

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

# KOMUT, YAZDIR, ÜRET: YAPAY ZEKÂ VE 3B BASKI İLE YENİ BİR MİMARİ ZEKÂ

PROMPT, PRINT, PRODUCE: A NEW ARCHITECTURAL  
INTELLIGENCE WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND  
3D PRINTING

**Yazarlar (Authors):** Seda Erdoğan<sup>ID\*</sup>, Sena Nur İmir<sup>ID</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Erdoğan S., İmir S. N., "Komut, Yazdır, Üret: Yapay Zekâ ve 3B Baskı ile Yeni Bir Mimari Zekâ" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 10(1): 42-58, (2026).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1783086

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# KOMUT, YAZDIR, ÜRET: YAPAY ZEKÂ VE 3B BASKI İLE YENİ BİR MİMARİ ZEKÂ

Seda Erdoğan<sup>a</sup> , Sena Nur İmir<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>İstanbul Galata Üniversitesi, Sanat ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, TÜRKİYE.

<sup>b</sup>Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, TÜRKİYE.

\* Sorumlu Yazar: [seda.erdogan@galata.edu.tr](mailto:seda.erdogan@galata.edu.tr)

(Geliş/Received: 19.09.25; Düzeltilme/Revised: 29.12.25; Kabul/Accepted: 20.01.26)

## ÖZ

Bu çalışma, yapay zekâ (YZ) destekli üretici tasarım araçları ile üç boyutlu beton baskı (3DCP) teknolojilerinin mimarlığa entegrasyonunu ve yenilikçi bir mimari paradigmanın potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Geleneksel tasarım süreci; sezgisel, insan odaklı yaklaşımlardan uzaklaşarak komut temelli algoritmik yönlendirmeler ve otomasyona dayalı üretim modellerine evrilmektedir. Bu bağlamda, YZ tarafından üretilen formlar 3DCP teknolojileriyle doğrudan yapılara dönüştürülerek; veri odaklı tasarımdan üretime uzanan bütünleşik bir iş akışı mümkün hâle gelmektedir. Çalışma, dijital tasarım çağında mimarlığın yeniden tanımlanışını ve YZ ile 3B baskının birlikte nasıl yeni bir mimari zekâ oluşturduğunu ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu amaçla, literatür taramalarının ardından; YZ temel prensipleri kullanılarak Python programlama dili ile parametrik bir senaryo tabanlı hesaplamalı model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, teknik ve çevresel kısıtlar altında 156 temel senaryo üretmiş ve kişiselleştirilmiş kullanıcı gereksinimleri eklendiğinde senaryo sayısını 572'ye çıkararak, entegrasyonun potansiyelini göstermiştir. Bu çalışma, gerçek ölçekte uygulanmış bir prototip sunmaktan ziyade, üretilebilir mimari senaryoların kavramsal ve hesaplamalı olarak modellenmesine odaklanmaktadır. Araştırmada, literatürden türetilen teknik, çevresel ve kullanıcıya bağlı parametreler, Python tabanlı senaryo üretimine dayalı bir hesaplamalı model aracılığıyla analiz edilmiştir. Süreç yalnızca teknik bir yenilik değil; yaratıcı özne, müelliflik, etik, bilgi üretimi ve mimarlık eğitimi gibi kavramlar üzerinden eleştirel bir bakışla değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zekâ, 3B Beton Baskı, Mimarlıkta Teknoloji, Veri Temelli Tasarım Süreci.

## PROMPT, PRINT, PRODUCE: A NEW ARCHITECTURAL INTELLIGENCE WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND 3D PRINTING

### ABSTRACT

This study aims to investigate the integration of artificial intelligence (AI)-assisted generative design tools and three-dimensional concrete printing (3DCP) technologies into architecture, as well as the potential of an emerging architectural paradigm. The traditional design process is evolving from intuitive, human-centered approaches toward command-based algorithmic guidance and automation-driven production models. In this context, forms generated by AI can be directly materialized through 3DCP technologies, enabling an integrated workflow that extends from data-driven design to fabrication. The study seeks to reveal how architecture is being redefined in the digital design era and how the convergence of AI and 3D printing contributes to the formation of a new architectural intelligence. For this purpose, following an extensive literature review, a parametric, scenario-based computational model was developed using the Python programming language based on fundamental AI principles. Under technical and environmental constraints, the proposed model generated 156 base scenarios; when personalized user requirements were incorporated, the number of scenarios increased

to 572, demonstrating the potential of this integrated approach. Rather than presenting a full-scale built prototype, this study focuses on the conceptual and computational modeling of technically feasible architectural scenarios. The analysis is conducted through a Python-based scenario-generation model using technical, environmental, and user-related parameters derived from the literature. Beyond a purely technical innovation, the process is critically examined through concepts such as creative agency, authorship, ethics, knowledge production, and architectural education.

**Keywords:** Artificial Intelligence, 3D Concrete Printing, Technology in Architecture, Data Driven Design Process.

## 1. GİRİŞ

Mimarlık, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli evrilen bir disiplindir. Günümüzde yapay zekâ (YZ) ve üç boyutlu beton baskı (3DCP) gibi ileri üretim teknolojilerinin entegrasyonu, mimari tasarım ve üretimde köklü dönüşümlere yol açmaktadır. İnşaat sektörü; doğru malzeme seçimi, hızlı ve dayanıklı yapı üretimi, verimliliği artırma ve olumsuz iklim ile doğal afetlere karşı direnç sağlama gibi temel zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar, inşaat mühendisliği, mimarlık, malzeme bilimi, bilgisayar mühendisliği ve yapay zekâ gibi farklı disiplinlerden uzmanları, geleneksel yöntemlerin yerini alabilecek üç boyutlu baskı sistemleri geliştirmeye teşvik etmiştir [1]. Endüstri 4.0 ya da dijital dönüşüm süreci, gelişmiş veri işleme, yapay zekâ uygulamaları, sanal gerçeklik çözümleri ve özellikle üç boyutlu baskı teknikleriyle birlikte, üretimin dijitalleşmesini ve bireyselleşmesini mümkün kılmıştır [2]. Bu teknolojilerden biri olan üç boyutlu yazıcılar, dijital tasarım ile fiziksel üretim arasındaki sınırları ortadan kaldırmaktadır. Günümüzde artık pek çok kişinin erişimine açık hâle gelen veya bireysel olarak üretilebilen üç boyutlu yazıcılar sayesinde, dijital ortamda tasarlanan nesnelerin kısa sürede somut biçimde ortaya çıkarılması mümkün olabilmektedir [3]. Geleneksel sezgisel ve insan merkezli yaklaşımların yerini komut temelli algoritmalar ve otomasyon odaklı iş akışları almaktadır.

### 1.1. Araştırma Soruları

RQ1: Yapay zekâ destekli senaryo tabanlı bir model, mimari tasarım ile üç boyutlu beton baskı üretim süreçleri arasında nasıl bütünlük bir iş akışı kurabilir?

RQ2: Teknik ve çevresel kısıtlar altında geliştirilen hesaplamalı modeller, üretilebilir mimari senaryoların otomatik olarak değerlendirilmesini nasıl mümkün kılar?

RQ3: Yapay zekâ ve 3DCP entegrasyonu, mimarlıkta müelliflik, yaratıcı özne ve karar verme süreçlerini nasıl dönüştürmektedir?

### 1.2. Amaç ve Kapsam

Bu araştırmanın temel amacı, YZ destekli üretken tasarım süreçleri ile üç boyutlu beton Basım teknolojilerinin mimarlık pratiğine entegrasyon potansiyelini sistematik olarak incelemek ve bu entegrasyonun ortaya çıkaracağı yeni mimari zekâ ve üretim paradigmasını eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Çalışmayla, YZ ve 3DCP'nin teknik kısıtlarının birleştirilmesiyle teknik olarak uygulanabilir senaryoların otomasyon modelini geliştirmeyi; geleneksel mimari tasarım süreçlerinin yerini alabilecek, veri odaklı tasarımdan üretime uzanan bütünlük bir iş akışını somutlaştırmayı; ve geliştirilen model üzerinden yaratıcı özne, müelliflik ve mimarlık eğitimi gibi kavramsal değişimleri tartışmaya açmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın kapsamı, mimari tasarım sürecinin başlangıcından doğrudan dijital üretime uzanan bütünlük bir süreci içerir. Yapay zekâ olarak algoritmik ve hesaplamalı tasarım araçları; üretim teknolojisi olarak ise mobil robotik kol ve gantry tipi 3DCP yazıcıları esas alınmıştır. Literatür taraması ile belirlenen tasarım girdilerinin (malzeme, form, çevresel kısıtlar ve kullanıcı gereksinimleri), YZ destekli bir hesaplamalı model aracılığıyla optimize edilip, teknik olarak üretilebilir 3DCP yazıcı tipiyle eşleştirilmesi süreci incelenmiştir.

Geliştirilen modelin başarısı; teknik üretilebilirlik, parametrik tutarlılık ve bağlamsal uyum kriterleri üzerinden değerlendirilmiştir.

### 1.3. Yöntem

Çalışmanın başlangıç aşaması, YZ ve 3DCP teknolojilerinin ne olduğunu; mimarlık, müelliflik ve etik üzerindeki etkilerini inceleyen bir nitel literatür taramasıdır. Bu tarama ile; YZ ve 3DCP'nin mimarlık pratiklerindeki kullanım biçimleri belirlenmiştir. Ayrıca, hesaplamalı modelde kullanılacak temel girdi değişkenleri ve kısıtlar (malzeme tipleri, kat sayıları, yazıcı limitleri) saptanmıştır. Robotların sahip olduğu bu kısıtlar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çalışmanın özgün kısmını, belirlenen değişkenleri bütünleştiren senaryo tabanlı hesaplamalı model geliştirme yöntemi oluşturur. Literatür taraması sonucunda malzeme, form, kat sayısı, iklim/sıcaklık ve kullanıcı tipi gibi ana değişkenler, modelin kısıtları olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin tüm olası kombinasyonlarını üretmek ve her senaryo için en uygun 3DCP yazıcı tipini atamak üzere Python programlama dili kullanılarak algoritmik bir model (kod) geliştirilmiştir. Geliştirilen model, öğrenmeye dayalı bir yapay zekâ sistemi olmaktan ziyade; tanımlanmış mimari ve teknik kısıtlar çerçevesinde çalışan, kural tabanlı bir üretken tasarım algoritması olarak kurgulanmıştır. Model, Python'un itertools ve pandas kütüphaneleri aracılığıyla belirlenen teknik uyumluluk kurallarına göre tüm olası senaryoları (156 temel, 572 kişiselleştirilmiş senaryo) sistematik olarak taramış ve teknik olarak uygulanabilir çözümleri üretmiştir.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan modeldeki yazıcı kısıtları [4-6].

	İklim	Kat Yüksekliği	Malzeme
<b>ICON VULCAN</b>	4,4 °C üzeri	3m	Kil ve Beton
<b>COBOD BOD2</b>	5 ile 35 °C arası	8m	
<b>MaxiPrinter</b>	-5 ile 50 °C arası	7m	

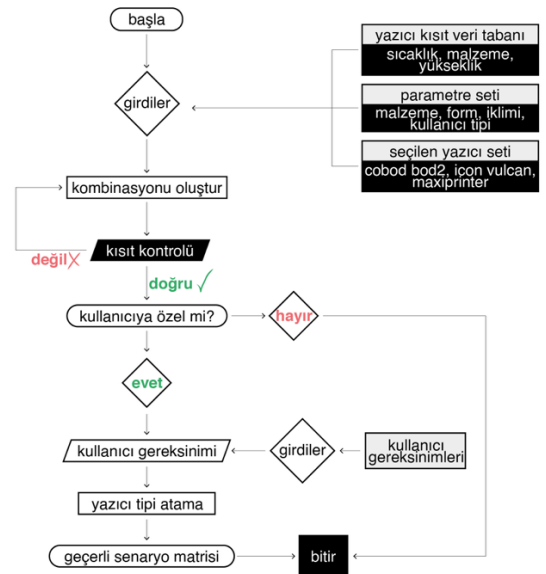
Burada sunulan senaryo tabanlı kurgu, doğrudan bu çalışmanın yazarları tarafından geliştirilmiş olup henüz gerçek bir uygulama olarak hayata geçirilmemiştir. Veri odaklı tasarımın üretime aktarıldığı bu yaklaşım; senaryo temelli iş akışları, kullanıcı profiline göre kişiselleştirme olanakları ve üretim

sürecinde yapay zekâ destekli optimizasyon gibi başlıklar etrafında şekillenmektedir. Oluşturulan senaryo setlerinden seçilen rastgele bazı senaryoların; baskı süresi ve maliyet verileri yaklaşık olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda referans olarak kullanılacak olan veriler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Çalışmada beton malzeme ile üretilmiş senaryoların analizinde kullanılacak olan parametreler için ortalama sayısal veriler.

	Baskı Süresi	Maliyet
<i>*Tüm değerler m<sup>2</sup> başınadır.</i>		
<b>ICON VULCAN</b>	31	29,5 \$
<b>COBOD BOD2</b>	39,7	29,5 \$
<b>MaxiPrinter</b>	24 dk	71 \$

Referans olarak alınan değerler mevcut üretilmiş örneklerden elde edilmiştir. ICON Vulcan ile üretilen Meksika ev projesi, COBOD BOD2 ile üretilen The BOD ve MaxiPrinter ile üretilen Le Pavillon projesinin baskı süreleri değerleri kullanılmıştır [7-9]. Maliyet verileri ise daha önce yapılmış bir çalışmadan robotun türüne göre referans alınarak kullanılmıştır [10]. Çalışmadaki algoritma tasarımı metodoloji akış şeması özetlenerek Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Araştırma algoritması oluşumu sürecini gösteren pseudocode.

Literatürde yapay zekâ destekli üretken tasarım yaklaşımları ile üç boyutlu beton baskı teknolojileri çoğunlukla ayrı araştırma alanları olarak ele alınmaktadır. Bu teknolojilerin mimari tasarım ve üretim süreçlerinde birlikte değerlendirildiği, teknik kısıtlar, çevresel koşullar ve kullanıcı profillerini kapsayan senaryo tabanlı bütünleşik karar destek modelleri ise sınırlı sayıdadır.

Bu çalışmanın temel katkısı, yapay zekâ destekli tasarım süreçlerini üç boyutlu beton baskı teknolojilerinin teknik sınırlılıklarıyla birlikte ele alan, senaryo tabanlı parametrik bir hesaplamalı model önermesidir. Önerilen yaklaşım, tasarımdan dijital üretime uzanan veri temelli bir karar destek çerçevesi sunarak, mimari üretimde otomasyon ve üretilebilirlik tartışmalarına yöntemsel bir katkı sağlamaktadır.

#### 1.4. Mimarlıkta Teknolojik Yakınsama

Günümüz mimarlık pratiği, AI ve 3DCP'nin kesiştiği bir döneme girmiştir. Bu yakınsama, otomasyon ve dijitalleşmeyle mimari üretimde paradigmatik bir dönüşümü mümkün kılmakta; tasarımcının rolünü algoritmalarla paylaşmasına ve üretimin veri temelli süreçlerle bütünleşmesine olanak tanımaktadır. Mimaride teknoloji odaklı olarak geliştirilen yapısal ya da mekânsal akıllı uygulamalar, yalnızca yapıların algısal değerini yükseltmekle kalmayıp, aynı zamanda kullanıcıya özgün ve etkileşimli deneyimler de sunmaktadır [11]. Komut temelli algoritmik tasarım araçları, mimarların yaratıcı sürecini yeniden tanımlarken; 3DCP gibi ileri üretim teknolojileri, tasarımların fiziksel yapılara dönüşmesini hızlandırmaktadır. Bu teknolojik yakınsama yalnızca teknik bir entegrasyon değil, yeni bir mimari zekâ formunun doğuşunu da simgelemektedir. Böylece tasarım ve üretim sınırları bulanıklaşmakta, mimaride yaratıcılık ve üretim kapasitesi yeni bir boyut kazanmakta; disiplin dijital çağın gereksinimlerine uyum sağlayarak evrilmektedir.

#### 2. MİMARLIKTA 3DCP KULLANIMI

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı ilerlemeler, mimarlık alanında üretim yöntemlerinin köklü biçimde dönüşmesine yol açmaktadır. Geleneksel inşaat tekniklerinin sınırları giderek daha belirgin hale gelirken, otomasyon ve yenilikçi teknolojiler bu alanda öne çıkmaya başlamıştır. Özellikle üç boyutlu baskı

teknolojilerinin mimari entegrasyonu, üretim süreçlerinde radikal yenilikler ve farklı yaklaşımlar sunmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojileri, dijital verilerin fiziksel nesnelere dönüştürülmesine olanak sağlayan üretim sistemleridir. Başlangıçta küçük ölçekli prototipleme amaçlı kullanılan bu teknolojiler, zamanla gelişerek yapı ölçeğinde uygulanabilir hâle gelmiştir. Üç boyutlu yazıcıların tarihi, David Jones'un 1974 yılında New Scientist dergisinde yayımladığı bir makaleye kadar geri götürülebilir [12]. Özellikle 2000'li yılların ardından malzeme çeşitliliği ve üretim kapasiteleri açısından önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Mimarlık ve inşaat sektöründeki dijitalleşme süreci, CAD tabanlı tasarım araçlarının yaygınlaşmasıyla ivme kazanmıştır. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ve Grasshopper gibi parametrik tasarım araçları, dijital tasarım ile fiziksel üretim arasında köprü kurarak 3B üretim teknolojilerinin entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu dönüşüm sürecinde CNC makineleri, robotik kollar ve 3B yazıcılar, tasarımın yalnızca görselleştirilmesini değil, doğrudan üretimini de mümkün kılmıştır. Yapı ölçeğinde uygulanan ilk örnekler arasında, Çin merkezli WinSun firmasının 2015 yılında gerçekleştirdiği yazıcıyla üretilmiş konut yer almaktadır; ancak sektörde dönüm noktası olarak kabul edilen proje, ABD merkezli ICON firmasının 2018 yılında Teksas, Austin'de inşa ettiği ve resmi izinle gerçekleştirilen ilk 3B yazıcı konutudur [13]. Çizelge 2'de görüldüğü üzere, 3B baskı teknolojisinin yapı sektörüne entegre edilmesi görece yeni bir gelişmedir.

#### Çizelge 2. 3B baskı teknolojisinin tarihi özeti [14].

1984	3B yazdırılma ilk defa Charles Hull tarafından hayata geçirildi. Bu tekniğe Stereolitografi adı verildi.
1995	Z Corporation şirketi, üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanarak yazıcılar geliştirmeye başladı.
1996	Hızlı prototipleme makinelerini tanımlamak için ilk kez '3B yazıcı' terimi kullanılmaya başlandı
2008	Enrico Dini tarafından, D-Shape yazıcısı geliştirildi ve piyasaya sürüldü.
2010	Loughborough Üniversitesi tarafından ilk beton yazıcı geliştirildi.
2015	Üç boyutlu yazıcılar ile yapı ölçeğinde üretim mümkün hale geldi.
2018	Üç boyutlu baskı teknolojisi günümüzde, yaratma şekilleri ve eğitim üzerinde önemli bir etkiye sahip duruma gelmiştir.

Bu süreç, teknolojik ilerlemelerin yanı sıra malzeme mühendisliği ve yazılım altyapısındaki dönüşümlerle de şekillenmiştir.

## 2.1. Güncel Uygulamalar ve Örnek Projeler

Son yıllarda 3DCP teknolojisi, prototip ölçeğinden kalıcı yapılar ölçeğine geçerek mimarlık pratiğinde uygulanabilir bir üretim tekniği hâline gelmiştir. Özellikle konut ihtiyacına yönelik projelerde hız, maliyet ve kaynak verimliliği gibi avantajları sayesinde öne çıkan bu yöntem, dünyanın farklı bölgelerinde gerçek yapılar üretmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmaları yapan birçok firma kurulmuş ve üç boyutlu yazıcıların gelişimine katkı sunmuşlardır. En dikkat çeken örneklerinden biri olan, Mario Cucinella Architects ve WASP iş birliğiyle 2021'de İtalya'da hayata geçirilen TECLA projesidir. Yerel toprak malzemesinin üç boyutlu yazıcılarla katman katman işlenmesiyle inşa edilen bu yapı, sürdürülebilir mimari yaklaşımlar ile dijital üretim tekniklerini bir araya getirmektedir. Malzemenin doğrudan yerinden temin edilmesi hem karbon ayak izini azaltmakta hem de yapıların bulunduğu coğrafyaya özgü koşullara uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır. Tasarım 'neredeyse sıfır emisyon projesi' olarak da bilinen eko-konuttur. Şekil 2'deki TECLA projesi aynı zamanda 3DCP ile sürdürülebilir çözümler üretilebileceğinin de bir kanıtı olmuştur. Bu kapsamda da oldukça değerlidir. Üretim sürecinde Şekil 3'te görülen WASP'ın Crane WASP gantry tipi olan üç boyutlu yazıcısı kullanılmıştır. Bu sayede dairesel formdaki yapı kolaylıkla ortalama 200 saat içerisinde üretilebilmiştir.



Şekil 2. TECLA gece görüntüsü. Fotoğraf Iago Corazza tarafından çekilmiştir [15].



Şekil 3. TECLA üretim süreci [15].

Bir diğer güncel örnek ise ABD merkezli ICON firmasının Lake Flato ile gerçekleştirdiği House Zero projesidir. Şekil 4'te görülen bu projede 3B beton baskı teknolojisi kullanılarak konut üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecinde parametrik ve algoritmik optimizasyon teknikleri uygulanmış; yapının formu, açıklıkları ve yapısal bileşenlerinin dağılımı veri odaklı olarak şekillendirilmiştir. Bu yönüyle House Zero, 3DCP mimarlık pratiğine entegrasyonunda önemli bir örnek teşkil etmektedir. Yapının duvarları, ICON'a ait özel üretilen bir çimento esaslı malzeme olan Lavacrete ile, yalıtım ve güçlendirme amacıyla çelik takviyeli biçimde, iki haftadan kısa sürede üretilmiştir. Üretim süreci gantry tipi bir üç boyutlu yazıcıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarımın modellemesi ise Rhino/Grasshopper yazılımı üzerinden BIM uyumlu biçimde geliştirilmiştir.



Şekil 4. House Zero gece görüntüsü Fotoğraf Caey Dunn tarafından çekilmiştir [16].

Maine Üniversitesi tarafından geliştirilen BioHome3D projesi, tamamen biyo-tabanlı malzemelerle inşa edilen ilk 3B baskılı konut olmasıyla öne çıkmaktadır. Şekil 5'teki bu projede, üretim süreci sensörler aracılığıyla izlenmiş; robotik yazıcı sistemleri ve otomatik kontrol mekanizmalarıyla desteklenmiştir. Isı yalıtımı, malzeme dayanımı ve iklimsel uygunluk gibi parametreler, veri analiz

sistemleri üzerinden değerlendirilerek üretime yön verilmiştir. Böylece proje, yalnızca sürdürülebilir bir yapı örneği değil, aynı zamanda veriye dayalı ve otomasyon destekli bir üretim modeli sunarak yapay zekâ temelli yaklaşımlara yakınsayan bir uygulama haline gelmiştir.



Şekil 5. BioHome3D projesi görseli [17].

Bu ve benzeri güncel projeler, 3B beton baskının yalnızca hızlı ve düşük maliyetli üretim aracı değil; aynı zamanda dijital tasarım süreçleriyle bütünleşerek mimari ifade biçimlerini dönüştüren bir araç hâline geldiğini göstermektedir.

Örnek uygulamalarda da görüldüğü üzere, üç boyutlu yazıcıların avantajları arasında çok çeşitli ürünleri tek bir makinede üretme yeteneği ve malzeme kullanımının verimli olması yer almaktadır [18]. Bunun yanı sıra, karmaşık geometrilerin hızlı bir şekilde üretilmesi ve işçilik gereksinimlerinin azalması sağlanan verimlilik sayılabilir. Ayrıca, 3DCP'nin tasarım esnekliği, özgün ve parametrik formların üretimini mümkün kılmaktadır. Ancak, bu teknolojinin halen çözülmesi gereken bazı sınırlılıkları mevcuttur; özellikle malzeme dayanımı ve yapısal performansın standart inşaat yöntemleriyle tam olarak rekabet edememesi, büyük ölçekli projelerde teknik altyapı eksiklikleri ve mevzuat uyumsuzlukları önemli engeller olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi'ndeki 3B Beton Baskı tesisi, 3B beton katkı maddeleri üzerine araştırmalar yapmaktadır. Büyük ölçekli projelerde 3DCP kullanımının önündeki en önemli zorluklar, betonun ekstrüde edilebilirlik ve üst üste taşınabilirlik özellikleridir. Bu nedenle, betonun çalışılabilirlik süresi, ekstrüzyon performansı, hızlı sertleşme ve katmanlar arasındaki temas özellikleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir [19].

### 3. TASARIM SÜRECİNDE YAPAY ZEKÂ

Tasarım süreci; yaratıcı düşünme, karar verme ve sorunlara çözüm üretme gibi karmaşık bilişsel adımlardan oluşur. YZ ise artık bu sürece dâhil olarak, mimarın kararlarını yönlendiren yardımcı bir tasarım aracı hâline gelmiştir. Yapay zekâ, öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme gibi insan zekâsına özgü bilişsel yetileri taklit edebilen sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesiyle ilgilenen bir bilgisayar bilimi dalıdır [20]. Bu sistemler, veri analizi yoluyla örüntüler tanımlayabilir, karar mekanizmaları oluşturabilir ve zamanla performanslarını optimize edebilir. Uzun vadede yapay zekânın temel hedefi, insanların gerçekleştirdiği bilişsel görevleri en az onlar kadar iyi, hatta onlardan daha üstün bir şekilde yerine getirebilecek makineler geliştirmektir [21]. Tasarımlara metin tabanlı görsel üretim teknikleri, mimarların hızlı ve pratik biçimde üç boyutlu modeller, fotogerçekçi görseller, animasyonlar ve sanal turlar yaratmalarını mümkün kılarak, özellikle konsept geliştirme aşamasında önemli bir yenilik sunmaktadır [22]. Metinden görsel üretim teknolojileri, mimari tasarım sürecinde kavramsal fikirlerin somutlaştırılmasını hızlandırarak tasarımcıların yaratıcı potansiyelini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, bu teknolojiler farklı tasarım senaryolarının hızlı prototipleşmesine olanak tanıyarak, çok yönlü analiz ve değerlendirme imkânı da sunmaktadır. Tasarım süreçlerinde hem kavramsal üretkenliği artırmakta hem de insan merkezli, fonksiyonel ve yenilikçi çözümlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. YZ algoritmaları, tasarım sürecine entegre edildiğinde; sanat, mühendislik ve mimarlık gibi disiplinlerde özgün ve karmaşık biçimlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu algoritmalar sayesinde, geleneksel yöntemlerle oluşturulması güç olan yaratıcı formlar, veri temelli analizlerle biçimlendirilebilmekte ve tasarım süreci çok daha esnek bir hâl almaktadır [23]. Yapay zekânın tasarımıyla kurduğu giderek derinleşen ilişki, kullanıcı deneyimini merkeze alan, işlevi yenilenen ve ileri teknoloji, malzeme ile yöntemleri entegre eden ürünlerin ortaya çıkmasını mümkün kılmaktadır. Bu çerçevede, tasarımların insan odaklı yaklaşımı benimsediği ve temel gereksinimlere bu sayede daha etkili yanıt verdiği söylenebilir [24].

### 3.1. Üretici Araçlar ve Algoritmik Yaratıcılık

Tasarım pratiğinde algoritmik yaratıcılık, üretici araçların sunduğu otomasyon ve veri analitiği ile birleşerek yeni ifade biçimlerinin ve yenilikçi çözümlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede, tasarımcılar karmaşık problem setlerine yaratıcı ve optimize edilmiş çözümler sunabilmekte, süreci hem hızlandırmakta hem de nitelikli sonuçlar elde etmektedir [25]. Üretici tasarım araçları, YZ ve makine öğrenmesiyle bütünleşerek tasarım süreçlerini daha esnek ve etkileşimli hale getirmektedir. Bu teknolojiler, tasarımcının yalnızca biçim üretmesini değil, süreci yöneten kuralları tanımlamasını da mümkün kılar. Sonuç olarak tasarım, öngörülebilir bir sonuçtan ziyade, sürekli gelişen ve çoklu olasılıklarla şekillenen bir yaratım alanına dönüşür. Geleneksel tasarım yöntemlerinin karmaşık problemlere yanıt vermede yetersiz kalması, tasarım sürecini yeniden ele alan ve karar verme süreçlerine odaklanan yaklaşımların gelişmesini beraberinde getirmiştir. Bu çerçevede, farklı kuramsal katkılar ışığında tasarlama eylemi, giderek bir problem çözme ve karar üretme süreci olarak tanımlanmaya başlamıştır [26]. Geleneksel tasarım yöntemlerinin sınırları, yeni teknolojilerin ve algoritmaların tasarım süreçlerine entegrasyonunu gerektirmiştir. Üretici araçlar, tasarımcıların karmaşık problemlere yaratıcı ve etkili çözümler geliştirmesine olanak sağlamaktadır. Algoritmik yaratıcılık ise bu süreci hızlandırarak, yenilikçi ve çeşitli tasarım alternatiflerinin ortaya çıkmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, algoritmik yöntemler sayesinde tasarımcılar, çok sayıda senaryoyu hızlıca değerlendirerek daha bilinçli kararlar alabilmektedir. Yapay zekâ teknolojilerinin karar verme süreçlerinin etkinliğini önemli ölçüde artırdığı göz önünde bulundurulduğunda, yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerinin kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Bu nedenle, çalışmada yapay zekâ algoritmaları kullanılarak geliştirilen karar destek sistemleri incelenmektedir.

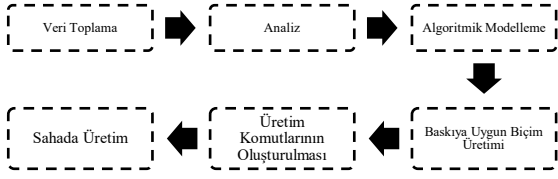
### 3.2. Komuttan Forma: Yapay Zekâ ile Tasarım Mantığının Dönüşümü

YZ destekli tasarım araçları, biçim üretiminde komutu salt bir yönlendirme aracı olmaktan çıkararak onu doğrudan geometrik çıktılarla

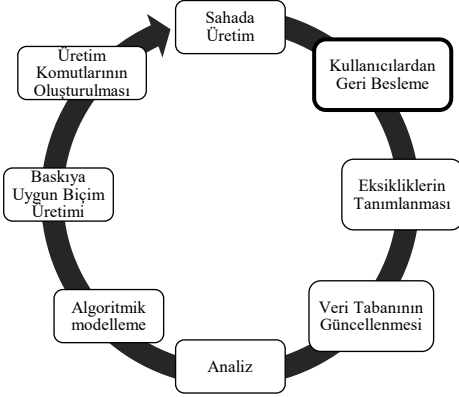
ilişkilendiren etkin bir arayüz haline getirmektedir. Bu süreçte tasarımcı, biçimi doğrudan çizen değil; algoritmanın mantığını kurgulayan, yönlendiren ve biçimin oluşumuna zemin hazırlayan bir rol üstlenmektedir. Yapay zekâ; mevcut tasarımların hızlı varyasyonlarını üretme, mimari projeye en uygun malzemeleri belirleme, karar verme süreçlerinde hızlı sonuçlar elde etme ve sürdürülebilir mimarlık gibi alanlarda çeşitli şekillerde kullanılmaktadır [27]. Büyük dil modelleriyle, örneğin ChatGPT gibi yapay zekâ sistemleriyle etkili iletişim kurabilmek, günümüzde giderek daha değerli bir yetkinlik haline gelmektedir [28]. Özellikle açık uçlu komutların belirsiz ya da kontrolsüz çıktılar üretebilme olasılığı düşünüldüğünde, hedeflenen sonucu net biçimde tarif eden, yapılandırılmış komutlar, istenilen çıktıya ulaşmada belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır [29]. YZ ile tasarım süreci, artık doğrudan form üretiminin ötesinde, veri odaklı karar alma mekanizmalarıyla biçim kurgulamaya evrilmektedir. Tasarımcı, geleneksel çizim pratiğinden ziyade, komutlarla tasarımı yönlendiren ve algoritmik mantığı kuran bir rol üstlenmektedir.

### 3.3. Yapay Zekâ ve 3DCP Kesişimi

YZ destekli 3B beton baskı süreçleri, yalnızca üretim teknolojilerinin değil, aynı zamanda tasarım düşüncesinin de dönüşümünü beraberinde getirmektedir. Verinin tasarımın merkezine yerleştirilmesi bu dönüşümün başlangıcıdır. Geleneksel olarak sezgisel ve biçimsel yaklaşımlarla ilerleyen tasarım süreci, artık algoritmalar tarafından yönlendirilen çok boyutlu veri kümeleri ile beslenen bir sürece dönüşmüştür. Veri tabanlı tasarım kavramı, yalnızca görsel tasarımın oluşturulmasını değil, aynı zamanda üretilebilirliği, kaynak yönetimini, çevresel uygunluğu ve kullanıcı gereksinimlerini de içeren bütüncül bir yaklaşımı içerir. YZ algoritmaları; iklim, topografya, güneş ışınımı gibi çevresel verilerden, kullanıcı ihtiyaçlarına ve üretim sınırlılıklarına kadar pek çok girdiyi işleyebilir; bu girdilere göre mekânsal biçimler üretebilir. Bu sayede form, artık yalnızca estetik bir tercih değil; çoklu verilerin optimize edildiği bir çıktı hâline gelir. Bu noktada yapay zekâ ile 3DCP sistemlerinin kesiştiği yer, formun dijital olarak modellenmesinden çok daha ötededir: bilgi, doğrudan inşaya dönüşür.



Şekil 6. Veri toplamadan inşaata doğru aşamalar.



Şekil 7. Geri besleme döngüsü ve üretim süreci.

Veriden inşaata uzanan bu zincir; veri toplama, analiz, algoritmik modelleme, baskıya uygun biçim üretimi, üretim komutlarının oluşturulması, sahada üretim aşamalarıyla Şekil 6'da gösterildiği gibi tanımlanabilir.

Her aşamada yapay zekâ, hem hız hem de doğruluk açısından süreci iyileştiren aktif bir bileşen hâline gelir. Bu entegrasyonun önemli avantajlarından biri de Şekil 7'de gösterilen 'geri besleme' döngüsüdür. Örneğin bir prototip üretim sırasında toplanan sensör verileri, sonraki üretimlerde tasarımı optimize edebilecek biçimde algoritmaya geri aktarılabilir. Böylece tasarım ve üretim ilişkisi doğrusal değil, dairesel ve öğrenen bir sistem hâlini alır. Bu yaklaşım, özellikle hızlı ve veriye bağlı müdahalelerin gerekli olduğu durumlarda yüksek potansiyel taşıyabilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Senaryo temelli iş akışları, 3B beton baskı süreçlerinde karmaşık parametrelerin dinamik ve kapsamlı bir biçimde yönetilmesini sağlar. Bu yaklaşım, malzeme performansından çevresel koşullara, yapı formundan üretim teknolojisine kadar çok çeşitli faktörlerin senaryo kombinasyonları halinde ele alınarak, her bir senaryonun kendine özgü koşulları altında üretimin nasıl optimize edileceğine dair net bir yol haritası çıkarılmasına olanak verir. Böylece, mimari üretim süreçlerinde karşılaşılan belirsizlikler, çok değişkenli çevresel etkiler ve malzeme limitleri sistematik

bir şekilde modellenebilir ve yönetilebilir hale gelir. Üretim sürecinin tüm aşamalarında parametrik bir perspektifle senaryo tabanlı analizlerin yapılması, yüksek kaliteli, sürdürülebilir ve ekonomik yapıların ortaya çıkmasını destekler.

Bu bağlamda, çalışma kapsamında geliştirilen senaryo tablosu, beton ve kil gibi farklı malzemeler; organik ve köşeli formlar; kat sayıları; çeşitli iklim türleri ve bunların sıcaklık değerleri temel alınarak oluşturulmuş ve Çizelge 2'de gösterilmiştir. Her bir parametre kümesi, üretimin hangi koşullar altında ve hangi teknolojiyle gerçekleştirileceğine dair somut veri seti sunmaktadır. Örneğin, yazıcıların çalışabileceği minimum ve maksimum sıcaklık aralıkları, katman yüksekliği limitleri ve rüzgâr hızı toleransları gibi teknik kriterler, her senaryonun uygun yazıcı ile eşleştirilmesini mümkün kılar. Senaryolar, Python ile otomatikleştirilmiştir. Yazıcı tiplerinin hangi şartlar altında çalışabildiğine dair olan teknik özellikleri kendi resmi web sitelerinden bakılarak alınmıştır [4-6]. Bu sayede, yüksek sayıda parametre kombinasyonu hızlı ve doğru şekilde değerlendirilerek, her senaryo için uygun yazıcı tipi atanabilmektedir.

```

import pandas as pd
import itertools

# Parametreler
malzemeler = ["Beton", "Kil"]
formlar = ["Organik", "Köşeli"]
kat_sayilari = [1, 2, 3]
iklimler = {
    "Sıcak": {"sıcaklık": 35},
    "Soğuk": {"sıcaklık": 10},
    "Kurak": {"sıcaklık": 30},
    "İlman": {"sıcaklık": 22},
    "Nemli": {"sıcaklık": 20}
}

# Yazıcılar
yazicilar = [
    {
        "isim": "ICON Vulcan",
        "tip": "Gantry",
        "min_temp": 4.4,
        "max_temp": 100,
        "max_kat": 3
    },
    {
        "isim": "COBOD B002",
        "tip": "Gantry",
        "min_temp": 5,
        "max_temp": 35,
        "max_kat": 8
    },
    {
        "isim": "Maxiprinter",
        "tip": "Mobil Robot Kol",
        "min_temp": -5,
        "max_temp": 50,
        "max_kat": 7
    }
]

# Kombinasyonları üret
senaryo_no = 1
senaryolar = []

for malzeme, form, kat, iklim in itertools.product(malzemeler, formlar, kat_sayilari, iklimler.keys()):
    sıcaklik = iklimler[iklim]["sıcaklık"]
    for yazici in yazicilar:
        if yazici["min_temp"] <= sıcaklik <= yazici["max_temp"] and kat <= yazici["max_kat"]:
            senaryolar.append({
                "Senaryo No": senaryo_no,
                "Malzeme": malzeme,
                "Form": form,
                "Kat Sayısı": kat,
                "İklim Türü": iklim,
                "Yazıcı Türü": yazici["isim"],
                "Yazıcı Tipi": yazici["tip"]
            })
            senaryo_no += 1

# DataFrame'e çevir
df = pd.DataFrame(senaryolar)

# Göster
print(df.head(20)) # İlk 20 senaryo
  
```

Şekil 8. Demo senaryo tablosunu oluşturmak için tasarlanan ve çeşitli parametrelere göre otomatik uygun yazıcı ataması yapan Python kodu.

Böyle bir otomasyon, özellikle karmaşık projelerde insan kaynaklı hataların azaltılmasına ve veriye dayalı karar süreçlerinin hızlanmasına olanak sağlar. Bu algoritma Şekil 8’de görselleştirilmiştir. Python kodu ile oluşturulan senaryoda toplamda 156 farklı olasılık ortaya çıkmıştır. Tablo yapısı ve işleyişinin bir kısmı Çizelge 3’te sunulmaktadır. Bu tablo, örnek amaçlı geliştirilmiş bir demo olup, gerçek projelerde daha geniş parametre setleri ve değişkenler eklenerek ölçeklendirilebilir. Özetle, senaryo tabanlı iş akışı üç ana aşamadan oluşur: Parametrelerin belirlenmesi ve tanımlanması; senaryo oluşturma ve yazıcı atama, üretim planlama, uygulama ve optimizasyon. Bu işleyişin mimarlıkta ve 3DCP uygulamalarında getirdiği en önemli avantajlardan biri, üretim süreçlerinin önceden simüle edilerek olası sorunların önüne geçilmesidir. Böylece hem kaynak israfı minimize edilir hem de projenin sürdürülebilirliği artırılır. Ayrıca, bu yaklaşım mimarların tasarım sürecinde çoklu koşulları

deneyimleyerek, daha esnek ve dayanıklı yapılar geliştirmelerine zemin hazırlar.

Geliştirilen senaryo odaklı model, simülasyon aşamasında ideal şantiye koşullarının var olduğu varsayımına dayanmaktadır. Kullanılan malzemenin eşit şekilde dağıldığı, lojistik tedarik zincirinde herhangi bir aksama olmadığı ve zemin şartlarının üç boyutlu yazıcılar için tamamen uygun olduğu, üretim sürecinde herhangi bir mekanik aksaklık olmadığı düşünülmektedir. Model üzerindeki en hassas ve majör etkiye sahip parametre ise iklimsel sıcaklık olmuştur. Diğer değişkenler tasarım esnekliği sunarken; ortam sıcaklığı, yazıcıların çalışabilirliğini doğrudan belirleyen bir eşik kısıt olarak işlev görmektedir. Örneğin, belirlenen çalışma aralığının dışına çıkılması, diğer tüm koşullar uygun olsa dahi üretimi durduran en kritik faktör olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.** Çeşitli parametreler ile yazar tarafından oluşturulmuş demo üretim senaryoları tablosu. Ortalama olarak iklimlere göre alınan, sıcaklık ve rüzgâr değerleri de alt tabloda gösterilmiştir.

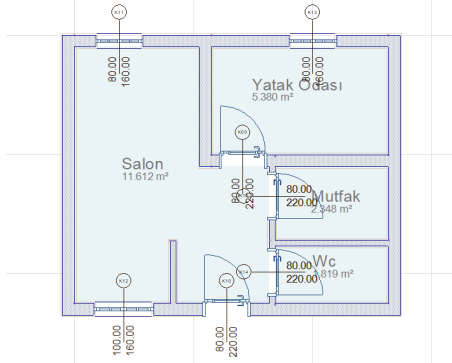
Senaryo No	Malzeme	Form	Kat	İklim	Yazıcı Türü	Yazıcı Tipi
1	Beton	Organik	1	Sıcak	ICON Vulcan	Gantry
2	Kil	Köşeli	1	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
3	Beton	Organik	3	Kurak	MaxiPrinter	Mobil Robotik Kol
4	Kil	Köşeli	2	Soğuk	MaxiPrinter	Mobil Robotik Kol
5	Beton	Köşeli	1	Nemli	ICON Vulcan	Gantry
6	Kil	Organik	3	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
7	Beton	Organik	2	Soğuk	MaxiPrinter	Mobil Robotik Kol
8	Kil	Köşeli	2	Kurak	MaxiPrinter	Mobil Robotik Kol
9	Beton	Köşeli	3	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
10	Kil	Organik	1	Sıcak	ICON Vulcan	Gantry
11	Beton	Organik	1	Nemli	ICON Vulcan	Gantry
12	Kil	Köşeli	3	Soğuk	MaxiPrinter	Mobil Robotik Kol
13	Beton	Köşeli	2	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
14	Kil	Organik	1	Kurak	ICON Vulcan	Gantry
...	...	...	...	...	...	...

İklim	Ortalama Sıcaklık	Ortalama Rüzgâr
Sıcak	35°C	< 20 mph
Ilıman	22°C	< 25 mph
Kurak	30°C	< 15 mph
Nemli	28°C	< 20 mph
Soğuk	0°C	< 30 mph

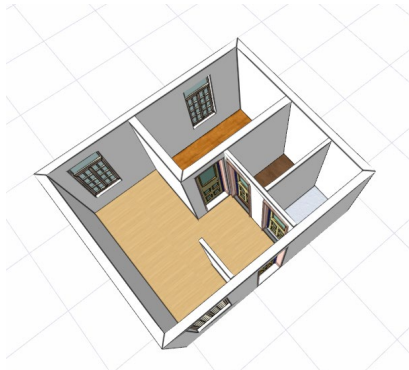
#### 4.1. Seçilen Senaryoların Değerlendirilmesi

Bu bölümde, geliştirilen hesaplamalı model tarafından üretilen senaryolar arasından, farklı kullanıcı profilleri ve üretim koşullarını temsil edecek şekilde seçilen iki örnek senaryo ayrıntılı olarak incelenmiştir. Seçilen senaryolar, model çıktılarının mimari ve teknik açıdan okunabilirliğini artırmak amacıyla temsili örnekler olarak belirlenmiştir. Her bir senaryo için şematik plan yerleşimi, üç boyutlu görsel temsil ile seçilen malzeme ve üç boyutlu beton baskı yazıcı tipine ilişkin kısa bir teknik gerekçe birlikte sunulmuştur. Bu senaryolar, geliştirilen hesaplamalı modelin bulgularını örneklemek amacıyla ele alınmış ve elde edilen sonuçlar Tartışma bölümünde değerlendirilmiştir. Bu görseller kavramsal temsillerdir ve modelin üretilebilirlik mantığını açıklamak amacıyla kullanılmıştır

#### Senaryo 1: Tek Kullanıcı Konut (Ilıman İklim)



Şekil 9. Şematik Plan Yerleşimi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

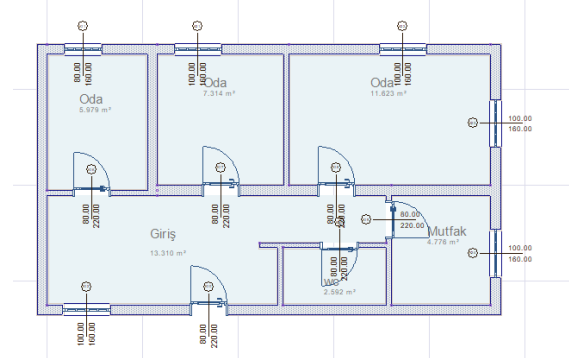


Şekil 10. Üç Boyutlu Görsel (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Şekil 9 ve 10'da gösterilen senaryoda, yapı malzemesi olarak beton tercih edilmiştir. Tek katlı ve kompakt yapı formu için gantry tipi üç boyutlu beton baskı yazıcısı uygun

görölmüştür. Ilıman iklim koşulları, malzemenin priz süresi ve katman aderansı açısından üretim sürecini desteklemektedir.

#### Senaryo 2: Aile / Erişilebilir Konut (Soğuk İklim)



Şekil 11. Şematik Plan Yerleşimi (yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 12. Üç Boyutlu Görsel (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Şekil 11 ve 12'de gösterilen senaryoda yapı malzemesi olarak düşük sıcaklıklarda priz sürecini kontrol edebilen beton karışımı tercih edilmiştir. Aile ve erişilebilir kullanım gereksinimleri doğrultusunda daha geniş açıklıklar ve tek katlı dolaşım kurgusu öngörülmüştür. Üretim sürecinde robotik kol tipi üç boyutlu beton baskı yazıcısı seçilmiştir; bu sistem, değişken geometriler ve erişilebilirlik elemanlarının üretiminde daha yüksek hareket kabiliyeti ve esneklik sunmaktadır. Soğuk iklim koşulları, baskı sürecinde çevresel kontrol gerektirdiğinden, robotik kol sistemleri üretim alanının korunmasına ve yerel müdahalelere olanak tanımaktadır.

**Çizelge 4.** Kullanıcı Profilleri ve Senaryo Eşleştirme Matrisi

Kullanıcı Profili	Uygun Senaryo	Temel Gerekeçe
Tek Kullanıcı	Senaryo 1	Erişilebilirlik önceliği, robotik kol ile hassas üretim
Aile	Senaryo 2	Geniş mekânsal kurgu, erişilebilir dolaşım, esnek kullanım
Yaşlı Kullanıcı	Senaryo 2	Erişilebilirlik önceliği, robotik kol ile hassas üretim
Engelli Kullanıcı	Senaryo 2	Erişilebilirlik önceliği, robotik kol ile hassas üretim
Topluluk Kullanımı	Türetilmiş Senaryo	Türetilmiş senaryo grubu

#### 4.2. Otomasyon ve Kişiselleştirme Potansiyeli

Geleneksel üretim sistemlerinde yapıların kullanıcıdan bağımsız, standart bir yaklaşımla tasarlanması, bireysel ihtiyaçların göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Oysaki afet sonrası barınma gibi kritik senaryolarda kullanıcı profilleri büyük farklılıklar gösterebilir; yaşlı bireyler, engelli bireyler, yalnız yaşayan bireyler ya da çok çocuklu aileler gibi farklı grupların gereksinimleri değişkenlik arz eder. Üretim süreçlerinin otomasyonla desteklenmesi, bu bireysel ihtiyaçlara daha hızlı ve doğru çözümler sunabilen esnek sistemlerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu bölümde, 3B yazıcı destekli üretim sistemlerinin bireye özgü koşullara nasıl uyarlanabileceği senaryo tabanlı bir yaklaşım ile incelenmektedir. Çalışmada örnek olarak; tek kişi, yaşlı birey, engelli birey, aile, topluluk gibi kullanıcı tiplerine; rampa zorunluluğu, geniş girişler gibi erişilebilirlik ihtiyaçlarına; mahremiyet sağlayan odalar gibi iç mekândaki gereksinimlerine; beton ve kil gibi yapı malzemesine; organik ve köşeli gibi form tercihine; kat sayısına, iklim türüne, ve yazıcı tipine göre değişen üretim senaryoları tanımlanmıştır. Her bir senaryo, özgün bir

kombinasyon içerir ve belirli bir kullanıcı profilinin mekânsal gereksinimlerine uygun çözüm üretmeyi amaçlar. Bu bağlamda, kişiselleştirme yalnızca mekânın geometrisiyle sınırlı kalmayıp, üretim teknolojisinin tipinden yazıcı donanımına kadar uzanan çok katmanlı bir optimizasyon alanı sunar. Bu kapsamda geliştirilen Python kodu ile, belirtilen parametreler doğrultusunda 572 tane senaryo türetilmiştir. Kodun algoritması, kullanıcı profillerine uygun üretim tercihlerini sistematik olarak eşleştirir ve her bir yapı senaryosunu tablo formatında dışa aktarır. Böylece kişiye özgü koşullar; iklimsel, teknolojik değişkenler aynı potada değerlendirilerek otomasyon süreci içerisinde karar destek sistemine dönüştürülmektedir. Örnekleme tablosunun 14 satırı Çizelge 4’te sunulmuştur; senaryoların oluşturulmasında kullanılan algoritmik yapı ise Şekil 9’da yer almaktadır.

```

import pandas as pd
import itertools

# Parametreler
kullanici_tipleri = ['Tek Kişi', 'Aile', 'Engelli Birey', 'Yaşlı Birey', 'Topluluk']
malzemeler = ['Beton', 'Kil']
formlar = ['Organik', 'Köşeli']
kat_sayilari = [1, 2]
iklim_turleri = ['Sıcak', 'Soğuk']
yazicilar = ['ICON Vulcan', 'C0B00 B002', 'Maxiprinter']
yazici_tipleri = ['Gantry', 'Mobil Robot Kol']

# Kullanıcıya özel erişilebilirlik ve mahremiyet kararları
def giris_ve_mahremiyet_belirle(kullanici):
    if kullanici == 'Engelli Birey':
        return 'Rampa zorunlu', 'Standart'
    elif kullanici == 'Yaşlı Birey':
        return 'Rampa önerilir', 'Standart'
    elif kullanici == 'Aile':
        return 'Olabilir', 'Mahremiyetli odalar'
    elif kullanici == 'Topluluk':
        return 'Geniş girişler', 'Mahremiyetli odalar'
    else:
        return 'Gerekli değil', 'Standart'

# Kombinasyonları oluştur
kombinasyonlar = list(itertools.product(
    kullanici_tipleri, malzemeler, formlar, kat_sayilari, iklim_turleri, yazicilar
))

# Veri listesi
veri = []
for i, (kullanici, malzeme, form, kat, iklim, yazici) in enumerate(kombinasyonlar, start=1):
    rampa, mahremiyet = giris_ve_mahremiyet_belirle(kullanici)
    yazici_tipi = 'Gantry' if yazici in ['ICON Vulcan', 'C0B00 B002'] else 'Mobil Robot Kol'
    veri.append([
        i, kullanici, rampa, mahremiyet, malzeme, form, kat, iklim, yazici, yazici_tipi
    ])

# DataFrame oluştur
df = pd.DataFrame(veri, columns=[
    'Senaryo No', 'Kullanıcı Tipi', 'Rampa / Giriş Tipi', 'Mahremiyet', 'Malzeme',
    'Form', 'Kat Sayısı', 'İklim Türü', 'Yazıcı Türü', 'Yazıcı Tipi'
])

# Göster (örnek)
print(df.head(20)) # İlk 20 senaryo

```

**Şekil 13.** Demo kişiselleştirilmiş senaryo tablosunu oluşturmak için yazar tarafından tasarlanan ve çeşitli parametrelere göre otomatik uygun yazıcı ataması yapan Python kodu.

Bu senaryo tabanlı yaklaşım, yalnızca acil durum konutları için değil, aynı zamanda gelecekteki kullanıcı merkezli yerleşim politikalarının şekillenmesinde de yol gösterici olabilir.

**Çizelge 5.** Çeşitli parametreler ile yazar tarafından oluşturulmuş demo kullanıcı profiline özel üretim senaryoları tablosu. Ortalama olarak iklimlere göre alınan değerler de Çizelge 3'te alt tabloda gösterilmiştir.

Senaryo	Kullanıcı	Rampa/Giriş	Mahremiyet	Malzeme	Form	Kat	İklim	Yazıcı Türü	Yazıcı Tipi
1	Tek Kişi	Gerekli Değil	Standart	Beton	Organik	1	Sıcak	ICON Vulcan	Gantry
2	Aile	Olabilir	Mahremiyetli Odalar	Kil	Köşeli	1	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
3	Engelli	Rampa Zorunlu	Standart	Beton	Organik	3	Kurak	MaxiPrinter	Robotik Kol
4	Engelli	Rampa Zorunlu	Standart	Kil	Köşeli	2	Soğuk	MaxiPrinter	Robotik Kol
5	Topluluk	Geniş Girişler	Mahremiyetli Odalar	Beton	Köşeli	1	Nemli	ICON Vulcan	Gantry
6	Yaşlı	Rampa Önerilir	Standart	Kil	Organik	3	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
7	Tek Kişi	Gerekli Değil	Standart	Beton	Organik	2	Soğuk	MaxiPrinter	Robotik Kol
8	Aile	Olabilir	Mahremiyetli Odalar	Kil	Köşeli	2	Kurak	MaxiPrinter	Robotik Kol
9	Topluluk	Geniş Girişler	Mahremiyetli Odalar	Beton	Köşeli	3	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
10	Yaşlı	Rampa Önerilir	Standart	Kil	Organik	1	Sıcak	ICON Vulcan	Gantry
11	Aile	Olabilir	Mahremiyetli Odalar	Beton	Organik	1	Nemli	ICON Vulcan	Gantry
12	Tek Kişi	Gerekli Değil	Standart	Kil	Köşeli	3	Soğuk	MaxiPrinter	Robotik Kol
13	Yaşlı	Rampa Önerilir	Standart	Beton	Köşeli	2	Ilıman	COBOD BOD2	Gantry
14	Topluluk	Geniş Girişler	Mahremiyetli Odalar	Kil	Organik	1	Kurak	ICON Vulcan	Gantry
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Her bireyin erişilebilir, mahremiyete sahip, iklimsel konforu gözetilmiş, sosyal yapısına uygun barınma birimlerine ulaşabilmesi, dijital üretim sistemleriyle artık teknik olarak mümkün görünmektedir. Otomasyon sistemleri sayesinde yapıların kişiselleştirilebilir olması, bireylerin yaşam mekânlarına aidiyet hissetmesini güçlendiren, sosyal kapsayıcılık ve kullanıcı memnuniyetine yönelik önemli bir açılım olarak değerlendirilmektedir.

#### 4.3. Seçilen Senaryoların Analizi

Senaryo 1 (Tek Kullanıcı, Şekil 9) ve Senaryo 2 (Aile Konut, Şekil 11), modelin pratik değerini gösterir [Çizelge 3]. Senaryo 1'de ICON Vulcan ile ortalama m<sup>2</sup> başına 24 dk baskı süresi, Senaryo 2'de MaxiPrinter ile rampa entegre geniş plan elde edilir [Çizelge 2]. Senaryo 1 Çizelge 2'deki kullanılan ortalama değerlere göre 21 m<sup>2</sup> büyüklüğünde alan ile 651 dk üretim süresine ve 619,5 \$ maliyete; Senaryo 2 ise 46 m<sup>2</sup> büyüklüğünde alan ile 1104 dk üretim süresine ve 3266 \$ maliyete sahiptir.

#### 4.4. Yapay Zekâ ile Optimize Edilmiş 3B Baskı Süreçleri ve Uygulama Senaryoları

YZ destekli sistemler, mimarlık üretiminde yalnızca bir otomasyon aracı olarak değil; insan

sezgisiyle algoritmik analizleri buluşturan yeni bir iş birliği modeli olarak konumlanmaktadır. Nitekim Singapur, Amsterdam ve Barcelona gibi şehirlerde yapay zekâ sistemleri, kentsel yönetim, ulaşım optimizasyonu ve çevresel sürdürülebilirlik alanlarında aktif biçimde kullanılmakta; bu uygulamalar, mimarlıkta üretim süreçlerine entegre edilmesi planlanan sistemlere yönelik güçlü bir altyapı örneği sunmaktadır [30]. 3B beton baskı süreçlerinde bu teknolojiler, üretim hatlarını hızlandırmanın ötesinde, karar alma mekanizmalarını dönüştüren ve öğrenme temelli bir yapıya evrilen sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan ve makinenin birlikte çalıştığı bu hibrit ortamda; tasarımcı, üretim sürecine yön verirken YZ sistemi anlık kararlar alabilen, öğrenebilen ve önerilerde bulunabilen bir ortak hâline gelmektedir. Bu durum, mimarlık üretiminde hem hız hem de doğruluk açısından önemli bir sıçrama yaratırken, aynı zamanda özelleştirilmiş çözümlerin oluşturulmasına da olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, yapay zekânın üç boyutlu baskı sistemlerine entegre edilmesiyle oluşan üretim süreçleri, üç temel aşamada değerlendirilmektedir: ön üretim analizi, üretim sırasındaki adaptasyon ve sonuç odaklı performans değerlendirmesi. İlk aşama

olan ön üretim optimizasyonunda, kullanılacak yapı formu, malzeme türü, yazıcı tipi, iklimsel parametreler, kişisel ihtiyaçlar gibi çok boyutlu veriler analiz edilerek üretime dair en uygun stratejiler oluşturulur. Örneğin, dar bir parselde kullanıcıların mahremiyet ihtiyacı ön planda olduğunda, yapay zekâ sistemi daha içe dönük, avlulu bir plan tipolojisi önerebilir. Buna karşılık, açık sosyal etkileşimin beklendiği bir senaryoda daha geçirgen, çoklu girişli bir yerleşim stratejisi geliştirilebilir. Bu aşamada, yapay zekâ sistemleri önceki üretimlerden elde ettiği verileri kullanarak kullanıcı ihtiyaçlarına ve çevresel verilere göre çeşitli öneri paketleri sunar. Ancak, hesaplamalı araçların mevcut durumu, bu potansiyelin tam olarak değerlendirilmediğine işaret etmektedir. Gerçekten de hesaplamalı araçların form oluşturma süreçlerini yalnızca formun oluşturulmasından farklı hedeflerle destekleme kapasitesini göz ardı ettiğimizde, bilgisayar destekli tasarım genellikle ‘aynısının daha fazlası’ durumunu kolaylaştırıyor gibi görünmektedir [31]. Bu durum, mimarlığın biçim odaklı, üstten aşağı kararlarla yönetilen bir süreçte kalmasına ve malzeme ile yapım süreçlerinin geri planda kalmasına yol açmaktadır. Oysa yapay zekâ destekli 3B baskı, malzeme özellikleri, üretim kısıtları ve çevresel değişkenleri bütüncül bir yaklaşımla entegre eder. Üretim sırasındaki kontrolde, YZ gerçek zamanlı sensör verileriyle sıcaklık, nem ve malzeme akışını izleyerek sistemi günceller; ani değişimlerde yazıcı hızı veya katman kalınlığı otomatik ayarlanır. Böylece süreç çevresel dalgalanmalara karşı esnekleşir. Çıktı değerlendirmesi aşamasında ise geometrik doğruluk, malzeme dayanımı, üretim süresi ve fire oranı analiz edilerek sonraki üretimler için optimize senaryolar geliştirilir. Süreç yalnızca verimlilik değil, kullanıcı deneyimi odaklı da ilerler.

Örneğin, bir kullanıcı için önerilen barınma birimi, sonraki üretimlerde benzer profil tanımlarına göre geliştirilen alternatif çözümlerle karşılaştırılabilir. Bu yaklaşıma örnek olarak, 2016 yılında AI Build tarafından geliştirilen ve Amsterdam’da Teknoloji Konferansı’nda tanıtılan Şekil 10’da gösterilen Daedalus Pavilion projesi gösterilebilir [32].



Şekil 14. Daedalus Pavilion Projesi [33].

48 parçadan oluşan ve biyomimetik özellikler taşıyan bu yapı, yapay zekâ destekli algoritmalarla geliştirilen tasarım iterasyonları sonucunda oluşturulmuştur. Önceki projelerden öğrenilen verilerin kullanıldığı bu süreçte, farklı tasarım alternatifleri üretilmiş; estetik, yapısal verimlilik ve üretilebilirlik gibi kriterlere göre optimize edilen bir versiyon seçilmiştir [32]. YZ, tek bir hedef yerine, birden fazla performans kriteri arasında denge kurarak daha dengeli üretim sonuçları elde edilmesini sağlar. Çizelge 6, yapay zekâ destekli 3B baskı süreçlerinde optimizasyon hedeflerinin geleneksel yöntemlere göre nasıl farklılaştığını özetle göstermektedir.

Çizelge 6. Yapay zekâ destekli 3B baskı süreçlerinde optimizasyon hedefleri ve yaklaşımlar.

Hedef	Geleneksel	Yapay Zekâ
<b>Yapısal Dayanım</b>	Deneysel testler	Veri analizi ile önceden tahmin
<b>Baskı Süresi</b>	Sabit hız ve manuel ayarlamalar	Gerçek zamanlı hız ve parametre optimizasyonu
<b>Malzeme Kullanımı</b>	Standart kesit, kalınlık sınırı	Form ve malzeme akışının optimizasyonu
<b>Enerji Verimliliği</b>	Takip edilmez veya manuel kontrol	Ölçülür ve ayarlanabilir

Bu farklılıklar, üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda ürün kalitesini yükseltmekte ve süreçlerin yönetilmesine olanak tanımaktadır. Geleneksel yöntemlerde saatler sürebilecek karmaşık tasarım ve üretim kararları, yapay zekâ algoritmaları sayesinde saniyeler içinde gerçekleştirilebilmektedir. Böylece hem zamandan hem de kaynaklardan önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır.

## 5. TARTIŞMA

Teknolojinin mimarlıkla kurduğu ilişki, üretim süreçlerinde hız, esneklik ve verimlilik sağlarken; bu dönüşümün mimarlık pratiği, yaratıcı özne ve mesleki sorumluluklar üzerindeki etkileri dikkatle değerlendirilmelidir. YZ destekli sistemlerin karar alma süreçlerine entegre edilmesi, mimarın rolünü yalnızca bir uygulayıcıya ya da algoritmaları onaylayan bir doğrulayıcıya indirgeme riski taşır. Oysa mimarlık; özgünlük, sezgi ve bağlamsal okuma gibi insana özgü nitelikler üzerine inşa edilir. Veriye dayalı otomasyon süreçleri bu nitelikleri geri plana iterek tasarım sürecini salt teknik bir işleme dönüştürebilir. Bu durum yalnızca estetik sonuçları değil, mimarlığın eleştirel, etik ve kültürel niteliğini de zayıflatabilir. Tasarım süreci, yalnızca ‘en hızlı’, ‘en uygun maliyetli’ ya da ‘en verimli’ çözümler üretmeye indirgenemez. Mimarlık disiplini; mekânın toplumsal, kültürel ve çevresel bağlamlarını gözeterek çok katmanlı bir düşünme biçimini gerektirir. Bu nedenle, yapay zekâ temelli sistemlerin mimari pratikte neyi görünmez kıldığı, hangi kararların hangi verilerle alındığı ve bu kararların sorumluluğunun kimde olduğu soruları önem kazanmaktadır.

### 5.1. Tasarımda Müelliflik ve Yaratıcı Özne Üzerine Yeniden Düşünmek

‘Müellif’ terimi, Avrupa kökenli ‘author’ kelimesinin Türkçe karşılığı olup, ‘eser yazarı’ veya ‘telif eden’ anlamlarını taşır [34]. Başka bir ifadeyle, müelliflik kavramı, İngilizce’de ‘author’ ile ‘authority’ kavramlarının bileşiminden oluşmuş; eserin gerçek yaratıcısı ve yetkili otoritesi olarak tanımlanmaktadır [35]. Müelliflik, tarihsel olarak bireysel yaratıcılığın tekeli olarak kabul edilmiştir. Ancak günümüz dijital çağında, özellikle mimarlık alanında bu kavram köklü bir evrim geçiriyor. Artık müelliflik, insan ile makine arasındaki etkileşimin ve dijital teknolojilerin ortak üretimi olarak yeniden tanımlanmayı gerektiriyor. Bu dönüşüm, mimarlıkta yaratıcı süreçlerin bilgi teorisi ve etik boyutlarını daha derinlemesine inceleme imkânı sağlıyor. Böylelikle, tasarımın geleceği, daha yenilikçi, çok katmanlı ve kapsayıcı yaklaşımlarla şekillenme olanağı buluyor. Yapay zekâ ve üç boyutlu baskı teknolojilerinin mimari üretim süreçlerine dahil olması, tasarımın müelliflik ve yaratıcı özne kavramlarını yeniden sorgulamayı gerektirmektedir; bu süreçte, geleneksel

yaratıcının rolü ve sorumlulukları, teknolojik yeniliklerin etkisiyle köklü bir değişim yaşamaktadır. Kullanıcı, oluşturmak istediği görseli yazılı şekilde ifade etmeli ve komut (prompt) adı verilen yönergeyi belirli sözcüklerle tasarım ölçütlerini yapay zekâyâ aktarmalıdır. Bu komut içerisinde; yapının niteliği, kullanılacak malzemeler, tasarımın biçimi ve mekânda yer alması arzu edilen objeler gibi çeşitli unsurlara dair bilgiler verilebilmektedir.

Bu durum, YZ araçlarının yalnızca verilen komutlara değil, kendi içsel parametrelerine de bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu çalışma mantığının olumlu durumu ortak bir giriş ifadesiyle tasarımcıya çeşitli alternatifler sunarken, görsel çıktılarının çeşitliliği de tasarım sürecine esneklik kazandırmaktadır. Ayrıca, olumsuz durumunu değerlendirdiğimizde YZ araçlarının yalnızca verilen komutlara değil, kendi içsel parametrelerine de bağımlı olduğunu göstermektedir. Ancak bu bağımlılık, tasarımcının süreç üzerindeki denetimini zayıflatmakta; kontrol edilemeyen çeşitlilik, tasarım sürecinde yön kaybına, kararsızlığa ve çıktılarının güvenilirliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, görünürdeki esneklik avantajının ötesinde, yapay zekâ tabanlı araçların tasarım sürecinde kontrolün kaybedilmesi riskini de beraberinde getirdiği göz ardı edilmemelidir.

YZ tabanlı tasarım araçları, mimari üretim sürecinde özellikle kavramsal ve görselleştirme aşamalarında güçlü bir potansiyel taşımaktadır. Kısa sürede çok sayıda alternatif üretebilme yetisi, tasarımcının düşünsel ufkunu genişleterek farklı mekânsal senaryoları değerlendirmesine olanak tanır. Ancak yapay zekâ çıktıları, teknik gerçekçilik, strüktürel bütünlük ve malzeme ölçeği gibi uygulama açısından kritik parametrelerde sınırlılıklar içermektedir. Ayrıca, üretilen tasarımlarda belirli kalıplara yönelme eğilimi ve tasarımcının çıktı üzerindeki yönlendirme kapasitesinin kısıtlı olması, özgünlük ve esneklik bağlamında sorunlar doğurabilmektedir. Bu nedenle YZ, tasarım pratiğinde bağımsız bir üretici olmaktan ziyade, insan yaratıcılığını destekleyen ve yeni fikirlerin ortaya çıkmasına aracılık eden tamamlayıcı bir araç olarak değerlendirilmelidir.

## 5.2. Etik ve Bilgi Kuramsal Sorgulamalar

YZ tabanlı araçların mimarlık eğitimine entegrasyonu, yalnızca teknik yeterlilikleri değil, aynı zamanda etik sorumlulukları da gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, bilgi üretim süreçlerinin doğruluğu, tasarım kararlarının meşruiyeti ve insan-makine etkileşiminin sınırları üzerine kuramsal sorgulamalar kaçınılmaz hale gelmektedir. Etik, bireylerin davranışlarını yönlendiren ahlaki değerleri ve bu değerlerin toplumsal ve bireysel düzeyde nasıl uygulanması gerektiğini sorgulayan felsefi bir disiplindir [36]. Yapay zekâ etiği ise bu teknolojilerin tasarımı, yaygınlaştırılması ve kullanımı sırasında gözetilmesi gereken temel ilkelere, düzenleyici çerçevelere ve politik sorumluluklara odaklanarak çok katmanlı bir değerlendirme alanı sunmaktadır [37]. Floridi, dijital çağın asıl meselesinin artık yalnızca inovasyon değil, dijitalin iyi yönetimi olduğunu belirtir [38]. Bu yönetim ihtiyacı da mimarlık gibi çok aktörün olduğu üretim alanlarında karar alma süreçlerinin sadece rasyonel olarak değil, değer temelli olarak da kurgulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Yapay zekâ tabanlı tasarım araçlarının kullanımı, özgünlük, mülkiyet hakları ve toplumsal sorumluluk bağlamında etik bir tartışma alanı açmaktadır. Algoritmik üretim süreçlerinin insan yaratıcılığını gölgelememesi, kullanıcı ihtiyaçları ve toplumsal faydanın göz ardı edilmemesi önemlidir. Bu nedenle yapay zekâ, mimari tasarımda bağımsız bir üretici değil, etik ilkeler çerçevesinde insan yaratıcılığını destekleyen tamamlayıcı bir araç olarak konumlandırılmalıdır.

## 5.3. Mimarlık Eğitimi ve Pratiği İçin Gelecek Öngörülleri

YZ tabanlı tasarım süreçleri ve üç boyutlu baskı teknolojileri, mimarlık eğitimini ve mesleki pratiği köklü bir biçimde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm süreci, mimarın rolünü yeniden tanımlarken, insan yaratıcılığı ile makine zekâsının etkileşim içinde olduğu hibrit bir tasarım yaklaşımını da gündeme getirmektedir. Tasarım sürecinde sezgisel kararları destekleyen bu yeni araçlar, mimarın düşünsel üretimini hızlandırmakta ve deneysel arayüzlere olanak tanımaktadır. Metin tabanlı görsel üretim araçları, mimarların kavramsal tasarım aşamasında fotogerçekçi görsellerden üç boyutlu modellere, animasyonlardan sanal

turlara kadar geniş bir yelpazede içerik üretmesini mümkün kılarak tasarım sürecinde köklü bir dönüşüm yaratmaktadır [22]. Bu dönüşüm, öğrencilerin yalnızca biçimsel ve mekânsal tasarım odaklı düşüncelerini değil, aynı zamanda veriye dayalı analiz, algoritmik süreçlerin anlaşılması ve etik sorumluluk bilinci gibi çok katmanlı konularda eleştirel ve sorgulayıcı bir bakış geliştirmelerini gerekli kılmaktadır. Yapay zekânın mimarlık eğitimiyle bütünleşmesi, tasarım bilgisinin oluşum sürecinde insan ve makine etkileşimini temel alan yenilikçi bir eğitim anlayışını beraberinde getirmektedir. Bu değişim, öğrencilerin yalnızca mekânsal ve biçimsel tasarım kararlarına odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda veri temelli düşünme, algoritmik çözümlenme ve etik sorumluluklar gibi çok boyutlu konulara eleştirel bir perspektifle yaklaşmalarını gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede mimarlık eğitimi, klasik tasarım ilkelerinin ötesine geçerek teknolojik gelişmelerle uyumlu, esnek ve etkileşimli bir öğrenme ortamına dönüşmektedir. Yapay zekâ destekli öngörülse araçlar, adaptif öğrenme sistemleri, üretken dijital teknolojiler ve 3B baskı süreçleriyle zenginleşen bu yeni pedagojik yapı, öğrencilerin yaratıcı potansiyelini artırırken disiplinler arası düşünme biçimlerini de desteklemektedir. Tasarımın fiziksel temsiline olanak tanıyan yapay zekâ ile optimize edilmiş 3B üretim teknikleri, öğrencilere deneysel tasarım süreçlerini somutlaştırma ve hızlı prototipleme gibi beceriler kazandırmaktadır. Böylelikle bu bütünleşik eğitim modeli, öğrencilerin hem teknik yetkinlik hem de etik farkındalık açısından donanımlı bireyler olarak yetişmelerine katkı sağlayan, kapsayıcı ve ileriye dönük bir öğrenme ekosistemi oluşturmaktadır.

## 6. SONUÇ

Bu çalışma, YZ ve 3DCP teknolojilerinin mimari tasarım ve üretim süreçlerine entegrasyon potansiyelini sistematik olarak incelemiş ve bu entegrasyonun ortaya çıkardığı yeni mimari zekâ paradigmasını eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmiştir. Araştırma, geleneksel mimari pratiklerin yerini veri odaklı, algoritmik ve otomatize edilmiş iş akışlarının alabileceği hipotezini destekler nitelikte somut bulgular sunmuştur. Ancak asıl mesele, teknolojik araçların ne kadar geliştiği değil; bu araçların mimarlık pratiğini nasıl

dönüştürdüğü, mimarı hangi rollere zorladığı ve tasarımın anlamını nasıl yeniden tanımladığıdır. Mimarlık, yalnızca optimizasyonla açıklanabilir bir süreç değildir. Üretimin hızlandırılması, maliyetin düşürülmesi veya şeklin algoritmalarla tanımlanması, mimari düşüncenin özünü oluşturan sezgi, bağlam, eleştiri ve anlam gibi katmanları görünmez kılma riskini taşır. Bu noktada, bu çalışma yalnızca teknik bir model sunmakla kalmaz; aynı zamanda teknolojik araçların mimarlıkla kurduğu ilişkinin eleştirel sorgusunu da gündeme getirir. Yapay zekâ sistemleri karar alırken hangi ön kabulleri taşır? Üretim sürecinde görünmeyen kimdir? Mimar artık bir sistem operatörü mü, yoksa sistemin etik sınırlarını çizen özne midir? Bu sorular, yalnızca bu araştırma kapsamında değil, mimarlığın geleceği için de önemlidir.

Çünkü bugün kararları algoritmalarla alan bir sistem, yarın anlamı da onlar üzerinden kurabilir. Bu nedenle teknolojiye teslim olmak değil, teknolojiyle müzakere edebilen bir mimarlık anlayışı gereklidir.

Gelecekteki çalışmalar, bu senaryoların gerçek verilerle test edilmesini, farklı coğrafyalarda uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini ve özellikle yapay zekâ destekli sistemlerin etik tasarımı üzerine derinleşmeyi içermelidir. Ayrıca, mimarlığın eğitimi ve mesleki pratiği de bu dönüşüme uygun olarak yeniden kurgulanmalı; mimar, yalnızca üretici değil, teknolojik kararların sorumluluğunu taşıyan bir özne olarak güçlendirilmelidir.

Sonuç olarak, bu araştırma, yalnızca yeni bir üretim modeli değil; mimarlığın teknolojik çağda nasıl var olabileceğine dair bir pozisyon önermektedir. Kararların, şekillerin ve sistemlerin içinde, mimarın sesi silikleşmemeli; aksine daha gür duyulmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Zhou, L., Lowe, D. J., “Economic challenges of sustainable construction”, RICS COBRA foundation construction and building research conference, Pages 1-2, Wolverhampton, 2003.

2. Yıldırım, Y., “Farklı disiplinlerde Endüstri 4.0”, Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, Vol. 15, Issue 21, Pages 756–789, 2020.

3. Aydın, M., Güler, B., Çetinkaya, K., “Dikey Ekstrüzyon (Filament) Sistemi Tasarım ve Prototip İmalatı”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Vol. 2, Issue 1, Pages 1-10, 2018.

4. COBOD, “BOD2 Specifications”, <https://cobod.com/solution/bod2/specifications/>, August 2, 2025.

5. ICON, “Meet Vulcan Our Home-Sized 3D-printer”, <https://www.iconbuild.com/technology>, August 2, 2025.

6. Constructions 3D, “MaxiPrinter”, <https://www.constructions-3d.com/en/maxiprinter>, August 2, 2025.

7. Hasani, A., “Investigating the Potential of 3D Concrete Printing for Unreinforced Structures”, Yüksek Lisans Tezi, University of North Dakota, 2024.

8. COBOD, “White Paper - Down to Earth: The True State of the Art of 3DCP”, <https://cobod.com/wp-content/uploads/2019/12/White-Paper-Down-to-earth-The-True-State-of-the-Art-of-3DCP.pdf>, December 16, 2025.

9. 3DXB Group, “MaxiPrinter Technical Brochure & Specifications”, <https://3dxb-group.com/products/maxiprinter/>, December 16, 2025.

10. Hacıoğlu, S., “3 Boyutlu Beton Baskı Teknolojisinin Maliyet Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, 2025.

11. Yum, M. S., “Etkileşimsel Özelliklerin Belirlenerek Değerlendirilmesi”, Online Journal of Art and Design, Vol. 9, Issue 2, Pages 203-223, 2021.

12. Tümer, M. B., “Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi, İstanbul, 2020

13. Kaplan, Ş., “3 Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisinin Yapı Sektöründe Kullanım Potansiyeline Yönelik Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 2025

14. Baş, E., “Acil Barınma Ünitesi Temininde Parametrik Tasarım ve Katmanlı Üretimin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2020.

15. WASP, “3D Printed House Tecla”, <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>, July 24, 2025.

16. ICON, “House Zero”, <https://www.iconbuild.com/projects/house-zero>, July 24, 2025.
17. The University of Maine, “BioHome3D”, <https://composites.umaine.edu/advanced-manufacturing/biohome3d/>, August 1, 2025.
18. Karaarslan, M. H., “3 Boyutlu Yazdırma Teknolojisi: Sosyoekonomik Etkileri İçin Yeni Ufuklar”, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, Vol. 10, Issue 1, Pages 152-166, 2015.
19. Tarhan, Y., “Dijital üretimli çimento esaslı kompozitlerin donma-çözülme direnci ve boşluk yapılarının incelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2020.
20. Russell, S. J., Norvig, P., “Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd ed.)”, Pages 1-35, Pearson Education, New York, 2016.
21. Nilsson, N. J., “Artificial Intelligence A New Synthesis”, Morgan Kaufmann Publishers, China Machine Press, China, Pages 1-46, 1998
22. Sağlam, B., Çelik, T., “Mimarlık ve Ütopya: Yapay Zeka ile Üretken Tasarım Denemeleri”, *Mimarlık Dergisi*, Issue 429, Pages 59–64, 2023.
23. Azad, M. A., Olawuni, D., Kimbell, G., Badruddoza, A. Z. M., Hossain, M. S., Sultana, T., “Polymers For Extrusion-Based 3D Printing Of Pharmaceuticals: A Holistic Materials–Process Perspective”, *Pharmaceutics*, Vol. 12, Issue 2, Pages 90-124, 2020.
24. Wang, L., Zhang, H. C., Wang, Q., “On the concepts of artificial intelligence and innovative design in product design”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Pages 1-6, 2019.
25. Burry, M., “Algorithmic Architecture”, *Architectural Design*, Vol. 81, Issue 2, Pages 14–21, 2011.
26. Bayazıt, N., “Endüstriyel Tasarımcılar İçin Tasarlama Kuramları ve Metotları”, Pages 45-150, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
27. Bölek, B., Tural, O., Özbaşaran, H., “A systematic review on artificial intelligence applications in architecture”, *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, Vol. 4, Issue 1, Pages 91–104, 2023.
28. White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Schmidt, D., “A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with ChatGPT”, *arXiv*, Pages 1-27, 2023.
29. Liu, V., Chilton, L. B., “Design guidelines for prompt engineering text-to-image generative models”, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Pages 1-23, New Orleans, 2022.
30. Avcı, E., “Akıllı şehirler için üretken yapay zekâ kavramsal çerçevesi”, *Kent Akademisi*, Vol. 17, Issue 5, Pages 1654-1675, 2024.
31. Oxman, N., “Material-based design computation”, Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2010.
32. Şuta, O., “Yapay Zekânın Mimarlığa Yansıması”, XIV. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Pages 1-6, Edirne, 2025.
33. Parametric House, “Daedalus Pavilion”, <https://parametrichouse.com/daedalus-pavilion/>, August 3, 2025.
34. Develioğlu, F., “Osmanlıca-Türkçe ansiklopedik lügat”, Pages 1-30, Aydın Kitabevi, Ankara, 1998.
35. Sennett, R., “Otorite”, Çeviri: Durand, K., *Ayrıntı Yayınları*, İstanbul, Pages 1-40, 2021.
36. Darı, A. B., & Koçyiğit, A., “Yapay zekâ ve etik: Yeni medyanın dönüşümünde sorumluluk ve sınırlar”, *İletişim ve Toplum Araştırmaları Dergisi*, Vol. 4, Issue 2, Pages 246-261, 2024.
37. Sarkar, M. K., Sarkar, S. S. D., “The ethics of artificial intelligence: Ethics and moral challenges”, *Educational Administration: Theory and Practice*, Vol. 30, Issue 5, Pages 12367-12372, 2024.
38. Floridi, L., “Soft ethics, the governance of the digital and the General Data Protection Regulation”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 376, Issue 2133, Pages 1-27, 2018.