

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TASARIM VE ENDÜSTRİYEL YAPIMIN KESİŞİMİNDE BİR KONUT DENEYİMİ: PROJECT PHOENIX VAKA ANALİZİ

Minel Kurtuluş^a 

^a İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: mikurtulus@gelisim.edu.tr

(Geliş/Received: 01.08.2025; Düzeltme/Revised: 13.08.2025; Kabul/Accepted: 18.08.2025)

ÖZ

Bu çalışma, yapay zekâ destekli tasarım süreçleri ve endüstriyel inşaat tekniklerinin konut mimarisindeki etkileşimini, Kaliforniya'nın Batı Oakland bölgesinde geliştirilen “Project Phoenix” üzerinden incelemektedir. Mimarlık disiplini, küresel konut krizi, iklim değişikliği ve dijitalleşme gibi çok katmanlı sorunlara yanıt ararken; yapay zekâ, üretici algoritmalar ve modüler üretim sistemleri tasarım süreçlerinde dönüştürücü bir rol oynamaktadır. Project Phoenix, Autodesk Forma gibi araçlarla entegre edilen yapay zekâ destekli analizlerle tasarlanmıştır; üretim süreci ise Factory_OS tarafından geliştirilen modüler ve hızlı montaj sistemleriyle gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında, miselyum bazlı biyomalzemeler ve FRP teknolojisiyle üretilen karbon-negatif cephe panelleri sayesinde sürdürülebilirlik düzeyi artırılmış; aynı zamanda yapıların inşaa süresi geleneksel yöntemlere kıyasla dramatik biçimde kısaltılmıştır. Bu vaka analizi, Project Phoenix'in mimari çözümleme, üretim teknolojisi, malzeme seçimi, bağlamsal yaklaşım ve sürdürülebilirlik stratejilerini detaylı biçimde inceleyerek, gelecekteki mimarlık uygulamaları için örnek oluşturabilecek çok katmanlı bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma, dijitalleşen tasarım süreçleri ile mimari üretimin dönüşümüne dair teorik ve uygulamalı bir çerçeve önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ destekli tasarım, Endüstriyel inşaat, Sürdürülebilir mimarlık, Modüler konut sistemleri, Vaka analizi

A RESIDENTIAL EXPERIENCE AT THE INTERSECTION OF AI-ENABLED DESIGN AND INDUSTRIAL CONSTRUCTION: A CASE STUDY OF PROJECT PHOENIX

ABSTRACT

This study examines the interaction between artificial intelligence-enabled design processes and industrial construction techniques in housing architecture through the lens of Project Phoenix, developed in West Oakland, California. As the discipline of architecture confronts multilayered challenges such as the global housing crisis, climate change, and accelerating digitalization, artificial intelligence, generative algorithms, and modular production systems are assuming transformative roles within design workflows. Project Phoenix was conceived using AI-supported analyses integrated via platforms like Autodesk Forma, while its delivery relies on modular, rapid-assembly construction systems developed by Factory_OS. The project further advances sustainability by employing carbon-negative façade panels that combine mycelium-based biomaterials with fiber-reinforced polymer (FRP) technology, and simultaneously achieves a dramatic reduction in building time compared to conventional methods. This case study offers a multi-dimensional evaluation of Project Phoenix by systematically investigating its architectural reasoning, production technologies, material strategies, contextual engagement, and sustainability interventions. Through this analysis, the research aims to surface transferable insights and serve as an exemplar for future architectural applications. Moreover, the study proposes an integrated

theoretical and practical framework for understanding how digitalized design processes and industrialized construction paradigms can jointly reshape the production of the built environment.

Keywords: AI-Enabled Design, Industrial Construction, Sustainable Architecture, Modular Housing Systems, Case Study

1. GİRİŞ

Mimarlık disiplini, teknolojik gelişmelerle birlikte biçimsel, işlevsel ve üretimsel dönüşümlere sahne olmaktadır. Yapay zekâ, mimari üretimde yeni bir yaklaşım/dönüşüm ortaya koymaktadır. Bu dönüşüm yalnızca tasarım süreçlerinde değil, aynı zamanda üretim ve inşaat yöntemlerinde de köklü değişimlere yol açmaktadır.

Son yıllarda endüstriyel üretim tekniklerinin yapı sektörüne entegrasyonu, zaman, maliyet ve iş gücü açısından yüksek verimlilik sağlayan bir paradigma değişimi yaratmıştır. Bu süreçte dijitalleşme, yapay zekâ ve otomasyon sistemleri; tasarım, üretim ve uygulama arasındaki sınırları bulanıklaştırarak bütünleşik bir yapı üretim modeline zemin hazırlamaktadır. Özellikle konut üretimi bağlamında, bu yeni yaklaşımın hızlı, modüler ve çevresel etkileri minimize eden sistemler aracılığıyla uygulama bulduğu görülmektedir.

Bu bağlamda çalışma, yapay zekâ destekli mimari tasarım ile teknolojiye dayalı yapı üretiminin kesişiminde konumlanan güncel bir konut projesini analiz ederek, bu tür uygulamaların mimari ifade, yapı fiziği ve sürdürülebilirlik parametreleri üzerindeki etkisini tartışmayı amaçlamaktadır. Vaka olarak seçilen “Project Phoenix” adlı proje, dijital tasarım ile modüler üretimin bütünleşik olarak uygulandığı, karbon-negatif cephe sistemi ve modüler yapım yaklaşımıyla dikkat çeken yenilikçi bir örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma, hem yapay zekâ destekli tasarım araçlarının mekânsal niteliğe katkısını hem de otomasyon odaklı üretim modellerinin sürdürülebilir konut tasarımındaki rolünü tartışmak üzere yapılandırılmıştır. Böylece, mimarlık alanında dijital üretim çağının açtığı olanaklar, özgün bir proje örneği üzerinden eleştirel bir çerçevede değerlendirilmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Yapay zekâ (YZ), mimarlık alanında kavramsal tasarım, otomasyon ve görselleştirme

süreçlerinde yaratıcı ve teknik çözümler sunarak önemli bir rol oynamaktadır (Castro Pena vd., 2021; Harapan vd., 2021). Özellikle evrimsel algoritmalar ve derin öğrenme teknikleri, mimarların çeşitli tasarım alternatifleri üretmesini sağlayarak tasarım sürecini zenginleştirmektedir (Lukovich, 2023). Bu gelişmeler, mimari üretimde yeni ihtiyaçların ortaya çıkarılması ve yaratıcı olanakların artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Büyük veri ve dağıtık YZ entegrasyonu, BIM ve CAD gibi dijital platformlar üzerindeki mimari veri analizini hızlandırmakta; bu da karmaşık yapısal ve çevresel değerlendirmelerin verimliliğini artırmaktadır. Böylece mimarlar daha kapsamlı ve doğru tasarım kararları alabilmektedir. Ayrıca, YZ destekli görselleştirme araçları, mimarlık eğitiminde öğrenme motivasyonunu ve kavramsal anlayışı güçlendirmektedir (Vergunova, 2024). Üretici modeller ve derin sinir ağları, mimari görselleştirmenin estetik kalitesini artırmakta ve müşteri etkileşimini güçlendirmektedir. Ancak maliyet, kullanıcı deneyimi ve etik endişeler gibi zorluklar hâlâ önemini korumaktadır (Sharma vd., 2023).

Etik açıdan bakıldığında, mimarlıkta YZ’nin sorumlu kullanımına yönelik disiplinlerarası yönergelerin oluşturulması, yaratıcılık ve kültürel çeşitliliğin korunmasına vurgu yapılması açısından önemlidir (Softaoğlu, 2024). Ayrıca, YZ’nin etkili ve adil biçimde uygulanabilmesi için eğitim ve politika modellerinin geliştirilmesi de literatürde öne çıkan bir konudur (Park ve Kim, 2024). Yapay zekâ ve makine öğrenmesinin, mimari görselleştirme süreçlerinde hızı ve doğruluğu artırarak karmaşık bina tasarımlarının daha etkili biçimde modellenmesini sağladığı gösterilmiştir (Ramesh vd., 2021). YZ ile adaptif mimarlığın entegrasyonu, çevresel olarak tepkisel, etkileşimli ve kendini düzenleyebilen mekânların oluşturulmasındaki rolüyle ele alınmıştır. Sibernetik yaklaşımlara dayanan ve makine öğrenmesi ile veri işleme teknikleriyle desteklenen bu sistemler, mimarlığı durağan yapılardan dinamik,

kullanıcıyla etkileşimli ortamlara dönüştürmektedir. YZ'nin bina tasarımı, enerji optimizasyonu ve kullanıcı deneyimini artırmadaki potansiyeli vurgulanmakta; bu dönüşümün etik, psikolojik ve toplumsal boyutları da ele alınmaktadır (Wang vd., 2023).

YZ'nin kavramsal tasarım aşamasında yenilikçiliği artırdığı, biçim üretimi ve tasarım analizine önemli katkılar sunduğu görülmektedir (Smith ve Jones, 2024). Yapay zekâ modelleri, mimari kavramsal tasarımda karar destek sistemleri olarak işlev görmektedir; hızlı prototipleme ve tasarım çeşitliliği sunmaktadır (Chen vd., 2024). Kullanıcı kontrollü YZ tabanlı prototipleme sistemlerinin, tasarım kalitesini artırdığı ve alternatif tasarımların hızlı test edilmesini kolaylaştırdığı raporlanmıştır (Aslan ve Aydın, 2023).

YZ teknolojilerinin mimarlık ve iç mimarlık eğitimindeki rolü giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Metinden görsele dönüşüm sağlayan sistemler çoğunlukla papatya benzeri çiçek görselleri üretirken, Stable Diffusion 2.1 sürümünün daha çeşitli çıktılar sunduğu ifade edilmiştir (Buldaç, 2024). İç mimarlık odaklı bir çalışmada, YZ araçlarının deneysel tasarım süreçlerini hızlandırdığı ve genel öğrenci memnuniyeti sağladığı, ancak yönlendirme yorumlarının doğru okunması ve teknik sınırlamalar gibi bazı zorlukların da yaşandığı belirtilmiştir (Avinç, 2024). Biyofilik tasarım bağlamında, Leonardo AI gibi araçların doğadan ilham alan mekânların oluşturulmasında yaratıcı tetikleyiciler olduğu görülmüştür (Yaman, 2025). İstanbul Kent Üniversitesi öğrencileriyle yürütülen bir çalışmada, YZ araçlarının erken tasarım sürecini hızlandırdığı ve yaratıcılığı artırdığı tespit edilmiştir. Ancak bazı çıktıların gerçekçi bulunmadığı ifade edilmiş ve bu araçların eğitim müfredatına sistematik olarak entegre edilmesi önerilmiştir (Marşoğlu ve Özdemir, 2025).

YZ destekli araçların, öğrencilerin yaratıcı ve analitik becerilerini özellikle karmaşık temaların görselleştirilmesinde desteklediği ve sürdürülebilirlik gibi temaların stüdyo eğitimine entegrasyonuna katkı sunduğu raporlanmıştır (Adetayo, 2024). Eğitim ve kütüphane ortamlarında DALL·E ve Midjourney gibi araçlar, etkileşimli ve görsel odaklı öğrenme senaryoları sunarken; telif ve

önyargı gibi etik sorunlar da gündeme gelmektedir (Nie, 2024). ControlNet ve LoRA gibi eklentilerle geliştirilen Stable Diffusion, yaratıcı kontrolü artırmakta; ESRRGAN gibi teknikler ise profesyonel kalitede görseller üretmeyi mümkün kılmaktadır.

Endüstriyel tasarım bağlamında, insan-YZ iş birliği; etik, pedagojik ve işlevsel boyutlarıyla değerlendirilmiş; insan merkezli yaratıcılığın korunması vurgulanmıştır (Bölek vd., 2023; Wen vd., 2024). Stable Diffusion SDXL modeli, mimari cephe tasarımında biçimsel ve yapısal doğruluğun bütünleştirilmesindeki potansiyeliyle öne çıkmıştır (Jin vd., 2024). Deneysel bir mimarlık eğitimi modelinde, YZ'nin fikir üretimi ve veri analizi aşamalarına önemli katkılar sunduğu; ancak entegrasyonun çoğu zaman parçalı kaldığı belirtilmiştir (Almaz vd., 2024).

YZ, mimari tasarımda verimlilik, sürdürülebilirlik ve yaratıcılık açısından yeni olanaklar sunmakta; üretici algoritmalar ve BIM entegrasyonu aracılığıyla veriye dayalı karar verme süreçlerini desteklemektedir (Ploennigs ve Berger, 2023). Midjourney, DALL·E ve Stable Diffusion gibi görselleştirme sistemleri, kavramsal gelişim sürecinde yaygın olarak kullanılmakta; parametrik tasarım ve müşteri sunumlarında etkinlik sağlamaktadır (Sheikh ve Crolla, 2023). Sanal gerçekliğin mimarlık eğitime entegrasyonu, özellikle modelleme ve inşaat detaylarının anlaşılması açısından etkileşimli ve karar destekli çözümler sunmaktadır (Cao vd., 2024; Mammadov vd., 2025).

YZ mimarlığı, düşük enerjili çip tasarımları ve biyolojik hesaplama yoluyla sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamak üzere evrilmektedir (Yaşar vd., 2025). Metin tabanlı yönlendirmelerle çalışan üretici YZ araçlarının mimarlık eğitiminde kullanımı, soyut fikirlerin hızlı görselleştirilmesini kolaylaştırmakta; ancak kaliteli çıktılar için insan katkısı hâlâ vazgeçilmezdir (Abd El-Maksoud ve Ahmed, 2024). Son olarak, YZ'nin özellikle sürdürülebilir malzeme seçimi ve enerji verimliliği yoluyla yeşil mimarlığa katkıları, çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Li vd., 2025). Kavramsal tasarım süreçlerini destekleyen sistemler, geleneksel çizim alışkanlıklarını 3B ortama

çevirerek sezgisel ve bütüncül dijital iş akışları sunmaktadır (Dorsey vd., 2007).

1.2. Çalışmanın Materyali ve Yöntemi

Çalışmanın yöntemi; Bu araştırma, nitel bir yöntemsel yaklaşımla yapılandırılmıştır ve Project Phoenix'ın mimari boyutlarını çok katmanlı bir vaka analizi çerçevesinde ele almaktadır. Vaka analizi yöntemi, özellikle özgün bağlamlarda geliştirilen mimari üretim modellerinin kapsamlı biçimde anlaşılmasına olanak tanıdığı için tercih edilmiştir. Bu bağlamda çalışma, tasarım süreci, üretim teknolojisi, malzeme kullanımı, sürdürülebilirlik stratejileri ve bağlamsal etkileşim gibi ana bileşenleri dikkate alarak Project Phoenix'ı bütüncül biçimde incelemeyi amaçlamaktadır.

Analiz sürecinde, Autodesk tarafından yayımlanan proje belgeleri, röportajlar, görsel materyaller, teknik raporlar ve platform destekli araçlara ilişkin çevrim içi veriler taranmıştır. Elde edilen veriler, mimarlık disiplinde vaka analizlerinde yaygın olarak kullanılan içerik çözümlemesi ve tematik karşılaştırma teknikleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, projede kullanılan teknolojilerin işleyişine ilişkin teknik veriler, üretici firmaların açıklamaları ve akademik yayınlar çerçevesinde doğrulanmıştır.

Yöntemsel çerçeve, betimsel analiz ile eleştirel değerlendirmeyi bir araya getirerek, Project Phoenix'ın mimarlık pratiğine sunduğu yenilikçi katkıları ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışmanın çıktıları, dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve teknoloji destekli üretim odaklı mimarlık yaklaşımlarına dair kuramsal ve uygulamalı bir zemin sunmaktadır.

Çalışmanın materyali; Phoenix proje belgeleri, teknik raporlar, röportajlar, çevrim içi kaynaklar ve ilgili bilimsel literatür şeklindedir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Gerekliliği

Çalışmanın Amacı; yapay zekâ destekli tasarım süreçleri ile hızlı üretim temelli inşaat tekniklerinin konut mimarisine etkisini Project Phoenix örneği üzerinden değerlendirmek; malzeme kullanımı, üretim süreci ve sürdürülebilirlik stratejileri bağlamında mimarlık disiplini açısından çok boyutlu bir çözümleme sunmaktır.

Çalışmanın Gerekliliği; Günümüzde küresel konut krizi, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri ve dijitalleşen üretim biçimleri, mimarlık disipliniyi yeniden tanımlamaktadır. Ancak bu dönüşümün somut projeler üzerinden değerlendirilmesi, hâlen sınırlı düzeydedir. Project Phoenix, hem yapay zekâ destekli karar verme sistemleri hem de otomasyon odaklı yapı teknolojilerinin bütünleştiği yenilikçi bir örnektir. Bu bağlamda çalışmanın yürütülmesi, geleceğin konut mimarisine yön verecek teorik ve pratik yaklaşımların oluşturulması açısından önem taşımaktadır.

1.4. Çalışmanın Hipotezleri ve Araştırma Soruları

Çalışmanın Hipotezleri:

H1: Yapay zekâ destekli tasarım araçlarının kullanımı, mimari tasarım sürecinin verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirlik performansını artırmaktadır.

H2: Modüler ve endüstriyel inşaat sistemlerinin entegrasyonu, inşaat süresini kısaltmakta ve iş gücü maliyetlerini düşürerek mimarlıkta daha erişilebilir konut çözümleri sunmaktadır.

H3: Yapay zekâ teknolojilerinin mimarlık disiplinine entegrasyonu, tasarım sürecinin erken aşamalarında karar alma mekanizmalarını optimize ederek; süreçleri hızlandırıcı, maliyetleri azaltıcı ve tasarım çeşitliliğini artırıcı bir etki yaratmaktadır.

Çalışmanın Araştırma Soruları:

Project Phoenix projesi, yapay zekâ destekli tasarım kararlarını mimari üretime nasıl entegre etmektedir?

Teknolojik üretim yöntemleri ve modüler yapı sistemleri, geleneksel inşaat süreçlerine kıyasla ne tür avantajlar ve sınırlılıklar sunmaktadır?

Projede kullanılan biyomalzeme esaslı yapı kabuğu, sürdürülebilirlik ve performans açısından nasıl bir etki yaratmaktadır?

2. VAKA ÇALIŞMASI BAĞLAMINDA PROJE ÖZELLİKLERİ

Proje Tanımı ve Bağlamı; The Phoenix projesi, Kaliforniya'nın Batı Oakland bölgesinde, uzun süre atıl kalan eski Phoenix Ironworks çelik fabrikası sahasında konumlanan 316 ünitelik uygun fiyatlı ve sürdürülebilir çok aileli konut yerleşimi olarak tasarlanmıştır. Yüksek konut talebi, artan kira maliyetleri ve bölgesel eşitsizlikler bağlamında

mekânsal dönüşüm fırsatı olarak ele alınan saha hem tarihsel kırılganlıkları hem de güncel sosyal ihtiyaçları gözeten çok katmanlı bir müdahale olarak yapılandırılmıştır.

Aktörler ve Dijital Entegrasyon; Proje disiplinlerarası bir koordinasyonla ilerlemiş; dijital altyapı Autodesk tarafından sağlanan ortak platform üzerinden MBH Architects (tasarım), Factory_OS (modüler üretim), Kreysler & Associates ve Ecovative (yenilikçi cephe sistemleri) arasında veri temelli eş zamanlı işbirliğini mümkün kılmıştır. Bu yapı, tasarım, üretim ve inşaat süreçlerinin dijital-fiziksel döngüyle sıkı entegresini sağlamıştır.

Program, Hedefler ve Kullanım; The Phoenix, sadece barınma sağlamakla kalmayıp topluluk odaklı kamusal alanlar ve sosyal donatılar içeren kapsayıcı bir programla, erişilebilirlik, sürdürülebilirlik, yapım hızı, dijitalleşme ve malzeme inovasyonu hedeflerini eşzamanlı olarak gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda proje; karbon emisyonlarını azaltan üretim ve malzeme stratejileri, orta ve düşük gelirli gruplar için erişilebilir birim üretimi, yapay zekâ ile optimize edilmiş tasarım kararları ve modüler prefabrikasyonla hızlandırılmış inşaat süreçleri üzerine kuruludur.

Veri ve Araçlar; Tasarım aşamasında Autodesk Forma ve Revit ile çok kriterli modelleme yapılmış; tüm paydaşlar Autodesk'ın bulut tabanlı platformu üzerinden gerçek zamanlı veri paylaşımıyla senkronize edilmiştir. MBH Architects'in geçmiş projelerden türetilen "birim kataloğu" yaklaşımı, yapay zekâ destekli düzenlemelerle birleşerek karbon, maliyet ve yaşanabilirlik gibi hedefler arasında dinamik optimizasyonu mümkün kılmıştır. Üretim süreçleriyle ilgili teknik bilgiler, FRP panel tasarımları ve Ecovative'in miselyum biyomalzeme verileri; saha gözlemleri, röportajlar ve teknik raporlarla desteklenmiştir (Şekil 1).

Tasarım ve Yapım Yenilikleri; Autodesk Forma aracılığıyla çok sayıda mimari varyasyon, çevresel ve ekonomik performans göstergeleri bağlamında eş zamanlı değerlendirilmiş; bu sayede ilk tasarım paketleri geleneksel iki haftalık süreden altı saate indirilmiştir. Factory_OS'in modüler üretim sistemi, dijital ikizler ve entegre bulut iş

akışlarıyla desteklenerek saha kurulum süresini yaklaşık iki haftaya çekmiş, öngörülemezlikleri ve maliyet dalgalanmalarını büyük ölçüde azaltmıştır.

Malzeme ve Sürdürülebilirlik; Cephe sistemleri, Ecovative tarafından büyütülen miselyum çekirdeği ile Kreysler & Associates'in geliştirdiği FRP dış kabuğun entegrasyonu ile oluşturulan karbon-negatif, çok işlevli panellerden oluşmaktadır. Bu sistem, taşıyıcı yapı, su yalıtımı, yangın dayanımı, termal konfor ve akustik performansı tek bir entegre kabukta toplayarak hem çevresel etkinliği artırmakta hem de montaj süresini geleneksel altı aydan yaklaşık on güne indirmektedir.



Şekil 1: Projenin tasarım aşamasında sonuçlandırılan/hedeflenen yapay zeka destekli görseli [URL 1]

3. PROJECT PHOENIX'TE TASARIM, ÜRETİM VE BAĞLAMIN ÇOK BOYUTLU ANALİZİ

3.1. Yapay Zekâ Destekli Tasarım Süreçleri Analizi

Project Phoenix, mimari tasarımda yapay zekâ (YZ) entegrasyonunun ileri düzeyde bir örneğini teşkil etmektedir. Autodesk AI ve Forma platformları üzerinden gerçekleştirilen yapay zekâ destekli sistemler, tasarım sürecinin erken aşamalarından itibaren çoklu parametrelerin eş zamanlı değerlendirilmesine olanak tanıyarak mimari üretimde paradigmatik bir dönüşümü mümkün kılmıştır. Bu sistemler sayesinde, arazi kullanımı, yapı yoğunluğu, gün ışığı alma oranı, doğal havalandırma kapasitesi, karbon ayak izi ve toplam maliyet gibi kritik performans göstergeleri doğrultusunda çok sayıda tasarım varyasyonu oluşturulmuş ve optimize edilmiştir.



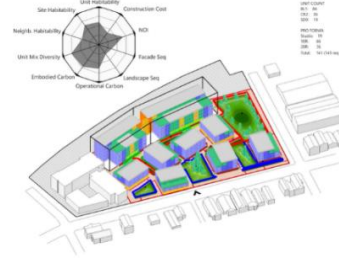
Şekil 2. Phoenix Projesi'nin hedefleri [URL 1]

Autodesk platformu, çok disiplinli tasarım ekiplerinin operasyonel karbon, gömülü karbon, inşaat maliyeti ve yaşanabilirlik gibi birbirine bağlı hedefler arasında veri odaklı dengeler kurmasına imkân vermiştir. Bu yaklaşım, tasarım kararlarının sadece form ve işlevsel gereklilikler değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel performans parametrelerine dayalı olarak şekillenmesini sağlamıştır (Şekil 2). Bu bütüncül bakış açısı, mimarlıkta yapay zekânın karar destek aracı olarak nasıl kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Autodesk Forma'nın üretken tasarım (generative design) fonksiyonları, geçmiş projelerden derlenen büyük veri setlerini kullanarak önerilen mimari çözümlerin hem niceliksel hem de niteliksel değerlendirmesine olanak tanımıştır. Bu kapsamda, yapıların konumlandırılması, bina yüksekliği, boşluk oranları ve kamusal alan organizasyonu gibi temel kentsel tasarım kararları, yapay zekâ destekli simülasyonlar aracılığıyla hızlı ve etkin biçimde analiz edilmiştir.

Autodesk Forma platformu, tasarım ekibine yalnızca farklı mimari varyasyonlar oluşturma imkânı sunmakla kalmamış, aynı zamanda bu varyasyonların her birinin karbon salımı, maliyet ve yaşanabilirlik gibi proje hedefleri üzerindeki etkilerini eş zamanlı olarak görselleştirme yeteneği sağlamıştır. Bu veri odaklı yaklaşım, tasarım sürecini sezgisel tercihlerden çıkarıp, ölçülebilir ve karşılaştırılabilir performans verilerine dayalı rasyonel karar mekanizmalarına dönüştürmüştür. Yapay zekâ, tasarımcıların sürdürülebilirlik, maliyet verimliliği ile kullanıcı konforu gibi çelişkili hedefler arasında optimal dengeyi sağlamalarına olanak tanımıştır. Üretilen grafiksel analizler ve

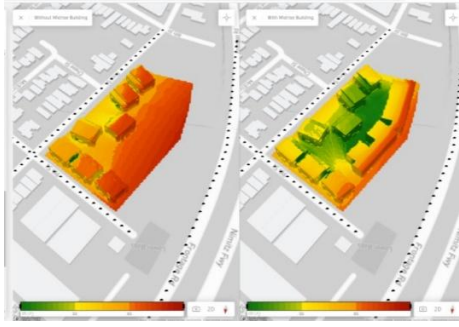
görselleştirmeler, alternatifler arasındaki farkları açık biçimde ortaya koyarak, karar vericilerin en uygun tasarım stratejilerini seçmelerini desteklemiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Autodesk teknolojisi, tasarım ekibinin her bir tasarım varyasyonunun proje hedeflerine etkisini görselleştirilmesi [URL 1]

Buna ek olarak, yapay zekâ sistemlerinin sağladığı sürekli geri bildirim mekanizması, tasarımcıların her yeni varyasyonun performans çıktıları doğrultusunda kararlarını dinamik şekilde yeniden şekillendirmesine olanak sağlamıştır. Bu durum, mimari tasarım pratiğinin doğrusal olmayan, çok boyutlu ve iteratif bir problem çözme süreci olarak yeniden tanımlanmasına zemin hazırlamıştır. Bu çerçevede, yapay zekâ yalnızca bir araç olmanın ötesinde, tasarım sürecinin aktif bir katılımcısı olarak işlev görmüştür.

Şekil 4, Autodesk Forma'nın gerçek zamanlı performans analiz yeteneklerinin, farklı kütle konfigürasyonlarının karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü maruziyeti üzerindeki etkilerini nasıl görselleştirdiğini göstermektedir. Sol panelde orta katlı (midrise) yapı yerleştirilmemiş senaryoda trafik kaynaklı gürültü yayılımı daha geniş alana yüksek seviyelerde (kırmızı-turuncu tonlarla) dağılırken; sağ panelde orta katlı yapının konumlandırılması iç avlu ve bazı konut birimlerinde gürültü seviyelerinin düşmesini sağlayarak (yeşil-sarı bölgeler) bir tür tampon etkisi yaratmıştır. Bu tip görsel çıktılar, tasarımcılara kütle yerleşimi ve biçimlendirme kararlarını yaşanabilirlik ölçütleri—özellikle gürültü maruziyeti—bağlamında nicel olarak karşılaştırma imkânı sunmuş; yapay zekâ destekli simülasyonlar aracılığıyla alternatif senaryolar hızla test edilebilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Autodesk Forma'nın gerçek zamanlı trafik gürültüsü analizi [URL 1]

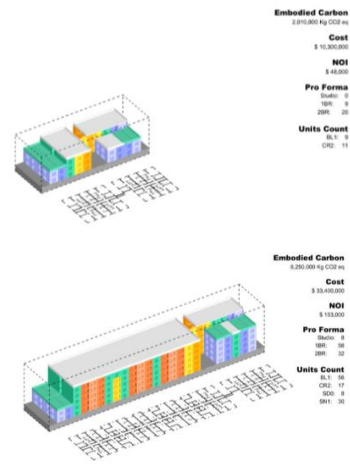
Sonuç olarak, Project Phoenix'te uygulanan yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, mimari tasarım sürecinde yalnızca optimizasyon sağlayan teknolojik yenilikler değil; sürdürülebilirlik, hız, maliyet etkinliği ve mekânsal kalite hedeflerinin eş zamanlı ve bütüncül biçimde ele alınmasını mümkün kılan stratejik bileşenler olarak konumlandırılmıştır. Bu bağlamda, proje, mimarlıkta yapay zekânın potansiyel rolünü somutlaştıran öncü bir vaka analizi örneği olarak değerlendirilebilir.

3.2. Endüstriyel İnşaat ve Modüler Yapım Sistemleri Analizi

Project Phoenix kapsamında uygulanan modüler yapım sistemleri, günümüz mimarlık pratiğinde üretim süreçlerinin dönüşümüne yönelik önemli bir paradigmayı temsil etmektedir. Projenin üretim süreci, Factory_OS tarafından geliştirilen ve uygulanan modüler prefabrikasyon teknikleri temelinde şekillenmiştir. Bu yaklaşım, bina modüllerinin fabrikalarda kontrollü ortamlarda önceden üretilmesini ve saha montajının vinçlerle hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Modüler yapı elemanlarının üretim sürecinde, dijital ikiz teknolojileri kritik bir rol oynamaktadır. Dijital ikizler, fiziksel üretim süreçlerinin dijital temsilcileri olarak, üretim kalitesinin ve zamanlamanın gerçek zamanlı izlenmesini ve yönetilmesini sağlamaktadır. Böylece, üretim hattındaki olası aksaklıklar önceden tespit edilerek müdahale edilmekte; malzeme israfı minimize edilmekte ve iş gücü verimliliği artırılmaktadır. Ayrıca, sahadaki montaj süreçleri de dijital modeller üzerinden senkronize edilmekte, bu da inşaat süresinin önemli ölçüde kısaltılmasına olanak tanımaktadır.

Geleneksel şantiye koşullarında karşılaşılan öngörülemezlikler ve iş gücü maliyetlerindeki artış, Project Phoenix'ın modüler üretim yaklaşımıyla büyük oranda azaltılmıştır. Modüller, fabrikanın kontrollü ortamında standart kalite kriterlerine uygun olarak üretilmekte ve ardından sahaya taşınarak yaklaşık iki hafta gibi kısa bir sürede monte edilmektedir. Ayrıca, bu sistemin maliyet kontrolü ve iş sağlığı-güvenliği açısından da önemli avantajlar sunduğu gözlemlenmiştir.



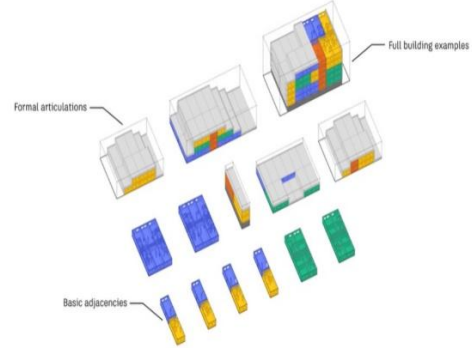
Şekil 5. Prefabrik modül tasarım varyasyonlarının Autodesk platformunda görselleştirilmesi [URL 1]

Factory_OS, modüler üretimi yapı üretiminde etkili bir modele dönüştürmüştür. Bu yaklaşım kapsamında konut modülleri fabrikanın kontrollü ortamında önceden üretilmekte, kamyonlarla sahaya taşınmakta ve vinçlerle yaklaşık iki hafta içinde monte edilmektedir; bu, geleneksel şantiye süreçlerinde tipik olarak bir yılı bulabilen tamamlanma süresine kıyasla dramatik bir zaman tasarrufu sağlamaktadır. Tasarım, üretim ve inşaat iş akışlarının Autodesk'in bulut tabanlı işbirliği platformu üzerinden sıkı şekilde entegre edilmesi, şantiyelerdeki öngörülemezlikleri önemli ölçüde azaltmakta ve dijital modellerin fiziksel üretime ve saha kurulumuna sorunsuz geçişini mümkün kılmaktadır. Bu dijital-fiziksel döngü, performans verilerinin (örneğin gömülü karbon, maliyet, birim dağılımı) erken aşamada değerlendirilmesine izin vererek hem kalite kontrolü hem de zaman optimizasyonu sağlar (Şekil 5) prefabrik modül tasarım varyasyonlarının Autodesk platformunda gömülü karbon, maliyet ve birim konfigürasyonları açısından görselleştirilmesini göstermekte; bu görseller, üretime geçmeden önce farklı konfigürasyonların

karşılaştırılmasına ve hızlı geri bildirimle tasarımın uyarlanmasına olanak tanımıştır. Böylece modüler üretim, yalnızca hız kazanımı değil, aynı zamanda bilgiye dayalı, esnek ve sürdürülebilir bir inşa pratiği olarak kurgulanmıştır (Şekil 5).

Modüler yapım sistemlerinin mimari tasarım üzerindeki etkileri de dikkate değerdir. Tasarım ekibi, modüler üretim sınırları ve fabrikasyon tekniklerinin getirdiği parametreleri dikkate alarak, standartlaştırılmış ancak esnek çözümler geliştirmiştir. Bu durum hem üretim verimliliğini artırmış hem de tasarımda çeşitlilik ve mekânsal zenginliğin korunmasına olanak sağlamıştır. Aynı zamanda, modüler sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olması, karbon ayak izinin azaltılması ve malzeme israfının önlenmesi açısından projeye önemli katkılar sunmuştur.

Project Phoenix'te erken aşama tasarım süreçlerinin hızlandırılmasında, Autodesk Forma'nın geçmiş projelerden türetilmiş "birim kataloğu" yaklaşımı ve yapay zekâ destekli düzenleme mekanizmaları merkezi bir rol oynamıştır. MBH Architects, temel komşuluklardan (basic adjacencies) başlayarak biçimsel artikülasyonlara ve nihayetinde tam bina konfigürasyonlarına uzanan kademeli bir yeniden kombinasyon stratejisi uygulamış; bu yapı taşlarını geçmiş projelerden elde edilen kataloglardan alarak yeni tasarım varyasyonlarını sistematik biçimde oluşturmuştur. Forma'nın üretken tasarım altyapısı ve AI destekli optimizasyonları, bu varyasyonların performans çıktıları—karbon, maliyet, yaşanabilirlik vb.—gerçek zamanlı olarak görselleştirerek tasarımcıların hızlı geri bildirimle istenen hedeflere odaklanmasını sağlamıştır. Bu sayede, çok boyutlu hedefler arasında denge kuran tasarımlar kısa sürede türetilmiş; ilk tasarım paketinin hazırlanması süresi geleneksel iki haftalık ölçekten altı saate indirgenmiştir [URL 1]. Temel birim kombinasyonlarından başlayarak gelişmiş bina örneklerine ulaşan bu hiyerarşik tasarım sürecini ve her aşamadaki performans entegrasyonunu göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. MBH Architects'in birim kataloğunu kullanarak Autodesk Forma üzerinde oluşturduğu kavramsal varyasyonlar [URL 1]

Sonuç olarak, Project Phoenix, tasarım ve üretimi bir araya getiren bütüncül yaklaşımla öne çıkmaktadır. Proje, kaynak kullanımını azaltırken hızlı ve esnek konut çözümleri sunarak çağdaş mimarlıkta yeni uygulama biçimlerine örnek oluşturmaktadır.

3.3. Yenilikçi Malzeme ve Cephe Sistemleri Analizi

The Phoenix projesinde cephe sistemi, sürdürülebilir konut üretiminde karşılaşılan temel zorluklara yaratıcı ve çok katmanlı bir yanıt sunan bir malzeme-mimari bileşeni olarak konumlanmaktadır. Geleneksel cephe sistemleri, bir binanın içerdiği gömülü karbonun önemli bir bölümünü oluşturmakta ve montaj süreçleri çoğunlukla karmaşık alt yüklenici koordinasyonları, iskele kurulumu ve çok aşamalı uygulamalar gerektirmektedir; bu da zaman, maliyet ve karbon cephesinde artışlara yol açmaktadır. Buna karşılık Project Phoenix'te geliştirilen prefabrik, karbon-negatif cephe panelleri hem üretim hem de uygulama açısından bu sınırlamaları aşmayı hedeflemektedir.

Cephe panelleri, Ecovative tarafından tarımsal yan ürünler kullanılarak büyütülen miselyum çekirdeği ile başlayıp, Kreysler & Associates tarafından geliştirilen fiber takviyeli polimer (FRP) kabukla bütünleştirilerek oluşturulmaktadır. Miselyum; bitki bazlı atıkları canlı kök benzeri yapısıyla birbirine bağlayarak büyürken atmosferden karbon tutmakta ve panelin iç çekirdeğini şekillendirmektedir. Bu biyomalzeme, biyokütle olarak büyürken hem karbon depolamakta hem de doğal, yenilenebilir bir yapı sunmaktadır; sonuçta cephe sistemi, üretim sürecinde yayılan karbondan daha fazla

karbonu kalıcı olarak tutarak karbon-negatif bir profil kazanır.

Teknik performans açısından bu sistem beş katmanlı bir entegrasyonu temsil eder: Yük taşıyıcı yapı, su yalıtımı, yangına dayanıklılık, ısı yalıtımı ve akustik sönümleme. Miselyumun özel olarak kontrol edilen büyüme parametreleri ve bileşimi, panellerin yangına karşı dirençli, termal konfor sağlayan ve ses yalıtımını iyileştiren karakteristikler göstermesini mümkün kılmaktadır. FRP kabuk ise bu çok katmanlı sistemin dışsal bariyerini oluşturarak çevresel etkilere karşı dayanıklılığı artırır. Böylece, estetik açıdan büyük ölçekli fakat performans açısından incelelikli cephe panelleri elde edilir; bu paneller hem görsel olarak bütünlüklü yüzeyler sunabilir hem de iç yapı ile çevresel kontrol gereksinimlerini bir arada karşılar.

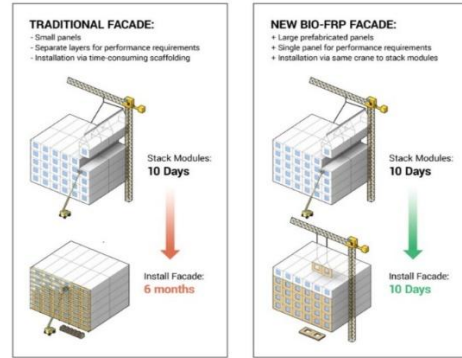


Şekil 7. Miselyumun Üretim Aşamasından bir görsel [URL 1]

Üretim ve montaj süreçlerinde sağlanan avantajlar da sistemin yenilikçiliğini pekiştirir. Geleneksel bir cephe uygulaması altı aya kadar sürebilirken, bu prefabrik paneller yalnızca yaklaşık on gün içinde kurulumunu mümkün kılacak şekilde tasarlanmıştır. Prefabrikasyon, sahadaki iş gücü ihtiyacını, çoklu alt yüklenici koordinasyonunu ve iskele gereksinimini azaltarak zaman ve süreç öngörülebilirliğini artırır. Bu süreç aynı zamanda uygulama kaynaklı atıkları minimize eder ve cephe montajına özgü belirsizlikleri azaltır; dolayısıyla hem çevresel hem operasyonel verimlilik artar. (Şekil 7).

Bu yenilikçi sistem, MBH Architects, Factory_OS, Ecovative, Heintges ve Kreysler & Associates gibi uzman kurumların iş birliğiyle geliştirilmiştir. Üretilen 11 metrelik paneller, Ecovative'in tarımsal atıklardan büyüttüğü miselyum ile oluşturulan iç çekirdeğin, Kreysler & Associates tarafından geliştirilen

FRP dış kabuk ile kaplanmasıyla ortaya çıkmıştır. Miselyum, karbon emilimi sayesinde karbon-negatif bir yapı sunarken; dış kabuk dayanıklılık ve çevresel etkilere karşı koruma sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu entegre cephe çözümü hem karbon ayak izini azaltmakta hem de inşaat süreçlerini hızlandırarak sürdürülebilirliği somut biçimde desteklemektedir (Şekil 8) (Şekil 9).



Şekil 8. Geleneksel cephe montajı ile Bio-FRP prefabrik cephe paneli sisteminin karşılaştırılması [URL 1]



Şekil 9. Miselyum çekirdekli ve FRP kabuklu prefabrik cephe panelinin saha öncesi hazırlık aşamasındaki görünümü [URL 1]

Sonuç olarak, bu cephe çözümü, çevreye duyarlı tasarım anlayışını ileri taşıyan, hızlı üretilen ve farklı projelere kolayca uyarlanabilen yenilikçi bir yapı yüzeyi sunar. Hem estetik hem işlevsellik açısından dengeli bir yaklaşım sergileyerek gelecekteki konut uygulamaları için örnek bir model oluşturur.

3.4. Bağlamsal ve Kentsel Dönüşüm Analizi

Project Phoenix, uzun yıllar atıl halde kalmış bir arazinin hem mekânsal hem toplumsal düzeyde yeniden işlevlendirilmesine dayanan çok katmanlı bir kentsel dönüşüm girişimidir. Bu dönüşüm, yalnızca konut üretimini hedefleyen klasik bir müdahale olmayıp, yerel bağlamın tarihsel kırılma noktaları ve mevcut sosyo-ekonomik baskıları dikkate alan,

sürdürülebilirlik ile adalet kavramlarını iç içe geçiren entegre bir yeniden yapılandırma stratejisi olarak tanımlanabilir.

Fiziksel ve Tarihsel Bağlamda; Söz konusu arazi, 1989'dan itibaren boş kalan Phoenix Ironworks çelik fabrikasına ev sahipliği yapmış, uzun süreli terk edilmişlik Batı Oakland'ın fiziksel sürekliliğinde bir kopukluk yaratmıştır. Bölge, sanayileşmenin gerilemesiyle birlikte ekonomik daralmaya, şehir içi ayrışmaya ve yüksek konut talebi ile uyumsuz kalan stoklara maruz kalmıştır. Bu fiziksel tarihsellik, alanın yeniden inşa edilmesini yalnızca yeni yapılar koymak değil, eski ve yeni arasında mekânsal bağlantılar kurmak, tarihsel izleri dönüştürerek yeni anlamlar üretmek açısından da kritik kılmaştır.

Sosyo-Ekonomik Bağlam ve Adalet Boyutunda; Batı Oakland, kent içi geleneksel dışlanma süreçlerinin izlerini taşıyan, gelir eşitsizlikleri ve konut stresinin yoğun olduğu bir bölgedir. Bu bağlamda Project Phoenix'in uygun fiyatlı konut hedefi, mevcut yerel nüfusun konut güvencesini artırmaya yönelik stratejik bir müdahale niteliğindedir. Ancak aynı zamanda kentsel dönüşüm projelerinde sıkça görülen yerinden edilmeye (displacement) dair riskler ve "yeni değer" yaratımı üzerinden oluşabilecek dolaylı gentrifikasyon baskıları da dikkatle izlenmelidir. Proje, bu ikiliği yönetebilmek için, konutun erişilebilir kalması ve yerel toplulukla bağın kopmaması üzerine kurgulanmış motivasyonlar barındırmaktadır.

Kentsel Yenileme ve Yeniden İşlevlendirme Stratejileri; Project Phoenix, fiziksel mekânın yeniden üretimini, sosyal gereksinimlerle ve çevresel hedeflerle ilişkilendirerek bir "yeniden işlevlendirme" modeli ortaya koymaktadır. Terk edilmiş bir sanayi alanı, sadece konut üretimine tahsis edilmekle kalmayıp, aynı zamanda inovasyon köyü ve disiplinler arası işbirliğini teşvik eden dijital ve fiziksel ağların merkezi haline getirilmiştir. Bu, kentsel yenileme sürecini statik bir yeniden yapılandırmadan çıkarıp, sürekli öğrenen ve uyumlanan bir dönüşüm mekanizmasına dönüştürmektedir.

Mekânsal Süreklilik ve Kamusal Alan Organizasyonu; Proje, çevresindeki kentsel dokuyla ilişki kurarken mekânsal sürekliliği ve erişilebilirliği gözeterek kurgulanmıştır. Farklı

konut tipolojileri, ortak kullanım alanları ve yeşil omurgalar üzerinden hem bireysel hem topluluk odaklı mekânlar yaratılmış; bu sayede fiziksel kopuşların azaltılması hedeflenmiştir. Kamusal alan organizasyonu, yalnızca fiziksel dolaşımı düzenlemekle kalmayıp, sosyal etkileşimi teşvik eden arayüzler oluşturarak yerel aidiyet ve topluluk hissini destekleyecek biçimde tasarlanmıştır.

Sosyal Sürdürülebilirlik ve Geleceğe Yönelik Potansiyeller; Projede dijitalleşme, yerel ekonomik aktivitenin canlandırılması, çevresel adalet ve yüksek kaliteli uygun fiyatlı konut sağlama hedefleri bir arada düşünülerek, sosyal sürdürülebilirliğin çok bileşenli bir temsili oluşturulmuştur. Bu kapsamda fiziksel dönüşüm, toplumsal kapsayıcılık ve yerel sahiplenme dinamikleriyle desteklenmediği takdirde kırılgan hale gelebilir. Dolayısıyla, Project Phoenix'in uzun vadeli başarısı, sadece mimari ve teknik inovasyona değil, yerel aktörlerle kurulan ilişkilerin sürekli güçlendirilmesine de bağlıdır.

Bu bağlamda, Project Phoenix'in kentsel ve bağlamsal müdahalesi, terk edilmiş bir araziye sadece fiziksel olarak yenilemekle kalmayıp, sosyal adalet, yerel aidiyet ve çevresel sorumluluk eksenlerinde çok boyutlu bir dönüşüm vizyonu ortaya koymaktadır. Mekânsal süreklilik, kamusal etkileşim ve uygun fiyatlı konut üretimi arasındaki dengeler, projenin hem fırsat hem de risk taşıyan doğasını ortaya koymakta; bu nedenle sürdürülebilir başarı, teknik yeniliklerin ötesinde yerel aktörlerle kurulan uzun soluklu ilişkilerin ve toplumsal sahiplenmenin güçlendirilmesine bağlıdır.

Project Phoenix, uyumlanabilir ve öğrenen bir kentsel yeniden işlevlendirme modeli sunarken, benzer bağlamlarda tekrarlanabilirliğini sağlamak için yerinden edilme risklerinin ve sosyal kırılganlıkların sürekli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, projenin etkileri hem mekânsal hem de toplumsal düzeyde uzun vadeli olarak değerlendirilmelidir.

4. LİTERATÜR KARŞILAŞTIRMALI KURAMSAL ENTEGRASYON VE ELEŞTİREL DEĞERLENDİRME

4.1. Eleştirel Değerlendirme

Project Phoenix, üç ana ekseninde somut başarılar elde etmiştir: (1) tasarım sürecinin dönüşümü—Autodesk Forma ve AI destekli çok kriterli optimizasyonla tasarım döngülerinin saatler düzeyine inmesi; (2) yapım sürecinin endüstrileşmesi—Factory_OS modüler sistemleriyle montaj sürelerinin dramatik biçimde kısalması ve saha öngörülemezliklerinin azaltılması; (3) malzeme inovasyonu—karbon-negatif miselyum çekirdekli ve FRP kabuklu cephe panelleriyle yapı kabuğunun hem performans hem de çevresel açıdan yeniden tanımlanması. Bu bileşenlerin dijital platformlar üzerinden entegre edilmesi, proje verilerinin yaşam döngüsü boyunca izlenebilir, yeniden kullanılabilir ve ölçeklendirilebilir hale gelmesini sağlamıştır. Uygulamada elde edilen bu çok katmanlı uyum, projeyi benzer konut krizlerine çözüm arayan mimarlık ve inşaat girişimleri için örnek teşkil eden öncü bir vaka haline getirmektedir.

Project Phoenix'in ileri teknoloji odaklı ve çok aktörlü yapısı, bir dizi yapısal ve uygulamaya dönük zorluğu da beraberinde getirmiştir. Bu zorluklar arasında şunlar öne çıkmaktadır: yapay zekâ sistemlerinin çıktılarına olan güvenin dengelenmesi ve veri kalitesinin sürdürülebilir biçimde korunması (model yanlışlıkları ve performans tutarlılığı); çok disiplinli paydaşlar arasında dijital iş akışlarının koordinasyonu ve platform entegrasyonundaki teknik karmaşıklıklar; modüler üretim ve lojistiğin, özellikle prefabrik birimlerin sahaya taşınması ve hızlı montajı sırasında ortaya çıkan operasyonel sıkıntılar; yenilikçi biyomalzemelerin yapı yönetmeliklerine, yangın dayanımı gereksinimlerine ve uzun vadeli performans beklentilerine uygunluğunun doğrulanması; ölçeklendirme aşamasında maliyetler ile “uygun fiyatlılık” arasındaki dengeyi koruma baskısı; ve yerel toplulukların bu teknoloji merkezli dönüşüme duyabileceği şüphe ile sosyal kabul süreçleri. Ayrıca, dijital ikiz ve veri paylaşım sistemleri aracılığıyla üretilen bilgi varlıklarının gizliliği, güvenliği ve sürekli güncel tutulması da yönetsel boyutta sürdürülebilirlik gerektiren bir mesele olmuştur.

4.2. LİTERATÜR KARŞILAŞTIRMA

Bu bölümde, önceki çalışmalarda rapor edilen yapay zekâ, dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve üretim paradigmasıyla ilgili bulgular ile Project Phoenix'in uygulamadaki somutlaşmış hali karşılaştırılmaktadır. Amaç, literatürde öne çıkan iddiaların vaka ile nasıl örtüştüğünü ve hangi alanlarda vaka analizin bu söylemleri genişlettiğini / farklılaştırdığını ortaya koymaktır.

Alanyazınla Karşılaştırmalı Tutarlılık Değerlendirmesi

Literatürde yapay zekânın kavramsal tasarımda çoklu alternatif üretme, hızlı prototipleme ve karar destek sistemleri olarak işlev görmesi (Lukovich, 2023; Smith ve Jones, 2024; Chen vd., 2024; Aslan ve Aydın, 2023) vurgulanmıştır. Project Phoenix'te Autodesk Forma ve AI destekli analiz araçları, bu iddiaları pratikte doğrulayarak; karbon, maliyet ve yaşanabilirlik gibi çelişkili hedefler arasında eşzamanlı değerlendirmeyi mümkün kılmış, tasarım süresini geleneksel “sezgisel” döngülerden uzaklaştırıp veriye dayalı, iteratif ve hızlandırılmış bir süreç haline getirmiştir. Bu, literatürde öngörülen performansa dayalı ve kanıta dayalı tasarım paradigmasının sahadaki somut yansımasıdır (Ramesh vd., 2021; Ploennigs ve Berger, 2023).

Literatür, adaptif mimarlık ve sibernetik yaklaşımların mekânları durağan yapılar olmaktan çıkarıp geri bildirim temelli, çevresel değişkenlere tepki veren sistemlere dönüştürdüğünü belirtmektedir (Wang vd., 2023). Phoenix'te gerçek zamanlı simülasyonlar—örneğin farklı kütle konfigürasyonlarının trafik gürültüsüne etkisi—bu kuramsal çerçeveyi uygulamaya geçirmiştir. Tasarımcılar, Forma üzerinden geri bildirimlerle biçimsel kararlarını yeniden düzenleyebilmiş; bu da literatürde tanımlanan “çok boyutlu, doğrusal olmayan” problem çözme pratiğini desteklemiştir.

Yine literatürde, geçmiş projelerin veriye dayalı yeniden kullanımı ve buna dayanan üretken tasarımın tasarım çeşitliliğini artırdığı ve daha iyi performanslı çözümler üretmeye yardımcı olduğu ifade edilmiştir (Castro Pena vd., 2021; Sheikh ve Crolla, 2023). MBH Architects'in geçmiş projelerden türetilmiş “birim kataloğu” ve bunun Forma'daki üretken düzenleme süreçleri, bu literatürel önerme ile doğrudan

örtüşmekte; önceki bilgi birikimini yeni konfigürasyonlara sistematik biçimde entegre ederek hem hız hem de hedefe yönelik uyum sağlamaktadır.

Sürdürülebilirlik literatüründe yapay zekânın enerji optimizasyonu, malzeme seçiminde rehberlik ve yeşil mimarlık hedeflerini desteklemesi vurgulanırken (Abd El-Maksoud ve Ahmed, 2024; Li vd., 2025), Phoenix bu söylemleri hem tasarım hem de malzeme düzeyinde gerçekleştirmektedir. Karbon-maliyet-yaşanabilirlik dengesi, veri odaklı karar mekanizmalarıyla tasarım sürecine yedirilmiş; bu da sürdürülebilirliğin çok katmanlı olarak ele alınmasına uygun düşmektedir.

Etik ve sosyal boyutlara ilişkin literatür, yapay zekânın sorumlu kullanımına dair disiplinlerarası yönergelerin, kültürel çeşitliliğin korunmasının ve yerel bağlamın gözetilmesinin önemini vurgulamaktadır (Softaoğlu, 2024; Park ve Kim, 2024). Project Phoenix'in bağlamsal analizinde, fiziksel yeniden işlevlendirme ile birlikte yerel aidiyet, yerinden edilme riskleri ve sosyal sürdürülebilirlik kaygıları tartışılmış; bu da literatürde öne çıkan etik ve bağlamsal hassasiyet taleplerine yanıt vermektedir.

Mevcut Literatürle Karşıtlıklar ve Yenilikler

Project Phoenix, genellikle ayrı ayrı ele alınan yapay zeka destekli tasarım, sürdürülebilir malzeme, yüksek verimli üretim ve bağlamsal dönüşüm gibi bileşenleri bir araya getirerek bütüncül bir uygulama örneği sunmaktadır. Literatür, çoğu zaman yapay zekânın tasarım desteği sağlayabileceğini veya modüler yapının öngörülebilirlik getirebileceğini tartışırken, Phoenix'te bu iki alan dijital-fiziksel bir döngüyle ("digital twin" üzerinden tasarımdan sahaya geçiş) sıkı şekilde birbirine bağlanmış; tasarım, üretim ve montaj arasındaki sürekli senkronizasyon, literatürde çok daha sınırlı olarak tanımlanan "uçtan uca" entegrasyonun pratiğe dökülmüş hali olarak öne çıkmaktadır.

Yine literatürde yapay zekânın potansiyelini vurgulayan ifadeler sıklıkla nicel kanıtlarla desteklenmezken, Phoenix'te tasarım süresinin iki haftadan altı saate inmesi gibi somut zaman kazanımları sunulması, yapay zekânın verimlilik vaatlerini ölçülebilir biçimde doğrulayan nadir örneklerden biridir. Bu

ölçülebilir hızlandırma, teorik beklentileri pratik faydaya dönüştürerek literatürü ileri taşımaktadır.

Malzeme kullanımında özellikle karbon-negatif, büyük ölçekli ve entegre cephe sistemi olarak miselyum çekirdekli FRP panellerin uygulanması, literatürde genel olarak "yeşil malzeme seçimi" ya da "çevresel etki azaltımı" tartışmaları yapılırken karşılaşılan düzeyin ötesine geçmektedir. Bu sistem hem karbon depolayan biyomalzemeyi hem de yapı bütünlüğü sağlayan kompozit dış kabuğu tek entegre prefabrik çözümde birleştirerek literatürde henüz yaygınlaşmamış bir malzeme-mimari paradigmayı pratiğe taşımaktadır.

Sosyal sürdürülebilirlik ekseninde literatür, genellikle etik rehberlik, topluluk farkındalığı ve adalet kavramlarını teorik düzeyde tartışırken Project Phoenix, terk edilmiş sanayi alanının yeniden işlevlendirilmesinde bu kaygıları mekânsal kararlarla, yerel bağlam analiziyle ve erişilebilir uygun fiyatlı konut üretimi hedefleriyle uygulayıcı bir biçimde ele almaktadır. Bu, sosyal sürdürülebilirliğin soyut bir ilke olmaktan çıkıp bir uygulama stratejisine dönüştüğü yönüyle literatürü ileri götüren bir uygulamadır.

5. SONUÇ

Bu vaka analizi, yapay zekâ destekli tasarım süreçleri, teknolojiye dayalı yapım yöntemleri ve karbon-negatif malzeme sistemlerinin birlikte kurgulanmasının konut mimarlığında çok katmanlı ve pratik açıdan dönüştürücü bir etki yaratabileceğini Project Phoenix örneği üzerinden ortaya koymuştur. Temel bulgular, mimari üretimin dijitalleşmesi ile fiziksel yapının yeniden yapılandırılmasının yalnızca teknik verimlilik sağlamadığını; aynı zamanda sürdürülebilirlik, sosyal adalet ve mekânsal kalite hedeflerinin eşzamanlı ve dengeli biçimde ele alınmasına zemin hazırladığını göstermektedir.

Araştırma soruları bağlamında: (1) Yapay zekâ destekli tasarım sistemleri (Autodesk Forma ve ilişkili AI araçları), erken tasarım aşamasında çok kriterli optimizasyonu mümkün kılarak karbon, maliyet ve yaşanabilirlik gibi birbirine zaman zaman çelişen hedefler arasında rasyonel, veri odaklı denge kurmayı sağlamıştır. Bu sayede mekânsal kararlar (yükseklik, kütle yerleşimi, yeşil alan düzenlemeleri vb.)

ölçülebilir performans geri bildirimlerine dayanarak şekillenmiş ve tasarım döngüleri dramatik şekilde hızlanmıştır. (2) Sistemik yapımlar, Factory_OS üzerinden yürütülen üretim ile sahadaki belirsizlikleri azaltmış, montaj sürelerini kısaltmış ve uygun fiyatlı konut üretiminde ölçeklenebilirliği artırmıştır. Dijital ikizler ve bulut tabanlı koordinasyon, tasarım-üretim-kurulum arasındaki kopuklukları azaltarak bütünleşik bir fiziksel üretim dönüşümü sağlamıştır. (3) Miselyum çekirdekli FRP cephe panelleri, karbon-negatiflik, çok işlevli performans (yangın, ısı, akustik, yapı dayanımı) ve hızlı montajı bir araya getirerek geleneksel cephe sistemlerinin sınırlamalarını aşan entegre bir yapı kabuğu paradigması sunmuştur.

Hipotezler açısından bakıldığında:

H1 (YZ araçlarının verimlilik ve çevresel sürdürülebilirliği artırması) güçlü biçimde doğrulanmıştır; tasarım sürecindeki hızlanma ve çok kriterli optimizasyon ile çevresel performansın karar mekanizmalarına entegre edilmesi vaka içinde gerçekleşmiştir.

H2 (modüler/endüstriyel sistemlerin süreyi kısaltıp maliyetleri düşürerek erişilebilirlik sağlama potansiyeli) büyük ölçüde doğrulanmıştır; saha montaj süreleri kısa, öngörülebilirlik yüksek ve kalite kontrolü standartlaştırılmıştır, ancak ölçeklendirmede uygun fiyatlılık ile maliyet dengesi dikkatli yönetilmeye devam edilmelidir.

H3 (YZ'nin erken aşamalarda karar mekanizmalarını optimize etmesi) doğrulanmıştır; çok sayıda senaryo aynı anda test edilerek tasarım çeşitliliği artmış, insan kararını veriyle destekleyen iteratif ve adaptif bir süreç kurulmuştur.

Sonuç olarak, Project Phoenix, bu üç unsurun (YZ, modüler yapımlar, yenilikçi malzeme) birbirini tamamlayıcı ve sinerjik biçimde çalıştığı entegre bir mimari üretim modeli sunmakta; bu yönüyle benzer konut krizlerine yönelik replicable, bağlamsallaşabilir ve bütüncül çözüm arayışları için referans teşkil etmektedir.

Tartışma

Project Phoenix, mimarlık pratiğinde dijital-fiziksel entegrasyonun olanaklarını somutlaştırır da bu yaklaşımın uygulamaya

dönük bazı sınırlılıkları ve dikkat gerektiren yönleri vardır. Yapay zekâ sistemlerinin güvenilirliği, model yanlışlıkları ve veri kalitesinin sürdürülebilir biçimde korunması, tasarım kararlarının sürekli insan gözetimi ve bağlamsal doğrulama ile dengelenmesini zorunlu kılmıştır. Çok aktörlü dijital iş akışlarında farklı disiplinlerin terminoloji ve hedeflerde hizalanması yönetsel koordinasyon sorunları yaratmıştır. Modüler üretim sürecinde lojistik (örneğin sahaya taşımada) zorluklar ve yerel düzenlemelere adaptasyon gereklilikleri devam eden operasyonel dikkat alanlarıdır.

Malzeme inovasyonu cephesinde, miselyumdan üretilen biyomalzemenin uzun dönem performans verileri hâlen sınırlıdır; bu durum hem yapı yönetmelikleriyle uyum hem de güven oluşturma açısından belirsizlikler doğurabilir. Sosyal düzeyde, projenin yerel toplulukla kurduğu ilişki pozitif bir adım olsa da yerinden edilme riski ve toplumsal kabul süreçlerinin sürekliliği, fiziksel dönüşüm kadar önemlidir. Bu bağlamda sürdürülebilir başarının, teknoloji odaklı yeniliklerin ötesinde yerel aktörlerle sürekli diyalog ve sahiplenme mekanizmalarının kurumsallaştırılmasına bağlı olduğu görünmektedir.

Bu vaka, literatürde önerilen yapay zekânın karar destek sistemi işlevi, modüler yapımın ölçeklenebilirliği ve sürdürülebilir malzeme stratejilerinin teorik vaatlerini pratikte büyük ölçüde gerçekleştirmiş olsa da, bu bileşenlerin uzun vadeli entegre etkisinin izlenmesi, adaptif öğrenme döngülerinin işletilmesi ve sosyal bağlamla uyumlu genişletilmesi çalışmanın sonraki aşamalarında ele alınması gereken kritik hususlardır.

Geleceğe Yönelik Öneriler; Bu çalışmanın bulgularına dayanarak önerilen eylemler şunlardır: Miselyum bazlı cephe sistemlerinin termal, yangın dayanımı ve karbon-negatiflik performansları saha bazlı uzun vadeli izlemeyle doğrulanmalı ve bu veriler standartlaştırılmış değerlendirme çerçevelerine temel olmalıdır. Yapay zekâ modelleri açıklanabilir hâle getirilmeli, yerel bağlama uyumu için yanlışlıklar düzenli olarak denetlenmeli ve tasarımcılarla yerel aktörler arasında geri bildirim döngüleri oluşturulmalıdır. Yerel toplulukların sürekli ve yapısal katılımını sağlayan katılımcı tasarım mekanizmaları ile

yerinden edilme risklerini dengeleyen sosyal politikalar entegre edilmelidir. Dijital iş akışlarında üretilen veri varlıkları için mülkiyet, gizlilik, kullanım ve algoritmik sorumluluk ilkelerini kapsayan etik çerçeveler tanımlanıp mimarlık eğitimiyle bütünleştirilmelidir. Modüler sistemlerin farklı coğrafi ve programatik bağlamlara aktarılabilirliğini artırmak üzere esnek standartlar, bağlantı detayları ve yerel malzeme adaptasyon rehberleri geliştirilmelidir. Ayrıca, mimarlık ve inşaat profesyonellerinin yapay zekâ destekli tasarım, dijital koordinasyon ve sürdürülebilir malzeme kullanımı konularında disiplinlerarası eğitimlerle kapasitesi artırılmalıdır. Son olarak, uygun fiyatlı ve sürdürülebilir konut üretimini teşvik edecek şekilde performansa dayalı sübvansiyonlar ve karbon kredisi entegrasyonu gibi yenilikçi politika ve finansman mekanizmaları hayata geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Maksoud, N. M., Ahmed, E. A. (2024). Artificial intelligence applications in green architecture. *Journal of Fayoum University Faculty of Engineering*, Vol. 7, Issue 2, p.317–337. <https://doi.org/10.21608/fuje.2024.345049>
- Adetayo, A. J. (2024). Reimagining learning through AI art: The promise of DALL-E and MidJourney for education and libraries. *Library Hi Tech News*, Vol. 41, Issue 1, p.1–18. <https://doi.org/10.1108/LHTN-01-2024-0005>
- Almaz, A. F., El-Agouz, E. A. E., Abdelfatah, M. T., Mohamed, I. R. (2024). The future role of artificial intelligence (AI) design's integration into architectural and interior design education is to improve efficiency, sustainability, and creativity. Department of Architecture Engineering, Horus University; Tanta University; Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport.
- Avinç, G. M. (2024). The use of text-to-image generation artificial intelligence tools for the production of biophilic design in architecture. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, Vol. 7, Issue 3, p.641–650. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1470411>
- Bölek, B., Tural, O., Özbaşaran, H. (2023). A systematic review on artificial intelligence applications in architecture. *Journal of Design for Resilience in Architecture & Planning*, Vol. 4, Issue 1, p.91–104. <https://doi.org/10.47818/DRArch.2023.v4i1085>
- Buldaç, M. (2024). Use of artificial intelligence tools in the experimental design process: Outcomes of a course model in interior design education. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2, s.69–91. <https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1602366>
- Cao, Y., Gao, X., Yin, H., Yu, K., Zhou, D. (2024). Reimagining tradition: A comparative study of artificial intelligence and virtual reality in sustainable architecture education. *Sustainability*, Vol. 16, Issue 24, p.11135. <https://doi.org/10.3390/su162411135>
- Chen, Y., Zhao, M., Liu, H. (2024). User-controlled AI-based architectural prototype production system. *Advanced Engineering Informatics*, 55, p.101812. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101812>
- Dorsey, J., Xu, S., Smedresman, G., Rushmeier, H., McMillan, L. (2007). The Mental Canvas: A tool for conceptual architectural design and analysis. *15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, p.201–210. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PG.2007.64>
- Harapan, F., Andi, S., Gunagama, A. F. (2021). Artificial intelligence in architectural design. *International Journal of Design*, Vol. 15, Issue 1, p.1–6.
- Jin, S., Tu, H., Li, J., Fang, Y., Qu, Z., Xu, F., Liu, K., Lin, Y. (2024). Enhancing architectural education through artificial intelligence: A case study of an AI-assisted architectural programming and design course. *Buildings*, Vol. 14, Issue 1, p.118. <https://doi.org/10.3390/buildings14010118>
- Li, Y., Chen, H., Yu, P., Yang, L. (2025). A review of artificial intelligence applications in architectural design: Energy-saving renovations and adaptive building envelopes. *Energies*, Vol. 18, Issue 4, p.918. <https://doi.org/10.3390/en18040918>
- Lukovich, A. (2023). Advances in AI-based architectural design methods. *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 21, Issue 3, p.215–230.
- Mammadov, E., Asgarov, A., Mammadova, A. (2025). The role of artificial intelligence in modern computer architecture: From algorithms to hardware optimization. *Portuni*, Vol. 1, Issue 2, Article 010208. <https://doi.org/10.69760/portuni.010208>
- Marşoğlu, Z., Özdemir, Ş. (2025). Yapay zekâ destekli senaryo görselleştirme ve storyboard geliştirme: İç mimarlık stüdyosu örneği. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, s.30–39. <https://doi.org/10.47769/izufbed.1633621>

Nie, X. (2024). Exploration of Stable Diffusion in architectural design. *Applied Science and Innovative Research*, Vol. 8, Issue 3, p.1–12. <https://doi.org/10.22158/asir.v8n3p1>

Park, S., Kim, J. (2024). Interactive use of AI tools in creative poster design generation. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, Vol. 12, Issue 2, p.88–103. <https://doi.org/10.1080/21650349.2023.2214097>

Ploennigs, J., Berger, M. (2023). AI art in architecture. *AI in Civil Engineering*, Vol. 2, Issue 8. <https://doi.org/10.1007/s43503-023-00018-y>

Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., Chen, M., Sutskever, I. (2021). *Zero-shot text-to-image generation* (arXiv:2102.12092). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.12092>

Sharma, M., Singh, A. K., Saini, R. K. (2023). Generative AI models in architectural visualization. *Journal of Computational Design*, Vol. 3, Issue 4, p.150–170.

Sheikh, A. T., Crolla, K. (2023). Architectural education with virtual reality: An exploration of Unreal Engine 5 and Nvidia Omniverse. In *Proceedings of eCAADe 41 – Volume 1: Digital Design Reconsidered* (pp. 159–168). Building Simplicity Lab, The University of Hong Kong.

Smith, S., Jones, R. (2024). Decision support systems based on AI for architectural conceptual design. *Computers in Industry*, 150, 103945.

Softaoğlu, B. (2024). The role of artificial intelligence in architectural heritage conservation. *nHeritage*, Vol. 7, Issue 81. <https://doi.org/10.3390/heritage7010081>

Vergunova, N. C. (2024). The role of artificial intelligence in modern computer architecture: From algorithms to hardware optimization. *Computers and Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.107014>

Wang, W., Zhang, Q., Huang, Y., Zhang, L. (2023). Architectural façade design with style and structural features using Stable Diffusion model. *Computers & Graphics*, 113, p. 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.007>

Wen, M., Liang, D., Ye, H., Tu, H. (2024). Architectural facade design with style and structural features using stable diffusion model. [Makale kabul edilmiş; yayın bilgisi bekleniyor]. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics; La Trobe University.

Yaşar, I., Arslan Selçuk, S., Alaçam, S. (2025). Use of artificial intelligence and prompt literacy in architectural education. *New Design Ideas*, Vol. 9, Issue 1, p.248–268. <https://doi.org/10.62476/ndi.91.24>

Yaman, D. G. K. (2025). İç mimarlık eğitiminde erken tasarım aşamalarında yapay zekâ araçlarının kullanımı. *Uluslararası İletişim ve Sanat Dergisi*, Cilt 6, Sayı 14, s.65–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1234567>

URL 1. Benjamin, D. (2023). “Autodesk: Autodesk-led collaboration brings AI-powered, climate-friendly solution to affordable housing” https://adsknews.autodesk.com/en/news/ai-powered-sustainable-housing-phoenix/?_gl=1*_1fauceo*_gcl_au*MzkxMTE2OTMyLjE3NTM4NzY5MTI.*FPAU*MzkxMTE2OTMyLjE3NTM4NzY5MTI.*_ga*MTk3MjU1ODI0My4xNzUzODc2OTEy*_ga_NZSJ72N6RX*_czE3NTM4NzY5MTIkbzEkZzEkdDE3NTM4NzcxMzgkajU0JGwwJGgw 30.05.2025