygulamalarda kullanımı ve güvenilirlik düzeyi.

Veriler hem teknik dokümantasyonlardan hem de çeşitli akademik yayınlardan toplanmış; ayrıca yazılımların kullanıcı ara yüzleri üzerinden senaryo temelli gözlemler yapılmıştır. Sonuç olarak, her bir yazılımın belirli bağlamlara göre sunduğu avantajlar ve sınırlılıklar nitel olarak tartışılmış; yazılım tercihinde etkili olan faktörler (senaryo türü, yapı tipi, kullanıcı profili vb.) öneri niteliğinde sıralanmıştır. Elde edilen bulgular, yangın güvenliği tasarımında performansa dayalı karar destek sistemlerinin seķiminde yol gösterici olmayı hedeflemektedir.

3. Tahliye Simölasyonları ve Karşılaştırmalı Analizler

Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı, yalnızca yapıların kodlara uygun olarak inşa edilmesini değil, aynı zamanda gerçeķi

senaryolar altında kullanıcıların can güvenliğini en üst düzeyde koruyacak stratejilerin geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda kullanıcı tahliyesi, yangın güvenliği performans hedeflerinin ölçülmesinde temel parametrelerden biridir. Tahliye simülasyon yazılımları, yapı geometri verileri, kullanıcı profilleri, yangın karakteristikleri ve çevresel koşulları dikkate alarak insanların tahliye davranışlarını üç boyutlu ve zamana bağlı olarak modelleyebilme yeteneğine sahiptir. Böylece yalnızca yönetmeliklere dayalı tipik çözümlerle ötesine geçilerek, senaryoya özgü, risk temelli karar destek sistemleri geliştirilebilir (Ronchi ve Nilsson, 2013; Kuligowski ve Peacock, 2005). Tahliye simülasyon yazılımları incelendiğinde araştırılmak istenen verilere göre farklı seçeneklerin olduğu dikkat çekmektedir. Yazılımların çeşitli karakteristik durumlarının olduğu ve kullanıma uygun olarak tasarımcının ve uzmanın kullanımına göre seçilmesi gerekliliği bilinmelidir (Çizelge 1).

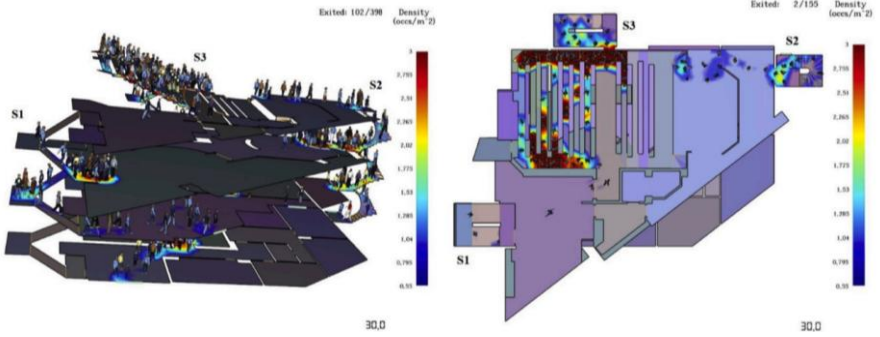
Çizelge 1. Farklı tahliye simülasyon yazılımlarının karakteristik özellikleri

Kategori	Kullanılan Yazılımlar
<i>Ajan Tabanlı / Sosyal Kuvvet</i>	Pathfinder, MassMotion, Simulex, VISWALK, STEPS
<i>Kalabalık Modelleme</i>	Legion, Pedestrian Dynamics
<i>Yangın ile Entegre CFD Tabanlı</i>	FDS+Evac, Pathfinder + FDS, Simulex
<i>Trafik-Yaya Entegrasyonu</i>	Pedestrian Dynamics
<i>Davranışsal Modelleme Odaklı</i>	BuildingEXODUS, AnyLogic
<i>Akademik/Ağ Tabanlı</i>	EVACNET4

Tahliye simülasyon yazılımları, yapıdaki tahliye sürelerini, kalabalık yoğunluklarını, alternatif çıkış yollarını ve yangına maruz kalma koşullarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Her bir tahliye yazılımı farklı modelleme yöntemleri, fiziksel senaryo analiz derinlikleri ve kullanıcı profillerine göre değişkenlik göstermekte olup oluşturulma amacına hizmet etmektedir:

Pathfinder: Binalarda ve kapalı alanlarda insan tahliyesini simüle etmek amacıyla geliştirilmiş, ajan tabanlı bir tahliye simülasyon yazılımıdır. Teknik olarak, her bireyi bağımsız bir ajan olarak modelleyerek, onların

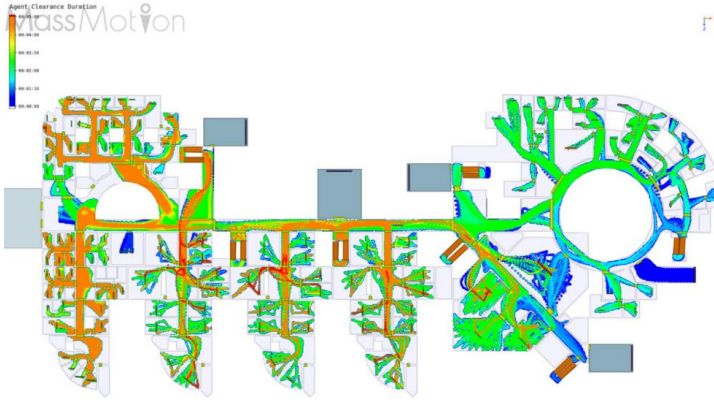
hız, yönelim, karar alma süreçleri ve çevresel etkileşimlerini gerçekçi biçimde yansıtmaktadır. Pathfinder, 3B ortamda çalışmakta ve karmaşık bina geometrilerini CAD veya BIM verilerinden doğrudan olarak analiz etme imkânı sağlamaktadır. Yazılım, merdivenler, kapılar, koridorlar, asansörler gibi yapısal elemanları detaylı şekilde simüle edebilir; ayrıca yazılıma yangın dumanı, görüş mesafesi kısıtlamaları gibi çevresel faktörler entegre edilebilir. Pathfinder, sosyal kuvvet modeli ve kısmi kütle yaklaşımı gibi farklı hareket algoritmalarını destekleyerek, kalabalık davranışlarını ve tıkanıklık bölgelerini etkili şekilde modelleyebilmektedir. Zaman esaslı senaryolar oluşturulabilir, bireysel ve toplu tahliye süreleri, çıkış kullanımları, tıkanıklık analizleri gibi sonuçlar detaylı olarak raporlanabilir. Yazılım, yangın güvenliği mühendisliği, mimarlık, afet yönetimi ve tesis yönetimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve standartlara uygun tahliye analizleri yapmak için tercih edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Pathfinder ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Yaman ve Kurtay, 2025)

MassMotion: Kalabalık simülasyonları ve yaya hareket analizleri için geliştirilmiş, ileri düzey bir 3B ajan tabanlı yazılımdır. Teknik olarak, bireylerin hareketlerini ve davranışlarını sosyal kuvvet modeli ile fiziksel çevre etkileşimlerini detaylı şekilde modelleyerek gerçekçi kalabalık dinamikleri sunmaktadır. CAD ve BIM tabanlı karmaşık bina, ulaşım merkezi, stadyum veya açık alan modellerini doğrudan içe aktarabilir; böylece mimari detaylar simülasyona tam entegre olabilmektedir. Yazılım, özellikle kalabalık yoğunluğunun yüksek olduğu ortamlarda tahliye senaryoları, kalabalık akışı optimizasyonu ve güvenlik analizleri için tercih edilir. MassMotion, zaman-temelli simülasyon yapısı sayesinde kullanıcıların farklı senaryoları karşılaştırmasına olanak tanımaktadır.

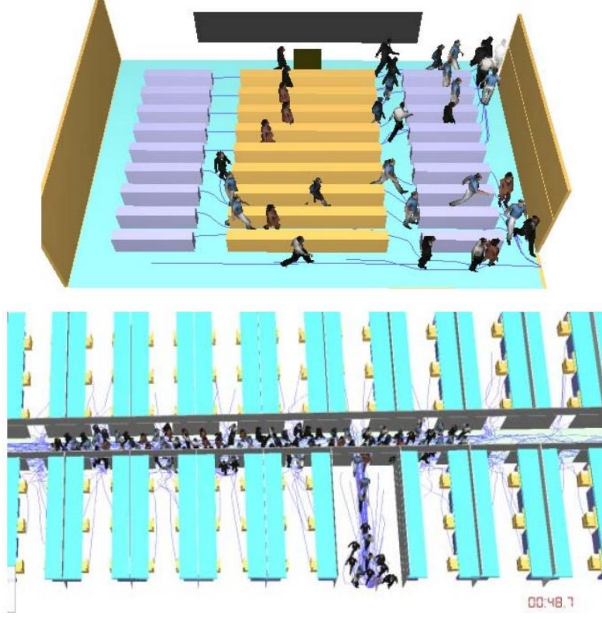
Merdiven, koridor, kapı, engelli erişimi gibi yapı elemanlarını gerçekçi biçimde temsil eder ve bireylerin yönelim, hız, grup davranışı, sosyal mesafe gibi faktörlere bağlı hareketlerini simüle eder. Ayrıca simülasyon sonuçları yoğunluk haritaları, tahliye süreleri, kuyruk oluşumu ve tıkanıklık bölgeleri gibi görsel ve sayısal analizlerle desteklenmektedir. (Şekil 2).



Şekil 2. MassMotion ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Shrahily ve Albeera, 2025)

FDS+Evac: Yangınla entegre tahliye senaryolarını analiz etmek için kullanılan, Yangın Dinamikleri Simülatörü (*Fire Dynamics Simulator, FDS*) yazılımının ajan tabanlı bir tahliye modülüdür. FDS, yangın dinamiklerini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) temelli olarak çözen NIST (*National Institute of Standards and Technology*) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu sisteme entegre olan FDS+Evac, tahliye sürecini birey bazında modelleyerek duman, sıcaklık ve zehirli gazların yayılımı gibi yangın parametrelerinin kullanıcı davranışlarına etkisini analiz etmeye olanak tanımaktadır. Her bir birey farklı özelliklerde (hız, yönelme, karar verme süresi vb.) bir ajan olarak tanımlanır ve sosyal kuvvet modeline dayalı olarak diğer bireyler ve çevresel engellerle etkileşime girerek hareket eder. Yangın ortamı içindeki duman yoğunluğu, görüş mesafesi, sıcaklık dağılımı ve karbon monoksit konsantrasyonu gibi faktörler, simülasyondaki bireylerin yönelim ve hızlarını doğrudan etkileyerek daha gerçekçi senaryolar oluşturmaktadır. Yazılım açık kaynaklı olması sayesinde özelleştirilebilir ve büyük ölçekli, karmaşık bina senaryoları için kullanılabilir. Özellikle yüksek katlı yapılar, alışveriş merkezleri, havaalanları gibi karmaşık sirkülasyon alanlarında tahliye

stratejilerinin test edilmesi amacıyla yaygın biçimde tercih edilmektedir. (şekil 3).



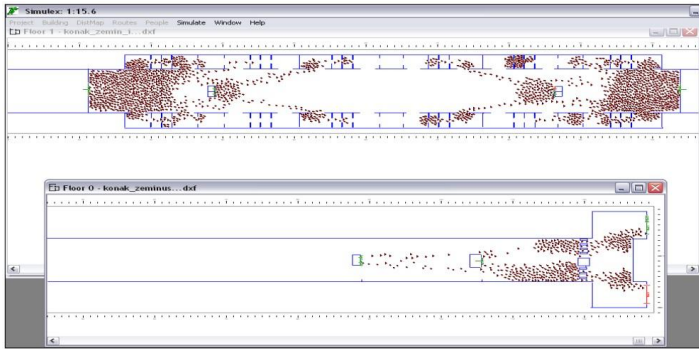
şekil 3. FDS+Evac ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Tingyong ve diğ., 2011)

BuildingEXODUS: Greenwich Üniversitesi Fire Safety Engineering Group (FSEG) tarafından geliştirilen, özellikle karmaşık bina tipolojilerinde insan tahliyesini modellemek amacıyla kullanılan gelişmiş bir ajan tabanlı simülasyon yazılımıdır. Yazılım, her bir bireyi bağımsız kararlar verebilen bir ajan olarak tanımlar; bu ajanlar yaş, cinsiyet, fiziksel yeterlilik, davranış tipi gibi özelliklerle karakterize edilir. Tahliye süreci; birey, çevre, hareket, yönetim ve olay olmak üzere beş ana alt sistemin etkileşimiyle modellenir. Bu yapı, hem bireysel hem de toplu davranışların gerçekçi biçimde simülasyonuna olanak sağlamaktadır. Özellikle karmaşık koridor sistemleri, merdivenler, çok katlı yapılar ve geçici engeller gibi mekânsal zorlukların bulunduğu senaryolarda etkili analiz yapılmasına imkân tanımaktadır. BuildingEXODUS, yön seçimi, kalabalıktan kaçınma, alternatif güzergâh tercihi, grup davranışları ve engelli birey hareketleri gibi birçok parametreyi hesaba katarak detaylı senaryolar üretmektedir (şekil 4).



Şekil 4. BuildingEXODUS ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Hao ve diğ., 2009)

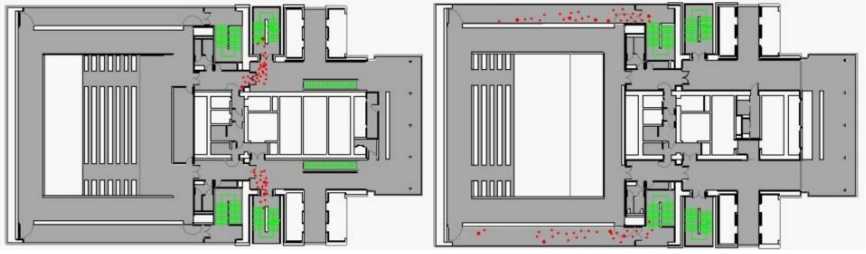
Simulex: Simulex, Arup tarafından geliştirilen ve özellikle bina içi tahliye süreçlerini modellemek üzere tasarlanmış, yaygın kullanılan bir simülasyon yazılımıdır. İlk olarak 1990'lı yıllarda geliştirilmiş olan bu yazılım, bireylerin bir iç mekândan nasıl ve ne hızla tahliye olabileceğini analiz ederken, temel olarak sosyal kuvvet modeli yerine temsilci ajan modelini kullanır. Simulex'in en öne çıkan özelliği, pratik arayüzü ve düşük hesaplama maliyetiyle hızlı ön değerlendirme imkânı sunmasıdır. Simulex, bireyleri noktasal temsilciler (agent) olarak değil, eliptik alan kaplayan varlıklar olarak modellemektedir; bu da çarpışma ve yön değiştirme gibi mikrodinamik hareketlerin daha gerçekçi biçimde simüle edilmesini sağlamaktadır. Bu eliptik modelleme, insanların duvarlara ya da birbirlerine çarpmasını önlemek adına yön değiştirme ve hız ayarlama davranışlarını daha doğal biçimde temsil etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Simulex ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Türkölmez ve Güneş, 2016)

Legion: Kullanıcı hareketini, kalabalık dinamiklerini ve yaya davranışlarını yüksek doğrulukla modelleyen gelişmiş bir simülasyon

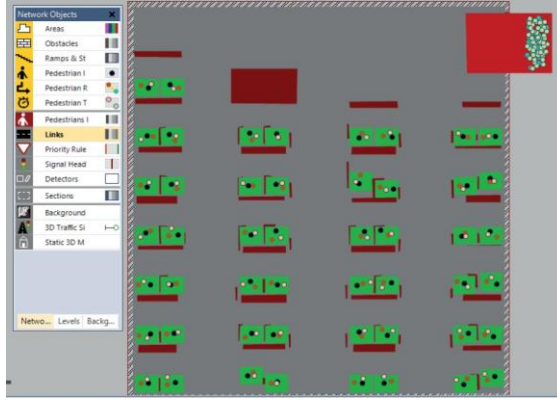
yazılımıdır. Bentley Systems tarafından geliştirilen bu yazılım, özellikle tren istasyonları, havaalanları, stadyumlar, alışveriş merkezleri ve kentsel kamusal alanlar gibi yoğun insan trafiğine sahip ortamlarda yaya akışının analiz edilmesi ve optimize edilmesi amacıyla kullanılır. Legion, ajan tabanlı bir yapıya sahiptir; her yaya, kendi hedeflerine, hareket hızına ve çevresel algılamasına göre bireysel kararlar vermektedir. Simülasyonlarda, çarpışmadan kaçınma, grupla hareket etme, kalabalıktan uzak durma gibi sosyal ve fiziksel davranışlar detaylı biçimde modellenmektedir. Gelişmiş analiz araçları sayesinde kullanıcılar, yaya yoğunlukları, geçiş süreleri, daralan koridorlar, tahliye süreleri ve konfor seviyeleri gibi kritik performans göstergelerini nicel olarak değerlendirebilir. Legion ayrıca 2B ve 3B görselleştirme desteği ile hem mühendislik ekipleri hem de karar vericiler için sezgisel ve görsel açıdan etkili sonuçlar sunmaktadır. Tahliye senaryolarının değerlendirilmesinden etkin kentsel tasarım kararlarının alınmasına kadar geniş bir alanda kullanılabilen Legion, özellikle altyapı ve toplu taşıma projelerinde yaygın bir tercih haline gelmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Legion ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Vigne ve diğ., 2011)

WISWALK: Kullanıcı sirkülasyonunu ve kalabalık davranışlarını analiz etmek üzere geliştirilmiş, mikroskobik düzeyde ajan tabanlı bir simülasyon yazılımıdır. İsviçre merkezli ETH Zürich bünyesindeki IVT (Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme) tarafından geliştirilmiştir ve yoğunluk, çakışma ve tahliye süreleri gibi kritik verileri hesaplamak için kullanılmaktadır. WISWALK, bireysel yayaları bağımsız karar birimleri (ajanlar) olarak tanımlar; her ajanın hedefe ulaşma motivasyonu, çevresel algısı ve diğer bireylerle etkileşimi, davranışlarının temelini oluşturur. Sosyal kuvvet modeli temelli bu yaklaşım sayesinde, gerçekçi yaya hareketleri ve grup dinamikleri modellenenebilir. Yazılım, özellikle tren istasyonları, havaalanları ve büyük kamusal yapılarda tahliye ve yönlendirme stratejilerini analiz etmek için kullanılır. Ayrıca, rota seçimi, hedef değiştirme, alternatif güzergâh değerlendirmesi gibi davranışsal

parametreleri de dikkate alarak optimizasyon yapılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle Avrupa'daki ulaşım altyapı projelerinde karar destek aracı olarak tercih edilmektedir (Şekil 7).

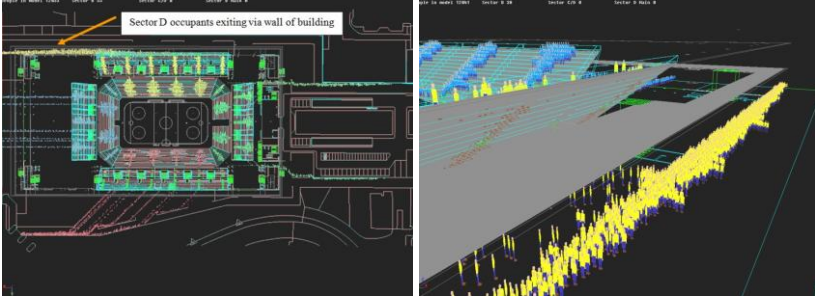


Şekil 7. WISWALK ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Gaddam, 2022)

Pedestrian Dynamics: Ajan tabanlı ve sosyal kuvvet modeline dayalı bir simülasyon yazılımıdır. Her bireyi bağımsız bir ajan olarak ele alır ve grup davranışı, yön tercihleri, yoğunluk etkisi gibi parametrelerle gerçekçi kalabalık hareketleri sunmaktadır. Özellikle etkinlik planlama, ulaşım merkezleri ve acil tahliye senaryolarında kullanılır. Yoğunluk haritaları, tahliye süresi ve rota analizi gibi çıktılarla mühendislik kararlarını destekler.

STEPS: Bireylerin kalabalıklar içindeki hareketlerini ve acil durum tahliyelerini yüksek doğrulukla modelleyebilen, ajan tabanlı bir tahliye simülasyon yazılımıdır. Mott MacDonald tarafından geliştirilen bu yazılım, her bireyi farklı fiziksel ve davranışsal özelliklere sahip bir ajan olarak ele alır; yaş, cinsiyet, hız, karar alma süreci gibi parametrelerle gerçekçi yaya hareketleri oluşturur. CAD ve BIM tabanlı 3B yapı modelleriyle uyumlu çalışarak karmaşık bina geometrilerinin analizine olanak tanır. Zaman-temelli senaryo analizi, yönlendirme sistemleri, alternatif çıkışlar ve tıkanıklık kontrolü gibi birçok kritik faktörü göz önüne almaktadır. Duman, sıcaklık gibi fiziksel etkiler modele harici veri olarak entegre edilebilir; ayrıca merdiven, asansör, yürüyen merdiven gibi düşey sirkülasyon elemanları detaylı biçimde simüle edilebilir. STEPS, özellikle yüksek yoğunluklu yapılar, ulaşım terminalleri ve kentsel açık

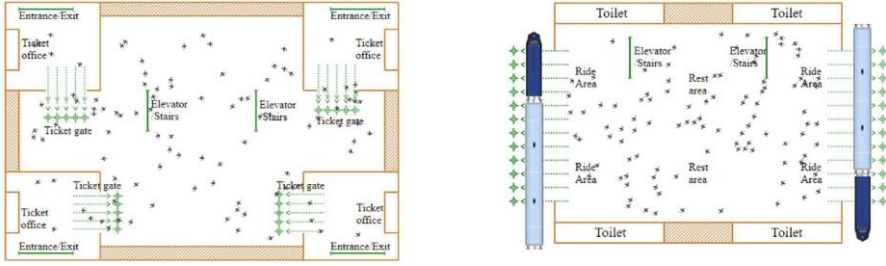
alanlarda kalabalık yönetimi ve tahliye senaryolarının değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (şekil 8).



şekil 8. Legion ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Vigne ve diğ., 2011)

EVACNET4: Ağ tabanlı bir modelleme yaklaşımla çalışan ve bina tahliye süreçlerini analiz etmek üzere geliştirilmiş deterministik bir simülasyon yazılımıdır. Yaya hareketini, düğüm (nod) ve bağlantılar (link) üzerinden akan akışlar şeklinde tanımlar; bu yönüyle bireysel ajan davranışı yerine toplu akış mantığına odaklanır. Modelde her düğüm; kapılar, koridorlar, merdivenler gibi mimari bileşenleri temsil ederken, bağlantılar ise bu elemanlar arasındaki geçiş yollarını (kaçış yolu) oluşturur. EVACNET4, tahliye süresi, çıkış kapasiteleri, tıkanıklık bölgeleri ve alternatif güzergâhların verimliliğini değerlendirerek tasarım kararlarını optimize etmeye yardımcı olmaktadır. Pratik ara yüzü ve düşük işlemci ihtiyacı sayesinde özellikle erken tasarım aşamalarında veya çok sayıda senaryonun hızlı karşılaştırılmasında tercih edilmektedir (Ashraf Tashrifullahi ve Hassanain, 2013).

AnyLogic: Çok yöntemli (*multi-method*) modelleme yaklaşımla öne çıkan, güçlü ve esnek bir simülasyon yazılımıdır. Ajan tabanlı modelleme (*Agent-Based Modeling - ABM*), ayrık olay simülasyonu (*Discrete Event Simulation - DES*) ve sistem dinamiği (*System Dynamics - SD*) tekniklerini tek bir platformda entegre biçimde kullanabilmesi, onu diğer simülasyon araçlarından ayıran temel özelliktir. Bu sayede karmaşık sistemlerdeki bireysel aktör davranışlarını (örneğin kullanıcı hareketleri), süreç akışlarını (örneğin tahliye süreci) ve makro düzey sistem tepkilerini (örneğin kentsel tahliye stratejileri) aynı model içinde eş zamanlı analiz etmek mümkündür (şekil 9).



Şekil 9. Legion ile yapılan bir tahliye simülasyonu (Niu et al., 2023)

Çok farklı kullanım alanları bulunan tahliye simülasyonları CFD ve BIM uyumlulukları, akademik ve sektörel doğrulama ve öne çıkan özellikleri ile incelenmiştir. Yazılımlar arasında CFD uyumu en belirgin şekilde FDS+Evac ile öne çıkarken, Pathfinder (FDS), MassMotion ve EXODUS'ta bu uyum sınırlı düzeyde kalmaktadır. Diğer yazılımlar olan Simulex, Legion, VISWALK, Pedestrian Dynamics, STEPS, EVACNET4 ve AnyLogic ise CFD ile entegre çalışmamaktadır. CFD uyumu özellikle duman yayılımı, ısı transferi ve hava akışı gibi faktörlerin tahliye senaryolarına etkisini analiz etmek için önemli bir parametredir. BIM uyumu bakımından ise Pathfinder, MassMotion, Pedestrian Dynamics gibi yazılımlar avantajlı konumdadır. EXODUS sınırlı BIM uyumu sunarken, Simulex ve diğerleri bu desteği sağlamamaktadır. BIM uyumu, mimari modellerle entegrasyon açısından büyük kolaylık sağladığından, gerçekçi ve veri temelli simülasyonlar için bu uyumun varlığı önemlidir. Doğrulama açısından bakıldığında, MassMotion yazılımı hem endüstriyel hem akademik alanda yaygın doğrulama örneklerine sahiptir. Özellikle metro, stadyum ve uçak gibi büyük ölçekli alanlarda kullanılmış olması, gerçek senaryolarla test edildiğini göstermektedir. EXODUS ise psikolojik ve grup davranışları üzerine detaylı modeller sunduğundan, akademik araştırmalarda tercih edilmektedir. Diğer alternatif yazılımlar ise görece niş uygulamalarda ya da küçük ölçekli çalışmalarda kullanılmaktadır. Örneğin Simulex, eğitim amaçlı kullanım için uygun temel senaryolar sunarken, EVACNET4 yalnızca küçük ölçekli grafik modellerle sınırlıdır ve doğrulama yönü zayıftır. STEPS ise karmaşık yapı tahliyeleri ve grup dinamikleri üzerine çalışmalarıyla öne çıkar ancak geniş çaplı doğrulama verileri sunmamaktadır. Her yazılımın belirli alanlarda uzmanlaştığı görülmektedir. Pathfinder, ajan tabanlı modellemesi, sosyal davranış modelleri ve yardımcı tahliye gibi detaylı özelliklerle dikkat çekerken, MassMotion kalabalık davranışı üzerine odaklanmakta ve ticari

doğrulamalarla desteklenmektedir. FDS+Evac ise gerçek bir yangın ve tahliye simülasyonu sunabilmektedir. EXODUS, taşıt tahliyelerine özel sürümler ve psikolojik tepki modellemeleri ile farklılaşırken, Legion daha çok trafik ve havaalanı kalabalık yönetimi için uygun tahliye yazılım simülasyonudur. VISWALK, yaya-arac etkileşimleri üzerine odaklanan nadir yazılımlardan biri olup, şehir planlaması açısından etkili bir araçtır. Pedestrian Dynamics, geçici yapılar ve etkinlik planlaması için tercih edilmekte; STEPS, grup davranışlarının modellenmesine olanak tanımaktadır. AnyLogic, çok disiplinli modellemeler için esneklik sağlamasıyla farklı simülasyon türlerini bir araya getirmeye olanak sağlamaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. İncelenen Tahliye Simülasyonlarının Karşılaştırması

Yazılım	CFD Uyumu	BIM Uyumu	Akademik/Sektörel Doğrulama	Öne Çıkan Özellikler
<i>Pathfinder</i>	FDS ile uyum	Revit/DXF içe aktarım	Ajan tabanlı özellikleri ve kuyruk modellemeleri; FDS eşleme imkânı	Yardımlı tahliye, Sosyal davranış modelleri
<i>MassMotion</i>	CFD uyumu sınırlı	BIM destekli	Metro, stadyum ve uçak tahliyelerinde doğrulama çalışmaları; 100'den fazla tekrarlı simülasyon örneği	Kalabalık davranışı, Ticari doğrulama
<i>FDS+Evac</i>	CFD uyumu	Uygun	NIST tabanlı entegre çözümler	Yangın ve tahliye eş zamanlı
<i>Building EXODUS</i>	Kısıtlı CFD uyumu	Temel dikkatli uyum	Detaylı psikolojik tepki ve grup davranışları incelemesi; Gemi, uçak, bina kullanım sürümleri	Spesifik taşıt tahliyeleri
<i>Simulex</i>	Yoktur	Temel	Temel senaryolar için uygunluk, Birçok akademik simülasyonda kullanılmakta	Hızlı senaryo üretimi, Eğitim amaçlı kullanım
<i>Legion</i>	Yoktur	Uygun	Trafik/havaalanı kalabalık analizlerinde kullanılmakta	Kalabalık kontrolü
<i>VISWALK</i>	Yoktur	Trafik ve yol analizi	Yaya ve araç etkileşimli altyapılarda kullanılmakta	Trafik uyumu
<i>Pedestrian Dynamics</i>	Yoktur	BIM destekli	Etkinlik planlama çalışmalarında	Geçici yapısal tahliyeler
<i>STEPS</i>	Yoktur	Uygun	Karmaşık yapı tahliyelerinde uygulanmakta	Grup dinamikleri modülü
<i>EVACNET4</i>	Yoktur	Yoktur	Akademik araştırmalarda kullanmak	Küçük ölçekli grafik tabanlı model
<i>AnyLogic</i>	Yoktur	Uygun	Karmaşık sistem modellemelerinde esneklik oluşturma	Çok disiplinli senaryolar için uygun

İncelenen tahliye yazılımları farklı senaryolara yönelik çeşitli avantajlar sunmaktadır. Yazılım seçimi, projenin kapsamı, ihtiyaç duyulan

detay düzeyi, entegrasyon gereksinimi ve doğrulama beklentilerine göre yapılmalıdır. Genel olarak, BIM ve CFD entegrasyonuna sahip yazılımlar daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar üretmektedir. Projenin büyüklüğü ve teknik gereksinimleri arttıkça, doğrulanmış ve kapsamlı yazılımların kullanımı önem kazanmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışma, performansa dayalı yangın güvenliği yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olan tahliye simülasyon yazılımlarını kapsamlı biçimde inceleyerek, bu yazılımların teknik ve işlevsel özelliklerini karşılaştırmalı olarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Özellikle yapı içi tahliyelerin güvenli ve etkili biçimde gerçekleştirilmesi için kullanılan yazılımların senaryo üretme kapasiteleri, BIM ve CFD uyum düzeyleri, sosyal davranış modelleme yetenekleri ve kullanım alanları dikkate alınarak değerlendirildiği bu analiz, performansa dayalı tasarım süreçlerinde doğru yazılım seçiminin kritik rolünü ortaya koymaktadır. Yapılan analizler göstermiştir ki, tahliye simülasyon yazılımları birbirinden farklı modelleme tekniklerine, entegrasyon kapasitesine ve uygulama alanlarına sahiptir. Örneğin FDS+Evac, Pathfinder ve EXODUS, detaylı sosyal davranış modellemeleri ve yangın senaryolarıyla uyumlu yapılarıyla yangın güvenliği tasarımında öne çıkarken, MassMotion kalabalık yoğunluğu yüksek senaryolar için daha uygun çözümler sunmaktadır. FDS+Evac, CFD tabanlı yangın modellemesiyle entegre çalışarak yangın-tahliye etkileşimini detaylı biçimde simüle edebilmekte; Simulex gibi daha basit yazılımlar ise eğitim ve ön değerlendirme - hızlı karar verme amacıyla tercih edilmektedir. BIM ve CAD uyumu, yazılımın uygulamaya dönük entegrasyon kabiliyetini belirlerken, akademik ve sektörel doğrulama geçmişi, yazılımın güvenilirliğini ve geçerliliğini artıran temel bir göstergedir. Bu bağlamda, yapı tipi, kullanıcı yoğunluğu, kullanılabilir veri düzeyi ve yangın senaryolarının karmaşıklığı gibi değişkenler doğrultusunda, yazılım seçiminin özelleştirilmiş biçimde yapılması gerektiği ortaya konulmuştur. Performansa dayalı yangın güvenliği yaklaşımı, klasik mevzuat temelli çözümlerin sınırlarını aşarak, daha gerçekçi ve etkili tasarım kararlarına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda tahliye simülasyonları, sadece mühendislik analizlerinin bir parçası değil, aynı zamanda risk temelli tasarım ve karar destek sistemlerinin de vazgeçilmez bir aracı olarak değerlendirilmektedir.

Gelecekteki alışmalar, yazılım doğrulama süreçlerinin deneysel verilerle desteklenmesi, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileriyle simülasyon ortamlarının zenginleştirilmesi ve yapay zekâ destekli senaryo üretim yöntemlerinin geleiştirilmesi üzerine yoğunlaşabilir. Ayrıca, kullanıcı davranışlarının kültürel, psikolojik ve demografik değişkenlerle modellenmesi, disiplinler arası yaklaşımlarla yangın güvenliği analizlerinin daha kapsayıcı hâle gelmesini sağlayacaktır. Gelişmiş BIM platformlarıyla tam entegre çalışan, gerçek zamanlı karar mekanizmalarına olanak veren yeni nesil yazılımlar, hem akademik hem de uygulamalı yangın güvenliği alışmalarına önemli katkılar sunacaktır.

Referanslar

- Aldahlawi, R.Y., Akbari, V., Lawson, G. (2024). A Systematic Review of Methodologies for Human Behavior Modelling and Routing Optimization in Large-Scale Evacuation Planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104638.
- Alvarez, A., Meacham, B., Dembsey, N., Thomas, J. (2013). Twenty Years of Performance-Based Fire Protection Design: Challenges Faced and A Look Ahead. *Journal of Fire Protection Engineering*, 23(4), 249-276.
- Ashraf Tashrifullahi, S., Hassanain, M.A. (2013). A Simulation Model for Emergency Evacuation Time of A Library Facility Using EVACNET4. *Structural Survey*, 31(2), 75-92.
- Attia, S., Hensen, J.L.M., Beltrán, L., De Herde, A. (2011). Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects' and Engineers' Needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 155-169.
- Bakhshian, E., Martinez-Pastor, B. (2023). Evaluating Human Behaviour During A Disaster Evacuation Process: A Literature Review. *Journal of Traffic And Transportation Engineering (English Edition)*, 10(4), 485-507.
- Bazjanac, V. (2005). *Model Based Cost and Energy Performance Estimation During Schematic Design*. 22nd Conference on Information Technology in Construction, 304, July 19-21 2005, 677-688.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. (2nd Ed.). John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- FEMA P-58, Federal Emergency Management Agency. (2018). Seismic performance assessment of buildings (FEMA P-58).
- Gaddam, H.K., Vanumu, L.D., Arya, A., Rao, K.R. (2022). Optimization of Parameters for Pedestrian Simulation Software: A Case Study of Emergency Evacuation Experiments. *Komunikácie*, 24(4), 82-96.
- Gernay, T., (2024). Performance-Based Design for Structures in Fire: Advances, Challenges, and Perspectives. *Fire Safety Journal*, 142, 104036.
- Goubran, S., Cucuzzella, C. (2019). Integrating the Sustainable Development Goals in Building Projects. *Journal of Sustainable Research*, 1, e190010.

- Hao, S., Huang, H., Yuan, Y., Yin, K. (2009). *Fire Evacuation Underground Space Based on Building EXODUS*. 2009 International Conference on Engineering Computation, United States.
- Hassanzadeh, A., Moradi, S., Burton, H.V. (2024). Performance-Based Design Optimization of Structures: State-of-the-Art Review. *Journal of Structural Engineering*, 150(8), 1-22.
- Jing, M., Zhang, G., Guo, S., Wang, C. (2025). Simulation Method for Fire Evacuation Safety of Teaching Buildings in Colleges and Universities. *Results in Engineering*, 25, 104512.
- Kanangkaew, S., Jokkaw, N., Tongthong, T. (2023). A Real-Time Fire Evacuation System Based on the Integration of Building Information Modeling and Augmented Reality. *Journal of Building Engineering*, 67, 105883.
- Kuligowski, E.D., Peacock, R.D. (2005). *A Review of Building Evacuation Models*. National Institute of Standards and Technology, NIST, Technical Note 1471, Washington, DC, USA.
- Nguyen, A.T., Reiter, S., Rigo, P. (2020). A Review on Simulation-Based Optimization Methods Applied to Building Performance Analysis. *Applied Energy*, 241, 155-177.
- Niu, C., Wang, W., Guo, H., Li, K. (2023). Emergency Evacuation Simulation Study Based on Improved YOLOv5s and Anylogic. *Applied Sciences*, 13(9), 5812.
- Orehounig, K., Evins, R., Dorer, V. (2015). Integration of Decentralized Energy Systems in Neighbourhoods Using the Energy Hub Approach. *Applied Energy*, 154, 277-289.
- Oxman, R. (2008). Performance-Based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 1-17.
- Poon, S.L. (2014). A Dynamic Approach to ASET/RSET Assessment in Performance Based Design. *Procedia Engineering*, 71, 173-181.
- Ronchi, E., Corbetta, A., Galea, E. R., Kinatader, M., Kuligowski, E., McGrath, D., Pel, A., Shibani, Y., Thompson, P., Toschi, F. (2019). New Approaches to Evacuation Modelling for Fire Safety Engineering Applications. *Fire Safety Journal*, 106, 197-209.
- Ronchi, E., Nilsson, D. (2013). Fire Evacuation in High-Rise Buildings: A Review of Human Behaviour and Modelling Research. *Fire Science Reviews*, 2(1), 7.

- Shrahily, R.Y., Albeera, H.A. (2025). Comparative Analysis of Engineering Building Evacuation Efficiency: A Two-Phase Study on Multi-Exit Versus Single-Exit Strategies at Al-Baha University. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 16, 395-413.
- Shrivastava, M., Abu, A., Dhakal, R., & Moss, P. (2019). State-of-the-Art of Probabilistic Performance Based Structural Fire Engineering. *Journal of Structural Fire Engineering*, 10(2), 175-192.
- Tingyong, F., Jun, X., Jufen, Y., Bangben, W. (2011). *Study of Building Fire Evacuation Based on Continuous Model of FDS & EVAC*. 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, Changsha, China
- Türkölmez, G.B., Güneş, M. (2016). Metro Servis Sistemlerinde Acil Tahliye Modelleri: İzmir Metro Uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 324-339.
- Vigne, G., Herrera, F., Jönsson, J., O'Donnell, D. (2011). *The Use of Advanced Evacuation Modelling for Building Design*. Annual Workshop, GIDAI Group, Santander, İspanya.
- Yaman, M. (2025). Application of Acoustic Analysis with BIM and Prediction of Reverberation Time. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 18(1), 87-95.
- Yaman, M., Kurtay, C. (2025). Analysis of Fire Evacuation Scenarios in Children's Cultural Centers. *Journal of Safety Science and Resilience*, 6, 114-123.



BÖLÜM

5

DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ TASARIMA ENTEGRASYONU

İrem CEYLAN ENGİN¹

¹ Dr İrem CEYLAN ENGİN, Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık, iremceylan-@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-3761-6004.

GİRİŞ

Küresel nüfustaki sürekli artış, yeni konutların, sağlık tesislerinin, eğitim kurumlarının ve altyapının hızla geliştirilmesi zorunluluğunun ortaya çıkartmaktadır. Geleneksel inşaat malzemeleri ve yöntemlerine olan bağımlılığın sürdürülmesi yenilenemeyen kaynakların tükenmesini hızlandırmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji tüketimini de arttırarak yüksek seviyelerde CO₂ salınımına neden olmaktadır. Bu sebeple, geleneksel yapı malzemelerine yenilikçi alternatiflerin araştırılması önem kazanmaktadır. Yenilikçi alternatifler ele alındığında ise, polimerler ve fiber takviyeli polimerler (Fiber Reinforced Polymers- FRP) öne çıkmaktadır (Ceylan Engin, 2025).

Ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendiren ampirik raporlar polimer kullanımın, nakliye maliyetlerini %45, elektrik kullanımını %42, hammadde tüketimini %4 ve diğer ilgili çevresel harcamaları %9 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca, polimerlerin entegrasyonu daha hafif, yüksek performanslı yapıların ve iç bileşenlerin üretimini kolaylaştırarak inşaat maliyetlerinin düşmesine katkıda bulunur (Correia Diogo, 2015). Bu malzemeler tuğla, çimento, beton, metal, ahşap ve cam gibi geleneksel seçimlere alternatifler veya bu malzemelerin performansını artırmak için tasarlanmış tamamlayıcı çözümler olarak hizmet etmektedir (Agarwal ve Gupta, 2017). Dahası, polimerler mevcut yapısal elemanların güçlendirilmesindeki etkinliklerini göstermiş, böylece mimari ve inşaat endüstrilerindeki çok yönlülüklerini ortaya koymuşlardır (Ceylan Engin, 2025). Mimaride polimer uygulamasının ilgi çekici bir örneklerinden biri, dünya çapında en büyük uyarlanabilir Olimpiyat stadyumu olarak kabul edilen Paris'teki 'Stade de France'tır. Yapısında sadece 75 ton ağırlığında bir polimer membran kullanılmıştır; bu da çatı yapısının 13.000 tonluk toplam kütlesiyle tam bir tezat oluşturmakta ve polimerlerin büyük ölçekli uygulamalarda ağırlığı nasıl önemli ölçüde azaltabileceğini örneklemektedir (Halliwell S.M., 2002). Ayrıca, termoplastik bir polimer olan Etilen tetrafloroetilen (ETFE)'in geniş mesafelere yayılarak uygulanabildiği bilinmektedir. Bunun bir örneği, 17m uzunluğa sahip eşkenar dörtgen formundaki EFTE altıgen yastıkların Almanya'daki Allianz Arena'da uygulanmasıdır. Şişirilmiş ETFE yastıklardan inşa edilen stadyumun cephesi sadece geniş mesafelere yayılmakla kalmaz, aynı zamanda ışık efektlerine yanıt olarak dinamik renk değişiklikleri de sergilemektedir. Ayrıca, 1982 yılından bu yana Burgers Hayvanat Bahçesi'nde kullanılan tek katmanlı ETFE kaplama, 35 yılı aşkın bir süre boyunca gözle görülür bir bozulma belirtisi olmadan etkili bir şekilde çalışarak dikkate değer bir dayanıklılık sergilemektedir (Pavlović vd., 2019). Benzer şekilde, Yeni Kaledonya'daki Jean-Marie Tjibaou Kültür Merkezi, nefes alabilen cepheler oluşturmak için ahşap ve alüminyum ile birlikte polikarbonat paneller kullanmaktadır

(Ciccarelli, 2015). Ayrıca polistiren (PS), polikarbonat (PC), poli(metil metakrilat) (PMMA), akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve poliamid (PA) gibi polimerlerin cam, çatı kaplama, dış cephe kaplaması, asma tavan uygulamaları, döşeme ve mobilya gibi çeşitli mimari uygulamalarda kullanıldığı bilinmektedir (Kharaev vd., 2007; Correia Diogo, 2015; Agarwal ve Gupta, 2017).

Otuz yılı aşkın süredir yürütölen araştırmalar, FRP'nin avantajlı yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri nedeniyle birçok geleneksel yapı malzemesinin yerini alabileceğini ortaya koymuştur (Elanchezhian vd., 2018). Bununla birlikte, FRP'nin hala karbon ve cam elyafı gibi yenilenemeyen fosil bazlı malzemelere önemli ölçüde dayandığını kabul etmek çok önemlidir. İnşaat sektörünün küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ına ve kaynak tüketiminin yaklaşık %45'ine katkıda bulunduğu göz önüne alındığında (Sippach vd., 2020), tek başına FRP'ye bağımlılık, kaynakların tükenmesi ve sera gazı emisyonlu sorunlarını ele almak için yetersiz kalabilmektedir. Mimarlık disiplini çevresel sürdürülebilirliği ilerletmek için ekolojik alternatifleri aktif olarak takip etmelidir. Çevre dostu biyo-kompozit malzemeleri araştıran çalışmalar ise, geleneksel seçeneklere kıyasla önemli çevresel faydalar sunma potansiyellerinin altını çizmektedir (Ceylan Engin vd., 2025). Kolayca işlenebilen ve bol miktarda bulunan doğal liflerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan biyo-bazlı polimer kompozitler, sentetik liflere hafif, uygun maliyetli ve mekanik olarak sağlam alternatifler sunmaktadır (Gholampour ve Ozbakkaloglu, 2020; Kozłowski ve Władyska-Przybylak, 2006; Kozłowski ve Władyska-Przybylak, 2008).

Doğal elyaf takviyeli polimerlerin (NFRP) geliştirilmesi yoluyla sentetik elyaflardan doğal elyaflara geçiş, mimarlıkta sürdürülebilirliği artırmak ve daha yeşil ve daha sorumlu bir inşaat endüstrisine doğru ilerici bir geçişe işaret etmektedir (Dahy, 2019). Doğal elyaf kompozitlerin üretimi, cam elyaf kompozit üretimine kıyasla %60 daha az enerji gerektir, daha az CO₂ emisyonu ile sonuçlanır ve atıkların daha kolay bertaraf edilmesini sağlar (Brosius, 2006; Satyanarayana vd., 2009). Ayrıca, petrol bazlı alternatiflerin yarattığı çevresel dezavantajlar ve yenilenebilir kaynaklara duyulan acil ihtiyaca bir yanıt olarak giderek artan sayıda şirketin doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelere yöneldiğı bilinmektedir (Faruk vd., 2014). Doğal elyaf kompozitlere yönelik artan ilgi, enerji tasarrufu hedefleriyle doğrudan ilişkilidir (Azwa vd., 2013). Doğal elyaf takviyeli bir kompozit bağlamında matris, elyaflar arasında gerilimi aktarma, çevresel olumsuzluklara karşı bir bariyer sağlama ve elyafları mekanik aşınmadan koruma işlevlerini yerine getirir. Bağlayıcı veya matris, kompozit yapının çekme yükü taşıma kapasitesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar (Sippach vd., 2020) ve kompozitin özellikleri

doğrudan elyaf türüyle bağlantılıdır (Deb ve Jafferson, 2021). Böylece, sürdürülebilir mimari tasarımda uygun malzemelerin seçilmesinin öneminin altı çizilmektedir.

Bu makale, doğal liflerle güçlendirilmiş polimerik malzemeler içeren mimari yapıların bir incelemesini sunarak, sürdürülebilir mimariyi teşvik etme ve ekolojik bütünlüğü geliştirme konusundaki önemli potansiyelleri vurgulamaktadır. Yapılan inceleme, biyopolimerler, termoplastikler ve epoksi gibi termosetler de dahil olmak üzere çeşitli polimer matrislerin yanı sıra çok çeşitli doğal lifleri de kapsamaktadır. Bu kapsamlı analizde, kompozit malzemelerden yararlanan yenilikçi tasarım ve üretim metodolojileri incelenecek ve bunların çağdaş mimarlık pratiği üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Çalışma ayrıca, bu gelişmiş ve çevreye duyarlı malzemelerin modern tasarımdaki dönüştürücü rolünü araştıracaktır. Bu makalede vaka çalışmaları ve mevcut eğilimler değerlendirerek, doğal elyaf takviyeli polimerlerin entegrasyonunun yalnızca malzeme sürdürülebilirliğini değil, aynı zamanda mimari tasarım özgürlüğünü nasıl geliştirebileceğini aydınlatmayı da amaçlamaktadır.

DOĞAL LİFLER

Doğal lifler, ipliğe benzerlik gösteren ayrı, uzun teller halinde bulunmalarıyla karakterize edilen bir malzeme kategorisini temsil eder. Bu elyaflar, filamentler, iplikler veya halatlar halinde işlenebilir ve polimer kompozit malzemelerin imalatında ayrılmaz bileşenler olarak hizmet edebilmektedir. Ayrıca, kağıt ve keçe olmak üzere çeşitli ürünler oluşturmak için keçeleştirme işlemlerine tabi tutulabilmektedirler (Chandramohan ve Marimuthu, 2011). Farklı sektörlerce doğal elyaflara artan tercih, ekonomik uygulanabilirlik, düşük yoğunluk, kolay ayrıştırma, enerji verimliliği, CO₂ nötrlüğü, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik özelliklerine bağlanabilmektedir. Örneğin, yüksek gerilme mukavemeti ve hafif bileşimin avantajlı özellikleri, otomotiv, inşaat ve yapı gibi sektörlerde doğal elyaflara olan talebi önemli ölçüde artırmıştır (Faruk vd., 2014). Ayrıca, esas olarak selüloz ve selülozik olmayan diğer bileşenlerden oluşan bu liflerin doğal yapısı, belirli uygulamalar için özel olarak tasarlanmış gerekli teknik özellikleri elde etmek için kimyasal ve enzimatik olarak değiştirilebilir (Liu vd., 2016). Doğal lifler, kökenlerine göre sistematik olarak üç kategoride sınıflandırılabilir: bitki bazlı, hayvan bazlı ve mineral bazlı. Özellikle, çeşitli polimer kompozitlerde kullanılan baskın türler bitkisel kaynaklardan elde edilmektedir (Campilho, 2016).

Hayvan Lifleri

Hayvansal lifler ağırlıklı olarak proteinlerden oluşur ve üç ana sınıfa ayrılır: hayvan kılı (yün veya kıl), ipek lifleri ve tüyler.

- Yün veya Kıl: Bu kategori hayvanlardan, özellikle de kürke sahip memelilerden elde edilen lifleri veya yünü kapsar. İnsan saçı da bu grupta sınıflandırılabilir.
- İpek Lifi: İpek lifleri böceklerin salgılarından, özellikle de kurumuş salgılarının lifli yapıya katkıda bulunduğu koza oluşum aşamasında elde edilir. En meşhur ipek lifleri ipekböceği larvaları tarafından üretilen kozalardan elde edilir.
- Tüyler: Tüyler, kuş türleri tarafından üretilen, keratin proteinlerini sentezleyen epidermiste bulunan foliküllerden kaynaklanan ve kuş tüylerinin tanımlayıcı özellikleriyle sonuğlanan karmaşık integumenter yapılardır (Chandramohan ve Marimuthu, 2011).

Koyun ve keçi yünü, alpaka ve at kılı da dahil olmak üzere çeşitli hayvansal kaynaklı lifler farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Lifli bir biyomateryal olarak insan saçı, insan dermisi içine gömülü saç foliküllerinden çıkar ve keratin baskın protein bileşenidir. Doğal proteinlerle karakterize edilen ipek lifleri, ışığı farklı açılarda kırmalarını ve böylece tekstil uygulamalarında bir renk spektrumu oluşturmalarını sağlayan benzersiz bir üçgen prizma benzeri konfigürasyona sahiptir. Tüyler, omurgalılar tarafından oluşturulan karmaşık yapıları temsil eder ve yalıtım ve uçuşta önemli roller oynar. Keratin proteini üretiminin bir ürünü olan bu yapılar, kuşların bütünlüğünün karmaşık tasarımını örnelemektedir (Campilho, 2016). Malzeme bilimi alanında, polimerlerin hayvansal liflerle güçlendirilmesi dikkat çekmiştir. Öne çıkan örnekler arasında polyester kompozitlerde koyun yünü (Manivannan vd., 2022) ve keçi kılı (Onuegbu ve Azih, 2015) kullanımı yer almaktadır. Diğer uygulamalar arasında keçi kılının yanı sıra hindi, tavuk ve ördek tüyleri (Selvakumar ve Omkumar, 2018) ve epoksi matrisler için emu kılı (Reddy vd., 2014) yer almaktadır. Özellikle ipek lifleri (Cheung ve Lau, 2007), polipropilen (PP) için ördek tüyü (Liu vd., 2013), polilaktik asit (PLA) için tavuk tüyü (Özmen ve Baba, 2017) ve polietilen için inek kılı (Oladele vd., 2015) takviye edici özellikleri açısından araştırılmıştır.

Mineral Lifler

Metal ve mineral kaynaklardan elde edilen mineral lifler doğada ağırlıklı olarak bulunur ve yaygın olarak asbest ile ilişkilendirilir. Çeşitli asbest türleri arasında, magnezyum ve demir içermesi nedeniyle kahverengi veya

gri rengiyle karakterize edilen Amosite asbest, tarihsel olarak bir yapı malzemesi, yangın geciktirici ve ısı yalıtım maddesi olarak kullanılmıştır. Buna karşılık, mavi asbest olarak bilinen Crocidolite, üstün özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalar için tercih edilmiştir. Ayrıca, Tremolit dolomit ve kuvars yataklarını içeren metamorfik süreçler yoluyla üretilir (Campilho, 2016). Bu mineral lifler olağanüstü yapısal bütünlük sergilemektedir (Saxena vd., 2011). Bununla birlikte, asbest kullanımı, öncelikle kullanımıyla ilişkili önemli sağlık risklerine atfedilebilecek şekilde, birçok yargı alanında artan inceleme ve düzenleyici kısıtlamalarla karşı karşıya kalmıştır (Ceylan Engin, 2025).

Brusit elyafı ise, küresel bir dağılıma sahip toksik olmayan bir mineral olarak ortaya çıkmakta ve uygulanabilir bir alternatif sunmaktadır. Wollastonit olarak da adlandırılan ve inosilikatlar ailesi içinde sınıflandırılan kalsiyum silikat, minimum sağlık riskleri ve düşük kanserojen potansiyeli ile dikkat çekmektedir (Mousavi vd., 2022). Araştırmalar, brusit liflerinin poli(bütlen süksinat) (PBS) (Yu vd., 2024) ve epoksi (Zhang vd., 2015) polimerlerinin özelliklerini geliştirmek için etkili bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Bu arada, wollastonit lifleri, polipropilen (PP) (Hilmani ve Purnima, 2010; Leontiadis vd., 2022), epoksi (Xian vd., 2006) ve polietilen (Tong vd., 2006) dahil olmak üzere çeşitli polimer matrislerindeki takviye yetenekleriyle tanınmaktadır. Bu tür gelişmeler, endüstriyel uygulamalar için daha güvenli ve daha sürdürülebilir seçenekler sunan bu alternatif mineral liflerin malzeme bilimindeki potansiyelinin altını çizmektedir.

Bitki Bazlı Lifler

Bitki lifleri ağırlıklı olarak selülozdan oluşur ve çıkarıldıkları kaynağa göre sınıflandırılır. Mevcut literatürdeki sınıflandırma şunları içerir:

- **Tohum Lifleri:** Bu lifler tohumlardan veya kabuklarından elde edilir ve pamuk, kapok ve lif kabağı lifleri gibi önemli örnekleri vardır.
- **Yaprak Lifleri:** Çeşitli bitkilerin yapraklarından elde edilen bu kategori sisal, agave, muz, henequen ve ananas liflerini kapsar.
- **Bast Lifleri (veya Kabuk Lifleri):** Bitkinin gövdesini kaplayan sak veya kabuktan hasat edilen bu lifler, diğerlerine göre üstün gerilme mukavemeti sergiler. Sağlamlıkları onları iplik üretimi, kumaş üretimi, ambalajlama ve kağıt üretimindeki uygulamalar için uygun hale getirir. Öne çıkan sak lifleri arasında keten, jüt, kenaf, kenevir, rami, rattan, soya fasulyesi lifleri ve asma lifleri bulunmaktadır.
- **Meyve Lifleri:** Bu kategori, hindistan cevizi lifi ve palmye lifi gibi bitkinin meyvesinden elde edilen lifleri içerir.

- **Kök Lifler:** Bitkilerin gövdelerinden elde edilen liflerden oluşan bu grup buğday, pirinç, arpa, bambu ve çeşitli otları içermektedir (Campilho, 2016; Chandramohan ve Marimuthu, 2011).

Çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bitki lifleri arasında pamuk, keten ve kenevir özellikle dikkat çekicidir. Kenevir lifleri, olağanüstü esneklikleri ve dirençleri sayesinde halatların ve kanat profilleri gibi yapısal bileşenlerin üretiminde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca, doğal özellikleri onları ısıtma ve sıhhi tesisat sektörlerinde etkili yalıtım malzemeleri ve contalar olarak konumlandırmaktadır (Chandramohan ve Marimuthu, 2011).

Bitki lifi takviyeli polimer kompozitler alanında, bambu, jüt, keten, kenevir, sisal, muz, kenaf, palmye salkımı, pamuk, hindistan cevizi ve rami gibi çeşitli lifler kullanılabilir (Affan Usmani ve Anas, 2018; Jiang vd., 2008; Keya vd., 2019). Özellikle jüt, sisal, keten ve kenevir lifleri, geleneksel cam ve karbon elyaf takviyelerine giderek daha uygun alternatifler olarak tanımlanmakta ve çeşitli uygulamalarda sürdürülebilir malzeme mühendisliği uygulamalarını ilerletme potansiyellerini vurgulamaktadır (Faruk vd., 2012; Kandola vd., 2021). Çalışmalar, kenevir ve keten bitkilerinin daha fazla stabilite sağlama yetenekleriyle tanındığını göstermiştir (Defoirdt vd., 2010; le Duigou vd., 2012; Le Duigou vd., 2020). Muz lifi takviyeli polimer kompozitler incelendiğinde, bunlar epoksi (Venkateshwaran vd., 2013) ve PP (Komal vd., 2020) iken, keten lifi ile güçlendirilmiş olanlar PLA (Avcı vd., 2023), ABS (Neher vd., 2016) ve PBS'dir (Ketata vd., 2022). Kenevir lifi takviyeli polimerler incelendiğinde bunlar PP (Sullins vd., 2017), PLA (Mazzanti vd., 2019) ve polikarbonattır (PC) (Ceylan vd., 2024; Ceylan Engin vd., 2024; Ceylan Engin vd., 2025).

MİMARİDE DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLER

Doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin (NFRPC) mimaride uygulanması, sürdürülebilir tasarıma yönelik dönüştürücü bir yaklaşım ortaya koymakta ve sayısız yenilikçi kullanım alanı sergilemektedir. Özellikle, sisal lifi ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin, yüksek mukavemetli, hafif ve ince duvarlı yapıların inşasını kolaylaştırarak cepheler, tankerler, boru sistemleri, dayanıklı çatı elemanları ve yapısal takviyeler gibi çeşitli mimari uygulamalar için avantajlı olduğu bilinmektedir (Azwa vd., 2013). Ayrıca, doğal lifli kompozitler, havayı elyafı yapıları içinde etkili bir şekilde hapsederek ve atmosferik karbondioksiti tutarak uygulanabilir, çevre dostu bir alternatif sunarak yalıtım malzemeleri olarak önemli bir potansiyel sergilemektedir (Liu ve ark., 2017).

NFRPC kullanımının ilgi çekici bir örneği, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi tarafından tasarlanan ve polilaktik asit (PLA) bazlı bir köpük çekirdeğe entegre edilmiş kenevir ve keten lifleri içeren, 14 metre uzunluğundaki yaya köprüsüdür (Şekil 1.). Köprüde, karmaşık şekilli iç köpük dolgusunu yerleştirmek için vakum infüzyon üretim tekniği kullanılmış ve köprü güvertesine eğrilik kazandırmak için tek bir kavisli kontra şekli kullanılmıştır. Hafif, şekillendirilmiş PLA köpük çekirdekten inşa edilen yapı, iki farklı kalitede doğal lif matın uygulandığı ince bir mantar katmanla güçlendirilmiştir. Yüksek mukavemet ve sertliğin çok önemli olduğu yerlerde, dokuma keten hasırlar kullanılırken, dokuma olmayan keten ve kenevir hasırlar daha düşük yük taşıma talebi olan alanlara yerleştirilmiştir. Korkuluk sistemi ayrı olarak imal edilmiş olup, kompozit laminat bileşenlerin lazerle kesilmesiyle elde edilen organik konturlara sahiptir (Leplaar vd., 2016). Mimari tasarım perspektifinden bakıldığında köprü, balık kılçıklarını andıran bir kaburga sisteminin yapısal zarafetini çağrıştırmaktadır. Bu tematik seçim, su yaşamına zengin bir analogi ile yapısal bütünlüğü güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda çevredeki nehir ekosistemi ile bir bağlantı kurmaktadır. Doğal lifli malzemelerin doğasında bulunan sağlam özellikler, yalnızca korkuluk görevi gören dikey elemanlar aracılığıyla güvenlik sağlamış ve geleneksel korkuluk-küpeşte tasarımlarının gerekliliğini etkili bir şekilde ortadan kaldırmıştır. Sonuç olarak, köprünün tasarımı ve kullanılan malzemelerin yapısından kaynaklı nitelikleri yerel fauna ile uyumlu bir şekilde bir araya gelerek çevre ile sinerjik bir ilişki kurmaktadır.



Şekil 1. Doğal elyaf takviyeli polimer kompozitten yapılmış yaya köprüsü (Leplaar vd., 2016).

şekil 2'de yer alan 'Tailored Biocomposite Mock-up' çalışmasında, keten lifi kullanılarak biyo-bazlı bir kompozit maket geliştirilmiştir. Bu maket, 225 cm yüksekliğinde ve 125 cm genişliğinde tek kavisli, hafif bir konfigürasyona sahiptir (Dahy vd., 2020). Tasarım perspektifinden bakıldığında, doğal unsurların zarif hareketini çağrıştıran akışkan ve organik formları bünyesinde barındırdığı görölmektedir. Renkleri, dokusu ve yukarı doğru genişleyen silueti ise, esintide sallanan bir ağaç imgesini çağrıştırmaktadır. Sonuç olarak, mimari tasarım hem ağaçların doğal yapısı için bir analogi hem de statik kinetik mimarinin bir temsili olarak hizmet etmekte, doğa ve yapılı evre alemleri arasında yeni ve estetik açıdan zorlayıcı bir şekilde köprü kurmaktadır.



şekil 2. Keten lifi içeren biyo-bazlı bir kompozitin maketi. (a) Biyo-bazlı kompozit; (b) Kalıplama hazırlığı; (c) Maket (Dahy vd., 2020).

Sippach ve arkadaşları (2020) tarafından tasarlanan Şekil 3'teki mimari çerçeve, gelişmiş topoloji optimizasyonu ve ana stres yollarıyla hizalanmış stratejik fiber oryantasyonu yoluyla yük taşıyıcı bir yapı olarak titizlikle tasarlanmış doğal keten lifi takviyeli polietilen polimer kompozitlerin öncü bir uygulamasını temsil etmektedir. 4 metre yüksekliğinde ve 4 metre genişliğindeki bu destekleyici yapı, toplam 2,15 m³'lük bir hacmi kapsıyor ve aynı şekilde tasarlanmış, çift kavisli dört dallanma bileşeninden oluşuyor. Keten liflerinin düzenlenmesi, lif dağılımında yüksek derecede özelleştirme sağlayan Özel Lif Yerleştirme (Tailored Fiber Placement-TFP) teknikleri kullanılarak hassas bir şekilde gerçekleştirilmiştir. TFP prosedürünün ve fazla alt tabaka tekstilinin dikkatli bir şekilde kesilmesinin ardından, preformlar Vakum Destekli Reçine İnfüzyonu (Vacuum Assisted Resin Infusion- VARI) işlemine tabi tutulmuştur. Bu aşama için, piyasada bulunan polietilen vakum filmleri titizlikle uyarlanmış ve bir vakum pompası ile kapatılmıştır (Sippach vd., 2020). Bu mimari öğenin belirgin anizotropik özellikleri ve sağlam yük taşıma kabiliyetleri, kullanılan malzemelerin serbest biçimli tasarımların gerçekleştirilmesi için en uygun şekilde konumlandırıldığını güçlü göstermektedir. Yapının organik morfolojisi, biyolojik formlara benzerlik göstermekte, entegre yatay ve dikey elemanlar verimli yük transferini kolaylaştırmakta ve böylece büyük ölçekte işlevsel bir tasarımla sonuçlanmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, doğal malzemelerin mimari uygulamalara entegrasyonunda önemli bir ilerlemeyi temsil etmekte ve sürdürülebilir tasarım ilkelerine doğru bir paradigma değişimini yansıtmaktadır.



Şekil 3. Doğal elyaf takviyeli polimer kompozit ile tasarlanan ve gerçekleştirilen mimari çerçeve (Sippach vd., 2020).

Şekil 4'de, Dahy (2015) tarafından geliştirilmiş pirinç samanı ve organik polimer bileşimlerinden elde edilen biyokompozit malzemeden oluşturulmuş mimari elemanlar yer almaktadır. Bu yenilikçi pirinç samanı termoplastik biyokompozitlere (RS-PLA), avangart mobilya tasarımlarını gerçekleştirmek için kalıp kullanımı ile form verilmiştir. Tasarımlar, serbest biçimli sandviç paneller oluşturmak için kaplama ile güçlendirilmiş

bir çekirdek malzeme olarak elastik lif levhayı içermektedir (Dahy, 2015). Tasarım perspektifinden bakıldığında, çeşitli organik ve akışkan formların mekanik bütünlükten ödün vermeden mimari unsurlara sorunsuz bir şekilde entegre edilebilmesi dikkat çekicidir. Karmaşıık tasarım geometrilerini gerçekleştirme kapasitesi genellikle geleneksel malzemelerle elde edilemez, bu nedenle ağdaş tasarım ve mimaride doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemeler için geniş bir potansiyel uygulama yelpazesini göstermektedir.



şekil 4. Doğal lif takviyeli polimer kompozitler ile yapılan serbest formlu mobilyalar (Dahy, 2015).

Dahy (2017) tarafından yrtlen çalışmada, gelişmiş robotik oyma teknikleriyle şekillendirilen kalıplar kullanılarak lif takviyeli polimer kompozit paneller üretilmiştir. Çalışma, tarımsal liflerin yoğunlaştırılmasını, belirli uygulamalar için özel olarak tasarlanmış çeşitli mimari tasarımların keşfini ve sürece dahil olan karmaşık üretim aşamalarını kapsamaktadır. Bu çalışmanın ıktıları arasında ise 'TRAshell' isimli serbest formlu panel yer almaktadır (şekil 5.). Panel bir araştırma pavyonu için kaplama elemanı olarak hizmet vermektedir (Dahy, 2017). Tasarımsal olarak bakıldığında, panellerin, dijital üretim teknolojisindeki en son gelişmelerle mümkün kılınan bir dizi parametrik tasarım ve amorf geometriye sahip olduğu grlmektedir. Tasarım, ağdaş mimarinin sınırlarını zorlayan derin bir dinamik hareket duygusu taşımaktadır.



Şekil 5. Serbest formlu paneller 'TRAshell' (Dahy, 2017).

Cutajar ve arkadaşları (2020) tarafından yürütülen çalışmada, doğal elyaf takviyeli polimer malzemenin kullanıldığı bir strüktür tasarlanmış ve üretilmiştir (Şekil 6.). Bu araştırmada, Özel Elyaf Yerleştirme (TFP) ve Çekirdeksiz Filament Sarma (Tailored Fiber Placement- CFW) tekniklerini içeren bütünleştirici bir yaklaşım kullanılmıştır. Her iki yöntem de, stratejik olarak optimize edilmiş malzeme yerleşiminden elde edilen katkı verimlilikleri nedeniyle tercih edilmiştir (Cutajar vd., 2020). Bu ögenin mimari tasarımı, doğal liflerin yapısal bütünlüğünü makro ölçekte ortaya koyarak organik mimariyi anımsatan sürükleyici bir deneyim yaratmıştır. Yapının yüzeyini süsleyen çiçek motifleri, botanik formların minimalist bir temsilini özetleyerek, bileşen malzemeleri aynı zamanda hem basit hem de rafine bir şekilde sunmaktadır. Bu yaklaşım, tasarım ve üretim aşamalarındaki karmaşık ve yoğun süreçleri etkili bir şekilde sergilerken, herhangi bir boya veya kaplamanın olmaması, karmaşık, ağ benzeri geometrilerin açık bir şekilde algılanmasını sağlamaktadır.



Şekil 6. Doğal elyaf takviyeli polimer uzamsal yapısı (Cutajar vd., 2020).

LivMatS Pavyonunda, tamamen robotik olarak sarılmış keten liflerinden oluşan yük taşıyıcı bir yapı inşa etmek için Çekirdeksiz Filament Sarma (Coreless Filament Winding-CFW) tekniği kullanılmıştır (bkz. Şekil 7). Her biri yaklaşık altı metre uzunluğunda olan toplam on beş bileşen üretilmiştir. Pavyon, beş bileşenden oluşan gruplar halinde düzenlenen üç ana yapısal eleman tarafından desteklenen kubbe benzeri kesintisiz bir form olarak ortaya çıkmıştır. Pavyonun çevresel koşullara karşı dayanıklılığını ve bütünlüğünü artırmak için, yapı polikarbonat (PC) bir cephe kaplamasıyla sarılmış, böylece hem iç mekan hem de lifli çerçeve korunmuştur (Pérez vd., 2022). Tasarım incelendiğinde, parametrik bir tasarım ethosuyla karakterize edilen ağ benzeri yapısal elemanların bir bileşimi gözlemlenmektedir. Pavyon, farklı yükseklik seviyeleri ve iç yapının sağladığı koruma algısının da işaret ettiği gibi, mağara benzeri bir estetiğe sahiptir. Bu mimari düzenleme, fütüristik kavramları ilkel duyarlılıklarla ilgi çekici bir şekilde yan yana getirmektedir. Herhangi bir dekoratif kaplama içermeyen keten liflerinin bilinçli kullanımı, yapının doğal ve elemental temalarla olan bağlantısını güçlendirmektedir.



Şekil 7. LivMatS Pavyonu (Pérez vd., 2022).

Şekil 8'de yer alan biyokompozit akustik emici panel, boşluk rezonatör prensipleri ve gözenekli emilim mekanizmalarının yenilikçi bir

entegrasyonunu örneklemektedir. Yarı mamul termoplastik NFRPC panellerin çevresel katmanları, ses dalgalarının emilmesinde kritik bir rol oynayan bir hava boşluğu oluşturmak için termoform işleminden geçirilmiştir. Emici katman %65 kenevir, %25 kenaf ve %10 Polietersülfondan (PES) oluşan kompozit bir yapıdan yapılmıştır (Dahy, 2019). Tasarım yakından incelendiğinde, yalnızca farklı teknik avantajlar sağlamakla kalmayıp aynı zamanda akustik alanda enerji, ses ve ritim arasındaki içsel bağlantıları yansıtan ritmik desenlerde fark edilebilir varyasyonlar ortaya çıkarmaktadır. Bu çok yönlü yaklaşım, ses yutma teknolojisinin estetik zenginliğine katkıda bulunurken gelişmiş akustik performans potansiyelinin de altını çizmektedir.



Şekil 8. NFRPC ile üretilen akustik emici panel (Dahy, 2019).

SONUÇ

Bu araştırma Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin (NFRPC'ler) mimari tasarım alanındaki dönüştürücü potansiyelini ortaya koymaktadır. Kenevir, keten, kenaf ve pirinç samanı gibi bitki bazlı liflerin takviye olarak tercih edilmesi, sürdürülebilir malzeme kullanımına yönelik bir paradigma değişiminin altını çizmektedir. Epoksi, polilaktik asit, polikarbonat, polietersülfon ve polietilen dahil olmak üzere hem termoplastik hem de termoset polimerlerin dahil edilmesi, bu kompozitlerin çağdaş mimarideki çok yönlülüğünü ve uygulamasını daha da genişletmektedir. TFP, VARI ve CFW gibi gelişmiş üretim tekniklerinin kullanılması, köprüler, mobilyalar ve pavyonlar da dahil olmak üzere çok çeşitli mimari yapıların oluşturulmasını kolaylaştırmıştır. Bu malzemelerden elde edilen tasarımların dili, genellikle doğada bulunan karmaşıklığı ve akışkanlığı yansıtmakta ve doğal çevre ile mimari uygulama arasında derin bir ortak yaşam olduğunu göstermektedir. Bu uyum sadece ekolojik uyumu teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda organik formları kucaklayan yenilikçi tasarım çözümlerine doğru bir hareketi de teşvik etmektedir.

Sonuç olarak, NFRPC'lerin mekanik bütünlüğü yaratıcı ifadeyle uyumlu hale getirme kabiliyeti, geleneksel estetik sınırları aşan taşıyıcı yapıların, işlevsel tasarımların ve avangart mobilyaların gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu araştırma, doğal malzemelerin mimari bağlamlara entegrasyonunun, sürdürülebilir tasarım ilkelerini ilerletmek için cazip bir yol sunduğunu ve mimaride gelecekteki keşifler için bütünsel bir çerçeve sunduğunu ortaya koymaktadır.

REFERANSLAR

- Affan Usmani, M., Anas, Mohd. (2018). Study of Natural Fibre Reinforced Composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 404, 012048.
- Agarwal, S., & Gupta, R. K. (2017). Plastics in buildings and construction. In Applied plastics engineering handbook (pp. 635-649). William Andrew Publishing.
- Avci, A., Eker, A. A., Bodur, M. S., & Candan, Z. (2023). Water absorption characterization of boron compounds-reinforced PLA/flax fiber sustainable composite. International journal of biological macromolecules, 233, 123546.
- Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C., Karunasena, W. (2013). A Review on the Degradability of Polymeric Composites Based on Natural Fibres. Materials & Design, 47, 424-442.
- Brosius, D. (2006). Natural Fiber Composites Slowly Take Root. Composite Technology, 12(1), 32-37.
- Campilho, R. D. S. G. (2016). Natural Fiber Composites (1st ed.). United States: Taylor & Francis Group, LLC.
- Ceylan Engin, İ. (2025). 3B Baskı İçin Kenevir Lifiyle Güçlendirilmiş Polikarbonat Kompozit Üretimi ve Mimari Uygulamalarda Kullanımı (Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ceylan, İ., Çakıcı Alp, N., & Aytaç, A. (2024). Sustainable 3D printing with alkali-treated hemp fiber-reinforced polycarbonate composites. Cellulose, 31(7), 4477-4495.
- Ceylan Engin, I., Cakici Alp, N., & Aytac, A. (2024). Determination of optimum production and 3D printer application temperatures for hemp fiber reinforced polycarbonate composites. Polymer Composites, 45(15), 14268-14281.
- Ceylan Engin, I., Cakici Alp, N., & Aytac, A (2025). Evaluation of the effect of triphenyl phosphate on hemp fiber-reinforced polycarbonate composites for 3D printing applications. Polymer Composites.
- Chandramohan, D., Marimuthu, K. (2011). A Review on Natural Fibers. IJRRAS, 8(2), 194-206.
- Cheung H. Y. and Lau A. K. T., Mechanical performance of an animal-based silk/polymer bio-composite, Key Engineering Materials. (2007) 334, 1161–1164, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.334-335.1161>.
- Ciccarelli, L. (2015). Renzo Piano Building Workshop. Progetti d'acqua. Fondazione Renzo Piano.

- Correia Diogo, A. (2015). *Polymers in Building and Construction*. Gonçalves, M.C., Margarido, F. (Ed.), *Materials for Construction and Civil Engineering* (1st ed.) (447-499).
- Cutajar, S., Martins, V. C., Hoven Cvd, B. P., & Dahy, H. (2020). Towards modular natural fiber-reinforced polymer architecture. In *Proceedings of the 40th annual conference of the association of computer aided design in architecture* (Vol. 1, pp. 564-73).
- Dahy, H. (2015). *Agro-fibres biocomposites' applications and design potentials in contemporary architecture: case study: rice straw biocomposites* (Doctoral dissertation, Zugl.: Stuttgart, Universität Stuttgart, Diss., 2014).
- Dahy, H. (2017). Biocomposite materials based on annual natural fibres and biopolymers—Design, fabrication and customized applications in architecture. *Construction and Building Materials*, 147, 212-220.
- Dahy, H. (2019). Natural fibre-reinforced polymer composites (NFRP) fabricated from lignocellulosic fibres for future sustainable architectural applications, case studies: segmented-shell construction, acoustic panels, and furniture. *Sensors*, 19(3), 738.
- Dahy, H., Petrs, J., Baszynski, P. (2020). *Biocomposites From Annually Renewable Resources Displaying Vision of Future Sustainable Architecture*. Burry, J., Sabin, J.E., Sheil, B., Skavara, M. (Ed.), *Fabricate 2020* (1st ed.) (66-73). United Kingdom: UCL Press.
- Deb, D., & Jafferson, J. M. (2021). Natural fibers reinforced FDM 3D printing filaments. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1308-1318.
- Defoirdt, N., Biswas, S., Vriese, L. De, Tran, L. Q. N., Acker, J. Van, Ahsan, Q., ... Verpoest, I. (2010). Assessment of the Tensile Properties of Coir, Bamboo and Jute Fibre. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(5), 588-595.
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V., Saravanakumar, M. K. (2018). Review on Mechanical Properties of Natural Fiber Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1785-1790.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., Sain, M. (2012). Biocomposites Reinforced with Natural Fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., Sain, M. (2014). Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 299(1), 9-26.
- Gholampour, A., Ozbakkaloglu, T. (2020). A Review of Natural Fiber Composites: Properties, Modification and Processing Techniques, Characterization, Applications. *Journal of Materials Science*, 55(3), 829-892.

- Halliwell S.M. (2002). *Polymers in Construction* (1st ed.). United Kingdom: Smithers Rapra Technology Limited.
- Himani, J., & Purnima, J. (2010). Development of glass fiber, wollastonite reinforced polypropylene hybrid composite: Mechanical properties and morphology. *Materials Science and Engineering: A*, 527(7-8), 1946-1951.
- Jiang, L., Huang, J., Qian, J., Chen, F., Zhang, J., Wolcott, M. P. ve Zhu, Y. (2008). Study of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV)/Bamboo Pulp Fiber Composites: Effects of Nucleation Agent and Compatibilizer. *Journal of Polymers and the Environment*, 16(2), 83-93.
- Kandola, B. K., Mistik, S. I., Pornwannachai, W., Horrocks, A. R. (2021). Effects of Water and Chemical Solutions Ageing on the Physical, Mechanical, Thermal and Flammability Properties of Natural Fibre-Reinforced Thermoplastic Composites. *Molecules*, 26(15).
- Ketata, N., Seantier, B., Guermazi, N., & Grohens, Y. (2022). Processing and properties of flax fibers reinforced PLA/PBS biocomposites. *Materials Today: Proceedings*, 53, 228-236.
- Keya, K. N., Kona, N. A., Koly, F. A., Maraz, K. M., Islam, Md. N., Khan, R. A. (2019). Natural Fiber Reinforced Polymer Composites: History, Types, Advantages, and Applications. *Materials Engineering Research*, 1(2), 69-87.
- Kharaev, A. M., Bazheva, R. Ch., Chaika, A. A. (2007). Composite Materials Based on Polycarbonate (Review). *International Polymer Science and Technology*, 34(10), 27-33.
- Komal, U. K., Verma, V., Ashwani, T., Verma, N., & Singh, I. (2020). Effect of chemical treatment on thermal, mechanical and degradation behavior of banana fiber reinforced polymer composites. *Journal of Natural Fibers*.
- Kozłowski, R., Władyska-Przybylak, M. (2006). Composites reinforced with lignocellulosic fibers. *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*, Kuala Lumpur, Malaysia, 20-23 November 2006.
- Kozłowski, R., Władyska-Przybylak, M. (2008). Flammability and Fire Resistance of Composites Reinforced by Natural Fibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 19(6), 446-453
- Le Duigou, A., Bourmaud, A., Balnois, E., Davies, P. ve Baley, C. (2012). Improving the Interfacial Properties Between Flax Fibres and PLLA by a Water Fibre Treatment and Drying Cycle. *Industrial Crops and Products*, 39, 31-39.
- Le Duigou, A., Correa, D., Ueda, M., Matsuzaki, R. ve Castro, M. (2020). A Review of 3D and 4D Printing of Natural Fibre Biocomposites. *Materials & Design*, 194, 108911.

- Lepelaar, M., Hoogendoorn, A., Blok, R., & Teuffel, P. (2016, September). Bio-Based Composite Pedestrian Bridge–Part 2: Materials and Production Process. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2016, No. 7, pp. 1-10). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- Leontiadis, K., Tsiptsias, C., Messaritakis, S., Terzaki, A., Xidas, P., Mystikos, K., ... & Tsivintzelis, I. (2022). Optimization of Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene-Wollastonite Composite Drawn Fibers Based on Surface Response Analysis. *Polymers*, 14(5), 924.
- Liu X., Chen F., Yang H. and Xu W., Feasibility and properties of polypropylene composites reinforced with down feather whisker, *J. Thermoplast. Compos.*, February, (2013), 1–13.
- Liu, M., Meyer, A. S., Fernando, D., Silva, D. A. S., Daniel, G., Thygesen, A. (2016). Effect of Pectin and Hemicellulose Removal From Hemp Fibres on the Mechanical Properties of Unidirectional Hemp/Epoxy Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 724-735.
- Manivannan, J., Rajesh, S., Mayandi, K., Rajini, N., Ismail, S. O., Mohammad, F., ... & Al-Lohedan, H. A. (2022). Animal fiber characterization and fiber loading effect on mechanical behaviors of sheep wool fiber reinforced polyester composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(11), 4007-4023.
- Mazzanti, V., Pariante, R., Bonanno, A., de Ballesteros, O. R., Mollica, F., & Filippone, G. (2019). Reinforcing mechanisms of natural fibers in green composites: Role of fibers morphology in a PLA/hemp model system. *Composites science and technology*, 180, 51-59.
- Mousavi, S. R., Zamani, M. H., Estaji, S., Tayouri, M. I., Arjmand, M., Jafari, S. H., ... & Khonakdar, H. A. (2022). Mechanical properties of bamboo fiber-reinforced polymer composites: a review of recent case studies. *Journal of Materials Science*, 57(5), 3143-3167.
- Neher, B., Bhuiyan, M. M. R., Kabir, H., Gafur, M. A., Qadir, M. R., & Ahmed, F. (2016). Thermal properties of palm fiber and palm fiber-reinforced ABS composite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 124, 1281-1289.
- Oladele, I. O., Olajide, J. L., & Ogunbadejo, A. S. (2015). The influence of chemical treatment on the mechanical behaviour of animal fibre-reinforced high density polyethylene composites. *American Journal of Engineering Research*, 4(2), 19-26.
- Onuegbu, T. U., & Azih, A. J. (2015). Effects of animal hair fibre on polyester resin. *J. Nat. Sci*, 5(9), 42-47.
- Pavlović, A., Đorić-Veljković, S., & Karamarković, J. (2019). The importance of ethylene-tetrafluoroethylene for building daylighting. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 355-374.

- Pérez, M. G., Guo, Y., & Knippers, J. (2022). Integrative material and structural design methods for natural fibres filament-wound composite structures: The LivMatS pavilion. *Materials & Design*, 217, 110624.
- Reddy, K. N., Chanrasekar, V., Reddy, K. T., & Hussain, S. A. (2014). Performance evaluation of Emu feather fiber reinforced polymer composites. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(1), 272-283.
- Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G. C., Wypych, F. (2009). Biodegradable Composites Based on Lignocellulosic Fibers—An overview. *Progress in Polymer Science*, 34(9), 982-1021.
- Selvakumar, K., & Omkumar, M. (2018). Fabrication and characterization of animal fiber reinforced polymer composites. In *Proceedings of an International Conference on Contemporary Design and Analysis of Manufacturing and Industrial Engineering Systems (CDAMIES2018): NIT-Trichy*.
- Sippach, T., Dahy, H., Uhlig, K., Grisin, B., Carosella, S., & Middendorf, P. (2020). Structural optimization through biomimetic-inspired material-specific application of plant-based natural fiber-reinforced polymer composites (NFRP) for future sustainable lightweight architecture. *Polymers*, 12(12), 3048.
- Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., & Ning, H. (2017). Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering*, 114, 15-22.
- Tong, J., Ma, Y., Arnell, R. D., & Ren, L. (2006). Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(1), 38-45.
- Özmen, U., & Baba, B. O. (2017). Thermal characterization of chicken feather/PLA biocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 129, 347-355.
- Venkateshwaran N., Elaya Perumal A., and Arunsundaranayagam D., Fiber surface treatment and its effect on mechanical and visco-elastic behaviour of banana/epoxy composite, *Materials & Design*. (2013) 47, 151–159, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.001>, 2-s2.0-84872592269.
- Xian, G., Walter, R., & Hauptert, F. (2006). Comparative study of the mechanical and wear performance of short carbon fibers and mineral particles (Wollastonite, CaSiO₃) filled epoxy composites. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44(5), 854-863.
- Yu, C., Zhang, Y., Jiang, F., Liu, D., Li, T., Li, S., & Xu, J. (2024). Preparation and Characterization of Biocomposites Based on Fibrous Brucite and Poly (Butylene Succinate). *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 1-16.

Zhang, Y., Sun, Y., Xu, K., Yuan, Z., Zhang, J., Chen, R., ... & Cheng, R. (2015). Brucite modified epoxy mortar binders: flame retardancy, thermal and mechanical characterization. *Construction and Building Materials*, 93, 1089-1096.



BÖLÜM

6

MİMARİ GELENEĞİN SÜREKLİLİĞİNDE SİVAS ULU CAMİ ÖRNEĞİ

Esra ÖZDAL¹

Mehmet Akif ÖZDAL²

¹ Doktora Öğrencisi, Yakın Doğu Üniversitesi, esraa.ozdal@gmail.com, Orcid: 0009-0000-3616-4101

² YL Öğrencisi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, mehmetakfozdl@gmail.com, Orcid: 0000-0003-3148-8988

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Sivas Ulu cami'si üzerinden mimari geleneğin sürekliliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Mimari gelenek, geçmişten günümüze taşınan yapı teknikleri, estetik yaklaşımlar ve mekân organizasyonları gibi unsurların tarihsel yapılar aracılığıyla aktarılmasıyla süreklilik kazanır. Bu bağlamda, araştırmanın amacı, Selçuklu mimarisine ait Sivas Ulu Camisi'nin temel özelliklerini değerlendirmek, bu özelliklerin Sivas'taki mimari gelenek üzerindeki etkilerini tartışmak ve bu geleneğin sürdürülebilirliğine yönelik öneriler sunmaktır.

Araştırma kapsamında nitel araştırma yöntemlerinden tarihsel perspektif analizi ve mantıksal akıl yürütme teknikleri kullanılmıştır. Bu yöntemler aracılığıyla, Sivas Ulu Camisi'nin tarihsel bağlamı, yapısal ve estetik unsurları ele alınarak, yapının Selçuklu döneminin mimari karakteristiklerini nasıl yansıttığı ve sonraki dönemlere, özellikle Osmanlı mimarisine, hangi unsurları aktardığı analiz edilmiştir. Araştırma soruları, Sivas Ulu cami'sinin Selçuklu mimarisine özgü hangi unsurları taşıdığı ve bu unsurların daha sonraki dönemlerin tasarım anlayışına nasıl katkı sağladığı üzerine yoğunlaşmaktadır.

Bulgular, Sivas Ulu cami'sinin Selçuklu dönemine özgü taş işçiliği, geometrik ve bitkisel motifler ile mekân organizasyonu gibi unsurları barındırdığını ve bu unsurların sonraki dönemlerde mimari tasarımlarda bir referans noktası oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, mimari geleneklerin sürdürülebilirliği bağlamında, yapının restorasyon süreçleri sırasında tarihi değerlerin korunması ve gelecek nesillere aktarılması gerektiği vurgulanmıştır.

Sonuçlar, Sivas Ulu cami'sinin sadece bir ibadet mekânı olarak değil, aynı zamanda mimari geleneğin sürekliliğini sağlayan önemli bir kültürel miras unsuru olarak taşıdığı değeri ortaya koymuştur. Çalışma, kültürel mirasın korunmasına yönelik farkındalık yaratmayı ve bu doğrultuda restorasyon süreçlerine yönelik sürdürülebilir yaklaşımlar geliştirilmesini önermektedir.

1.2. Sivas Ulu Camisi'nin Tarihsel ve Mimari Özellikleri



Görsel 1. Ulu Cami, 1196-1197

Sivas Ulu cami'si, Selçuklu Dönemi'nin Anadolu'daki mimari ve kültürel mirasını yansıtan en önemli yapılardan biri olarak dikkat çeker. Bu eser, tarihsel süreç içerisinde dini ve toplumsal fonksiyonlarıyla öne çıkmış, aynı zamanda Selçuklu sanat ve mimarlığının özelliklerini detaylı bir şekilde sergilemiştir (Saoud, 2003: s. 115). Sivas Ulu camisi'nin tarihsel ve mimari özelliklerini anlamak için yapının ortaya çıktığı tarihsel bağlamı ve bu bağlam içinde gelişen plan, malzeme, teknik, süsleme gibi unsurların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Selçuklu Dönemi'nde Anadolu'nun stratejik noktalarından biri olan Sivas, siyasi ve ekonomik anlamda büyük bir önem taşımaktaydı. İpek Yolu gibi uluslararası ticaret rotalarının merkezinde yer alan şehir, sadece bir ticaret noktası değil, aynı zamanda bir kültür ve bilim merkezi olarak öne çıkmıştır (Ögel, 2008: s. 232). Söz konusu tarihi koşullar, Sivas'ta çeşitli dini ve sivil yapıların inşa edilmesine olanak sağlamış; Ulu cami de bu bağlamda şehir halkının dini, sosyal ve kültürel ihtiyaçlarına cevap vermiştir. Sivas Ulu cami'sinin tam olarak hangi tarihte ve kim tarafından yaptırıldığı kesin olarak bilinmemekle birlikte, 12. yüzyıl sonları ya da 13. yüzyıl başlarında inşa edildiği tahmin edilmektedir. Selçuklu mimarisinin karakteristik unsurlarını yansıtan bu yapı, çok sütunlu hipostil planı ve sade fakat etkileyici tasarım anlayışı ile dikkat çeker (Rogers, 1969: s. 184).

Caminin plan ve mekân organizasyonu, Selçuklu Dönemi'ne özgü sade bir düzenleme sunar. Cami, dikdörtgen bir plana sahip olup, tavanı

ahşap direklerle desteklenen çok sütunlu bir yapıya sahiptir. Merkezi bir kubbe yerine bu düzeni destekleyen ahşap sistemler tercih edilmiş ve mekânın açık ve kullanışlı olması sağlanmıştır (Gülaçtı ve Altıncılık, 2017: s. 57). Mihrabın bulunduğu cephede yarattığı derinlik hissi, yapının iç mekân organizasyonuna estetik bir boyut katmıştır. Bu düzenleme, Selçuklu mimarisinde dini mekânlarda görülen sadelik ve fonksiyonellik anlayışının önemli bir örneğidir.

Sivas Ulu camisi'nin inşa sürecinde tercih edilen malzemeler ve teknikler, yapının dayanıklılığını ve estetik özelliklerini ortaya koyar. Kesme taş, caminin temel malzemesi olarak kullanılmış; bu malzeme hem duvarların dayanıklı olmasını sağlamış hem de estetik bir düzen yaratmıştır. Tavan yapısında ahşap malzeme tercih edilmiş ve bu malzeme oyma teknikleriyle süslenerek hem yapıya iç mekânda bir sıcaklık katmış hem de süsleme ögesine katkıda bulunmuştur (Yüksel et al., 2014: s. 92). Duvarların üst kısımlarında tuğla ve harç kullanılması, yapının yüksekliğini ve dengeliğini sağlamıştır. Bu teknik detaylar, Selçuklu Dönemi mimarisinin teknik ve estetik anlamdaki ustalığının birer göstergesidir.

Sivas Ulu Camisi'nde süsleme unsurları, yapının sade dış cephesine karşın iç mekânın zengin bir sanatsal dokuyla bezenmesini sağlamıştır. Selçuklu mimarisinde önemli bir yer tutan mukarnaslar, camide özellikle mihrabın üzerinde ve pencere çevrelerinde görülmektedir (Bakırer, 1980: s. 159). Bu mukarnaslar, yapının iç mekânına derinlik ve hareket kazandırırken geometrik desenlerle uyumlu bir bütünlük oluşturmaktadır. Geometrik süslemeler, Selçuklu sanatının matematiksel ve simetrik anlayışının yansımasıdır.

Bitkisel motifler, yapının ahşap unsurları üzerinde çok detaylı bir şekilde işlenmiş, mihrabı çevreleyen bölgelerde ve tavan süslemelerinde kullanılmıştır. Bu motiflerde Selçuklu sanatının doğaya olan ilgisini ve doğadan esinlenen stilize desenleri görmek mümkün olur. Aynı zamanda kaligrafik süslemeler, caminin dini özelliğini ve estetik boyutunu tamamlar. Mihrabın çevresinde ve yapının çeşitli alanlarında Kuran'dan alıntılar, kufi ve nesih yazı stilleriyle dikkat çekici bir şekilde işlenmiştir (Erbudak, 2022: s. 198).

Sivas Ulu cami'si, tüm bu tarihsel ve mimari detaylarıyla Selçuklu mimarisinin sade ancak derinlikli estetik anlayışının bir yansıması olarak göze çarpar. Bu yapı, sadece bir ibadet mekânı olmanın ötesinde, Selçuklu Dönemi'nin sosyo-kültürel yapısını ve mimari vizyonunu temsil eden bir mirastır.

Tablo 1. Sivas Ulu cami Tarihsel ve Mimari Özellikleri

Başlıklar	Açıklamalar
Tarihsel Bağlam	Sivas Ulu cami'si, Anadolu Selçuklu Devleti'nin dini, siyasi ve kültürel yapısının önemli bir göstergesi olarak inşa edilmiştir. 12. ve 13. yüzyıllar arasında Anadolu'nun siyasi ve kültürel gelişimine katkıda bulunmuştur.
Selçuklu Döneminde Sivas'ın Önemi	Sivas, İpek Yolu üzerinde yer alması dolayısıyla önemli bir ticaret, kültür ve yönetim merkezi olmuştur. Şehir, Anadolu'daki ekonomik faaliyetlerin merkezinde yer almış, aynı zamanda ilim ve sanatın geliştiği bir ortam sunmuştur.
Cami'nin İnşa Süreci ve Tarişesi	Cami, 1197 yılında Anadolu Selçuklu Sultanı II. Kılıçarslan'ın oğlu Kutbeddin Melikşah'ın hükümdarlığı sırasında yaptırılmıştır. Caminin banisi Kadı Burhaneddin olarak kaydedilmektedir. Yapının mimarı kesin olarak bilinmemekle birlikte Selçuklu mimarlarının elinden çıktığı anlaşılmaktadır.
Yapının Plan ve Mekân Organizasyonu	Cami, dikdörtgen planlı ve çok sütunlu hipostil düzenine sahiptir. Bu mimari düzen, Selçuklu mimarisinin mekânsal sadelik ve işlevsellik anlayışını yansıtmaktadır. Caminin tavanı ahşap direkler ve kirişlerle desteklenmiş, merkezi bir kubbe yerine mekânda dengeli bir tavan sistemi oluşturulmuştur. Mihrabın bulunduğu cephede kullanılan mimari elemanlar, mekânda odak noktası oluşturarak ibadet sırasında derin bir manevi atmosfer yaratmaktadır.
Kullanılan Malzeme ve İnşa Teknikleri	Caminin inşasında kesme taş, tuğla ve ahşap gibi yerel malzemeler kullanılmıştır. Kesme taş, yapının duvarlarında sağlamlık ve dayanıklılığı artırmak amacıyla kullanılmıştır. Tavan sisteminde ahşap kirişler ve sütunlar yer almakta, bu ahşap elemanlar oyma teknikleriyle zenginleştirilmiştir. Üst kısımlarda tuğla kullanımı ise yapının hafifliğini ve stabilitesini artırmayı amaçlamaktadır. Selçuklu dönemi yapı tekniklerinin ustalıkla uygulandığı bu eser, dönemin mimari başarılarını sergilemektedir.

Başlıklar	Açıklamalar
Süsleme ve Estetik Unsurlar	Caminin süslemeleri, Selçuklu mimarisinin estetik anlayışını ortaya koymaktadır. İç mekânda geometrik desenler, bitkisel motifler ve kaligrafik yazılar yer almakta, bu unsurlar yapıya hem estetik hem de manevi bir değer katmaktadır. Caminin süsleme detayları, sanat ve mimarlığın birleştiği noktaları yansıtmaktadır.
Mukarnaslar ve Geometrik Desenler	Mukarnas süslemeleri caminin mihrabında ve pencere çevrelerinde yer almaktadır. Bu elemanlar, Selçuklu sanatının matematiksel simetri anlayışını ve estetik detaylara verdiği önemi göstermektedir. Geometrik desenler, yapının tüm mekânında bir düzen ve ritim oluşturarak mimaride denge sağlamaktadır.
Bitkisel ve Kaligrafik Motifler	Ahşap sütunlar ve mihrabı çevreleyen detaylarda yer alan bitkisel motifler, Selçuklu sanatındaki doğaya olan ilginin stilize bir yansımasıdır. Kaligrafik süslemeler ise caminin manevi kimliğini güçlendiren bir unsur olarak göze çarpmaktadır. Kuran-ı Kerim'den ayetlerin kufi ve nesih yazı stilleriyle işlenmesi, dini bir derinlik ve sanatsal zenginlik sunmaktadır.
Caminin Boyu ve Alanı	Caminin toplam boyu yaklaşık 60 metre, genişliği ise 30 metredir. Bu ölçüler, yapının iç mekânında geniş ve ferah bir alan sağlamaktadır. Toplam alanı yaklaşık 1800 metrekareyi bulmaktadır.
Şehir ve Coğrafi Konumu	Cami, Sivas şehir merkezinde yer almakta olup, Anadolu'nun orta kesimindeki stratejik coğrafi konumuyla tarih boyunca önemli bir dini ve kültürel merkez olmuştur. Çevresindeki diğer Selçuklu eserleriyle birlikte tarihsel bir bağlam oluşturur.
Diğer Temel Özellikler	Sivas Ulu camii'si, dikdörtgen planlı çok sütunlu yapısıyla Selçuklu döneminin tipik cami mimarisini temsil etmektedir. Yapı, ahşap işçiliği ve taş işçiliğinin harmanlandığı bir örnek olup, işlevsellik ve estetik unsurları

Başlıklar	Açıklamalar
	birleştirir. Mihrabı ve minaresi, döneminin sanatsal anlayışını yansıtan öne çıkan özelliklerdir.

(Tablo.1). Sivas Ulu camisi'nin tarihsel ve mimari özelliklerini ele almaktadır.

1.3. Mimari Geleneğin Sürekliliği

Sivas Ulu cami'si, Anadolu Selçuklu Dönemi'nin mimari geleneğini somut bir şekilde yansıtan ve bu geleneğin Osmanlı mimarlığına olan etkisini net bir şekilde ortaya koyan önemli bir yapıdır (Saoud, 2003: s. 115). Mimari süreklilik açasından ele alındığında, bu cami yerel ve bölgesel etkilerle birlikte özgün Selçuklu sanatının da bir yansımasını taşır. Geleneksel malzeme kullanımı ve inşa teknikleri, yapının hem dayanıklılığını hem de estetik değerini öne çıkarır. Bu durum, Selçuklu Dönemi'nin mimarlık alanındaki ustalığını gözler önüne sermekte ve yapının sanat tarihindeki önemini vurgulamaktadır (Ögel, 2008: s. 232).

Ulu cami, kesme taş işçiliğinin Anadolu'daki öne çıkan örneklerinden biridir. Taş işçiliğinde görülen geometrik desenler, estetik kaygı ile yapısal gereklilikleri birleştirerek mimari bir dışavurum sunar (Bakırer, 1980: s. 159). Bu süslemeler, Selçuklu mimarisinin matematiksel simetri anlayışıyla yoğun bir uyum içinde tasarlanmıştır. Mihrabın çevresindeki mukarnas detayları, yapının dini kimliğini öne çıkarırken, estetik boyutunu da zenginleştirir. Bu süreçte, yerel zanaatkârların taş işçiliği konusundaki yetkinliği, yapının kalıcılığına katkı sağlamıştır (Rogers, 1969: s. 184).

Sivas Ulu cami'si, Selçuklu mimarlığının Osmanlı mimarlığına aktarılan önemli özelliklerini temsil eder. Selçuklu hipostil planlama anlayışı, Osmanlı'nın merkezi kubbe düzeniyle yer değiştirirken, Sivas Ulu cami'si bu geçişin belirgin bir izini taşır. Osmanlı Dönemi'nde de kullanılır durumda kalan bu cami, Selçuklu mimarisinin mirasını koruma ve aktarma açasından kritik bir rol üstlenmiştir (Gülaçtı ve Altınkılıç, 2017: s. 57). Bu yapı, hem dini bir merkez hem de bir sanat eseri olarak değerlendirilmiştir.

Sivas Ulu camisi'nin etkisi, çevresindeki diğer yapılarda da hissedilmektedir. Medreseler, kervansaraylar ve kümüler, Selçuklu mimari tarzının bu yapıda yansıyan unsurlarını barındırır. Ulu cami, Selçuklu sanatının bölgesel bir yükseltisi olmuş ve bu sanat anlayışını

şehrin diğer tarihi yapılarına da taşmıştır (Erbudak, 2022: s. 198). Mimari detayların aktarımı, sadece bir teknik transfer değil, aynı zamanda bir kültürel devamı sağlama çabası olarak değerlendirilmelidir.

1.4. Sürdürülebilirlik ve Koruma Çalışmaları

Sivas Ulu camii'si, mimari ve tarihi kimliğini günümüzde koruyabilmek için birçok restorasyon ve koruma çalışmalarına tabi tutulmuştur. Bu çalışmalar, yapının orijinal dokusuna zarar vermeden, mimari özelliklerini ve tarihsel önemini geleceğe taşımayı amaçlamıştır (Yenice, 2020: s. 87). Geleneksel tekniklerle modern teknolojilerin dengeli bir şekilde kullanılması, yapının hem dayanıklılığını hem de estetik değerini korumakta etkili olmuştur.

19. yüzyıldan itibaren belgelenen restorasyon çalışmaları, yapının hem statik hem de estetik unsurlarının korunmasına odaklanmıştır. Ahşap direkler ve tavan sistemleri üzerine odaklanan çalışmalar, bu elemanların çürümeye karşı dayanıklılığını sağlamış; taş yapı elemanlarında ise bozulmaya karşı koruma teknikleri uygulanmıştır (Şahin ve Tutkun, t.y.: s. 95). Restorasyon süreçlerinde modern malzemelerin akılcı kullanımı, orijinal yapıyı tahrip etmeden estetik ve yapısal iyileştirme sağlamıştır (Akboy-İlk, 2023: s. 101).

Tarihi yapıların korunmasında toplumsal farkındalık önemli bir yer tutar. Sivas Ulu camisi'nin korunması ve sürekliliğinin sağlanması için yerel halkın bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi gerekliliği, bugün de geçerliliğini korumaktadır (Köycü, 2024: s. 112). Tarihi yapıları sahiplenme ve koruma bilincinin yerleşmesi, bu mirasın gelecek nesillere aktarılmasında kritik bir rol oynamıştır. Yerel otoritelerin, akademisyenlerin ve sanat tarihçilerinin bu süreçte aktif katılımı, tarihi mirasın korunması konusunda önemli bir katkı sunmaktadır.

Gelecekteki restorasyon çalışmalarında yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi, yapının korunması için çağdaş teknolojilerden yararlanılmasının önemini ortaya koyar. Dijital tarama ve 3D modelleme teknikleri, yapının hassas analizine olanak tanıyarak restorasyon işlemlerinin daha etkili bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır (Dişli, 2018: s. 181). Bunun yanında, topluma yönelik eğitim ve farkındalık projeleri, tarihi mirasın korunması ve bu mirası sahiplenme bilincinin artırılması için çok önemlidir. Bu yaklaşımlar, Sivas Ulu camisi'nin sadece bir mimari eser olarak değil, aynı zamanda bir kültürel kimlik unsuru olarak korunmasını sağlamaktadır.

Tablo 2. Sivas Ulu cami Mimari ve Koruma Sürekliliği

Başlıklar	Açıklamalar
Mimari Geleneğin Sürekliliği	Sivas Ulu cami'si, Anadolu Selçuklu mimari geleneğinin en önemli temsilcilerinden biridir. 1197 yılında Anadolu Selçuklu Sultanı II. Kılıçarslan'ın oğlu Kutbeddin Melikşah'ın hükümdarlığında inşa edilmiştir. Caminin banisi Kadı Burhaneddin olarak bilinir, ancak mimarı hakkında kesin bilgi bulunmamaktadır. Bu yapı, Selçuklu mimarisinin bölgesel ve kültürel etkilerini Osmanlı mimarişiyle birleştiren bir köprü niteliğindedir.
Kesme Taş İşçiliği ve Detayları	Caminin temel malzemesi olan kesme taş, yapının estetik ve dayanıklılık unsurlarını birleştirmiştir. Taş işçiliğindeki geometrik desenler ve mukarnas detayları, Selçuklu sanatının matematiksel düzen anlayışını yansıtmaktadır. Mihrabın çevresindeki taş işlemler ve pencerelerde kullanılan mukarnaslar, yapının hem görsel hem de sembolik önemini artırmıştır.
Selçuklu Mimarısından Osmanlı Mimarisine Geçiş	Sivas Ulu cami'si, Selçuklu mimarisindeki hipostil plan düzeninin Osmanlı mimarisindeki merkezi kubbe anlayışına geçiş sürecinde önemli bir örnektir. Yapı, Selçuklunun sade ve işlevsel mekân organizasyonu ile Osmanlı'nın estetik ve simetrik yaklaşımını bir arada taşımaktadır. Bu mimari devamlılık, yapının mimarlık tarihindeki yerini sağlamlaştırmıştır.
Sivas Ulu camisi'nin Bölgesel ve Kültürel Etkisi	Ulu cami, çevresindeki medreseler, kervansaraylar ve kümbetlerde görülen mimari detaylarla kültürel ve sanatsal etkisini sürdürmüştür. Yapının taş işçiliği, geometrik desenleri ve estetik detayları, Selçuklu sanatının bölgesel etkilerini diğer tarihi yapılara taşımıştır.
Restorasyon ve Koruma Çalışmaları	Sivas Ulu cami'si, 19. ve 20. yüzyıllarda birçok restorasyon çalışmasına tabi tutulmuştur. Bu çalışmalar sırasında geleneksel tekniklerle modern yöntemler bir arada kullanılarak yapının orijinal dokusu korunmuştur. Ahşap direklerin çürümeye karşı güçlendirilmesi ve

Başlıklar	Açıklamalar
	taş işçiliğindeki bozulmaların onarılması, restorasyon sürecinin odak noktaları olmuştur. Bu süreçler, yapının hem tarihi hem de mimari değerini geleceğe taşımayı amaçlamıştır.
Geleneksel Tekniklerle Modern Yöntemlerin Dengesi	Restorasyon süreçlerinde geleneksel malzeme ve tekniklerin modern teknolojilerle dengeli bir şekilde kullanılması, yapının dayanıklılığını artırmıştır. Özellikle dijital tarama ve 3D modelleme teknikleri, yapının hassas analizini mümkün kılarak restorasyon sürecini daha etkili hale getirmiştir.
Toplumsal Farkındalık ve Katılımın Önemi	Yerel halkın tarihi yapılar konusunda bilinçlendirilmesi ve koruma süreçlerine aktif katılımı, Sivas Ulu camisi'nin sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamıştır. Toplumun tarihi mirası sahiplenmesi, bu mirasın geleceğe taşınmasında önemli bir katkı sunmuştur.
Yenilikçi Restorasyon Yaklaşımları	Dijital tarama ve 3D modelleme gibi yenilikçi yöntemler, hassas restorasyon süreçlerine katkı sağlamış ve yapının detaylı analizini mümkün kılmıştır. Bu teknikler, yapının hem estetik hem de yapısal özelliklerini koruyarak daha uzun ömürlü olmasını sağlamıştır.
Eğitim ve Bilinçlendirme Çalışmaları	Tarihi mirasın korunması için topluma yönelik eğitim ve bilinçlendirme projeleri düzenlenmiştir. Bu çalışmalar, Sivas Ulu camisi'nin kültürel kimlik olarak değer kazanmasına katkıda bulunmuş, toplumun bu mirası sahiplenmesini sağlamıştır.

(Tablo 2.). Sivas Ulu camisi'nin tarihsel, mimari ve kültürel özelliklerini ele almaktadır.

1.5. Öneri ve Koruma Çalışmaları

Sivas Ulu cami'si, Anadolu Selçuklu mimarisinin önemli bir örneği olarak, mimari geleneğin korunması ve sürekliliğin sağlanmasında merkezi bir rol üstlenmektedir (Ögel, 2008: s. 35). Yapı, Selçuklu sanatının temel unsurlarını estetik ve yapısal bir bütünlük içerisinde barındırmakta ve mimarlık tarihindeki kültürel ve yapısal sürekliliğin somut bir temsilcisi olarak değerlendirilmektedir. Selçuklu dönemine

özgü taş işçiliğinin dikkat çekici örneklerinden biri olan Sivas Ulu cami'si, mukarnas ve geometrik desenlerin özenli kullanımıyla yerel ve bölgesel etkilerin ulusal bir mirasa dönüşümüne katkıda bulunmaktadır (McClary, 2017: s. 142).

Ulu cami, yalnızca bir ibadet mekânı değil, aynı zamanda kültürel bir aktarım aracıdır. Caminin taş işçiliği, özellikle mihrabın çevresinde ve pencerelerin mukarnas süslemelerinde görülen detaylı işlemlerle, Selçuklu sanatının matematiksel düzen anlayışını ve estetik özelliklerini yansıtmaktadır. Bu süslemeler, yalnızca görsel bir unsur değil, aynı zamanda Selçuklu dönemi toplumsal ve dini anlayışının önemli bir göstergesi niteliğindedir (Bakırer, 2017: s. 211). Caminin bu özellikleri, Osmanlı döneminde de varlığını sürdürerek mimari ve kültürel sürekliliğin sağlanmasıyla belirleyici bir yer edinmiştir.

Sivas Ulu camisi'nin korunması, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması sürecinde büyük bir öneme sahiptir. Yapının yüzyıllar boyunca süregelen restorasyon süreçleri, hem mimari hem de kültürel bir sorumluluğun ifadesi olarak değerlendirilmelidir (Blessing, 2017: s. 56). Restorasyon çalışmaları sırasında kullanılan geleneksel teknikler ve modern yaklaşımlar, yapının orijinal dokusunu koruma ve yaşatma amacını taşımaktadır. Özellikle ahşap direklerin çürümeye karşı güçlendirilmesi ve taş işçiliğinin detaylarının korunması, restorasyonların temel odak noktalarını oluşturmaktadır (Tunçoku, 1993: s. 98). Geleneksel malzeme kullanımının modern teknolojilerle desteklenmesi, yapının dayanıklılığını artırırken estetik bütünlüğünün korunmasını da sağlamaktadır.

Ancak restorasyon süreçleri bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Geleneksel tekniklerin modern malzemelerle uyumunun sağlanması ve tarihsel dokuların bozulmadan yenilenmesi, karmaşık bir planlama ve uygulama süreci gerektirmiştir. Zaman modern müdahalelerin orijinal dokular üzerinde oluşturduğu etkiler eleştirilmiş ve bu durum, restorasyonlarda tarihsel hassasiyetin önemini ortaya koymuştur (Peacock ve Yıldız, 2012: s. 78). Özellikle Sivas Ulu cami'si gibi tarihi eserlerde gerçekleştirilen her müdahale, yapının mimari sürekliliğini ve kültürel kimliğini etkileyebilecek bir potansiyel taşımaktadır.

Sivas Ulu camisi'nin koruma çalışmalarının etkisi, yalnızca yapının fiziksel varlığının korunmasıyla sınırlı kalmamıştır. Bu süreçler, aynı zamanda kültürel bilinç ve toplumsal farkındalığın artırılmasına da önemli katkılar sağlamıştır (Rogers, 1969: s. 122). Yerel halkın koruma süreçlerine dahil edilmesi, tarihi yapılarla güçlü bir bağ kurulmasını sağlamış ve bu yapının bir toplumsal miras olarak sahiplenilmesini desteklemiştir. Eğitici programlar ve bilinçlendirme kampanyaları sayesinde, Sivas Ulu cami'si yalnızca bir mimari eser

olarak değil, aynı zamanda bir eğitim ve kültür unsuru olarak işlev görmektedir.

Dolayısıyla, Sivas Ulu camisi'nin restorasyon ve koruma çalışmaları, tarihi ve mimari mirasın korunmasında önemli bir model teşkil etmektedir. Yapının Selçuklu ve Osmanlı dönemi mimarisi arasında bir köprü işlevi görmesi, onun kültürel süreklilik içindeki yerini belirginleştirmektedir. Sivas Ulu cami'si, mimarlık tarihine yaptığı katkılar ve koruma süreçlerindeki rolüyle, gelecek nesillere aktarılması gereken değerli bir kültürel miras niteliği taşımaktadır.

Tablo 3. Sivas Ulu cami Öneri ve Koruma Çalışmaları

Başlıklar	Açıklamalar
Mimari Geleneğin Korunmasındaki Rolü	Sivas Ulu cami'si, Anadolu Selçuklu mimarlık geleneğinin korunması ve aktarılmasında önemli bir rol üstlenmiştir. 1197 yılında Anadolu Selçuklu Sultanı II. Kılıçarslan'ın oğlu Kutbeddin Melikşah tarafından inşa ettirilen bu yapı, Selçuklu taş işçiliği, geometrik desenler ve mukarnas detaylarıyla mimari sürekliliği sağlamıştır. Aynı zamanda Osmanlı mimarisine geçişte köprü görevi görerek kültürel mirasın aktarılmasına katkı sağlamıştır.
Kültürel Mirasın Korunması ve Mimari Süreklilik	Kültürel mirasın korunması, yalnızca tarihi yapıların fiziksel varlıklarının değil, aynı zamanda kültürel anlamlarının da gelecek nesillere aktarılmasını içerir. Sivas Ulu camisi'nin restorasyon süreçleri, geleneksel tekniklerle modern teknolojilerin dengeli bir şekilde birleştirildiği başarılı örneklerdendir. Ahşap direklerin çürümeden korunması ve taş işçiliğinin detaylarının muhafaza edilmesi, bu yapının mimari değerlerini günümüze taşımıştır. Restorasyon süreçlerinde kullanılan yöntemler, kültürel mirasın çağdaş bir perspektifle korunmasını sağlamıştır.
Koruma Çalışmalarının Etkisi ve Zorlukları	Sivas Ulu camisi'nin koruma çalışmaları, yapının orijinal dokusunu ve estetik unsurlarını korumaya yönelik büyük katkılar sağlamıştır. Ancak bu süreçler, modern müdahalelerle geleneksel dokunun uyumlu bir şekilde birleştirilmesi gibi zorlukları da

Başlıklar	Açıklamalar
	beraberinde getirmiştir. Geleneksel yöntemlerin kaybolma riski, koruma çalışmalarında en büyük engellerden biri olarak değerlendirilmektedir. Buna rağmen, restorasyonlar tarihsel bilinci geliştirmiş ve yapının kültürel bir kimlik olarak değerini artırmıştır.
Restorasyon Süreçlerinin Tarihi Yapıya Etkisi	Restorasyon süreçleri, yapının dayanıklılığını artırarak mimari ve estetik değerlerini koruma amacını taşımıştır. Özellikle ahşap ve taş işçiliği üzerindeki müdahaleler, yapının özgünlüğüne zarar vermeden modern teknolojilerin uygulanmasıyla gerçekteşirilmıştir. Bununla birlikte, bazı eleştiriler modern müdahalelerin tarihi dokuyu zayıflattığı yönünde olmuştur. Bu durum, restorasyon süreçlerinde tarihsel hassasiyetin korunmasının önemini vurgulamaktadır. Sivas Ulu camisi'nin restorasyon çalışmaları, bu yapı üzerinde tarihi ve kültürel bir denge kurmayı başarmıştır.

Bu tablo, Sivas Ulu cami'sinin mimari, kültürel ve koruma ele almakta ve yapının tarihi önemini, restorasyon süreçlerindeki yaklaşımları ve bu süreçlerin yapı üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir.

2. YÖNTEM

Çalışmada mantıksal akıl yürütme, yöntemi ve tarihsel perspektif analizi kullanılmıştır. Mantıksal akıl yürütme, mevcut bilgiler arasındaki ilişkileri analiz ederek mantıklı sonuçlara ulaşma sürecidir ve bu süreç, çıkarım yapma, hipotez oluşturma ve problem çözme gibi entelektüel faaliyetlerin temelini oluşturur (Durhan, 2022: s. 6). Tarihsel perspektif analizi, bir konunun veya olayın geçmişten günümüze kadar olan sürecini ve gelişimini inceleyen bir yöntemdir (Kürkçüoğlu, 2020, s. 461). Bu analiz, belirli bir konunun tarih boyunca nasıl şekillendiğini, değişim ve dönüşümlerini, geçmişte yaşanan önemli olayların bugünkü durum üzerindeki etkilerini ve tarihsel bağlamda nasıl anlandırılması gerektiğini anlamak için kullanılır (Xu & Zou, 2022).

3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, Sivas Ulu camisi'nin Selçuklu Dönemi mimarisine özgü unsurları taşıyan ve bu unsurları sonraki dönemlere aktaran bir yapı olarak mimari süreklilik bağlamında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Ulu cami'nin plan düzeni, kullanılan malzemeler ve estetik detaylar, dönemin mimari anlayışının belirgin bir yansıması olarak değerlendirilmektedir. Özellikle hipostil plan düzeni ve ahşap tavan sistemi, Selçuklu mimarlığının mekânsal sadelik ve işlevsellik ilkelerini yansıtan özelliklerdir (McClary, 2017: s. 142). Bu düzenleme, aynı zamanda mekânda görsel bir uyum sağlayarak ibadet sırasında derin bir manevi atmosfer yaratmıştır.

Ulu cami'de kullanılan malzemeler arasında kesme taş, tuğla ve ahşap ön plana çıkmaktadır. Kesme taş, duvarların dayanıklılığını artırmak amacıyla tercih edilmiş; ahşap ise tavan sisteminde estetik ve işlevsel bir unsur olarak kullanılmıştır. Ahşap elemanların oyma teknikleriyle zenginleştirilmesi, yapının sanatsal değerini artıran önemli bir özelliktir (Blessing, 2017: s. 123). Tavan sisteminde kullanılan ahşap elemanlar, Selçuklu mimarlarının ahşap işçiliğindeki ustalığını sergilerken, taş işçiliğinde yer alan geometrik ve bitkisel desenler, yapının estetik boyutunu güçlendirmiştir (Bakırer, 2017: s. 211).

Yapının mekânsal organizasyonu, mihrabın merkezi bir odak noktası oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Mihrabın çevresinde yer alan mukarnaslar, Selçuklu sanatının matematiksel simetri anlayışını ve detaylara verilen önemi yansıtmaktadır. Bunun yanı sıra, geometrik desenler ve bitkisel motifler, Selçuklu sanatının doğaya olan ilgisini ve doğadan esinlenen stilize tasarımlarını ortaya koymaktadır (Tunçoku, 1993: s. 56). Kaligrafik süslemeler, dini ve sanatsal boyutları bir arada taşıyan önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Caminin çeşitli bölgelerinde yer alan kufi ve nesih yazı stilleriyle işlenmiş ayetler, yapının manevi atmosferini güçlendiren detaylar arasında yer almaktadır.

Sivas Ulu cami'si, yalnızca bir ibadet mekânı olarak değil, aynı zamanda kültürel bir aktarım aracı olarak da değerlendirilmektedir. Caminin Selçuklu Dönemi'ne özgü mimari unsurları, Osmanlı mimarlığına geçiş sürecinde önemli bir referans noktası oluşturmuş ve Osmanlı dönemi camilerinde görülen bazı unsurların temellerini atmıştır (Rogers, 1969: s. 122). Bu bağlamda, hipostil plan düzeni ve mekânsal sadelik gibi özellikler, Selçuklu ve Osmanlı mimarileri arasındaki geçişin somut göstergeleri olarak değerlendirilmektedir.

Restorasyon süreçleri, yapının tarihi ve mimari özelliklerinin korunmasında kritik bir rol oynamıştır. Restorasyon sırasında geleneksel tekniklerin ve modern teknolojilerin bir arada kullanılması, yapının hem dayanıklılığını artırmış hem de estetik bütünlüğünü korumuştur (Akan et al., 2021: s. 89). Özellikle ahşap direklerin çürümeye karşı güçlendirilmesi ve taş işçiliğinde meydana gelen aşınmaların onarılması, restorasyon çalışmalarının temel odak noktalarını oluşturmuştur. Restorasyon süreçlerinde dijital tarama ve 3D modelleme gibi yenilikçi yöntemler kullanılarak yapının detaylı bir şekilde analiz edilmesi, tarihi dokunun hassasiyetle korunmasını sağlamıştır (Tunçoku, 1993: s. 65). Ayrıca, Sivas Ulu camisi'nin çevresindeki diğer Selçuklu dönemi yapıları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Caminin taş işçiliği ve süsleme detayları, çevredeki medreseler, kümbetler ve kervansaraylarda da görülmekte; bu da Ulu cami'nin yalnızca kendi başına bir mimari eser değil, aynı zamanda bir kültürel ve sanatsal merkez olduğunu göstermektedir (Ögel, 2008: s. 52). Yapının etkisi, yalnızca fiziki bir aktarımı değil, aynı zamanda Selçuklu sanat ve mimarisinin estetik ve fonksiyonel değerlerinin sonraki dönemlere taşınmasını da kapsamaktadır.

4. SONUÇ

Bu araştırma, Sivas Ulu camisi'nin mimari geleneklerin sürekliliğinde oynadığı kritik rolü ortaya koymuş ve Selçuklu Dönemi'nden Osmanlı Dönemi'ne uzanan mimari etkilerin izlerini kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ulu cami'nin yalnızca bir ibadet mekânı olarak değil, aynı zamanda kültürel ve mimari bir miras unsuru olarak tarihsel bir önem taşıdığını açıkça göstermektedir.

Sivas Ulu camisi'nin mimari özellikleri incelendiğinde, yapının Selçuklu Dönemi'ne özgü taş işçiliği, geometrik desenler ve bitkisel motifler gibi unsurları ustalıkla barındırdığı görülmektedir. Bu unsurlar, yalnızca dönemin estetik ve yapısal anlayışını yansıtmakla kalmayıp, sonraki dönemlerde de mimari tasarımlar için bir referans noktası oluşturmuştur. Ulu cami, hipostil plan düzeniyle mekânsal organizasyonda sadelik ve işlevsellik ilkesini somutlaştırmış; ahşap direkler ve kesme taş malzemelerle harmanlanan bu yapı, dönemin teknik bilgi ve becerilerinin bir göstergesi olmuştur. Mihrabın çevresinde yer alan mukarnas süslemeleri ve kaligrafik yazılar, yapının hem estetik hem de manevi derinliğini artıran unsurlar arasında yer almıştır.

Yapının tarihi ve kültürel bağlamda değerlendirilmesi, Sivas Ulu camisi'nin Selçuklu sanat ve mimarlık anlayışının Osmanlı dönemi eserlerinde görülen unsurları büyük ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Ulu cami, Selçuklu ve Osmanlı mimarlıkları

arasındaki kültürel ve sanatsal etkileşimin somut bir temsilcisi olarak değerlendirilebilir. Selçuklu hipostil plan düzeninin Osmanlı mimarisine aktarılması, Ulu cami gibi yapıların işlevselliği ve estetik tasarımı bir araya getirme konusundaki başarısını gözler önüne sermektedir. Bu durum, Ulu cami'nin mimari geleneklerin sürdürülebilirliği konusundaki önemini vurgulamaktadır.

Restorasyon süreçlerinin incelenmesi, Sivas Ulu camisi'nin yalnızca tarihsel özelliklerini değil, aynı zamanda fiziksel bütünlüğünü koruma açısından da başarıyla sürdürüldüğünü göstermektedir. Restorasyon çalışmaları sırasında geleneksel malzeme ve tekniklerin modern yaklaşımlarla dengelenmesi, yapının hem dayanıklılığını hem de estetik değerlerini güçlendirmiştir. Özellikle ahşap elemanların çürümeye karşı güçlendirilmesi ve taş işçiliğinde bozulmaların onarılması, restorasyon süreçlerinin temel başarıları arasında yer almıştır. Bununla birlikte, modern müdahalelerin orijinal dokuyla uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi, tarihsel hassasiyetin korunması açısından kritik bir önem taşımaktadır.

Sonuçlar, Sivas Ulu camisi'nin korunmasının yalnızca fiziksel bir yapı olarak değerlendirilmemesi gerektiğini, aynı zamanda kültürel bilincin artırılmasına yönelik bir araç olarak da işlev gördüğünü göstermektedir. Yerel halkın tarihi yapılar konusunda bilinçlendirilmesi, bu yapıların yalnızca tarihi birer anıt olarak değil, toplumsal kimliğin ve kültürel mirasın bir parçası olarak görülmesini sağlamaktadır. Eğitici programlar ve bilinçlendirme kampanyaları, tarihi mirasın korunması ve sürdürülebilirliği için güçlü bir temel oluşturmaktadır.

Sivas Ulu camisi'nin kültürel süreklilik bağlamındaki rolü, geçmiş ve gelecek arasındaki bağlantıyı temsil eden bir yapı olarak öne çıkmaktadır. Yapının estetik ve yapısal özelliklerinin korunması, yalnızca tarihi mirasın aktarılması açısından değil, aynı zamanda mimarlık tarihine ve kültürel değerlere katkı sağlama bakımından da büyük bir önem taşımaktadır. Gelecekteki koruma çalışmalarının yenilikçi yöntemlerle desteklenmesi, yapının tarihi, estetik ve kültürel önemini daha da güçlendirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, Sivas Ulu cami'si, mimarlık tarihinin sürekliliği ve kültürel mirasın korunmasında bir model niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Akan, A. E., Başok, G. ., Er, A., Örmecioğlu, H. T., Koçak, S. Z., Cosgun, T., ... & Sayin, B. (2021). Seismic evaluation of a renovated wooden hypostyle structure: A case study on a mosque designed with the combination of Asian and Byzantine styles in the Seljuk era (14th century AD). *Journal of Building Engineering*, 43, 103112.

Akboy-İlk, S. (2023). The Ideological Background to Architectural Restoration in Turkey (1920s–1960s). *Turkish Historical Review*, 14(1), 95-129.

Bakırer, A. Ö. (2017). Reflections of the “naked brick style” in Seljuk Anatolia. *Selçuklu Medeniyeti Araştırmaları Dergisi*, (2), 193-225.

Bakırer, Ö. (1980). A study on the use of brickbonds in Anatolian Seljuk architecture.

Blessing, P. (Ed.). (2017). *Architecture and Landscape in Medieval Anatolia, 1100-1500*. Edinburgh University Press.

DISLI, G. (2018). Analysis of ancient ventilation and illumination practices in Anatolian Seljuk and Ottoman hospitals and suggestions for their conservation measures. *Heritage Architecture Studies*, 181-192.

Durhan, G. (2022). Mantıksal Akıl Yürütmede Önyargı ve Yanılgılar. *Mantık Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 6-23.

Erbudak, M. (2022). The Origins of Seljuk Ornamental Art in Anatolia.

Gülaçtı, N., & Altınkılıç, A. E. (2017). The Mosques As An Aesthetic Factor From Anatolia To The Balkans And The Economic Dimension Of Interior Arrangements. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 346-362.

Köycü, M. L. (2024). *Seljuk Architecture in Representation and Use: From the Late Ottoman Empire to the Early Turkish Republic* (Doctoral dissertation, Middle East Technical University (Turkey)).

Kürköğlu, S. S. (2020). Alevi ve Bektaşı Kültürünün Deryası Kısas ve Yaşayan Bir Usta: Açık Sefâi. *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Velî Araştırma Dergisi*, (96), 459-490.

McClary, R. P. (2017). Craftsmen in medieval Anatolia: methods and mobility.

Peacock, A. C., & Yildiz, S. N. (Eds.). (2012). *The Seljuks of Anatolia: Court and society in the medieval Middle East*. Bloomsbury Publishing.

Rogers, J. M. (1969). Recent Work on Seljuk Anatolia. *Kunst des Orients*, 6(H. 2), 134-169.

Saoud, R. (2003). Muslim Architecture under Seljuk Patronage (1038-1327). *Foundation for Science, Technology, and Civilization (FSTC)*. <http://www.Muslimheritage.Com/features/default.Cfm>.

Tunçoku, S. S. (1993). *The restoration project of a xIIIth century Anatolian Seljuk Mescid in Konya with the emphasis on the materials and related problems* (Master's thesis, Middle East Technical University).

Yenice, T. K. (2020). The conservation and restoration performances under Seljuk Architectural Patronage. *Journal of Human Sciences*, 17(1), 21-31.

Yuksel, M., Kasal, A., Erdil, Y. Z., Acar, M., & Diler, H. (2014). A Review of Basic Interior Design Elements In Mosques From Seljuk And Ottoman Periods. In *VII. International Conference Innovations in Forest Industrial and Engineering Design (INNO 2014), Sofia, Bulgaria*.

Ögel, S. (2008). The Seljuk face of Anatolia: aspects of the social and intellectual history of Seljuk architecture. *Foundation for Science, Technology and Civilization*, (842).

Xu, Z., & Zou, D. (2022). Big data analysis research on the deep integration of intangible cultural heritage inheritance and art design education in colleges and universities. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 1172405.

Görsel Kaynakça

Görsel 1. https://tr.wikipedia.org/wiki/Sivas_Ulu_Camii, Erişim Tarihi: 31.12.2024EXTENDED



BÖLÜM

7

YABANCI UYRUKLU ÖĞRENCİLERİN MİMARLIK EĞİTİMİNE BAKIŞ AÇISI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME: SİİRT ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Nur Selcen KARAASLAN¹

¹ Nur Selcen KARAASLAN, Dr. Öğr. Üyesi, Siirt Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 0000 0003-2912-6005

GİRİŞ

Mimarlık eğitimi, öğrencilere mesleki yetkinlik kazandırmayı hedefleyen çok boyutlu bir süreçtir. Bu süreçte tasarım dersleri ağırlıklı olmakla birlikte, mimarlık tarihi, yapı bilgisi ve restorasyon gibi çeşitli alanlarda teorik ve uygulamalı dersler de yer almaktadır. Eğitim süreci boyunca öğrenciler hem öğretmenleriyle hem de sınıf arkadaşlarıyla sürekli etkileşim halindedir. Özellikle tasarım stüdyoları, bu etkileşimin merkezinde yer almakta ve yabancı uyruklu öğrencilerin bu ortama entegre olabilmesi hem akademik başarıları hem de sosyal uyumları açısından büyük önem taşımaktadır.

Tasarım eğitimi, öğrencilerin deneyimlerini zenginleştirirken, aynı zamanda eleştirel düşünme becerilerini geliştirmelerine katkı sağlamaktadır. Bu tür bir eğitim modeli, bireylerin öğrenme süreçlerine aktif olarak katılmalarına, düşüncelerini somutlaştırmalarına ve kendi öğrenme stratejilerini geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Dewey, 1916). Dilnot'a (2013) göre, tasarım eğitimi yaratıcı düşüncüyü teşvik eden bir ortam sunarken aynı zamanda çok sayıda disiplini bir araya getirme potansiyeline sahiptir. Mimarlık eğitimi, bu yönüyle yalnızca teknik bilgi aktarımı değil, aynı zamanda kişisel gelişime katkı sunan bir yapıya sahiptir. Bu noktada, öğretmenlerin bilgi aktarım biçimi ve kullandıkları pedagojik yöntemler kritik bir rol üstlenmektedir (Dilnot, 2013).

Eğitmenler, öğrencilerin problem çözme yetkinliklerini geliştirerek yaratıcı ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirmelerini teşvik etmektedir. Bu bağlamda stüdyo ortamı, ortak üretim ve iş birliğine dayalı öğrenmeyi destekleyen önemli bir öğrenme alanı sunmaktadır (Demirbaş, Eranlı 2023). Mimarlık eğitiminin özgün yapısı ise onu diğer mesleki eğitimlerden ayırmaktadır. Lise sonrası doğrudan bu eğitime başlayan öğrenciler, çoğu zaman mesleğe ve eğitim yöntemlerine dair yeterli bilgiye sahip olmadıkları için uyum sürecinde zorluklar yaşayabilmektedir. Bu durum, özellikle yapı ve tasarım gibi teknik derslerde daha belirgin hale gelmektedir (Parlak Biçer vd., 2018). Kostof'un (1986) belirttiği gibi, mimarlık okulları yalnızca uygulama becerileri değil, aynı zamanda eleştirel düşüncüyü destekleyen teorik bir altyapı da kazandırmalıdır (Kostof, 1986).

Mimarlık eğitimi, kendine özgü yapısı nedeniyle öğrencilerin alışık olmadığı bir öğrenme modeli sunmaktadır. Bu yönüyle, farklı ülkelerden gelen öğrenciler için bu sürece uyum sağlamak daha da karmaşık hale gelebilmektedir. Türkiye'deki mimarlık fakülteleri hem yurtiçi hem de yurtdışı üniversitelerle çeşitli değişim programları yürütmektedir. Ayrıca, yeterlilik sağlayan yabancı uyruklu öğrenciler,

mimarlık eğitimine birinci sınıftan başlayarak mezuniyete kadar eğitim alma hakkına sahiptir.

Coğrafi konumu itibarıyla Türkiye, doğu ve batı arasında kültürel bir köprü niteliğindedir. Bu nedenle farklı kültürlerden, inançlardan ve yaşam tarzlarından bireylerin bir arada bulunması doğal bir durumdur. Türkiye, yabancı uyruklu öğrenciler için hem tanıdık unsurlar sunmakta hem de kültürel çeşitliliğin sağladığı deneyim olanakları yaratmaktadır. Bununla birlikte, bu çeşitlilik zaman zaman kültürel çatışmaları da beraberinde getirebilmektedir (Huntington, 1996). Yabancı bir ülkede öğrenim görmek, toplum yapısı, eğitim sistemi ve iklim gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı zorluklar içerebilmektedir (Dorozhkin, Mazitova, 2008). Öğrenci hareketliliği, çoğunlukla gelişmekte olan ülkelerden gelişmiş ülkelere yönelmekte ve bu süreçte uyumun sağlanabilmesi için uygun akademik ve sosyal koşulların sunulması gerekmektedir (Kumar, 2008). Özellikle birçok bilgi alanından beslenen, kendine has eğitim farklılıkları olan mimarlık eğitimi için öğrenimi ve sonrasında üretimi verimli hale getirecek yöntemlerin uygulanması önemlidir.

Son yıllarda Türkiye'de mimarlık eğitimi alan yabancı uyruklu öğrenci sayısında belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Hatta bazı fakültelerde bu öğrencilerin sayısı yerli öğrencilerin sayısını aşmaktadır. Bu durum, mimarlık alanında yabancı uyruklu öğrencilerin yaşadığı deneyimlerin incelenmesini gerekli kılmıştır. Dil bariyerleri, öğretim üyeleri ve öğrenciler arasında yaşanan iletişim sorunları, kültürel farklılıklardan kaynaklanan anlaşmazlıklar bu çalışmanın temel sorun alanlarını oluşturmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın amacı, Türkiye'de mimarlık eğitimi alan yabancı uyruklu öğrencilerin eğitim süreçlerindeki deneyimlerini, karşılaştıkları akademik, sosyal ve kültürel güçlükleri ve mimarlık eğitiminin yapısal özelliklerine ne ölçüde uyum sağladıklarını değerlendirmektir. Disiplinler arası yapısı ve stüdyo merkezli öğrenme modeli ile mimarlık eğitimi, farklı dil ve kültürel arka planlardan gelen öğrenciler için hem fırsatlar hem de çeşitli zorluklar sunmaktadır. Bu doğrultuda araştırma, öğrencilerin mimarlık eğitimine dair algılarını, karşılaştıkları engelleri ve süreci kolaylaştıran ya da zorlaştıran etmenleri analiz etmeyi hedeflemektedir. Çalışmada Siirt Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde eğitim alan yabancı uyruklu öğrencilere uygulanan anket ile, öğrencilerin demografik bilgileri, mimarlık bölümü hakkındaki beklentileri ve karşılanma düzeyi, aldıkları eğitim neticesinde memnuniyet durumları hakkında bir sorgulama yapılmaktadır. Çalışma sonunda,

yabancı uyruklu öğrencilerin eğitim sürecine daha etkili biçimde entegre olabilmelerine yönelik yapısal ve pedagojik çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmaktadır.

MİMARLIK EĞİTİMİ VE TÜRKİYE'DE ULUSAL YETERLİLİKLER

Mimarlık eğitimi, diğer birçok mesleki eğitim programına kıyasla kendine özgü bir yapı sergilemektedir. Özellikle öğrencilerin lise eğitimi sonrasında doğrudan bu alana geçiş yapmaları, mesleğe ve eğitim sürecine ilişkin yeterli bilgiye sahip olmamaları nedeniyle, bu alanla ilk karşılaşmalarında çeşitli uyum sorunları yaşamalarına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle programın ilk yıllarında verilen yapı bilgisi ve tasarım derslerinin kavranmasını daha karmaşık hale getirebilmektedir (Parlak Biçer vd., 2018).

Mimarlık disiplini, teknik bilgiyle estetik anlayışın birleştiği bir alan olarak tanımlanabilir. Tasarım, kuramsal çerçeve ve uygulamanın bir araya geldiği bu eğitim modeli, tarihsel süreç içerisinde kentsel ihtiyaçlar ve toplumsal yapıların değişimiyle şekillenmiştir. Mimar figürünün ortaya çıkışı, M.Ö. 3000 yıllarında kentleşmeyle beraber belirginleşmiş; ancak mimarlığın meslek olarak tanımlanması ve eğitiminin kurumsallaşması çok daha sonra gerçekleşmiştir. 1671 yılında Fransa'da kurulan Royal Academy of Architecture, mimarlık eğitime yönelik ilk kurumsal adım olarak kabul edilmektedir. Ardından 1797 yılında yine Fransa'da açılan Ecole des Beaux-Arts, mimarlık eğitimi sistematüğinde klasik dönem eserlerinin (Yunan, Roma, Rönesans, Barok) yeniden yorumlandığı, gelenekselci bir yaklaşımı benimsemiştir (Draper, 1977). Bu anlayış, 20. yüzyılın başlarına dek pek çok ülkede etkili olmuştur. İngiltere'de 1847 yılında kurulan Architectural Association (Mimarlık Derneği) ile ABD'de 1865'te kurulan Massachusetts Institute of Technology (MIT), mimarlık eğitime erken katkı sunan kurumlardan bazılarıdır (Architectural Association, 2012; MIT, 2012). Geçmişten günümüze bu okullarda olduğu gibi diğer mimarlık eğitimi gerçekleştiren okullarda da tasarım ve yapı stüdyolarında benzer eğitimler verilmektedir (Şekil 1, 2). Ancak yalnızca alana ilişkin uygulama ve teorik bilgi becerinin kazandırılması yeterli olmamaktadır. Mimarlık eğitimindeki süreçte meslek ahlakı ve yaşam görüşünün geliştirilmesi de hedeflenmektedir (Bal Amir, 1992).



*Şekil 1. Mimarlık Stüdyosu
(URL1, 2011)*



*Şekil 2. Mimarlık Okulu (URL2,
2011)*

Mimarlık eğitiminin temel hedeflerinden biri, öğrencilere analitik düşünme, problem tanımlama, çözüm üretme ve değerlendirme becerileri kazandırmaktır. Ayrıca, mezuniyet sonrası uzmanlık alanlarına yönelik bilgi ve becerilerin edinilmesini sağlamak da bu eğitimin bir parçasıdır (Erkman, 1992).

Yoğun öğrenim sürecine sahip olan mimarlık eğitiminde süre ülkelere göre farklılaşmaktadır. Mimarlık eğitiminin süresi ve yapısı ülkelere göre çeşitlilik göstermektedir. Avrupa ülkelerinde lisans süresi genellikle 4 ile 6 yıl arasında değişmekte; ardından yaklaşık 2 yıllık bir yüksek lisans süreci ile öğrenciler mesleki yetki kazanmaktadır. Kuzey Amerika’da ise 5 yıllık lisans eğitiminden sonra 2-3 yıllık zorunlu staj yapılmaktadır (Nalçakan ve Polatoğlu, 2008). Türkiye’de ise mimarlık lisans programı 4 yıl sürmekte ve mezunlar doğrudan mesleki yeterlilik elde etmektedir. Ancak mimarlık, sadece diploma ile sınırlı olmayan, yaşam boyu süren bir öğrenme alanıdır (Esin, 2014). Ülkemizde 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli yaşanan deprem felaketinin ardından “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”nde değişiklik yapılmıştır. Bu kapsamda, yeni mezun mimarların; nüfusu 50 binden fazla olan belediyelerde yapılan işlerde, en az 5 yıl mesleki deneyim sahibi olması, toplamda en az 10.000 m² yapı alanı ve en az 4 farklı yapının projelendirilmesine aktif katılım şartları aranmaktadır (mimarist, 2023). Bu nedenle uygulamalı ve kuramsal bilgi dengesi gözetilerek öğrencilere tasarım süreçlerine yönelik düşünme sistematigi kazandırılması hedeflenmektedir (İnceoğlu ve İnceoğlu, 2014). (Şekil 3).



Şekil 3. Mimarlık Eğitimi Grup Çalışması (URL3, 2022)

Uluslararası Mimarlık Birlikleri Birliği (UIA) tarafından yayımlanan “UIA ve Mimarlık Eğitimi: Düşünceler ve Tavsiyeler” adlı belgede, mimarlık eğitiminin; farklı disiplinlerden beslenmesi, yaratıcı yaklaşımlar geliştirmesi ve mimarlık ile tasarıma özgü yöntemler üretmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aynı belgede, sosyal ve teknolojik değişimlerin getirdiği talepler doğrultusunda yeniliklerin desteklenmesi ve araştırmalarla beslenmesi gerektiği ifade edilmektedir (URL4, 2015).

Amerika’daki en eski akreditasyon kurumu olan NAAB (National Architectural Accrediting Board, Ulusal Mimarlık Akreditasyon Kurulu), mimarlık öğrencilerinin sahip olması gereken yeterlilikleri beş ana başlık altında toplamaktadır: eleştirel düşünme ve ifade, yapı teknolojileri, teknik bilgi, entegre tasarım çözümleri ve meslek pratiği (URL5, 2015). Benzer şekilde UNESCO’nun (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü, 2023) düzenlediği uluslararası bir kurultayda mimarlık eğitiminin amaçları; teknik ve estetik yeterlilikleri harmanlama, mimarlık tarihi ve beşerî bilimlerde derinleşme, güzel sanatlarla olan ilişkileri kavrama, kent planlaması ve tasarım süreçlerine hâkim olma, yapı ve çevreyi insan odaklı düzenleyebilme, toplumsal sorumluluk geliştirme ve mühendislik sorunlarına çözüm üretebilme şeklinde tanımlanmıştır (UNESCO, 2023).

Türkiye’de mimarlık eğitiminin amaçları arasında; öğrencilerin araştırma yapma, kendini ifade etme, eleştiriye açık olma, fikir üretme ve düzenleme yetilerini geliştirme yer almaktadır. Ayrıca, her mimarlık öğrencisinin teknolojiye hâkim, yaratıcı, sosyal bilimlerle etkileşimli ve güçlü bir kuramsal altyapıya sahip olması hedeflenmektedir (Nalçakan ve Polatoğlu, 2008).

Bu kapsamda, Türkiye’de mimarlık eğitim programlarının kalitesini artırmak amacıyla Mimarlık Akreditasyon Kurulu (MİAK) kurulmuştur. MİAK, mimarlık mesleğinin gelişimini destekleyecek nitelikte bir eğitim sisteminin oluşturulması ve resmi kurumlarla iş birliği içinde değerlendirme ve öneriler sunulması için faaliyet göstermektedir (URL6, 2024) (Şekil 4). MİAK, mimarlık öğrencilerinin kazanması gereken yeterlilik alanlarını beş temel başlık altında toplamıştır: Tasarım/Yaratıcı Düşünme, Tarih/Kuram, Kültür/Sanat, Çevre/Kent/Toplum, Teknoloji ve Mesleki Uygulama (URL7, 2015). Her bir başlık altında bilgi, beceri ve yetkinlikler tanımlanmakta ve öğrencilere kazandırılması önerilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de mimarlık eğitimi alan yabancı uyruklu öğrencilerin deneyimlerini kapsamlı biçimde değerlendirebilmek amacıyla, mevcut akreditasyon ölçütleri doğrultusunda bazı başlıkların ayrıntılı şekilde ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Öğrencilerin demografik özelliklerinin ötesinde, mimarlık alanını tercih etme gerekçeleri, eğitim sürecinde karşılaştıkları akademik ve sosyal güçlükler ile öğrenme ortamına ne düzeyde uyum sağladıkları hakkında bilgi edinmek, araştırmanın kapsamını genişleten unsurlar arasındadır.

MİAK-MAK

AKREDİTASYON KOŞULLARI

- ▶ **1. PROGRAMLA İLGİLİ GENEL BİLGİ**
 - ▶ **1.1. Programın Bağlı Olduğu Kurum**
 - 1.1.1. Kurumun Genel Özellikleri ve Tarihçesi
 - 1.1.2. Kurumun Misyonu ve Vizyonu
 - ▶ **1.2. Programın Genel Özellikleri**
 - 1.2.1. Programın Tarihçesi
 - 1.2.2. Programın Misyonu ve Vizyonu
 - ▶ **1.3. Program-Kurum İlişkisi**
 - ▶ **1.4. Program Özdeğerlendirme Çalışmaları**
 - ▶ **1.5. İlerlemelerle İlgili Rapor ve Ziyaret Takımı’nın Bulgularına Yönelik Yanıtlar**
 - ▶ **1.6. Programın Yaklaşımı**
 - 1.6.1. Mimarlık Eğitimi ve Akademik Kapsam
 - 1.6.2. Mimarlık Eğitimi ve Öğrenciler
 - 1.6.3. Mimarlık Eğitimi ve Meslek Ortamı
 - 1.6.4. Mimarlık Eğitimi ve Toplum
 - ▶ **1.7. İnsan Kaynakları**
 - 1.7.1. Öğretim Elemanları
 - 1.7.2. Öğrenciler
 - 1.7.3. İdari Kadro
 - ▶ **1.8. Öğrenme Ortamına İlişkin Kaynaklar**
 - 1.8.1. Fiziksel Kaynaklar
 - 1.8.2. Bilgi Kaynakları
 - ▶ **1.9. Mali Kaynaklar**
- ▶ **2. PROGRAMIN EĞİTİM VE ÖĞRENİM ÖZELLİKLERİ**
 - ▶ **2.1. Eğitim Dereceleri ve Müfredat**
 - ▶ **2.2. Öğrenme Ortamı ve Başarı Düzeyi**
 - ▶ **2.3. Öğrenme Kültürü**
 - ▶ **2.4. Mezunun Kazanması Gereken Bilgi, Beceri ve Yetkinlikler**

Şekil 4. MİAK-MAK Akreditasyon Koşulları

Bununla birlikte, öğrencilerin mimarlık eğitiminin farklı yeterlilik alanlarında tasarım, kuramsal altyapı, teknolojik bilgi, çevre ve kent bilinci, mesleki uygulama vb. gibi kendilerini nasıl konumlandıkları; ayrıca karşılaştıkları dil, kültür ve öğretim yöntemlerine ilişkin güçlükleri nasıl algıladıkları da incelenmesi gereken temel boyutlardandır.

Aynı zamanda, mimarlık eğitiminin uluslararası öğrencilere ne derece yapısal olarak cevap verebildiğini irdelemek ve kültürlerarası etkileşim zemininde geliştirilebilecek öğrenme ortamlarına yönelik öneriler sunmak hem kurumsal iyileştirme açısından hem de yabancı uyruklu öğrencilerin öğrenim deneyimlerine çok katmanlı bir bakış açısı kazandırmak açısından önem taşımaktadır.

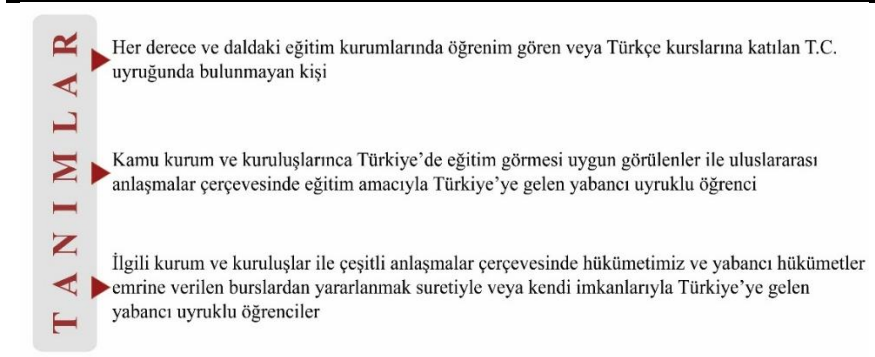
Mimarlık Eğitiminde Yabancı Uyruklu Öğrenciler

Mimarlık eğitimi, yalnızca evrensel standartlara uygunluğu değil, aynı zamanda bulunduğu coğrafyanın kültürel, toplumsal ve mekânsal dinamiklerini gözetmeyi gerektiren çok yönlü bir süreçtir. Türkiye’de mimarlık eğitimi programlarının temel amacı, öğrencilere ulusal yeterlilikler doğrultusunda mesleki donanım kazandırmakla birlikte, onların uluslararası düzeyde etkin olabilecek bilgi, beceri ve yetkinliklerle mezun olmalarını sağlamaktır. Ayrıca bu eğitim, mezunların hem sektörün ihtiyaçlarına hem de toplumun beklentilerine yanıt verebilecek profesyonel niteliklerle donatılmalarını hedeflemektedir. Türkiye’deki bazı mimarlık fakültelerinde yabancı uyruklu öğrencilerin kabul edilmesiyle birlikte, bu öğrencilerin eğitim sürecine dâhil edilmeleri ve mezuniyet sonrası entegrasyonları ayrı bir önem taşımaktadır.

“Yabancı uyruklu öğrenci” kavramı, farklı ülkeler ve kurumlar açısından çeşitli biçimlerde tanımlanmıştır. Bu bağlamda, kimi kaynaklarda “uluslararası öğrenci”, “yabancı öğrenci” ya da “misafir öğrenci” gibi terimlerle karşılaşılmaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-Operation and Development, OECD), bu ayrımı daha net biçimde yaparak “yabancı öğrenci”yi eğitim amacıyla başka bir ülkeye gidip uzun süreli oturum iznine sahip birey olarak tanımlarken; “uluslararası öğrenci”yi ise vize veya özel izinle kendi ülkesinin dışında, akredite edilmiş bir programda eğitim alma hakkına sahip birey olarak tanımlamaktadır (OECD, 2013).

Türkiye’de ise bu kavrama dair ilk resmi tanım, 1985 yılında yürürlüğe giren “Türkiye’de Öğrenim Gören Yabancı Uyruklu Öğrencilere İlişkin Yönetmelik”te yer almış ve Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olmayan, her derece ve alandaki eğitim kurumlarında öğrenim gören ya da Türkçe kurslarına katılan bireyleri kapsamıştır. 2010 yılında kabul edilen

“Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanun”da ise yabancı uyruklu öğrenci, kamu kurumları tarafından Türkiye’de eğitim görmesi uygun görülen ve uluslararası anlaşmalar kapsamında ülkeye gelen öğrenciler olarak tanımlanmıştır (Kadioğlu ve Özer, 2015). Öte yandan, 1983 tarihli ilgili mevzuatta bu kavrama ilişkin doğrudan bir tanım yapılmasa da çeşitli protokoller doğrultusunda burs kazanan ya da kendi imkânlarıyla Türkiye’ye gelen öğrenciler bu kapsam içinde değerlendirilmiştir (Mevzuat, 1983) (Şekil 5).



Şekil 5. Yabancı Uyruklu Öğrenci Tanımları(OEDEC (2013 ve Mevzuat (1983) kaynaklarından yazar tarafından üretilmiştir.

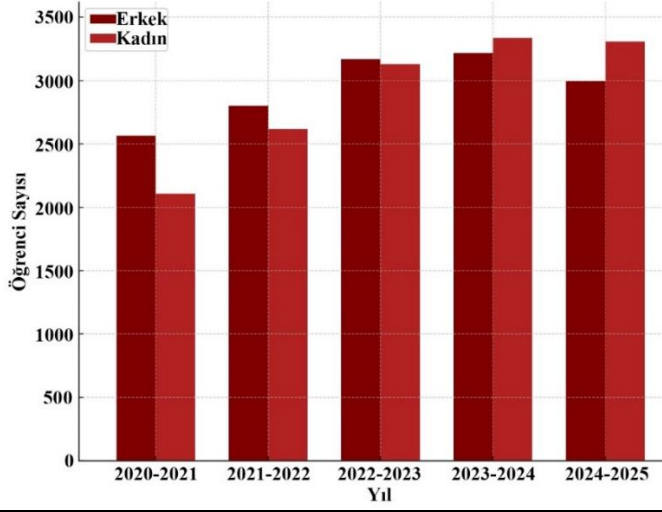
Türkiye’de yükseköğretim kurumları, yabancı uyruklu öğrenci kabulünde farklı yöntemler uygulamaktadır. Bu yöntemler arasında üniversitelerin kendi gerçekleştirdiği sınavlar, uluslararası geçerliliği olan sınavlar ve denklik belgeleri yer almaktadır. 21 Ocak 2010 tarihli Yükseköğretim Genel Kurulu toplantısında alınan kararla, 2010-2011 eğitim-öğretim yılından itibaren merkezi olarak uygulanan Yabancı Uyruklu Öğrenci Sınavı’nın (YÖS) kaldırılmasına ve her üniversitenin kendi sınav ve değerlendirme sistemini oluşturmaya karar verilmiştir. Buna göre, Türkiye’de ön lisans veya lisans eğitimi almak isteyen yabancı uyruklu öğrencilerin, bir ortaöğretim kurumundan mezun olmaları ve başvurdukları üniversitelerce belirlenen, Yükseköğretim Kurulu tarafından da onaylanan sınav türleri ve puan koşullarını karşılamaları beklenmektedir. Adaylar, gerekli belgelerle birlikte doğrudan üniversitelere başvurarak başvuru sürecini tamamlamaktadır. Fakat 2023 itibarıyla TR-YÖS olarak sınav yapılmaya başlanmıştır. (URL8, 2024).

Yabancı uyruklu öğrencilerin kayıt işlemleri tamamlandıktan sonra yeni akademik çevreye ve sosyal yaşama uyum sağlama süreçleri başlamaktadır. Bu uyum süreci; öğrencinin geldiği ülkenin kültürel yapısı, dil yeterliliği, yaşam tarzı ile bireysel özellikleri ve sosyal çevrenin yaklaşımları gibi birçok değişkenden etkilenmektedir. Özellikle mimarlık

eğitimi gibi yoğun etkileşim ve üretim odaklı bir programda, sosyal uyumun başarılması, akademik uyumu doğrudan etkilemektedir. Toplumsal normlara göre davranma eğiliminde olan bireyler, çevreyle olan ilişkilerini bu doğrultuda şekillendirirler. Ancak her bireyin kişilik yapısı farklı olduğu için bu uyum süreci kişiden kişiye değışmekte ve zaman zaman zorluklarla karşılaşılabilir. Bu nedenle, bireylerin içinde bulundukları sosyal yapıya entegre olabilmeleri için daha fazla çaba göstermeleri gerekebilmektedir.

Sosyal uyum, bireyin çevresiyle kurduğu karşılıklı ilişkilere dayalı bir süreçtir (Weissman ve Paykel, 1974). Bireyin kimliği, alışık olduğu sosyal ortamlardaki rollerle desteklenirken; yeni bir toplumsal yapıya geçildiğinde bu rollerin yerini belirsiz ve yeniden tanımlanması gereken roller alır. Bu durum, bireyin geçmişteki öz-kavramıyla çelişen yeni sosyal roller geliştirmesine neden olurken, beraberinde zihinsel yorgunluk ve stres gibi psikolojik yükleri de getirebilir (Byrness, 1966). Mimarlık eğitiminin yoğun ve çoğu zaman stresli atmosferi göz önünde bulundurulduğunda, bu sürece erken dönemde uyum sağlamak, öğrencinin hem akademik performansı hem de kişisel gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır.

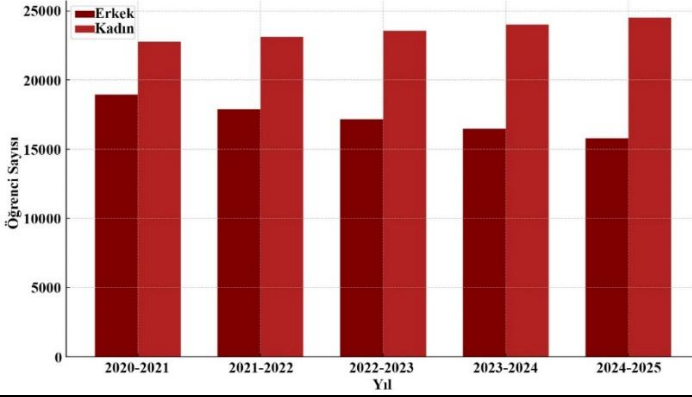
Yükseköğretim Bilgi Yönetim Sistemi verilerine göre, Türkiye'deki mimarlık fakültelerinde lisans düzeyinde öğrenim gören yabancı uyruklu öğrenci sayısı yıllar içerisinde artış göstermektedir (URL9, 2025). Son beş yıllık verilere bakıldığında, 2020-2021 döneminde 2.565 erkek ve 2108 kız öğrenci, 2021-2022'de 2801 erkek ve 2.618 kız öğrenci, 2022-2023'te 3.169 erkek ve 3.131 kız öğrenci, 2023-2024'te 3216 erkek ve 3.337 kız öğrenci, 2024-2025 döneminde ise 2.994 erkek ve 3.309 kız öğrenci olmak üzere toplamda ciddi bir yabancı uyruklu öğrenci kitlesinin mimarlık eğitimi aldığı görölmektedir.



Şekil 6. Öğretim Düzeyleri ve Birimlere Göre Yabancı Uyruklu Öğrenci Sayıları

2020'den 2025'e uzanan beş yıllık dönemde, Türkiye'deki mimarlık bölümlerinde öğrenim gören yabancı uyruklu öğrencilerin sayılarında cinsiyete dayalı belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Bu dönem boyunca yabancı kadın öğrenci sayıları sürekli olarak yabancı erkek öğrenci sayılarının üzerinde seyretmiş ve aradaki fark kademeli biçimde artmıştır.

Verilere göre, 2020-2021'de mimarlık programlarındaki yabancı uyruklu erkek öğrenci sayısı 18940, kadın öğrenci sayısı ise 22.771 olarak kaydedilmiştir. İzleyen 2021-2022'de erkek öğrenci sayısı hafif bir azalışla 17.879'a gerilerken kadın öğrenci sayısı 23.117'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, 2022-2023'te yabancı erkek öğrenci sayısı 17169'a düşmüş, buna karşılık kadın öğrenci sayısı 23.554'e yükselmiştir. 2023-2024'te erkek öğrenci sayısı 16078'e inerken yabancı kadın öğrenci sayısı 23600 ile incelenen dönemin en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Ancak 2024-2025'te ilk kez kız öğrenci sayısında da düşüş yaşanmış ve bu sayı 22.295'e gerilemiştir; aynı yıl erkek öğrenci sayısı da önceki yıllardaki azalma eğilimine devam ederek 14580 düzeyine inmiştir.



Şekil 7. Öğrenim Düzeyleri ve Birimlere Göre Öğrenci Sayıları

Yabancı uyruklu öğrencilerin mimarlık eğitime ilişkin istatistikler incelendiğinde, 2020-2021 döneminde erkek öğrencilerin sayıca üstün olduğu, ancak 2022-2023 döneminden itibaren kız öğrencilerin sayıca öne geçtiği görülmektedir. 2023-2024 ve 2024-2025 yıllarında ise kız öğrenci sayısı erkek öğrencilere kıyasla daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, kız öğrencilerin mimarlık eğitime yöneliminde artış eğilimi olduğunu göstermektedir.

Son yıllarda mimarlık eğitimi alan kız öğrencilerin sayısında dikkate değer bir artış gözlemlenmektedir. Buna karşılık, erkek öğrenci sayısında düzenli bir azalma eğilimi söz konusudur. 2024-2025 verilerine göre, kız öğrencilerin sayısı yaklaşık 24.500'e ulaşırken, erkek öğrencilerin sayısı 14.500'e kadar gerilemiştir. Bu tablo, mimarlık eğitimi alan yabancı uyruklu öğrenci kitlesi içerisinde kız öğrencilerin baskın hale geldiğini ortaya koymaktadır. Bu istatistik veriler yabancı uyruklu öğrenciler üzerine araştırma yapmayı zorunlu kılmıştır.

Yabancı Uyruklu Öğrencilerin Uyum Süreci

Mimarlık eğitiminde öğrencilerin uyum süreci, yalnızca yurtdışından gelen yabancı uyruklu öğrencileri değil, aynı zamanda yurt içinden farklı kültürel arka planlara sahip bireyleri de etkileyen çok yönlü bir süreçtir. Bu çerçevede, öğrencilerin hem mimarlık bölümüne hem de sosyal çevrelerine entegre olabilmeleri büyük önem taşımaktadır. Dimarco'nun (1971) kültürel uyuma dair çalışmasında, bireylerin farklı bir kültürel ortamla karşılaştıklarında geçirdikleri süreç dört aşamada ele alınmıştır. İlk aşama olan kültür şoku evresinde, bireyler yoğun bir şaşkınlık ve uyumsuzluk hissi yaşarlar. Bunu takip eden savunma ve geri çekilme aşamasında, birey kendi kültürel değerlerini korumaya çalışarak

yeniye reddedebilir. Üçüncü aşama ise bilgi edinme sürecidir; burada kişi yeni kültürü anlamaya ve öğrenmeye başlar. Son olarak, uyum ve dönüşüm evresinde birey, edindiği yeni kültürel değerleri davranışlarına yansıtarak çevresiyle bütünleşir (Dimarco, 1971).

Diğer yandan Devors (2017), psikologların “uyum” kavramını bireyin sosyal ve kişilerarası ilişkilerde değişen koşullara verdiği tepkiler üzerinden değerlendirdiğini belirtmiştir. Bu değişim sürecinin, bireyin kültürel ve kişisel değerlerinde belirli dönüşümler yaratabileceğini ifade eden Devors, çevresel baskıların artması halinde psikolojik sorunların ortaya çıkabileceğine de dikkat çekmektedir (Devors, 2017).

Mimarlık eğitimi bağlamında çevresel faktörlerin büyük kısmını stüdyo ortamı oluşturmaktadır. Bu nedenle, yabancı uyruklu öğrencilerin yalnızca yeni bir kültüre değil, aynı zamanda yeni ve farklı bir öğrenme sistemine de uyum sağlamaları gerekmektedir. Stüdyolar, öğrencilerin aktif olarak üretim yaptığı ve öğrenme sürecine dahil olduğu mekanlar olarak öne çıkmaktadır. Öğrencilerin bu alanları sahiplenmesi ve ders saatleri dışında da kullanmaları, öğrenme sürecinin etkinliğini artırmaktadır. Stüdyo, yalnızca bir üretim alanı değil, aynı zamanda öğrencinin zamanının önemli bir kısmını geçirdiği, “bir nevi ev ve çalışma ortamı” olarak da tanımlanabilmektedir (Cuff, 1992) (Şekil 7, 8). Bu etkileşimli ortamda, yabancı uyruklu öğrencilerin hem akranları hem de öğretim elemanlarıyla sağlıklı bir iletişim kurarak kendilerine uygun bir yer edinmeleri önem arz etmektedir.



Şekil 7. Mimarlık Öğrencileri Çalışma Alanı
(harvard, 2024)



Şekil 8. Mimarlık Jürisi
(re-thinkingthefuture, 2024)

Mimarlık eğitimi gerek içeriği gerekse uygulanma yöntemleri bakımından hem kendi içinde hem de diğer disiplinlerle kıyaslandığında belirgin farklılıklar göstermekte ve bu durum çeşitli tartışmalara zemin hazırlamaktadır. Salama (1995), stüdyo temelli eğitimde yer alan akademisyenlerin öğretim yöntemlerini kişisel düşünce ve inançları

doğrultusunda şekillendirdiğini ve bu yaklaşımın belirli bir sistem içinde kısıtlandığını dile getirmiştir (Salama, 1995). Benzer şekilde Shön (1985), mimarlık eğitimi öğrencilerin ne yapmaları gerektiğini tam olarak bilmeden üretim süreci içerisine dahil oldukları bir öğrenme biçimi olarak tanımlamıştır. Bu bağlamda, çok disiplinli yapısıyla dikkat çeken mimarlık eğitimi içerisinde yabancı uyruklu öğrencilerin hem kuramsal hem de uygulamalı derslerde kendi bireysel öğrenme stratejilerini geliştirerek bu sürece aktif biçimde katılım sağlamaları beklenmektedir (Shön, 1985).

Türkiye’deki mimarlık fakülteleri arasında verilen eğitimin niteliği bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde yer alan mimarlık bölümleri; stüdyo, derslik, sosyal ve mesleki etkinlikler ile öğretim elemanı sayısı bakımından daha donanımlıyken, küçük şehirlerdeki bölümler bu olanaklar açısından sınırlı kalmaktadır. Fiziksel altyapının yetersiz olduğu üniversitelerde ise farklı disiplinlerdeki öğrencilerin aynı bina içinde eğitim görmeleri söz konusu olmakta; bu durum derslik ve stüdyo alanlarının ders saatleri içinde ve dışında etkin şekilde kullanılmasını kısıtlamaktadır. Bu koşullar, ülke genelinde eşit düzeyde ve homojen bir mimarlık eğitimi sunulmasını zorlaştırmaktadır.

Yabancı uyruklu öğrencilerin kabul edildiği mimarlık bölümlerinde ise bu mevcut zorluklara ek olarak dil farklılıkları, kültürel uyum sorunları ve öğrencilerin bulundukları sosyal ortama entegrasyon süreci gibi ek faktörler gündeme gelmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, yabancı uyruklu öğrencilerin mimarlık eğitim sürecine ve öğrenme ortamına uyum sağlarken karşılaştıkları zorlukları tespit etmek ve bu doğrultuda çözüm önerileri geliştirmektir.

YÖNTEM

Bu çalışmada, yabancı uyruklu öğrencilerin mimarlık eğitimindeki uyum süreçleri, bilgi ve beceri kazanımları ele alınmaktadır. Çalışmada, mevcut ve gelecekteki yabancı uyruklu öğrencilerin mimarlık eğitim ortamı ile ilgili algısal düzeyi ölçebilmek amacıyla nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Siirt Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Mimarlık Bölümü’nde eğitim gören yabancı uyruklu öğrencilerin sosyal, ekonomik ve kültürel farklılıkların mimarlık eğitimindeki rolüne etkisinin yanı sıra mimarlık eğitiminden beklentileri ve uyum sağlama durumları katılımcılar tarafından belirlenmiştir.

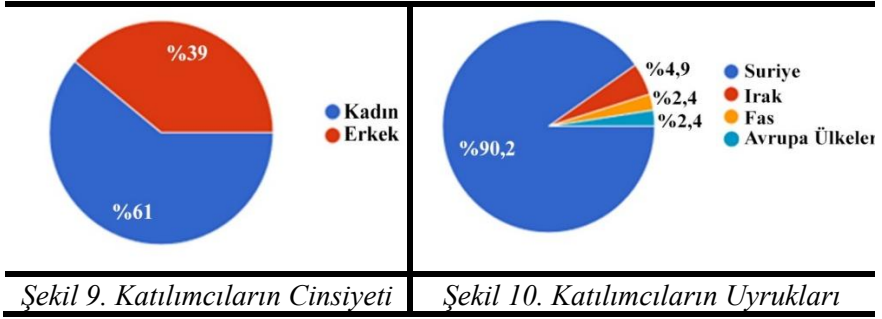
Araştırmaya Siirt Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü’nde 2., 3. ve 4. sınıfta eğitim gören 25 kız ve 16 erkek öğrenci olmak üzere toplamda 41 yabancı uyruklu öğrenci katılmıştır. Araştırma anketine katılım gönüllük esasına dayanmaktadır.

Anket çevrimiçi platformda hazırlanmış ve öğrencilere sunulmuştur. Üç adımdan oluşan anketin birinci adımında katılımcıların demografik bilgilerine dair sorular bulunmaktadır. İkinci adımda katılımcıların mimarlık eğitime başlamadan önceki ve eğitim sürecine ilişkin görüşlerini irdeleyen sorular yer alırken üçüncü aşamada bilgi ve beceri kazanım düzeylerini tarifledikleri öğrenim çıktılarına ilişkin sorular bulunmaktadır.

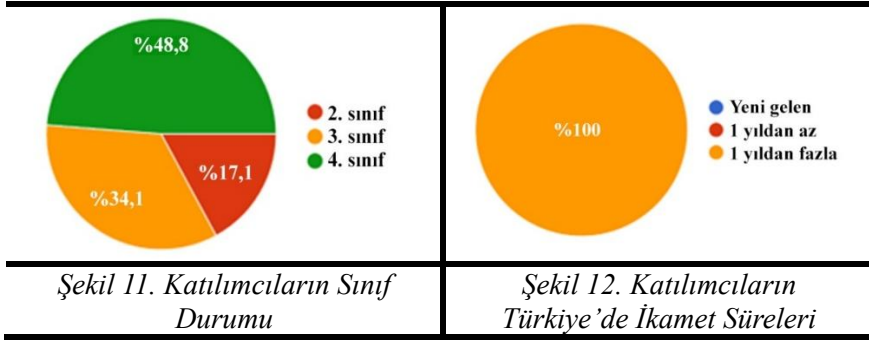
BULGULAR

Siirt Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü öğrencilerine 2024-2025 Eğitim Öğretim Yılı Bahar Dönemi'nde uygulanan ankette 16 soru bulunmaktadır. Bunlardan 1'i açık uçludur. İlk 6 soru katılımcıların kişisel bilgilerine yönelikken sonraki 5 soru mimarlık eğitimi hakkındaki görüşlerine ilişkin sorulardır. Ardından gelen 4 soru öğrenim çıktılarına yönelik olarak ve son soru da açık uçlu olarak düzenlenmiştir.

Katılımcılar toplamda 41 kişi olup %39'u kadın, %61'i erkektir (Şekil 9). Uyruklarına bakıldığında ise yabancı uyruklu öğrencilerin büyük bir kısmının Ortadoğu ülkelerinden geldiği görülmektedir. Suriye'den gelen öğrenciler en fazla paya sahipken Irak, Fas ve Avrupa ülkelerinden de eğitim için gelen öğrenciler vardır (Şekil 10).

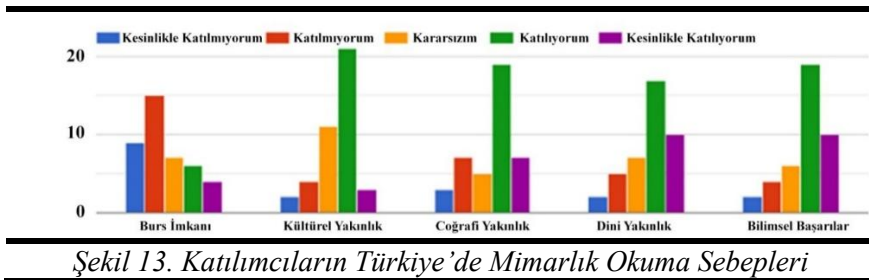


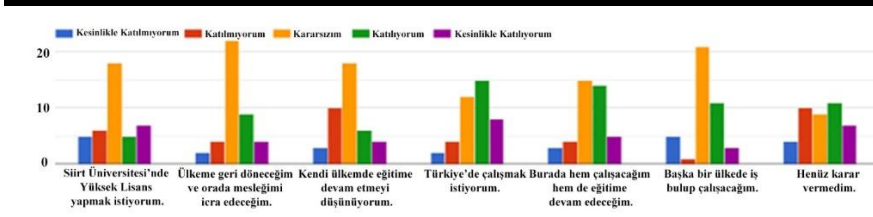
Mimarlık Bölümü'ne yeni kayıt yapılması 2024-2025 Güz Dönemi'nde pasif hale getirildiği için 1. Sınıf öğrencisi bulunmamaktadır. Katılımcıların ise, %17,1'i 2. Sınıf, %34,1'i 2. Sınıf, %48,8'i ise 4. Sınıf öğrencileridir (Şekil 11). Katılımcıların tamamı 1 yıldan fazla süre Türkiye'de ikamet etmektedir (Şekil 12).



Katılımcıların mimarlık eğitimi hakkındaki görüşlerine ilişkin soruların ilki Türkiye’de okuma sebepleri üzerinedir. Bu doğrultuda; katılımcıların %36,5’i burs imkanının etkili olmadığı, %51,2’si kültürel yakınlığın etkili olduğu, %46,3’ü coğrafi yakınlığın etkili olduğu, %41,4’ü dini yakınlığın etkili olduğu, %46,3’ü ise bilimsel başarıların olduğu yönünde görüş sunmuştur (Şekil 13).

Katılımcıların mezuniyet sonraki çalışma hedeflerine yönelik sorular da sorulmuştur. Öğrencilerin %43,9’u “Siirt Üniversitesinde Yüksek Lisans yapmak istiyorum” maddesine, %53,6’sı “Ülkeme geri döneceğim ve orada mesleğimi icra edeceğim.” Maddesine, %43,9’u ise “Kendi ülkemde eğitime devam etmeyi düşünüyorum.” maddesine, %36,5’i “Burada hem çalışacağım hem de eğitime devam edeceğim.” Maddesine, %51,2’si ise “Başka bir ülkede iş bulup çalışacağım.” maddesine kararsızım şeklinde cevap vermiştir. Öğrencilerin %36,5’i “Türkiye’de çalışmak istiyorum.” maddesine katılıyorum şeklinde yanıt vermiştir. “Henüz karar vermedim.” maddesinde ise tüm yanıtların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Şekil 14).

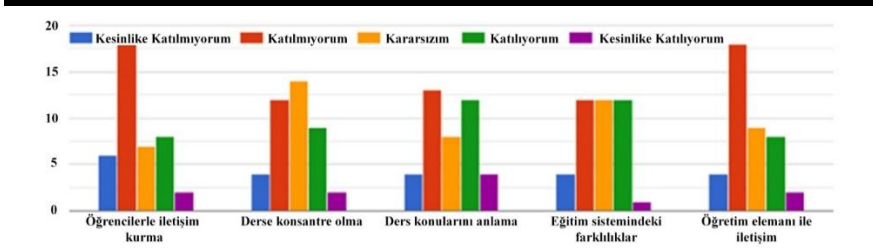




Şekil 14. Katılımcıların Mezuniyet Sonraki Çalışma Hedefleri

Katılımcılara alınan derslerde zorlandıkları konular sorulduğunda ise, %43,9'luk bir oran ile öğrencilerle ve öğretim elemanları ile iletişim kurmakta zorlanılmadığı görülmüştür. Öğrencilerin %34,1'i derste konsantrasyonun zor olduğu konusunda kararsız kalmıştır. %29,2'si ise zor olmadığı yönünde görüş bildirmiştir. Ders konularını anlama ve eğitim sistemindeki farklılıkların eğitimi zorlaştırdığı hakkındaki sorulara ise çok yakın oranda katılıyorum ve katılmıyorum şeklinde cevaplar verilmiştir (Şekil 15).

Öğretim elemanı ile iletişim değerlendirilmesi yönündeki başlıkta ise; öğrencilerin %48,7'si istediğim zaman hocalara ulaştığını ve sorunlarını paylaşabildiğini, %43,9'u hocaları genellikle yardımcı olduğunu ifade etmiştir. %53,6'sı ise hocaların öğrencilerle ilgilenmemeye durumuna katılmadıklarını belirtmiştir (Şekil 16).

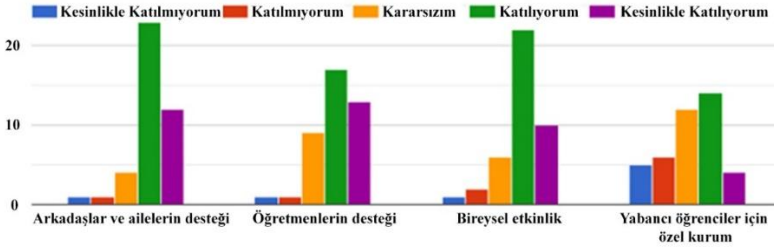


Şekil 15. Alınan Eğitimde Zorlanılan Konular

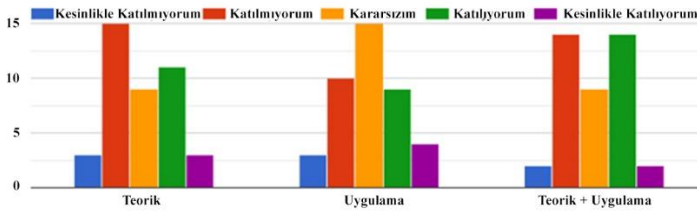


Şekil 16. Öğretim Elemanı ile İletişim Kurma

Katılımcılara uyum sürecinde destek olabilecek kaynaklar sorulduğunda; %56 arkadaş ve ailelerin desteği, %41,4 öğretmenlerin desteği, %53,6 bireysel etkinlikler ve %34,1 ise yabancı öğrenciler için özel kurumların olmasının önemli görüldüğü saptanmıştır (Şekil 17). Öğrencilerin derslerde zorlanma durumları sorgulandığında; %36,5'inin teorik derslerde zorlanmadığı, %36,5'inin uygulamalı derslerin zorluğu konusunda kararsız kaldığı, %34,1'inin ise teorik +uygulamalı derslerde aynı oranda zorlandıkları belirtilmiştir (Şekil 18).



Şekil 17. Uyum Sürecinde Destek Kaynakları



Şekil 18. Derslerde Zorlanma Durumları

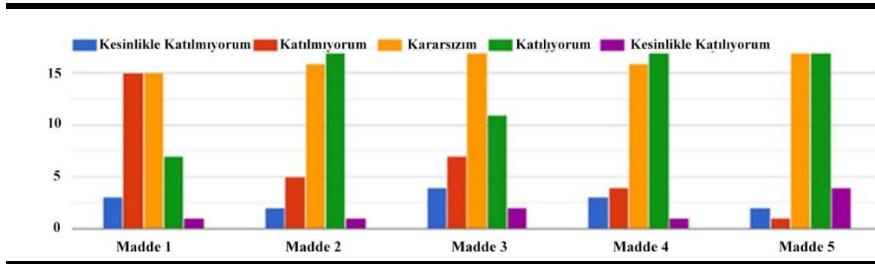
Sınavlarda karşılaşılan sorunlara ilişkin soruda; %36,5'inin sınavlarda herhangi bir sorun yaşamadığı, %58,5'inin göre gözetmen hocaların kaba davranmadığını düşündüğü, dil konusunda sorun yaşama ve soruları anlama durumunda tüm oranlar birbirine çok yakındır. %43,9'unun sınav süresince kaygı yaşamadığı ve sorulara odaklanmakta sorun yaşamadığı, %31,7'sinin açık uçlu soruları cevaplandırırken zorlanma konusunda kararsız kaldığı, %39'unun ise yavaş yazdığı için yetiştireme kaygısı yaşamadığı ifade edilmiştir (Şekil 19).



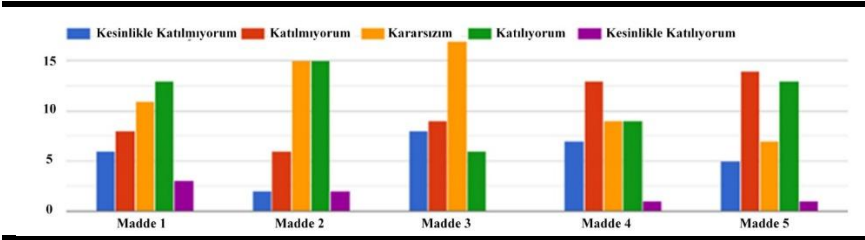
Şekil 19. Sınavlarda Karşılaşılan Sorunlar

Katılımcılara mimarlık eğitimi öğrenim çıktıları doğrultusunda da sorular sorulmuştur. Mimarlık - Tasarım / Yaratıcı Düşünme açısından derecelendirme bağlamında; Madde 1 olarak geçen “Belli sanat üsluplarının ve anlayışlarının en önemli temsilcileri olan sanatçıları tanıırken kültür farklılığı açısından zorlandım.” için %36,5 oranında katılmıyorum ve kararsızım cevabı verilmiştir. Madde 2 olarak geçen “Din, dil, söylence, bilim, felsefe gibi toplumsal kültürel yapıyı oluşturan bileşenlerle sanatsal duyarlılık ve yaratıcılık arasındaki ilişkiler üzerine tartışma ve karşılaştırmalı çözümlemeler yapabildim.” için %41,4 oranında katılıyorum, “Mimari ve kent kültürü mirasının değerini anlama, sahip çıkma ve koruma bilinci kazanırken dil sorunu yaşadım.” içerikli Madde 3 için ise kararsızım cevabı verilmiştir. Madde 4 olarak geçen “Sağlıklı restorasyon; restitüsyon ve rekonstrüksiyon çalışmalarına temel oluşturacak bilgileri kavramam kolay oldu.” ve Madde 5 olarak geçen “Farklı kültür coğrafyalarındaki mimarlık ve sanat geleneklerinin tarihsel gelişimi konusunu kavramamda farklı bir kültüre sahip olmamın avantajını yaşadım.” için %41,4 oranında katılıyorum cevabı verilmiştir (Şekil 20).

Mimarlık - Çevre / Kent / Toplum açısından derecelendirme bağlamında; Madde 1 olarak geçen “İklim bölgelerine uyumlu yapılar ve yapı bileşenleri tasarlamayı öğrenirken dil sorunu yaşadım.” %31,7 oranında katılıyorum yanıtı alırken, Madde 2 olarak geçen “Hem ekonomik hem sağlıklı yapı yapma yöntemlerini kavramam kolay oldu.” ise %36,5 oranında katılıyorum şeklinde cevaplanmıştır. Katılımcıların %41,4’ü, Madde 3 olan “Enerji etkin tasarım prensiplerini uygulamada, enerji tasarrufu ve etkin kullanma önerilerini kavrama zorlandım.” kararsızım şeklinde, Madde 4 olan “Mimarlık ile kent ilişkisini, kentsel yerleşimin gelişimi üzerine tarihsel ve mekânsal özellikleriyle değerlendirmede dil sorunu yaşadım.” İçin ise %31,7 oranında katılmıyorum cevabı verilmiştir. Madde 5 olarak geçen “Açık ve yarı açık alanları peyzaj olarak kurmakta sorun yaşamadım.” için ise %34,1 oranında katılmıyorum olarak yanıtlanmıştır. Fakat %31,7’lik yakın bir oranda katılıyorum şeklinde yanıtlanmıştır (Şekil 21).



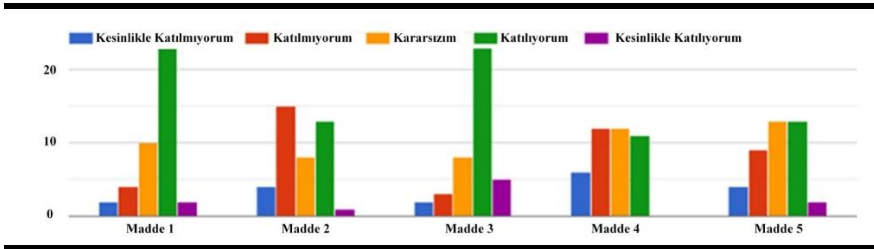
Şekil 20. Mimarlık - Tasarım / Yaratıcı Düşünme Açısından Derecelendirme



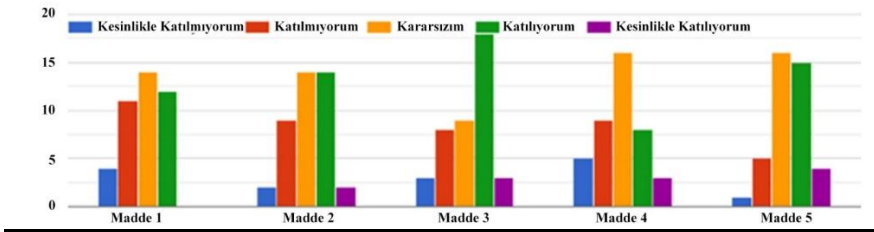
Şekil 21. Mimarlık - Çevre / Kent / Toplum Açısından Derecelendirme

Mimarlık - Teknoloji açısından derecelendirme bağlamında; Madde 1 olan “Yapıyı oluşturan bileşenlerin ve elemanların temel ilkelerini seçme, entegre edebilme ve tasarlama becerisi kazanmam kolay oldu.” ve Madde 3 olan “Temel bilgisayar bilgilerine ilişkin bilgileri anlamam kolay oldu.” İçin katılımcıların %56’sı katılıyorum yanıtını vermiştir. Madde 2 olarak geçen “Malzeme bilgisi ve farklı ölçekte detay çizme becerisi kazanırken dil sorunu yaşadım.” İçin %36,5 oranında katılmıyorum yanıtı verilirken çok yakın bir katılımcı oranı katılıyorum şeklinde cevaplandırmıştır. Madde 4 olan “Bilgisayar ortamında 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak tasarlanan ürünleri sunmak için gerekli bilgiyi öğrenmede dil sorunu yaşadım.” İçin katılımcıların %29,2’si katılmıyorum ve kararsızım yanıtını vermiştir. Yine çok yakın bir katılımcı oranı katılıyorum şeklinde cevaplandırmıştır. Madde 5 olan “Farklı modelleme programlarını öğrenme ve uygulamada sorun yaşamadım.” İçin katılımcıların %31,7’si kararsızım ve katılıyorum olarak yanıt vermiştir (Şekil 22).

Mimarlık - Meslek Ortamı açısından derecelendirme bakımından, Madde 1 olarak geçen “Meslek hayatında gerekli olan sözleşme, şartname vb. prosedürleri öğrenirken kavramları anlamakta zorlandım.” ve Madde 2 olan “Meslek pratiğindeki yasal zorunlulukları öğrenirken sorun yaşamadım.” için katılımcıların %34,1’i kararsızım cevabını vermiştir. Madde 3 olan “Bina yapım ve kullanım maliyetine ilişkin etkenleri öğrenmem sayısal bilgi olduğu için kolay oldu.” için %43,9’u katılıyorum olarak yanıtlamıştır. %39’u ise, Madde 4 olan “Meslek pratiğinde proje takımı ve çok disiplinli ekiplerle iş birliği içinde çalışmaktan çekiniyorum.” ve Madde 5 olarak geçen “Tasarım kararlarımı sözel ve görsel olarak kolayca ifade edebilirim.” için kararsızım yanıtını vermiştir (Şekil 23).



Şekil 22. Mimarlık - Teknoloji Açısından Derecelendirme



Şekil 23. Mimarlık - Meslek Ortamı Açısından Derecelendirme

Mimarlık eğitimi sürecine katılan yabancı uyruklu öğrenciler, sosyal ve akademik açıdan önemli bir uyum kapasitesi sergilemelerine karşın, dil bariyerleri, teknik terminolojiye erişim ve öğrenim stratejileri konusunda destekleyici yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu bulgular, mimarlık fakültelerinde kültürlerarası duyarlılığı önceleyen, pedagojik esneklik sağlayan ve öğrenci merkezli destek mekanizmalarını güçlendiren politikaların gerekliliğine işaret etmektedir.

SONUÇ

Türkiye'deki mimarlık eğitiminin pedagojik ve yapısal yönleri çerçevesinde, yabancı uyruklu öğrencilerin karşılaştıkları güçlükler, uyum süreçleri ve eğitim ortamına katılım dinamikleri literatür temelli bir perspektifle ele alınmıştır. Mimarlık eğitimi, disiplinler arası doğası ve stüdyo merkezli öğretim yöntemiyle diğer meslek eğitimlerinden farklılaşmakta; bu durum, öğrenciler açısından hem özgün bir öğrenme atmosferi hem de çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Bu özgünlük, özellikle farklı dil ve kültürel geçmişe sahip yabancı öğrenciler için çok katmanlı bir uyum sürecine yol açmaktadır.

Araştırma kapsamında ortaya konduğu üzere, mimarlık eğitiminin tasarım temelli yapısı, öğrencilerden yalnızca teknik bilgi değil; yaratıcı düşünce geliştirme, eleştirel bakış açısı kazanma, temsil becerilerini kullanma ve kültürel bağlamları analiz edebilme yetkinlikleri de beklemektedir. Bu nedenle mimarlık eğitimi, yalnızca dil bilgisiyle sınırlı kalmayıp yoğun bir sosyal ve kültürel etkileşim sürecini de içermektedir. Bu etkileşim alanı, özellikle yabancı uyruklu öğrencilerin

öğrenme deneyimlerini doğrudan şekillendirmektedir. Türkiye'nin Asya ile Avrupa arasında kültürel bir geçiş bölgesi olması, onu uluslararası öğrenciler açısından cazip hale getirirken; eğitim sisteminde mevcut olan yapısal eşitsizlikler, dil engelleri, sosyal uyum sorunları ve pedagojik çeşitlilik eksikliği, bu öğrenciler için ek güçlükler doğurmaktadır.

Türkiye'de mimarlık eğitimi sunan yükseköğretim kurumları arasında fiziksel olanaklar, akademik kadronun niteliği, stüdyo kültürünün derinliği ve sosyal etkinliklere erişim gibi konularda önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Özellikle küçük şehirlerdeki üniversitelerde bu imkânların sınırlı olması, yabancı öğrencilerin öğrenim sürecini olumsuz etkileyebilmektedir. Bunun yanında, derslerin dili, öğretim elemanlarının yabancı dil yeterliliği ve kültürlerarası eğitim yöntemlerinin eksikliği gibi faktörler, bu öğrencilerin eğitim sürecine katılımını zorlaştırmaktadır. Özellikle stüdyo gibi akademik ve sosyal etkileşimin yoğun olduğu ortamlarda, yabancı öğrencilerin dışlanma duygusu yaşamamaları adına destekleyici uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kültürel uyum kuramları, yabancı öğrencilerin geçirdiği kültür şoku, savunma, bilgi edinme ve adaptasyon gibi aşamaları tanımlarken; bu süreçlerin her bireyde farklı yoğunluk ve sürede yaşandığını da vurgulamaktadır. Etkileşim temelli öğrenme modeliyle öne çıkan mimarlık eğitiminde, bu uyum aşamalarının pedagojik yöntemlerle desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Stüdyo tabanlı eğitim anlayışı, öğrencilerin birbirlerinden ve öğretmenlerinden sürekli geri bildirim almalarını gerektirdiği için, bu noktada kültürlerarası iletişim becerilerinin güçlendirilmesi hayati rol oynamaktadır.

Anket bulguları kapsamında, katılımcıların tamamı Türkiye'de bir yıldan fazla süredir ikamet etmektedir; bu da uyum sürecini değerlendirmek açısından önemli bir zemindir. Öğrencilerin Türkiye'de mimarlık eğitimini tercih etmelerinde kültürel ve coğrafi yakınlık gibi sosyo-kültürel faktörlerin ön planda olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, burs olanakları veya dini yakınlık gibi etkenler daha sınırlı düzeyde tercih gerekçesi olarak belirtilmiştir. Mezuniyet sonrası planlara ilişkin veriler ise öğrencilerin önemli bir kısmının ya kendi ülkelerine dönerek mesleğini icra etmeyi düşündüğünü ya da yüksek lisans gibi akademik hedefler peşinde olduğunu göstermektedir. Ancak birçok katılımcının bu konuda hâlâ kararsız olduğu da dikkat çekmektedir.

Anket sonuçları, öğrencilerin mimarlık eğitim sürecinde karşılaştıkları zorlukların çoğunlukla dil yeterliliği, eğitim sistemine uyum ve uygulamalı derslerdeki teknik içeriklerle baş etme gibi alanlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Buna karşın, öğretim elemanlarıyla iletişim kurma ve destek alma konusunda öğrenciler çoğunlukla olumlu görüş

bildirmiştir. Sosyal uyumun en büyük destek kaynaklarının arkadaş çevresi ve aile olduğu, kurumsal veya özel destek sistemlerinin ise görece daha az etkili bulunduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, Türkiye’de mimarlık eğitimi alan yabancı uyruklu öğrencilerin yaşadığı deneyimler; yalnızca akademik bir süreç değil, aynı zamanda kültürel etkileşim, kimlik inşası ve farklı öğrenme biçimlerinin keşiştiği çok katmanlı bir alanı temsil etmektedir. Bu sürecin daha eşitlikçi ve verimli hale gelebilmesi için hem yapısal hem de pedagojik düzeyde kapsamlı ve bütüncül yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alışma, mimarlık eğitiminin geleceğine yönelik politika nerileri geliştirilmesine ve konuyla ilgili ileride yapılacak ampirik araştırmalara zemin hazırlamayı amaçlamaktadır.

KAYNAKLAR

Architectural Association, (2013). AA History. Architectural Association School of Architecture. Alındığı tarih: 14.02.2013, Adres: <http://www.aaschool.ac.uk/AALIFE /LIBRARY/aahistory.php>.

Balamir, A. K. (1992). Meslek Sorunlarımız İçinde Mimarlık Eğitim Programlarının Yeri ve Program Başarısındaki Etkenler, Yapı, 122, 38-44.

Byrness, F. (1966). Role shock: An occupational hazard of American Technical assistants abroad. Annals of the American Academy of Political and Social Sciences, 368, 95-108.

Cuff, D. (1992). Architecture: The Story of Practice, Cambridge, MA: The MIT Press.

Demirbaş, Ö. ve Eranıl M., 2023. Tasarım eğitiminde dijital ortam ve etkileşim. IDA: International Design and Art Journal ISSN: 2687-5373 Volume: 5, Issue: 2.

Devors, J. (2017). International student struggles. ResearchGate. Erişim adresi https://www.researchgate.net/publication/320765245_International_Student_Struggles

Dilnot, C. (2013). The question of agency in the understanding of design. Journal of Design History, 26(3), 331-337. <https://doi.org/10.1093/jdh/ept015>.

Dimarco, N. J. (1971). Stress and adaptation in cross-cultural transition Dissertation Abstracts International, 4330.

Dorozhkin, I.N. ve Mazitova L.T. (2008). Problems of the Social Adaptation of Foreign College Students, Russian Education and Society, 50(2):23-30.

Draper, J. (1977). The Ecole des Beaux-Arts and the Architectural Profession in the United States: The case of Jhon Galen Howard, Editors: Kostof S., The Architect, 2nd ed., Oxford University Press, New York, 209-237, 1977.

Dewey, J. (1916). Democracy and education: An introduction to the philosophy of education. Macmillan.

Erkman, U. (1992). Mimarlık Eğitimi Üzerine, Mimarlık Eğitimi Sempozyumu Hazırlık Broşürü, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul.

Esin, N. (2014). Mimarlık Eğitiminde Akreditasyon Tartışmalı Konular Üzerinde Yeniden Düşünelim, Mimarlık, 376, 31-36.

Huntington, S (1996). *The Clash of Civilizations and the Remarking of World Order*. Simon & Schuster

İnceoğlu, M. ve İnceoğlu, N. (2014). *Mimarlıkta Söylemler Kuram ve Uygulamalar*, Tasarım Yayın Grubu, İstanbul.

Kadioğlu, M. ve Özer, M. (2015). Yabancı uyruklu öğrencilerin Türkiye’deki yükseköğretim kurumlarına giriş ve kabul koşulları. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 5(3), 234–240.
<https://doi.org/10.5961/jhes.2015.130>.

Kostof, S. (1986). *The Education of the Muslim Architect*. In A. Evin (ed.), *Architecture Education in the Islamic World*. Singapore: Concept Media/Aga Khan Award for Architecture.

Kumar, N (2008). *International Flow of Students – An Analysis Related to China and India*. *Current Science* 94(1):34-37.

Nalçakan, H. ve Polatoğlu, Ç. (2008). Türkiye’deki ve dünyadaki mimarlık eğitiminin karşılaştırılmalı analizi ile küreselleşmenin mimarlık eğitimine etkisinin irdelenmesi, *Megaron*, 3 (1), 79-103.

MIT, (2012). *MIT History*. MIT School of Architecture, Planning. Adres: <http://sap.mit.edu/about/history/>, 5 Ocak 2025.

Mimarist (2023). https://www.mimarist.org/planli-alanlar-imar-yonetmeliginde-yapilan-degisiklikler-mimarlik-mesleginin-yetki-alaninin-gaspi-niteligindedir/?utm_source=chatgpt.com, 20 Mayıs 2025.

OECD. (2013). [http://www.oecd.org/education/eag2013%20\(eng\)--FINAL%2020%20June%202013.pdf](http://www.oecd.org/education/eag2013%20(eng)--FINAL%2020%20June%202013.pdf), 5 Ocak 2025.

Parlak Biçer Z. O, Kiraz F., Akdağ F. & Şahinkaya E. (2018). Özel ve Devlet Üniversitelerinde Yapı Eğitiminin Kıyaslanması Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Eğitim Araştırmaları Dergisi*, Sayı 25, ss. 274-300.

Salama, A. M. (1995). *New Trends in Architectural Education: Designing the Design Studio*, USA: Tailored Text and Unlimited Potential Publishing.

Schön, D. (1985). *The Design Studio: An Exploration of Its Traditions and Potentials*, RIBA.

UNESCO (2023). *UNESCO/UIA, Charter for Architectural Education Revised Edition 2011*, Approved by UIA General Assembly, Tokyo, 201.

URL1, <https://www.archdaily.com/349080/clemson-university-college-of-architecture-thomas-phifer-and-partners>, 10 Aralık 2024.

URL2, https://www.archdaily.com/129400/austin-e-knowlton-school-of-architecture-mack-scogin-merrill-elam-architects?ad_medium=gallery, 10 Aralık 2024.

URL3, <https://www.ekoyapidergisi.org/yeni-avrupa-mimari-platformu-lina-haziran-da-basliyor>, 23 Aralık 2024.

URL4, <http://www.mo.org.tr/UIKDocs/reflectionsTR.pdf>, 5 Ocak 2025.

URL5, http://www.naab.org/accreditation/2014_Conditions, 5 Ocak 2025.

URL6, https://www.miak.org/?p=sayfalar&sayfa_id=37, 10 Ocak 2025.

URL7, <http://www.mo.org.tr/miak/belge/dsp-Akreditasyonkosul.pdf>, 27 Mart 2025.

URL8, <https://www.yok.gov.tr/ogrenci/yurt-disinda-kabul-edilecek-ogrenci-kontenjanlari>, 27 Nisan 2025.

URL9, <https://istatistik.yok.gov.tr/>, 27 Nisan 2025.

Weissman, M. M., ve Paykel, E. S. (1974). *The Depressed Women: A Study of Social Relationships*. Chicago, University of Chicago.



BÖLÜM

8

EKOLOJİ VE MİMARLIK

Vahide ARSLAN¹

Zöhre POLAT²

¹ Vahide ARSLAN, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye, E-mail: arslanvahide009@gmail.com

ORCID-ID: 0000-0001-6458-6635

² Prof. Dr. Zöhre POLAT, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Güney Yerleşke, Aydın, Türkiye, E-mail: zohre.polat@adu.edu.tr

ORCID-ID: 0000-0001-6458-6635

1. GİRİŞ

Günümüzde çevresel sorunların artması, iklim değişikliğinin etkileri ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, yapı ve çevre tasarımında yeni yaklaşımlar geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Geleneksel yapı üretim biçimleri bu süreçte yetersiz kalmakta, sürdürülebilir ve ekolojik tasarımlar öne çıkmaktadır. Mimarlık ve peyzaj mimarlığı artık yalnızca estetik ve işlev odaklı değil, çevre ile bütünleşen ve ekosistem temelli bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. Bu noktada eko mimarlık, çevreyle uyumlu ve ekolojik sistemlerle bütünleşen bir tasarım yaklaşımı olarak önem kazanmaktadır.

Eko mimarlık, sürdürülebilir mimarlıkla sıkça ilişkilendirilmekte ancak yapıyı yalnızca kaynak tüketimini azaltan bir nesne olarak değil, çevresel bir bütünün parçası olarak ele almaktadır (McDonough and Braungart, 2002; Edwards, 2010). Yapının, doğal sistemlerle etkileşim içerisinde tasarlanması eko mimarlığın temelini oluşturmaktadır.

Bu yaklaşım, yerel malzemelerin kullanıldığı ve iklim koşullarına uyum sağlayan geleneksel yapılardan esinlenmektedir. Anadolu'daki tarihî yapılar, doğal havalandırma ve pasif ısı kontrolü gibi özellikleriyle modern ekolojik tasarım için önemli birer referans olmuştur (Vale and Vale, 2009). Günümüzde ise yeşil çatılar, dikey bahçeler, yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşümü gibi uygulamalarla bu bilgiler çağdaş teknolojilerle bütünleştirilmektedir (Berardi, 2013; Farr, 2008; Perini and Rosasco, 2013).

Yeşil çatı ve dikey bahçe sistemleri, yoğun kentlerde ekolojik yüzeyler oluşturarak kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Perini and Rosasco, 2013). Ayrıca yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı gibi sistemler, su kaynaklarının verimli yönetilmesine olanak sunmaktadır (Farr, 2008).

Eko mimarlık eğitimi, dünya genelinde çevre mühendisliği, peyzaj planlama ve şehircilik gibi disiplinlerle iş birliği içerisinde gelişmektedir (Beatley, 2011; Fry, 2008; Tan et al., 2017). Türkiye'de ise bu alanda teorik eğitimler yaygınlaşmakta, uygulama temelli çalışmalar ise sınırlı kalmaktadır. İTÜ, ODTÜ ve YTÜ gibi üniversiteler, sürdürülebilirlik odaklı derslerle bu yaklaşımı desteklemektedir (Anonim, 2023a). Yüksek lisans düzeyinde ise Aydın Adnan Menderes Üniversitesi'nde "İklim Değişiminde Kentler ve Peyzaj Mimarlığı" ve "Kentsel Yeşil Alanlarda Sürdürülebilirlik" gibi dersler ekolojik temelli tasarım yaklaşımlarına katkı sunmaktadır.

Bu çalışmada, eko mimarlık kavramının tarihsel gelişimi, güncel uygulamaları ve eğitim süreçlerindeki yeri ele alınarak, konuya disiplinler arası bir perspektiften yaklaşılabilecektir. Ayrıca kişisel akademik deneyimler ışığında Türkiye ve yurtdışındaki eğitim modelleri karşılaştırılarak eko mimarlık eğitiminin geliştirilmesine yönelik değerlendirmeler yapılacaktır.

2. Ekoloji ve Mimarlığın Kesişim Noktası: Eko Mimarlık

Ekoloji, canlının yaşam alanlarıyla ve birbirleriyle olan karşılıklı ilişkilerini araştıran bir bilim dalı olarak, doğal sistemlerin işleyişini anlamamıza yardımcı olur (Odum, 1971). Mimarlık ise yapı üretme sürecinde işlevsellik, estetik ve teknik gereklilikleri bir araya getiren disiplinle rarası bir tasarımı pratiğidir (Ching, 2014). Bu iki alanın kesiştiği eko mimarlık ise, yapıların çevreye zarar vermeden, sürdürülebilir ve enerji tasarrufunu gözetten bir anlayışla tasarlanmasını hedefleyen bir yaklaşım olarak öne çıkar (Vale and Vale, 1991). Eko mimarlık, doğal kaynakların verimli kullanımını ve ekolojik dengeyi önceliklendirerek, çevreye duyarlı bir mimari bakış açısı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

3. Eko Mimarlığın Tarihçesi

3.1 Eko Mimarlık Nedir?

Eko mimarlık sadece teknik değil, aynı zamanda felsefi ve etik bir yaklaşımdır. Felsefi olarak derin ekoloji (Naess, 1973) ve biyomimikri (Benyus, 1997) gibi kuramlarla ilişkili olan bu anlayış, insan-merkezli değil doğa-merkezli bir mimarlık pratiğini savunur. Yerel malzeme kullanımı, mikro iklim analizi, pasif tasarım teknikleri, yaşam döngüsü analizi ve yenilenebilir enerji sistemleri eko mimarlığın temel bileşenleridir.

Guy ve Farmer (2001), eko mimarlığın farklı “ekolojik mimarlık retorikleri” üzerinden anlaşılabileceğini öne sürer. Bunlar arasında teknoloji odaklı (eco-technic), etik odaklı (eco-centric), yerel kültüre dayalı (vernacular) ve estetik-yeşil mimarlık (eco-aesthetic) yaklaşımlar yer alır. Bu çeşitlilik, eko mimarlığın salt teknik değil; çok boyutlu ve bağlama duyarlı bir disiplin olduğunu gösterir.

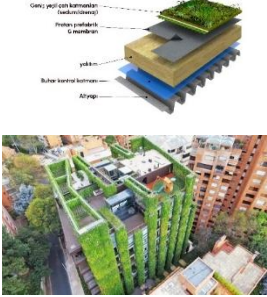
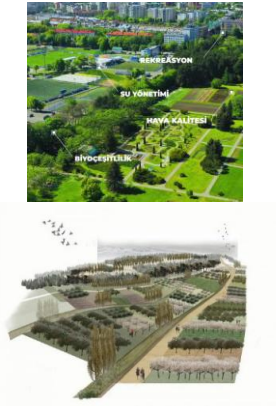
Eko mimarlık, yapıların çevreyle uyumlu, doğayla bütünleşik ve ekolojik sistemleri destekleyen tasarım anlayışı olarak tanımlanır. Bu yaklaşım, yapıların doğal ekosistemler ile uyumlu olmasını sağlamayı, biyoçeşitliliği korumayı ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını amaçlar. Aynı zamanda eko mimarlık, enerji verimliliği, su yönetimi, doğal malzeme kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması gibi prensipleri içerir (Belek and Yamaçlı, 2023). Bu bağlamda, ekolojik mimarlık sürdürülebilir mimarlığın bir parçası olarak, çevresel duyarlılığı mimari tasarımın merkezine yerleştirir.

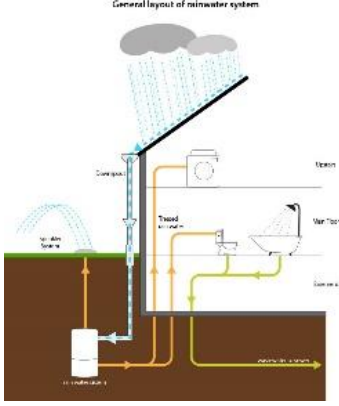
Tablo1. *Eko mimaride Bina Dışında Tercih Edilen Malzemeler*

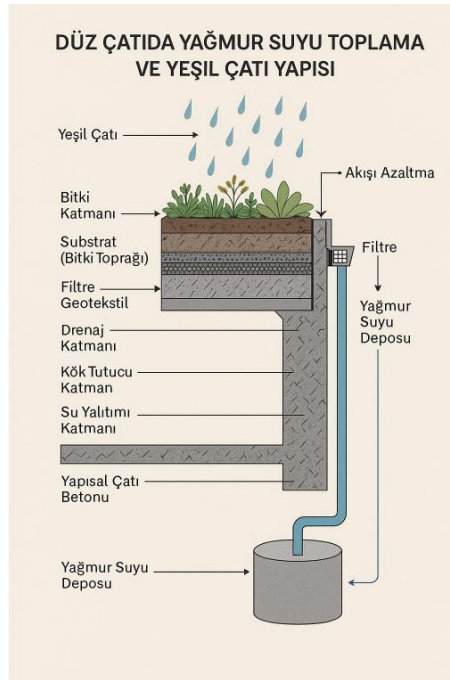
Malzeme	Özellikleri
Ahşap	Yenilenebilir ve karbon depolama kapasitesi yüksek bir malzemedir (McDonough & Braungart, 2002).
Doğal Taş	Yerel kaynaklı, dayanıklı ve düşük bakım gerektirir (Edwards, 2010).
Kil ve Sıkıştırılmış Toprak	Yüksek ısı yalıtımı sağlar, doğal ve nefes alabilir (Berardi, 2013).
Geri Dönüştürülmüş Malzemeler	Metal, cam ve cephe panelleri gibi atık malzemelerin yeniden kullanımı çevreyi korur (Perini & Rosasco, 2013).
Yeşil Cepheler ve Dikey Bahçeler	Isı adası etkisini azaltır, ekolojik katkı sağlar (Perini & Rosasco, 2013).

Tablo 2. *Eko mimarlık uygulamaları ise farklı alt başlıklar çerçevesinde incelenebilir. (BelekandYamaçlı, 2023).*

KONU	AÇIKLAMA	GÖRSEL
Biyofilik Tasarım ve Doğayla Uyum	Bu tasarım yaklaşımı, yapıların çevresindeki doğal ortamla sıkı bir ilişki kurmasını hedeflemektedir. Doğal ışığın etkin kullanımı, bitki örtüsünün entegrasyonu ve çevre dostu malzemelerin seçimi, biyofilik tasarımın temel unsurları arasında yer alır	

Yeşil atı ve Dikey Bahçeler	Binaların evresel etkilerini azaltmak ve biyoçeşitliliği desteklemek için çatılar ve dış cephelerde bitkilendirme uygulamalarına yer verilmektedir. Bu yöntemler, yapıların ekosistemle daha uyumlu hale gelmesini sağlamaktadır.	 The top image is a 3D cross-section diagram of a green roof system. It shows layers from bottom to top: 'Ayracı' (separator), 'Rutubet kontrol katmanı' (moisture control layer), 'Yalıtım' (insulation), 'Filtreli drenaj katmanı' (filtered drainage layer), 'Hidrokor katmanı' (root barrier), and 'imlendirme katmanı' (planting layer). The bottom image is an aerial photograph of a modern building with extensive green roofs and vertical gardens on its facade.
Peyzaj Entegrasyonu ve Ekolojik Koridorlar	Yapıların evresiyle uyumlu biçimde planlanması, aynı zamanda doğal ekosistemlerin srekliğini sağlamak amacıyla ekolojik koridorların oluşturulması nemlidir. Bu uygulamalar, çevresel dengenin korunmasına katkıda bulunur.	 The top image is an aerial view of a green urban development. It shows a central green space with a winding path, surrounded by buildings and trees. Labels in Turkish indicate 'BİYOEİRİYON' (Biodiversity), 'SU YÖNETİMİ' (Water Management), 'HAYAT KALİTESİ' (Quality of Life), and 'BİYOEİRİLİK' (Biodiversity). The bottom image is a 3D architectural rendering of a green urban development, showing a mix of residential buildings, green spaces, and a central green corridor.

Su Yönetimi ve Geri Dönüşümü	Su kaynaklarının etkin kullanımı amacıyla yağmur suyu toplama sistemleri, gri su geri dönüşümü ve su tasarrufuna yönelik tasarım çözümleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerle yapıların su kullanım verimliliği artırılmaktadır. Aynı zamanda Şekil 1 de nasıl uygulandığı gösterilmiştir.	 General layout of rainwater system
-------------------------------------	--	---



Şekil 3.3 Çatılarda Yağmur Suyu Toplama Sistemi

3.2 Eko Mimarlığın Tarihsel Gelişimi

Sanayi Devrimi, 1763 yılında İskoçya'da buharla çalışan makinenin geliştirilmesiyle başlamış ve dünya tarihinde büyük bir dönüşüme yol açmıştır. Endüstriyel üretimin doğuşu, kentleşmenin hızlanmasına ve nüfusun yoğunlaşmasına neden olarak toplumsal yapıyı derinden değiştirmiştir (Tudor et al., 2007). Sanayi kentleri, iş gücü ihtiyacını karşılamak amacıyla kırsal nüfusu şehir merkezlerine çekmiş, demiryollarının gelişmesi ise sanayinin daha geniş alanlara ulaşmasını sağlamıştır (Mumford, 1961). Bu dönemde kömür, odun ve petrol türevleri gibi fosil yakıtlar sanayinin temel enerji kaynakları haline gelmiş, enerjiye olan talep hızla artmıştır. 20. yüzyıla gelindiğinde, elektrik ve otomotiv endüstrisindeki ilerlemelerle birlikte seri üretim sistemleri yaygınlaşmış, Henry Ford'un montaj hattı geliştirmesiyle üretim süreçlerinde yüksek verimlilik sağlanmıştır (Hounshell, 1984).

Sanayileşmenin hız kazanması ve tıp alanındaki ilerlemeler, dünya nüfusunun hızla artmasına ve tüketim alışkanlıklarının köklü biçimde değişmesine yol açmıştır (McNeill, 2000). İkinci Dünya Savaşı sonrasında, teknolojik ilerlemelerle birlikte atom enerjisi, otomasyon ve bilgisayar sistemlerinin yaygınlaşması yeni bir endüstri dönemini başlatmıştır (Ponting, 2007). Ancak bu gelişmeler, doğal kaynakların sınırsız birer tüketim nesnesi olarak görülmesine sebep olmuş; fosil yakıtların aşırı kullanımı, çevre kirliliği ve kontrolsüz sanayileşme ekolojik dengeyi ciddi biçimde bozmuştur (Carson, 1962). Atmosferdeki sera gazlarının hızla artması, buzulların erimesi ve küresel sıcaklıkların yükselmesi sonucunda ekolojik krizler gün yüzüne çıkmış ve insan yaşamını tehdit eder hale gelmiştir (IPCC, 2014).

Bu gelişmelerin sonucunda, doğayla daha dengeli bir ilişki kurmayı amaçlayan sürdürülebilir mimarlık anlayışı önem kazanmıştır. Her ne kadar sürdürülebilir mimarlık günümüzde sıkça "yeşil mimarlık" veya "çevre dostu mimarlık" kavramlarıyla anılsa da, bu yaklaşım tarihsel köklerini çok daha eski uygulamalarda bulur (Vale and Vale, 1991). Antik uygarlıklar, çevresel koşullara uyumlu yapılar inşa etmiş; yerli topluluklar ise yerel malzemelerden yararlanarak iklimle uyumlu ve enerji verimliliği yüksek yaşam alanları yaratmıştır (Steele, 1997). Örneğin, Kızılderililerin uzun kulübeleri ve Avustralya Aborjinlerinin yer altı barınakları, doğal kaynakları dikkatli kullanma bilincinin tarih boyunca nasıl var olduğunu göstermektedir. Fakat Sanayi Devrimi ile birlikte bu geleneksel, çevreyle uyumlu uygulamalardan uzaklaşmış ve çevreyi tüketen yüksek enerji odaklı inşaat sistemleri yaygın hale gelmiştir (Gissen, 2002).

Günümüzde sürdürülebilir mimarlık, ekolojik dengeyi yeniden kurmayı amaçlayan bir tasarım yaklaşımı olarak önem kazanmıştır. Doğa dostu malzeme kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının yapılarla bütünleşmesi ve karbon ayak izini azaltan sistemler bu yaklaşımın temelini oluşturur (Edwards, 2010). Özellikle yeşil bina konsepti; geri dönüştürülebilir

malzemeler, enerji ve su tasarrufu sağlayan teknolojiler ile desteklenerek çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmektedir. Bu modern yaklaşım, insan yerleşimlerinin doğayla uyum içinde var olmasını sağlamakta ve gelecek nesiller için daha yaşanabilir bir dünya hedeflemektedir. Yıllar içerisindeki Eko mimarinin Tarihsel Gelişim Diyagramını Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.4 Eko mimarinin Tarihsel Gelişim Diyagramı

3.3 Eko Mimarlığın Tarihten Günümüze Örnekleri

Eko mimarlık anlayışı, modern bir kavram olarak görülse de geçmiş medeniyetlerde doğayla bütünleşik yaşam biçimlerinin temelini oluşturmuştur. İnsanlık tarihinin erken dönemlerinden itibaren çevresel koşullara uyum sağlayan yapılar inşa edilmiş; bu yaklaşımlar, günümüzde eko mimarlığın öncülleri olarak değerlendirilmektedir.

- **Geleneksel Mimarlıkta Eko Mimarlığın İzleri**

Tarihsel süreçte, yerli toplumlar ve antik uygarlıklar, bulundukları coğrafyanın iklimsel ve topografik özelliklerine uygun yapılar geliştirmiştir. Örneğin, Kuzey Amerika yerli halklarının inşa ettiği uzun evler, toplumsal birlikteliği destekleyen, aynı zamanda enerji verimliliğini sağlayan yapılar olarak öne çıkar (Oliver, 2003). Bu yapılar, kalın duvarları ve yalıtım sağlayan doğal malzemeleri ile sürdürülebilirlik prensiplerini sezgisel olarak yansıtmıştır. Benzer şekilde, Aborjinler tarafından Avustralya'da inşa edilen yer altı barınakları, aşırı sıcaklara karşı koruma sağlarken, doğal çevreye minimum müdahale ile yaşam alanı sunmuştur (Edwards, 2010).

- **Orta Çağ ve Pasif Tasarım İlkeleri**

Orta Çağ boyunca, özellikle Akdeniz coğrafyasında görülen dar sokaklar ve kalın taş duvarlı yapılar, pasif ısı kontrolü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu geleneksel uygulamalar, günümüz eko mimarlık anlayışındaki pasif enerji tasarrufu yöntemlerinin tarihsel kökenlerine işaret etmektedir. O dönemde insanlar, enerji tüketimini azaltma amacı gütmeyen, yaşam alanlarını çevresel dengeyle bütünleştirmeyi başarmışlardır (Fathy, 1986).

- **Sanayi Devrimi ve Eko Mimarlık Anlayışının Zayıflaması**

Sanayi Devrimi ile birlikte, ekolojik uyum odaklı geleneksel yapılar tekniklerinden uzaklaşmış, hızlı kentleşme ve enerji yoğun yapıların inşası ön plana çıkmıştır. Bu süreçte kullanılan fosil yakıtlar ve seri üretim yapı malzemeleri, çevre üzerindeki baskıyı artırmış, doğa ile uyum ikinci plana itilmiştir (McDonough and Braungart, 2002). Bu dönemde mimarlıkta, doğayla bütünleşme yerine, doğayı dönüştürme anlayışı hâkim olmuştur.

- **Modern Dönemde Eko Mimarlık Yaklaşımları**

20. yüzyılın ikinci yarısında çevre bilincinin yükselmesiyle birlikte, mimarlıkta ekolojik yaklaşımlar yeniden önem kazanmıştır. 1960'lı yıllarda Rachel Carson'un "Silent Spring" adlı çalışması ile tetiklenen çevresel farkındalık, ekolojik mimarlık anlayışının temellerini yeniden gündeme taşımıştır (Carson, 1962). 1970'lerde ise Richard Buckminster Fuller, sürdürülebilir yapı tasarımına yönelik geodezik kubbeler ve kaynak tasarrufuna odaklanan yapı sistemleri ile eko mimarlık alanında yenilikçi örnekler sunmuştur (Baldwin, 2000).

- **Günümüzde Ekomimarlık Uygulamaları**

Günümüzde eko mimarlık, sadece enerji tasarrufu değil, aynı zamanda ekosistemlerin desteklenmesi ve biyofilik tasarımın ön plana çıkarılmasıyla daha bütüncül bir anlayışa ulaşmıştır. Örneğin, Singapur'da yer alan Parkroyal on Pickering oteli, yapının farklı seviyelerinde yeşil teraslar ve dikey bahçeler barındırarak ekosistem çeşitliliğine katkı sağlamakta, aynı zamanda doğal havalandırma ve gölgeleme sistemleriyle enerji tüketimini azaltmaktadır (Tan et al., 2017).

Benzer şekilde, Almanya'nın Freiburg kentindeki Vauban Yerleşkesi, karbon nötr bir yaşam alanı olarak tasarlanmış, yenilenebilir enerji sistemleri ve yağmur suyu geri kazanımı ile sürdürülebilir kent modeline örnek olmuştur (Beatley, 2011).

3.4 Dünya'da Eko Mimarlık Örnekleri

- **BedZED (Beddington Zero Energy Development), İngiltere**

2002 yılında Londra'nın güneyinde inşa edilen BedZED projesi, enerji verimliliği, karbon nötrlüğü ve yerel topluluk katılımı açısından

kullanımı, doğal havalandırma bacaları, yağmur suyu toplama sistemleri ve fotovoltaik panellerle donatılmış yapı tipolojileri, bütüncül sürdürülebilirlik anlayışını yansıtır (WWF, 2007).



Şekil 3.5 BedZED (Beddington Zero Energy Development), İngiltere

- **Earthship Yapıları, ABD**

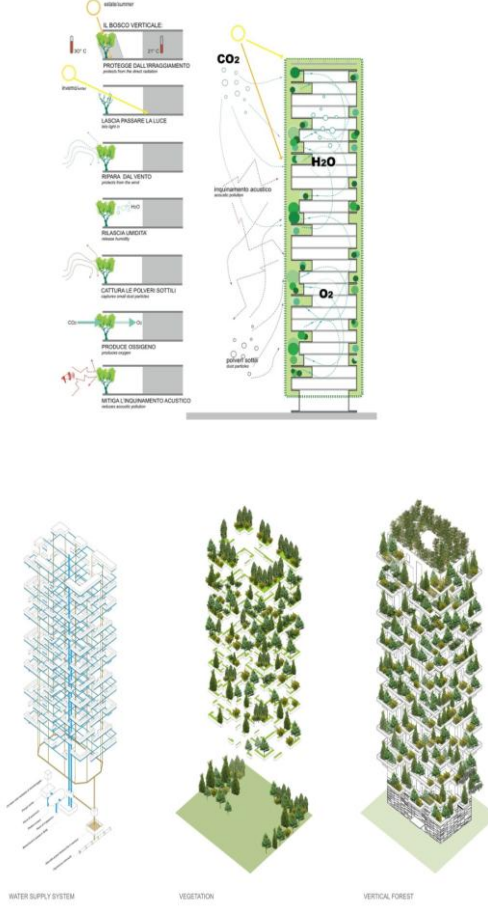
New Mexico çölünde Michael Reynolds tarafından geliştirilen “earthship” yapıları, doğayla tam entegrasyon ilkesine dayanır. Bu yapılarda kullanılmış lastikler, şişeler, cam ve toprak gibi atık ve doğal malzemelerle enerji bağımsız, kendi kendine yetebilen konutlar inşa edilir (Reynolds, 2005). Pasif solar enerji sistemleri, su geri dönüşümü ve biyolojik atık arıtma sistemleri ile bu yapılar alternatif bir ekolojik yaşam formunu temsil eder.



Şekil 3.6 Earthship Yapıları, ABD

- **Bosco Verticale, İtalya**

Milano’da Stefano Boeri tarafından tasarlanan Bosco Verticale, dikey orman konseptiyle kent içinde yeşil alan üretimini üç boyutlu bir biçimde kurgular. İki kulede toplamda 900’den fazla ağaç, 5.000 çalı ve 11.000 yer örtücü bitki yer almakta olup bu peyzaj elemanları hava kalitesini artırmakta, gölge sağlayarak bina ısınısını düzenlemektedir (Boeri, 2015).



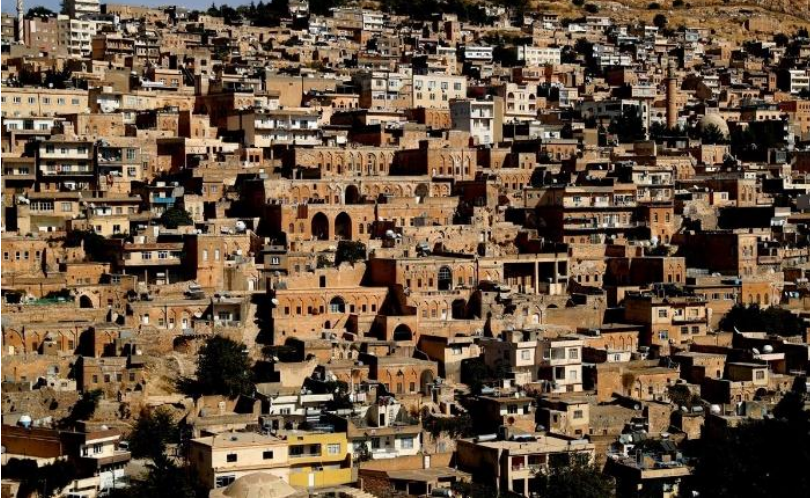
Şekil 3.7 Bosco Verticale, İtalya

3.5 TÜRKİYE’DE EKOMİMARLIK UYGULAMALARI

- **Mardin Taş Evleri**

Mardin’in geleneksel taş yapıları, yerel iklim koşullarına uygun tasarım stratejileriyle öne çıkar. Yüksek ısı kütleli taş malzeme

sayesinde yazları serin, kışları sıcak iç mekânlar oluşturulur. Dar sokaklar ve teras kullanımı, pasif iklimlendirme örnekleri sunar (Öztürk, 2011).



Şekil 3.6 Mardin Taş Evleri

- **Hasanpaşa Gazhanesi Restorasyonu, İstanbul**

Endüstriyel mirasın ekolojik mimarlık ilkeleriyle yeniden işlevlendirilmesinin önemli örneklerinden biri olan Hasanpaşa Gazhanesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından geri dönüşüm ve enerji verimliliği kriterlerine göre restore edilmiştir. Güneş panelleri, yağmur suyu toplama sistemleri ve çevreye açık kamusal alanlar projenin öne çıkan yönlerindendir (İBB, 2022).



Şekil 3.7 Hasanpaşa Gazhanesi Restorasyonu, İstanbul

- **Seferihisar ve Cittaslow Yaklaşımı**

İzmir'in Seferihisar ilçesi, Türkiye'nin ilk "sakin şehir" (Cittaslow) unvanını taşıyan yerleşimdir. Yerel mimariyi koruma, yapılaşmada düşük yoğunluk politikaları ve enerji kooperatifleri ile ekolojik yaklaşımlar hayata geçirilmiştir. Ekomimarlığın yalnızca yapı ölçeğinde değil; kentsel planlama bağlamında da uygulanabileceğini göstermesi açısından önemli bir örnektir (Cittaslow Türkiye, 2020).



Şekil 3.8 Seferihisar ve Cittaslow Yaklaşımı Sakin Şehir Üyelik Kriterleri ve

Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi (Kartal, 2019, s. 14)

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK VE EKOLOJİK MİMARLIK ARASINDAKİ İLİŞKİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİNİN FELSEFESİ

Sürdürülebilir mimarlık ve ekolojik mimarlık, çağdaş mimarlık pratiğinde çevresel, toplumsal ve ekonomik boyutlarıyla bütüncül bir yaklaşım sunarak, insan yerleşimlerinin doğayla uyumlu, enerji verimli ve uzun ömürlü olmasını hedefler. Bu iki kavram, birbirini tamamlayan ancak farklı odak noktalarına sahip yaklaşımlar olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.1 Sürdürülebilir Mimari ve Ekolojik Mimari

4.1 Sürdürülebilir Mimarlığın Felsefesi ve Temel İlkeleri

Ekim (2010) sürdürülebilir mimarlığın temel ilkelerini ele aldığı çalışmasında, bu yaklaşımın çevresel etkileri minimize etmek, enerji ve kaynak kullanımını optimize etmek ve kullanıcı sağlığı ile konforunu ön planda tutmak üzerine kurulduğunu belirtmiştir. Sürdürülebilir mimarlık, yapıların tasarım, inşaat, kullanım ve yıkım süreçlerini kapsayan yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerin azaltılmasını hedefleyen bütüncül bir tasarım anlayışıdır. Bu bağlamda, enerji verimliliği, su tasarrufu, atık yönetimi, yerel ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve kullanıcı katılımı sürdürülebilir mimarlığın temel prensipleri arasında sayılmıştır.

Ekim (2010) ayrıca, sürdürülebilirlik kavramının mimari tasarım süreçlerine entegrasyonunun, sadece fonksiyonel değil estetik açıdan da mimari form üzerinde önemli etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Bu analiz, sürdürülebilir mimarlığın modern mimarlık pratiğine nasıl nüfuz ettiğini ve mimari formun biçimlenmesinde yeni yaklaşımlar getirdiğini göstermektedir.

4.2 Ekolojik Mimarlık ve Sürdürülebilir Mimarlık Arasındaki İlişki

Belek ve Yamaçlı (2023) tarafından yapılan incelemelerde, ekolojik mimarlık, sürdürülebilir mimarlık disiplininin bir alt dalı olarak ele alınmakta ve çevreyle uyumlu, doğayla bütünleşik yapıların tasarımını ifade etmektedir. Bu yaklaşımın temelinde, doğal ekosistemlerin korunması, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve doğal kaynakların uzun vadeli sürdürülebilirliğinin sağlanması yer almaktadır.

Belek ve Yamaçlı'ya (2023) göre, ekolojik mimarlık özellikle sürdürülebilir mimarlığın çevresel boyutunu ön plana çıkararak, yapıların bulundukları

ekosistemlerle dengeli bir şekilde bütünüşmesini amaçlamaktadır. Bu bakış ačíısı, yapıların sadece insan ihtiyaçlarına değil, aynı zamanda doğal çevrenin korunmasına da hizmet etmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

4.3-Ekomimari ve Sürdürülebilir Mimari Arası Farklar Nelerdir?

Belek ve Yamaçlı (2023) tarafından yapılan değerlendirmede, eko mimarlık ile sürdürülebilir mimarlığın her ne kadar çevreye duyarlı tasarım anlayışları temelinde şekillendiği belirtilmekle birlikte, iki yaklaşımın vurgu yaptıkları alanlarda farklılıklar taşıdığı ifade edilmiştir. Sürdürülebilir mimarlık; yapıların enerji verimliliğini artırmayı, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmeyi ve çevre dostu malzemeleri öncelikli kılmayı hedeflemektedir (Gökşen, Güner & Koçhan, 2017). Bu yaklaşım, yapıların çevresel etkilerini azaltarak doğal kaynakların korunmasını ve gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılayabilecek bir yapılaşma vizyonu geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Belek ve Yamaçlı'ya (2023) göre eko mimarlık yaklaşımı, sürdürülebilir mimarinin çevresel önceliklerini bir adım öteye taşıyarak, yapıların aynı zamanda bulundukları ekosistemlerle bütünüşmesini de gerektirir. Bu anlayış, biyofilik tasarım öğelerinin benimsenmesiyle, biyoçeşitliliğin desteklenmesi ve ekolojik dengenin korunmasını esas alır. Eko mimari uygulamaları arasında yeşil çatılar, dış cephne bitkilendirmeleri, doğal malzeme kullanımı ve yağmur suyu toplama sistemleri sayılmaktadır (Gökşen, Güner and Koçhan, 2017).

Bu iki mimari yaklaşım karşılaştırıldığında; sürdürülebilir mimarinin daha çok enerji verimliliği, karbon ayak izinin azaltılması ve çevre dostu malzeme kullanımına odaklandığı; eko mimarlığın ise doğal peyzajla bütünüşik, ekosistem destekli ve doğayla tam anlamıyla uyumlu yapı tasarımlarını savunduğu görölmektedir (Belek and Yamaçlı, 2023; Gökşen et al., 2017).

Sonuç olarak, eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık birbirini tamamlayan iki yaklaşım olmakla birlikte, eko mimarlık daha kapsayıcı bir vizyon sunarak yapıların yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda doğanın bir parçası olarak var olmasını hedeflemektedir.

4.4 Sürdürülebilir Mimari Örnekleri

- **The Edge (Amsterdam, 2014)**

PLP Architecture tarafından tasarlanan The Edge, enerji tasarrufu odaklı teknolojilerin yoğun kullanımı ile öne çıkar. Bina, geleneksel ofis binalarına kıyasla %70 daha az enerji tüketimine ulaşır; bu başarı, LEED/BREEAM gibi sürdürülebilirlik ölçütlerine en üst seviyede (örneğin 98+ BREEAM puanı) yaklaşmasıyla perçinlenmiştir. Çatısındaki 4.100 m² güneş paneli ile enerji üretimi sağlanmakta, yağmur suyu yönetim sistemleri tuvalet ve peyzaj sulamasında

değerlendirilmekte, akıllı LED aydınlatma ve termal enerji depolama sistemleri binanın enerji verimliliğini artırmaktadır.



Şekil 4.5 *The Edge* (Amsterdam, 2014) *Jalia, A., Bakker, R. ve Ramage, M. (2019).*

The Edge, Amsterdam.

- **Bosco Verticale (Milano, 2014)**

Stefano Boeri Architetti tarafından geliştirilen Bosco Verticale, iki yüksek yapı üzerinden 100.000 bitki çeşidini barındıran “dikey orman” yaklaşımını yaratıcı bir biçimde uygulamıştır. Bu yoğun bitki örtüsü, kirliliği azaltırken yeni habitatlar oluşturur, bina cephesini güneş ve gürültüden korur. Boeri’nin yapısı, karbon emilimini artırarak ve yerel biyoçeşitliliği destekleyerek sürdürülebilir kentiçi yaşam için çığır açan bir örnek teşkil eder.



- **Heliotrope (Freiburg, 1994)**

Rolf Disch'in tasarladığı Heliotrope, dünyadaki ilk “artı enerji” üreten bina olarak dikkat çeker. Yapı, güneşini takip eden döner gövdesi sayesinde gün boyunca maksimum güneş ışığı ve ısı toplarken, tamamen yenilenebilir enerjiden beslendiğı ve sıfır karbondioksit emisyonu hedeflediğı belirtilmektedir. Freiburg'dan yayılan bu konsept, sonraki toplu konut projelerinde de (örneğin Solar Settlement) sürdürülebilir kentleşmeye örnek olmuştur.



Şekil 4.7 Heliotrope (Freiburg, 1994)

5. Dünya’da Eko Mimarlık Eğitim Uygulamaları

Dünya genelinde birçok üniversite, mimarlık eğitiminin merkezine ekolojik ilkeleri entegre etmeye başlamıştır. Örneğin, University of Houston, “Ecology Integrated Design” adlı bir sertifika programı sunarak, öğrencilerin tasarım süreçlerini ekolojik döngüler doğrultusunda yürütmelerini hedeflemektedir. Aynı şekilde, University of Kansas’da yüksek lisans düzeyinde verilen “Ecological and Sustainable Design” dersi, enerji verimliliğı, yerel ekosistemlerle uyumlu tasarım ve yaşam döngüsü analizlerini içermektedir.

Lotfabadi ve Iranmanesh’in (2025) Buildings dergisinde yayımladıkları çalışmada, ekolojik bilinçli yapı tasarımı üzerine verilen derslerin içerikleri ve öğrenciler üzerindeki etkileri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Bu tür dersler, yalnızca teknik bilgi değil, aynı zamanda çevresel etik bilincinin oluşmasını da desteklemektedir.

- **Danimarka – Aarhus School of Architecture**

Aarhus Mimarlık Okulu'nda verilen “Sustainable Architecture” ve “Designing for Biodiversity” gibi derslerde, yerel iklim koşulları çerçevesinde doğa ile bütünlük yapılar geliştirmek hedeflenir. Öğrenciler pasif tasarım, yeşil altyapı ve biyoçeşitlilik odaklı projeler üretir (Aarhus School of Architecture, 2023).

- **ABD – Arizona State University (ASU), School of Sustainability**

ASU'da mimarlık ve sürdürülebilirlik alanları disiplinlerarası biçimde birleşerek "Regenerative Design" ve "Resilience in the Built Environment" gibi derslerle bütüncül bir öğrenme deneyimi sunar. Öğrenciler bu derslerde iklim krizine uyumlu mimari çözümler geliştirir (Arizona State University, 2023).

- **İngiltere – University College London (UCL), Bartlett School of Architecture**

UCL Bartlett Mimarlık Okulu'nda “Designing with Nature” ve “Environmental Systems in Architecture” derslerinde biyomimikri, karbon yönetimi ve doğaya duyarlı yapı teknolojileri işlenir. Öğrencilerden projelerini iklim, malzeme ve enerji etkileşimleri üzerinden değerlendirmeleri beklenir (UCL Bartlett, 2023).

6. Türkiye’de Eko Mimarlık Eğitim Uygulamaları

Türkiye'deki mimarlık okullarında da sürdürülebilirlik ekseninde eğitimler yaygınlaşmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ve Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) gibi köklü kurumlar, lisans düzeyinde “çevresel kontrol sistemleri”, “iklim tasarımı” ve “sürdürülebilir mimarlık” başlıklı dersler sunmaktadır. Bu dersler aracılığıyla öğrencilere, ekolojik malzeme seçimi, enerji tasarrufu sağlayan sistemler ve iklim verilerine dayalı tasarım gibi konularda bilgi verilmektedir.

Türkiye’de ekolojik mimarlık çeşitli üniversitelerde genellikle seçimlik ders olarak yer almakta; bazı kurumlar bu dersi zorunlu müfredata dahil etmeye başlamıştır. Örneğin:

İTÜ Mimarlık Fakültesi “Ekolojik Mimarlık” ve “Sürdürülebilir Mimari Tasarımı” derslerinde, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı, yaşam döngüsü analizi ve enerji modelleme gibi konular işlenmektedir (Anonim, 2023a).

ODTÜ bünyesindeki “Environmental Control Systems” dersi, öğrencilere iklim verilerinin tasarım sürecine entegre edilmesini öğretmektedir (Anonim, 2023a).

Yıldız Teknik Üniversitesi “Ekolojik Tasarım İlkeleri” dersi, yeşil kent planlaması, su yönetimi ve enerji verimliliği gibi konulara odaklanır (Anonim, 2023a).

Yüksek lisans düzeyinde ise bazı üniversiteler daha spesifik ders içerikleri geliştirmiştir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi (ADÜ) Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda yer alan “İklim Değişiminde Kentler ve Peyzaj Mimarlığı” (ZPM607) ve “Kentsel Yeşil Alanlarda Sürdürülebilirlik” (ZPM612) gibi dersler, öğrencilerin ekosistem bütünlüğü içinde tasarım yapma yetkinliğini geliştirmektedir. Bu derslerde, biyolojik çeşitlilik, karbon yutak alanları, kentsel ekolojik koridorlar ve iklimle uyumlu açık alan planlaması gibi konular ele alınmaktadır.

7. Peyzaj Mimarlığında Yüksek Lisans Yapmanın Mesleki ve Eko Mimari Gelişimime Katkıları

Mimarlık eğitimim süresince, yapı ölçeğinde tasarımın işlevselliği, estetik değerleri ve teknik yeterliliği üzerine yoğunlaştıım. Ancak zamanla yapıyı çevrenin doğa ile kurduğu ilişkiyi daha derinlikli biçimde sorgulamaya başladım. Bu farkındalık, beni sürdürülebilirlik, ekolojik sistemlerle uyum ve doğa temelli tasarım konularına yöneltti. Bu bağlamda Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Yüksek Lisans Programı'nda eğitim almaya karar verdim.

Bir mimar olarak peyzaj mimarlığı alanında yüksek lisans yapıyor olmak, mesleki bakış açımı çok yönlü biçimde geliştirmektedir. Yapı merkezli tasarım eğiliminin, açık alan planlaması, yeşil altyapı sistemleri ve ekosistem temelli çözümler ile tamamlandığını görmekteyim. Bu sayede hem doğal hem yapıyı çevreyi birlikte değerlendirebilen daha bütüncül bir tasarım anlayışı geliştirme şansı buluyorum.

Bu akademik yolculuk, ekolojik mimarlık (eko mimarlık) üzerine olan ilgimi ve bilgi birikimimi de güçlendirmiştir. Peyzaj mimarlığı disiplini, doğayla uyumlu yapıyı çevreler üretme amacını taşıyan eko mimarlık ilkelerinin mekânsal karşılıklarını daha iyi kavramama olanak sağlamıştır. Özellikle mikro iklim tasarımı, geğirgen yüzeyler, iklimsel adaptasyon, doğal havalandırma gibi konuların hem yapı hem arazi ölçeğinde nasıl bütünlüşebileceğini görmem, bu alandaki uzmanlaşmamı derinleştirmiştir.

Sonuç olarak, mimarlık altyapısına sahip bir öğrenci olarak peyzaj mimarlığı yüksek lisans programında eğitim almak, ekolojik tasarım anlayışımı hem akademik hem de pratik düzlemde zenginleştirmiştir. Bu disiplinler arası

yaklaşımın, gelecekte yürüteceğim tüm tasarım projelerine çevresel duyarlılık ve mekânsal bütünlük kazandıracağına inancım tamdır.

8. Değerlendirme ve Öneriler

Eko mimarlığın tarihsel gelişimi incelendiğinde, yerel malzemelerin kullanıldığı ve doğal iklim koşullarına uyum sağlayan geleneksel yapıların, günümüz ekolojik tasarım anlayışına önemli bir temel oluşturduğu görülmektedir (Vale and Vale, 2009). Geleneksel mimarlıkta kullanılan pasif tasarım ilkeleri, özellikle Anadolu coğrafyasında yapıların doğal havalandırma ve ısı kontrolünü sağlamada başarılı örnekler sunmuştur. Modern eko mimarlık bu tarihsel birikimi teknoloji ile birleştirerek, sürdürülebilir su yönetimi, enerji tasarrufu ve geri dönüşüm gibi sistemleri yapı tasarımına entegre etmiştir. Özellikle yeşil çatı uygulamaları, yağmur suyu yönetimi ve enerji verimliliği açısından günümüz ekolojik mimarlığının temel stratejilerinden biri haline gelmiştir (Berardi, 2013). Yeşil çatılar, bina üzerindeki bitkilendirilmiş alanlar sayesinde hem ısı adası etkisini azaltmakta hem de suyun yerinde tutulmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşüm sistemleri gibi su yönetimi yaklaşımlarının yapı ölçeğinde uygulanması, eko mimarlığın pratikte çevresel faydasını artırmaktadır (Farr, 2008). Eko mimarlık eğitiminin bu sistemleri yalnızca teorik düzeyde değil, uygulamalı ve yerel bağlamda ele alması, sürdürülebilir su yönetimi kültürünün oluşmasına katkı sağlayacaktır. Dikey bahçeler ise, özellikle yoğun kent dokusunda ekolojik yüzey kazandıran ve biyoçeşitliliği destekleyen bir tasarım unsuru olarak önem taşımaktadır (Perini and Rosasco, 2013). Dikey bahçeler yalnızca estetik değil, aynı zamanda karbon tutumu ve kentsel mikroiklim üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Bu sistemlerin eğitime entegre edilmesi, öğrencilerin sürdürülebilir kent tasarımı süreçlerini daha kapsamlı değerlendirmelerine imkân tanıyacaktır.

Günümüzde Türkiye’de eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık eğitimi, dünya ile kıyaslandığında henüz gelişim aşamasındadır. Eğitim programlarının çoğu teorik bilgilerle sınırlı kalmakta, disiplinler arası uygulamalara ve sahaya yönelik çalışmalar yetersiz bir düzeyde yürütülmektedir. Oysa ki, mimarlık ve peyzaj mimarlığı gibi çevresel odaklı meslek disiplinlerinin, sürdürülebilirlik ve ekoloji temelli iş birlikleri çerçevesinde daha entegre bir şekilde eğitim sürecinde buluşması gerekmektedir. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika’da, eko mimarlık eğitimi çevre mühendisliği, peyzaj planlama ve şehircilik gibi alanlarla iş birliği içinde tasarlanmakta ve öğrencilerin aktif katılımıyla saha çalışmaları desteklenmektedir (Beatley, 2011; Fry, 2008). Türkiye’de bu yaklaşımın benimsenmesi hem eğitim kalitesini artıracak hem de yerel coğrafyanın, iklim

koşullarının ve kültürel mirasın daha etkin şekilde mimari tasarımlara yansımısını sağlayacaktır.

Sürdürülebilir mimarlık, yapıların çevresel etkilerini azaltmayı ve enerji verimliliğini ön plana çıkarmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Ancak eko mimarlık, yalnızca çevresel zararın azaltılmasıyla sınırlı kalmayıp, yapının çevresindeki ekosistemlerle bütünleşmesini hedefleyen daha derin bir bakış açısı sunar (McDonough and Braungart, 2002; Edwards, 2010). Bu iki yaklaşım arasındaki farkların eğitim süreçlerinde vurgulanması ve öğrencilere kavramsal derinliğin kazandırılması önem arz etmektedir. Eko mimarlığın tarihsel süreçte geleneksel yapı örneklerinden günümüz teknolojik yeşil binalarına evrildiği dikkate alındığında, geçmişten günümüze uzanan ekolojik tasarım anlayışlarının öğrencilere aktarılması, kültürel ve çevresel çeşitliliğin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır (Vale and Vale, 2009). Bu bağlamda, geleneksel Anadolu evleri, yerel malzemelerin ve pasif iklimlendirme tekniklerinin kullanıldığı tarihi yapılar gibi örneklerin, saha çalışmalarıyla desteklenerek eğitimde yer alması önerilmektedir.

Ayrıca, yurtdışında uygulanan katılımcı ve saha odaklı eğitim modellerinin Türkiye'ye uyarlanması, öğrencilerin gerçek çevresel sorunlar üzerinden proje geliştirmelerine olanak tanıyacaktır. Özellikle Avrupa'da bazı üniversitelerin, yerel yönetimlerle ve sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği yaparak öğrencilere aktif uygulama sahaları sunduğu bilinmektedir (Tan et al., 2017). Türkiye'de de benzer bir yapı kurulması, ekolojik duyarlılığın yalnızca teoride değil, pratikte de geliştirilmesini destekleyecektir. Eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık eğitiminde disiplinler arası çalışma ortamlarının teşvik edilmesi, özellikle mimarlık ve peyzaj mimarlığı bölümleri arasında ortak proje stüdyolarının açılması, öğrencilerin birbirlerinden öğrenmelerini ve ekosistem bütünlüğünü daha doğru değerlendirmelerini sağlayacaktır. Bu doğrultuda Türkiye'de eko mimarlık eğitiminin, sadece enerji verimliliğine odaklanan bir yapıdan çıkarılarak, ekolojik bütünlük, kültürel sürdürülebilirlik ve sosyal sorumluluk çerçevesinde yeniden şekillendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'de eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık eğitiminde uygulama temelli, disiplinler arası ve yerel kimliğe duyarlı bir yaklaşımın geliştirilmesi gereklidir. Yurt dışında yaygın olan saha temelli ve toplumsal katılım odaklı eğitim modellerinin örnek alınması, öğrencilerin daha donanımlı ve ekolojik bilinçle hareket eden tasarımcılar olarak yetişmesini destekleyecektir. Bu kapsamda, eğitim politikalarının güncellenmesi ve müfredatların ekolojik ve kültürel çeşitliliğe göre yeniden düzenlenmesi önemlidir.

9. SONUÇ

Eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık, insanlık tarihinin farklı dönemlerinde cesitli biçimlerde varlık göstermiş, ancak özellikle Sanayi

Devrimi sonrasında hızla artan çevresel sorunlar nedeniyle 20. yüzyılda kuramsal ve uygulamalı bir gereklilik haline gelmiştir. Antik dönemlerden itibaren toplumlar yerel malzeme kullanımı ve iklime uyumlu yapılar inşa ederek çevreyle dengeli bir ilişki kurmuşlardır. Ancak sanayileşmenin ivme kazanmasıyla birlikte, doğa tüketilen ve dönüştürülen bir kaynak olarak ele alınmış, bu da ekosistemlerin tahribatını hızlandırmıştır (McLennan, 2004). Bu bağlamda eko mimarlık, çevresel tahribatı yalnızca azaltmayı değil, doğal sistemlerle bütünleşmeyi ve ekolojik dengeyi desteklemeyi temel hedef olarak benimseyen bir yaklaşıma evrilmiştir.

Sürdürülebilir mimarlık, çevre dostu malzeme kullanımı, enerji verimliliği ve karbon salınımının azaltılması gibi ölçülebilir çevresel kriterlere odaklanırken, eko mimarlık bu çerçevenin ötesine geçerek yapıların biyofilik tasarım, ekolojik koridorlar ve doğal döngülerle uyumlu şekilde geliştirilmesini savunur (Edwards, 2001). Bu iki kavram birbiriyle ilişkili olmakla birlikte, eko mimarlık daha bütüncül ve doğayla bütünleşik bir tasarım felsefesini yansıtmaktadır.

Türkiye’de eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık eğitimi, ağırlıklı olarak teorik bilgi aktarımı üzerinden yürütülmekte, saha uygulamaları ve yerel ekolojik bağlamı esas alan proje tabanlı çalışmalar ise sınırlı kalmaktadır. Oysa yurt dışındaki eğitim yaklaşımlarında, disiplinler arası iş birlikleri, yerel yönetimler ve topluluklarla bütünleşen uygulama stüdyoları ön plana çıkmaktadır (Smith, 2007). Türkiye’nin mimarlık ve peyzaj mimarlığı eğitiminde, ekosistem temelli, yerel malzeme kullanımını teşvik eden ve saha deneyimini artıran yöntemlere öncelik vermesi gerekmektedir.

Ayrıca eko mimarlık eğitiminin yalnızca mimarlık fakülteleri ile sınırlı kalmaması, şehir ve bölge planlama, peyzaj mimarlığı, çevre mühendisliği ve sosyoloji gibi disiplinlerle ortaklaşa yürütülmesi kritik bir ihtiyaçtır. Eko mimarlığın özünde barındırdığı doğayla uyumlu yaşam ve tasarım anlayışının, eğitim programlarının temel bileşeni haline getirilmesi, hem Türkiye’de hem de küresel ölçekte sürdürülebilir ve yaşanabilir kentlerin oluşturulmasına önemli katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, eko mimarlık ve sürdürülebilir mimarlık, geçmişin deneyimlerinden beslenen ancak geleceğe yön veren iki temel yaklaşımdır. Eğitim politikalarının, doğa ile uyumlu tasarımı bir seçim değil bir zorunluluk olarak görmesi, disiplinler arası iş birliklerini güçlendirmesi ve uygulama odaklı bir öğretim modelini benimsemesi, uzun vadede ekolojik mimarlık bilincinin toplumsal düzeyde yerleşmesine imkan tanıyacaktır.

KAYNAKÇA

- Archdaily. (n.d.-a). Bosco verticale / Stefano Boeri Architetti. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti>
- Archdaily. (n.d.-b). Bosco verticale / Stefano Boeri Architetti (Detail). Retrieved June 12, 2025, from https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti/564e7c88e58ece4d730003a5-bosco-verticale-stefano-boeri-architetti-detail?next_project=no
- Archup. (2024). 10 sustainable buildings around the world. Archup. <https://archup.net/10-sustainable-buildings-around-the-world/>
- Arizona State University. (2023). School of Sustainability Course Offerings. <https://sustainability.asu.edu>
- Arkitera. (n.d.). Hasanpaşa Gazhanesi restorasyon, peyzaj tasarımı ve yeniden işlevlendirme projesi. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.arkitera.com/proje/hasanpasa-gazhanesi-restorasyon-peyzaj-tasarimi-ve-yeniden-islevlendirme-projesi/>
- Aydın Adnan Menderes Üniversitesi. (2025). Ziraat Fakóltesi – Peyzaj Mimarlığı Bölümü Ders Kataloęu. <https://obis.adu.edu.tr/>
- Beatley, T. (2011). Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning. Island Press.
- Belek, A. N., & Yamaçlı, R. (2023). Ekolojik binaların sürdürülebilir tasarım kriterleri ve değerlendirme süreci. Mimarlık ve Yaşam, 8(2), 529–550.
- Benyus, J. M. (1997). Biomimicry: Innovation inspired by nature. Harper Perennial.
- Berardi, U. (2013). Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. Sustainable Cities and Society, 8, 72–78.
- Boeri, S. (2015). Vertical forest: Instructions booklet for the prototype of a forest city. Corraini Edizioni.
- Ching, F. D. K. (2014). Architecture: Form, space, and order (4th ed.). Wiley.
- Cittaslow Türkiye. (2020). Seferihisar ve sakin şehir hareketi. <https://cittaslowturkiye.org>
- Edwards, B. (2005). Rough guide to sustainability: A design primer. RIBA Publishing.
- Edwards, B. (2010). Rough guide to sustainability: A design primer. RIBA Publishing.
- Ekim, A. (2010). Sürdürülebilir mimarlıkta estetik ve fonksiyonellik. Mimarlık ve Tasarım Dergisi, 12(3), 145–160.

- Ekoyapi Dergisi. (n.d.). Yeşil koridorlar nedir? Retrieved June 12, 2025, from <https://www.ekoyapidergisi.org/yesil-koridorlar-nedir>
- E-Zigurat. (2024, Temmuz 17). 5 remarkable sustainable architecture examples. E-Zigurat Blog. <https://www.e-zigurat.com/blog/5-remarkable-sustainable-architecture-examples/>
- Evim Dergisi. (n.d.). Dikey bahçe nedir? Özellikleri, faydaları ve çeşitleri. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.evimdergisi.com.tr/dikey-bahce-nedir-ozellikleri-faydalari-ve-cesitleri>
- Farr, D. (2008). Sustainable urbanism: Urban design with nature. Wiley.
- Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates. The University of Chicago Press.
- Fry, T. (2008). Design futuring: Sustainability, ethics and new practice. Berg Publishers.
- Gökşen, F., Güner, C., & Koçhan, A. (2017). Sürdürülebilir kalkınma için ekolojik yapı tasarım kriterleri. Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi, 3(1), 92–107.
- Group Zelena. (n.d.). [Instagram reel]. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.instagram.com/groupzelena/reel/DFfQmJsPsNi/?locale=ko&hl=am-et>
- Guy, S., & Farmer, G. (2001). Reinterpreting sustainable architecture: The place of technology. Journal of Architectural Education, 54(3), 140–148. <https://doi.org/10.1162/10464880152632451>
- Inhabitat. (n.d.). Heliotrope: The world's first energy-positive solar home. Retrieved June 12, 2025, from <https://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home/new-5-40/>
- Invento Enerji. (n.d.). Yağmur suyu toplama, geri dönüşüm ve depolama bilgileri. Retrieved June 12, 2025, from <https://inventoenerji.com/yagmur-suyu-toplama-geri-donusum-ve-depolama-bilgileri/>
- İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). (2022). Hasanpaşa Gazhanesi Restorasyonu. <https://ibb.istanbul>
- İTÜ Mimarlık Fakültesi. (2023). Ders katalogları. <https://mim.itu.edu.tr>
- İTÜ Mimarlık Fakültesi. (2023). Lisans ders içerikleri.
- Jalia, A., Bakker, R. ve Ramage, M. (2019). The Edge, Amsterdam.
- Kartal, G. (2019). Sürdürülebilir kalkınma anlayışına farklı bir bakış: Cittaslow “Yavaş Şehir” hareketi ve sürdürülebilir kalkınma. KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 21(36), 9–18.

- Lotfabadi, P., & Iranmanesh, A. (2025). Evaluating the incorporation of ecological conscious building design methods in architectural education. *Buildings*, 15(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/buildings15081339>
- Mardin Life. (n.d.). Mardin evleri: Taş evlerinin özellikleri, kullanılan malzemeler. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.mardinlife.com/kultur-sanat/mardin-evleri-tas-evlerinin-ozellikleri-kullanilan-malzemeler>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
- Mozart Cultures. (n.d.). BedZED: An inspiring eco-village in London. Retrieved June 12, 2025, from <https://mozartcultures.com/en/bedzed-an-inspiring-eco-village-in-london/>
- Naess, A. (1973). The shallow and the deep, long-range ecology movement: A summary. *Inquiry*, 16(1-4), 95-100. <https://doi.org/10.1080/00201747308601682>
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology* (3rd ed.). W.B. Saunders.
- ODTÜ Mimarlık. (2023). Environmental Control Systems ders bilgileri.
- ODTÜ Mimarlık Fakültesi. (2023). Ders programı ve içerikler. <https://arch.metu.edu.tr>
- Öztürk, A., İpek, F., & Kayacan, B. (2023). Cittaslow (sakin şehir) yaklaşımının sürdürülebilir yerel kalkınmaya etkisi: Şavşat örneği. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(1), 187-208.
- Öztürk, S. (2011). Geleneksel Mardin Evleri'nde pasif iklimlendirme yöntemleri. *İTÜ Dergisi/a*, 10(2), 45-56.
- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121.
- Protan Türkiye. (n.d.). Yeşil çatı sistemleri. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.protantr.com/catilar-ve-membranalar/Kurulum-Sistemlerini/Yesil-cati-sistemleri/>
- Reynolds, M. (2005). *Earthship: Systems and components* (Vol. 2). Earthship Bioteecture.
- Schiano Phan, R., & Soares Gonçalves, J. C. (2022). Sustainability in architectural education—Editorial. *Sustainability*, 14(17), 10640. <https://doi.org/10.3390/su141710640>
- Sustainability Magazine. (2024). The world's most sustainable buildings. *Sustainability Magazine*. <https://sustainabilitymag.com/top10/top-10-most-sustainable-buildings-world>

- Tan, Y., Shen, L. Y., & Yao, H. (2017). Sustainable building education in China: Current practices and future needs. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), 1781–1791.
- Tan, Y., Shen, L. Y., Yao, H., & Yu, A. T. W. (2017). A holistic review of green building education in higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 165, 370–380.
- University of Houston, College of Architecture. (2023). Ecology Integrated Design Certificate Curriculum.
- University of Kansas, College of Architecture, Planning & Design. (2022). Master of Science in Architecture: Ecological and Sustainable Design.
- UCL Bartlett School of Architecture. (2023). Undergraduate and graduate programmes. <https://www.ucl.ac.uk/bartlett>
- Vale, B., & Vale, R. (1991). *Green architecture: Design for a sustainable future*. Thames and Hudson.
- Vale, B., & Vale, R. (2009). *Time to eat the dog? The real guide to sustainable living*. Thames & Hudson.
- Vale, B., & Vale, R. (2009). *Green architecture: Design for an energy-conscious future*. Thames & Hudson.
- Wikipedia contributors. (2025, June 10). Energy-plus building. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Energy-plus_building
- WWF. (2007). BedZED case study. World Wildlife Fund. <https://www.wwf.org.uk>
- Yesilist. (n.d.-a). Dünyanın en büyük dikey bahçesi 85 bin bitki ile Kolombiya’da yükseliyor. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.yesilist.com/dunyanin-en-buyuk-dikey-bahcesi-85-bin-bitki-ile-kolombiyada-yukseliyor/>
- Yesilist. (n.d.-b). Earthship: Şebekeden bağımsız sürdürülebilir evler. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.yesilist.com/earthship-sebekeden-bagimsiz-surdurulebilir-evler/>
- Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi. (2023). Lisans programı detayları. <https://mim.yildiz.edu.tr>
- Yıldız Teknik Üniversitesi. (2023). Ekolojik tasarım ilkeleri ders içeriği.
- Jalia, A., Bakker, R. ve Ramage, M. (2019). *The Edge*, Amsterdam.