

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİM UYGULAMALARININ MİMARİ SÜREÇLERE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ: YAPAY ZEKA (AI)
ENTEGRASYONU

RAHİME EFŞAN COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. CEYDA ÖZGEN

MAYIS 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİM UYGULAMALARININ MİMARİ SÜREÇLERE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ: YAPAY ZEKA (AI)
ENTEGRASYONU

RAHİME EFŞAN COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. CEYDA ÖZGEN
2. DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ SALİHA TÜRKMENOĞLU BERKAN

MAYIS 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF BIM APPLICATIONS
ON ARCHITECTURAL PROCESSES: INTEGRATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)**

RAHİME EFŞAN COŞKUN

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. CEYDA ÖZGEN
Co-ADVISOR: DR. SALİHA TÜRKMENOĞLU BERKAN

MAY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/05/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Rahime Efşan Coşkun'un tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Ceyda ÖZGEN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Saliha TÜRKMENOĞLU BERKAN

ÜYE

: Doç. Dr. İbrahim TÜRKERİ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi M. Ersegün ERCİŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Mehmet Selim ÖKTEN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Tez çalışması, Yapı Bilgi Modellemesi ve Yapay Zeka (AI) teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerindeki entegrasyonunu incelemeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda hızla dijitalleşen mimarlık ve inşaat sektörü, BIM ve AI teknolojileri aracılığıyla tasarım kararları, otomasyon ve bilgi yönetimi süreçlerinde önemli dönüşümler yaşamaktadır. Geleneksel CAD sistemlerinden evrilen BIM, çok disiplinli bilgi yönetimi ve proje koordinasyonu sağlarken, AI ise büyük veri analizleri ve karar destek sistemleriyle bu süreci desteklemektedir. Bu bağlamda araştırma, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerini nasıl dönüştürdüğü ve bu dönüşümün sektörel uygulamalarda nasıl bir karşılık bulduğu araştırma soruları çerçevesinde incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım sürecine etkisini çok katmanlı bir yaklaşımla değerlendirmek, BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyon biçimlerini, kullanım düzeylerini, karşılaşılan zorlukları ve bu teknolojilerin sektörel gelecekteki yerini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda araştırma üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilerek BIM ve AI'nin kuramsal temelleri, entegrasyon potansiyelleri ve mimari tasarıma etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada, Türkiye'de BIM alanında faaliyet gösteren mimarlarla anket uygulaması yapılmış, üçüncü aşamada ise yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla katılımcıların deneyimleri ve değerlendirmeleri analiz edilmiştir.

Araştırma bulguları, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerinde karar alma süreçlerini desteklediğini, alternatif üretimi hızlandırarak otomasyonu mümkün kıldığını ve bilgi yönetimini optimize ettiğini göstermektedir. AI algoritmalarının parametrik tasarım, simülasyon ve optimizasyon süreçlerine entegre edilmesiyle, özellikle erken tasarım aşamalarında daha nitelikli ve sürdürülebilir çözümler üretilebilmektedir. Bununla birlikte, BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonunda, yazılım uyumsuzlukları, yüksek maliyetler, organizasyonel direnç ve uzman eksikliği hususlarında teknik ve yönetsel zorluklarla da karşılaşılmaktadır. Tüm bu zorluklara rağmen, sektör profesyonellerinin BIM ve AI entegrasyonuna yönelik artan ilgisi ve olumlu beklentileri, bu dönüşüm sürecinin gelecekte daha yaygın ve etkili olacağını göstermektedir.

Tez çalışması, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine etkilerini, sektörde aktif olarak çalışan mimarların deneyimleri üzerinden kullanıcı odaklı bir yaklaşımla değerlendirmektedir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgularla, mevcut uygulamalar, karşılaşılan zorluklar ve teknolojilerin sunduğu yenilikler analiz edilerek kapsamlı bir çerçeve sunulmuştur. Bununla birlikte, BIM ve AI entegrasyonunun tasarım süreçlerindeki iyileştirme potansiyelleri belirlenmiş ve sektöre yönelik uygulama önerileri geliştirilmiştir. Bu bağlamda tez çalışması, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerindeki etkilerini kullanıcı deneyimi üzerinden ele alan araştırmalara katkı sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mimari Tasarım Süreçleri, BIM ve AI Entegrasyonu, Karar Destek Sistemleri, Otomasyon, Bilgi Yönetimi

ABSTRACT

This thesis aims to examine the integration of Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) technologies into architectural design processes. In recent years, the rapidly digitalizing architecture and construction sectors have undergone significant transformations in design decision-making, automation, and information management through BIM and AI technologies. While BIM, evolved from traditional CAD systems, enables multidisciplinary information management and project coordination, AI supports these processes through big data analysis and decision support systems. Within this context, the research investigates how the integration of BIM and AI is transforming architectural design processes and how this transformation is reflected in professional practice.

The main objective of the study is to evaluate the impact of BIM and AI technologies on architectural design through a multilayered approach by identifying integration methods, levels of use, encountered challenges, and their projected role in the future of the industry. The research was conducted in three phases: first, a comprehensive literature review was carried out to explore the theoretical foundations, integration potential, and design related effects of BIM and AI, second, a survey was administered to architects operating in the BIM sector in Turkey; and third, semi-structured interviews were conducted to analyze the experiences and evaluations of selected participants.

Research findings indicate that the integration of BIM and AI supports decision-making processes in architectural design, accelerates the generation of alternatives through automation, and enhances information management efficiency. The integration of AI algorithms into parametric design, simulation, and optimization processes contributes to producing higher-quality and more sustainable solutions, particularly in early design phases. Nevertheless, the integration of these technologies presents technical and managerial challenges, including software incompatibilities, high implementation costs, organizational resistance, and a shortage of qualified experts. Despite these challenges, the increasing interest and positive expectations of industry professionals suggest that this digital transformation will become more widespread and impactful in the near future.

This study evaluates the effects of BIM and AI technologies on architectural design from a user-centered perspective, based on the experiences of practicing architects. The findings provide a comprehensive framework by analyzing current practices, existing challenges, and the innovative potentials offered by these technologies. Furthermore, the research identifies improvement opportunities in design processes through BIM-AI integration and develops practical recommendations for professional practice. In this regard, the thesis contributes to the growing body of literature focusing on the user experience based analysis of BIM and AI technologies in architectural design processes.

Keywords: Architectural Design Processes, BIM-AI Integration, Decision Support Systems, Automation, Information Management

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her aşamada sabırla destek olan ve akademik rehberliğini esirgemeyen çok kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Ceyda Özgen'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda bilgi ve deneyimleriyle tezime büyük katkı sağlayan, ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Saliha Türkmenoğlu Berkan'a da teşekkür ederim. Bu süreçte yanımda olan, desteği ve sevgisiyle bana güç veren anneme, babama ve canım kız kardeşim Simge Arlıanoğlu'na gönülden teşekkür ederim. Yaşamımın her döneminde bana destek olan değerli eşim Reşat Coşkun'a içten teşekkürlerimi sunarım. Her daim yanımda olan, mesleki paylaşımlarımızla beni besleyen, moral ve motivasyonlarıyla yolumu aydınlatan kıymetli meslektaşlarım Fatma Özgüç Murt, Simay Aydınç derin bir teşekkür borçluyum. Ayrıca, bu süreçte desteklerini her zaman yanımda hissettiren, varlıkları ile bana güç veren ve her daim beni motive eden sevgili arkadaşlarım Melisa Tuna Alataş'a, Gizem Aksulu'ya ve Gözde Aşkar Yıldız'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Problemi	3
1.2. Tezin Amacı	5
1.3. Tezin Kapsamı ve Yöntemi	6
1.4. Tezin Özgün Değeri ve Bilimsel Katkı	10
2. MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDE BIM VE YAPAY ZEKA (AI): KAVRAMSAL VE KURAMSAL TEMELLER	11
2.1. Mimari Tasarım Süreçleri	11
2.1.1. Mimari Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Dinamikleri	15
2.1.2. Mimari Tasarım Süreçlerinde Bilgi Yönetiminin Önemi	17
2.1.3. Mimari Tasarım Süreçlerine Dijital Dönüşümün Etkileri	18
2.2. BIM: Tanımı, Kavramsal Çerçevesi ve Kapsamı	19
2.2.1. BIM Süreçleri	22
2.2.2. BIM'in Olgunluk ve Boyutsal Seviyeleri	30
2.2.3. BIM'in LOD Tanımları	36
2.3. Yapay Zeka (AI)	39
2.3.1. Yapay Zekanın (AI) Tanımı	39
2.3.2. Yapay Zeka (AI) Kısa Tarihi	40
2.3.3. Yapay Zeka (AI) Türleri	43
2.3.4. Yapay Zeka (AI) Algoritmaları	44
2.4. Mimari Tasarım Süreçlerinde BIM ve AI Kullanımı	55
2.4.1. Mimari Tasarım Süreçlerinde BIM Kullanımı	55
2.4.2. Mimari Tasarım Süreçlerinde AI Kullanımı	58
2.5. BIM ve AI'nın Ortak Özellikleri	59
3. MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDE BIM VE YAPAY ZEKA (AI) ENTEGRASYONU	61
3.1. BIM ve AI Entegrasyonu: Teorik Temeller	62
3.2. BIM ve AI Entegrasyonunda Kullanılan Teknolojiler ve Araçlar	65
3.2.1. BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Yazılımları	65
3.2.2. BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Araçları	68
3.2.3. BIM ve AI Destekli Simülasyon Araçları	71
3.2.4. BIM ve AI Destekli Disiplinler Arası İş Birliği ve Bilgi Yönetimi Platformları	74
3.3. BIM ve AI Entegrasyonu ile Mimari Tasarım Süreçlerinin Yeniden Kurgulanması	76
3.3.1. BIM ve AI Entegrasyonu ile Karar Verme Süreçleri	76

3.3.2. BIM ve AI Entegrasyonu ile Otomasyon Odaklı Tasarım	80
3.3.3. BIM ve AI Entegrasyonu ile Bilgi Yönetimi	82
3.4. BIM ve AI Entegrasyonunda Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri	85
3.5. Mimari Tasarımın Geleceğinde BIM ve AI Entegrasyonu	87
4. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	89
4.1. Araştırma Modeli ve Yöntem	89
4.2. Katılımcılar ve Örneklem Grubu	91
4.3. Veri Toplama ve Veri Analizi Süreci	92
4.4. Araştırmanın Sınırlılıkları	94
5. BULGULAR	96
5.1. Anket Verilerine İlişkin Bulgular	96
5.1.1. Betimsel Analizler	96
5.2. Yarı Yapılandırılmış Görüşme Verilerine İlişkin Bulgular	129
5.2.1. Doğrudan Alıntılar ile Destek	129
5.2.2. Kodlama	149
5.2.3. Tematik Analiz	150
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR	166
ÖZGEÇMİŞ	185
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	186
EKLER	187

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADM	: Akıllı Dijital Model
AI	: Yapay Zeka
BIM	: Yapı Bilgi Modellemesi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
LOD	: Gelişim Seviyesi / Detay Seviyesi
RIBA	: Britanyalı Mimarlar Kraliyet Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
NBS	: Ulusal Bina Şartnamesi
NIBS	: Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü
VR	: Sanal Gerçeklik
AR	: Artırılmış Gerçeklik
IoT	: Nesnelerin İnterneti
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
GAN	: Üretken Çekişmeli Ağlar
ML	: Makine Öğrenmesi
DL	: Derin Öğrenme
ANN	: Yapay Sinir Ağı
RL	: Pekiştirmeli Öğrenme
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
AAS	: Analitik Ağ Süreci
2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
4D	: Dört Boyutlu
5D	: Beş Boyutlu
6D	: Altı Boyutlu
7D	: Yedi Boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Literatürde Son 15 Yılda En Sık Kullanılan Anahtar Kelimeler.	7
Şekil 2.1: Mimari Tasarım Süreçleri.	13
Şekil 2.2: İki Boyutlu Mimari Tasarım Süreci.	16
Şekil 2.3: BIM Periyodik Tablosu.	21
Şekil 2.4: BIM Süreç Aşamaları 1. Bölüm.	24
Şekil 2.5: BIM Süreç Aşamaları 2. Bölüm.	25
Şekil 2.6: Kısmi Örnek ve Özet BIM Haritası.	26
Şekil 2.7: Örnek Programlama Süreci.	27
Şekil 2.8: Bew ve Richards'ın BIM Olgunluk Modeli.	31
Şekil 2.9: Succar'ın BIM Olgunluk Modeli.	32
Şekil 2.10: BIM'in Boyutsal Seviyeleri.	34
Şekil 2.11: Model Gelişim Seviyeleri.	37
Şekil 2.12: AI Bileşenleri, Türleri ve Alt Alanları.	40
Şekil 2.13: Stanhope Kare Gösterici (1805).	42
Şekil 2.14: Makine Öğrenmesi (ML) Alt Türleri.	45
Şekil 2.15: Denetimli Öğrenme Süreci Akış Diyagramı.	46
Şekil 2.16: Pekiştirmeli Öğrenmenin Terminolojisi.	47
Şekil 2.17: AI, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Kronolojisi.	48
Şekil 2.18: Üretken Evrimsel Paradigma.	50
Şekil 2.19: Basit Genetik Algoritma.	51
Şekil 2.20: Evrimsel Programlama Algoritması.	52
Şekil 2.21: Evrimsel Strateji Algoritması.	53
Şekil 2.22: Karınca Kolonisi Algoritma Prototipi.	54
Şekil 2.23: Yapısal Analiz Örnekleri.	56
Şekil 3.1: BIM Süreçlerinde AI Yazılımları ile İşlenen Bilgiler.	61
Şekil 3.2: BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Yazılımları.	67
Şekil 3.3: BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Yazılımları.	70
Şekil 3.4: BIM Destekli Simülasyon Yazılımları.	73
Şekil 3.5: BIM ve AI Destekli Bulut Tabanlı ve Yerel Merkezi Veri Senkronizasyonu Sağlayan İş Birliği Yazılımları.	75
Şekil 3.6: Karar Destek Sisteminin Genel Mimarisi.	78
Şekil 3.7: İncelenen Cephe Düzenleri ve Bunlara Ait Işınım Simülasyonları.	81
Şekil 3.8: Disiplinler arası Tipik Organizasyon Bağı.	83
Şekil 3.9: Bilgi Yönetimi Birimleri Tanımlanması ve Organizasyonu.	83
Şekil 5.1: Katılımcıların BIM'in Boyutsal Seviyelerini Kullanım Yoğunluğu.	99
Şekil 5.2: Katılımcıların BIM'i Mimari Tasarım Sürecinde Kullandıkları Aşamalar.	101
Şekil 5.3: Katılımcıların AI Alanlarındaki Bilgi Düzeyi ve Deneyimleri.	104
Şekil 5.4: BIM ve AI Entegrasyonunun Tasarım Süreci Adımlarında Kullanım Dağılımı.	107
Şekil 5.5: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Araçları.	109

Şekil 5.6: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Araçları.	110
Şekil 5.7: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM Destekli Simülasyon Araçları.	112
Şekil 5.8: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Bulut Tabanlı ve Yerel Merkezi Veri Senkronizasyonu Sağlayan İş Birliği Araçları.	113
Şekil 5.9: AI Tabanlı BIM Araçlarının Karar Süreçlerindeki Kullanım Dağılımı.	115
Şekil 5.10: AI Destekli BIM Programlarının Mimari Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Aşamalarına Etkileri.	116
Şekil 5.11: AI Destekli BIM Programlarının Mimari Tasarım Süreçlerinde Otomasyon Çözümlerini Kullanım Alanları.	117
Şekil 5.12: AI Destekli BIM Otomasyon Çözümlerinin Mimari Tasarım Sürecine Etkileri Üzerine Katılımcı Değerlendirmeleri.	119
Şekil 5.13: AI Destekli BIM Araçlarının Bilgi Yönetimine Etkileri.	121
Şekil 5.14: BIM-AI Teknolojilerinin Mimari Tasarıma Katkıları Üzerine Katılımcı Görüşleri.	123
Şekil 5.15: BIM-AI Teknolojilerinin Mimari Tasarıma Olumsuz Etkileri Üzerine Katılımcı Görüşleri.	125

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Katılımcıların Mimarlık Sektöründe Deneyim Süreleri.	97
Tablo 5.2: Katılımcıların Mimarlık Sektöründe BIM Deneyim Süreleri.	98
Tablo 5.3: Katılımcıların Belirttiği BIM Olgunluk Seviyesi Düzeyleri.	98
Tablo 5.4: Katılımcıların BIM Detay Seviyesi (LOD) Kullanım Dağılımı.	100
Tablo 5.5: AI'nın Mimarlık Sektörüne Olası Etkilerine İlişkin Katılımcı Değerlendirmeleri.	102
Tablo 5.6: Katılımcıların AI Teknolojilerine İlişkin Bilgi Düzeyi.	103
Tablo 5.7: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde AI Destekli Araçları Kullanım Durumları.	105
Tablo 5.8: Katılımcıların BIM ve AI Entegrasyonu Bilgi Düzeyi.	106
Tablo 5.9: Katılımcıların AI Destekli BIM Süreçlerinde Bilgi Yönetimine Yönelik Uygulamaları.	120
Tablo 5.10: BIM ve AI Teknolojilerinin Gelecekteki Yaygınlığına Dair Katılımcı Görüşleri.	127
Tablo 5.11: Yarı Yapılandırılmış Görüşmelere Dayalı Tematik Kodlama Analizi.	150

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişimi mimarlık ve inşaat sektörünü de etkilemiş, tasarım, planlama ve uygulama süreçlerinde disiplinler arası bilgi paylaşımını kolaylaştıran ve yenilikçi bir kavram olan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) geliştirilmiştir. Geleneksel el çizimlerinden dijital tasarım sürecine geçiş, ilk olarak CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) sistemleriyle başlamıştır. Teknolojik ilerlemeler ile birlikte geliştirilen BIM, mimarlık ve inşaat sektöründeki süreçlerin hem gelişmesini hem de dijital dönüşümünün hızlanmasını sağlamıştır.

BIM sistemi, yapıların 3D olarak modellenmesini sağlayarak, farklı disiplinler arasındaki koordinasyonu ve olası çakışmaların tespitini mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda, inşaat süreçlerinin planlanması ve simülasyonu, maliyet analizleri ve hakediş hesaplamaları gibi işlevleri de desteklemektedir. BIM, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri, işletme, bakım ve onarım süreçleri için gerekli bilgi ve modeller oluşturulabilir [Uzun, 2019]. Barnes ve Davies [2014] BIM'in, mimarlar ile mühendisler arasında etkili bir iletişim sağladığını ve işveren ile yükleniciler arasında iş birliği kurulmasına olanak tanıdığını ifade etmektedir. Yapılan araştırmalar, BIM sisteminin mimar ve mühendisler arasındaki doğru ve etkin bir iletişim oluşturacağını göstermektedir [Aranda-Mena vd., 2009]. Aynı zamanda projelerin başlangıç aşaması olan tasarım süreçlerinde, hedefler ile ilgili oluşabilecek riskler görülerek, zamanında müdahale edilebilmektedir [Gökmeral, 2014].

Mimarlık ve inşaat sektöründeki dijital dönüşümün bir sonraki aşaması ise, yapının yaşam döngüsü olarak tanımlanan tasarım, inşaat, işletme, bakım ve yıkım süreçlerinde üretilen bilgi ve verilerin nasıl daha etkin bir şekilde yönetileceği sorusudur. Bu nedenle yapının tasarımından, işletme ve yıkımına kadar olan bu süreçlerde kullanılan BIM programlarının, popüler bir kavram olan Yapay Zeka (AI) araçları ile nasıl entegre edilebileceği ve bu süreçlere nasıl katkılar sağlayabileceği bir araştırma konusu haline gelmiştir. BIM, inşaat sorunlarına kapsamlı bir çözüm gibi görünmekle birlikte, veri işleme ve yönetimi gibi yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır [Khan vd., 2024]. Buna karşılık, AI, veri kümelerini analiz etmek, süreçleri

otomatikleştirmek ve BIM modelleri gibi farklı kaynaklardan anlamlı bilgiler elde etmek için bir araç olarak kullanılabilir **[Khan vd., 2024]**.

AI terimi, Dartmouth'un kongresinde (1956) Minsky, Shannon, McCarthy, Newell ve Simon gibi bilim insanları tarafından, yapay bir varlığın (bilgisayar) "zeki" olarak kabul edilebilecek bir yönünü sergilemesi vizyonu, bilgisayarlarda insan öğrenmesi veya akıl yürütmesi süreçlerini taklit etmeyi hedefleyerek ortaya çıkmıştır **[Russell ve Norvig, 2016]**. **Nilsson [2019]** AI'yi "makinelere zeka kazandırmaya yönelik bir çalışma alanı" olarak ifade etmektedir. **Khan vd. [2024]** ise AI' yı; algoritmalar, yazılımlar ve donanımlar aracılığıyla dış verileri analiz edebilen, bu verilerden öğrenerek adapte olabilen ve belirli görevleri yerine getirebilen sistemler olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamanın devamında AI'nın; makine öğrenimi, veri analitiği, doğal dil işleme, bilgi tabanlı sistemler, bilgisayarlara ve robotik sistemler gibi teknolojilerden yararlandığını ifade etmişlerdir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda AI' nın sunduğu bu olanaklar ile BIM süreçlerinde ortaya çıkan kapsamlı ve çok boyutlu veri setlerinin, yapının tüm yaşam döngüsü süreçlerinde daha etkili bir yönetim ve optimizasyon sağlayabileceği öngörülmektedir.

BIM süreçlerinde tanımlamalar, analizler ve proje hazırlık süreçlerinden sonraki adım olan ve yapının tasarım kararlarının verildiği mimari tasarım süreçleri aynı zamanda, yapının inşaatı ve üretimi için gerekli organizasyon planlamalarını, disiplinler arası bilgi paylaşımlarının yapılıp geri bildirimlerin raporlarının oluşturulmasını, stratejik mühendislik gereksinimlerini, maliyet planlamalarını ve proje stratejilerini kapsamaktadır **[RIBA, 2020]**. **Boechat ve Corrêa [2021]** mimari tasarımın, birçok disiplini içeren disiplinler arası ve iş birliğine dayalı ekiplerin çalışmasını gerektirdiğini belirtmiştir. **Herrera vd. [2020]** ise ekipler arasındaki zayıf ilişkilerin, bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında düşük performansa sebep olduğunu, tasarım aşamasında ekipler arasındaki etkileşimlerin önemli olduğunu, çünkü tasarım aşamasında alınan kararların diğer tüm aşamaları etkilediğini söylemiştir. Bu referanslar doğrultusunda mimari tasarım süreçlerinde BIM kullanımının, maliyet analizleri, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri, çakışma tespitleri ve mühendislik gereksinimleri gibi tasarım kararlarına katkı sağladığı söylenebilir. Fakat sektör profesyonelleri olan mimarlar BIM modellerinden elde edilen büyük veriler ile, tasarım kararları verebilmek ve anlamlı çıkarımlar elde etmekte zorluk çekebilmektedir.

Elde edilen bu verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesi, daha doğru tasarım kararlarının alınabilmesi için ise AI algoritmaları ve araçları, çeşitli tasarım varyasyonlarının oluşturulmasına ve alternatifli konseptler üretilmesine olanaklar sağlamaktadır [Matter ve Gado, 2024]. Bu sebeple sektör profesyonelleri olan mimarlar, mimari tasarım süreçlerinde BIM yazılımları ile entegre AI araçları kullanmayı tercih etmektedirler.

Tüm bu veriler doğrultusunda, tez çalışmasında BIM ve AI entegrasyonlarının, sözleşme ve protokollerden sonra başlayan mimari tasarım süreçleri üzerindeki etkileri analiz edilecektir. İlk olarak, literatürde tanımlanan BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarımdaki rolleri ve entegrasyon potansiyelleri ele alınarak, bu teknolojilerin mimari tasarım süreçlerinde karar alma, otomasyon temelli tasarım modeli ve bilgi yönetimi üzerindeki etkisi incelenecektir. Araştırmanın ikinci aşamasında, Türkiye’de BIM ve AI teknolojilerini kullanan mimarlık ofisleri, inşaat firmaları ve yazılım danışmalık firmalarında çalışan mimarlar ile bir anket çalışması yürütülecektir. Üçüncü aşamada ise, anket katılımcıları arasından gönüllülük esasına göre seçilen uzman mimarlarla yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilecektir. Elde edilen veriler ile, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine olan etkileri bütüncül bir yaklaşımla ortaya konacaktır.

1.1. Tez Problemi

Küresel ekonomide inşaat sektörünün büyüyen payı, sürekli artan rekabet koşullarını da beraberinde getirerek firmaları, ürün ve hizmet kalitesini arttırma çerçevesinde tüm olası seçenekleri keşfetmeye zorlamaktadır [Kahraman, 2022]. Bu durum, inşaat sektöründe daha hızlı üretim, daha kaliteli imalat ve daha az maliyet kavramlarının üzerinde kapsamlı yaklaşım formlarının gelişmesi için sektörde dijitalleşmenin önünü açmaktadır [Kahraman, 2022]. Çeşitli araştırmalar, gelişmişlik seviyesi yüksek bir dijital sürecin mimarlık ve inşaat sektöründe tasarım özgürlüğünü, üretkenliği, bilgi paylaşımını ve koordinasyonu artırdığını ortaya koymuştur [Zareiyan ve Khoshnevis, 2017].

Bu sürece dahil olan BIM kavramının inşaat projelerinde kullanım oranının da dünya genelinde hızla artmakta olduğu, İngiltere merkezli Ulusal Yapı Şartnamesi’nin (National Building Specification, NBS) 1000’den fazla sektör profesyonellerinin

görüşleri doğrultusunda hazırlamış olduğu 10. Ulusal BIM Raporu'nda belirtilmektedir [NBS, 2020]. Hazırlanan 10. Ulusal BIM Raporu'nda şu temel hususlar yer almaktadır:

- BIM kullanım oranı 2011 yılında %43 oranında iken 2020 yılında %73 seviyesine çıkmıştır.
- 2011 yılında BIM'in faydaları; gelişmiş bilgi koordinasyonu, daha verimli üretkenlik, risklerin azaltılması ve artan karlılık olarak görülmekte olup, 2020 yılında benimsenen faydalarda bir değişiklik olmamıştır.
- Son 10 yılda BIM'in sadece 3D bir çizim aracı olduğu görüşü kaybolarak BIM'in 4D ve 5D boyutları da kabul görmeye başlamıştır.
- Katılımcılar, geleceğe yönelik olarak bulut bilişim, sanal gerçeklik ve diğer teknolojilerin gelişmeye devam etmesi nedeniyle dijital dönüşümün sektörü değiştirmeye devam edeceği konusunda hemfikirdir.

NBS'nin yayınladığı daha güncel raporlar incelendiğinde, NBS [2024b] Sürdürülebilir Gelecekler (Sustainable Futures Report) ve NBS [2024a] Yapı Güvenliği Yasası Resmi Rapor (Building Safety Act White Paper) raporlarında BIM teknolojisine yönelik sektörde sadece kullanım oranlarında bir artış değil, aynı zamanda BIM'in nasıl anlaşıldığı, nasıl uygulandığı ve ne amaçlarla kullanıldığı konusunda da önemli değişimler yaşandığı görülmektedir. Belirtilen raporlarda temel olarak şu hususlar yer almaktadır:

- BIM, sadece bir modelleme aracı değil; sürdürülebilirlik hesaplamalarının yapılması, karbon emisyonlarının analiz edilmesi, çevresel ürün beyanlarının entegrasyonu gibi süreçlerde aktif bir rol oynamaktadır.
- “Doğru ve Güvenilir (Golden Thread)” yasal düzenlemeleri ile birlikte BIM, dijital bilgi yönetimi, yaşam döngüsü yönetimi ve yasal uyumluluk alanlarında öne çıkan bir sistem haline gelmiştir.
- Geleceğe yönelik olarak BIM ile entegre çalışan teknolojiler arasında AI, bulut tabanlı platformlar ve çevresel veri yönetimi öne çıkmaktadır.

NBS [2020] raporundan alıntılanan sonuçlara referansla dijital dönüşümün gelişen teknolojilerle devam edeceği, sektör profesyonelleri tarafından vurgulanmaktadır. AI'nın da, dijital dönüşüm teknolojilerinin bir parçası olarak veri analizi, otomasyon ve

tasarım optimizasyonu gibi alanlarda mimarlık sektörüne katkılar sağlaması öngörülmektedir. 2024 yılına gelindiğinde ise BIM'in işlevselliği çok daha geniş bir perspektifle ele alınmaktadır. Artık BIM, yalnızca bir modelleme aracı olmanın ötesinde, mimari tasarım süreçlerinin erken aşama tasarım evresinde, sürdürülebilirlik hesaplamalarının yapılması, karbon emisyonlarının analiz edilmesi ve çevresel ürün beyanlarının entegrasyonu gibi çevresel etkenlerin dikkate alındığı karar destek mekanizmalarının temelini oluşturmaktadır. Ayrıca bilgi yönetimi ve yapının yaşam döngüsü yönetimlerinin öne çıkması BIM ile entegre çalışan AI araçları, bulut tabanlı iş birliği platformları ve veri yönetim araçlarının gelişmeye devam etmesi, dijital dönüşüm sürecinin mimarlık ve inşaat sektörlerini yapısal olarak yeniden şekillendireceğine dair bir beklenti oluşturmaktadır. Bu doğrultuda tez çalışmasında aşağıda yer alan araştırma sorularına yanıtlar aranacaktır:

- 1) BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerine etkisi nedir ve bu entegrasyon karar alma, otomasyon ve bilgi yönetimi süreçlerini nasıl dönüştürmektedir?
- 2) Mimarlar, AI destekli BIM teknolojilerini mimari tasarım süreçlerinde ne düzeyde ve hangi nedenlerle kullanmayı tercih etmektedir?
- 3) Mimarlar, BIM ve AI entegrasyonunun, mimarlık mesleğinin geleceğine yönelik potansiyel katkılarını nasıl değerlendirmektedir?

1.2. Tezin Amacı

Yapı endüstrisi, çok disiplinli bir yapıya sahiptir ve bu disiplinlerin bir araya gelip ürün oluşturma işlemleri sırasında, sürecin yönetilme gerekliliği zorunlu bir durumdur [Shi ve Halpin, 2003]. BIM kullanımının, yapının tüm yaşam döngüsünü kapsayacak şekilde projeye ilişkin veri ve modellerin oluşturulmasında, bu süreçlerin daha verimli yönetilmesinde etkin bir rol oynadığı bilinmektedir. BIM ile entegrasyon çalışmaları yapılan AI araçlarının ise, projelere ilişkin süreçleri daha etkin bir şekilde yönetme ve karar verme aşamalarında akıllı çözümler sunma potansiyeline sahip olduğu ifade edilebilir.

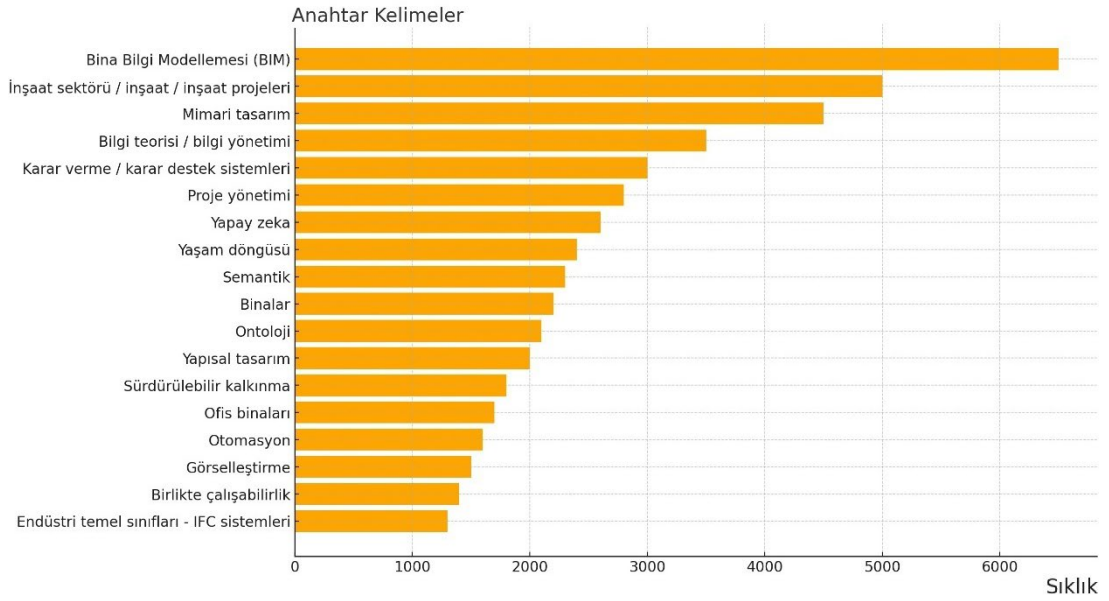
Bu bağlamda tez çalışmasının öncelikli amacı, BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonunun, mimari tasarım süreçlerindeki etkisini ve sektörel uygulamadaki yerini çok katmanlı ve bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. Belirlenen öncelikli

amaca ek olarak, tez çalışmasının aşağıdaki alt amaçlar doğrultusunda yapılandırılması planlanmıştır:

- Türkiye’de BIM alanında faaliyet gösteren mimarlık, inşaat ve yazılım danışmanlık firmalarında çalışan mimarların, AI destekli BIM yazılımlarını, kullanım düzeylerini ve uygulama tercihlerini belirlemek,
- Mimarlık sektöründe yaygın olarak kullanılan parametrik tasarım, optimizasyon araçları ve bulut tabanlı iş birliği platformlarının kullanım sıklığını ve etkisini analiz etmek,
- Katılımcıların BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin karşılaştıkları teknik, yönetsel ve yapısal zorlukları tanımlamak ve bu zorluklara yönelik çözüm önerilerini ortaya koymak,
- Yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla, uzman mimarların BIM ve AI entegrasyonu hakkındaki deneyimlerini, yöntemsel yaklaşımlarını ve gelecek öngörülerini nitel veriler ile değerlendirmek,
- Elde edilen veriler doğrultusunda, BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık mesleğinin geleceği üzerindeki olası etkilerini yorumlamak ve sektörel düzeyde uygulanabilir öneriler geliştirebilmektir.

1.3. Tezin Kapsamı ve Yöntemi

2023 yılında Yue Pan, Limao Zhang ve Chelse Mario’nun “BIM ve Yapay Zekanın Akıllı İnşaat Yönetimine Entegrasyonu: Mevcut Durum ve Gelecek Yönelimleri (Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status)” adlı çalışmada, son 15 yılda literatürde en sık kullanılan anahtar kelimelerin analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları **Şekil 1.1**’de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 1. 1: Literatürde Son 15 Yılda En Sık Kullanılan Anahtar Kelimeler [Pan vd., 2023 kaynağından yazar tarafından oluşturulmuştur].

Grafik incelendiğinde en sık karşılaşılan anahtar kelimeler, BIM ve inşaat ile ilgili temel kavramlardır. “Mimari Tasarım”, “Bilgi Yönetimi”, “Karar Destek Sistemleri”, “Proje Yönetimi” ve “AI” kavramları literatürde sık karşılaşılan diğer anahtar kelimeler arasındadır. Bu kavramların literatürde sık kullanımı, tasarım süreçlerinde BIM ve AI entegrasyonuna yönelik çalışmaların araştırmalarda ön plana çıkabileceğini desteklemektedir. “Otomasyon” ve “Görselleştirme” gibi terimlerin literatürde sıkça kullanılması ise, AI ve veri analitiği teknolojilerinin sektördeki öneminin giderek arttığını göstermektedir [Pan vd., 2023]. Bu eğilim, özellikle mimari tasarım süreçlerinde tekrarlayan görevlerin otomatikleştirilmesi, parametrik modelleme aracılığıyla alternatif tasarım senaryolarının hızlıca üretilmesi ve projelerin görsel analizinin daha etkin yapılabilmesi gibi uygulamalarla desteklenebilir. Dolayısıyla inşaat sektöründe BIM ve mimari tasarımın akademik araştırmalarda yoğun olarak ele alındığı, mimari tasarımın BIM ile yakından ilişkili olduğu ve mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI entegrasyonunun önemli bir uygulama alanı olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmaktadır [Pan vd., 2023]. Bu kapsamda tez çalışması Pan vd. [2023]’nin literatürde en sık kullanılan anahtar kelime analizine referansla, inşaat sektörünün mimarlık disiplinine özgü, mimari tasarım süreçlerine odaklanacak ve bu süreçler BIM ve AI entegrasyonları, karar alma mekanizmaları, otomasyon süreçleri ve bilgi yönetimi pratikleri alt başlıkları altında incelenecektir.

Tez çalışması, nitel ve nicel araştırma yöntemi çerçevesinde yapılandırılmış olup, araştırma süreci literatür taraması, anket uygulaması ve yarı yapılandırılmış görüşmeler olmak üzere üç aşamada yürütülecektir. Anket ve yarı yapılandırılmış görüşme soruları literatür taraması referans alınarak, Türkiye’de BIM alanında faaliyet gösteren mimarlık, inşaat ve mimari yazılım danışmanlık firmalarında çalışan profesyonel mimarlar ile gerçekleştirilecektir. Çalışmanın ilk aşaması olan literatür taraması ile, mimari tasarım süreçlerinin bütüncül olarak kuramsal bir çerçevesi oluşturulacaktır. Mimarlık disiplininde farklı tanımlar ve yöntemlerle ele alınan mimari tasarım süreçleri, bu çalışmada **RIBA [2020]** tarafından tanımlanan “konsept tasarım” ve “mekansal koordinasyon” aşamaları temel alınarak incelenecektir. Devamında, BIM, BIM süreçleri, BIM’ in boyutsal seviyeleri, BIM’ in olgunluk seviyeleri ve LOD (Level of Development) kavramları tanımlanacaktır. Daha sonra AI tanımlaması yapılarak, AI’nın gelişim süreçleri, AI türleri ve algoritmaları ele alınacaktır. BIM ve AI kavramlarının teorik çerçevesi belirlendikten sonra, bu teknolojilerin mimari tasarım süreçlerini nasıl etkilediği, iş akışlarını nasıl dönüştürdüğü ve mimarlık pratiğinde nasıl konumlandıkları tartışılıp, BIM ve AI teknolojilerinin ortak özellikleri ve bu iki teknolojinin entegrasyon potansiyelleri değerlendirilecektir. Literatür araştırmasının BIM ve AI entegrasyonunun inceleneceği bölümde ise öncelikle teorik temeller incelenerek, bu iki teknolojinin mimari tasarım süreçlerine sağladığı işlevsel katkılar analiz edilecektir. Devamında, parametrik tasarım yazılımları, simülasyon ve optimizasyon araçları ile bulut tabanlı iş birliği platformları gibi BIM ve AI entegrasyonunu mümkün kılan teknolojik araçlar belirlenecektir. Ardından, mimari tasarım süreçlerinin yeniden kurgulanması bağlamında, karar destek sistemleri, otomasyon odaklı tasarım yaklaşımları ve bilgi yönetimi olanakları yeniden değerlendirilecektir. Son olarak, BIM ve AI entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar ile bu zorluklara yönelik çözüm önerilerine yer verilecek ve gelişen teknolojiler ile birlikte BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık sektörünün geleceği üzerindeki etkileri tartışılacaktır. Literatür araştırması ulusal ve uluslararası akademik makalelere, lisansüstü tezlere, teknik raporlara, sektörel yayınlara, bilimsel dergilere ve kitaplara dayanacaktır. Bu bağlamda tez çalışmasının ilk aşamasında, BIM ve AI teknolojilerinin teorik temelleri ve mimarlık sektöründeki dijital dönüşüm süreçlerine olan mevcut etkileri analiz edilecektir. Ek olarak, söz konusu teknolojilere ilişkin güncel uygulama örnekleri ve geleceğe yönelik öngörüler değerlendirilerek araştırmanın kuramsal çerçevesi oluşturulacaktır.

Araştırmanın ikinci aşamasını oluşturan anket soruları, literatür taramasından elde edilen kuramsal ve kavramsal çerçeve doğrultusundaki verilere referans ile hazırlanacaktır. Anket sorularının ilk bölümü mimari tasarım süreçlerindeki; iş akışları, BIM ve AI kullanımları, BIM ve AI'nın kullanım düzeyleri, BIM ve AI'nın tercih edilme nedenleri ve bu teknolojilere yönelik gelecek öngörülerini ana başlıkları altında hazırlanacaktır. Anket sorularının ikinci bölümü, mimari tasarım süreçlerinde AI destekli BIM yazılımlarının uygulama pratikleri, sık kullanılan parametrik ve optimizasyon araçları ve tercih edilen bulut tabanlı iş birliği platformları sorularından oluşacaktır. Devamında, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerini nasıl dönüştürdüğüne, bu süreçte karşılaşılan başlıca zorluklara, olası çözüm önerilerine ve söz konusu teknolojilerin gelecekteki kullanım potansiyeline ilişkin katılımcıların görüş ve değerlendirmelerine yer verilerek anket sonlandırılacaktır. Anket çalışması aracılığıyla, BIM ve AI teknolojilerinin kullanıcı algısı, sektörel uygulama düzeyleri, karşılaşılan zorluklar ve beklentilere dair nicel veriler toplanması amaçlanmaktadır. Anket sorularından elde edilen veriler ile, tematik analiz ve betimsel istatistiksel yöntemler aracılığıyla değerlendirilerek, araştırma sorularının bilimsel veriye dayalı olarak yanıtlanması hedeflenmektedir.

Tez çalışmasının üçüncü ve son aşamasını oluşturan yarı yapılandırılmış görüşmeler, literatür incelemesi ve anket sonuçlarından elde edilen bulgular doğrultusunda şekillendirilecektir. Bu kapsamda katılımcılara yöneltilecek sorular, mesleki deneyimlerine dayalı olarak BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne sağladığı katkılara ilişkin değerlendirmelerini, bu teknolojileri hangi gelişmişlik düzeyinde kullandıklarını ve yer aldıkları proje örneklerini kapsayacak şekilde hazırlanacaktır. Ayrıca, BIM ve AI entegrasyonunun tasarım hedeflerine ulaşmadaki etkisi, AI destekli BIM teknolojilerinde kullanılan yöntem ve araçlar, geleneksel BIM uygulamaları ile AI destekli sistemlerin karşılaştırılması ve bu entegrasyonların mimarlık mesleğinin geleceğindeki potansiyel rolü üzerine katılımcı görüşleri alınacaktır. Görüşmelerden elde edilen nitel veriler, tematik analiz yöntemiyle değerlendirilerek, araştırmanın teorik ve ampirik boyutunu destekleyecek şekilde yapılandırılacaktır. Bu bağlamda, araştırmanın üç aşamasından elde edilen veriler analiz edilip, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerindeki etkisi kapsamlı biçimde değerlendirilecek ve tartışılacaktır.

Tez çalışması kapsamında, mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonu kuramsal ve uygulamalı boyutlarıyla ele alınacaktır. Literatür taraması, anket çalışması ve yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla yürütülecek araştırma süreci, mimari tasarım süreçlerinin dönüşümünü, karar destek sistemlerinin rolünü, otomasyon ve bilgi yönetimi pratiklerini kapsamlı biçimde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık disiplinine özgü kullanım alanları, sektörel uygulama düzeyleri ve gelecekteki potansiyelleri hakkında bütüncül ve bilimsel temellere dayalı bir değerlendirme ortaya konacaktır.

1.4. Tezin Özgün Değeri ve Bilimsel Katkı

Tez çalışmasının özgün değeri, sektörde faaliyet gösteren meslek pratiğini icra eden mimarların deneyimlerinden hareketle, BIM ve AI teknolojilerinin sektördeki uygulamaları ile bu teknolojilerin tasarım süreçlerine olan etkilerini, kullanıcı odaklı bir bakış açısıyla inceleyerek ortaya koymaktır. Bu çalışma, aşağıdaki bilimsel katkıları sunmayı hedeflemektedir:

- Çalışmada, BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin sektördeki mevcut uygulamalar analiz edilerek, bu entegrasyonun tasarım süreçlerindeki etkilerini anlamaya yönelik kapsamlı bir çerçeve sunulacaktır.
- Sektör profesyonelleri olan mimarlarla yapılacak olan anket ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen bulgular ile BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin mevcut zorluklar ve bu teknolojilerin sağladığı yenilikler hakkında kullanıcı odaklı bilgiler ortaya konacaktır.
- Tematik analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile BIM ve AI entegrasyonunun tasarım süreçlerine yönelik iyileştirme potansiyelleri belirlenip, bu teknolojilerin sektördeki kullanımına yönelik öneriler sunulacaktır.
- Literatürde, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerindeki etkilerini, kullanıcı deneyimleri perspektifinden ele alan çalışmalara katkı sağlanacaktır.

Araştırmanın özgün değerleri ve bilimsel katkılarının yanı sıra, çalışmanın metodolojik çerçevesi ile ilgili kısıtlar, “4.4. Araştırmanın Sınırlılıkları” başlığı altında ele alınmıştır

2. MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDE BIM VE YAPAY ZEKA (AI): KAVRAMSAL VE KURAMSAL TEMELLER

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren barınma ihtiyacı, temel bir gereksinim olarak öne çıkmıştır. İlk etapta kötü hava koşullarından ve çevresel tehlikelerden korunma amacıyla ortaya çıkan bu ihtiyaç, zamanla daha işlevsel ve çeşitli tasarımların gelişmesine yol açmıştır. Bu dönüşüm, mimarlığın gelişim sürecinde fonksiyonellik ve estetiği bir araya getiren yenilikçi tasarımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ayrıca teknolojinin hızlı gelişimi, bu süreci önemli ölçüde değiştirmiştir. BIM ve AI'nın mimarlık ortamına girişiyle birlikte, mimarlar için yeni yöntemler geliştirme olanakları doğmuştur. Bu yenilikler, tasarım sürecini daha verimli, esnek ve detaylı hale getirerek geleneksel yaklaşımların ötesine geçilmesini sağlamıştır.

Bu bölüm, mimari tasarım süreçlerini ve yöntemlerini irdeledikten sonra, BIM ve AI'nın mimari tasarım süreçlerine olan katkılarını anlamak amacıyla kavramsal ve kuramsal çerçeveyi açıklamayı amaçlamaktadır. Öncelikle, mimari tasarım süreçleri tanımlanacak ve bu süreçlerde karar verme dinamikleri ile bilgi yönetiminin önemi detaylandırılacaktır. Devamında, BIM ve AI kavramları açıklanarak, bu iki teknolojinin mimari tasarım süreçlerinde kullanımlarına dair temel yaklaşımlar incelenecektir. Ayrıca, BIM ve AI'nın ortak özellikleri ve bu teknolojilerin mimarlık sektöründe gelecekteki rolü, tanımlamalara referans verilerek değerlendirilecektir.

2.1. Mimari Tasarım Süreçleri

Mimari tasarım süreci, tasarım problemlerinin kavranması, ilgili verilerin toplanıp analiz edilmesi, küçük ölçekli tasarım çözümlerinin geliştirilmesi, detaylı tasarım fikrinin oluşturulması ve yapısal tasarımların yapılabilmesi için çeşitli aşamaları içeren çok yönlü bir süreçtir. 1980 yılında yayınlanan RIBA Mimari Uygulama ve Yönetim El Kitabı'nda (Handbook of Architectural Practice And Management) tasarım süreçleri; benimseme (assimilation), genel çalışma (general study), geliştirme (development) ve iletişim (communication) olarak 4 adımda tanımlanmıştır. Benimseme “Problemlerle ilgili verilerin toplanmasını”, genel çalışma “Problemin

analizi ve olası çözümlerin araştırılmasını”, geliştirme “Alternatif çözümlerin geliştirilmesini ve işlenmesini”, iletişim ise “Bir veya daha fazla olası çözümün tasarım ekibi içinde ve dışında aktarılması ve geri bildirim alınmasını” ifade etmektedir [RIBA, 1980]. Önal [2011] bazı araştırmacıların tasarımı bir problem çözme süreci olarak değerlendirdiğini, bazı araştırmacıların ise tasarım sürecini karar verme ya da deneme-yanılma temelli bir yaklaşım olarak tanımladığını belirtmektedir. Parsaee vd. [2016] mimari tasarım sürecini, problemleri çözmek, gereklilikleri karşılamak, olası çözümler yaratmak ve yaratıcı bir çıktı geliştirmek üzerine odaklanan bir dizi aşama olarak tanımlamıştır. Düzenli ve Alpak [2016] mimari tasarım sürecini “Belirsizlikler içinde karar vermek” olarak tanımlamanın mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Daha güncel tarihlerde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Nalbant [2020] tam bir tasarım sürecinin, kesin sınırlarla ayrılmayan birden fazla aşamadan oluştuğunu ve bu aşamaların analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç temel başlık altında ele alınabileceğini ifade etmektedir. Analiz sürecinde, tasarım hedeflerinin belirlenmesi ve tanımlanması için gerekli bilgi toplanarak, mevcut verilerin sistematik bir şekilde düzenlenmesi sağlanmaktadır. Sentez sürecinde farklı çözüm önerileri geliştirilerek alternatif tasarımlar oluşturulmaktadır. Değerlendirme sürecinde ise oluşturulan tasarım çözümleri belirli kriterlere göre karşılaştırılıp ve en uygun seçeneğin belirlenmesi sağlanmaktadır [Nalbant, 2020]. 2020 yılında yayınlanan RIBA Çalışma Planı’nda (Plan of Work Overview) tasarım süreçleri Şekil 2.1’deki gibi; stratejik tanım, hazırlık ve bilgilendirme, konsept tasarım, olarak beş adımda yapılandırılmıştır. Stratejik tanım süreci için, müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi, proje riskleri ve bütçesinin kontrolleri, iş planlarının oluşturulması, önceki projelerden alınan geri bildirimlerin raporlanması ve alan değerlendirmelerinin tamamlanması gibi projenin girdilerini içerdiği söylenebilir. Hazırlık ve bilgilendirmeler için, sürdürülebilirliğin, kalite beklentilerinin ve mekansal gereksinimlerin belirlenmesi, fizibilite çalışmalarının yapılması, alan araştırmalarının yapıpı bilgilerin toplanması, proje bütçesinin belirlenmesi ve proje programlarının hazırlanması gibi analiz sürecinin temsili olduğu ifade edilebilir. Konsept tasarım aşaması, mimari konseptin oluşturulması, stratejik mühendislik gereksinimlerinin belirlenmesi, maliyet planlarının hazırlanması, proje stratejilerinin geliştirilmesi ve şartnamelere uygunluğun değerlendirilmesi gibi unsurların bir araya getirildiği ve sentezlendiği bir

adım olarak tanımlanabilir. Mekansal koordinasyon ise projenin tasarım aşamasında, farklı disiplinlerin ürettiği tasarımlar arasında uyumu sağlamak için geometrik ve mekansal verilerin koordinasyonunu ifade etmektedir. Bu süreçte, bir yapının fiziksel alanlarının, geometrisinin ve bileşenlerinin tutarlı bir şekilde düzenlenmesi ve tüm proje paydaşlarının entegre bir şekilde çalışabilmesi amaçlandığından, ilgili değerlendirmeler sonucu geri bildirimler yapılabilir. Son olarak teknik tasarım, tasarım bilgilerinin detaylandırıldığı ve inşaat için gerekli olan tüm dokümanların tamamlandığı kritik bir süreçtir ve süreç sonunda proje için üretim ve inşaatla ilgili olan tüm tasarım bilgileri belirlenmeli ve dokümantasyonlar tamamlanmalıdır [RIBA, 2020]. Dolayısıyla teknik tasarımın, mimari tasarım süreçlerinde elde edilen verileri somutlaştırarak, üretim ve inşaat süreçleri için gerekli tüm teknik bilgilerin oluşturulmasına temel sağlayan bir aşama olduğu düşünülebilir.



Şekil 2. 1: Mimari Tasarım Süreçleri [RIBA, 2020 kaynağından yazar tarafından oluşturulmuştur].

Yalçın [2022] mimari tasarım sürecini ölçüm, planlama ve çevresel analiz bilgilerinin de işlendiği bir dizi aşama olarak ifade etmiştir. Devamında kullanıcıların, müşterinin ve tasarım sürecindeki diğer tarafların ihtiyaçlarına cevap verecek bir tasarım geliştirebilmenin önemini vurgulamıştır. **Fedakar [2024]** ise mimari tasarım süreçlerini aşağıdaki şekilde açıklamaktadır:

- 1) Ön tasarım süreci; mimari tasarım sürecinin temelini oluşturan bağlamsal analizlerin gerçekleştirildiği aşamadır. Bu süreçte projenin yer alacağı fiziksel, kültürel ve işlevsel çevre incelenmekte, tasarım probleminin tanımlanmasına yönelik veriler toplanmakta ve sistematik biçimde sınıflandırılmaktadır. Elde edilen veriler, ilerleyen tasarım kararlarını yönlendirecek temel girdileri oluşturmaktadır.
- 2) Şematik tasarım süreci; toplanan verilerin analiz edilerek yorumlanma aşamasıdır. Bu süreçte tasarım problemlerine dair çözüm yolları arayışı başlamaktadır. Daha sonra analiz bulguları sentezlenip, olası tasarım yaklaşımları üzerine yaratıcı düşünme teknikleriyle (örneğin beyin fırtınası) çalışılmakta ve ilk konsept fikirleri geliştirilmektedir. Devamında alternatif tasarım çözümleri üretilip, bu alternatiflere ait plan, kesit, görünüş, 3D model ve maket araçlarıyla ilk taslaklar oluşturulmaktadır.
- 3) Tasarım geliştirme süreci; şematik aşamada geliştirilen alternatiflerin, işlevsel gereklilikler, kullanıcı ihtiyaçları ve programatik hedefler doğrultusunda değerlendirildiği ve uygun olan tasarımların seçildiği aşamadır. Seçilen tasarımlar detaylandırılarak uygulama projesine dönüştürülmektedir. Bu süreçte teknik çizimler yapılmakta, görsel sunum materyalleri hazırlanmakta ve uygulama projesi çizilmektedir. Aynı zamanda, inşaat süreçlerine hazırlık olarak maliyet analizleri gerçekleştirilmekte, gerekli teknik dokümantasyonlar tamamlanmakta ve proje teslimi için sözleşmeler hazırlanmaktadır.
- 4) Uygulama süreci; tasarımın fiziksel olarak inşa edilmesine yönelik saha süreçlerinin başladığı aşamadır. Bu süreçte, proje teslim süreciyle son bulmaktadır, ancak bazı durumlarda kullanıcı ya da müşteri geri bildirimleri doğrultusunda tasarımda revizyon yapılması gerekebilir. Ayrıca enerji verimliliği gibi bazı performans kriterlerinin değerlendirilmesi, yapı kullanım aşamasına geçtikten sonra, kullanıcı geri bildirimleri ile elde edilebilmektedir.

Yukarıdaki referanslar doğrultusunda mimari tasarım süreçlerinin, her aşamasının yoğun düşünsel çaba ve karar verme süreçlerini içeren çok katmanlı bir yapı olduğu söylenebilir. Bu süreçlerde mimarlar, problemleri yalnızca çözmekle kalmayıp, yeniden tanımlamakta, sürekli olarak alternatifler üretmekte ve bu alternatifler arasından deneme ve yanılma yoluyla en uygun çözümü geliştirmeye çalışmaktadırlar. Her karar, yalnızca işlevsel değil; estetik, teknik ve bağlamsal açılardan da test edilmekte ve bu test süreci çoğunlukla tekrarlara, revizyonlara ve değerlendirmelere dayanmaktadır. Ancak bu durum, sürecin öngörülebilirliğini ve denetlenebilirliğini zorlaştırabilmekte ve bilgi akışının parçalı, dokümantasyonların ise dağınık olmasına neden olabilmektedir.

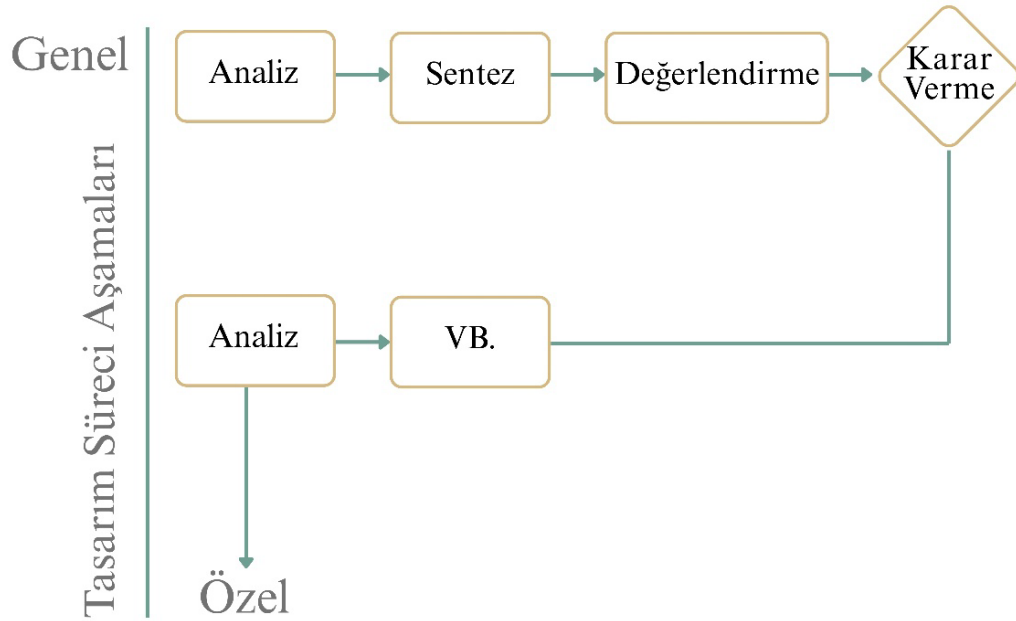
2.1.1. Mimari Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Dinamikleri

İnsanı diğer canlılardan ayıran en belirgin özelliklerden biri, akıl yürütme yetisi aracılığıyla karşılaştığı çeşitli durumlarda bilinçli tercihlerde bulunabilmesidir. Birey, yaşamının farklı anlarında karşılaştığı problemler karşısında, mevcut koşulları değerlendirerek en uygun kararı vermeye çalışmaktadır. Bu kararlar kimi zaman bireyin deneyimleri ile alınabilen, etkisi sınırlı ve fazla zihinsel çaba gerektirmeyen rutin nitelikte olabilirken; kimi zaman da yalnızca deneyimle çözülemeyecek, bireyin yaşamını doğrudan etkileyen, karmaşık ve çok yönlü düşünmeyi gerektiren zorlu kararlar biçiminde ortaya çıkabilmektedir [Durak vd., 2024]. Bu durum, mimari tasarım süreçlerinde alınan kararlar açısından da benzer şekilde değerlendirilebilir. Nitekim mimarlık pratiğinde karar verme, yalnızca rutin ve tekrarlanan çözümlerin uygulanmasından ibaret olmayıp, çok boyutlu düşünmeyi gerektiren, yaratıcı, teknik ve estetik açılardan dengelenmiş tercihler geliştirme sürecini kapsamaktadır.

Schön [1983], mimarın mesleki pratiğini “reflection-in-action” (eylem içinde yansıma) kavramı üzerinden açıklamış ve mimarların tasarım sırasında ortaya çıkan belirsizlikleri çözümlmek için sürekli olarak düşünme, deneme, yeniden değerlendirme döngüsü içerisinde hareket ettiğini belirtmiştir. Çünkü mimari tasarım süreçlerinin, çok sayıda alternatif arasından seçim yapıp zaman zaman geriye dönülen ve kararların sürekli olarak gözden geçirildiği karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Wardah ve Khalil [2016] mimari tasarım süreçlerini, tasarım süreçleri (1. Boyut) ve karar verme süreçleri (2. Boyut) olarak iki adımda incelemişlerdir. Bütünsel olarak irdelendiğinde “1. Boyut” tanımları analiz, sentez ve

değerlendirme adımlarından oluşmaktadır. “2. Boyut” olarak tanımladıkları karar verme süreçlerini ise **Laseau [2000]**’nın modeline referans ile, problemin belirlenmesi, bilgi toplama, alternatiflerin geliştirilmesi, alternatiflerin değerlendirilmesi, çözümün belirlenmesi ve iletişim olarak altı adımda ifade etmişlerdir. Bu doğrultuda, mimari tasarım sürecinin yalnızca yaratıcı bir üretim eylemi değil, aynı zamanda birbirini izleyen ve sürekli döngüsel bir kararlar dizisi olduğu ifade edilebilir. Her bir tasarım adımı, bir öncekinden beslenerek şekillenirken, karar verme süreci de hem mevcut veriler hem de olasılıklarla etkileşim halinde gelişebilmektedir.

Şekil 2.2’deki görsel incelendiğinde, karar verme eylemi, çoğunlukla döngüsel ve geri beslemeye açık bir yapıdadır. Bu yapı, özellikle karmaşık tasarım problemleriyle karşılaştığında, kararların çoğu zaman deneme-yanılma yoluyla şekillendiği söylenebilir.



Şekil 2. 2: İki Boyutlu Mimari Tasarım Süreci [Wardah ve Khalil, 2016 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Lawson [2005], mimarların bilim insanlarına kıyasla daha çok çözüm odaklı düşündüğünü ve problemi çözmek yerine, çözüm önerileri üzerinden problemi tanımlamaya çalıştıklarını ortaya koymuştur. Bu bağlamda mimarlar, mevcut problemi tüm yönleriyle çözümlemeden farklı tasarım alternatifleri üretmekte ve bu alternatifler

aracılığıyla hem problemi hem de çözümünü yeniden inşa etmektedir. Fakat mimarın bireysel deneyimi, görgüsü, estetik anlayışı ve yorumlama becerisi de mimari tasarım süreçlerinde etkili olabilmektedir.

Yukarıda belirtilen referanslar ışığında, mimari tasarım süreçlerinde karar verme aşamaları; problemlerin belirlenmesi ve bilgi toplama adımlarından sonra, alternatiflerin oluşturulması ve çözümlerin belirlenmesi ile devam etmektedir. Karar verme aşamaları, sürekli olarak düşünme, yeniden değerlendirme, deneme-yanılma, zaman zaman geriye dönülen ve geri bildirimlerle kararların revizyonlara uğradığı karmaşık bir yapıyı oluşturmaktadır. Ayrıca, mimarların kişisel deneyimleri, öngörülleri ve bağlama göre geliştirdikleri yaklaşımlar da süreci doğrudan etkileyebilmekte ve kararların nesnel bir yapıda alınmasını zorlaştırabilmektedir. Dolayısıyla, tüm bu çok katmanlılık ve belirsizlik unsurları, karar verme aşamalarında sürecin öngörülebilirliğini ve zamanın tasarruflu kullanımını azaltabilmektedir.

2.1.2. Mimari Tasarım Süreçlerinde Bilgi Yönetiminin Önemi

Birçok farklı şekilde tanımlanabilen bilgi, bir şeyin farkında olmak, çıkarım yolu ile bir doğruya ya da bir etkene ulaşmak olarak açıklanmaktadır [Merriam-Webster, 2025]. Bilgi yönetimi ise, işletmelerin sermayelerini etkin bir biçimde kullanarak değer üretmeleri, verimliliklerini artırmaları ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmeleri amacıyla uyguladıkları sistematik bir yönetim yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır [Park vd., 2013]. Robinson vd. [2004] bilgi yönetimini, bilgilerin istenen hedeflere ulaşılabilmesi için kullanılan kaynakça olarak tanımlamaktadırlar. Lee ve Egbu [2007] ise bilgi yönetimini, bilginin tanımlanmasını, üretilmesini, yakalanmasını, aktarılmasını, paylaşılmasını ve etkin biçimde kullanılmasını içeren bütüncül ve dinamik bir süreç olarak açıklamaktadırlar. Bu yaklaşımlar doğrultusunda, bilgi yönetiminin, yalnızca bilginin saklanması ya da paylaşılmasıyla sınırlı olmayan, bilginin stratejik bir kaynak olarak değerlendirilmesini, bu kaynağın doğru zamanda ve doğru biçimde kullanılmasını amaçlayan kapsamlı bir süreç olduğu ifade edilebilir.

Bilgi yönetimi inşaat sektöründe de önemli bir kavram olarak öne çıkmaktadır; çünkü inşaat sektöründe farklı uzmanlık alanlarına sahip birçok ekip bulunmaktadır [Balaban Ökten, 2016]. Sektörün yoğun bilgi ve ekip tabanlı yapısı, bilginin etkin bir şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır [Scully ve Khosrowshahi, 2010]. Balaban

Ökten [2016] proje odaklı çalışan mimarlık ofisleri ile yaptığı anketlerde, bilgi üretiminin sistemli bir şekilde kaydedilip paylaşılmasında zorluklar yaşandığı sonucuna varmıştır. Aynı zamanda, tasarım verilerinin çoğunun deneyime dayalı bilgilere dayandığı, çoğu zaman bu bilgilerin yalnızca bireylerin belleğinde kaldığı ve kayıt altına alınmadığı için bilgi kayıplarına yol açıldığını vurgulamıştır. Bu durum mimari tasarım süreçlerinden sonraki süreçleri olumsuz etkileyebilmektedir; çünkü tasarım aşamasında üretilen bilgi ve alınan kararlar, yalnızca o aşamayı değil üretim, uygulama, şantiye yönetimi, işletme ve bakım süreçlerini etkileyebilmektedir **[Herrera vd., 2020]**.

Bilgi yönetimi yalnızca verilerin toplanması ve depolanmasını değil, aynı zamanda bu bilgilerin analiz edilerek tasarım sürecine entegre edilmesini, paylaşılmasını ve yeniden kullanılmasını kapsayan çok yönlü bir süreçtir **[Love vd., 2014]**. Özellikle karmaşık ve çok paydaşlı mimari projelerde, bilgi akışının yönetilebilir, erişilebilir ve güncel olması, tasarım süreçlerinde hem karar verme kalitesini artırmakta hem de sürecin etkinliğini doğrudan etkilemektedir **[Succar vd., 2013]**. Bu doğrultuda, mimari tasarım süreçlerinde bilgi yönetimi, yalnızca bilginin korunması değil, aynı zamanda karar alma süreçlerini destekleyen, proje verimliliğini artıran ve farklı disiplinler arasında sürdürülebilir bir bilgi akışı sağlayan stratejik bir unsur olarak değerlendirilebilir.

2.1.3. Mimari Tasarım Süreçlerine Dijital Dönüşümün Etkileri

Günümüzde dijital teknolojilerdeki hızlı gelişim, mimarlık disiplinde tasarım anlayışını ve üretim biçimlerini de dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca çizim teknikleri veya yazılımsal araçlarla sınırlı kalmayıp, veri yönetimi, disiplinler arası iş birliği, görselleştirme yöntemleri ve tasarımın bütüncül planlama sürecini de yeniden şekillendirmektedir **[Succar vd., 2013]**. Özellikle inşaat sektöründe gelişen BIM kavramının, mimari tasarım süreçlerine de doğrudan etki eden teknolojilerden biri olduğu ifade edilebilir. BIM, geleneksel iki boyutlu çizim tekniklerinin ötesine geçerek, tasarım verilerinin üç boyutlu, parametrik ve veri odaklı biçimde modellenmesine olanak tanımaktadır **[Ni vd., 2025]**.

BIM teknolojisi sayesinde mimari tasarım süreçlerinde karar verme, çakışma kontrolü, maliyet tahmini, enerji analizleri ve zaman planlaması gibi adımlar daha erken ve daha

doğru biçimde gerçekleştirilebilmektedir [Love vd., 2014]. Yang ve Peng [2024], BIM' in sunduğu doğru ve zengin veri altyapısının, tasarım optimizasyonu ve kaynak planlamasında karar kalitesini artırdığını belirtmektedir. Ayrıca dijital araçlar, tasarım süreçlerini yalnızca teknik değil, yaratıcı ve deneysel bir platforma dönüştürmekte, mimarlara farklı alternatifleri hızlıca üretme ve değerlendirme olanağı tanımaktadır [Oxman, 2008a].

BIM'e ek olarak, sayısal simülasyonlar, AI destekli analiz araçları ve artırılmış gerçeklik (AR) yazılımları mimari tasarım süreçlerinde kullanılabilen diğer teknolojik araçlar olarak görülmektedir. Mimarlar bu araçlar sayesinde, fiziksel gereksinimlerin dışında, kullanıcı deneyimi, çevresel etki ve sürdürülebilirlik verilerini bilgi yönetim sistemleri sayesinde sürece dahil ederek daha kapsamlı çözümler üretebilmektedir [Kolarevic, 2004]. Ancak dijital dönüşümün, beraberinde bazı zorlukları da getirdiği söylenebilir. Özellikle küçük ölçekli ofislerde dijital altyapı yatırımlarının maliyeti, personelin teknolojik yeterlilik düzeyi ve veri güvenliği sorunları, bu dönüşüm sürecinin yaygınlaşmasını sınırlayabilmektedir [Alreshidi vd., 2018]. Bu sınırlılıklar, tez çalışmasının 3. bölümünde yer alan 3.4 numaralı alt başlıkta, "BIM ve AI Entegrasyonunda Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri" başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Dijital dönüşümün, mimari tasarım süreçlerinde yalnızca araçsal bir değişimi değil, aynı zamanda düşünme biçimlerini, üretim modellerini, karar alma mekanizmalarını ve bilgi yönetimini de yeniden yapılandığı söylenebilir. AI destekli analiz sistemleri ve parametrik tasarım yazılım araçlarının da tasarım sürecinde zamansal verimlilik, veri tabanlı doğruluk ve disiplinler arası iş birliği olanaklarını önemli ölçüde arttırdığı ifade edilebilir. Gelecekte, bu teknolojilerin doğru, bütüncül ve stratejik biçimde kullanımının çağdaş mimarlık pratiğinde daha belirgin biçimde ön plana çıkacağı öngörülmektedir.

2.2. BIM: Tanımı, Kavramsal Çerçevesi ve Kapsamı

BIM literatürde birçok farklı şekilde tanımlanmıştır. NIBS [2014] proje komitesi BIM'i bir yapının fiziksel ve işlevsel karakteristiğinin dijital temsili olarak ifade etmektedir. Akçan [2022] BIM'i yapının tasarımının, inşasının, mühendislik analizlerinin ve işletilmesinin gerektirdiği tüm bilgileri dijital olarak temsil etmesi için

Akıllı Dijital Model (ADM) üretme sistemi olarak tanımlamıştır. **ISO 19650 [2018]**'ye göre BIM, kararlar için güvenilir bir temel oluşturmak amacıyla tasarım, inşaat ve işletme süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla inşa edilmiş bir varlığın paylaşılan dijital gösteriminin kullanılmasıdır. BIM kavramı ilk olarak 1970'lerde filizlenmeye başlamış olup; 2002 yılında Autodesk şirketi tarafından ilk kez BIM önerildikten sonra, yapı teknolojisindeki ilerleme eğilimi tüm dünyaya yayılmıştır **[Xu, 2017]**. BIM'in varlığı, bilgisayar destekli tasarım (CAD) çalışmalarında, henüz genel kabul görmüş bir tanımlı olmadan önce dahi fark edilebilir durumdaydı **[C. Şeker, 2020]**. Örneğin, M.A. Mortenson Şirketi'nde BIM, mimarlık için gelişmiş bir simülasyon aracı olarak değerlendirilmiştir. Proje teslim sürecini entegre bir yapıya taşımayı amaçlayan bu simülasyon, "Sayısal, Üç Boyutlu (3D), Analiz Edilebilir (hesaplanabilir, ölçülebilir ve sorgulanabilir), Detaylı, Kolay Erişilebilir ve Sürekli Güncellenebilir" olarak altı temel özelliği ile öne çıkmaktadır **[Eastman vd., 2008]**. O yıllardan günümüze hızla gelişmekte olan BIM teknolojileri, inşaat sektöründe proje planlama, tasarım, yapım ve yönetim süreçlerinde devrim niteliğinde değişikliklere yol açmıştır.

Günümüzde BIM (Building Information Modelling) olarak bilinen Yapı Bilgi Modeli (YBM), proje yaşam döngüsü boyunca bilgi üretme ve yönetme süreci olarak tanımlanmaktadır **[C. Şeker, 2020]**. BIM, yapı ile ilgili grafik (geometri/biçim vb.) ve alfa sayısal (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb.) veriden oluşan üç boyutlu Akıllı Dijital Model (ADM) meydana getirerek, bu modeli paydaşların ortak veri ortamında kullanılabilmesini sağlamaktadır **[Ofloğlu, 2014]**. BIM' in sağladığı bu veri entegrasyonu, tasarım, inşaat ve işletme süreçleri boyunca farklı disiplinler arasında bilgi akışını kesintisiz hale getirmektedir. BIM sayesinde, mimarlar, mühendisler, müteahhitler ve bina yöneticileri aynı dijital model üzerinde çalışarak maliyet hesaplamaları, zaman çizelgeleri, enerji verimliliği analizleri gibi pek çok süreci optimize edebilirler.

BIM ile yürütülen projeler, kapsamlı bir planlama aşaması ile başlamaktadır. Bu aşama, proje hedeflerinin ve BIM gereksinimlerinin belirlenmesi, iş akışlarının tanımlanması ve projenin tüm paydaşlarının rollerinin netleştirilmesini içermektedir. BIM ile uygulanan projelerde, sözleşme ve protokollerin ardından gelen bu aşama, sürecin geri kalanında bilgi yönetimi ve iş birliği için bir temel oluşturmaktadır. **Eastman vd. [2011]**'ne göre BIM tabanlı projelerde başlangıç aşaması, projenin

başarısı için kritik öneme sahiptir, çünkü bu aşamada bilgi paylaşımı ve veri entegrasyonu stratejileri oluşturulur ve bu stratejiler tüm proje boyunca iş birliğini teşvik eder. Bu sebeple sözleşme ve protokollerin ardından başlayan BIM planlama süreçlerinin, tüm disiplinler açısından kritik öneme sahip olduğu söylenebilir.

2016 yılında National Building Specification (NBS) tarafından BIM periyodik tablosu yayınlanmıştır. Bu tablo, farklı renklerle gösterilen “Strateji, Temeller, Ortak Çalışma, Süreç, İnsan, Teknoloji, Standartlar, Araçlar ve Kaynaklar” gibi ana başlıklardan oluşmakta ve BIM planlaması ve uygulaması süreçlerinde izlenmesi gereken adımlara dair bilgiler içermektedir [Şekil 2.3].



Şekil 2. 3: BIM periyodik tablosu [Mordue, 2016 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Bu periyodik tablo, BIM süreçlerine dahil olan tüm kavramları organize ederek, proje ekiplerinin her aşamada hangi kaynaklara, standartlara veya araçlara başvurabileceğini göstermektedir. Örneğin, ‘Ortak Çalışma’ başlığı altında kültür ve davranışlar, süreçler, satın alma biçimleri gibi bilgiler listelenirken, ‘Kaynaklar’ başlığı altında raporlar, videolar, etkinlikler gibi bilgiler listelenmiştir. Periyodik tabloya bakıldığında, BIM’ in sadece teknoloji grubu ile ilişkilendirilmesinin BIM’ in dar kapsamda değerlendirilmesine neden olabileceği öngörülebilir [Bakır, 2020]. Diğer bir örnek olarak ‘Kültür’ başlığı incelendiğinde anlamı şu şekilde açıklanmıştır;

BIM' in uygulanması özellikle değişim ve değişimin yönetilmesidir. Bu nedenle mevcut kültürü ve davranışı anlamak, başarılı sonuçları ortaya koymak için çok önemlidir. Yerleşmiş kültürü değiştirmek zor bir iştir. Birlikte çalışılan kişilerin kalplerini ve fikirlerini kazanmak, ihtiyat ve ikna etme kabiliyeti gerektirir [Mordue, 2016].

Tablonun en alt kısmında yer alan Dijital İş Planı Aşamaları (Digital Plan of Work Stages) ise BIM projelerinin yaşam döngüsünü oluşturan aşamaları temsil etmektedir. Bu aşamalar, projenin ilk planlama ve tasarım aşamasından, yapının işletme ve yönetim aşamasına kadar olan süreci kapsar. Bu sayede, proje ekipleri BIM süreçlerinde ihtiyaç duydukları bilgiye kolayca ulaşabilmektedir.

Tüm bu çalışmalar, BIM' in artan kullanımıyla birlikte kapsamı genişlemiş, tasarım ve planlama süreçlerini, inşaat prosedürlerini, binanın fiziksel ve işlevsel özelliklerini içeren üretim ve yönetim süreçlerine atıfta bulunan bir terim haline gelmiştir [**Herr ve Fischer, 2019**]. BIM, 2D çizimleri 3D modellerle entegre ederek tüm proje bilgisini bir araya getiren yenilikçi bir teknoloji olarak ifade edilebilir [**Ren ve Zhang, 2021**]. Ek olarak, mimarlık ve inşaat sektöründe veri görselleştirme, istatistik, makine öğrenimi ve veri madenciliği gibi uygulamaları gerçekleştirebilen bir araç olan BIM süreçleri, veri bilimi için gerekli nesne tabanlı programlamayı destekleyen bir veri tabanı olarak kullanılabilir ve inşaat verilerinin entegrasyonunu sağlayabilir [**Boechat ve Corrêa, 2021**]. Bu sayede, BIM, projelerdeki tüm paydaşlar için şeffaflık sağlayarak, iş birliğini güçlendirmekte, maliyetleri düşürmekte ve proje süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetmeyi mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda BIM, yalnızca bir modelleme aracı değil, aynı zamanda inşaat projelerinde veri odaklı karar almayı, süreci optimize etmeyi, bilgi yönetimini ve disiplinler arası iş birliğini sağlayan kapsamlı bir dijital dönüşüm aracı olarak kabul edilmektedir.

2.2.1. BIM Süreçleri

Birçok ülkede yapı tasarımı için belirlenmiş resmi bir süreç tanımlanmamıştır. "Nasıl yapılacağı" konusu yazılı veya kaydedilmiş değildir; bunun yerine, resmi olmayan süreçler bir nesilden diğere aktarılır [**RIBA, 2020**]. Dünyanın neresinde bir yapı yapılması gerekirse gereksin, temel görevler genel olarak aynıdır [**RIBA, 2020**]. Bu görevler, profesyonel ekiple anlaşmaları yapmak, müşteri ile birlikte bir proje programı (brief) geliştirmek, konsept tasarım seçenekleri oluşturmak, tasarımı koordine etmek, planlama başvurusu hazırlamak, planlama onayı için başvuru yapmak, inşaat bilgilerini içeren bir set hazırlamak, teklif hazırlamak, inşaat öncesinde

gerekli izinleri almak, inşaat sözleşmesi yapmak, binayı inşa etmek, inşaat süresince denetim yapmak ve binayı teslim etmektir [RIBA, 2020]. BIM' in inşaat sektöründe yer edinmesi ile birlikte resmi olmayan bu süreçler, belli bir iş akış programında tanımlanmıştır ve bu iş akış süreçleri, projelerin tasarım, maliyet analizi, zamanlama ve sürdürülebilirlik gibi farklı alanlarda optimize edilmesine olanak tanımaktadır.

BIM süreçleri, **RIBA [2020]** İş Akış Planı'nda sekiz adımda tanımlanmaktadır. **Şekil 2.4** 'de belirtilen ilk 3 adım "Stratejik Tanım, Hazırlık ve Bilgilendirme, Konsept Tasarım" (Strategic Definition, Preparation and Briefing and Concept Design) olarak belirlenmiştir. Bu aşamalar inşaat projelerinin hazırlık süreçleri olarak da tanımlanabilir. Stratejik Tanım; müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi, proje riskleri ve bütçesinin kontrolleri, iş planlarının oluşturulması, önceki projelerden alınan geri bildirimlerin raporlanması ve alan değerlendirmelerinin tamamlanması gibi konuları içermektedir. Hazırlık ve Bilgilendirmeler; sürdürülebilirliğin, kalite beklentilerinin ve mekansal gereksinimlerin belirlenmesi, fizibilite çalışmalarının yapılması, alan araştırmalarının yapıpı bilgilerin toplanması, proje bütçesinin belirlenmesi ve proje programlarının hazırlanması gibi konuların ele alındığı kısımdır. Belirtilen iki adımda tasarım ekiplerine gerek görülmemektedir. Konsept Tasarım aşamasına gelindiğinde ise mimari konsept, stratejik mühendislik gereksinimleri, maliyet planları, proje stratejileri ile şartnamelere uygun olarak hazırlanmaktadır. Sonrasında proje özeti yeniden değerlendirilerek, müşteri ve proje paydaşları ile tasarım değerlendirmeleri doğrultusunda tasarım programı hazırlanmaktadır.

RIBA [2020] İş Akış Planı'nda BIM süreçlerinin diğer adımları ise, "Mekansal Koordinasyon, Teknik Tasarım, Üretim ve İnşaat, Teslim, Kullanım" (Spatial Coordination, Technical Design, Manufacturing and Construction, Handove, Use) olarak tanımlanmıştır [**Şekil 2.5**].



RIBA İş Planı, bir binanın ihtiyaç programının oluşturulması, tasarlanması, teslim edilmesi, bakımı, işletilmesi ve kullanılması süreçlerini sekiz aşamaya ayırarak düzenler. Bu plan, inşaat projelerinde tüm disiplinler için bir çerçeve sunar ve yalnızca detaylı mesleki hizmetlerin ve yapım sözleşmelerinin hazırlanmasında rehber olarak kullanılmaktadır.

Aşama Sınırları:

Aşamalar 0-4 genellikle birbirini takip edecek şekilde sırayla gerçekleştirilir.

Aşamalar 4 ve 5, çoğu projede **Proje Programı** içinde çıkacaktır.

5. Aşama, yüklenicinin sahaya devralmasıyla başlar ve **Fiili Tamamlama (Practical Completion)** ile sona erer.

6. Aşama, binanın **Fiili Tamamlama** sonrasında hemen işverene devriyle başlar ve **Kusur Sorumluluğu Döneminin** sonunda biter.

7. Aşama, 6. aşamaya birlikte başlar ve binanın ömrü boyunca devam eder.

Planlama Notu:

Planlama Başvuruları, genellikle 3. Aşamanın sonunda yapılır ve yalnızca gerekli bilgi eşiği karşılandığında daha erken sunulmalıdır. Eğer bir **Planlama Başvurusu** 3. Aşama sırasında yapılırsa, bir ara aşama kontrol noktası belirlenmeli ve proje ekibine hangi görev ve çıktılara ihtiyaç duyulacağı açıkça belirtilmelidir. Ayrıntılı bilgi için Genel Bakış rehberine bakınız.

Tedarik:

RIBA İş Planı, tedarik açısından nötrdür - Her bir aşamanın **Tedarik Stratejisi** gereksinimlerine göre nasıl uyarlanabileceğine dair detaylı açıklamalar için Genel Bakış rehberine bakınız.

ER: İşverenin Gereksinimleri

CP: Yüklenicinin Teklifleri

Aşamanın Sonunda elde edilmesi beklenen çıktı

Temel Görevler

Aşama boyunca

Proje Stratejileri şunları içerebilir:

- Koruma (uygulanabilirse)
- Maliyet
- Yangın Güvenliği
- Sağlık ve Güvenlik
- Erişilebilir Tasarım
- Planlama
- Kullanım Planı
- Tedarik
- Sürdürülebilirlik

Proje Stratejileri hakkında detaylı rehber için RIBA Plan of Work 2020 Genel Bakış dokümanına bakınız.

Yasal Temel Süreçler

Aşama boyunca yürütülen:

Planlama
Bina Yönetmelikleri
Sağlık ve Güvenlik (CDM)

Tedarik Yöntemi

Geleneksel

Tasarla & İnşa Et – 1 Aşama

Tasarla & İnşa Et – 2 Aşama

Yönetim Sözleşmesi

İnşaat Yönetimi

Yüklenici Odaklı

Bilgi Paylaşımları

Aşamanın Sonunda

0
Stratejik Tanım



1
Hazırlık ve Bilgilendirme



2
Konsept Tasarım



← Proje, 1. Aşama ile 6. Aşama arasında gerçekleşir;

İşveren Gereksinimlerinin en iyi şekilde karşılanacağı yöntem belirlenir.

Eğer sonuç, bir binanın **İşveren Gereksinimlerini** karşılamada en iyi yolu olduğunu belirlerse, işveren 1. Aşamaya geçer.

Proje Tanımı, işveren tarafından onaylanır ve sahada uygulanabilir olduğu doğrulanır.

Mimari Konsept, işveren tarafından onaylanır ve **Proje Tanımı** ile uyumludur.

Tanım, 2. Aşama boyunca "canlı" kalır ve **Mimari Konsept**le yanıt olarak güncellenir (veya değişiklik yapılır).

İşveren Gereksinimlerini hazırlayın

Uygulanabilir seçenekler için, **Proje Riskleri ve Proje Bütçesi** incelemesinde de içerecek şekilde **İş Gerekçesi** geliştirin

İşveren Gereksinimlerini en iyi karşılayan seçeneği onaylayın

Önceki projelerden gelen **Geri Bildirimleri** gözden geçirin

Alan Değerlendirmeleri yapın

Proje Hedefleri, Sürdürülebilirlik Sonuçları, Kalite Beklentileri ve Mekansal Gereksinimler dâhil olmak üzere **Proje Tanımını** hazırlayın

Fizibilite Çalışmaları yapın

Proje Bütçesini belirleyin

Alan Araştırmaları dâhil olmak üzere **Saha Bilgilerini** toplayın

Proje Programını hazırlayın

Proje Uygulama Planını hazırlayın

0. ve 1. Aşamalar için tasarım ekibi gerekmez. 2. Aşama başlamadan önce stratejik tavsiye ve tasarım düşüncesi sağlamak üzere işveren ekibine danışmanlar atanabilir.

Maliyet Planı, Proje Stratejileri ve Ön Teknik Tanıma uygun şekilde **Stratejik Mühendislik gereksinimlerini** içeren **Mimari Konsepti** hazırlayın

Proje Özeti Sapmalarını onaylayın

İşveren ve Proje Paydaşları ile birlikte **Tasarım Gözden Geçirmeleri** gerçekleştirin

Aşamaya ait **Tasarım Programını** hazırlayın

Planlama ile ilgili stratejik değerlendirme

Planlama başvurusu öncesi **Danışmanlık** temin et

Sağlık ve güvenlik için **Ön-İnşaat Bilgisi** toplamaya başla

Planlama başvurusu öncesi **Danışmanlık** al

Bina Yönetmeliklerine uyum sağlanacak yolu belirle

Opsiyon: **Taslak Planlama Başvurusu** sun

İşveren Ekibini Atamak

Tasarım Ekibini Atamak

ER

Yükleniciyi Atamak

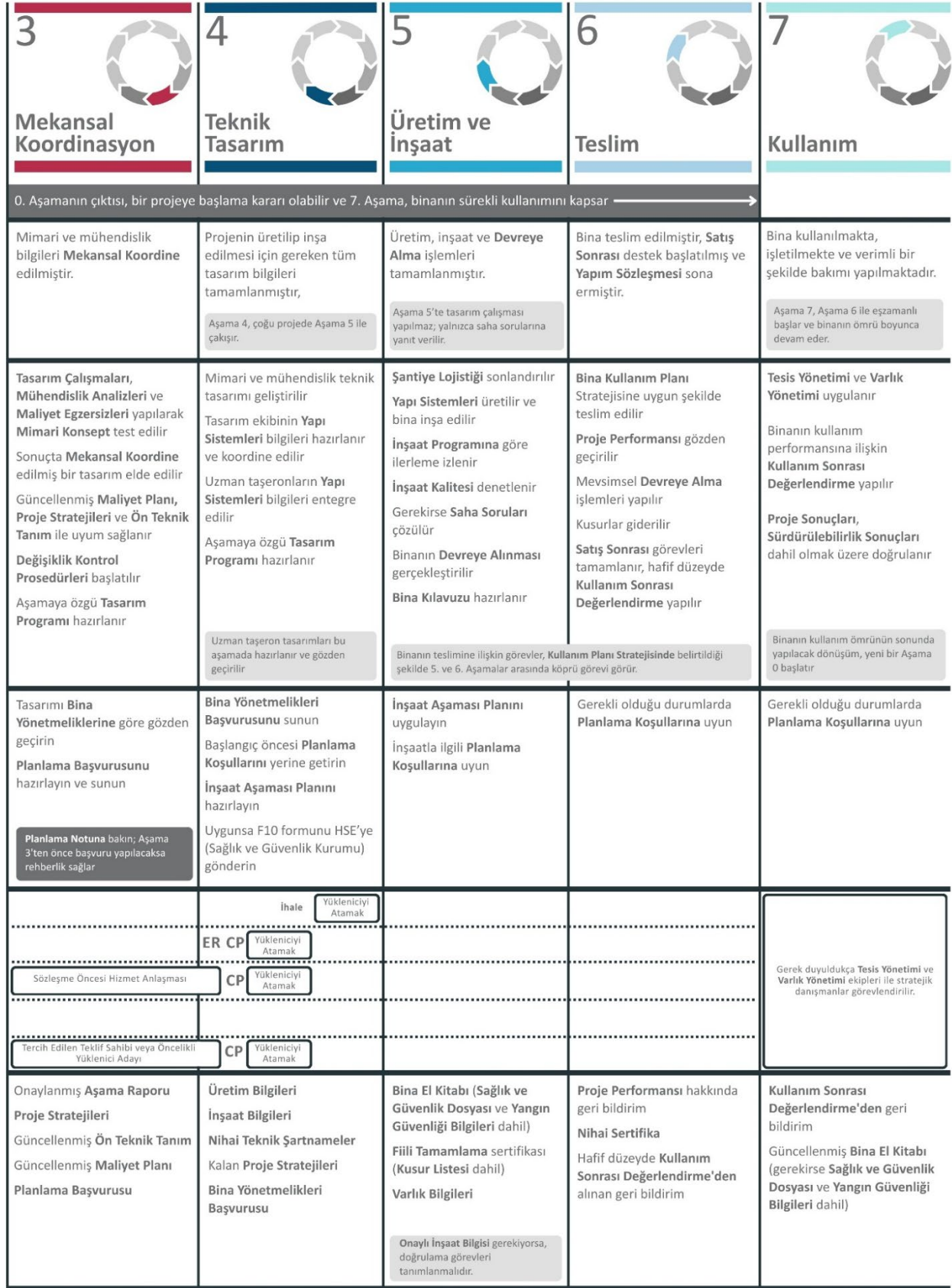
ER

İşveren Gereksinimleri
İş Gerekçesi

Proje Tanımı
Fizibilite Çalışmaları
Saha Bilgileri
Proje Bütçesi
Proje Programı
Tedarik Stratejisi
Sorumluluk Matrisi
Bilgi Gereksinimleri

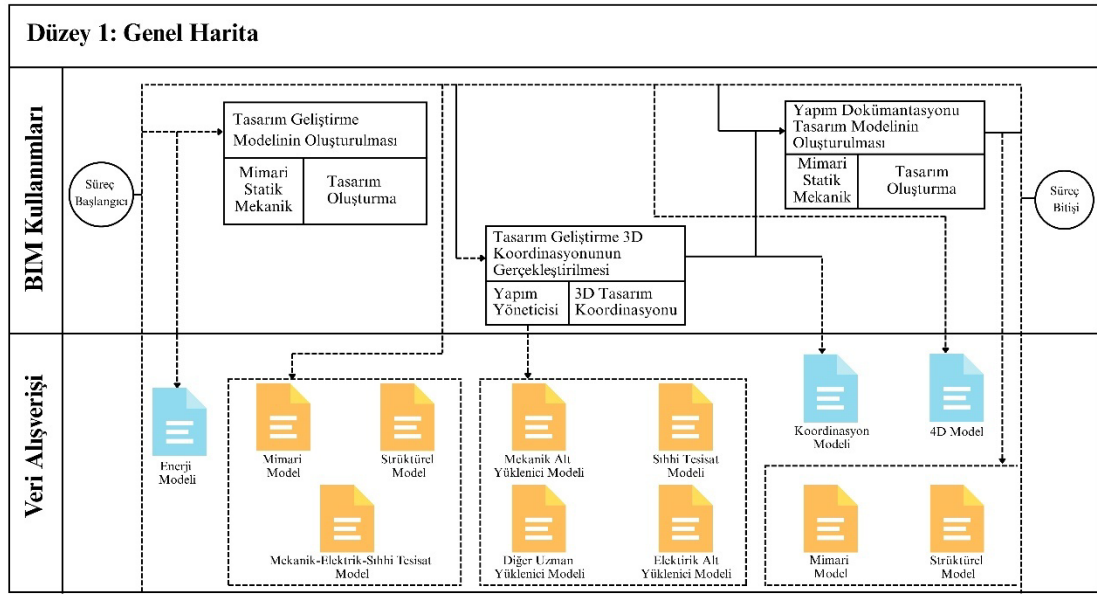
Proje Tanımı Sapmaları
Onaylanmış Aşama Raporu
Proje Stratejileri
Ön Teknik Tanım
Maliyet Planı

Şekil 2. 4: BIM Süreç Aşamaları 1. Bölüm [RIBA, 2020, s.38 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].



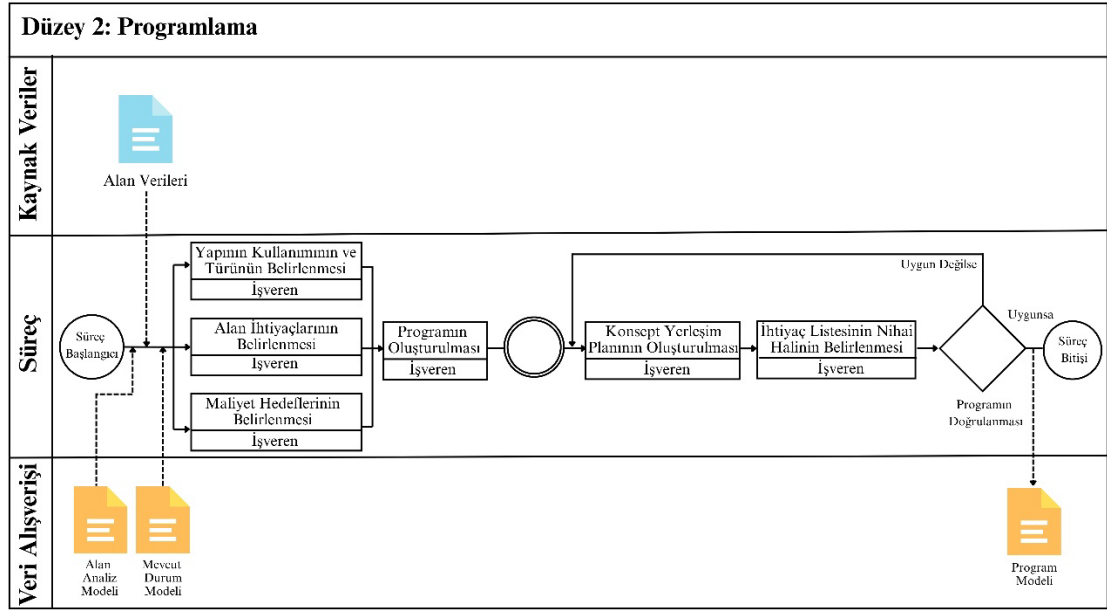
Şekil 2. 5: BIM Süreç Aşamaları 2. Bölüm [RIBA, 2020, s.39 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Mekansal Koordinasyon: bir projenin tasarım aşamasında, farklı disiplinlerin (örneğin mimari, mühendislik, mekanik, elektrik) ürettiği tasarımlar arasında uyumu sağlamak için geometrik ve mekansal verilerin koordinasyonunu ifade etmektedir. Bu süreç, bir yapının fiziksel alanlarının, geometrisinin ve bileşenlerinin tutarlı bir şekilde düzenlenmesini ve tüm proje paydaşlarının entegre bir şekilde çalışabilmesini amaçlamaktadır. **Messner vd. [2019]** BIM Proje Yürütme Planı rehberinde bu entegrasyonun dağılımını özet BIM kullanım haritasında belirtmişlerdir [**Şekil 2.6**].



Şekil 2. 6: Kısmi Örnek ve Özet BIM Haritası [**Messner vd., 2019** kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Aynı zamanda bu adımda maliyet değerlendirmelerinin yapılması, güncellenmiş maliyet planı, proje stratejileri ve genel teknik şartname ile uyumlu, mekansal olarak koordine edilmiş bir tasarım oluşturulması amaçlanmaktadır. **Messner vd. [2019]** BIM Proje Yürütme Planı rehberinde örnek programlama süreci olarak tanımladığı bu aşamayı, BIM kullanım haritasında detaylandırmıştır [**Şekil 2.7**]. RIBA’ da bu aşama temel olarak, ‘Mimari Konseptin’ test edilmesi ve doğrulanmasıyla ilgili olduğu ve bu aşamada, 2. adımda hazırlanan mimari ve mühendislik bilgilerinin mekansal olarak koordine edildiğinden emin olunması gerektiği belirtilmiştir [**RIBA, 2020**].



Şekil 2. 7: Örnek Programlama Süreci [Messner vd., 2019 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Teknik Tasarım; bir binanın imalatı ve inşaatı için gerekli tüm bilgilerin hazırlanmasını kapsamaktadır [RIBA, 2020]. Diğer bir deyişle, projenin uygulama aşamasında detaylandırılması ve mühendislik hesaplarının, teknik detayların ve spesifikasyonların hazırlanması sürecini ifade etmektedir. Bu aşamada, konsept ve mekansal tasarımın ötesine geçilerek, yapının inşa edilebilmesi için gerekli olan tüm teknik detaylar oluşturulmaktadır. Bu süreç, yapı elemanları üretimine ve montaj aşamasına geçilmeden önce tüm detayların koordine edildiği bir aşamadır. Bu aşama, tasarım bilgilerinin detaylandırıldığı ve inşaat için gerekli olan tüm dokümanların tamamlandığı kritik bir süreçtir [RIBA, 2020]. Süreç sonunda proje için üretim ve inşaatıta gerekli olan tüm tasarım bilgileri belirlenmeli ve dokümantasyonlar tamamlanmalıdır.

Üretim ve İnşaat; bir yapı projesinin tasarım aşamasından sonra hayata geçirildiği, yani yapı elemanlarının üretildiği ve inşa sürecinin başladığı aşamayı ifade etmektedir. Artan bir şekilde, dijital teknolojiler farklı inşaat faaliyetlerini simüle etmek için kullanılmakta, böylece üretim ve inşaat süreçleri daha hızlı ve daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [RIBA, 2020]. İnşaat sektörünün dış mekan üretimine (offsite manufacturing) daha fazla yönelmesiyle birlikte, malzemelerin ve büyük ölçekli bileşenlerin sahaya zamanında ulaştırılması lojistik konularına ve tedarik zinciri ortaklarının yönetimine daha fazla vurgu yapılmaktadır [RIBA, 2020]. RIBA

[2020]'de ek olarak sürecin başlangıcından itibaren saha sorunlarının çözülmesi, inşaat kalite raporlarının düzenli bir şekilde hazırlanması ve çalışmaların denetlenmesi gibi konuların sonuçlandırılması gerektiği vurgulanmıştır. Daha sonra bir inşaat projesinde yapı veya tesisin büyük ölçüde tamamlandığını ve amacına uygun bir şekilde kullanılabilir hale geldiğini ifade eden 'Pratik Tamamlama (Practical Completion)' sertifikası için eksik listesi oluşturulmalıdır. Pratik tamamlama, şu unsurları içermektedir:

1. İşlevsel Uygunluk: Binanın veya tesisin ana yapısal ve mekanik sistemlerinin çalışır durumda olması gerekmektedir.
2. Eksikliklerin Belirlenmesi: Henüz tamamlanmamış küçük işler veya düzeltmeler olabilir, ancak bunlar binanın işlevselliğini veya güvenliğini etkilememelidir. Bu eksiklikler genellikle bir 'Eksiklik Listesi' (Defects List) ile belirlenmekte ve daha sonra tamamlanması için planlama yapılmaktadır.
3. Pratik Tamamlama Sertifikası: Proje yöneticisi, mimar veya ilgili yetkili, pratik tamamlama aşamasına ulaşıldığını belgeleyen bir 'Pratik Tamamlama Sertifikası' düzenlemektedir. Bu sertifika, genellikle inşaat yüklenicisinin resmi olarak işini tamamladığını ve binanın teslim aşamasına geçtiğini göstermektedir.
4. Sözleşmesel Yükümlülükler: Pratik tamamlama, genellikle yüklenici ile yapılan sözleşme gerekliliklerinin yerine getirildiğini göstermektedir. Ancak, kalan işler ve eksiklikler genellikle bir 'Kusur Sorumluluk Dönemi' (Defects Liability Period) boyunca giderilmelidir.
5. Kusur Dönemi: Pratik tamamlama sonrası, yapıdaki kusurların giderilmesi için bir süre belirlenerek, kalan sorunlar çözüldükten sonra 'Nihai Sertifika' (Final Certificate) düzenlenmektedir.

Pratik tamamlama, bir projenin önemli bir dönüm noktasıdır çünkü bu aşamada yapı müşteriye veya kullanıcıya devredilmekte ve binanın kullanımı başlatılabilmektedir. Üretim ve İnşaat sürecini temsil eden 5. adım, Pratik Tamamlama Sertifikası'nın teslim edilmesi ile sonlanmaktadır [RIBA, 2020].

Teslim: bir inşaat veya yapı projesinde, tamamlanan yapının müteahhit veya yüklenici tarafından müşteriye veya bina sahibine resmen teslim edildiği aşamayı ifade etmektedir. RIBA [2020]'de bu aşamanın süreçleri:

1. Binayı Kullanım Planı Stratejisine Uygun Şekilde Teslim Etme: Binanın, planlanan kullanım stratejisine uygun şekilde müşteriye veya kullanıcıya devredilmesi,
2. Proje Performansının Gözden Geçirme: Proje performansını değerlendirmek için bir inceleme süreci gerçekleştirilmesi,
3. Mevsimsel Koşulları Devreye Alma: Binanın sistemlerinin farklı mevsim koşullarında doğru bir şekilde çalıştığının doğrulanması,
4. Eksiklikleri Giderme: Tespit edilen eksikliklerin düzeltilmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılması,
5. İlk Bakım Görevlerini Tamamlama: İlk ‘Kullanım Sonrası Değerlendirme’ (Post Occupancy Evaluation) test edilerek, binanın bakım ve teknik destek ihtiyacının karşılanması,
6. Uygulama: Planlanan stratejilere ve süreçlere uygun olarak gerekli uygulamaların başlatılması olarak tanımlanmıştır.

BIM süreçlerinin 6. adımını ifade eden ‘Teslim’ süreçleri bina tesliminden sonra başlasa da, bina kullanımının verimli ve etkili bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak için bazı görevlerin 5. adım sırasında başlaması gerekebilir (Örneğin, bina sistemlerinin nasıl kullanılacağını öğrenmeleri için kullanıcıların eğitilmesi gibi).

Kullanım, 7. ve son adım olan ‘Kullanım’, binanın verimli bir şekilde kullanıma alındığı, işletildiği ve bakımlarının yapıldığı süreçleri ifade etmektedir. Bu aşama, binanın etkin bir şekilde işletilmesi, bakımlarının yapılması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için gereken faaliyetleri kapsamaktadır. Çoğu projede tasarım ekibi ve inşaat ekibinin 7. Aşama kapsamında yerine getirmesi gereken bir görevi bulunmamaktadır. Ancak her iki ekip de, gelecekteki binaların performansını nasıl iyileştirebileceklerini anlamalarına yardımcı olması için sürekli geri bildirim almaya istekli olacaklardır [RIBA, 2020]. Bu süreçlerde Kullanım Sonrası Değerlendirme (Post Occupancy Evaluation) hizmetleri devreye alınmaktadır. Bazı müşteri ekipleri, binanın yaşam döngüsünü takip ederek, ‘Tesis Yönetimi’ (Facilities Management) veya ‘Varlık Yönetimi’ (Asset Management) stratejilerini uygulayabilir ve bu süreçlerde, Varlık Bilgisi (Asset Information), Yapı El Kitabı (Building Manual) ve ilgili stratejiler düzenli olarak güncellenebilir [RIBA, 2020]. Gelecekte bir Dijital İkiz (Digital Twin), binanın işletme ve bakımını optimize etmek ve tahmin edilen performans ile gerçek performans karşılaştırmak için kullanılabilir [RIBA, 2020]. Bu

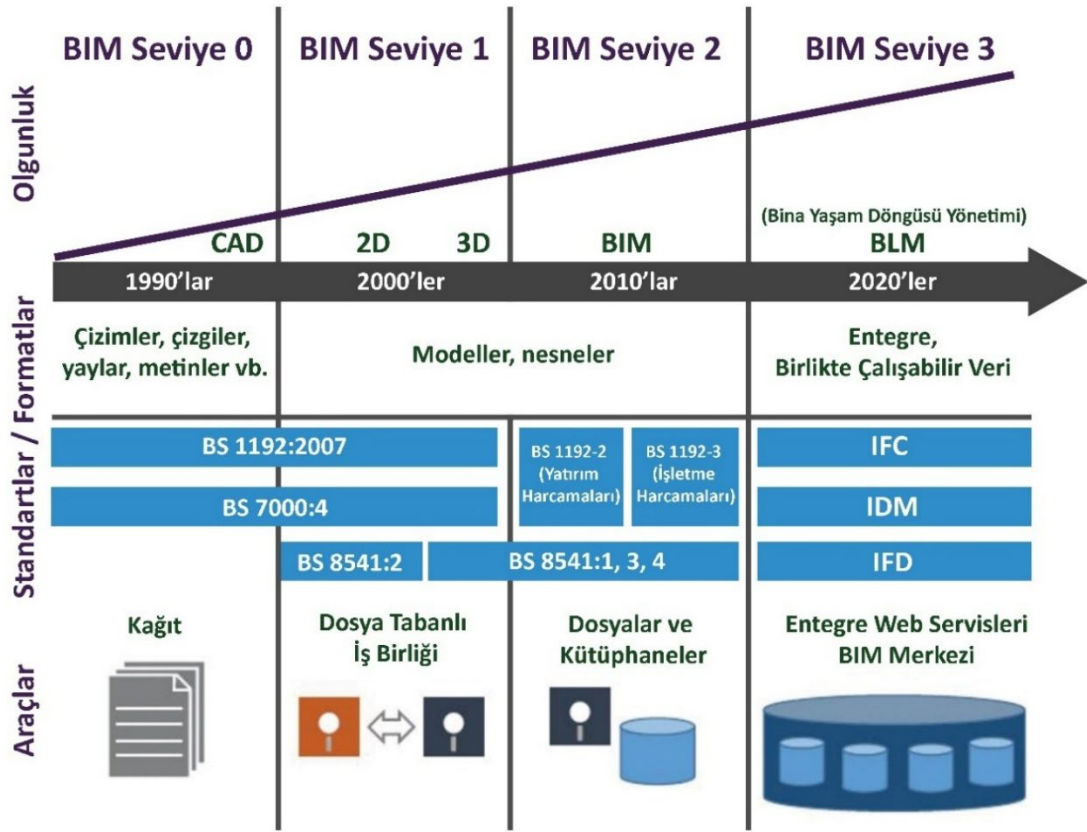
sayede BIM kullanımı, bina yaşam döngüsünün bu kritik aşamasında, yapı sahipleri, tesis yöneticileri ve kullanıcılar için önemli avantajlar sağladığı öngörülebilir.

RIBA [2020] tarafından tanımlanan BIM süreçlerinin, yapı üretiminin tüm aşamalarını kapsayan sistematik ve bütüncül bir süreç yönetimi modeli sunduğu görülmektedir. Bu yapı, stratejik tanım aşamasından başlayarak tasarım, üretim, teslim ve kullanım adımlarına kadar uzanan kapsamlı bir süreci temsil etmektedir. Bununla birlikte tez çalışması, mimari tasarım disiplindeki, konsept tasarım ve mekansal koordinasyon adımları kapsamında incelendiğinden, hazırlanacak anket soruları ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilecek veriler, bu kapsamda değerlendirilecektir.

2.2.2. BIM’ in Olgunluk ve Boyutsal Seviyeleri

Bilim ve teknolojinin gelişimiyle, yönetim ve bilginin yenilikçi yöntemlerle kullanılması, neredeyse tüm endüstrilerde iş gücü verimliliğini büyük ölçüde artırmıştır; ancak inşaat sektörü bu durumun istisnası olarak kalmıştır [**Chapman vd., 2010**], [**Teicholz, 2004**]. **Chapman vd. [2010]**, inşaat verimliliğini olumsuz etkileyen faktörlerin; teknolojinin yeterli kullanılmaması, alanında yetkin personel temininde yaşanan güçlükler, yapı elemanlarının şantiye dışında ön üretim yöntemiyle hazırlanıp sahada montajının yapılması (off-site construction) ve yapıların standart bileşenlerle birleştirilmesini amaçlayan modülerleştirme uygulamalarının sınırlı düzeyde kullanılması olduğunu belirtmişlerdir. BIM, inşaat projelerindeki bu sorunlara yönelik yenilikçi çözümler sunarak, hem iş süreçlerini optimize edebilen hem de proje verimliliğini önemli ölçüde arttırabilen dijital bir platformdur.

BIM, karakterize edilip incelendiğinde, bilgi teknolojisi uygulamalarının olgunluk seviyesini tanımlamak ve kullanılan bireysel araçların ne kadar gelişmiş olduğunu belirlemek için belirli aşamalar olduğu görülmektedir [**Açar, 2019**]. Bu aşamalar Mervyn Richards (2008) ve Mark Bew (2008) tarafından “Seviye 0 BIM, Seviye 1 BIM, Seviye 2 BIM ve Seviye 3 BIM” olarak tanımlanmıştır [**Şekil 2.8**].

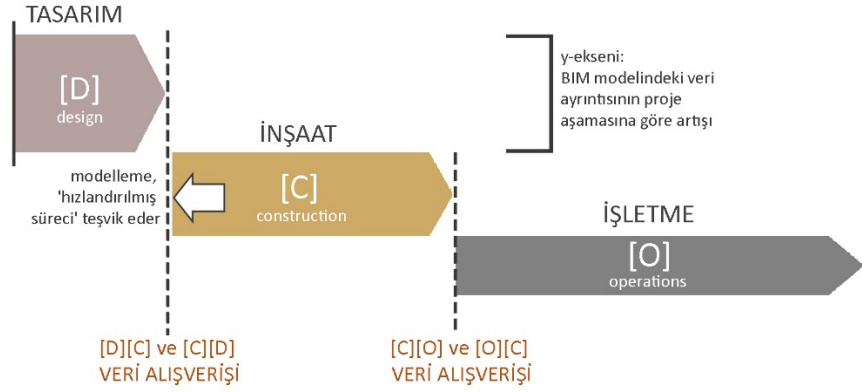


Şekil 2. 8: Bew ve Richards'ın BIM Olgunluk Modeli [RICS, 2020 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Succar [2009], Richards ve Bew (2008)'in BIM olgunluk modeline referansla, Seviye 0 BIM'i eski tarz CAD kullanılan bir aşama olarak tanımlamıştır. Seviye 1 BIM'i her sürecin (tasarım, inşaat, işletme) kendi verisini oluşturduğu, nesne tabanlı modellemelerin yapıldığı, süreçler arasında sınırlı veri alışverişlerinin olduğu ve iş birliğinin düşük düzeyde yapıldığı bir aşama olarak ifade etmiştir. Seviye 2 BIM'i tasarım ve inşaat ekiplerinin birlikte çalışmaya başladıkları (model tabanlı iş birliği), veri alışverişlerinin daha düzenli ve süreçler arasında bilgi paylaşımının daha uyumlu olarak yapılabildiği bir aşama olarak belirtmiştir. Seviye 3 BIM'i ise her sürecin (tasarım, inşaat, işletme) ortak bir veri havuzu üzerinden çalıştığı, veri uyumluluğunun sağlandığı, yüksek seviyede iş birliklerinin yapıldığı ve verimliliğin arttığı ağ tabanlı entegrasyonlar olarak açıklamıştır. Succar [2009] BIM'in olgunluk seviyesi tanımlamalarını, Şekil 2.9'da görülebileceği üzere sistematik bir yapı çerçevesinde ifade etmiştir.

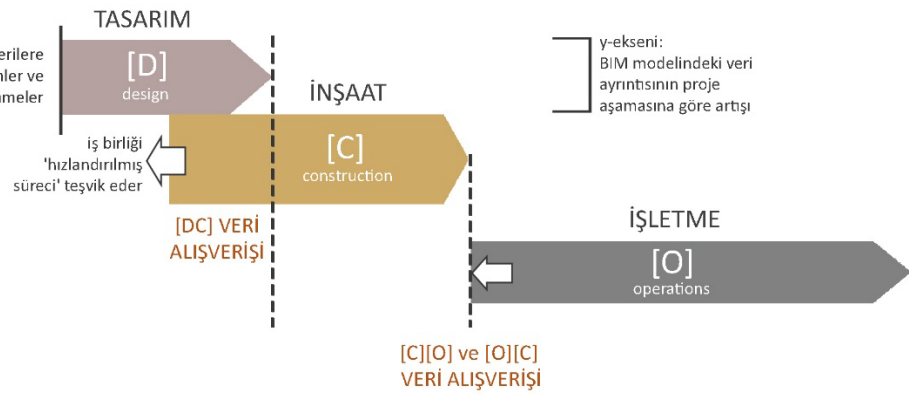
BIM 1 SEVİYE

[O] içindeki geçmiş verilere dayalı gereksinimler ve teknik şartnameler



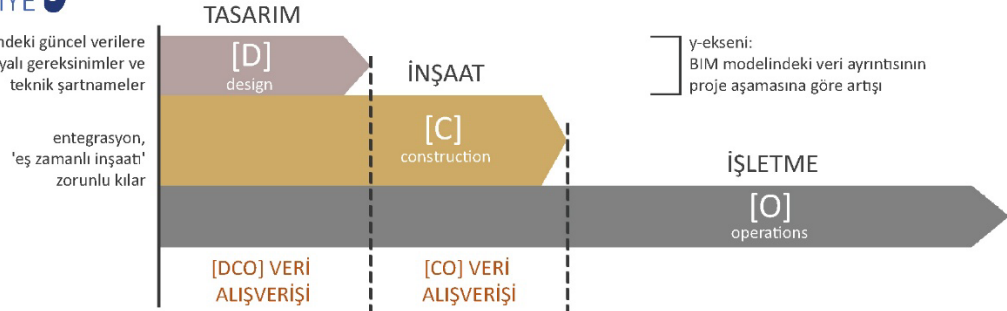
BIM 2 SEVİYE

[O] içindeki geçmiş verilere dayalı gereksinimler ve teknik şartnameler



BIM 3 SEVİYE

[O] içindeki güncel verilere dayalı gereksinimler ve teknik şartnameler



Şekil 2. 9: Succar'ın BIM Olgunluk Modeli [Succar, 2009 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

BIM olgunluk modeli üzerine yapılan çalışmalarda, yalnızca seviyelendirme tanımlamaları ile sınırlı kalınmamış, modelin farklı boyutlarını ele alan önemli araştırmalara da imza atılmıştır. Bu çalışmalar, BIM' in uygulanabilirliğini, süreçlere etkisini ve projelere sağladığı avantajları daha kapsamlı bir şekilde analiz ederek modelin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (NIBS), veri zenginliği, yaşam döngüsü görünümüleri, değişiklik yönetimi, roller veya

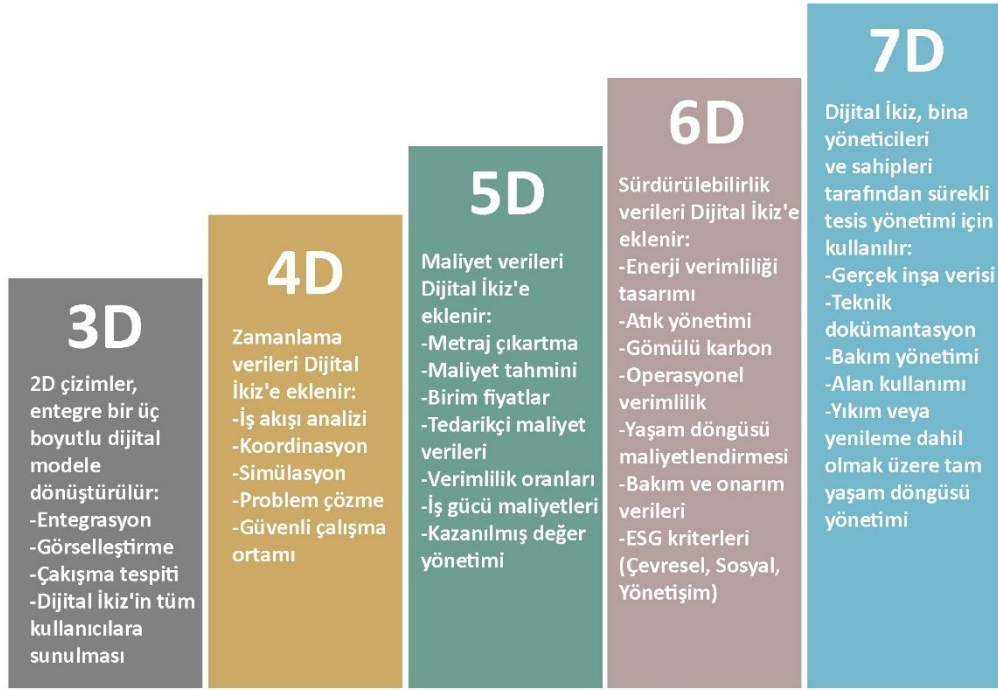
disiplinler, iş süreçleri, zamanında yanıt verme, teslim yöntemi, grafik bilgisi, mekansal yetenek, bilgi doğruluğu ve birlikte çalışabilirlik/IFC desteği olarak etkileşimli bir BIM modeli geliştirmiştir. Bu modelde, her alanın önemi ve olgunluk seviyesi ayrıntılı olarak tanımlanmıştır ve böylece BIM uygulamalarının daha sistematik bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır [McCuen vd., 2012], [NIBS, 2007]. Liang vd. [2016] BIM' in gelişiminin yalnızca BIM teknolojisi ile sınırlı olmadığını belirterek, teknoloji, süreç ve protokol olmak üzere üç seviyeden oluşan çok işlevli bir BIM olgunluk modeli geliştirmiştir. Chen vd. [2016], BIM olgunluğunu, bilgi yönetimi, süreç yönetimi ve teknoloji yönetimi açısından özetleyip tartışırken, Siebelink vd. [2018] ise, BIM' in teknik ve organizasyonel yönlerine odaklanan bir BIM olgunluk modeli geliştirmiştir.

Yukarıdaki tanımlamalara referansla, BIM olgunluk seviyeleri, yapı üretim sürecinin tamamını kapsayan ve bilgi teknolojilerinin projelere entegrasyon düzeyini değerlendirmeye imkan tanıyan stratejik bir yapı sunmaktadır. Bu seviyeler yalnızca teknolojik gelişimi değil, aynı zamanda süreç yönetimi, organizasyonel yeterlilik ve disiplinler arası iş birliği alanlarını da kapsamaktadır. BIM olgunluk seviyesi yükseldikçe, tasarım çıktılarının daha öngörülebilir olduğu, veri doğruluğunun arttığı ve proje ekipleri arasında bilgi paylaşımlarının yönetilebilir olduğu söylenebilir. Ayrıca BIM olgunluk modelleri mimari tasarım süreçleri kapsamında ele alındığında, konsept tasarım süreçlerinde bilgiye dayalı karar almayı, mekansal koordinasyonlarda bilgi yönetimini ve disiplinler arası uyumu mümkün kıldığı ifade edilebilir.

BIM'i kavramsal olarak tamamlayan bir diğer yapı ise, bilgi kullanımının kapsamını ve işlevselliğini ifade eden boyutsal seviyelerdir. Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi, 2D (CAD) çizimlerinin yetersiz kalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, 3D modelleme yapılabilen çeşitli yazılımlar geliştirilmiş ve BIM' in mimarlık ve inşaat sektöründe yaygınlaşmasıyla birlikte bu yazılımlar, projelerin tasarım, planlama ve uygulama aşamalarında daha etkin bir araç haline gelmiştir. Ayrıca BIM yalnızca 3D boyutunda kullanılabilen program yazılımlarıyla sınırlı kalmamış ve ileri boyutlar geliştirilmiştir. Çünkü mimarlık ve inşaat sektörü, 3D BIM' in kullanımıyla tasarım kalitesini iyileştirme, iletişim ve iş birliğini artırma, tasarım sürecinde zaman ve

maliyetten tasarruf gibi avantajlar sağlasa da, BIM' in tüm faydalarından yararlanmak için farklı boyutlar ekleme ihtiyacı doğmaktadır [Charef vd., 2018].

Smith [2014] BIM' in diğer boyutlarını, 4D programlama, 5D maliyet tahmini, 6D yaşam döngüsü analizi ve sürdürülebilirlik, 7D tesis yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.10' da bu boyutlar açıklanmıştır.



Şekil 2. 10: BIM'in Boyutsal Seviyeleri [Mosaic, 2024 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

4D BIM (Zaman): 4D BIM modeli, zaman yönetimine ilişkin verilerin yapı bilgi modeline girilmesiyle oluşturulur [Yalçın, 2022]. Bu model, kritik yol aktivitelerinin incelenmesi, vinç kurulum ve demontaj süreçlerinin planlanması, diğer lojistik sorunların çözülmesi ve binanın nasıl inşa edileceği hakkında genel bir tartışma yapılması için faydalı bir araçtır [Yalçın, 2022]. 4D BIM modellerindeki açıklamalar, inşaat sorunlarının basitleştirilmesine yardımcı olur ve karar verme süreçlerini destekler [Vurgun Çelikel, 2021]. Ayrıca bu süreçlerde proje inşaat sürecine geçmeden önce, çakışma kontrolü gibi analitik işlevler yapılabilir ve hatalar tespit edilebilir.

5D BIM (Maliyet): BIM süreçlerinde beşinci boyut olan 5D BIM, maliyet yönetimi ve maliyet tahminini ifade etmektedir. Bu süreç, yapı elemanlarıyla ilgili maliyet

bilgilerini BIM modeline entegre ederek, projedeki maliyet yönetimini daha etkili ve doğru hale getirmektedir. BIM destekli maliyet tahmin araçları ile veri tabanı bilgileri doğrudan model bileşenleriyle bağlantılandırılabilir [Yalçın, 2022]. Bu veri tabanlarındaki bilgiler birim maliyetler, işçi sayısı, malzeme maliyetleri ve hatta verimlilik oranlarını içerir [Yalçın, 2022]. Böylece proje çizimleri, zaman çizelgeleri ve maliyet tahmini belgeleri diğer yöntemlerde olduğu gibi ayrı ayrı çalışmak yerine birlikte çalışır ve değişikliklerle otomatik olarak güncellenir [Hardin ve McCool, 2015]. Stanford Üniversitesi İleri Tesis Mühendisliği Merkezi'nin bir araştırması, 5D BIM kullanımının, %40'a kadar beklenmedik değişikliklerin ortadan kaldırılması, maliyet hesaplama doğruluğunda %3 artış, maliyet tahmin sürelerinde %80'e kadar azalma ve çakışma tespiti sayesinde sözleşme değerinde %10'a kadar tasarruf etme gibi avantajlar sağladığını göstermiştir [Chien vd., 2014].

6D BIM (Sürdürülebilirlik): BIM modellerinde gerçekleştirilebilen bina verimliliği analizleri arasında enerji, aydınlatma, güneş etkisi, fotovoltaiik kapasite, yağmur suyu geri kazanımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ve LEED dokümantasyonları yer almaktadır [Vandezande vd., 2012]. Konsept ve şematik tasarım aşamalarında, mimarlar BIM ile oluşturabilecekleri basit modeller sayesinde proje alanını ve bina yönelimini, ısı kazancını, doğal havalandırma için rüzgar yönünü ve gün ışığı kullanımı için cephe alanlarını analiz edebilirler [Yalçın, 2022]. Daha sonra modelin mimari ve mühendislik modeli geliştirilip, malzeme detayları belirlenerek 6D BIM sayesinde projenin çevresel etkileri analiz edilebilir. Böylece tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında daha sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine olanak tanınmaktadır.

7D BIM (Tesis Yönetimi): BIM süreçlerinde yedinci boyut olan 7D BIM tesis yönetimi ve yaşam döngüsü yönetimini ifade etmektedir. Bu süreç, binanın operasyonel ve bakım aşamalarında kullanılacak bilgi ve stratejilerin modellenmesini içermektedir. 7D BIM, bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca tesis yönetimi, işletme, bakım ve yenileme gibi faaliyetleri optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu süreçte proje çıktısı tamamlanıp sahibine teslim edilmeden önce nihai bir proje incelemesi yapılır [Vurgun Çelikel, 2021]. Fakat 7D BIM modelinin kullanılabilmesinin en temel yolu, projenin ilerleme aşamalarında modele düzenli olarak bilgi ve veri eklemektir. BIM modelleri, bu tür görevler için bir kaynak olarak kullanılabilir [Vurgun Çelikel, 2021]. Bu sayede tesis yönetim sistemlerine entegre

edilmiş proje bilgileri ile bina işletmeye hazır hale gelir **[Hardin ve McCool, 2015]**. Ayrıca yapı sahipleri binayı kullanırken, hata yapma olasılıkları azalır ve proje devri sırasında oluşabilecek işletme gecikmelerini önlenabilir.

BIM'in boyutsal seviyeleri tanımlamalarına referansla, tasarım, planlama, uygulama, sürdürülebilirlik ve işletme aşamalarında bu boyutların entegre bir biçimde kullanılması, proje süreçlerinin daha etkin, verimli ve kontrollü bir şekilde yürütülmesini desteklemektedir. Çünkü, BIM'in proje süreçlerinde beklenen verimliliği ve etkiyi sağlayabilmesi için, bu teknolojinin tüm bileşenlerinin eksiksiz ve entegre bir şekilde uygulanması önemlidir **[Hardin ve McCool, 2015]**. NBS **[2020]** tarafından yayınlanan Ulusal BIM Raporu'nda son yıllarda BIM'in sadece 3D bir çizim aracı olduğu görüşünün kaybolduğu, BIM'in 4D ve 5D boyutlarının da kabul görmeye başladığı açıklanmıştır. Bununla birlikte, NBS **[2024b]** tarafından yayınlanan Sürdürülebilir Gelecekler Raporu'nda BIM'in, sürdürülebilirlik hesaplamalarının yapılması, karbon emisyonlarının analiz edilmesi, çevresel ürün beyanlarının entegrasyonu gibi süreçlerde aktif bir rol oynadığı belirtilerek, 6D BIM'in önemi vurgulanmıştır.

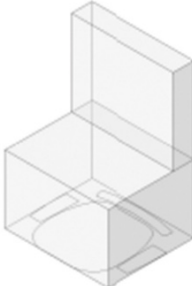
Bu kapsamda, olgunluk seviyelerinin bir projenin dijitalleşme düzeyini, boyutsal seviyelerin ise bu dijitalleşmenin bilgi kullanımını ve bilgi işlevselliğini temsil ettiği ifade edilebilir. Örneğin, Seviye 1'de ağırlıklı olarak 3D modelleme kullanılırken, Seviye 2 ile birlikte 4D (zaman) ve 5D (maliyet) boyutları proje süreçlerine dahil edilebilmekte, Seviye 3'te ise bu boyutlara ek olarak 6D (sürdürülebilirlik) ve 7D (tesis yönetimi) gibi ileri düzey işlevler bütünsel bir şekilde entegre edilebilmektedir. BIM'in olgunluk ve boyutsal seviyeleri, mimari tasarım süreçleri özelinde değerlendirildiğinde, tasarım kalitesinin artırılması ve disiplinler arası entegrasyonun sağlanması açısından önemli bir rol üstlenmektedir **[Eastman vd., 2011]**. Bu nedenle, çağdaş mimarlık pratiğinde BIM'in olgunluk ve boyutsal seviyeleriyle birlikte kullanılması, nitelikli, sürdürülebilir ve yönetilebilir tasarımların geliştirilmesine ve proje çıktılarının daha öngörülebilir hale getirilmesine katkılar sağlayabilir.

2.2.3. BIM'in LOD Tanımları

LOD (Level of Definition, Level of Detail, Level of Development) kavramı, BIM model elemanlarının proje sürecindeki gelişim aşamalarına bağlı olarak, tasarımdan

inşaat aşamasına kadar hangi seviyede ve hangi detaylarla tanımlanacağını belirten bir sistemdir [BIM Teknoloji, 2024]. Bu kavram, ilk kez Vico Software Inc. tarafından geliştirilmiştir ve 2008 yılında Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından BIM protokolünün unsuru olarak resmi bir şekilde yayınlanmıştır. BIM kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu doküman revize edilmiş ve en güncel haliyle AIA E203-2013 adıyla 2013 yılında yeniden düzenlenmiştir [Saraç Çıracıoğlu, 2021].

LOD spesifikasyonu, proje ekibine BIM' in tasarım ve inşaat sürecinin farklı aşamalarındaki içeriğini ve güvenilirliğini net bir şekilde tanımlama, ifade etme olanağı sunmakta ve farklı bina sistemlerinin model unsurlarının özelliklerini farklı LOD' larda tanımlamaktadır [RICS, 2014]. Örneğin, bir sandalyenin LOD konsepti üzerinden açıklanan bir modeli ele alalım: Erken aşama modellerde sandalye basit bir “blok” olarak temsil edilmektedir. Daha fazla tasarım ve inşaat detayı mevcut hale geldikçe ve modele dahil edildikçe, LOD seviyesi artmaktadır. Bu durum, modelde yer alan her bir unsurun daha ayrıntılı ve güvenilir bilgi ile temsil edildiği anlamına gelmektedir [RICS, 2014], [Şekil 2.11].

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Konsept (Sunum)	Tasarım Geliştirme	Dokümantasyon	İnşaat	Tesis Yönetimi
TANIM: Ofis Sandalyesi Kollar, Tekerlekler GENİŞLİK: DERİNLİK: YÜKSEKLİK ÜRETİCİ: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	TANIM: Ofis Sandalyesi Kollar, Tekerlekler GENİŞLİK: 700 DERİNLİK: 450 YÜKSEKLİK 1100 ÜRETİCİ: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	TANIM: Ofis Sandalyesi Kollar, Tekerlekler GENİŞLİK: 700 DERİNLİK: 450 YÜKSEKLİK 1100 ÜRETİCİ: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	TANIM: Ofis Sandalyesi Kollar, Tekerlekler GENİŞLİK: 685 DERİNLİK: 430 YÜKSEKLİK 1085 ÜRETİCİ: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 400	TANIM: Ofis Sandalyesi Kollar, Tekerlekler GENİŞLİK: 685 DERİNLİK: 430 YÜKSEKLİK 1085 ÜRETİCİ: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra SATINALMA TARİHİ 01/02/2013

Not: Sadece kırmızıyla yazılmış veriler kullanılabilir.

Şekil 2. 11: Model Gelişim Seviyeleri [BIM Teknoloji, 2024 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

AIA Komitesi tarafından E203-2013'te yayımlanan protokolde yer alan LOD seviyelerinin açıklamaları şu şekilde tanımlanmıştır:

LOD 100: Modelde, elemanın yalnızca kaba formu ve temel nitelikleri yer almaktadır. LOD 200 seviyesine ulaşacak kadar bilgi içermez. Alan ve hacim verileri ile modeldeki diğer elemanlarla kurulan ilişkiler üzerinden temel düzeyde performans analizi gerçekleştirilebilir ve mekansal bilgiler esas alınarak, yaklaşık maliyet tahminleri oluşturulabilir.

LOD 200: Modelleme elemanı içeriği genel bir sistem, nesne veya montaj olarak tasvir edilmiştir. Miktarlar, boyut, şekil, konum ve yön yaklaşık olarak belirtilmiştir. Genel performans kriterlerine dayalı analiz yapılabilir. Yaklaşık verilere dayalı maliyet tahmini yapılabilir. Ana elemanlar ve sistemlerin, ne zaman ve hangi sırada görüneceğini göstermek için zamanlama yapılabilir. Boyut, konum ve boşluk açısından diğer modelleme elemanlarıyla genel koordinasyon sağlanabilir.

LOD 300: Modeldeki unsur, tanımlı bir yapı sistemi, nesne veya montaj bütünlüğü kapsamında yapılandırılmıştır. Model bileşeninin miktarı, fiziksel ölçütleri, konumlandırması ve yön bilgisi net bir şekilde ifade edilmiştir. Grafik dışı veriler eklenebilir. Belirli performans kriterlerine dayalı analiz yapılabilir. Satın alma için uygun, belirli bilgileri kullanarak maliyet tahmini yapılabilir. Ana yapı elemanlarının ve sistemlerin uygulama zamanları ile sıralamaları detaylı biçimde planlanabilir. Boyut, konum ve boşluk açısından diğer modelleme elemanlarıyla spesifik koordinasyon sağlanabilir.

LOD 400: Modelleme elemanı bu aşamada, üretim ve montaj süreçlerini de destekleyecek biçimde daha yüksek detay düzeyine sahiptir. Buna ek olarak, detaylandırma, üretim, montaj ve kurulum hakkında spesifik bilgiler eklenmiştir. Grafik dışı veriler dahil edilebilir ve gerçek performans kriterlerine dayalı analiz yapılabilir. Satın alma işlemleri sırasında elde edilen veriler, maliyetin kesin olarak hesaplanmasına olanak tanımaktadır. İnşaat yöntemleri ve süreçleri dikkate alınarak, ana yapı elemanlarının ve sistemlerin hangi sırayla ve hangi zaman diliminde uygulanacağı detaylı bir şekilde planlanabilir. Üretim, kurulum ve operasyonel süreçlere ilişkin detaylar doğrultusunda, elemanların boyut, konum ve boşluk bilgileri kullanılarak zamanlama yapılabilir ve diğer model bileşenleriyle hassas koordinasyon sağlanabilir.

LOD 500: Modelleme elemanı içeriği olan boyut, şekil, konum, miktar ve yön detayları, sahada doğrulanmıştır. Model, sahada uygulandığı haliyle (as-built) doğrulanmış olup, kalıcı bir kayıt ve referans modeli olarak kullanılabilir.

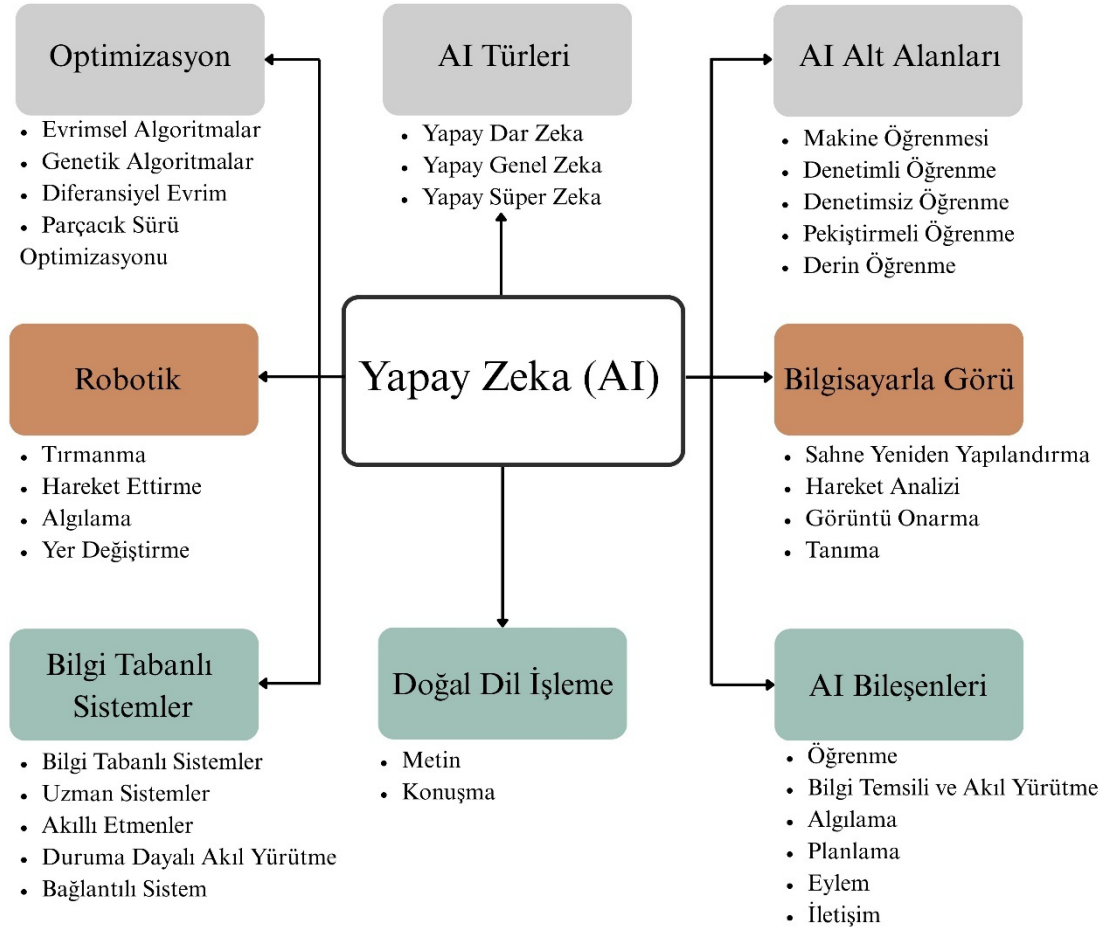
LOD seviyelerinin, bir BIM projesinin her aşamasında modelin güvenilirliğini, doğruluğunu ve kullanım potansiyelini tanımlayan bir standart olduğu söylenebilir. LOD seviyeleri, proje ekibinin ortak bir dil ve anlayışla çalışmasını sağlayarak hem tasarım hem de uygulama süreçlerinde daha etkin bir koordinasyon, verimli bilgi paylaşımı ve minimum hata payı ile sonuçlanan bir iş birliği ortamı oluşturmaktadır [RICS, 2014]. Bu durum, projenin maliyet, zaman ve kalite hedeflerine ulaşmasını önemli ölçüde desteklemektedir.

2.3. Yapay Zeka (AI)

2.3.1. Yapay Zekanın (AI) Tanımı

AI kavramının tarihsel gelişimi incelendiğinde, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli tanımlamalar yapıldığı görülmektedir. UNESCO [2017] AI'yı gerçek zamanlı verileri işleyerek eğitimi daha bireyselleştirilmiş, esnek, kapsayıcı ve etkili hale getiren bir teknoloji olarak tanımlamaktadır. Dick [2019] ise AI'yı, "Akıllı makineler geliştirmeye yönelik bir bilim ve mühendislik alanı" olarak ifade etmiştir. Nilsson [2019] AI'yı "Makinelere zeka kazandırmaya yönelik çalışmalar bütünü" şeklinde tanımlarken, Nabiyev [2016] AI'yı "Bilgisayarların veya bilgisayar kontrollü makinelerin, anlamlandırma, akıl yürütme, genelleme yapma ve deneyim yoluyla öğrenme gibi insana özgü bilişsel süreçleri gerçekleştirme yeteneği" olarak açıklamaktadır.

Tüm bu tanımlamalar doğrultusunda, AI'nın yalnızca teknik bir kavram olmadığı ifade edilebilir. AI, bilgisayar sistemlerinin akıllı insan müdahalesi gerektiren işleri yapabilme becerisidir; bu da AI'nın robotların ötesine geçen çok geniş bir tanım olduğunu göstermektedir [Currie ve Brown, 2018]. Bu sebeple, AI'nın farklı disiplinlerdeki uygulamalarıyla, karmaşık sorunlara yenilikçi ve etkili çözümler sunabilen, çok yönlü ve kapsamlı bir teknoloji olarak değerlendirilebileceği söylenebilir. Şekil 2.12'de AI'nın bileşenleri belirtilmiştir:



Şekil 2. 12: AI Bileşenleri, Türleri ve Alt Alanları [Abioye vd., 2021 kaynağından yazar tarafından oluşturulmuştur].

2.3.2. Yapay Zekanın (AI) Kısa Tarihi

AI kavramının geçmişi incelendiğinde, kökeninin insanlık tarihi kadar eski olduğu görülmektedir [Yıldırım ve Demirarslan, 2020]. AI fikri, insan benzeri makineler üretme hayaliyle şekillenmiş ve yüzyıllar boyunca farklı kültürlerde farklı biçimlerde kendini göstermiştir. Hareket eden otomatlar ve mantık yürütebilen mekanik sistemler, geçmişten günümüze hayal gücünü besleyen unsurlar arasında yer almıştır. Bu tür makineler, birçok anlatıda betimlenmiş; heykeller, resimler ve teknik çizimlerde tasvir edilmiştir [Nilsson, 2019]. Homeros'un "İlyada" (M.Ö. 700-800) eserinde, kendiliğinden hareket eden "uçayaklı" sandalyeler ile tanrı Hephaistos'un, hizmet etmesi için tasarladığı altın yardımcılarının söz edilmektedir. Eski Yunan filozofu Aristoteles (M.Ö. 384-322) de bu konuya "Politika" adlı eserinde değinmiş ve aletlerin

insan müdahalesi olmadan kendi işlerini yerine getirebilmeleri durumunda, zanaatkarların ve kölelerin gereksiz hale geleceğini öne sürmüştür [Nilsson, 2019].

Nilsson [2019] Aristoteles'in, aynı zamanda akıl yürütme sürecini analiz etmeye yönelik ilk sistematik çalışmaları yapan düşünürlerden biri olduğunu belirtmiştir. "Tasım" olarak adlandırdığı mantık yönteminde, belirli önermelerden hareketle yeni sonuçlara ulaşılabilceğini öne sürmüştür. Tasım aşağıdaki gibi örneklenebilir:

1. Tüm insanlar ölümlüdür. (yargı)
2. Tüm Yunanlar insandır. (yargı)
3. Tüm Yunanlar ölümlüdür. (sonuç)

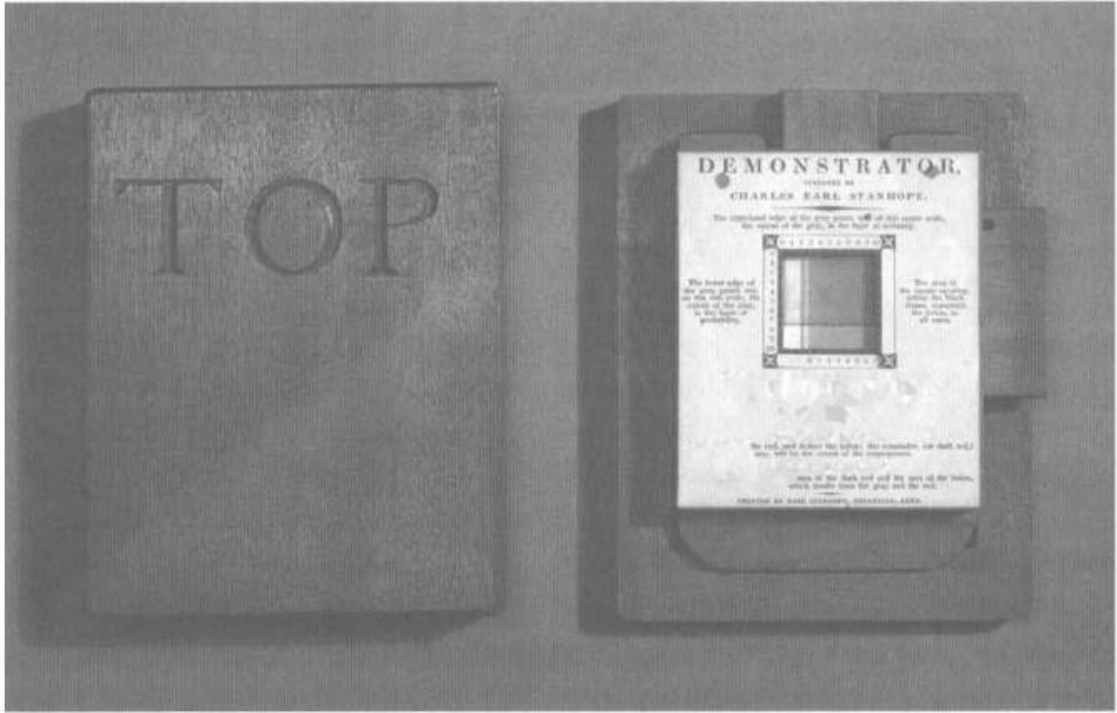
Nilsson [2019] Aristoteles'in bu tasım biçiminin, AI için önemli bir katkı olduğunu vurgulamıştır. Çünkü önermelerde kullanılan kelimeler değiştirildiğinde bile aynı mantık çerçevesinde yeni sonuçlar üretmek mümkündür. Örneğin, "Tüm sporcular sağlıklıdır" ve "Tüm futbolcular sporcudur" önermelerinden "Tüm futbolcular sağlıklıdır" sonucu çıkarılabilir. Ancak, önermeler yanlış olduğunda, elde edilen sonuçların da hatalı olabileceği unutulmamalıdır. Sonuç olarak, Aristotelesçi mantık, akıl yürütmenin otomatikleştirilmesine yönelik iki temel çıkarım sunmaktadır:

- 1) Tasım gibi mantıksal akıl yürütme kalıplarını belirli bir formatta göstermek oldukça basittir. Bu kalıplar, belirli bir bağlamla sınırlı olmadan, geniş bir yelpazedeki somut durumları temsil edebilecek genel semboller kullanılarak ifade edilebilir. Burada önemli olan sembollerin kendisi değil, temsil ettikleri kavramlardır; çünkü bu yapılar farklı problemlere uyarlanabilir niteliktedir.
- 2) Genel sembollerin yerine spesifik bir problem için belirli değişkenler yerleştirildiğinde, yalnızca temel işlemler uygulanarak mantıksal bir sonuca ulaşmak mümkündür. Bu tür simgesel ifadeler ve geçiş süreçleri, günümüzde modern AI sistemlerinde kullanılan akıl yürütme algoritmalarının temelini oluşturmaktadır [Nilsson, 2019].

AI'nın temelini oluşturan alanlardan biri olan mantıksal usamlama ise, ilk kez Gottfried Wilhelm Leibniz tarafından ele alınmıştır. **Nilsson [2019]**, Leibniz'in tüm insan bilgisinin, özellikle felsefe ve metafizik alanlarındaki bilgilerin, sınırlı sayıda temel önerme kullanılarak yapılandırılabilceğini öne sürdüğünü ifade etmiştir. Leibniz'e göre, bu yaklaşım tıpkı alfabedeki sınırlı harflerin tüm kelimeleri oluşturması gibi, bilgi ve ifadelerin de az sayıda temel önermeden türetilbileceği bir

sistem sunmaktadır. Leibniz'in ifade ettiği “evrensel dil”, temel önermelerden oluşacak şekilde tasarlanmış olup, insan düşüncesinin alfabesi için bir altyapı oluşturmayı amaçlamaktadır.

18. yüzyılın sonları ve 19. yüzyılın başlarında, Britanyalı bilim insanı ve siyasetçi Charles Stanhope, temel mantık ve olasılık hesaplamalarını gerçekleştirebilen mekanik cihazlar geliştirerek bu sistemler üzerinde çeşitli deneyler yapmıştır. Bu cihazlardan “Stanhope Kutusu” olarak bilinen, günümüzde bir tür analog bilgisayar olarak tanımlayabileceğimiz kutunun yan taraflarında yarıklar bulunmaktadır. Bu yarıklar aracılığıyla içeriye renkli slaytlar yerleştirilir ve üst kısmında bulunan pencereden bakıldığında, belirli bir problemi temsil edecek şekilde konumlandırılmış slaytlar görülebilmektedir [Nilsson, 2019], [Şekil 2.13].



Şekil 2. 13: Stanhope Kare Gösterici, 1805, Fotoğraf, Bilim Müzesi / SSPL' nin izniyle [Nilsson, 2019].

20. yüzyıla gelindiğinde “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu ortaya atan İngiliz matematikçi Alan Mathison Turing, II. Dünya Savaşı zamanlarında şifre çözümüleme analizi ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilen cihazlarla bilgisayar bilimi ve AI kavramlarının temellerini atmıştır [Akçan, 2022]. 1943'teki bu çalışmaların, modern bilgi işlem ve AI'nın gelişimine öncülük ettiği söylenebilir. 1950'lerin sonlarında

birçok araştırmacı AI konusu ile ilgilenmiş, 1956 yılında Dartmouth'un kongresinde Minsky, Shannon, McCarthy, Newell ve Simon gibi bilim insanları tarafından gündeme getirilmiştir [Nilsson, 2019].

Günümüzde AI'nın, hızla ilerleyen teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak, insan yaşamının pek çok alanında önemli ve dönüştürücü bir rol üstlendiği söylenebilir. Doğal dil işleme (NLP) sistemleri sayesinde AI, kişisel asistanlar (örneğin; Siri ve Alexa) ile iletişimi mümkün kılmaktadır. Derin öğrenme ve makine öğrenimi teknolojileri, sağlık alanında erken teşhis sistemlerinden, finansal dolandırıcılık algılama algoritmalarına kadar geniş bir kullanım alanı sunmaktadır [Russell ve Norvig, 2016]. Otonom araçlar, lojistikteki etkinliği artırırken, tarımda drone teknolojileri ve robotik sistemler, daha sürdürülebilir bir üretimi mümkün kılmaktadır [Goodfellow vd., 2016]. Bununla birlikte, AI'nın hızlı gelişimi, toplumsal ve etik meseleleri de beraberinde getirmiştir [Bostrom ve Yudkowsky, 2014]. AI'nın insan iş gücü üzerindeki potansiyel etkisi ve algoritmaların karar alma süreçlerinde şeffaflık eksikliği, tartışmaların odağındadır [Bostrom ve Yudkowsky, 2014]. Günümüzde, AI teknolojilerinin doğru bir şekilde regüle edilmesi ve insan odaklı bir şekilde geliştirilmesi, hem bilim insanlarının hem de politika yapımcıların öncelikli hedeflerinden biri olmuştur [Cows vd., 2019].

2.3.3. Yapay Zeka (AI) Türleri

AI alanında gerçekleştirilen araştırmalar, uygulamalar ve bilimsel çalışmalar, AI'nın üç farklı gelişim aşamasından geçeceğini ortaya koymaktadır. Bu aşamaların ilki, "Yapay Dar Zeka" (Artificial Narrow Intelligence-ANI) veya "Zayıf Yapay Zeka" (Weak-AI) olarak adlandırılmaktadır [Karabulut, 2021]. ANI belirli bir işlem, hedef ya da problem çözme amacıyla geliştirilen sistemleri ifade etmektedir [Jajal, 2018]. Günlük hayatta kullanılan ANI tipine, Amazon Alexa, Google Assistant, otonom araç sistemleri ve tıbbi teşhis sistemleri gibi örnekler verilebilir.

AI'nın gelişim sürecindeki ikinci aşama "Yapay Genel Zeka" (Artificial General Intelligence-AGI) olarak adlandırılmaktadır. AGI, Yapay Dar Zeka'dan farklı olarak, edinilen bilgi ve becerilerin farklı bağlam ve durumlarda uygulanmasına olanak tanımaktadır [Karabulut, 2021]. Bu özelliği sayesinde, makinenin bağımsız öğrenme

ve problem çözme yeteneği artmakta ve Yapay Dar Zeka'ya kıyasla insan zekasına daha yakın bir işleyiş sergilemektedir [Davidson, 2019].

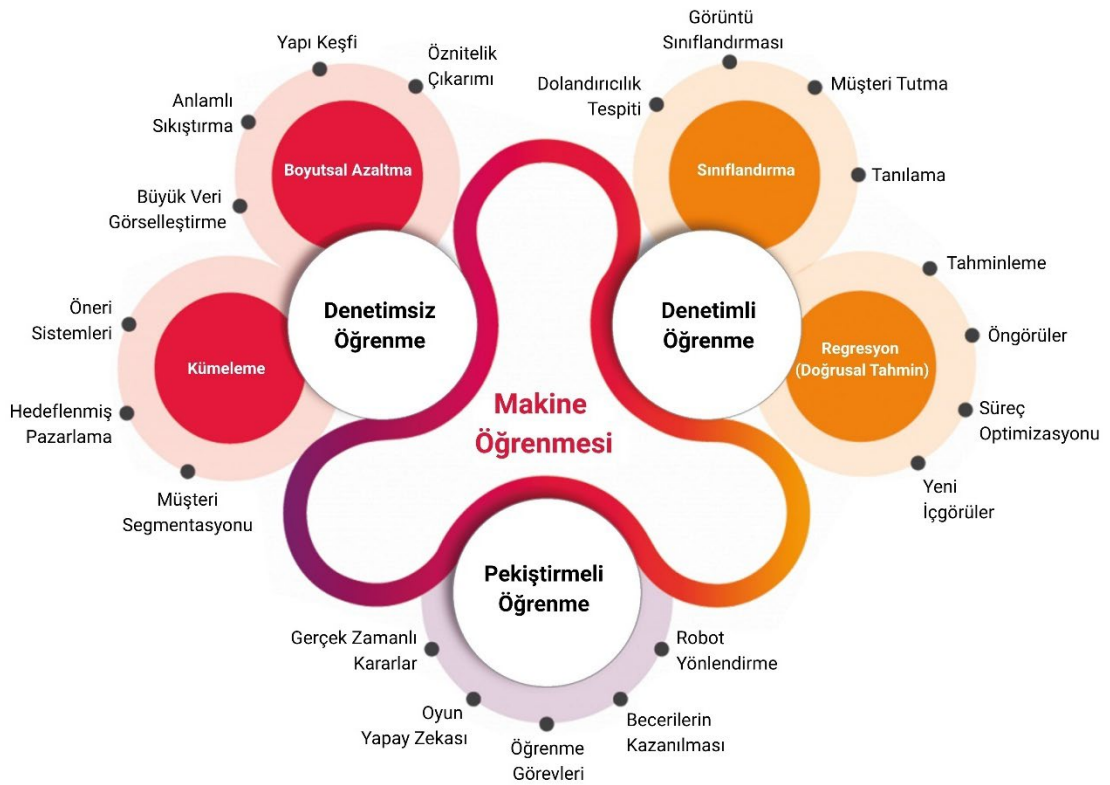
AI'nın gelişim sürecindeki son aşama olan "Süper Yapay Zeka" (Artificial Super Intelligence-ASI) ise, insan zekasını neredeyse tüm bilişsel alanlarda aşabilecek bir yapay akıl düzeyi olarak değerlendirilmektedir. Oxford Üniversitesi'nden filozof Nick Bostrom, ASI'yi "İnsanların bilişsel performansını büyük ölçüde aşan herhangi bir zeka türü" olarak tanımlamaktadır [Jajal, 2018]. ASI, AI gelişiminin son evresi olacağı düşünülen dönemi ifade eden bir kavramdır [Eryılmaz, 2023]. ASI, AI gelişiminin ulaştığı en üst nokta olarak öngörülmekte ve bu dönemin AI'nın insanlardan bağımsız şekilde bilinç kazanabileceği aşamayı temsil ettiği düşünülmektedir [Kaplan ve Haenlein, 2019]. Kaplan ve Haenlein [2019], AI'nın üç evresini "Yapay Dar Zeka", "Yapay Genel Zeka" ve "Süper Yapay Zeka" olarak tanımlamıştır. Yapay Dar Zeka, insan zekasının altında ve belirli alanlarda çalışan sistemlerdir; ayrıca, otonom bir yapıdadır ve programlamada verilen görevin dışındaki sorunları çözemez. Yapay Genel Zeka, insan seviyesinde düşünme yeteneğine sahiptir. Bu zeka türü bağımsız bir yapıdadır, birden fazla alanda işlem yapabilir, geniş kapsamlı problemleri çözebilir ve programlamada verilen görevin dışındaki sorunları çözebilir. Süper Yapay Zeka ise, insan zekasını aşan bir kapasiteye sahiptir. Ayrıca, bu zeka türü herhangi bir bağlamda kullanılabilir, sınırsız öğrenme kapasitesine sahiptir, kendisine verilen görev dışındaki sorunları anında çözebilir ve insan kapasitesinin ötesine geçerek üst düzey kararlar alabilir [Kaplan ve Haenlein, 2019].

2.3.4. Yapay Zeka (AI) Algoritmaları

AI algoritmaları, makinelerin veri işleyerek öğrenmesini, kararlar almasını ve karmaşık görevleri yerine getirmesini sağlayan matematiksel ve mantıksal yöntemlerdir. Bu algoritmalar, AI'nın temelini oluşturmaktadır ve farklı amaçlara yönelik olarak geliştirilmiştir. Makine Öğrenimi (Machine Learning), Derin Öğrenme (Deep Learning), Evrimsel ve Optimizasyon algoritmaları başlıca AI algoritmalarıdır.

Makine Öğrenimi Algoritmaları (Machine Learning): bilgisayarların ve makinelerin, insanların öğrenme şeklini taklit ederek görevleri otonom bir şekilde gerçekleştiren, deneyim ve daha fazla veriye maruz kalmaları sonucunda performanslarını ve doğruluklarını geliştiren bir AI alt dalıdır [IBM, 2024]. Mahesh [2020] makine

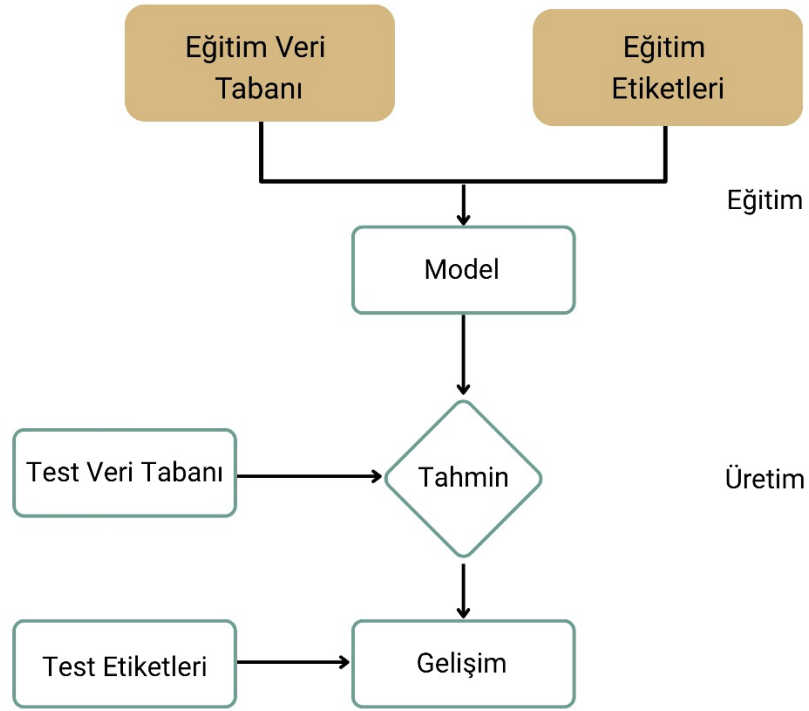
öğrenimini bilgisayar sistemlerinin açıkça programlanmadan belirli bir görevi gerçekleştirmek için kullandıkları algoritmaların ve istatistiksel modellerin bilimsel çalışması olarak açıklamıştır. Makine öğrenimi algoritmalarında sıklıkla regresyon ve sınıflandırma olarak iki yöntemden bahsetmek mümkündür [Sakal, 2020]. Regresyon analizi, gelir düzeyi veya bitki boyu gibi nicel veriler üzerinden çıkarımlar yaparken, sınıflandırma yöntemleri ise kredi onay durumu, cinsiyet veya oda sayısı gibi kategorik değişkenleri ele almaktadır [Sakal, 2020]. Bu yöntemlerin de yer aldığı temel ML alt türleri, **Şekil 2.14**'te sınıflandırılarak görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2. 14: Makine Öğrenmesi (ML) Alt Türleri [Medium, 2024 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Her iki yöntem de, denetimli öğrenme (Supervised Learning) kapsamında değerlendirilen makine öğrenimi algoritmaları arasında yer almaktadır ve farklı veri türlerine yönelik analiz süreçlerinde kullanılmaktadır [Sakal, 2020]. Goodfellow vd. [2016], denetimli öğrenme algoritmalarını, bir eğitim seti aracılığıyla verilen x girdileri ile y çıktıları arasındaki ilişkiyi öğrenen algoritmalar olarak tanımlamaktadır. Bu algoritmalar, girdilerle çıktılar arasındaki ilişkileri modellemeyi hedeflemektedir.

Çoğu durumda, y çıktılarının manuel olarak insan katkısıyla sağlanması gerekebilir. Ancak, eğitim setindeki hedefler otomatik olarak elde edildiğinde bile bu tanım geçerliliğini korumaktadır. Bu sürecin yapısını görsel olarak açıklayan denetimli öğrenmenin temel işleyiş akışı, **Şekil 2.15**'te sunulmuştur.



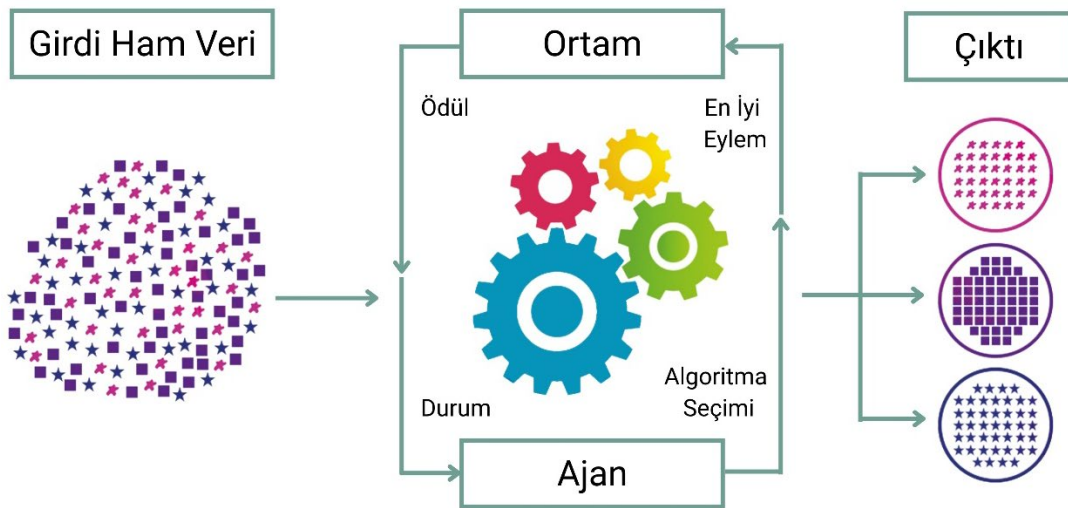
Şekil 2. 15: Denetimli Öğrenme Süreci Akış Diyagramı [Bilgin, 2017 kaynağından yazar tarafından oluşturulmuştur].

Kümeleme ve boyut azaltma algoritmaları ise, verilerdeki gizli yapıları keşfetmek ve anlamlandırmak için kullanılan denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) algoritmalarının temel örneklerindendir [Goodfellow vd., 2016]. Denetimsiz öğrenme, örneklere açıklama eklemek ve çıktıların değerlerini belirlemek için insan emeği gerektirmeyen bir dağıtımdan bilgi çıkarma girişimlerinin çoğunu ifade etmektedir [Akçan, 2022]. Denetimsiz öğrenmede, algoritma önceden belirlenmiş hedef değişkenlerden yoksundur ve bu nedenle verilerdeki doğal gruplamaları, ilişkileri veya az sayıdaki boyutlarla temsil edilebilecek temel yapıları bulmayı amaçlamaktadır [Russell ve Norvig, 2021]. Bu öğrenme türü veri keşfi, veri görselleştirme ve veri ön işleme süreçlerinde kullanılabilir.

Makine öğrenimi algoritmalarının bir diğer temel öğrenme yöntemi, pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning) algoritmalarıdır. **Sutton ve Barto [2015]** pekiştirmeli öğrenmeyi şu şekilde açıklamıştır:

Pekiştirmeli öğrenme, bir sistemin belirli bir amaca ulaşmak için nasıl hareket etmesi gerektiğini öğrenmesini sağlayan bir makine öğrenmesi yöntemidir. Ajan (agent) olarak adlandırılan öğrenen sistem, karşılaştığı durumlara tepkiler vererek ödül sinyali alır ve bu ödülleri maksimize etmeye çalışır. Bu süreç deneme-yanılma yöntemine dayanmaktadır. Pekiştirmeli öğrenmede temel zorluklardan biri keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) dengesini kurmaktır. Ajan, geçmişte ödül kazandığı eylemleri tekrar ederek başarı sağlayabilir, ancak daha fazla ödül kazanabileceği yeni stratejileri keşfetmesi de gerekmektedir. Bu dengeyi sağlamak için ajan, farklı eylemleri test ederek en iyi sonuç verenleri aşamalı olarak destekler [Sutton ve Barto, 2015].

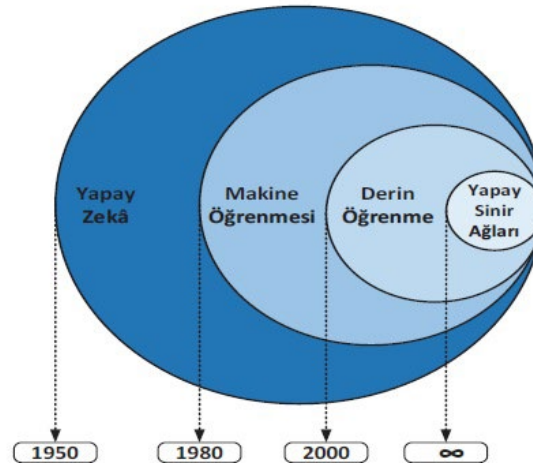
Pekiştirmeli öğrenme yalnızca bilgisayar bilimi alanında değil, aynı zamanda psikoloji ve sinir bilimi ile de etkileşim içinde olmuş ve bu disiplinlere önemli katkılar sağlamıştır [Sutton ve Barto, 2015]. **H. Singh, [2024]** ise pekiştirmeli öğrenme terminolojisini **Şekil 2.16**'daki görselle açıklamıştır.



Şekil 2. 16: Pekiştirmeli Öğrenmenin Terminolojisi [H. Singh, 2024 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Derin Öğrenme Algoritmaları (Deep Learning): AI, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay sinir ağları arasında iç içe geçmiş bir kavramsal yapı bulunmaktadır ve bu yapı Şekil 2.16'da şematik olarak sunulmuştur [Akın ve Şahin, 2024]. Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme ise, son yıllarda hızla gelişen teknolojilere uyum sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Derin öğrenme algoritmaları, AI uygulamalarının temel algoritmalarından biridir [Akın ve Şahin, 2024]. Genel tanımıyla derin öğrenme, canlıların karmaşık durumlar ve problemler karşısında uyguladığı gözlem yapma, analiz etme, öğrenme ve karar alma gibi bilişsel süreçleri

taklit eden bir yöntemdir. Büyük veri setlerini işleyerek denetimli veya denetimsiz öğrenme algoritmaları ile önemli özellikleri belirler ve bu özellikleri kullanarak veri dönüştürme, örüntü çıkarımı ve sınıflandırma gibi işlemleri gerçekleştirir. Bu sayede, insan benzeri karar mekanizmaları oluşturulmasına katkı sağlayabilmektedir. Derin öğrenme aynı zamanda, insan beynindeki karmaşık sinir ağlarından esinlenerek üretilen bir algoritma türüdür [Şeker vd., 2017]. Derin öğrenme, doğal dil işleme, sinyal işleme, görüntü analizi, bilgisayarlı görü, sağlık teknolojileri ve robotik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak derin öğrenme, günümüz mühendislik uygulamalarında, insan benzeri düşünme ve davranış sergileyen sistemlerin geliştirilmesi açısından katkılar sağlamaktadır [Akın ve Şahin, 2024]. Buna ek olarak, Akın ve Şahin, [2024] AI, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Yapay Sinir Ağları Kronolojisini Şekil 2.17'deki gibi açıklamıştır.



Şekil 2. 17: AI, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Kronolojisi [Akın ve Şahin, 2024].

Derin öğrenme süreci, öncelikle problemin tanımlanması ve bu yöntemin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesiyle başlamaktadır. Daha sonra, analiz edilecek veri kümeleri belirlenerek işleme hazır hale getirilmekte ve en uygun algoritma modeli seçilmektedir. Seçilen algoritmaya bağlı olarak, veriler işlenip analitik bir model oluşturulduktan sonra, eğitim sürecine tabi tutulmaktadır. İlgili revizeler yapıldıktan sonra modelin test edilmesiyle birlikte elde edilen skorlar analiz edilip, geleceğe yönelik tahminlerde bulunmaktadır [Akın ve Şahin, 2024].

Derin öğrenmede kullanılan “Yapay Sinir Ağları” (Artificial Neural Networks-ANN), insan beyninin işlevlerinden esinlenerek geliştirilmiş sistemlerdir. Bu modeller, algılama, veri işleme, kontrol mekanizmaları geliştirme ve öğrenme süreçlerini destekleyen özelliklere sahiptir. Aynı zamanda, yapay sinir ağları öznitelik çıkarımı yaparak öğrenme sürecini matematiksel olarak modelleyebilme yeteneğine sahiptir **[Öztürk ve Şahin, 2018]**. Derin öğrenmede kullanılan temel yapay sinir ağı modelleri ise temel olarak şunlardır:

- Sinir Ağları (Artificial Neural Network-ANN): İnsan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek tasarlanmış bir bilgi işlem sistemidir. Sinir ağları, verileri analiz etmek ve karmaşık görevleri öğrenmek için biyolojik sinir ağlarının işlevini taklit etmektedir **[Goodfellow vd., 2016]**.
- Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolution Neural Network-CNN): Görüntü işleme ve analizinde yaygın olarak kullanılan bu model, görsellerdeki desenleri tanımlayarak nesneleri veya objeleri belirlenen kriterlere göre gruplandırmak ve sınıflandırmak amacıyla geliştirilmiş ileri beslemeli ve çok katmanlı bir yapay sinir ağıdır **[Akın ve Şahin, 2024]**.
- Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Network-RNN): Veri kümelerindeki sıralı özellikleri tanıyıp bir sonraki olası durumu tahmin etmek için tasarlanmış bir yapay sinir ağı modelidir. Özellikle ses tanıma, zaman serisi analizi ve doğal dil işleme gibi sıralı verilerle çalışan uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır **[Onar, 2020]**.
- Üretken Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Network-GAN): Üretken çekişmeli ağlar, bir eğitim setiyle beslendiğinde, girdilerdeki düzenlilikleri ve yapıları otomatik olarak öğrenebilen ve bu bilgileri kullanarak yeni veri örnekleri oluşturabilen bir modeldir. Bu ağ, küçük değişikliklerle mevcut veri setini taklit edebilir ve yeni içerikler üretme yeteneğine sahiptir **[Onar, 2020]**.
- Transformer Modelleri: Transformer Modelleri, sıralı verilerdeki ilişkileri analiz edip, bağlamı öğrenme kapasitesine sahip yapay sinir ağlarıdır. Kelimeler arasındaki bağıntıları takip ederek dil modelleri ve doğal dil işleme gibi alanlarda üstün performans sergilemektedir **[Open Zeka, 2025]**. Transformer modelleri, ilk kez **Vaswani vd. [2017]** tarafından yayınlanan bir makalede tanımlanmış olup, makine öğrenimi alanında bugüne kadar geliştirilmiş en yenilikçi ve güçlü model

yapılarından biri olarak kabul edilmektedir. Makine öğrenimi alanındaki ilerlemelere öncülük eden bu model yapıları, bazı araştırmacılar tarafından "dönüştürücü AI" (transformative AI) olarak da nitelendirilmektedir [Open Zeka, 2025].

Evrimsel ve Optimizasyon Algoritmaları (Evolutionary-EAs and Optimization Algorithms); evrimsel ilkelere bağlı kalınarak oluşturulan algoritma türleridir [Çetin vd., 2005]. Evrimsel algoritmalar, doğanın canlıları çevrelerine daha iyi uyum sağlayacak şekilde evrimleştirme yeteneği olan Darwinci prensiplerden ilham almaktadır ve temel fikir, mutasyon, seçim ve çaprazlama işlemleri yoluyla bireyin evrimini taklit etmek ve böylece daha iyi bir çözüme ulaşmaktır [Tang vd., 2021]. Optimizasyon algoritmaları ise, belirli bir hedef fonksiyonu optimize etmek için yerel ve küresel arama yöntemlerini kullanmaktadır [Eiben ve Smith, 2003]. Evrimsel yöntemlerde, tek bir çözüm yerine, sürekli olarak yeni çözümleri keşfetmeye ve değerlendirmeye olanak tanıyan dinamik bir süreç söz konusudur [Aksin, 2019]. Şekil 2.18'de evrimsel algoritmaları şematik bir biçimde özetlenmiştir:

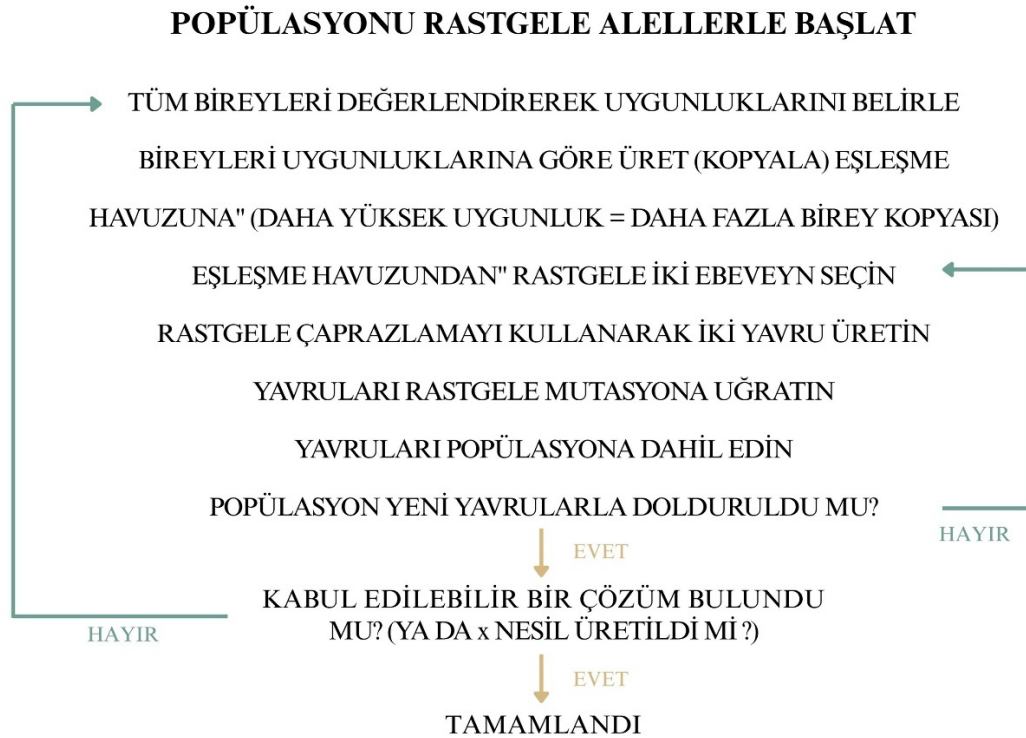


Şekil 2. 18: Üretken Evrimsel Paradigma [Frazer, 2002 kaynağından yazar tarafından oluşturulmuştur].

Evrimsel ve optimizasyon algoritmaları, evrimsel programlama (evolutionary programming-EP), evrimsel stratejiler (evolution strategies-ES), genetik algoritmalar (genetic algorithms-GP), memetik algoritmalar (memetic algorithms), karınca kolonisi

algoritmaları (ant-colony algorithms) ve parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization) gibi temel yaklaşımlarla optimizasyon çözümleri sunmaktadır [Elbeltagi vd., 2005].

Genetik Algoritmalar (Genetic Programming-GP): Genetik algoritmalar, evrimsel süreçleri bilgisayar ortamında simüle eden bir optimizasyon yöntemi olup, aynı zamanda belirli bir problemi çözmek için rastgele arama tekniklerini kullanan bir yaklaşımdır. [Ş. E. Şeker, 2025]. Genetik algoritmaların temel amacı, doğadaki dengeyi taklit ederek yapılı çevrenin sürdürülebilirliğini bu ilkeler doğrultusunda koruyabilmektir [Aksin, 2019]. Bentley ve Corne [2001] genetik algoritmayı, Şekil 2.19' daki gibi açıklamışlardır.

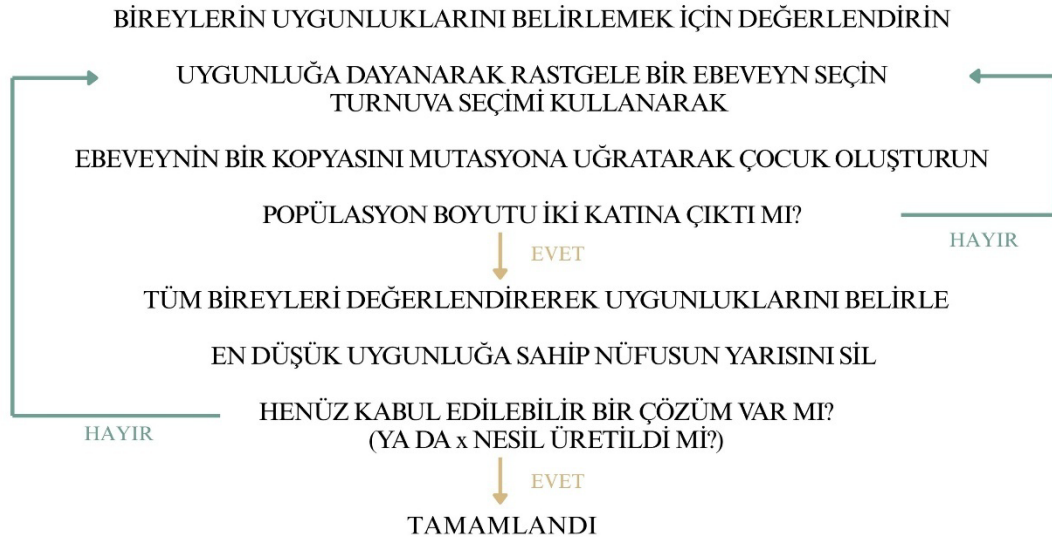


Şekil 2. 19: Basit Genetik Algoritma [Bentley ve Corne, 2001 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Evrimsel Programlama (Evolutionary Programming-EP): Evrimsel programlama, Lawrence Fogel tarafından 1960'ların başında geliştirilmiş ve AI'nın erken dönemlerinde makinelerin zeki davranışlar oluşturarak, evrimi öğrenme sürecinde simüle edebilmesi için önerilmiştir [Bentley ve Corne, 2001], [Eiben ve Smith, 2003]. Eiben ve Smith [2003] göre zeka, bir sistemin davranışını çeşitli ortamlarda,

belirli hedeflere ulaşmak için uyarlama yeteneğidir. Bu tanımda ‘uyumlu davranış’ anahtar bir terimdir ve çevreyi tahmin etme yeteneği bir ön koşul olarak kabul edilmiştir. Evrimsel programlama, modern uygulamalarda sürekli parametre optimizasyonu ve seyahat eden satıcı problemi gibi geniş yelpazede problemlerin çözümü için kullanılmaktadır [Bentley ve Corne, 2001]. Evrimsel programlama, mutasyon tabanlı bir yaklaşım benimsemekte ve genetik algoritmalarından farklı olarak çaprazlama (crossover) operatörünü içermemektedir, bu da algoritmayı belirli problem türlerinde daha verimli hale getirebilmektedir [Fogel, 1995]. Şekil 2.20’ deki tabloda evrimsel programlama algoritması özetlenmiştir.

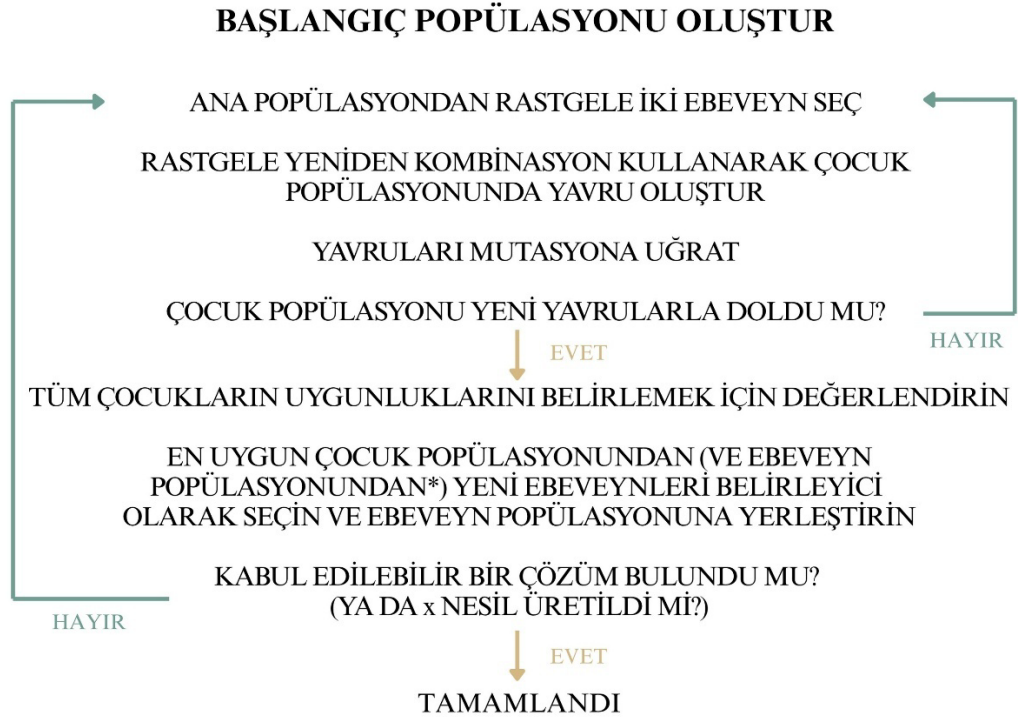
POPÜLASYONU RASTGELE BİREYLER VE BU BİREYLERİN RASTGELE MUTASYONA UĞRAMIŞ VERSİYONLARIYLA DOLDURARAK BAŞLATIN



Şekil 2. 20: Evrimsel Programlama Algoritması [Bentley ve Corne, 2001 yazar tarafından çevrilmiştir].

Evrimsel Stratejiler (Evolution Strategies-ES): Schwefel (1965) ve Rechenberg (1973) tarafından geliştirilen evrimsel stratejiler, akışkanlar dinamiği problemlerini çözmek için deneysel bir optimizasyon yönteminden türetilmiştir [Pétrowski ve Ben-Hamida, 2017]. Evrimsel stratejiler, yeni aday çözümleri oluşturmak için genellikle çok değişkenli bir normal olasılık dağılımını kullanarak rastgele örnekleme yapan optimizasyon yöntemleridir [Hansen vd., 2015]. Algoritmanın tümü şu şekilde çalışmaktadır: İlk olarak, rastgele bir çözüm üretilir ve değerlendirilir, bu çözüm ilk "ebeveyn" çözüm olur. Daha sonra, bu ebeveynden rastgele mutasyonla bir "çocuk"

çözüm oluşturulur ve değerlendirilir. Eğer çocuk çözüm, ebeveynden daha iyi veya eşit çıkarsa, çocuk çözüm ebeveyn olarak alınır ve eski ebeveyn atılır. Aksi takdirde, çocuk atılır ve bu işlem tekrarlanır [Bentley ve Corne, 2001], [Şekil 2.21].



Şekil 2. 21: Evrimsel Strateji Algoritması [Bentley ve Corne, 2001 yazar tarafından çevrilmiştir].

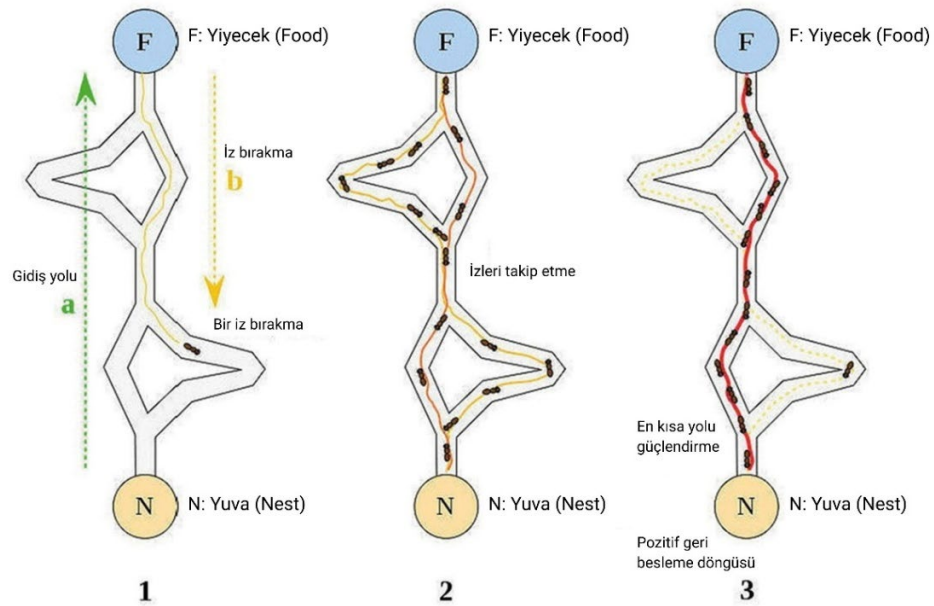
Memetik Algoritmalar (Memetic Algorithms): Memetik algoritmalar problemin bilgilerini çözüm optimizasyonuna dahil etmeleriyle öne çıkmaktadır, dolayısıyla problemin belirli bilgilerini içeren bu yaklaşım, daha önce sunulan yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edebilir [Díez-González vd., 2020]. Memetik algoritmalar aynı zamanda, evrimsel aramayı hızlandırmayı amaçlayan evrimsel algoritmanın uzantısıdır ve ‘Küresel Arama (Global Search)’ ile ‘Yerel Arama (Local Search)’ süreçlerini birleştirerek bu yöntemlerin her birinden bireysel olarak elde edilebilecek sonuçları aşmayı hedeflemektedir [Díez-González vd., 2020]. Yerel arama algoritmaları, çözüm arayışını belirli bir optimum noktaya veya önceden tanımlanmış bir seviyeye ulaştıran yöntemlerdir. Küresel arama algoritmaları ise, yalnızca yerel en iyi çözümlere odaklanmak yerine, bazı durumlarda iyileşme sağlamayan alternatif çözümleri de değerlendirerek daha kapsamlı bir optimizasyon süreci sunmaktadır [Uzuner Şahin, 2021]. İletişim ağlarının tasarımı, makine öğrenimi ve robotik, araç

rotalama problemi, proje çizelgeleme problemi, geleneksel optimizasyon problemleri ve moleküler optimizasyon problemleri gibi problemlerin çözümünde memetik algoritmaların kullanıldığı ve başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [Glover ve Kochenberher, 2003].

Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization- PSO): Parçacık sürü optimizasyonu balık sürüleri ya da kuş sürüleri gibi hayvanların kolektif davranışlarından ilham almaktadır [Pétrowski ve Ben-Hamida, 2017]. Daha genel bir ifadeyle, bu tür kolektif davranışların yalnızca hayvanlar arasında değil, sosyal ilişkilerde olduğu gibi insan toplulukları arasında da gözlemlenmiştir [Kennedy, 2011]. PSO’ da her bir birey, parçacık olarak adlandırılmaktadır ve kendi en iyi deneyimlerini hatırlayarak komşularının en iyi deneyimlerinden faydalanmaktadır; böylece PSO çevresini keşfederek kazancını sürekli artırmaya çalışmaktadır [Pétrowski ve Ben-Hamida, 2017].

Karınca Kolonisi Algoritmaları (Ant-Colony Algorithms-ACS): Şekil 2.22’de tanımlanan karınca kolonisi algoritmalarını, **Tuker vd. [2013]** şöyle açıklamıştır:

Karınca kolonisi algoritmaları, biyolojik karıncaların yiyecek arama davranışlarının model olarak geliştirildiği bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritmalar, her bir karıncayı bireysel bir etmen olarak ele alır ve bu etmenler, olasılıksal olarak kararlar alarak yollar üzerindeki feromon izlerini günceller. Daha kısa yollar, daha yüksek feromon yoğunluğu ile ödüllendirilir ve diğer karıncalar bu yolları takip etmeye teşvik edilir. ACO’ nun temel prensibi, çevresel değişikliklere adapte olma yeteneğinden ve karıncalar arasındaki iletişimden yararlanarak en iyi çözüm yolunun bulunmasıdır [Tuker vd., 2013].



Şekil 2. 22: Karınca Kolonisi Algoritma Prototipi [Liu vd., 2021 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

AI algoritmaları, karmaşık problemleri çözmek, veri analizi yapmak ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için matematiksel ve mantıksal yöntemler sunmaktadır. Bu algoritmalar, gelişen teknolojilerle farklı alanlardaki problemlere adapte olabilir ve süreçlerde daha doğru sonuçlara ulaşılabilir. AI algoritmaları çeşitli sektörlerde yenilikçi uygulamalara olanaklar sağladığı için performans optimizasyonlarında önemli bir role sahiptir.

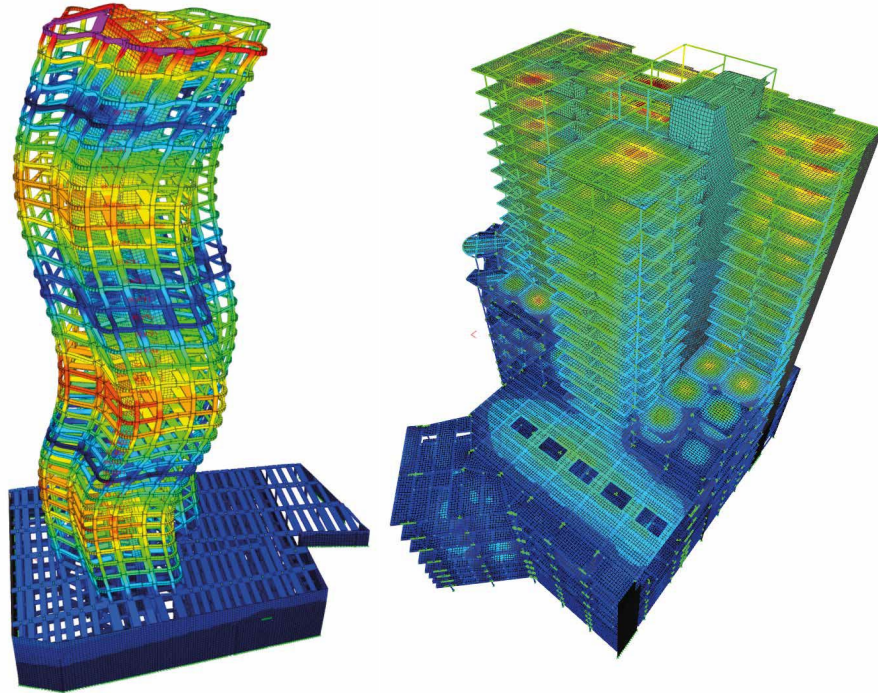
2.4. Mimari Tasarım Süreçlerinde BIM ve AI Kullanımı

2.4.1. Mimari Tasarım Süreçlerinde BIM Kullanımı

Mimari tasarım süreçleri, projenin başlangıcından itibaren konsept oluşturma, mekansal düzenleme ve teknik tasarım aşamalarını kapsayan çok yönlü bir planlama sürecidir [RIBA, 2020]. Tez çalışması kapsamında incelenecek olan aşamalar ise konsept tasarım ve mekansal koordinasyon süreçleridir. Bu süreçlerde BIM, farklı disiplinlerden gelen verilerin bütünlüklü bir modelde toplanmasını ve dijital ortamda etkin bir iş birliği sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Mimari tasarım süreçlerinde, özellikle konsept tasarım aşamalarında, enerji analizi, yapısal analiz, detaylandırılmış tasarım, aydınlatma analizi ve maliyet yönetimi işlevleri için BIM yazılımları sıklıkla kullanılmaktadır [Andrić ve Zheng, 2024].

Enerji Analizi; Krygiel ve Nies [2008], BIM ile enerji analiz çalışmaları yapılırken öncelikle, düzgün hazırlanmış bir BIM modeline ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir; ayrıca çatı ve döşemelerin olmasına dikkat edilmelidir ve duvarlar, çatı ve döşemelere bitişik olmalıdır. Devamında analiz edilecek mekanların, bina geometrisiyle kapatılmış durumda olmasının gerektiğini ve model oluşturulduktan sonra, projenin lokasyonu, bina kabuğu, hacimler belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Daha sonra bu model, günümüzde kullanılan enerji analiz programlarının çoğunluğu ile uyumlu olan gbXML formatında dışarı aktarılır ve enerji analiz programında yeniden açılarak analizler gerçekleştirilmektedir [Türkyılmaz, 2021]. BIM tabanlı bir enerji analizinde arazi ve bina lokasyonu, hava verileri, binanın yönelimi, yer ve bina yüksekliği, bina kat sayısı, bina kullanım türü, bitişik binaların 3 boyutlu geometrisi, analiz edilecek bina için duvar, giydirmeye cephe, çatı, döşeme, temel, pencere, kapı ve gölgeleme elemanlarını içeren 3 boyutlu model, yapı elemanlarının detaylı özellikleri ve sınırları belli edilmiş mekanlar olması gereken girdilerdir [Volk vd., 2014].

Yapısal Analiz; inşaat projelerinde yapı elemanlarının dijital olarak modellenmesi ve yönetilmesi için kullanılan bir süreçtir; bu analizler BIM ile uyumlu program yazılımları (örneğin; Revit, ideCAD) ile yapılmaktadır [Teknoloji İnternet, 2025]. Analiz süreçlerinde kullanılan BIM yazılımları ile, hem mimari hem de yapısal verilerin tek bir birleşik bina bilgi modelinde saklanarak, mimarlar ve mühendislerin sorunsuz bir şekilde bilgi paylaşımı ve tasarım üzerinde iş birliği yapmaları sağlanmaktadır [ideCAD, 2025]. Yapısal analizler, özellikle yapısal mühendislik alanında, yapıların geometrik tasarımı, malzeme bilgisi, yerçekimi, yatay yükler, yapıdaki kuvvetler ve yer değiştirmeleri, yük taşıma kapasitesi ve diğer mühendislik özelliklerinin detaylı olarak modellenmesini sağlamaktadır [Teknoloji İnternet, 2025]. Bu süreç, tüm proje paydaşlarının ortak bir platformda çalışabilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 2.23’ de yapısal analiz sürecinde oluşturulan BIM tabanlı bir yapı modeli örneği yer almaktadır. Bu modelde yapı üzerindeki gerilim ve yük dağılımları renk skalası ile görselleştirilmiştir [ideCAD, 2025].



Şekil 2. 23: Yapısal Analiz Örnekleri [ideCAD, 2025]

Detaylandırılmış Tasarım; tasarımın konsept ve şematik aşamalardan geçtiği, artık tüm teknik ayrıntıların belirlendiği ve inşaatın hayata geçirilmesi için gerekli olan dokümantasyonun hazırlandığı bir süreçtir [Smith ve Tardif, 2020]. Bu aşama,

çakışma analizi (clash detection), malzeme miktarlarının doğru hesaplanması (quantity takeoff), inşaat belgelerinin hazırlanması (construction documentation) gibi işlevleri içermektedir [Smith ve Tardif, 2020].

Aydınlatma Analizi; tasarım sürecinin erken aşamalarında aydınlatma performansını simüle etmek ve analiz etmek için kullanılmaktadır. BIM modelleri, yapı geometrisinin ve malzeme özelliklerinin dijital temsillerini içerdiği için, aydınlatma simülasyonları gerçekçi ve detaylı sonuçlar sağlamaktadır [Volk vd., 2014].

Maliyet Yönetimi; projelerin maliyetlerini planlama, tahmin etme, kontrol etme ve izleme süreçlerini içeren bir disiplindir. BIM tabanlı maliyet yönetimi, yapı elemanlarının dijital temsillerini kullanarak daha doğru ve güncel maliyet tahminleri yapabilmeyi mümkün kılmaktadır [Eastman vd., 2011].

Mimari tasarım sürecinde mekansal koordinasyon aşamaları ise, farklı disiplinlerden gelen yapı bileşenlerinin 3D olarak eş zamanlı modellenmesi, karşılaştırılması ve çakışmaların önlenmesi sürecidir [RIBA, 2020]. BIM, bu aşamada sunduğu bütünlük modelleme yetenekleri sayesinde, disiplinler arası iş birliğini kolaylaştırmakta ve projelerde koordinasyon hatalarının minimize edilmesini sağlamaktadır [Eastman vd., 2011].

Mekansal koordinasyon süreci özellikle mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat (MEP) sistemlerinin mimari ve yapısal bileşenlerle uyum içinde yerleştirilmesini sağlamak açısından öneme sahiptir. BIM yazılımları, çakışma analizi araçları sayesinde, olası çakışma hatalarını önceden belirleyip çözüm önerileri sunmakta, bu sayede saha uygulamalarında yaşanabilecek zaman ve maliyet kayıplarını azaltmaktadır [Volk vd., 2014]. Eastman vd. [2018], mekansal koordinasyonun sadece teknik uyumun sağlanması değil, aynı zamanda proje paydaşları arasında bilgi akışının senkronize edilmesi anlamına geldiğini vurgulamaktadır. Ayrıca mekansal koordinasyon aşamalarında, BIM'in zaman boyutu (4D) entegre bir şekilde kullanılabilir. Çünkü 4D BIM, yapı bileşenlerinin zamanla ilişkili montaj sıralarını ve iş akışlarını dijital ortamda modellemeye olanak tanımaktadır ve sahadaki süreçlerin görselleştirilmesi, planlanması ve yönetimi açısından büyük avantajlar sunmaktadır [Lu vd., 2014]. Sonuç olarak, mekansal koordinasyon aşamasında BIM kullanımının, hem tasarım kalitesini hem de inşaat uygulama doğruluğunu arttırdığı söylenebilir. Ayrıca mekansal koordinasyon aşamalarında kullanılan BIM yazılımları ile, erken tasarımda

oluşabilecek hatalar önceden önlenebilir ve projeler daha verimli bir şekilde yönetilebilir.

2.4.2. Mimari Tasarım Süreçlerinde AI Kullanımı

AI'nin mimari tasarımda nasıl kullanılabileceği çeşitli araştırma ve tez çalışmalarına konu olmuştur [Kayış, 2019]. İlk çalışmalar Chermayeff ve Alexander (1965) tarafından yapılmıştır ve çalışmaları birçok araştırmacıya mimari plan üretmek konusunda ışık tutmuştur. Örneğin Chitchian [1997] mimari kat planlarındaki tasarım problemlerini AI teknikleriyle çözmeye ve kat planlarını otomatik olarak üretmeye çalışmıştır. Daha yakın bir tarihe geldiğimizde, Ruiz-Montiel vd. [2013], makine öğrenimi algoritmalarının bir alt ögesi olan pekiştirmeli öğrenme ile 2 kişinin yaşayabileceği basit bir konut tasarımı için kendi kendine öğrenen bir algoritma geliştirmeye çalışmışlardır.

Saadi ve Yang [2023] ise, AI destekli algoritmaların kullanılmasıyla tasarım alternatifleri oluşturmayı sağlayan üretken tasarım araçlarının, tasarım süreçleri üzerindeki etkilerini, tasarımcı davranışlarını ve ortaya çıkan tasarım sonuçlarını incelemişlerdir. Çalışmada üretken tasarım araçlarının, yaratıcı kullanımla yüksek performanslı sonuçlar elde edilmesine olanaklar sağladığı sonucuna varılmıştır.

AI mimari tasarım süreçlerinde, tasarım karmaşıklığını yönetirken işlevsellik, estetik ve yapısal gereksinimleri de dengeli bir şekilde optimize etmek için yenilikçi çözümler sunduğu bilinmektedir. AI, Figoli vd. [2022] göre tasarım süreçlerinin birçok adımında 'çekici ve gelecek işbirlikçisi' olarak da görülmektedir ve onlara göre AI, tasarım disiplinlerinde ürünün kendisi de olabilir, ürünü tasarlamadaki bir araç da olabilir.

Özellikle son on yıl içinde makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarının kullanıldığı makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme tekniklerindeki gelişmeler mimari tasarımda AI kullanımını birçok farklı alt başlıkta geliştirmek için geniş imkanlar yaratmıştır [Aslan, 2024]. Yine AI'nin bir diğer algoritma türü olan evrimsel ve optimizasyon algoritmaları, mimari tasarım süreçlerinde parametrelerin optimize edilmesi, enerji verimliliği yüksek bina tasarımlarının geliştirilmesi, strüktürel analizler ve mekansal düzenlemelerin iyileştirilmesi gibi pek çok alanda katkılar sağlayabilmektedir. Fakat doğru ve verimli sonuçlar alabilmek için, bilgisayar destekli

programlar ile çalışırken tasarım süreçlerinde karşılaşılan tasarım problemini, tasarım görevlerini ve şartlarını iyi tanımlamak ve yönetmek gerekmektedir [Aslan, 2024].

2.5. BIM ve AI' nın Ortak Özellikleri

BIM proje süreçlerine baştan sona hakim olunabilmesi, proje süreçlerine dahil olan bütün meslek gruplarının iş birliği içerisinde çalışabilmesi, yapı uygulamasının bittikten sonrasındaki kullanım ve işletme maliyetlerinin hesaplanabilmesi için oluşturulmuş bir yazılımdır ve özellikle son yıllarda mimarlık için oldukça önemli bir konuma gelmiştir. [Sanalan, 2022]. Mimarların kullandığı tasarım metotlarının dijital ortama aktarılması ve sayısal tasarım araçları (örneğin; CAD, Revit, Rhino) ile çok daha hızlı ve kolay uygulanabilir hale gelmesi, aynı zamanda yeni formlar üretmek için üç boyutlu destek sunmaları, mimari tasarım sürecini ve anlayışını hızlı bir şekilde dönüştürmeye devam etmektedir [Quirk, 2012]. Yapıların inşa edilmeden önce sanal olarak inşa edilebilmesi ve tasarlanabilmesine yardımcı olan üç boyutlu sayısal tasarım araçları, AI'nın da hızlı gelişimi sayesinde bu teknolojilerle entegre bir şekilde kullanılabilir bir duruma getirilmeye çalışılmaktadır [Sanalan, 2022]. Çünkü AI destekli algoritmaların yardımıyla BIM yazılımlarının kullanılmasının; karar destek sistemleri, otomasyonlar ile süreç iyileştirme, bilgi yönetimi ve disiplinler arası iş birliği, konularında tasarım süreçlerine faydalar sağlayabileceği öngörülmektedir.

Literatürde, yukarıda belirtilen başlıklar altında, BIM ve AI teknolojilerinin ortak işlevsel özelliklerini ortaya koyan ve bu iki sistemin entegrasyon potansiyelini değerlendiren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Barnes ve Davies [2014] BIM'in, tasarım süreçlerinde alınan kararları desteklemek için veri temelli görselleştirme sağladığını, AI'nın ise tahmine dayalı modelleme ile daha doğru ve hızlı kararlar alınmasına katkı sunduğunu ifade etmişlerdir. Quirk [2012] ise BIM'in, üç boyutlu modelleme ile tasarım süreçlerini desteklediğini, AI'nın ise alternatif tasarım varyasyonları üreterek yaratıcı süreçlere katkı sağladığını belirtmiştir.

Otomasyon ve süreç iyileştirme ile ilgili, Matter ve Gado [2024] BIM ile, tasarım ve inşaat süreçlerinde çizelgeleme görevlerinin azaldığını, AI destekli algoritmalar ile çizelgeleme süreçlerinin optimizasyon yazılımları sayesinde otomatikleştiğini belirtmiştir.

Suphavarophas vd. [2024], BIM yazılımları ile yapılan enerji analizlerinin, generatif tasarım yöntemleri ile bina enerji verimliliğini artırmaya yönelik uygulamalarını sistematik bir şekilde incelemiştir. Çalışmada, parametrik arama stratejileri, evrimsel algoritmalar ve derin öğrenme tabanlı farklı otomasyon tekniklerinin, tasarım sürecinde enerji performansını önceliklendiren alternatif çözümleri otomatik olarak üretebildiği belirtilmiştir.

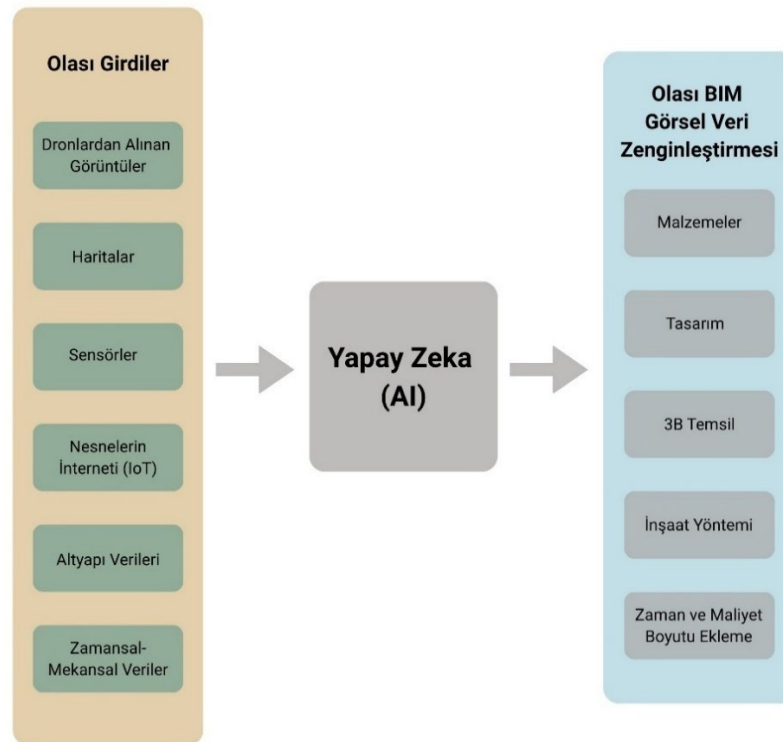
L. Caldas [2008] “GENE_ARCH” adlı evrimsel algoritma tabanlı bir generatif tasarım sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, sürdürülebilir mimarlık hedefleri doğrultusunda tasarım alternatifleri üretmekte ve enerji verimliliği gibi performans kriterlerine göre optimizasyon sağlamaktadır.

Bilgi yönetimi ve disiplinler arası iş birliği konularındaki çalışmalar incelendiğinde **Boechat ve Corrêa [2021]**, BIM’in mühendislik, mimarlık ve diğer disiplinler arasındaki bilgi paylaşımını kolaylaştırdığını, AI’nın ise bilgi akışını optimize ettiğini ve daha verimli koordinasyon sağladığını ifade etmişlerdir. **Holmes [2024]**, AI destekli BIM sistemlerinin gerçek zamanlı güncellemeler ve öngörücü bakım özellikleriyle proje yönetimini nasıl iyileştirdiğini vurgulamaktadır. Bu sistemler, çizelgeleme, kaynak tahsisi ve risk yönetimi gibi alanlarda AI algoritmalarını kullanarak projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, farklı disiplinlerden gelen verileri entegre ederek paydaşlar arasında daha etkili bir iletişim ve iş birliği sağlamaktadır. **Herrera vd. [2020]** ise BIM’in, çakışma tespiti ile disiplinler arası koordinasyonları geliştirdiğini ve buna karşılık AI’nın, verileri analiz ederek proje entegrasyonunu iyileştirdiğini vurgulamışlardır.

Yukarıdaki referanslar doğrultusunda BIM ve AI teknolojilerinin, iş birliği oluşturma stratejisi bakımından ortak özellikleri olduğu görülmektedir. Ayrıca, BIM ve AI sunduğu ortak çözümler ile, mimari tasarım süreçleri daha sürdürülebilir, öngörülebilir ve yaratıcı çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

3. MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDE BIM VE YAPAY ZEKA (AI) ENTEGRASYONU

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimi, mimarlık ve inşaat sektöründe dijitalleşmeyi zorunlu hale getirmiş ve sektörün bu değişime uyum sağlamasını gerekli kılmıştır [Pan vd., 2023]. Dolayısıyla, BIM ile AI arasındaki anlamlı ilişkinin ortaya çıkarılması, mimarlık ve inşaat sektörünün akıllı gelişimini yönlendirmek için önemli kavramlardır. BIM, proje yaşam döngüsü boyunca bilgi sunan zengin bir veri kaynağına sahiptir. AI destekli yazılımlar ise bu verileri anlamlandırarak dijitalleşme sürecini hızlandırmaktadır. Bassir vd. [2023] Şekil 3.1’deki şemada, girdilerin AI ile işlenerek BIM’e aktarıldığını ve çeşitli iyileştirmeler ile çıktıların malzeme seçiminden inşaat yöntemlerine, 3D modelleme süreçlerinden zaman ve maliyet tahminlerine kadar geniş bir yelpazede optimize edildiğini ifade etmişlerdir. Bu süreç, BIM’in daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasını sağlarken, proje yönetiminde doğruluk ve hız kazandırmaktadır.



Şekil 3. 1: BIM Süreçlerinde AI Yazılımları ile İşlenen Bilgiler [Bassir vd., 2023 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Bu bölümde, BIM ve AI entegrasyonunun teorik temelleri açıklanacak ve mimari tasarım süreçlerindeki uygulamaları ele alınacaktır. BIM ve AI entegrasyonunda kullanılan teknolojiler ve araçlar başlığı altında, parametrik tasarım yazılımları, BIM ve AI destekli simülasyon ve optimizasyon araçları ile bulut tabanlı iş birliği platformlarının sektördeki kullanım alanları ortaya konacaktır. Daha sonra, BIM ve AI entegrasyonu ile mimari tasarım süreçlerinin yeniden kurgulanması başlığı altında, karar destek sistemleri, otomasyon odaklı tasarım ve bilgi yönetimi kavramları incelenecektir. Son olarak BIM ve AI entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri araştırılacak ve bu teknolojilerin mimari tasarım süreçlerindeki gelecek öngörülleri tespit edilecektir.

3.1. BIM ve AI Entegrasyonu: Teorik Temeller

BIM, inşaat projelerinin tüm yaşam döngüsünü dijital olarak temsil eden ve çok disiplinli iş birliğine olanak tanıyan bir süreçtir. AI, insan benzeri öğrenme ve problem çözme yeteneklerini taklit eden algoritmalar sayesinde karmaşık veri analizi ve otomasyonu mümkün kılmaktadır. AI ve BIM' in entegrasyonu ise, otonom tasarım modellemesi, otomatik kod uyumluluğu denetimi, süreç takibi ve tasarım performansı kontrolü gibi birçok fırsatlar sunmaktadır [Sacks vd., 2020].

Abioye vd. [2021] inşaat sektöründe dijitalleşmeyi ve otomasyonu en üst düzeye çıkarmak için BIM ve AI teknolojilerinin “Nesnelerin İnterneti (IoT)”, “Akıllı Şehirler”, “Artırılmış Gerçeklik (AR)”, “Blokzincir” ve “Kuantum Bilişim” gibi Endüstri 4.0 araçlarıyla birlikte kullanılmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Nesnelerin İnterneti (IoT), inşaat projelerinde gerçek zamanlı veri toplama ve analiz için sensörler ve akıllı cihazlar kullanılmasını ifade etmektedir [Wei ve Li, 2011]. Örneğin, IoT destekli BIM platformları prefabrik inşaatlarda süreçleri optimize ederken, AI algoritmaları enerji tüketimini izleyip optimize edebilir [Zhong vd., 2017]. Akıllı Şehirler, sensörlerden elde edilen verilerle şehir planlaması, trafik yönetimi ve kaynak dağılımı gibi konularda daha verimli sonuçlar elde edilebilen sistemlerdir [Zhang vd., 2013]. Akıllı Şehir projelerinde, bina ve altyapıların enerji yönetimini ve performansını analiz etmek için AI destekli BIM yazılımları kullanılabilir. Artırılmış Gerçeklik (AR) ve BIM kullanımı ile inşaat süreçlerinde sanal ortamda hatalar önceden tespit edilebilir. Blokzincir Sistemleri, inşaat malzemeleri lojistiğinden proje sözleşmelerinin yönetimine kadar birçok alanda şeffaflık ve güvenilirlik sağlamaktadır

[Ye vd., 2018]. Kuantum Bilişimi, BIM verilerinin analizi, malzeme seçimi, zamanlama ve maliyet tahminleri gibi konularda optimizasyonlar sunarak, AI algoritmalarının daha hızlı ve karmaşık verileri analiz etmesini sağlayabilir. **Abioye vd. [2021]** “Tahmin”, “Zamanlama” ve “İnşaat Sahası Analitiği” konularında da BIM ve AI entegrasyonlarından yararlanılabileceğini belirtmişlerdir. BIM kullanılarak proje maliyet ve süre tahminlerinin yapılabilir. Fakat derin öğrenme kullanılarak daha doğru maliyet ve zaman tahmini konusunda daha doğru sonuçlar elde edilmektedir [Shafiq vd., 2013]. **Abioye vd. [2021]** İnşaat Sahası Analitiği organizasyonları için ise, inşaat sahalarında proje kontrolü, inşaat performans analitiği ve saha yerleşim planlaması yapabilen, AI destekli BIM tabanlı analitik sistem yazılımları ve şantiye bilgisi için AI sohbet botları geliştirilebileceğini vurgulamışlardır.

Mostafa vd. [2023] BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde, tasarım süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli gelişmeler sağlandığını ifade etmişlerdir. Makine öğrenimi teknikleri, optimizasyonları ve dijital asistanlar sayesinde tasarım süreçlerinde, müşteri gereksinimlerine dayalı daha karmaşık veya basit tasarım çözümleri oluşturabilir. Devamında ekipler arası iş birliğinin güçlendirilmesi ile maliyet ve zaman yönetiminin optimize edilmesi konularında da bu teknolojilerin sağladığı faydaları belirtmişlerdir. Ekipler arası iş birliğinin güçlendirilmesi, Autodesk BIM 360 ve BIM Collaborate Pro gibi iş birliği araçların kullanımı ile gerçekleştirilir. Bu araçlar manuel değişikliklere olan bağımlılığı ortadan kaldırarak, ortak modelde bir güncelleme yapıldığında, AI sayesinde diğer ilgili alanlar da otomatik olarak değişmektedir ve ekip üyelerine bu değişiklikler ile ilgili bildirim gönderilmektedir. Maliyet ve zaman yönetiminin optimize edilmesi BIM teknolojileri sayesinde günümüzde daha gerçekçi ve kolay hale gelmiştir. Makine öğrenimi bu süreçleri geliştirerek bütçe izleme, zamanlama ve görev koordinasyonu yollarıyla maliyet ve zaman yönetiminin optimize edilmesine katkılar sağlamaktadır [Mostafa vd., 2023].

Craveiro vd. [2019] BIM' in AI ile entegrasyonunun karar verme süreçlerini, çatışma yönetimini ve yapısal güvenliği iyileştirdiğini belirtmektedir. **Long ve Li [2021]**, BIM'in diğer dijital teknolojilerle entegrasyonunun enerji analizi ve tasarımı optimize etmek için alternatifler önerdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca VR (Sanal Gerçeklik) veya AR (Artırılmış Gerçeklik) ile BIM' in birleştirilmesi, sahada tasarım görselleştirmesi ile karar vermeyi geliştirebilir ve hataları azaltabilir [Afzal ve Shafiq, 2021]. Enerji verimli inşaat süreçleri, düşük enerjili binaların tasarımı ve işletimi için

ise makine öğrenimi ve büyük veri tabanlarının kullanımına odaklanılmaktadır [Itanola ve Whang, 2024].

Abdulfattah vd. [2023] tasarım değişikliklerinin proje maliyeti ve zaman çizelgesi üzerindeki etkilerini öngörmek için, BIM' den üretilen verilere makine öğrenmesi (ML) uygulanmasını sağlayacak yenilikçi bir kavramsal model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen modelin, inşaat projelerinde müşterilere, müteahhitlere ve inşaat yöneticilerine, projelerin erken aşamalarında yapılan tasarım değişikliklerini, değerlendirme ve onay öncesinde potansiyel etkilerinin daha iyi anlama imkanı sunmasını hedeflemişlerdir. Ayrıca projelerin zamanında, bütçe dahilinde ve hedeflenen kalite standartlarında tamamlanması sağlanıp, ML'in BIM tabanlı projelerde uygulanmasının potansiyelini açığa çıkarmak için yöntemler geliştirilmiştir. Devamında sektördeki veri yönetimiyle ilgili mevcut bilgi birikimleri analiz edilmiş ve bu bilgilerin ML modellerine entegrasyonu üzerine stratejiler belirlenmiştir. [Abdulfattah vd., 2023].

Yukarıdaki referanslar doğrultusunda BIM ile AI teknolojilerinin entegrasyonu, inşaat sektöründe dijitalleşmenin ivme kazanmasına olanak tanımakta ve süreçlerin daha etkin, verimli ve uyumlu bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. BIM ve AI entegrasyonu, tasarım kararlarının iyileştirilmesinden proje yönetimi süreçlerine, enerji verimliliği analizlerinden maliyet ve zaman tahminlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde yer alan güncel çalışmalar, AI destekli BIM uygulamaları sayesinde mimari tasarım süreçlerinin daha hızlı, hatasız ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun şekilde geliştirilebildiğini ortaya koymaktadır. Ek olarak, Artırılmış Gerçeklik (AR), Nesnelerin İnterneti (IoT), blokzincir ve kuantum bilişim gibi Endüstri 4.0 bileşenlerinin BIM ve AI ile birlikte kullanımı, inşaat projelerinde karar verme süreçlerini ve saha yönetimini önemli ölçüde geliştirmektedir. Disiplinler arası iş birliğini artıran bu dijital dönüşüm süreci, yapıların yaşam döngüsü boyunca daha sürdürülebilir, ekonomik ve zamanında tamamlanan projelerin ortaya çıkmasına katkı sunmaktadır. Bu bağlamda, BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonunun gelecekte daha da yaygınlaşması ve sektöre yön veren temel dijitalleşme araçları arasında yer alması beklenmektedir.

3.2. BIM ve AI Entegrasyonunda Kullanılan Teknolojiler Araçlar

3.2.1. BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Yazılımları

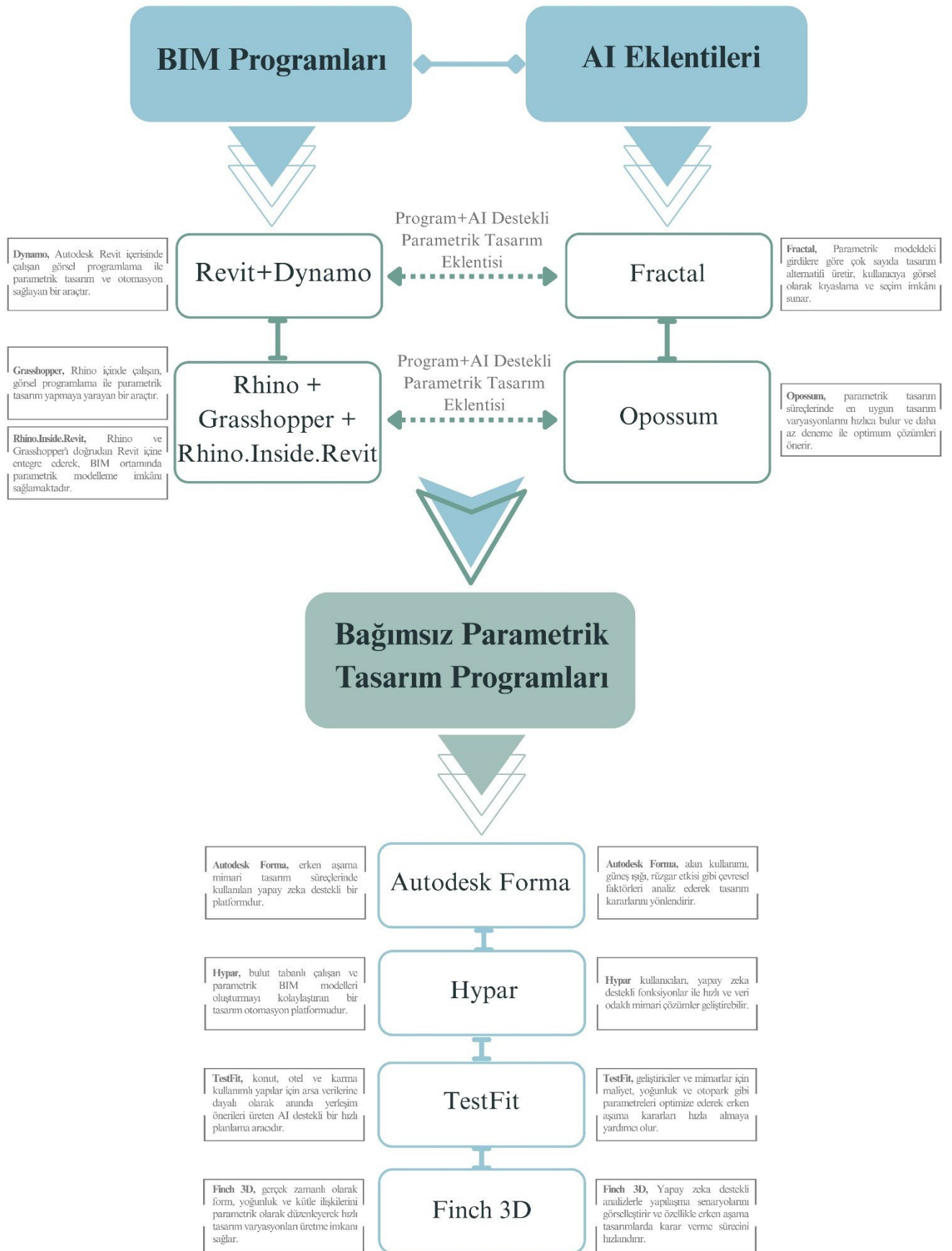
Bilgisayar destekli yazılım araçları, mimarinin üretilme, görselleştirilme, optimize edilme, değerlendirilme ve inşa edilme biçiminde devrim yaratmış ve "parametrikçilik" (parametricism) olarak adlandırılan yeni bir düşünce biçimini ortaya çıkarmıştır [Hamdy vd., 2024]. Parametrik mimarlık, tasarım alternatiflerini simüle etme, nicel faktörler üzerinden değerlendirme ve karşılaştırma imkanı sağlamaktadır [Hamdy vd., 2024]. Özellikle AI'nın metinden görsele üretim yeteneklerinin yükselişiyle, mimari daha deneysel bir alan haline gelmiş; mimarlar farklı tasarım metodolojilerini keşfetme imkanı bulmuştur [Hamdy vd., 2024].

Mimarlıkta hesaplamalı sistemler (computational systems) bilgisayarların gücünden yararlanarak, tasarımı analiz etmek, üretmek, optimize etmek ve algoritmalar kullanarak tasarım süreçlerini yönlendirmek için kullanılmaktadır. Aynı zamanda verilere dayalı tasarım kararları almak (rüzgar, enerji, kullanıcı davranışları gibi faktörleri hesaba katmak), görsel programlama araçlarıyla (Grasshopper, Dynamo vb.) tasarım kurallarını bilgisayara tarif etmek ve çıktılar almak için kullanılmaktadır. Bu sistemler özellikle dijital çağın ilk evresinde, tasarım sürecinde veri odaklı düşünme, parametrik ilişkiler ve algoritmik üretkenliği ön plana çıkararak mimarlık pratiğinde köklü bir değişim yaratmıştır [Oxman, 2006]. Parametrik modelleme ise, hızlı üretim yeteneği ile yalnızca biçimsel bir gösteri değil, aynı zamanda tasarımdaki öğeler arasındaki ilişkileri değiştirme ve değişim geçmişini izleyebilme olanağı da sağlamaktadır [Celanto, 2007]. Bu üç boyutlu yaklaşım, klasik katı modellemeden farklıdır çünkü çeşitli geometri bileşenlerinin birbirleriyle, sayı veya özelliklerle olan ilişkileri üzerine kuruludur. Böylece, sürekli değişen çağdaş mimarlığın karmaşıklıklarına yanıt verebilir [Hamdy vd., 2024].

Parametrik modelleme, bir tasarım alternatifi değil, aktif bir tasarım çözümü sunmaktadır ve farklı parametreler setine dayalı çok sayıda alternatif tasarım çözümü üretebilmektedir [Turrin vd., 2011]. Ayrıca parametrik tasarımda kullanılan yazılımlar, tasarım süreçlerini otomatikleştirmek ve optimize etmek için parametreler aracılığıyla dijital modeller oluşturmaya sağlamaktadır. Stavric ve Marina [2011] parametrik tasarım sürecini iki temel ilkeye dayandırmıştır:

- İlişkisel Modelleme (Associated Modeling): Nesnelerin hiyerarşik işleyişi ve karşılıklı bağımlılıkları üzerine yapı kurma yöntemidir.
- Üretken Modelleme (Generative Modeling): Çoklu 3D mekansal konfigürasyonlar arasından en uygun çözümün seçilmesidir.

BIM teknolojisi ise, mimari veri modelleri ile bilgi modellerini birleştiren ve mühendislik tasarımı, inşaat ve yönetim süreçlerinde kullanılan veri odaklı bir araçtır. Parametreleme işlevi, örneğin Autodesk Revit ile tipik BIM yazılımlarına entegre edilmiştir [Gao vd., 2024]. BIM ile parametrik modelleme, grafiklerin oluşturulma yöntemini yalnızca geometrik kurallara dayandırmak yerine, profesyonel bilgi ve kurallar kullanılarak gerçekleştirilmektedir [Gao vd., 2024]. AI teknolojisinin BIM süreçlerine entegrasyonu ise, parametrik modellemenin yeteneklerini önemli ölçüde genişlettiği ifade edilebilir. Geleneksel BIM yazılımları, belirli parametreler ve kurallar çerçevesinde manuel olarak oluşturulan tasarım ve modelleme süreçlerine dayanırken, AI ile desteklenen BIM sistemleri, verilerin analiz edilmesi, tasarım varyasyonlarının otomatik üretilmesi ve karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi gibi ileri düzey işlevleri mümkün kılmaktadır [Hamdy vd., 2024]. AI, BIM platformlarında parametrik modellemenin dinamikliğini ve adaptasyon kabiliyetini artırmakta; karmaşık yapıların tasarımı, optimizasyonu ve yönetimi süreçlerinde tasarımcılara daha güçlü araçlar sunmaktadır [Gao vd., 2024]. AI algoritmaları, büyük veri kümelerinden elde edilen desenleri analiz edebilmekte, tasarım alternatifleri önerebilmekte ve tasarım sürecinde zaman tasarrufu sağlayarak verimliliği artırmaktadır [Gao vd., 2024]. Bu doğrultuda, günümüz teknolojisinde söz konusu işlevleri gerçekleştirebilen ve parametrik modelleme süreçlerini AI ile entegre ederek tasarım varyasyonları, analiz ve optimizasyon olanakları sunan çeşitli BIM ve AI destekli yazılım ve programlar geliştirilmiştir. Bu programlar, kullanım amaçları ve işlevsel özellikleriyle birlikte aşağıdaki şemada özetlenmiştir. **Şekil 3.2'** de yer alan araçlar, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonunda, parametrik tasarım yazılımlarını farklı işlevlerle destekleyen bileşenler olarak görev almaktadır.



Şekil 3. 2: BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Yazılımları.

Revit-Dynamo ve Rhino-Grasshopper programları parametrik modelleme temelli çalışırken, Fractal ve Opossum eklentileri bu modellere çevresel analiz ve varyasyon üretimi yoluyla AI destekli karar mekanizmaları entegre etmektedir. Diğer yandan, Autodesk Forma, Hypar, TestFit ve Finch 3D bağımsız platformları, BIM verileri ile AI'yı erken tasarım kararlarında birleştirerek bütünsel çözümler sunmaktadır. Bu çeşitliliğin, günümüz dijital tasarım ortamında hem işlevsellik hem de entegrasyon seviyesi açısından farklı kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt veren esnek ve gelişmiş bir araç ekosistemi oluşturduğu ifade edilebilir.

3.2.2. BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Araçları

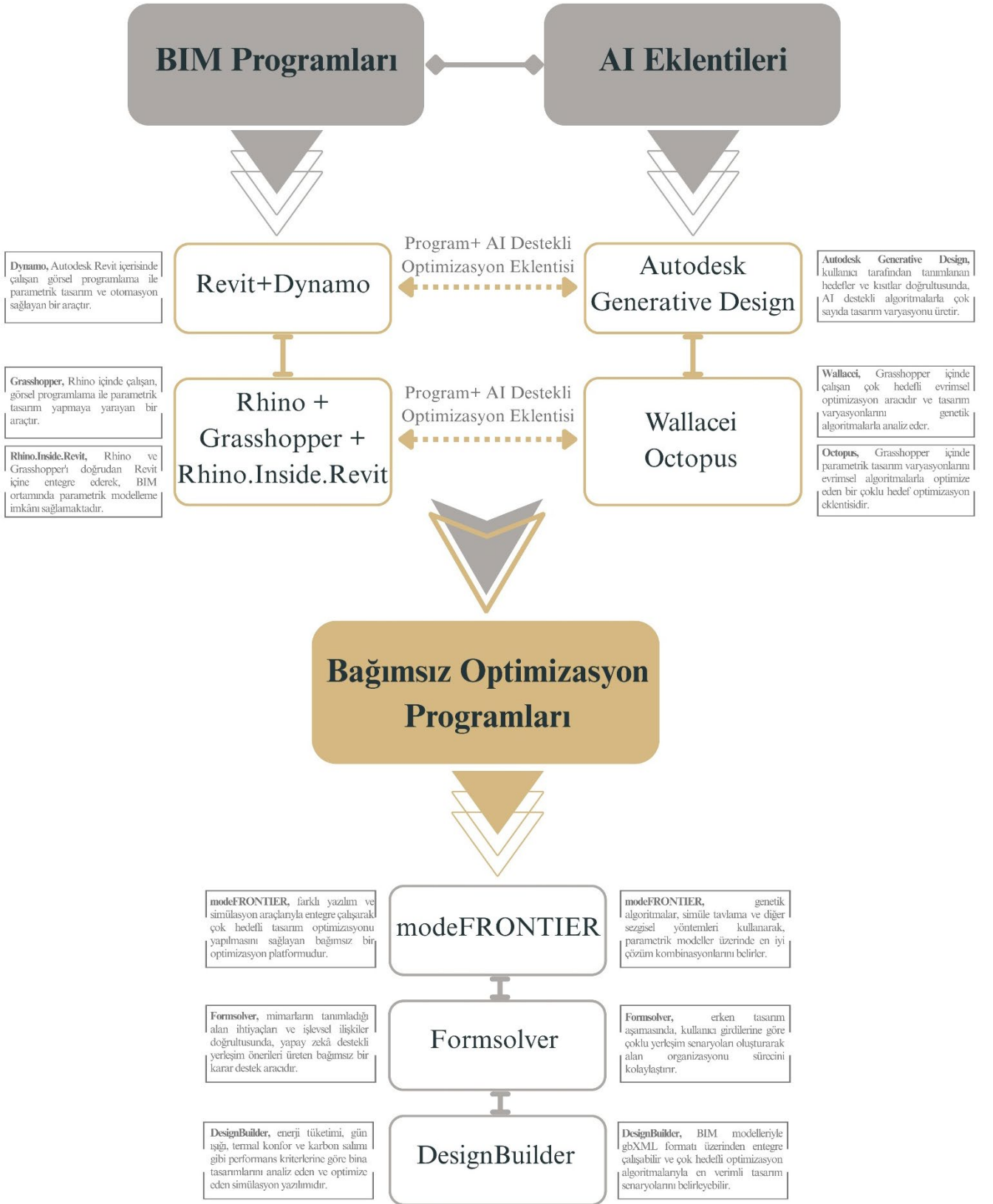
Mimari tasarım süreçlerinde yalnızca biçim üretmek değil, aynı zamanda bu biçimin performansını değerlendirmek de önemli bir tasarım hedefidir [Oxman, 2008b]. Tasarım performansı, mimari tasarımda önemli bir konu olarak görülmekte ve mimarlığın değer sisteminde temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir [Oxman, 2008b]. Mimari tasarım süreçlerinin bir diğer önemli konusu ise, keşif aşamalarında farklı ve potansiyel olarak etkili çözümlerin bulunabileceği alanları belirlemek için, olabildiğince çok sayıda alternatifi incelemektir [Mukkavaara ve Sandberg, 2020]. Ancak bu tür özgün çözümler üretme eylemi oldukça fazla kaynak gerektirebilir. Güçlü tasarım alternatifleriyle sonuçlanan ve tasarım performansının yüksek olduğu bir tasarım süreci oluşturmak için, çözüm yelpazesinin etkin biçimde üretilmesi ve bu çözümlerin performans ölçütlerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir [Oxman, 2008b]. Bu bağlamda son yıllarda optimizasyon yaklaşımlarının, bina tasarımında yaklaşık en iyi çözümleri elde etmek ve tasarım performansı açısından en iyi sonuçlara ulaşmak amacıyla kullanılması, araştırmalarda dikkat çeken bir yaklaşım haline gelmiştir [Evins vd., 2012].

BIM ile entegre çalışan AI destekli optimizasyon araçları, tasarım alternatiflerini çevresel, strüktürel, enerji verimliliği ve kullanıcı davranışı açısından çok boyutlu bir şekilde değerlendirme olanağı sunmaktadır. Bu araçlar, büyük veri kümelerini analiz ederek, tasarımcının hedeflerine en uygun çözümleri önermekte ve karar verme sürecini sayısal temellere dayandırmaktadır [Sacks vd., 2020]. Optimizasyonun temel amacı, tekli veya çok hedefli (pareto solutions) durumda bir tasarım problemine optimal çözümler bulmaktır [Mukkavaara ve Sandberg, 2020]. Yapılan çalışmalarda

çok hedefli optimizasyon yöntemlerinin, yapıdaki enerji tüketimini azaltabildiği ve somut yapı tasarımı problemlerinde başlangıç tasarımlarından daha iyi sonuçlar sunabildiği gösterilmiştir **[Shadram ve Mukkavaara, 2018]**. Dolayısıyla, optimizasyon yöntemlerinin özellikle tasarımın ileri aşamalarında, gereksinimlerin daha net tanımlandığı zamanlarda oldukça etkili olabileceği düşünülmektedir **[Mukkavaara ve Sandberg, 2020]**.

Bununla birlikte, önceki çalışmalar erken tasarım aşamalarında keşif sürecini destekleyecek araçlara da ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur ve bu kapsamda generatif tasarım yaklaşımları önerilmiştir **[Krish, 2011]**, **[V.Singh ve Gu, 2012]**. Generatif tasarım terimi, bilgisayarların hesaplama yeteneklerinden yararlanarak uygulanabilir çözümler üreten ve geniş çözüm uzaylarını keşfetmeyi hedefleyen çeşitli yöntemleri tanımlamaktadır **[V. Singh ve Gu, 2012]**. Generatif tasarımın temel hedefi, zaten bilinen çözümleri yeniden üretmek değil, yenilikçi bulgular sunmak ve tasarımcıların referans çerçevesini genişletmektir **[Shadram ve Mukkavaara, 2018]**. Generatif tasarım sistemleri, parametrik modelleme ile tanımlanan tasarım girdilerine dayanarak, AI algoritmaları (özellikle evrimsel algoritmalar) aracılığıyla yüzlerce hatta binlerce alternatif senaryo üretmektedir **[Wallacei, 2025]**. Bu senaryolar, performans ölçütlerine göre otomatik olarak sıralanabilir ve karar destek sistemleri üzerinden en uygun olanlar belirlenebilir **[Wallacei, 2025]**. Tüm bu yönleriyle generatif tasarımın özellikle konsept tasarım aşamalarında faydalı olduğu vurgulanmaktadır **[Krish, 2011]**.

Bu çerçevede, mimari tasarım sürecini hem keşif hem de performans geliştirme açısından destekleyen optimizasyon ve generatif tasarım odaklı, BIM ve AI destekli sistemler ön plana çıkmaktadır. BIM ve AI tabanlı araçlar, farklı tasarım varyasyonlarını üreterek veya mevcut çözümleri belirli hedefler doğrultusunda optimize ederek, tasarımcıya bilgiye dayalı ve performans odaklı kararlar alma imkanı sunmaktadır **[Sacks vd., 2020]**. Aşağıdaki şemada, yaygın olarak kullanılan BIM ve AI destekli optimizasyon ve generatif tasarım araçları işlevsel özellikleriyle birlikte **Şekil 3.3**'te özetlenmiştir:



Şekil 3. 3: BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Yazılımları.

Yukarıdaki şema incelendiğinde, Autodesk Generative Design, Wallacei ve Octopus yazılımlarının parametrik modeller üzerinden çok hedefli evrimsel algoritmalar kullanarak optimize edilmiş tasarım alternatifleri ürettiği görülmektedir [Autodesk, 2025], [Wallacei, 2025], [Grasshopper, 2025]. Örneğin, Wallacei aracı, kullanıcı tarafından tanımlanan performans kriterlerine göre yüzlerce çözüm varyantını analiz edip ve en uygun seçenekleri ön plana çıkarmaktadır [Wallacei, 2025]. Octopus ise Grasshopper ortamında çalışarak pareto tabanlı çoklu hedef optimizasyon süreciyle tasarım varyasyonlarını sıralamakta ve görselleştirmektedir [Grasshopper, 2025]. Autodesk Generative Design'nın ise Revit ve Dynamo ile entegre biçimde çalışarak, belirlenen hedefler doğrultusunda otomatik çözüm varyasyonları ürettiği ve bunlar arasında karşılaştırmalı analiz yapılmasına olanak tanıdığı belirtilebilir. Diğer yandan, bağımsız çalışan modeFRONTIER, Formsolver ve DesignBuilder platformları, mimari tasarım sürecine entegre edilebilen farklı optimizasyon yaklaşımları sunmaktadır. Tian vd. [2015] modeFRONTIER için, harici simülasyon ve modelleme yazılımlarıyla veri alışverişi yaparak çok hedefli optimizasyon algoritmaları (örneğin genetik algoritmalar, simüle tavlama) üzerinden en uygun çözüm kombinasyonları sunduğunu belirtmişlerdir. Formsolver platformu, AI destekli analizlerle erken aşama yerleşim senaryoları üretmekte ve kullanıcıya veri odaklı karar desteği sunmaktadır; ayrıca Formsolver, tanımlanan işlevsel gereksinimlere göre alternatif plan düzenlemeleri oluşturarak tasarım sürecini yönlendirmektedir [Formsolver, 2025]. DesignBuilder ise entegre enerji simülasyonu ve optimizasyon modülü aracılığıyla, binaların enerji verimliliği, gün ışığı ve ısıtma-soğutma performansı gibi kriterler doğrultusunda parametrik varyasyonları analiz ederek çok hedefli optimizasyon gerçekleştirmektedir [L. G. Caldas ve Norford, 2002], [Tian vd., 2015]. Dolayısıyla şemada sunulan bu araçların her birinin, hem keşif hem de değerlendirme süreçlerini dijital ortamda bütünleştirerek, mimari tasarımda daha bilinçli, veriye dayalı ve performans odaklı kararların alınmasını mümkün kıldığı ifade edilebilir.

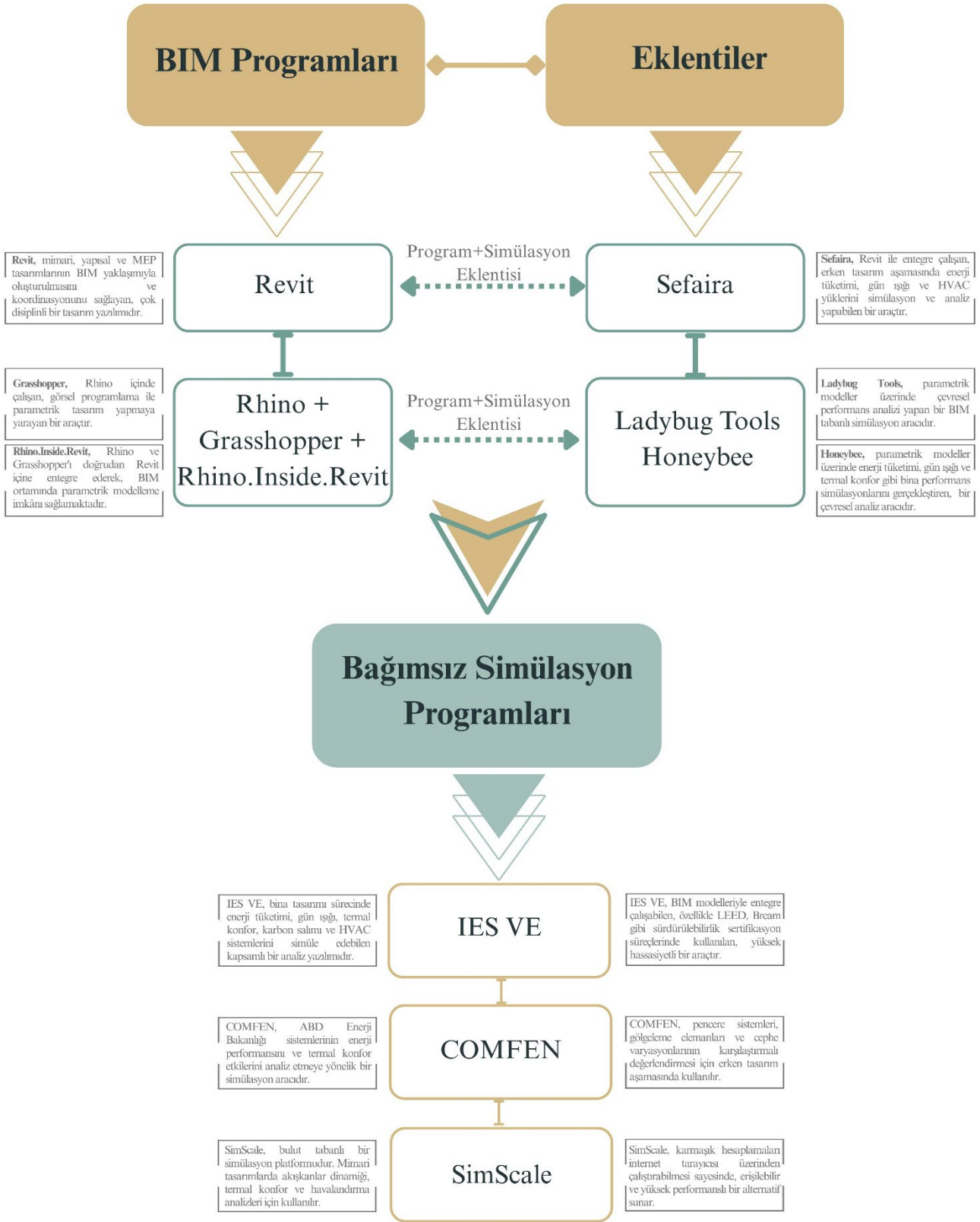
3.2.3. BIM ve AI Destekli Simülasyon Araçları

Mimari tasarım süreçlerinde performans odaklı yaklaşımların önem kazanmasıyla birlikte, simülasyon araçlarının rolü de giderek artmaktadır; çünkü bu araçlar, özellikle erken tasarım aşamasından itibaren, enerji verimliliği ve çevresel duyarlılık gibi kriterler doğrultusunda doğru malzeme ve tasarım kararlarının alınmasına yardımcı

olmaktadır [Ulukavak Harputlugil, 2007]. Özellikle BIM destekli araçlar, mimarların çok boyutlu çevresel verileri (enerji verimliliği, gün ışığı kullanımı, termal konfor, dış mekan mikroiklimi vb). analiz ederek bilinçli tasarım kararları almalarını sağlamaktadır [Fernandez-Antolin vd., 2021].

Bina Performansı Simülasyonu Araçları (Building Performance Simulation Tools-BPS) ile yapının yönelimi, geometrik formu ve dış cephe yüzeyi ile yapı hacmi arasındaki oranlar tasarım aşamasında belirlenebilmekte ve böylece binanın, ısıtma ve soğutma için gereken enerji gereksinimleri önceden hesaplanabilmektedir [Fernandez-Antolin vd., 2021]. Örneğin, açık kaynaklı bir araç olan Ladybug Tools, parametre bazlı geometrik modeller üzerinden mikroklima simülasyonları gerçekleştirebilmekte ve tasarım varyasyonlarını performans çıktılarıyla ilişkilendirmektedir [Paris vd., 2022]. Simülasyonların BIM platformları ile entegrasyonu ise, tasarım sürecini yalnızca geometrik değil, aynı zamanda çevresel performans verileriyle de şekillendirmekte; böylece mimari modellemenin çevreyle daha uyumlu ve veri temelli hale gelmesini sağlamaktadır [Hamedani ve Smith, 2015]. Ayrıca DesignBuilder ve Sefaira araçları, enerji analizi ve optimizasyon süreçlerini Revit programına entegre ederek çok kriterli karar destek mekanizmaları geliştirmektedir [Naboni, 2013], [Fernandez-Antolin vd., 2021]. Simülasyon temelli bu araçların, yalnızca performans ölçümü değil, aynı zamanda yeni tasarım çözümlerinin keşfi ve değerlendirilmesi için de etkin birer araç olarak öne çıktığı ifade edilebilir.

Ek olarak simülasyon araçları, BIM tabanlı veri modelleriyle entegre çalışabilen gelişmiş analiz yeteneklerine sahip olsalar da, doğrudan AI algoritmalarına dayalı çözüm üretme yetisi bulunmamaktadır. Bu araçlar, kullanıcı tarafından tanımlanan parametrik girdiler doğrultusunda performans simülasyonları gerçekleştirmekte, ancak AI araçlarında olduğu gibi öğrenme, varyasyon önerme ya da tahmine dayalı karar üretme fonksiyonları içermemektedir. Şekil 3.4'teki şemada, yaygın olarak kullanılan simülasyon araçları işlevsel özellikleriyle birlikte özetlenmiştir:

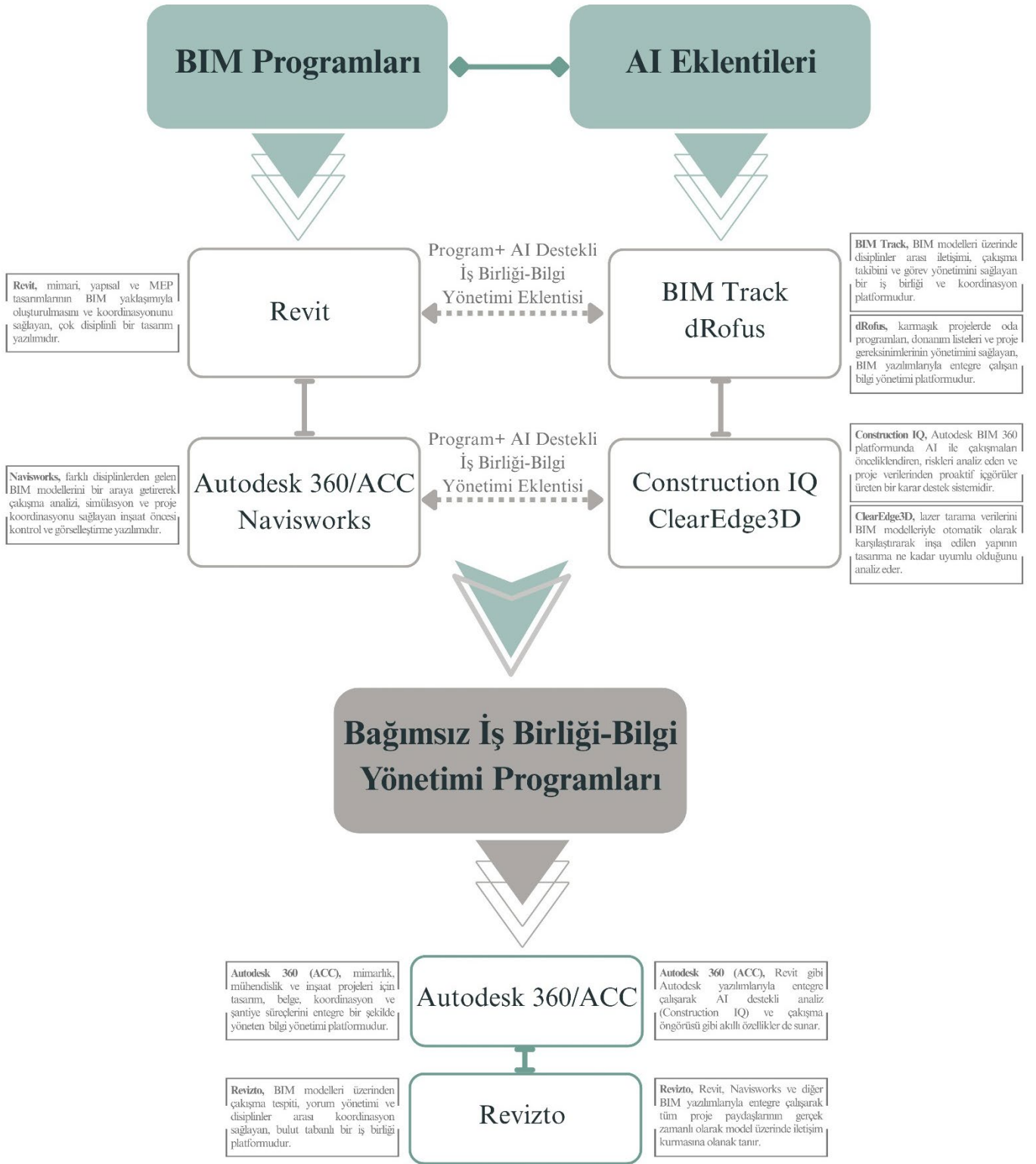


Şekil 3. 4: BIM Destekli Simülasyon Yazılımları.

3.2.4. BIM ve AI Destekli Disiplinler Arası İş Birliği ve Bilgi Yönetimi Platformları

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü, mimari tasarım, mühendislik ve inşaat hizmetlerini içermekte ve bu alanlar, uluslararası düzeyde bilgi, teknoloji ve iletişim ile yakından ilişkili bir biçimde yönetilmektedir [Gerrard vd., 2010]. Bu noktada mimarlık, salt estetik ve işlevsel tasarım üretiminin ötesinde, birçok farklı disiplinin eş zamanlı olarak etkileşimde bulunduğu, bilgiye dayalı bir planlama ve uygulama alanı olarak tanımlanabilir. Fjeldstad vd. [2012], mimarlığı yalnızca fiziksel bir ürünün tasarımıyla sınırlı olmayan, süreç boyunca farklı uzmanlık alanlarının katkısıyla şekillenen, bilgi üretimi ve aktarımıyla iç içe geçmiş bütüncül bir disiplin olarak ele almaktadır. Dolayısıyla, yapının sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi, bilgi akışının düzenli ve erişilebilirliği ile mümkün olabilmektedir. Bu noktada BIM, projeye ilişkin geometrik tasarımları, yapı malzemelerinin teknik özelliklerini, zamanlama planlamalarını ve maliyet analizlerini tek bir dijital platformda organize ederek, farklı disiplinlerin ihtiyaç duyduğu bilgilere doğru, güncel ve kolay erişim sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu sayede, proje sürecinde veri bütünlüğü korunmakta, iş birliği güçlenmekte ve karar alma süreçleri daha verimli hale gelmektedir [Succar vd., 2013].

Mimari tasarım süreçlerinde disiplinler arası iş birliğinin yanı sıra, bu iş birliklerinin doğru bilgiyle yönetilmesinin de önemli olduğu söylenebilir. Scully ve Khosrowshahi [2010] bilgi paylaşımının etkili olabilmesi için bilgi yönetimi sistemlerinin sistematik şekilde uygulanması gerektiğini ve bunun ekipler arasında ortak anlayışı güçlendirdiğini belirtmiştir. Özellikle, disiplinler arası iş birliğini güçlendiren ve bilgi yönetimini etkinleştiren teknolojik araçların işlevsel yapılarının incelenmesi, süreçleri anlamlandırmak açısından önemli olduğu ifade edilebilir. Bu doğrultuda, aşağıdaki şemada, yaygın olarak kullanılan BIM ve AI destekli disiplinler arası iş birliği ve bilgi yönetimi platformları işlevsel özellikleriyle birlikte Şekil 3.5'te özetlenmiştir:



Şekil 3. 5: BIM ve AI Destekli Bulut Tabanlı ve Yerel Merkezi Veri Senkronizasyonu Sağlayan İş Birliği Yazılımları.

Yukarıdaki şema incelendiğinde AI destekli BIM yazılımlarının geliştiği ve bu yazılımlar sayesinde tasarım sürecine katılan farklı disiplinlerin aynı platform üzerinden etkileşim kurarak karar süreçlerinde aktif olarak rol aldığı ifade edilebilir. Bu bağlamda, BIM ve AI teknolojilerinin kullanıldığı mimari tasarım süreçlerinin; yalnızca model üretimine değil, aynı zamanda çakışma öngörüsü, bilgi senkronizasyonu, disiplinler arası iş birliği ve iletişime dayalı bir yapıya evrileceği öngörülmektedir.

3.3. BIM ve AI Entegrasyonu ile Mimari Tasarım Süreçlerinin Yeniden Kurgulanması

AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonu, tasarım düşüncesini yeniden şekillendiren kapsamlı bir dijital dönüşüm olarak değerlendirilebilir. Çünkü AI, tasarım sürecini dönüştürerek BIM teknikleriyle bütünleştirmekte ve gerçek zamanlı analiz ile optimizasyonlara olanak tanımaktadır [Almaz vd., 2024]. Ayrıca, BIM ile entegre edilebilen AI teknolojileri, farklı senaryoları değerlendirme, maliyet ve enerji verimliliği konusunda anında geri bildirim sağlama kapasitesi ile tasarım kalitesini ve süreç verimliliğini artırmaktadır [Almaz vd., 2024].

Tez çalışması kapsamında, mimari tasarım süreçlerinin konsept tasarım ve mekansal koordinasyon aşamalarında, BIM ve AI entegrasyonunun tasarım stratejilerine nasıl etki ettiğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda belirtilen süreçlerde, BIM ve AI destekli sistemlerin analiz yeteneklerinin karar verme süreçlerine katkısı değerlendirilecektir. Ayrıca, otomasyona dayalı tasarım yaklaşımlarının tasarım varyasyonu üretimi üzerindeki etkisi ile disiplinler arası bilgi paylaşımı, yapısal analiz ve enerji modelleme süreçleri bilgi yönetimi bağlamında ele alınacaktır. Böylece literatürde yapılan incelemeler doğrultusunda, geleneksel tasarım yaklaşımlarından farklı olarak, AI destekli BIM sistemleriyle geliştirilen yeni tasarım paradigmalarının nasıl şekillendiği tespit edilecektir.

3.3.1. BIM ve AI Entegrasyonu ile Karar Verme Süreçleri

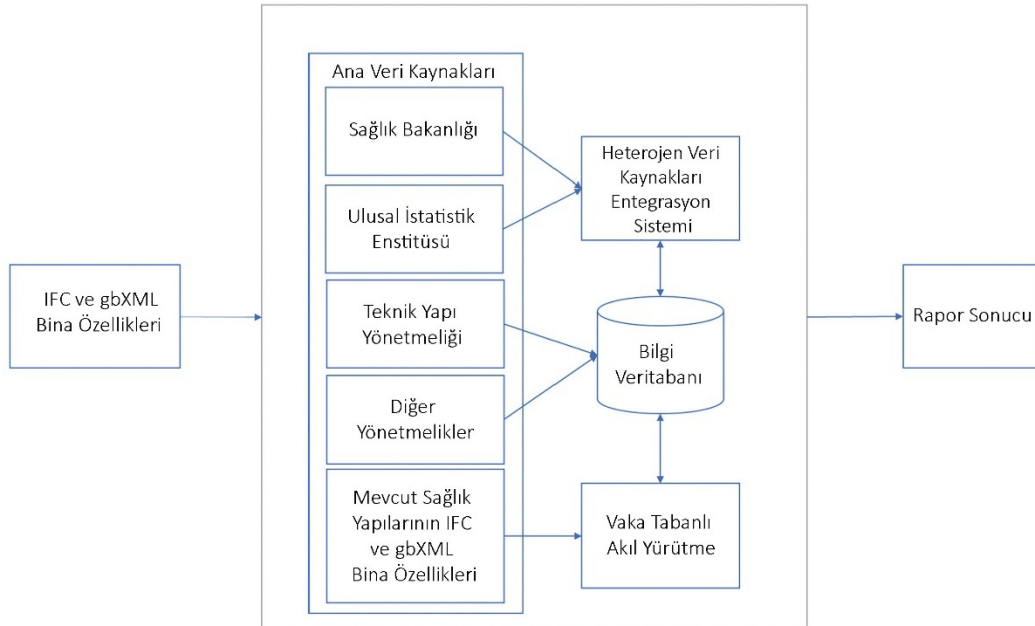
Karar verme süreçleri, birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda, kararın amacı ve kullanım bağlamına uygun olarak mantıklı ve sistemli bir yapı oluşturulmasını gerektirmekte ve bu yapı, kararın etkinliğini artırmada önemli bir avantaj sağlamaktadır [Rajagopalan vd., 2021]. Çoklu kriterler üzerinden karar verme

yöntemi, ilk kez Myers ve Alpet tarafından ortaya konulmuş ve bu yöntem “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)” olarak tanımlanmıştır **[Hündal, 2024]**. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, karar problemini hiyerarşik adımlara ayırarak her bir basamağı matematiksel analizlerle değerlendirmeye olanak tanımakta ve bu sayede mutlak bir doğruya ulaşmak yerine, belirlenen amaç doğrultusunda en uygun çözüm seçeneği belirlenmektedir **[Hündal, 2024]**. Thomas Saaty tarafından geliştirilen “Analitik Ağ Süreci (AAS)” ise diğer bir karar verme yöntemidir ve temelde AHS yönteminin genişletilmiş bir versiyonudur **[Hündal, 2024]**. Analitik Ağ Süreci (AAS), karmaşık sistemlerdeki öğeler arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri anlamak için kullanılmaktadır ve bu ilişkiler, ağırlıklı matrisler yardımıyla matematiksel olarak analiz edilmektedir **[Saaty, 2004]**. Tanımlanan karar verme yöntemleri, matematiksel verilere dayanan durumlarda geliştirilen bilgisayar yazılımlar aracılığıyla uygulanabilmektedir; ancak, sınırları ve kapsamı net olmayan mimari tasarım süreçlerinde, mevcut veri odaklı çoklu karar verme yaklaşımlarının yeterli olmadığı ifade edilebilir **[Hündal, 2024]**. Bu noktada, BIM ve AI teknolojilerinin sunduğu olanaklar, belirsizlik içeren tasarım süreçlerinde karar verme mekanizmalarının geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Parametrik modelleme, simülasyon ve optimizasyon tabanlı çeşitli yazılımlar sayesinde, mimari tasarıma özgü çoklu kriterli karar destek sistemleri oluşturulmakta ve bu sistemler, tasarım sürecinin bilgiye dayalı ve öngörülebilir şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır **[Pan vd., 2023]**, **[Sacks vd., 2020]**, **[Hündal, 2024]**.

Mimari tasarım süreçlerinin, teknik, estetik ve işlevsel unsurların bir arada değerlendirildiği çok boyutlu karar verme süreçlerini içerdiği ifade edilebilir. Geleneksel yöntemlerde kararlar, çoğunlukla mimarın bireysel deneyimi, estetik anlayışı ve bağlamsal yorumlarına dayanarak alınmakta; problemler ise çözüm önerileri üzerinden yeniden tanımlanarak şekillenmektedir **[Lawson, 2005]**. Ayrıca tasarım süreci boyunca analiz, sentez ve değerlendirme adımlarından oluşan döngüsel bir yapı izlenmekte, kararlar deneme-yanılma yöntemiyle sürekli olarak gözden geçirilmekte ve gerektiğinde revize edilmektedir **[Wardah ve Khalil, 2016]**. Ancak bu geleneksel karar verme yaklaşımı, belirsizliklerin yoğun olduğu durumlarda sürecin öngörülebilirliğini azaltmakta ve zaman yönetimini zorlaştırabilmektedir **[Durak vd., 2024]**. Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi ve AI destekli BIM yazılımlarının geliştirilmesi sayesinde, karar verme süreçlerinde mimarlar daha güvenilir ve hesaplanabilir kararlar alabilmektedir. Çünkü, BIM olay günlüklerinden elde edilen

büyük veri, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak analiz edilebilir ve bu sayede tasarım komutları önceden tahmin edilebilir [Pan ve Zhang, 2023].

Literatürde, mimari tasarım süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilen, AI destekli ve BIM ile entegre edilebilen karar destek sistemi uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Örneğin, Guerrero vd. [2022] tarafından geliştirilen ve Şekil 3.6’da sunulan karar destek sistemi, sağlık yapılarının erken tasarım aşamalarında kullanılmak üzere vaka tabanlı akıl yürütme (Case-Based Reasoning-CBR) ve pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning-RL) algoritmalarını bir araya getirmiştir. Bu sistem, geçmiş projelerden elde edilen BIM olay günlüklerini kullanarak tasarımcının davranış kalıplarını analiz etmekte ve yeni projelerde karşılaşılabilecek benzer tasarım durumları için öneriler sunmaktadır. Böylece, mimarlar hem zaman tasarrufu sağlamakta hem de belirsizlik içeren karar süreçlerini daha verimli yönetebilmektedir [Guerrero vd., 2022].



Şekil 3. 6: Karar Destek Sisteminin Genel Mimarisi [Guerrero vd., 2022 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Alavi vd. [2024] sağlık tesislerinin yerleşim planlamasını optimize etmek amacıyla AI algoritmalarını, BIM ve dijital ikiz teknolojileriyle entegre eden bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

algoritması kullanılarak farklı yerleşim senaryoları üretilmiş, bu senaryolar BIM ortamında 3D olarak modellenmiş ve dijital ikiz desteğiyle gerçek zamanlı olarak analiz edilmiştir. Sistem, yerleşim planlarının işlevsellik, dolaşım, erişilebilirlik kriterleri doğrultusunda optimize edilmesine olanak tanımaktadır [Alavi vd., 2024].

Juan vd. [2021], sanal gerçeklik (VR) teknolojisini kullanarak geliştirilen etkileşimli bir ofis tasarım karar destek sistemi örneği sunmuşlardır. Bu sistem, kullanıcıların sanal ortamda ofis düzenlerini görselleştirerek farklı yerleşim alternatiflerini deneyimlemesini sağlamak ve geri bildirimlere göre tasarım kararlarının şekillenmesini mümkün kılmaktadır [Juan vd., 2021]. Bu sayede, VR ortamında kullanıcıların deneyimlediği tasarım alternatifleri BIM modeliyle entegre edilerek, tasarımın her aşamasında veriye dayalı, görselleştirilmiş ve senaryoya göre değişebilen kararlar alınabilir. **Bakhoun ve Brown [2015]**, sürdürülebilir yapısal malzeme seçimine yönelik bir karar destek sistemi tasarlamışlardır. Sistem, çevresel etkiler, maliyet ve dayanıklılık konularında sürdürülebilirlik kriterlerine göre farklı yapı malzemelerini analiz ederek, kullanıcıya çevresel etkileri minimize eden tasarım alternatifleri önermektedir [Bakhoun ve Brown, 2015]. **Bakhoun ve Brown [2015]** geliştirdiği karar destek sistemi BIM ile entegre edildiğinde, sürdürülebilir malzeme seçimi süreçleri daha kapsamlı ve etkili bir araç haline gelebilir. **Rahman vd. [2012]**, çatı kaplama malzemelerinin seçiminde kullanılmak üzere bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde, AI destekli maliyet modelleme teknikleri uygulanmış, farklı malzeme seçenekleri arasında maliyet, performans ve sürdürülebilirlik kriterlerine dayalı en uygun tercihin yapılmasına yardımcı olunmuştur. Bu tür sistemler, BIM ortamına entegre edildiğinde, mimari tasarım süreçlerinde çok kriterli karar verme gerektiren malzeme seçimi ve optimizasyon problemlerine rasyonel, sistematik ve veriye dayalı çözümler sunarak tasarım kalitesinin ve öngörülebilirliğin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır [Rahman vd., 2012].

K. S. Liu vd. [2012] tarafından geliştirilen bulanık AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) tabanlı karar destek modeli ise, konutlarda enerji verimliliği stratejilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu model, çok sayıda belirsiz ve nitelikli kriterin bir arada ele alınmasını mümkün kılmakta ve enerji tasarrufunu artırmaya yönelik rasyonel tasarım kararlarının alınmasına destek olmaktadır [K. S. Liu vd., 2012]. Bulanık AHS tabanlı karar destek modeli, BIM ile entegre edildiğinde konutlarda enerji verimliliği stratejilerinin değerlendirilmesinde daha bütüncül, etkili ve veriye dayalı bir çözüm aracı olarak kullanılabilir.

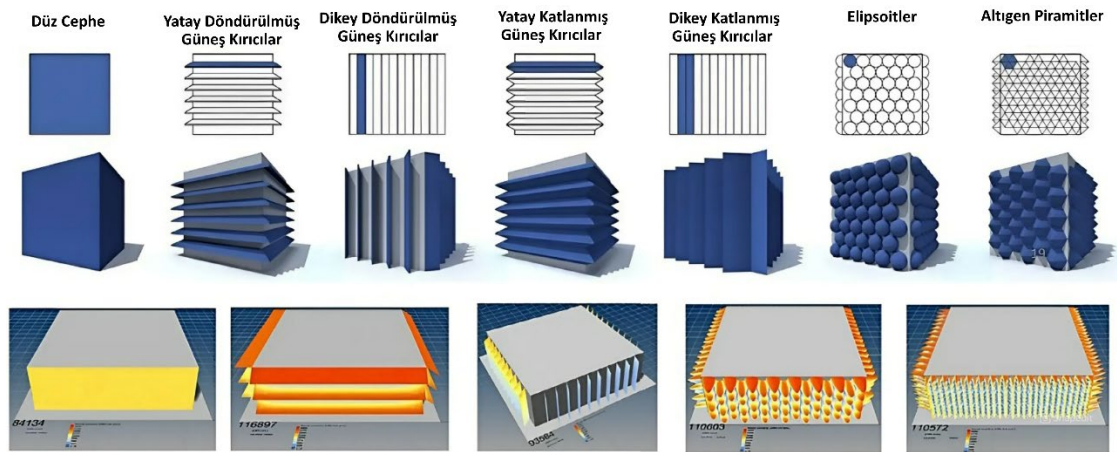
Bu bağlamda, mimari tasarım süreçlerinde belirsizlik, çok kriterli değerlendirme gereklilikleri ve kullanıcı odaklı çözüm üretme ihtiyacı, geleneksel karar verme yaklaşımlarının yetersiz kaldığı noktaları ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, AI destekli karar destek sistemleri ile BIM entegrasyonunun, tasarım sürecine sistematik, esnek ve veriye dayalı bir yaklaşım kazandırdığı; ayrıca tasarım kalitesini ve kararların öngörülebilirliğini arttırdığı ifade edilebilir. Bu kapsamda geliştirilen sistemler, mimari tasarımın yaratıcı yönünü ve performans odaklı boyutunu güçlendirmekte, böylece daha bilinçli, etkili ve sürdürülebilir tasarım kararlarının alınmasını mümkün kılmaktadır.

3.3.2. BIM ve AI Entegrasyonu ile Otomasyon Odaklı Tasarım

Mimari tasarım süreçlerinin güçlü ve yaratıcı alternatiflerle sonuçlanabilmesi için, uygulanabilir çözüm seçeneklerinin geniş bir yelpazede ve verimli bir biçimde üretilmesi, temsil edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir **[Krish, 2011]**. Bu bağlamda, maliyet, enerji verimliliği ve karbon salınımı kriterleri açısından en iyi sonuçları verecek bina tasarımları elde etmek için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır **[Mukkavaara ve Sandberg, 2020]**. Optimizasyonun amacı, bir tasarım problemine optimal bir çözüm bulmaktır. Bu nedenle, optimizasyon uygulamalarında daha çok kullanım yönüne ağırlık verilmekte ve mevcut tasarımların benzer çözümlerle sonuçlanma olasılığı arttırılmaktadır **[Mukkavaara ve Sandberg, 2020]**.

Çoklu hedefli optimizasyon yöntemlerinin uygulanması ile, yapıların yaşam döngüsü ve enerji verimliliği performans kriterlerine yönelik, erken evre tasarım süreçlerinde daha etkili ve üstün çözüm alternatifleri sunulabileceği ortaya konmuştur. **[Shadram ve Mukkavaara, 2018]**. Ayrıca önceki araştırmalar, erken evre tasarım süreçlerinde keşif yönünün de desteklenmesi gerektiğini ve bunun generatif tasarım (üretken tasarım) yaklaşımlarıyla gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir **[Gerber ve Lin, 2014, Singh ve Gu, 2012]**. Generatif tasarım, ürün tasarımcılarına uygulanabilir çözümler üretmede yardımcı olmayı amaçlayan çeşitli yöntemleri tanımlamak için kullanılan bir terimdir; bu yöntemlerin temel hedeflerinden biri de daha geniş çözüm uzaylarını keşfetme kapasitesidir **[V. Singh ve Gu, 2012]**. Diğer bir deyişle, generatif tasarımın amacı, zaten bilinenleri tekrar etmektense, yenilikçi bulgular sağlamaktır, böylece tasarımcıların referans çerçeveleri genişletilebilir.

Mimari tasarım süreçlerinde generatif tasarım uygulamaları, AI destekli algoritmaların BIM ortamına entegre edilmesiyle birlikte mümkün hale gelmiştir. Literatürde, generatif tasarım tekniklerinin çok çeşitli yöntemlerle uygulanabildiği görülmektedir. **V. Singh ve Gu [2012]**, L-sistemleri, hücresel otomata, genetik algoritmalar, sürü zekası ve biçim dilbilgisi kavramları ile beş temel generatif yaklaşımı incelemiş ve her birinin farklı tasarım problemleri için farklı avantajlar sunduğunu belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, generatif tasarım sistemlerinin esnek olması ve kullanıcıya süreç boyunca kontrol yetkisi tanınması gerektiği vurgulanmıştır. BIM ortamında generatif sistemlerin uygulanabilirliğini ortaya koyan örneklerden biri **Abrishami vd. [2014]** tarafından sunulmuştur. Araştırmada, BIM ile entegre çalışan bir generatif tasarım çerçevesi geliştirilmiş ve bu sistemin, bilgiyi tasarım çözümlerine entegre ederek yaratıcı keşfi teşvik ettiği belirtilmiştir. **Freitas ve Brito [2015]**, farklı cephe yerleşimlerinin yıllık güneş ışınlamı üzerindeki etkilerini analiz ederek, bina cephelerine entegre fotovoltaiik (BIPV) sistemlerin elektrik üretim potansiyelini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamışlardır [Şekil 3.7]. Çalışmada, Rhinoceros ve Grasshopper yazılımları kullanılarak düz yüzeyler, yatay ve dikey güneş kırıcılar, elipsoidler ve piramitler olmak üzere beş farklı cephe geometrisi modellenmiştir. Ardından, bu yüzeylerin yıllık güneş ışınlamı hesaplanmış, cephe elemanlarının eğim ve yönelimleri optimize edilmiştir.



Şekil 3. 7: İncelenen Cephe Düzenleri ve Bunlara Ait Işınım Simülasyonları [Freitas ve Brito, 2015 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

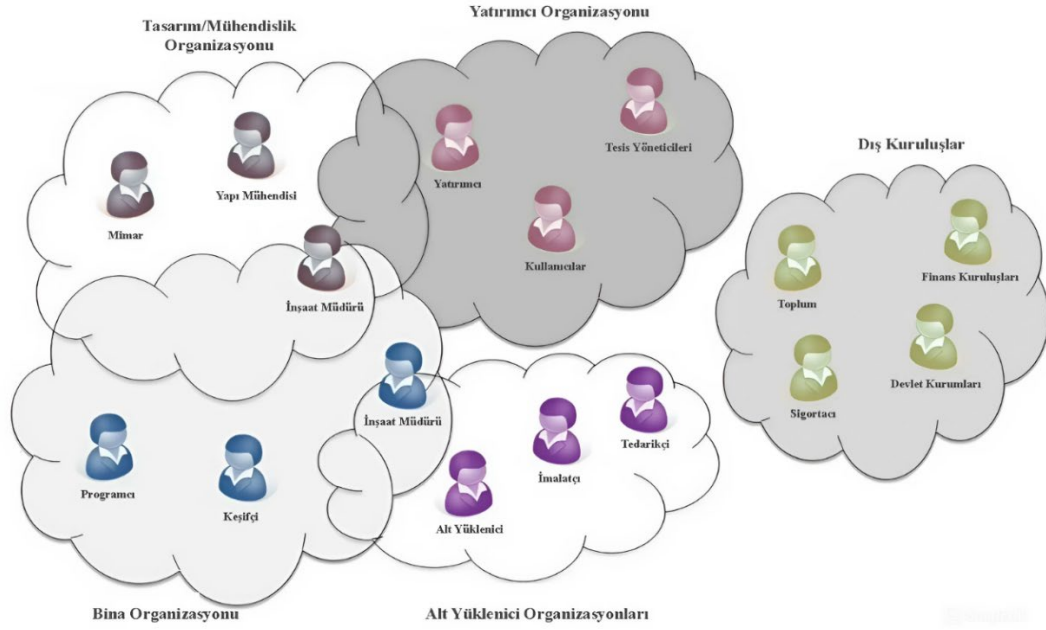
Benzer şekilde, **Vahdatikhaki vd. [2022]**, fotovoltaiik modül yerleşimlerinin optimizasyonunu amaçlayan BIM tabanlı bir generatif sistem önermişlerdir.

Çalışmada, BIM modellerindeki yüzey verileri kullanılarak çevresel koşullar dikkate alınmış ve bu veriler generatif algoritmalara aktarılmıştır. **Gerber ve Lin [2014]**, parametrik modelleme ile çok hedefli optimizasyonu bir araya getirerek, enerji verimliliği ve maliyet analizlerini aynı anda içeren bina tasarım senaryoları üretmişlerdir. Bu yaklaşımın, kullanıcıların birden fazla kriteri dikkate alarak daha bilinçli kararlar vermesine olanak tanıdığı ifade edilebilir.

Bu kapsamda, BIM ortamında AI algoritmaları ile desteklenen generatif tasarım yaklaşımlarının, kapsamlı ve yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca erken evre tasarım aşamalarında, özellikle enerji verimliliği, karbon salınımı ve maliyet konularında, çoklu performans kriterlerini dikkate alan sistemlerin, tasarımın kalitesini arttırdığı ve karar verme süreçlerini rasyonelleştirdiği ifade edilebilir. Literatürde yer alan çalışmalar, parametrik modelleme, genetik algoritmalar ve diğer generatif tasarım yöntemlerinin, BIM ortamında başarıyla uygulanabildiğini ortaya koymakta, böylece dijital araçların mimarlık disiplinine stratejik katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, otomasyon odaklı tasarım anlayışı, tasarımcının yaratıcı kapasitesini destekleyen ve geliştiren bir iş birliği süreci olarak değerlendirilebilir.

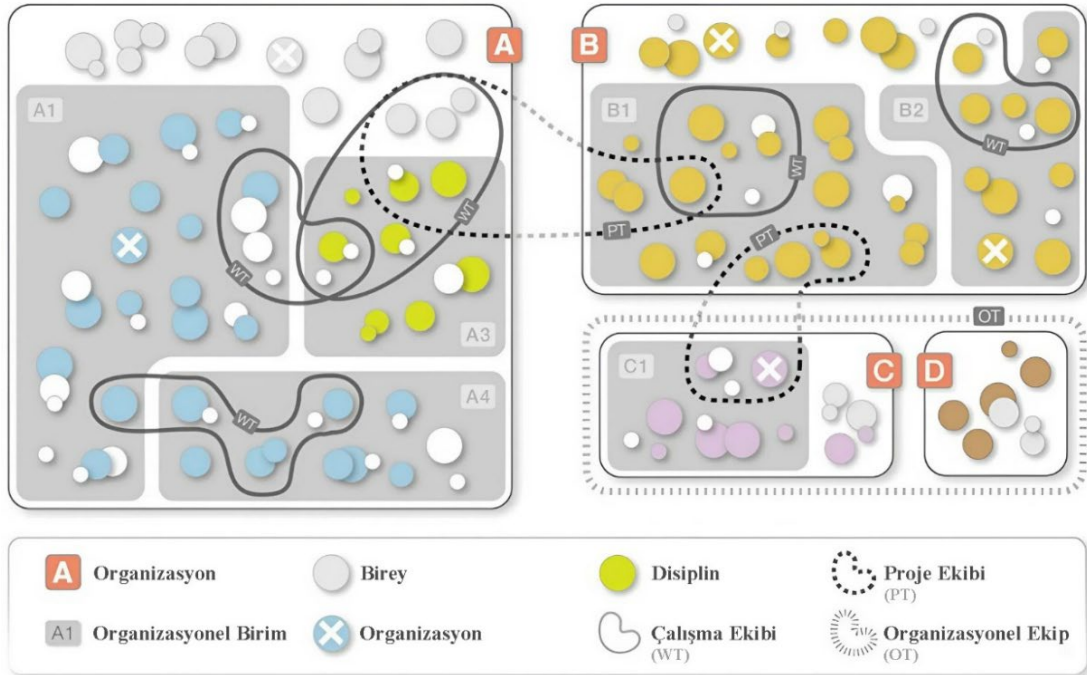
3.3.3. BIM ve AI Entegrasyonu ile Bilgi Yönetimi

Bilgi yönetimi, yapıların tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde üretilen verilerin dijital ortamda entegre biçimde işlenmesini ve bu süreçlerde farklı disiplinlerin birlikte çalışmasını sağlayan bir sistem olarak tanımlanabilir [**Yaman ve İlhan, 2010**]. **Krygiel ve Nies [2008]** mimari tasarım sürecinin bir parçası olan bilgi yönetimini, işlenebilir ve uyumlu verileri analiz eden, parametrik tasarım olanakları sayesinde karar alma süreçlerini yönlendiren ve tasarıma yön veren dinamik bir yönetim sistemi olarak tanımlamıştır. Özellikle büyük ölçekli ve karmaşık projelerde, birçok değişken verinin farklı disiplinler tarafından yönetilmesi oldukça önemli bir konudur [**Öz, 2024**]. Bu bağlamda bilgi yönetimi, tasarım kalitesinin artırılması, disiplinler arası iş birliğinin sağlıklı biçimde yürütülmesi ve verilerin sistemli bir şekilde yönetilmesi için kritik bir rol üstlenmektedir [**Öz, 2024**]. **Şekil 3.8**'de gösterilen disiplinler arası organizasyonel yapı, **Eastman vd., [2008]**'nin tanımladığı şekilde, farklı uzmanlık alanları arasında etkili bir iş birliğini temsil etmektedir.



Şekil 3. 8: Disiplinler Arası Tipik Organizasyon Bağı [Eastman vd., 2008 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Şekil 3.9'da Succar vd. [2013] tarafından geliştirilen model, bireylerin yetkinliklerinin içinde bulundukları organizasyonel yapı, ekip yapıları ve disiplinler bağlamları çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. 9: Bilgi Yönetimi Birimleri Tanımlanması ve Organizasyonu [Succar vd., 2013 kaynağından yazar tarafından çevrilmiştir].

Modelde, bireyler ait oldukları disiplinlere göre renklerle, yer aldıkları organizasyonlara göre ise kümeler halinde sınıflandırılmıştır. Ayrıca, proje ekipleri (PT), çalışma ekipleri (WT) ve organizasyonel ekipler (OT) farklı düzeylerdeki iş birlikleri, bireyler arasında gerçekleşen disiplinler arası bilgi paylaşımını ve karşılıklı bağımlılığı yansıtmaktadır. Bu yapı, BIM süreçlerinde etkin bilgi yönetimi, görev dağılımı ve performans değerlendirmesi için, çok katmanlı ve bütüncül bir yetkinlik analizinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Mimari tasarım süreçlerinde bilgi yönetimi ve disiplinler arası iş birliğinin önemi, özellikle teknolojinin ilerlemesi ve BIM kavramının geliştirilmesi ile çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Örneğin **Idi ve Khaidzir [2018]** mimari tasarım sürecinde iş birliğinin artan önemine odaklanarak, tasarım iş birliğini “takım çalışması, BIM, kanıta dayalı tasarım ve modalite destekli iş birliği tasarımı” temaları altında inceleyen bir literatür taraması yapmışlardır. Çalışmada 94 makale, içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş ve iş birliği süreçlerinin dijital araçlar ve çok disiplinli etkileşimler üzerinden nasıl şekillendiği analiz edilmiştir. **Garber [2014]**’a göre ise BIM, bir tasarım iş birliği çerçevesi olarak anılmakta ve dijital bilgi iş birliği platformu olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla BIM’in, tasarım sürecinde şeffaflık, koordinasyon ve verimlilik sağlarken, farklı uzmanlık alanlarını ortak bir platformda buluşturduğu ve karar verme süreçlerini desteklediği söylenebilir. Bu kapsamda, BIM’in sunduğu dijital altyapının, iş birliği ve bilgi yönetimi süreçlerini dönüştürdüğü ifade edilebilir.

AI destekli BIM sistemleri ise bu süreci daha akıllı ve dinamik hale getirmekte, aynı zamanda, bu teknolojilerin entegrasyonu, bilginin sorgulanabilir, paylaşılabılır ve dijital olarak organize edilebilir hale getirilmesini mümkün kılınmaktadır [**S. Zhang vd., 2014**]. Özellikle bulut tabanlı sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, karar alma süreçlerinde farklı disiplinlerden uzmanlar aynı model üzerinden eş zamanlı olarak çalışabilmektedir [**Abrishami vd., 2014**], [**Vahdatikhaki vd., 2022**]. **Succar vd. [2013]**, BIM’ in entegre modeller aracılığıyla farklı disiplinlerden aktörleri bir araya getirdiğini, AI tabanlı sistemlerin bu etkileşimi kolaylaştırarak bütüncül bir tasarım yaklaşımı sunduğunu vurgulamışlardır. **Almaz vd. [2024]** bilgi yönetimi süreçlerinde AI ile entegre edilmiş BIM sistemlerinin, projelerde gerçekleşen değişikliklerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine ve analiz edilmesine olanak tanıdığını ifade etmektedirler. Bu sistemlerin, elde edilen verileri hızlı bir şekilde işleyerek paydaşlara zamanında ve

anlamalı geri bildirimler sunduğu, böylece karar alma süreçlerinin hem hızını hem de doğruluğunu önemli ölçüde artırdığı vurgulanmaktadır. Dolayısıyla AI destekli BIM sistemlerinin, teknik verimlilik dışında, disiplinler arası iletişimde bilgi yönetimini ve bilgiye dayalı iş birliğini güçlendirdiği de ifade edilebilir.

3.4. BIM ve AI Entegrasyonunda Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri

BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonu, mimari tasarım süreçlerine çeşitli katkılar sağlamasına rağmen, bu entegrasyonun uygulanabilirliğini sınırlayan çeşitli zorluklar da olduğu ifade edilebilir. **Khan vd. [2024]** bu zorlukları aşağıdaki başlıklar altında incelemiştir:

1. Bilgi ve Veri Zorlukları (Information and Data Challenges): Verilerin çok büyük hacimli ve çeşitlilik göstermesi, standartlaşmamış veri formatları, veri eksiklikleri ve düşük veri kalitesidir.
2. Örgütsel Zorluklar (Organizational Challenges): Kurumsal direnç, eğitim eksikliği ve BIM-AI entegrasyonunun gerektirdiği kültürel değişim zorluklarıdır.
3. Yönetsel Zorluklar (Managerial Challenges): Liderlik eksikliği, entegrasyon süreçlerinin belirsizliği ve projelerde stratejik planlamanın yetersizliğidir.
4. Finansal Zorluklar (Financial Challenges): BIM-AI entegrasyonu için yüksek başlangıç maliyetleri, yatırım geri dönüşü belirsizlikleri ve sınırlı bütçe kaynaklarıdır.
5. Yasal ve Regülasyonel Zorluklar (Legal and Regulatory Challenges): Veri güvenliği, fikri mülkiyet hakları ve entegrasyon süreçlerine ilişkin eksik regülasyonlardır.

Khan vd. [2024]'nin BIM ve AI entegrasyonlarına yönelik zorlukları bu başlıklar altında sistematik biçimde ele alması, sürecin teknik, yönetsel, ekonomik ve hukuksal boyutlarıyla değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca, BIM AI entegrasyonunun zorluklarının önceliklendirilmesi, Pareto analizi ile yapılmış, “Finansal Zorluklar” ve “Örgütsel Zorluklar” başlıkları en önemli sınırlılıklar olarak belirlenmiştir. Bu sonuç BIM-AI entegrasyonunun sektörde yaygınlaşması için, teknik altyapının, stratejik finansal planlama ve organizasyonel dönüşüm süreçlerinin eş zamanlı olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Khan vd. [2024] belirlenen zorlukların çözüm önerilerini ise aşağıdaki başlıklar altında incelemişlerdir:

1. Teknik Çözümler: BIM ve AI sistemlerinin etkili bir biçimde entegre edilebilmesi için, öncelikle yazılımsal altyapılar arasında veri uyumluluğu ve etkileşim kabiliyeti sağlanmalıdır. Bu bağlamda, farklı disiplinlerin kullandığı modelleme araçları ve AI algoritmaları arasında birlikte çalışabilirliği artıracak ara yazılımlar, standart veri formatları ve açık protokoller geliştirilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca, AI uygulamalarının BIM verileriyle entegre biçimde çalışabilmesi için veri ön işleme (preprocessing), otomatik etiketleme ve algoritma eğitime uygun yapılandırılmış veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür teknik çözümler, sistemler arası entegrasyonu hızlandırmanın yanı sıra, AI'nın doğru ve anlamlı çıktılar üretebilmesini de güvence altına alacaktır.

2. Eğitim ve Bilgi Paylaşımı: BIM-AI entegrasyonunun sürdürülebilir şekilde uygulanabilmesi için sektördeki profesyonellerin dijital yeterliliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, mesleki eğitim programlarına AI destekli BIM uygulamalarını içeren müfredatların entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, disiplinler arası bilgi paylaşımını teşvik eden açık erişimli platformlar, dijital kütüphaneler ve sektörel bilgi ağlarının oluşturulması, bilgi düzensizliğini azaltarak uygulayıcılar arasında ortak anlayışın oluşmasına katkı sağlayacaktır. Sürekli mesleki gelişim kapsamında, seminerler, sertifika programları ve uygulamalı atölyeler ile de bu bilgi aktarımı desteklenmelidir.

3. Finansal Destek: BIM-AI entegrasyonunun ilk uygulama aşamaları genellikle yüksek maliyetli teknolojik yatırımlar gerektirdiğinden, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) için finansal destek mekanizmaları büyük önem arz etmektedir. Devlet destekli hibeler, vergi teşvikleri, Ar-Ge fonları ve kamu-özel sektör iş birlikleri yoluyla bu entegrasyon süreci teşvik edilmelidir. Aynı zamanda, özel sektör kuruluşlarının pilot projelere yatırım yapmalarını teşvik edecek stratejiler geliştirilerek, BIM-AI uygulamalarının ölçeklenebilirliği artırılabilir.

4. Regülasyonlar: BIM-AI entegrasyonunun güvenli ve yasal çerçevede sürdürülebilmesi için, veri yönetimiyle ilgili yasal düzenlemelerin netleştirilmesi gerekmektedir. Özellikle kişisel ve kurumsal verilerin güvenliği, veri gizliliği ilkeleri, fikri mülkiyet hakları ve AI tarafından üretilen çıktılara ilişkin sorumluluk alanları,

açık ve bağlayıcı mevzuatlarla düzenlenmelidir. Ayrıca, ulusal ve uluslararası düzeyde BIM ve AI uygulamalarına özgü standartların oluşturulması, sektör genelinde uygulama birliğini sağlayarak yasal boşluklardan doğabilecek riskleri en aza indirecektir.

NBS [2024a]' de, kurumsal düzeyde firmaların BIM ve AI entegrasyonunun sağlayacağı uzun vadeli faydaları görmek yerine, kısa vadeli yatırım maliyetlerini dikkate alarak teknolojik dönüşümü erteledikleri, ayrıca, proje ekipleri içinde görev ve sorumlulukların yeniden tanımlanması gerekmesi de bu direncin sebeplerinden biri olduğu belirtilmiştir. Bu soruna çözüm olarak, entegrasyon sürecinin stratejik ve kültürel bir dönüşüm süreci olarak ele alınması gerektiği vurgulanabilir. Bu kapsamda, üst düzey yöneticilere yönelik farkındalık seminerlerinin düzenlenmesi, sektörde başarıyla uygulanmış entegrasyon örneklerinin yaygınlaştırılması, organizasyonel değişim yönetimi odaklı stratejilerin geliştirilmesi, kurum içi iletişimi güçlendirecek ve ekip üyelerinin yeni rollere adaptasyonunu kolaylaştıracak açık iletişim platformlarının oluşturulması bu sürecin etkinliğini artıracak unsurlar arasında yer aldığı belirtilebilir.

Mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI entegrasyonunun daha verimli ve yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için, **Vahdatikhaki vd. [2022]**, kullanıcıların özellikle generatif ve optimizasyon tabanlı tasarım araçlarını ancak sadeleştirilmiş görsel arabirimler aracılığıyla etkin biçimde kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Bu bağlamda, yazılım geliştiricilerin kullanıcı deneyimini önceliklendiren tasarımlar yapmalarının büyük önem taşıdığı ifade edilebilir. Sonuç olarak tüm bu unsurlar birlikte değerlendirildiğinde, BIM-AI entegrasyon teknolojilerinin yaygınlaşabilmesi için, teknik çözümlerin ötesinde, insan, organizasyon, strateji odaklı ve çok boyutlu bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

3.5. Mimari Tasarım Geleceğinde BIM ve AI Entegrasyonu

Mimari tasarımın geleceğinde, estetik, işlevsellik, veri temelli karar alma, sürdürülebilirlik, otomasyon ve kullanıcı merkezli üretim kavramları yeniden şekillenmektedir. Bu dönüşümün merkezinde ise BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonu yer almaktadır. BIM ve AI entegrasyonu, inşaat projelerinin dijitalleşmesini daha ileri bir noktaya taşıyarak tasarım, planlama, uygulama ve

yönetim süreçlerinde daha hızlı, verimli ve doğru kararlar alınmasına olanak sağlayacaktır [Pan vd., 2023].

Mimari tasarımın geleceğinde öne çıkan bir diğer yaklaşım da, generatif tasarım sistemlerinin yaygınlaşmasıdır. Bu sistemler, tanımlanan hedefler ve kısıtlar doğrultusunda binlerce olasılığı değerlendirebilmekte, tasarımcının sezgisel kararlarına bilimsel verilerle eşlik edebilmektedir [Abrishami vd., 2014]. Nagy vd. [2018], BIM ve AI entegrasyonlarının gelecek yönelimlerini, kentsel ölçekte de etkili olacağını belirtmişlerdir. Devamında, güneş enerjisi üretimi ve ekonomik optimizasyon temelli yerleşim planı senaryoları üzerinden generatif sistemlerin, şehir planlama ve kentsel tasarım alanlarında güçlü bir araç haline gelebileceğini ortaya koymuşlardır. Gelecekte AI'nın mimarlık pratiğindeki rolü ise, tasarımcının yerini almak değil, onun yaratıcılığını, sezgisel kararlarını ve stratejik düşünme yetisini destekleyecek şekilde yeniden şekillendirmektir [Cove, 2025]. Dolayısıyla, gelecekte insan merkezli AI'nın (Human-Centered AI), insan kabiliyetlerini tamamlayan ve destekleyen bir araç olarak konumlanacağı söylenebilir. Nitekim bu durum, insan-makine iş birliğine dayalı yeni bir tasarım modeli inşa etmekte ve mesleki yeterlilik alanlarını yeniden tanımlamaktadır [Abrishami vd., 2014]. Bu bağlamda, mesleki yeterliliklerin de yeniden tanımlanmasının ve mimarlık eğitiminin dijital dönüşüm ekseninde yeni bilgi ve becerilerle yeniden yapılandırılmasının gerekli olacağı ifade edilebilir.

Günümüzde mevcut AI sistemlerinin bazı yönleri hala gelişim sürecindedir. Buna rağmen, mimarlık disiplinde otomasyona dayalı, akıllı ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının, BIM ve AI entegrasyonuna dayalı yazılım ve uygulamalar aracılığıyla gelecekte daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir [Khan vd., 2024]. Bu bağlamda, söz konusu teknolojik dönüşümlere uyum sağlayabilmek adına, mimarlık disiplinde yer alan aktörlerin bu teknolojiler hakkında bilgi sahibi olmaları ve dijital gelişmeleri yakından takip etmeleri, gelecekte mesleki yeterliliklerin geliştirilebilmesi açısından kaçınılmaz bir zorunluluk olacağı söylenebilir.

4. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

4.1. Araştırma Modeli ve Yöntem

Tez çalışmasında, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerine etkilerini ortaya koymak amacıyla, bu teknolojilerin mimarlık sektöründe nasıl algılandığı, nasıl kullanıldığı ve hangi düzeyde deneyimlendiği incelenmiştir. Bu doğrultuda, karma yöntem araştırma modeli benimsenmiştir. Karma yöntem araştırma modeli, araştırmacının veya bir araştırma ekibinin, nicel (anket) ve nitel (yarı yapılandırılmış görüşme) araştırma yaklaşımlarının öğelerini (örn. nitel ve nicel bakış açıları, veri toplama, analiz ve çıkarım teknikleri) bir araya getirerek, daha geniş ve derin bir anlayış ve doğrulama amacıyla gerçekleştirdiği araştırma türüdür [Creswell ve Plano Clark, 2018]. Karma yöntem araştırma modeli, nitel ve nicel yöntemlerin birbirini tamamlayan yönlerini bir araya getirerek her iki yaklaşımın sınırlılıklarını dengeleme olanağı sunmaktadır, ayrıca bir yöntemin yetersiz kaldığı noktaları diğer yöntemin güçlü yönleri tamamlamaktadır [Creswell ve Plano Clark, 2018], [Vatan Özgen, 2013]. Bu bağlamda, tez çalışmasında araştırmanın temel soruları BIM ve AI teknolojilerini, hem geniş bir katılımcı kitlesinden elde edilen verilerle nicel olarak analiz edilmesini, hem de bireysel deneyim ve yorumların nitel olarak incelenmesini gerektirdiğinden, yöntem olarak karma yöntem araştırma modeli tercih edilmiştir. Araştırma soruları aşağıdaki şekilde yöntemsel yaklaşıma entegre edilmiştir:

- “BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerine etkisi nedir?” sorusu, hem anket ile sayısal eğilimler hem de görüşmeler ile detaylı bağlamsal verilerle analiz edilmiştir.
- “Mimarlar bu teknolojileri hangi düzeyde ve neden kullanmayı tercih etmektedir?” sorusu, özellikle anket sorularında yer alan kullanım sıklığı, tercih nedenleri ve yazılım araçları üzerinden değerlendirilmiştir.
- “Bu entegrasyonların mesleğin geleceğine yönelik potansiyel katkıları nelerdir?” sorusu ise, yarı yapılandırılmış görüşmelerin yorumlayıcı boyutuyla ele alınmıştır.

Karma yöntem yaklaşımı, araştırma sorularını çok yönlü yanıtlamak adına açıklayıcı bir model sunmuştur. Bu bağlamda araştırma; literatür taraması, anket çalışması ve yarı yapılandırılmış görüşmeler olmak üzere üç aşamalı bir yapı ile yürütülmüştür.

İlk aşamada, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık alanındaki yeri, entegrasyon dinamikleri, dijitalleşme süreçleri ve mimarlık mesleğinin dönüşümü temaları doğrultusunda kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Kuramsal çerçevede, BIM teknolojisinin boyutsal ve olgunluk seviyeleri, LOD yapıları, iş akışları ve bilgi yönetimi pratikleri incelenmiştir. Ardından, AI teknolojisinin temel tanımı, tarihsel gelişimi, algoritma türleri ve mimari tasarım alanındaki uygulama biçimleri ele alınmıştır. BIM ve AI teknolojilerinin kavramsal çerçevesi belirlendikten sonra, literatürdeki çalışmalar doğrultusunda BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerini nasıl dönüştürdüğü, ne tür avantajlar ve zorluklar barındırdığı kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Literatür taraması ve teorik çerçeve, anket sorularının yapılandırılması ve görüşme temalarının oluşturulması açısından referans noktası olmuştur.

İkinci aşamada, Google Forms platformu üzerinden hazırlanan anket çalışması, Türkiye'de mimarlık, inşaat ve yazılım danışmanlığı alanlarında BIM teknolojilerini aktif kullanan profesyonel mimarların katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Anket formu, BIM alanında profesyonel deneyimleri olan mimarlara e-posta aracılığıyla doğrudan ulaştırılmış ve aynı zamanda araştırmacının LinkedIn hesabı üzerinden geniş katılıma açık olarak paylaşılmıştır. Katılımcılar, gönüllülük esasına göre, herhangi bir yönlendirme veya zorunluluk olmaksızın yanıtlarını iletmiştir. Anketin amacı, katılımcıların BIM ve AI teknolojilerine yönelik bilgi düzeylerini, araç kullanım tercihlerini, entegrasyon deneyimlerini ve bu teknolojilere dair algılarını nicel olarak değerlendirmek ve yorumlamaktır.

Araştırmanın üçüncü aşamasında, BIM ve AI teknolojilerini birlikte kullanan deneyimli profesyonel mimarlar ile çevrim içi ortamda yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler, örnek olay çalışmalarında başvuru en temel bilgi kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir [Vatan Özgen, 2013]. Bu görüşmeler, kuramsal çerçevede tanımlanan kavramlar bağlamında daha derinlemesine veri elde etmek amacıyla planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar, amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiş; yalnızca BIM ve AI entegrasyonunu aktif olarak deneyimlemiş uzman mimarlarla iletişime geçilmiştir.

Görüşmeler çevrim içi platformlar (örneğin Teams, Google Meet vb). üzerinden yürütülmüştür. Her bir görüşme ortalama bir saat sürmüş ve katılımcı onayı alınarak sesli olarak kaydedilmiş, ardından transkript haline getirilmiştir. Görüşme soruları, daha önce anketle ölçülen konuları daha detaylı ele almak üzere yapılandırılmış, karar destek süreçleri, otomasyon odaklı tasarım uygulamaları, parametrik tasarım pratikleri, iş birliği olanakları, zorluklar ve sektörel öngörü temaları doğrultusunda yöneltilmiştir. Yarı yapılandırılmış görüşmelerin yapısı sayesinde katılımcıların bireysel deneyimlerini ifade etmeleri sağlanmış, böylece sayısal bulguların arkasındaki anlam ve bağlam daha net biçimde ortaya konmuştur.

4.2. Katılımcılar ve Örneklem Grubu

Araştırmanın nicel boyutunu oluşturan anket çalışması, Türkiye genelinde mimarlık, inşaat ve yazılım danışmanlığı sektörlerinde faaliyet gösteren ve BIM teknolojilerini aktif olarak kullanan toplam elli üç profesyonel mimarın katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Örneklem grubunun, uygulamaya dönük BIM süreçlerinde deneyim sahibi profesyonellerden seçilmesi, elde edilen verilerin geçerliliği ve sektörle doğrudan ilişkili olması açısından önemli olduğu ifade edilebilir. Nitekim, **Volk vd. [2014]** BIM teknolojisinin geliştirilme sürecinde mimar ve mühendislerin öncü rol oynadığını ve BIM işlevlerinin tasarlanması ile uygulanmasında bu meslek gruplarının belirleyici konumda yer aldığını belirtmektedir. Ancak, çalışmanın odak noktası mimari tasarım süreçleriyle sınırlı olduğundan, mühendislik disiplinlerinde BIM üzerine çalışan profesyonellere anket uygulanmamıştır. **NBS [2020]** raporu, BIM uygulayıcılarının önemli bir bölümünün tasarım disiplininin, özellikle de mimarlardan oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, BIM ile yürütülen mimari tasarım süreçlerinde, mimarların belirleyici bir rol üstlendiği ve teknolojinin uygulamaya dönük yönlerini deneyimleme açısından uygun bir örneklem grubunu oluşturdukları ifade edilebilir.

Araştırmanın nitel boyutunu oluşturan yarı yapılandırılmış görüşmelerde katılımcılar, amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Amaçlı örnekleme yöntemi, araştırma sorularına en fazla katkı sağlayacak, bilgi açısından zengin bireylerin bilinçli olarak seçilmesidir, bu sayede örneklem, araştırmacının ön bilgisi, araştırma amacı ve bağlam bilgisi doğrultusunda gerçekleştirilmektedir **[Baltacı, 2018]**. Bu yöntem doğrultusunda, yarı yapılandırılmış görüşmelerde katılımcılar, BIM ve AI teknolojileri

konusunda bilgi sahibi ve bu teknolojileri mimari tasarım süreçlerine entegre etmiş profesyonel mimarlardan seçilmiştir. Görüşme talebi, anket sürecine gönüllü olarak katılan profesyonel mimarlara e-posta ve LinkedIn aracılığıyla doğrudan iletilmiş, ancak sadece üç katılımcı bu talebe olumlu yanıt vermiştir. Bu nedenle yarı yapılandırılmış görüşmeler, uygunluk kriterlerini karşılayan üç katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Ancak katılımcı sayısının sınırlı olması, nitel araştırmalarda örnek sayısından ziyade elde edilen verinin derinliği ve bağlamsal niteliğine odaklanması gerektiği anlayışıyla değerlendirildiğinde, araştırmadaki bulguların bilimsel niteliğini azaltmamaktadır [Creswell ve Plano Clark, 2018]. Bu çerçevede, sınırlı sayıda katılımcıyla gerçekleştirilen görüşmeler, veri derinliği ve bağlamsal çözümleme açısından araştırmanın nitel tasarımına ve çalışmanın metodolojik tutarlılığına katkı sağladığı söylenebilir.

4.3. Veri Toplama ve Veri Analizi Süreci

Bu bölümde, araştırmanın veri toplama süreci ve bu verilerin analizine ilişkin uygulama adımları özetlenmiştir. Detaylı analiz yöntemleri, 4.1 başlığı altında açıklanmış olup bu bölümde yalnızca sürecin işleyişi ve uygulama biçimi üzerinde durulmaktadır. Veri toplama sürecinde, Gebze Teknik Üniversitesi'nin etik kurulundan gerekli izinler alınmış ve araştırma süreci etik ilkelere uygun şekilde yürütülmüştür. Katılımcılara çalışmanın amacı açıklanmış, hem anket hem de yarı yapılandırılmış görüşmeler gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler anonim şekilde toplanmış ve sadece akademik amaçlarla kullanılmıştır.

Tez çalışmasında, literatür taraması ile teorik çerçeve oluşturulduktan sonra, anket ve görüşme sorularının yapılandırılması tamamlanmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında toplanan anket verileri, Microsoft Excel yazılımı aracılığıyla grafik ve tablolarla görselleştirilmiş, betimsel istatistik yöntemiyle analiz edilerek her bir soru, kendi bağlamı içerisinde değerlendirilmiştir. Betimsel istatistik, elde edilen verilerin özetlenmesi, düzenlenmesi ve yorumlanabilir hale getirilmesini sağlayan temel bir analiz yaklaşımıdır [Büyüköztürk, 2012]. Bu yöntem, araştırma bulgularının grafik, tablo ve frekans dağılımlarını araçlarla görselleştirilerek okuyucunun veriye ilişkin eğilimlerini anlamlı bir şekilde kavrayabilmesini amaçlamaktadır [Creswell, 2009]. Araştırmanın örnekleme, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerindeki entegrasyonuna ilişkin, deneyim sahibi profesyonel mimarları kapsamaktadır.

Dolayısıyla, çalışmanın sınırlı kapsamlı ve uzmanlık gerektiren bir alanda yürütülmesi, örneklem sayısının düşük kalmasıyla ilişkilidir. **Punch [2005]**, örneklem büyüklüğünün sınırlı olduğu durumlarda, ileri düzey çıkarımsal istatistiklerin uygulanmasının metodolojik olarak uygun olmadığını ve sonuçların genellenebilirliği açısından yanıltıcı olabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda verilerin düzenli ve anlaşılır bir biçimde analiz edilip sunulabilmesi için, yalnızca betimsel istatistik yöntemleri kullanılmıştır.

Yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen veriler ise, tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Tematik analiz, nitel verilerde anlamlı örüntüleri tanımlamak, düzenlemek ve raporlamak için kullanılan bir analiz yöntemidir ve bu yöntemde veriler, kodlama yoluyla analiz edilerek içerik benzerliklerine göre temalar altında gruplandırılmaktadır [**Braun ve Clarke, 2006**]. Oluşturulan kodlar temalara dönüştürülürken tekrar sıklığı ve ifadelerin bağlamsal derinliği dikkate alınmalıdır [**Nowell vd., 2017**]. Bu bağlamda yarı yapılandırılmış görüşmelerin analizinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- 1) Doğrudan Alıntılarla Destek: Analiz sürecinde tematik bütünlüğü güçlendirmek amacıyla katılımcı ifadelerinden seçilen doğrudan alıntılara yer verilmiştir. Bu alıntılar, araştırma bulgularının bağlam içinde sunulmasını sağlamakta ve yorumların özgünlüğünü desteklemektedir. Her bir tema altında ilgili görüşmecinin bireysel deneyimlerine referans verilmiş, temaların içeriği somut ifadelerle desteklenmiştir.
- 2) Kodlama: Görüşme kayıtları transkript haline getirilmiş ve nitel veri analizine uygun biçimde okunarak anlamlı ifade birimleri belirlenmiştir. Kodlama sürecinde, katılımcıların tekrar eden ifadeleri, dikkat çeken vurguları ve tematik yönelimleri tespit edilmiştir. Bu aşamada hem literatüre dayalı ön kodlar (örneğin: karar destek sistemleri, otomasyon odaklı tasarım, gelecek öngörüler) hem de veriden türeyen yeni kavramlar dikkate alınmıştır. Kodlar, içerik benzerliğine göre gruplanarak daha sonra oluşturulacak temalar için temel yapı oluşturmuştur. Kodlama sürecinde ifadelerin bağlamı korunmuş, doğrudan alıntılarla temsiliyetin sağlanmasına özen gösterilmiştir.
- 3) Tema Oluşturma: Kodlanan veriler içerik benzerliklerine göre gruplandırılarak tematik yapılar oluşturulmuştur. Alt temalar belirli bir kavramsal bütünlük

içinde birleştirilerek ana temalar haline getirilmiştir. Temaların oluşturulmasında yalnızca sıklık değil, aynı zamanda bağlamsal anlam da dikkate alınmıştır. Her tema en az bir katılımcının doğrudan ifadesiyle desteklenerek, içerik bütünlüğü korunmuştur. Bu yapı sayesinde görüşme verileri hem bütünsel hem karşılaştırmalı biçimde yorumlanabilir hale gelmiştir.

Yarı yapılandırılmış görüşmelerde elde edilen nitel verilerin analizi, yalnızca araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. **Alexander [2006]**, nitel veri analizinde içeriğin yalnızca frekansa değil, bağlam içinde taşıdığı anlama göre değerlendirilmesini önermekte ve bireysel anlatıların, araştırma bulgularına derinlik kattığını vurgulamaktadır. Ayrıca çalışmada, nicel verilerin açıklayıcı gücü ile nitel verilerin bağlamsal derinliğinin birlikte kullanıldığı karma yöntem yaklaşımı benimsenmiştir. **Creswell ve Plano Clark [2018]**, karma yöntem araştırmalarında nicel ve nitel verilerin bir arada kullanılmasının, araştırma sorularına çok boyutlu yanıtlar geliştirmeyi ve bulguların geçerliliğini artırmayı sağladığını belirtmektedir. Bu bağlamda, sayısal verilerle ortaya konulan genel eğilimler, katılımcı deneyimleriyle desteklenmiş, BIM ve AI entegrasyon teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine etkileri, betimleyici ve yorumlayıcı düzeyde bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

4.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Tez çalışması, belirli kuramsal ve metodolojik çerçeveler içinde yürütülmüş olup bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmiştir. Öncelikle, nicel veri toplama aracı olarak kullanılan anket, sadece BIM teknolojilerini aktif kullanan ve gönüllü katılım sağlayan mimarlarla sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla örneklem, tüm mimarlık disiplini temsil edecek düzeyde değildir.

Görüşme örnekleme, anket sürecine katılan üç uzman mimarın görüşme yapmaya gönüllü olmasıyla şekillenmiştir. Görüşme sayısının sınırlı kalması, hem bu alanda doğrudan deneyime sahip uzmanlara erişimin kısıtlı olması hem de gönüllülük esasına dayalı katılım süreciyle ilişkilidir. Bu nedenle, elde edilen nitel bulgular, daha çok belirli bir bağlamda derinlemesine içgörü sağlamak ve genellenebilirlik iddiası taşımamaktadır.

Ayrıca, çalışmada uygulamalı bir vaka analizi veya uzun dönemli gözleme dayalı bir veri toplama süreci bulunmamaktadır. Elde edilen veriler, katılımcıların anlık duruma ilişkin öznel beyanlarına dayanmaktadır. Ayrıca, BIM ve AI teknolojileri hızla gelişen ve sürekli dönüşüm geçiren sistemlerdir. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında incelenen uygulamalar, araştırma sürecinde literatürde yer alan güncel uygulamalara dayanmaktadır, ancak teknolojinin sürekli gelişimi göz önünde bulundurulduğunda, bu bulguların zaman içinde geçerliliğini yitirme olasılığı bulunmaktadır. Son olarak, çalışma yalnızca Türkiye’de faaliyet gösteren mimarlarla sınırlı tutulmuştur. Farklı ülke bağlamlarında gerçekleştirilecek benzer araştırmalar, kültürel, yasal ve sektörel farklılıkların BIM ve AI entegrasyon süreçlerine etkisini daha kapsamlı biçimde ortaya koyabilir. Tüm bu sınırlılıklara rağmen, elde edilen bulgular, mimari tasarımda BIM ve AI entegrasyonuna yönelik mevcut eğilimlerin anlaşılmasına yönelik önemli ve özgün katkılar sunmaktadır.

5. BULGULAR

5.1. Anket Verilerine İlişkin Bulgular

Bu bölümde, araştırma kapsamında yürütülen anket çalışmasından elde edilen nicel bulgulara yer verilmektedir. Anket, BIM ve AI teknolojilerini aktif olarak kullanan profesyonel mimarların söz konusu teknolojilere yönelik bilgi düzeylerini, kullanım alışkanlıklarını, entegrasyon deneyimlerini ve sektörel değerlendirmelerini ölçmek amacıyla yapılandırılmıştır. Elde edilen veriler, betimsel istatistiksel yöntemler ve çapraz tablolar aracılığıyla analiz edilmiş; katılımcıların sektördeki deneyim süresi, BIM kullanım geçmişi ve bu teknolojileri mimari tasarım süreçlerinin hangi aşamalarında kullandıkları belirlenmiştir.

Anketin ilerleyen bölümlerinde, katılımcılara AI teknolojilerine ilişkin bilgi düzeyleri, bu teknolojilerin mimarlık sektöründeki yeri ve kendi mesleki uygulamaları üzerindeki etkileri sorulmuştur. BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin bölümde, katılımcıların bu iki teknolojiyi birlikte kullanıp kullanmadıkları sorgulanmıştır. Entegrasyonu kullanmadığını belirten katılımcıların anketi bu noktada sonlandırılırken, entegrasyonu kullanan katılımcılara yönelik olarak daha ayrıntılı sorular yöneltilmiştir.

Bu kapsamda, entegrasyon kullanıcılarına, mimari tasarım sürecinde bu teknolojileri hangi aşamalarda kullandıkları; tercih ettikleri parametrik tasarım, optimizasyon, generatif tasarım ve simülasyon araçları; ayrıca kullandıkları bulut tabanlı iş birliği platformları sorulmuştur. Devamında, AI destekli BIM araçlarının karar verme, otomasyon çözümleri ve bilgi yönetimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Son olarak, katılımcılardan bu teknolojilerin mimarlık sektörüne katkı ve sınırlılıklarına yönelik görüşlerini paylaşmaları istenmiş; geleceğe ilişkin öngörülerine ve açık uçlu yorumlarına da yer verilmiştir.

5.1.1. Betimsel İstatistikler

Bu bölümde, anket formunda yer alan her bir kapalı uçlu soru ayrı ayrı ele alınarak, katılımcı yanıtları betimsel istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Her soruya

ilişkin frekans ve yüzde dağılımları tablo ve grafiklerle sunulmuş, bulgular kısa açıklamalarla desteklenmiştir.

“Soru 1: Mimarlık sektöründe kaç yıldır çalışıyorsunuz?”

Katılımcıların mimarlık sektöründeki mesleki deneyim sürelerini belirlemeye yönelik bu soruya toplam 53 kişi yanıt vermiştir. Elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.1**'de belirtilmiştir:

Tablo 5.1: Katılımcıların Mimarlık Sektöründe Deneyim Süreleri.

ÇALIŞMA SÜRESİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
0-5 YIL	29	54,7%
6-10 YIL	12	22,6%
11-15 YIL	6	11,3%
16 YIL VE ÜZERİ	6	11,3%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %54,7'si mimarlık sektöründe 0-5 yıl arasında bir mesleki deneyime sahiptir. Elde edilen dağılım, anket katılımcılarının önemli bir kısmının mesleki kariyerinin erken evresinde yer aldığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, %11,3'lik bir kesim 16 yıl ve üzeri deneyime sahip olup sektörde uzun süredir aktif olarak çalışan mimarları temsil etmektedir. Bu dağılım, farklı deneyim düzeylerine sahip katılımcıların görüşlerinin karşılaştırmalı olarak analiz edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

“Soru 2: BIM teknolojisini profesyonel kariyerinizde ne kadar süredir kullanıyorsunuz?”

Bu soru ile katılımcıların profesyonel kariyerleri boyunca BIM teknolojisiyle olan deneyim süreleri belirlenmiştir. Toplam 53 kişi bu soruyu yanıtlamıştır. Elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.2**'de belirtilmiştir:

Tablo 5.2: Katılımcıların Mimarlık Sektöründe BIM Deneyim Süreleri.

KULLANIM SÜRESİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
0-5 YIL	42	79,2%
6-10 YIL	7	13,2%
11-15 YIL	3	5,7%
16 YIL VE ÜZERİ	1	1,9%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %79,2'si BIM teknolojisini profesyonel kariyerlerinde 0-5 yıl aralığında kullanmaktadır. 6-10 yıl deneyime sahip katılımcıların oranı %13,2 ile sınırlı kalırken, 11 yıl ve üzeri deneyime sahip olanlar yalnızca %7,6'lık bir kesimi oluşturmaktadır. Bu bulgu, tez çalışmasının temel varsayımı olan BIM teknolojisinin sektörde özellikle son yıllarda yaygınlık kazandığı ve kullanıcıların büyük çoğunluğunun bu teknolojiyi yeni deneyimlemekte olduğu görüşünü desteklemektedir.

“Soru 3: BIM’ i hangi olgunluk seviyesinde kullanıyorsunuz?”

Bir sonraki soruda katılımcılara profesyonel kariyerlerinde BIM’ in hangi olgunluk seviyesinde kullandıkları sorulmuştur. BIM’in olgunluk seviyeleri, dijitalleşme ve disiplinler arası entegrasyon açısından katılımcının kurumsal yapısının ve proje yönetim sürecindeki konumunun hangi gelişmişlik düzeyinde olduğunu göstermek için önemli bir göstergedir [Succar, 2009]. Toplam 53 kişi bu soruyu yanıt vermiş ve elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.3**'de belirtilmiştir:

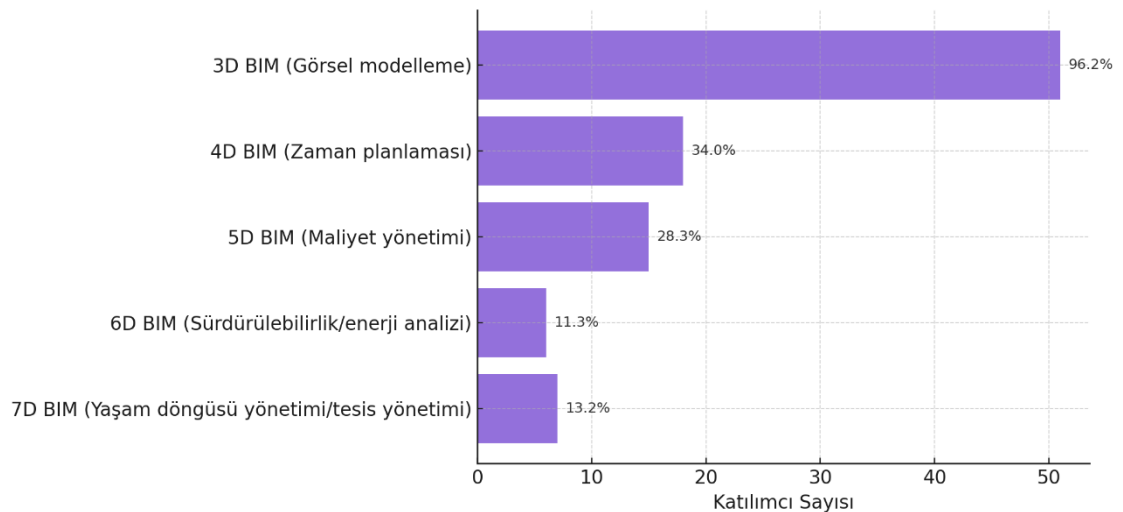
Tablo 5.3: Katılımcıların Belirttiği BIM Olgunluk Seviyesi Düzeyleri.

OLGUNLUK SEVİYESİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
Seviye 1 (2D, 3D, Bilgi Paylaşımı Yok)	15	28,3%
Seviye 2 (Modeller Arası Bilgi Paylaşımı, İş Birliği Sınırlı)	23	43,4%
Seviye 3 (Tam Entegre BIM, Ortak Veri Ortamı, Yüksek İş Birliği)	15	28,3%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %43,4'ü, BIM'i Seviye 2 düzeyinde kullandığını belirtmiştir. %28,3'lük bir kesim hala Seviye 1'de çalışmakta olup bu kullanıcıların BIM'i daha çok geleneksel modelleme araçları kapsamında kullandığı belirtilebilir. Katılımcıların yine %28,3'lük kesimi BIM'i Seviye 3 düzeyinde, yani tam entegre bir biçimde ve yüksek iş birliğiyle kullandığını ifade etmiştir. Dolayısıyla, sektörde BIM kullanımının yaygınlaştığı, ancak tam entegrasyon sağlayan üst düzey BIM uygulamalarının sınırlı düzeyde benimsendiği ifade edilebilir.

“Soru 4: BIM’ in hangi boyutsal seviyelerini kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların BIM'in üç boyutlu modelleme, zaman, maliyet, sürdürülebilirlik ve yaşam döngüsü boyutlarının proje süreçlerine dahil edip etmedikleri incelenmiştir. **Eastman vd. [2011]** BIM'in boyutsal seviyelerini, mimari tasarım süreçleri özelinde değerlendirmişler, tasarım kalitesinin artırılması ve disiplinler arası entegrasyonun sağlanması açısından önemli bir rol üstlendiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda, katılımcıların BIM'in hangi boyutsal seviyelerini kullandıklarına ilişkin veriler, BIM teknolojisinin sektörde hangi alanlarda ve ne düzeyde benimsendiğine dair önemli ipuçları sunabilir. Bu soruya toplam 53 kişi yanıt vermiş ve elde edilen yanıtların dağılımı **Şekil 5.1**'de belirtilmiştir:



Şekil 5.1: Katılımcıların BIM'in Boyutsal Seviyelerini Kullanım Yoğunluğu.

Katılımcıların %96,2'si BIM teknolojisini 3D görsel modelleme düzeyinde kullandığını belirtmiştir. İleri seviye boyutsal kullanım oranlarına bakıldığında, 4D

BIM %34, 5D BIM ise %28,3 oranında kullanılmaktadır. 6D ve 7D BIM uygulamalarına yönelik kullanım oranları sırasıyla %11,3 ve %13,2'dir. Bu veriler, sektörde BIM'in en yaygın kullanım şeklinin temel modelleme işlevlerine dayandığını göstermektedir. 4D ve 5D boyutlarının kullanım yoğunluğu incelendiğinde, BIM'in proje yönetimi süreçlerinde de kullanılmaya başlandığı, fakat bu kullanımın hala sınırlı düzeyde olduğu ifade edilebilir. 6D ve 7D düzeylerinin kullanım yoğunluğu incelendiğinde ise, bu düzeylerdeki BIM yetkinliklerinin sektörde henüz yaygınlık kazanmadığı belirtilebilir.

“Soru 5: BIM’ i hangi detay seviyesinde kullanıyorsunuz?”

Bu soru ile katılımcıların profesyonel kariyerlerinde BIM'i hangi detay seviyesinde kullandıkları tespit edilmiştir. Toplam 53 kişi bu soruyu yanıtlamıştır. Elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.4**'de belirtilmiştir:

Tablo 5.4: Katılımcıların BIM Detay Seviyesi (LOD) Kullanım Dağılımı.

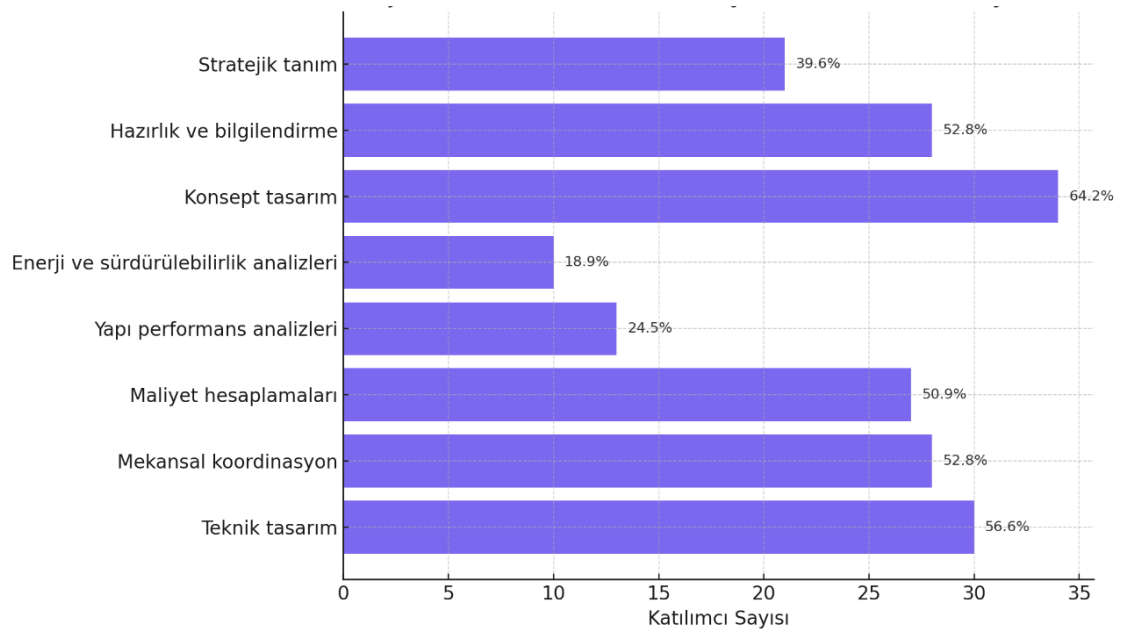
DETAY SEVİYESİ [LOD]	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
LOD 100 (Kabataslak Model, Genel Şekil ve Yerleşim)	8	15,1%
LOD 200 (Yaklaşık Boyut ve Konum, Genel Bilgiler)	5	9,4%
LOD 300 (Kesin Boyut ve Konum, Uygulama Projeleri İçin Yeterli)	21	39,6%
LOD 400 (İmalat ve Montaj İçin Detaylı Bilgiler)	15	28,3%
LOD 500 (Gerçek Yapı ile Birebir, Sahada Doğrulanmış Bilgiler)	4	7,5%
TOPLAM	53	100%

LOD seviyeleri, projelerin hangi aşamalarda dijitalleştiğini ve bilgi yoğunluğunun ne düzeyde olduğunu yansıtmaları açısından önemli bir ölçüttür [RICS, 2014]. Katılımcıların %39,6'sı, BIM'i LOD 300 seviyesinde kullandığını belirtmiştir. Bu seviye, uygulama projeleri için yeterli detayda bilgi sunan ve profesyonel projelerde yaygın olarak kullanılan düzeydir [BIM Teknoloji, 2024]. %28,3 oranında katılımcı LOD 400 seviyesinde çalışmakta, %7,5 oranında katılımcı ise en üst düzey detay seviyesi olan LOD 500 seviyesinde çalışmaktadır. Daha düşük seviyeler olan LOD

100 ve LOD 200 detay seviyelerini sırasıyla, %15,1 ve %9,4 oranında katılımcı kullanmaktadır.

“Soru 6: BIM teknolojisini mimari tasarım süreçlerinde hangi aşamalarda kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların BIM teknolojisini, mimari tasarım sürecinin hangi aşamalarında kullandıkları belirlenmiştir. Bu soruya toplam 53 kişi yanıt vermiş ve elde edilen yanıtların dağılımı **Şekil 5.2**’de gösterilmiştir:



Şekil 5.2: Katılımcıların BIM’i Mimari Tasarım Sürecinde Kullandıkları Aşamalar.

Verilere göre, katılımcıların BIM teknolojisini en yoğun kullandığı aşama, %64,2 oranla konsept tasarım aşamasıdır. Konsept tasarım, mimari konsept, stratejik mühendislik gereksinimleri, maliyet planları, proje stratejileri ile şartnamelerin hazırlandığı süreçleri içermektedir [RIBA, 2020]. Devamında kullanım yoğunluğunu, sırasıyla %56,6 ile teknik tasarım, %52,8 ile hazırlık ve bilgilendirme ile mekansal koordinasyon aşamaları izlemektedir. Bu veriler doğrultusunda, BIM’in projelendirme sürecinin ilerleyen aşamalarında da aktif biçimde kullanıldığı ifade edilebilir. Buna karşılık, yapı performans analizlerinin %24,5 ve enerji/sürdürülebilirlik analizlerinin %18,9 yoğunluk oranında kullanılması, bu tür ileri düzey BIM uygulamalarının sektörde henüz sınırlı ölçüde benimsendiğini göstermektedir.

“Soru 7: AI’nın mimarlık sektöründeki etkileri hakkında ne düşünüyorsunuz?”

Bu soru ile katılımcıların AI teknolojilerinin mimarlık sektörü üzerindeki mevcut ve potansiyel etkilerine ilişkin algıları ölçülmüştür. Toplam 53 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.5**’de belirtilmiştir:

Tablo 5.5: AI’nın Mimarlık Sektörüne Olası Etkilerine İlişkin Katılımcı Değerlendirmeleri.

GÖRÜŞ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
AI Sektörde Büyük Bir Dijital Dönüşüm Yaratacak ve Proje Süreçlerini Büyük Ölçüde Değiştirecek	18	34,0%
AI Sektörde Kademeli Bir Dönüşüm Sağlayacak, Ancak İnsan Faktörü Her Zaman Belirleyici Olacak	30	56,6%
AI Sadece Büyük Ölçekli Projelerde Etkili Olacak, Küçük Ölçekli Projeler İçin Önemsiz Kalacak	5	9,4%
AI Kısa Vadede Sektörde Belirgin Bir Etki Yaratmayacak	0	0%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %56,6’sı, AI teknolojilerinin mimarlık sektöründe kademeli bir dönüşüm yaratacağını ve bu süreçte insan faktörünün belirleyici olmaya devam edeceğini ifade etmiştir. Benzer şekilde, **Aslan [2024]**, AI’nın mimari tasarım süreçlerindeki katkılarının etkin biçimde tasarıma yansıtılması için, bilgisayar destekli süreçlerde karşılaşılan problemin, tasarım görevlerinin ve proje bağlamının doğru şekilde tanımlanması ve yönetilmesi gerektiği vurgulamaktadır. Katılımcıların %34’lük bir kesimi AI’nın büyük ölçekli dijital dönüşüm yaratacağına ve mimari proje süreçlerini köklü biçimde değiştireceği seçeneğini yanıtlamıştır. Bu grup, teknolojinin sektörel yapıyı dönüştürücü gücünü daha belirgin şekilde öngören kullanıcıları temsil etmektedir. Daha düşük bir oran olan %9,4’lük kesim, AI teknolojilerinin sadece büyük ölçekli projelerde etkili olacağını, küçük ölçekli uygulamalarda ise sınırlı kalacağını belirtmiştir.

AI’nın kısa vadede sektörde etkisiz kalacağı görüşünü ise hiçbir katılımcı benimsememiştir. Bu bulgular ise, teknolojinin sektörel etkisinin genel kabul

gördüğünü, ancak bu etkinin kapsamı, düzeyi ve dönüşüm sürecine dair yorumların mimarlar arasında farklılaştığını göstermektedir.

“Soru 8: AI teknolojileri hakkında kendinizi nasıl değerlendirirsiniz?”

Bu soru ile katılımcıların AI teknolojilerine ilişkin bilgi düzeyleri öz değerlendirme yoluyla tespit edilmiştir. Amaç, katılımcıların kavramsal ve pratik yeterliliklerini ortaya koymak ve sektörde AI farkındalığının hangi düzeylerde yoğunlaştığını belirlemektir. Elde edilen bulgular, mimarlık ve inşaat alanındaki profesyonellerin bu teknolojilere ne derece aşina olduklarını ve mevcut bilginin sektöre entegrasyon potansiyelini değerlendirmek açısından önem taşımaktadır. Toplam 53 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.6**’da ifade edilmiştir:

Tablo 5.6: Katılımcıların AI Teknolojilerine İlişkin Bilgi Düzeyi.

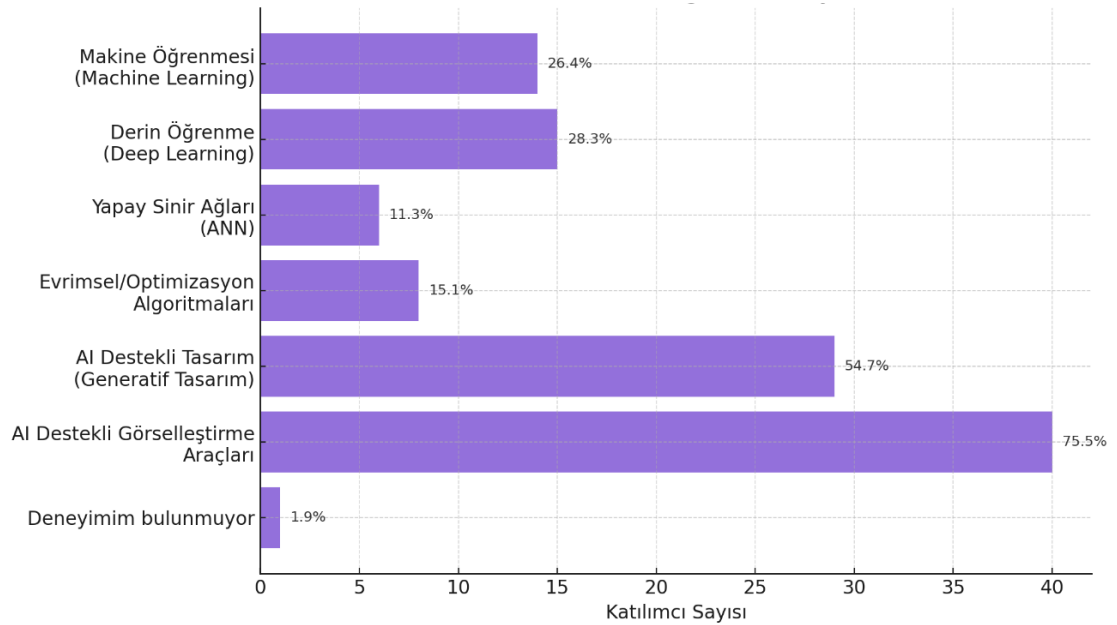
BİLGİ DÜZEYİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
Çok İyi Biliyorum (Derin Kavramsal ve Uygulamalı Bilgi Sahibiyim)	6	11,3%
İyi Biliyorum (Temel Kavramlara ve Uygulamalara Hakimim)	13	24,5%
Orta Düzeyde Bilgi Sahibiyim (Bazı Kavramlara ve Uygulamalara Aşınayım)	20	37,7%
Temel Düzeyde Bilgi Sahibiyim (Sadece Genel Bilgiye Sahibim)	14	26,4%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %37,7’si AI konusunda orta düzeyde bilgiye sahip olduğunu, %26,4’ü temel düzeyde bilgi sahibi olduğunu belirtmiştir. Bu durum, AI farkındalığının yaygınlaştığını ancak büyük ölçüde yüzeysel kaldığını göstermektedir. İyi düzeyde bilgi sahibi olduğunu belirtenlerin oranı %24,5 iken, %11,3’lük bir kesim AI teknolojilerine dair derin bilgi sahibi olduğunu ifade etmiştir. Bu bulgular, sektörde AI potansiyelinin farkında olduğunu, ancak uygulama düzeyinde yeterli bilgi birikiminin henüz yaygınlaşmadığını ortaya koymaktadır. **Almaz vd. [2024]** benzer şekilde, AI’nın mimarlık disiplinine katkı sağlayabilecek bir araç olarak

konumlandığını, ancak bu katkının etkili biçimde kullanılabilmesi için uygulayıcıların teknik yeterliliğe sahip olmaları gerektiğini vurgulamışlardır.

“Soru 9: Aşağıdaki AI alanlarından hangileri hakkında bilginiz veya deneyiminiz bulunmaktadır? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile katılımcıların AI’nın farklı teknik alanlarına ilişkin bilgi veya deneyim düzeyleri ölçülmüştür. AI teknolojilerinin sadece genel farkındalık düzeyinde değil, aynı zamanda hangi alt uzmanlık alanlarında tanındığı ve kullanıldığı anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu soruya toplam 53 kişi yanıt vermiş ve elde edilen yanıtların dağılımı **Şekil 5.3**’de gösterilmiştir:



Şekil 5. 3: Katılımcıların AI Alanlarındaki Bilgi Düzeyi ve Deneyimleri.

Katılımcıların %75,5’inin AI destekli görselleştirme araçları ve %54,7’sinin generatif tasarım araçları hakkında bilgi veya deneyime sahip olduğunu belirtmesi, sektörde bu teknolojilerin özellikle görsel sunum ve üretken tasarım süreçlerinde öne çıktığını göstermektedir. Bu bulgular, literatürdeki güncel yaklaşımlarla da örtüşmektedir. **Hamdy vd. [2024]** AI destekli parametrik görselleştirme araçlarının mimarlık pratiğinde deneysel yaklaşımları teşvik ettiğini ve özellikle tasarımın erken aşamalarında güçlü bir sunum ve iletişim aracı olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Özellikle generatif tasarım konusunda, **Singh ve Gu [2012]** AI destekli üretken sistemlerin farklı teknikler (örneğin L-sistemleri, genetik algoritmalar, biçim

dilbilgileri) aracılığıyla yüzlerce alternatif senaryo üreterek tasarım sürecini çeşitlendirdiğini ortaya koymuşlardır. **Sacks vd. [2020]** ise, generatif sistemlerin performans ölçütlerine göre senaryoları otomatik olarak sıralayarak tasarımcıya karar destek sunduğunu vurgulamaktadırlar.

Derin öğrenme ve makine öğrenmesi daha teknik alanlara yönelik bilgi sahibi olduğunu belirten katılımcıların oranı sırasıyla 28,3 ve 26,4 olup, bu alanlara yönelik farkındalık orta düzeyde kalmaktadır. Evrimsel algoritmalar ve yapay sinir ağları ise sırasıyla %15,1 ve %11,3 oranla daha az bilinen alanlar olarak öne çıkmaktadır. Sadece 1 katılımcı bu alanların hiçbirinde deneyimi olmadığını belirtmiştir. Bu sonuç, katılımcıların genel olarak AI teknolojilerine aşina olduğunu, ancak teknik derinliğin farklı alt alanlara göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

“Soru 10: Mimari tasarım süreçlerinde AI destekli araçlar kullandınız mı?”

Bu soru, katılımcıların mimari tasarım süreçlerinde AI destekli araçları kullanıp kullanmadığını ve bu araçlara karşı ne düzeyde ilgi duyduklarını belirlemek amacıyla yapılandırılmıştır. Katılımcıların doğrudan kullanım deneyimlerinin yanı sıra, ilgi düzeyleri ve potansiyel benimseme eğilimleri de değerlendirilmiştir. Toplam 48 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.7**’de belirtilmiştir:

Tablo 5.7: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde AI Destekli Araçları Kullanım Durumları.

YANIT SEÇENEĞİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
Evet, Düzenli Kullanıyorum	10	18,9%
Evet, Bazı Projelerde Kullandım	16	30,2%
Henüz Kullanmadım Ama İlgileniyorum	22	41,5%
Kullanmadım ve İlgilenmiyorum	5	9,4%
TOPLAM	53	100%

Katılımcıların %41,5’i, henüz AI destekli araçları kullanmadığını ancak bu alana ilgi duyduğunu belirtmiştir. Bu durum, sektörde AI’ya yönelik merakın ve öğrenme isteğinin güçlü olduğunu, ancak uygulama düzeyinde geçiş süreci yaşandığı ifade edilebilir. AI araçlarını “bazı projelerde kullandım” diyenlerin oranı %30,2 iken, “düzenli olarak kullananlar” %18,9 ile daha sınırlı kalmaktadır. Diğer yandan yalnızca

%9,4'lük bir grup, AI'ya yönelik bir ilgi veya kullanım göstermediğini belirtmiştir. Bu bağlamda, AI teknolojisinin mimarlık pratiğinde büyük çoğunlukta ilgiyle karşılandığı ve yakın gelecekte daha geniş kitlelerce benimsenme potansiyelinin olduğu sonucuna varılabilir.

“Soru 11: BIM ve AI entegrasyonu hakkında kendinizi nasıl değerlendirirsiniz?”

Bu soru, araştırmanın odak noktası olan BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerindeki etkilerini değerlendirebilmek amacıyla katılımcıların bu iki teknolojiyi birlikte ele alma konusundaki bilgi düzeylerini ölçmek için yapılandırılmıştır. BIM ve AI'nin birlikte kullanımına yönelik teknik, kavramsal veya pratik deneyime sahip olmayan katılımcıların anketin ilgili bölümlerine geçmeleri metodolojik olarak uygun görülmemiştir. Bu nedenle, "Bilgi sahibiyim ama pratikte kullanmadım" ve "Bilgi sahibi değilim" ifadelerini işaretleyen katılımcılar için anket otomatik olarak sonlandırılmıştır. Araştırmanın temel amacı, yalnızca BIM ya da AI'yı bağımsız olarak kullanan katılımcılardan ziyade, bu iki teknolojiyi entegre şekilde deneyimlemiş profesyonellerin görüşlerini, kullanım alışkanlıklarını ve karşılaştıkları zorlukları ortaya koymaktır. Çünkü çalışmanın özgün katkısı, BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanıldığı senaryolarda, tasarım süreçlerine olan etkilerini anlamak ve bu alandaki mevcut potansiyeli değerlendirmektir. Bu bağlamda toplam 48 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların dağılımı **Tablo 5.8**'de belirtilmiştir:

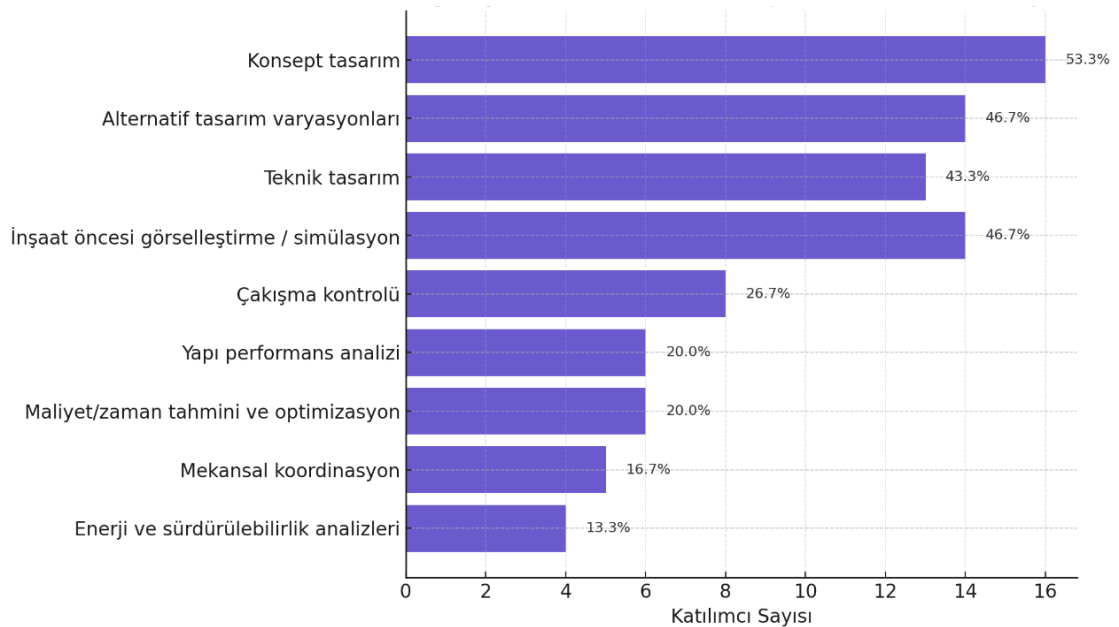
Tablo 5.8: Katılımcıların BIM ve AI Entegrasyonu Bilgi Düzeyi.

DEĞERLENDİRME SEÇENEĞİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
Detaylı Bilgi Sahibiyim ve Kullanıyorum	5	10,4%
Orta Düzeyde Bilgi Sahibiyim ve Bazen Kullanıyorum	25	52,1%
Bilgi Sahibiyim Ama Pratikte Kullanmadım (Devam Etmedi)	12	25,0%
Bilgi Sahibi Değilim (Devam Etmedi)	6	12,5%
TOPLAM	48	100%

Verilere göre, katılımcıların %52,1 orta düzeyde bilgi sahibi olduğunu ve zaman zaman entegrasyonu kullandığını belirtmiştir. Katılımcıların %10,4'lük bir kesimi bu entegrasyonu detaylı bilgiyle ve düzenli olarak kullandığını ifade etmiştir. Buna karşın, katılımcıların %25'lik ve %12,5'lik kesimi sırası ile “konuya teorik düzeyde hakim olduğunu ancak pratikte uygulamadığını” ve “konuya dair hiçbir bilgiye sahip olmadığını” belirtmiştir. Bu kapsamda anketin kalan bölümleri 30 katılımcı tarafından yanıtlanmıştır.

“Soru 12: Projelerinizde mimari tasarım süreçlerinin hangi aşamalarında, BIM ve AI entegrasyonundan aktif olarak faydalandınız/faydalaniyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru, katılımcıların projelerinde BIM ve AI entegrasyonunu hangi mimari tasarım aşamalarında aktif olarak kullandıklarını belirlemek amacıyla yapılandırılmıştır. Amaç, entegrasyonun hangi tasarım adımlarında öne çıktığını ve teknolojinin karar alma, tasarım varyasyonu üretme, görselleştirme, otomasyon, simülasyon analizleri ve iş birliği süreçlerinde nasıl konumlandığını ortaya koymaktır. Toplam 30 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.4**'te belirtilmiştir:



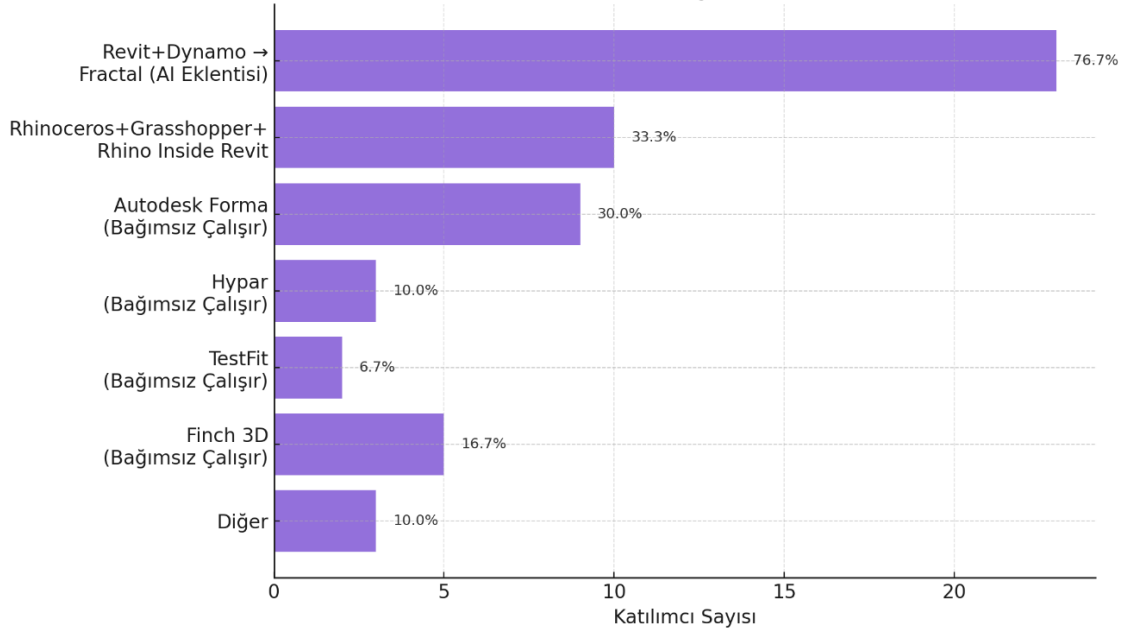
Şekil 5. 4: BIM ve AI Entegrasyonunun Tasarım Süreci Adımlarında Kullanım Dağılımı.

Katılımcıların %53,3'ü, BIM ve AI entegrasyonunu projelerinin konsept tasarım aşamasında aktif olarak kullandığını belirtmiştir. Alternatif tasarım varyasyonları üretimi ve inşaat öncesi görselleştirme/simülasyon %46,7 ile aynı kullanım yoğunluk oranına sahiptir. Teknik tasarım aşamasında ise BIM ve AI entegrasyon teknolojilerinin kullanım oranı %43,3'tür. **Long ve Li [2021]**, BIM'in diğer dijital teknolojilerle entegrasyonunun enerji analizi, simülasyonlar ve tasarımı optimize etmek için alternatifler önererek tasarıma katkı sağladığını belirtmişlerdir. Ancak anket verilerinde simülasyonların kullanımı yüksek bir orana sahipken, enerji analizi, performans değerlendirmesi, maliyet/zaman tahmini ve optimizasyonların kullanım oranlarının daha düşük kaldığı görülmektedir. Bu bağlamda BIM ve AI bu entegrasyonun söz konusu adımlarda henüz yaygınlaşmadığı anlaşılmaktadır.

“Soru 13: Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve AI destekli parametrik tasarım araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru, katılımcıların mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI destekli parametrik tasarım araçlarına yönelik bilgi ve kullanım düzeylerini belirlemek amacıyla yapılandırılmıştır. Parametrik mimarlık, tasarım seçeneklerini nicel ölçütlerle simüle ederek karşılaştırma ve değerlendirme olanağı sunarken, AI'nın özellikle metinden görsele üretim kapasitesinin gelişmesiyle birlikte, mimarlık disiplini daha deneysel ve esnek bir tasarım alanına dönüşmüştür **[Hamdy vd., 2024]**. Mimarlıkta hesaplamalı sistemler (computational systems) olarak da tanımlanan parametrik tasarım, bilgisayarların gücünden yararlanarak, tasarımı analiz etmek, üretmek, optimize etmek ve algoritmalar kullanarak tasarım süreçlerini yönlendirmek için kullanılmaktadır **[Humppi ve Österlund, 2016], [Kaan, 2017]**.

Bu soruyu Toplam 30 kişi yanıtlamış, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.5**'te belirtilmiştir:



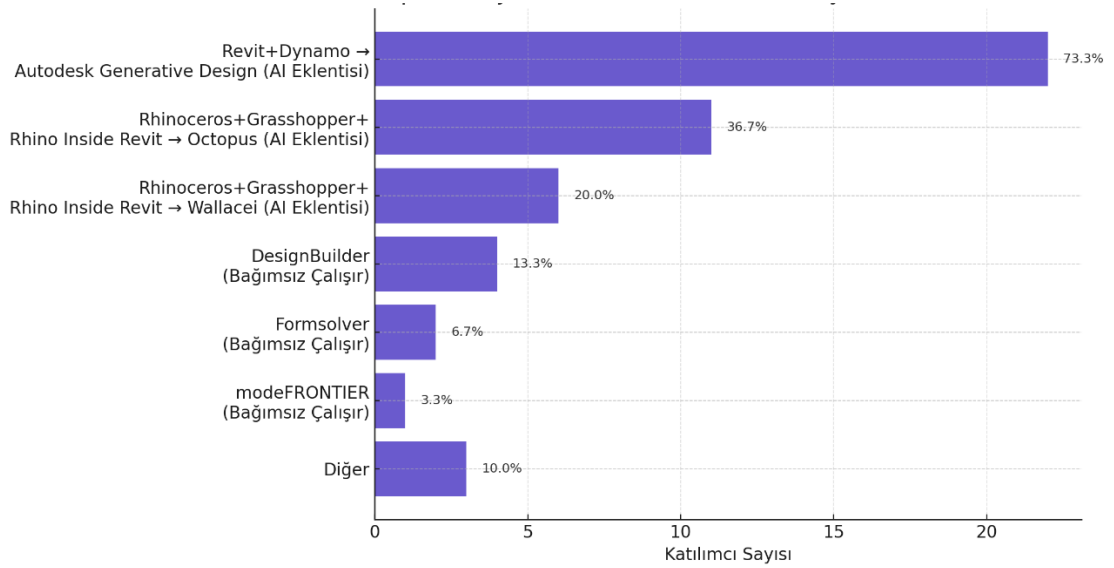
Şekil 5. 5: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Parametrik Tasarım Araçları.

Katılımcıların %76,7'si, Revit+Dynamo → Fractal kombinasyonunu kullandığını belirtmiştir. Project Fractal, Dynamo ortamında parametrize edilen tasarım verilerinin bulut sistemi üzerinden farklı varyasyonlarla otomatik olarak üretilmesine olanak tanımaktadır ve kullanıcılar, Fractal arayüzü sayesinde bu alternatifler arasında filtreleme yaparak, tanımlı parametreler doğrultusunda en uygun tasarım seçeneğini belirleyebilmektedir [Kaan, 2017]. Bu bağlamda Fractal eklentisinin BIM ve AI entegreli sistemlerde en fazla bilinen ve kullanılan yazılım olduğu ifade edilebilir. %33,3'lük kullanım yoğunluğu oranıyla ikinci sırada Rhinoceros + Grasshopper + Rhino Inside Revit → Opossum kombinasyonu, %30'luk kullanım yoğunluğu oranıyla üçüncü sırada bağımsız çalışan Autodesk Forma bulunmaktadır. Opossum eklentisi Grasshopper platformu üzerinde çalışan, mimari tasarım problemlerinde parametrik varyasyonlar aracılığıyla en uygun çözüm senaryolarını belirlemek üzere geliştirilen model tabanlı optimizasyon aracıdır [Wortmann, 2022]. Autodesk Forma ise konsept tasarım aşamalarında AI destekli araçlar ile, karmaşık tasarım sorunlarına çözüm oluşturan, gerçek zamanlı çevresel etki ve coğrafi veri analizleri sunan bir platformdur [Autodesk, 2025b]. Bu doğrultuda, her iki aracın da mimari tasarım sürecine sunduğu teknik olanaklar ve işlevsel katkılar, bu yazılımların mimarlar tarafından tercih edilmesini anlamlı kılmaktadır.

Finch 3D, Hypar ve TestFit yazılımlarının kullanım yoğunluğu oranları sırası ile, %16,7, %10 ve %6,7 olarak sonuçlanmıştır. Bu bağlamda, Finch 3D, Hypar ve TestFit yazılımlarının sektörde henüz yaygınlaşmadığı veya sınırlı kullanıcı kitlesine hitap ettiği ifade edilebilir. Katılımcıların %10'luk kesimi ise, “diğer” seçeneğini işaretlemiş ve alternatif bir eklenti veya yazılım programı ismi belirmemişlerdir.

“Soru 14: Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve AI destekli optimizasyon ve generatif tasarım araçlarından hangilerini kullandınız/ kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru, katılımcıların BIM ve AI destekli optimizasyon ve generatif tasarım araçlarının kullanım durumlarını belirlemek amacıyla yapılandırılmıştır. Bu soruyu toplam 30 kişi bu soruyu yanıtlamış, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.6**'da belirtilmiştir:



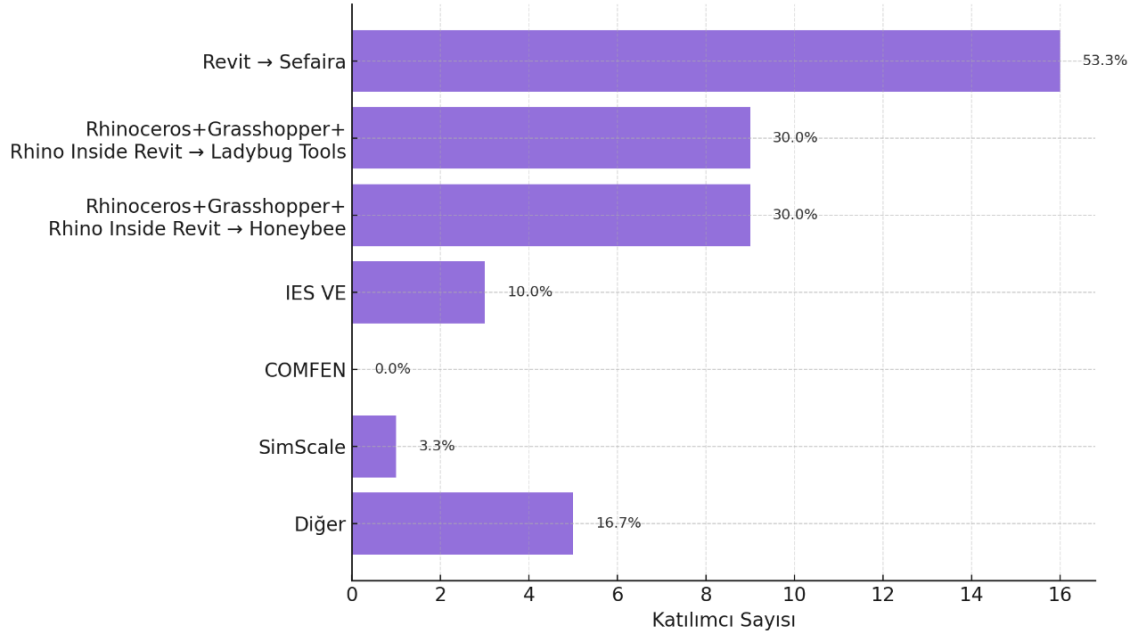
Şekil 5. 6: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Optimizasyon ve Generatif Tasarım Araçları.

Katılımcıların en sık kullandığını belirttiği BIM ve AI destekli optimizasyon ve generatif tasarım araçları sırasıyla, %73,3 yoğunluk oranı ile Revit + Dynamo → Autodesk Generative Design, %36,7 yoğunluk oranı ile Rhino + Grasshopper + Rhino Inside Revit → Octopus ve %20 yoğunluk oranı Rhino + Grasshopper + Rhino Inside Revit → Wallacei olmuştur. Autodesk Generative Design, Revit ve Dynamo aracılığıyla, kullanıcı tarafından tanımlanan hedefler doğrultusunda otomatik olarak çözüm alternatifleri üretmekte ve bu senaryolar arasında karşılaştırmalı değerlendirme

yapılmasına olanak tanımaktadır [Autodesk, 2025a]. Octopus, Grasshopper ortamında çalışan ve çoklu hedefli optimizasyonu pareto tabanlı yaklaşımla gerçekleştiren bir eklenti olup, tasarım varyasyonlarını hem sıralamakta hem de görsel olarak analiz etmeye imkanı sunmaktadır [Grasshopper, 2025]. Wallacei ise, kullanıcı tarafından belirlenen performans ölçütlerine göre yüzlerce tasarım alternatifini analiz ederek, en uygun seçenekleri öne çıkarmayı amaçlayan bir optimizasyon aracıdır [Wallacei, 2025]. Dolayısıyla, katılımcıların Autodesk Generative Design, Octopus ve Wallacei eklentilerini en yüksek oranlarda tercih etmelerinin gerekçesi, bu araçların sunduğu parametrik varyasyon üretimi, optimizasyon ve karar verme süreçlerine sağladığı katkılar olduğu ifade edilebilir. DesignBuilder, Formsolver ve modeFRONTIER ise sırası ile %13,3, %6,7 ve %3,3 yoğunluk oranı ile katılımcılar tarafından tercih edilen araçlardır. modeFRONTIER, harici yazılımlarla entegre çalışarak çok hedefli optimizasyon algoritmaları üzerinden en uygun çözüm kombinasyonlarını üretirken; Formsolver, AI destekli analizlerle işlevsel yerleşim senaryoları sunmakta, DesignBuilder ise enerji verimliliği ve çevresel performansa odaklı parametrik simülasyonlar gerçekleştirmektedir [Tian vd., 2015], [Formsolver, 2025], [L. G. Caldas ve Norford, 2002]. Katılımcıların verdiği yanıtlar doğrultusunda bu araçların, sektörde daha az bilinen ve sınırlı kullanıcı kitlesine hitap eden yazılımlar olduğu söylenebilir. Katılımcıların %10'luk kesimi ise, "diğer" seçeneğini işaretlemiş ve alternatif bir eklenti veya yazılım programı ismi belirtmemişlerdir.

"Soru 15: Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM destekli simülasyon araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir)."

Bu soru ile, katılımcıların BIM destekli simülasyon araçlarını kullanım eğilimleri değerlendirilmiştir. Seçenekler arasında yer alan simülasyon araçları, BIM tabanlı veri modelleriyle entegre şekilde çalışarak gelişmiş performans analizleri sunabilmektedir, ancak bu araçlar, doğrudan AI algoritmalarına dayalı otonom çözüm üretme kapasitesine sahip değildir. Bu yazılımlar, kullanıcıların belirlediği parametrik veri girişi doğrultusunda çeşitli çevresel ve yapısal senaryoları simüle ederek tasarım sürecine veri temelli katkı sağlamaktadır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği Şekil 5.7'de belirtilmiştir:

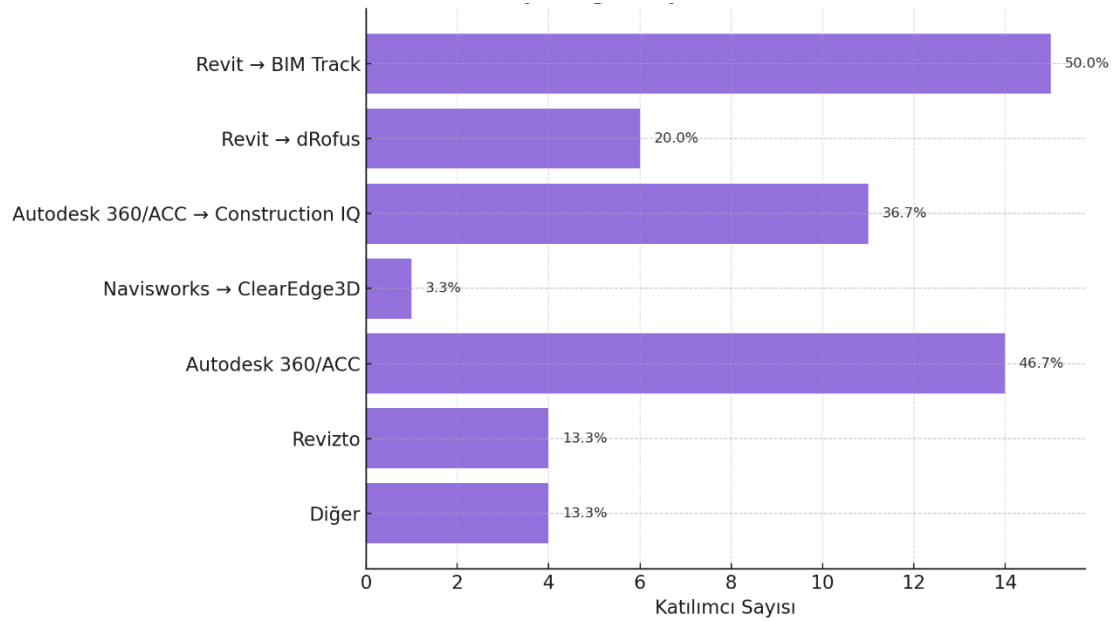


Şekil 5. 7: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM Destekli Simülasyon Araçları.

Revit → Sefaira yazılımları %53,3 yoğunluk oranı ile katılımcılar tarafından en fazla tercih edilen araç olmuştur. Sefaira eklentisi, Revit ortamına entegre olarak çalışmakta ve enerji performansı odaklı analizler ile çok kriterli tasarım kararlarını desteklemektedir [Fernandez-Antolin vd., 2021]. Katılımcıların %30 yoğunluk oranı ile tercih ettiği Ladybug Tools ve Honeybee eklentileri, simülasyon tabanlı analizlerde öne çıkan araçlar arasında yer almaktadır. Ladybug Tools, parametrik geometri temelli modeller aracılığıyla iklim koşullarını simüle edebilmekte ve bu simülasyonları tasarım varyasyonlarının performans çıktılarıyla ilişkilendirmektedir [Paris vd., 2022]. Honeybee ise bir mekanın iç ortamına ait gün ışığı ve enerji performansı verilerini sağlayan açık kaynaklı Grasshopper eklentisidir [Ladybug Tools, 2025]. Bu bağlamda, katılımcıların söz konusu simülasyon araçlarını, çevresel performans değerlendirmesi yapabilmek ve tasarım kararlarını desteklemek amacıyla tercih ettikleri söylenebilir. Buna karşılık IES VE, katılımcılar tarafından %10 yoğunluk oranı ile işaretlenmiş, SimScale simülasyon aracı hiçbir katılımcı tarafından işaretlenmemiştir. Dolayısıyla, bu yazılımların sınırlı düzeyde kullanılan araçlar olduğu ifade edilebilir. “Diğer” kategorisine giren seçeneklerin toplam yoğunluk oranı ise %16,7 olup, bu grup içinde kullanım dışı veya sistematik yanıt hataları yer almaktadır.

“Soru 16: Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve AI destekli bulut tabanlı ve yerel merkezi veri senkronizasyonu sağlayan iş birliği araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların BIM ve AI destekli bulut tabanlı ve yerel merkezi veri senkronizasyonu sağlayan iş birliği araçlarını kullanım eğilimleri değerlendirilmiştir. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.8**'de belirtilmiştir:



Şekil 5. 8: Katılımcıların Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullandıkları BIM ve AI Destekli Bulut Tabanlı ve Yerel Merkezi Veri Senkronizasyonu Sağlayan İş Birliği Araçları.

Revit → BIM Track %50 kullanım yoğunluğu oranı ile katılımcılar tarafından en çok tercih edilen programlardır. BIM Track, sorun odaklı veri yönetimi ve disiplinler arası iletişimi merkezine alan bir BIM koordinasyon platformudur **[BIM Track, 2025]**. Ayrıca kullanıcıların projelerde karşılaştıkları çakışma, revizyon ve eksik bilgi sorunlarını tespit edip, bu sorunlara ait verileri kayıt altına alınmasına, ilgili kişilere görev ataması yapılmasına ve çözüm süreçlerinin zaman çizelgesiyle birlikte takip edilmesine olanak tanımaktadır **[BIM Track, 2025]**. Anket kapsamında, BIM Track Revit yazılımı ile entegre çalışan bir eklenti olarak seçenekler arasında sunulmuştur. Ancak, bulut tabanlı web arayüzü aracılığıyla da erişilebilmekte, aynı zamanda

Navisworks, AutoCAD ve Tekla Structures yazılımlarıyla da çok yönlü entegrasyon sunarak disiplinler arası iş birliğini desteklemektedir **[BIM Track, 2025]**.

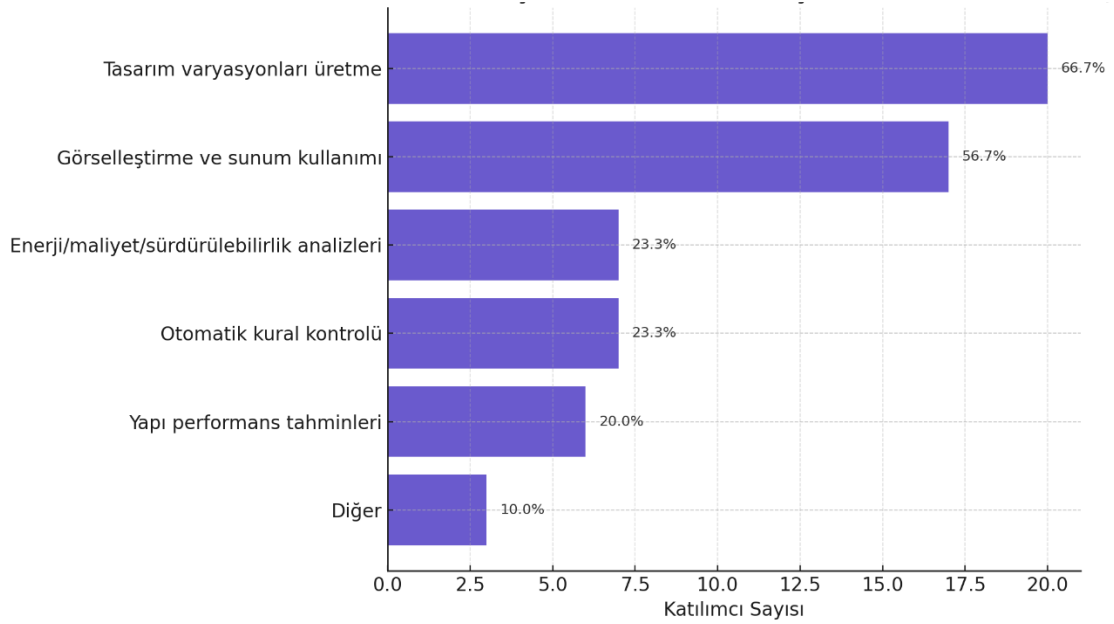
Kullanıcılar tarafından %46,7 kullanım yoğunluğu oranı ile ikinci olarak en çok tercih edilen bulut tabanlı yazılım Autodesk 360/ACC'dir. Autodesk 360/ACC, belge yönetimi, tasarım koordinasyonu, kalite kontrolü ve saha uygulamaları süreçlerinde, inşaat proje yönetiminin çok yönlü bileşenlerini merkezi ve çevrim içi bir platformda bütünlüştirmektedir **[McLine Studios, 2025]**. Bu sayede, kullanıcılar proje belgelerini yönetebilmekte, bilgi taleplerini izleyebilmekte, alt yüklenicileri koordine edebilmekte ve mimari tasarım süreçlerinde çatışma tespiti yapabilmektedir **[McLine Studios, 2025]**.

Katılımcılar Autodesk 360/ACC → Construction IQ, Revit → dRofus, Revizto yazılımlarını ise sırası ile %36,7, %20 ve %13,3 yoğunluk oranı ile tercih etmektedir. Construction IQ, proje ekiplerinin risk yönetimini ve günlük performanslarını iyileştirmelerine yardımcı olan bir sistemdir, ayrıca bu sistem, Autodesk BIM 360'tan gelen verileri analitik teknikler ve makine öğrenimi algoritmalarıyla işleyerek, kullanıcıya basit ve eyleme dönüştürülebilir içgörüler sunmaktadır **[Autodesk, 2025c]**. dRofus, işveren gereksinimlerinin karşılanmasını güvence altına almayı, tekrarlayan ve zaman alıcı görevleri otomatikleştirerek üretkenliği artırmayı, proje ekipleri için güvenilir iş akışları oluşturmayı ve teslim edilecek çıktılarının üretimini sistematik hale getirmeyi amaçlayan, bulut tabanlı bir BIM veri yönetim ve planlama platformudur **[dRofus, 2025]**. Revizto ise 2D ve 3D BIM verilerini merkezi bir platformda birleştirerek proje ekiplerinin model tabanlı sorunları görselleştirmesine, takip etmesine ve disiplinler arası koordinasyonu gerçek zamanlı olarak yönetmesine olanak tanıyan bulut tabanlı bir iş birliği aracıdır **[Revizto, 2025]**. Dolayısıyla, Construction IQ'nun AI destekli risk analizi, dRofus'un veri yönetimi ve program takibi, Revizto'nun ise görsel koordinasyon ve sorun yönetimi sağlaması, katılımcıların BIM süreçlerinde yalnızca modelleme değil, aynı zamanda karar destek, iş birliği ve süreç yönetiminde de dijital araçları kullandığı belirtilebilir.

Buna karşılık Navisworks → ClearEdge3D, katılımcılar tarafından %3,3 yoğunluk oranı ile işaretlenmiş, "diğer" kategorisi altında %13,3'lük grupta ise, kullanım dışı veya sistematik yanıt hataları bulunmaktadır.

“Soru 17: Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı yazılımları hangi karar verme aşamalarında kullandınız/kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların AI destekli BIM tabanlı araçları mimari tasarım süreçlerinde hangi karar verme aşamalarında kullandıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.9**’da belirtilmiştir:



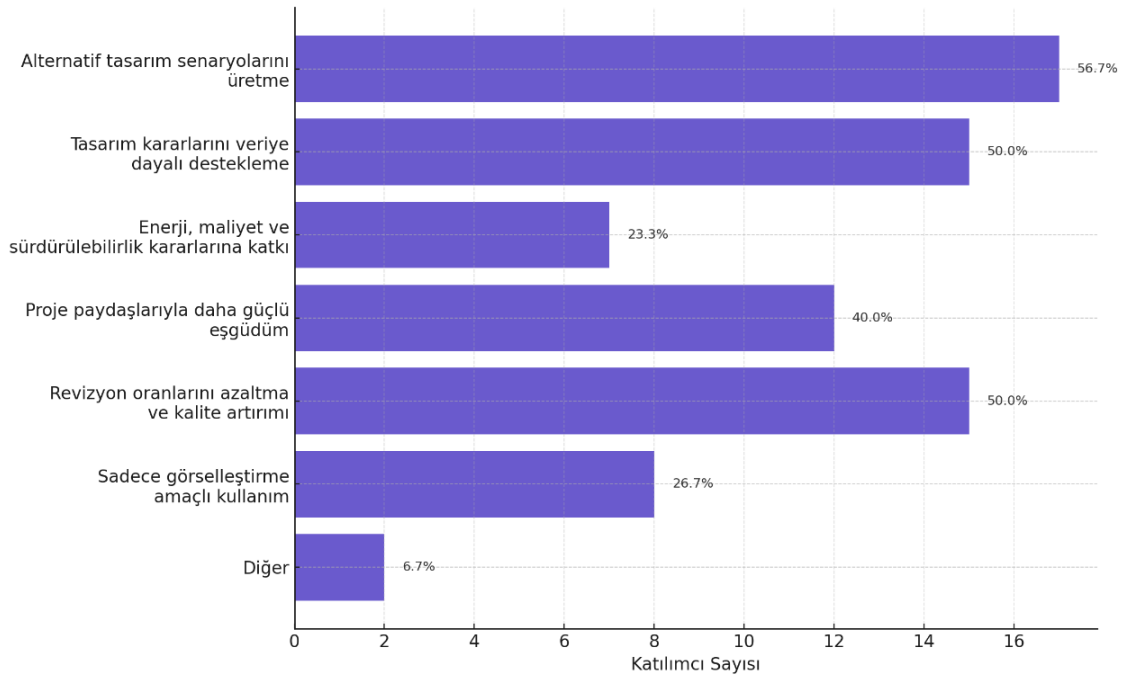
Şekil 5. 9: AI Tabanlı BIM Araçlarının Karar Süreçlerindeki Kullanım Dağılımı.

Katılımcıların verdiği yanıtlar doğrultusunda, AI destekli BIM araçlarının mimari tasarım sürecindeki karar verme aşamalarında, %66,7’lik kullanım yoğunluğu oranı ile tasarım varyasyonları üretme (generative design) olduğu görülmektedir. Generatif tasarım araçları, parametrik girdiler ile farklı tasarım alternatifleri oluşturulmasına olanak tanıyarak, tasarımcıya karar verme sürecinde çoklu alternatifler sunmaktadır [Hamdy vd., 2024]. İkinci sırada yer alan %56,7 kullanım yoğunluğu oranı ile görselleştirme ve sunum seçeneğidir. Bu durum, AI destekli BIM araçlarının tasarım sunumu ve iletişimi için ifade temelli süreçlerde de aktif olarak kullanıldığını göstermektedir. Katılımcılar %23,3 yoğunluk oranı ile bu araçları enerji verimliliği, maliyet ve sürdürülebilirlik analizleri ile otomatik kural kontrolü (ör. çakışma tespiti) gibi teknik değerlendirme süreçlerinde kullandığını belirtmiştir. Bu bulgular, AI destekli BIM araçlarının tasarım doğrulama ve analiz işlevleri açısından da tercih

edildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, katılımcılar %20 yoğunluk oranı ile AI destekli BIM araçlarını ısı, ışık ve hava akımı gibi yapı performans tahminleri amacıyla kullandığını ifade etmiştir. Bu kullanım biçimi, özellikle simülasyon tabanlı karar destek süreçlerinin erken tasarım aşamalarında veri temelli yaklaşımlarla desteklenebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, %10 yoğunluk oranında kullanım dışı veya sistematik yanıt hataları bulunmaktadır. Bu bağlamda, AI destekli BIM araçlarının mimari karar verme süreçlerinde özellikle tasarım keşfi ve görsel iletişim odaklı alanlarda öne çıktığı, ancak teknik analiz ve otomasyon süreçlerinde de anlamlı bir kullanım oranına sahip olduğu görülmektedir.

“Soru 18: Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı programlar, karar verme aşamalarında hangi etkileri yarattı? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru kapsamında, AI destekli BIM programlarının mimari tasarım sürecine katkıları ve karar verme aşamalarındaki etkileri katılımcı görüşleri doğrultusunda analiz edilmiştir. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.10**’da belirtilmiştir:

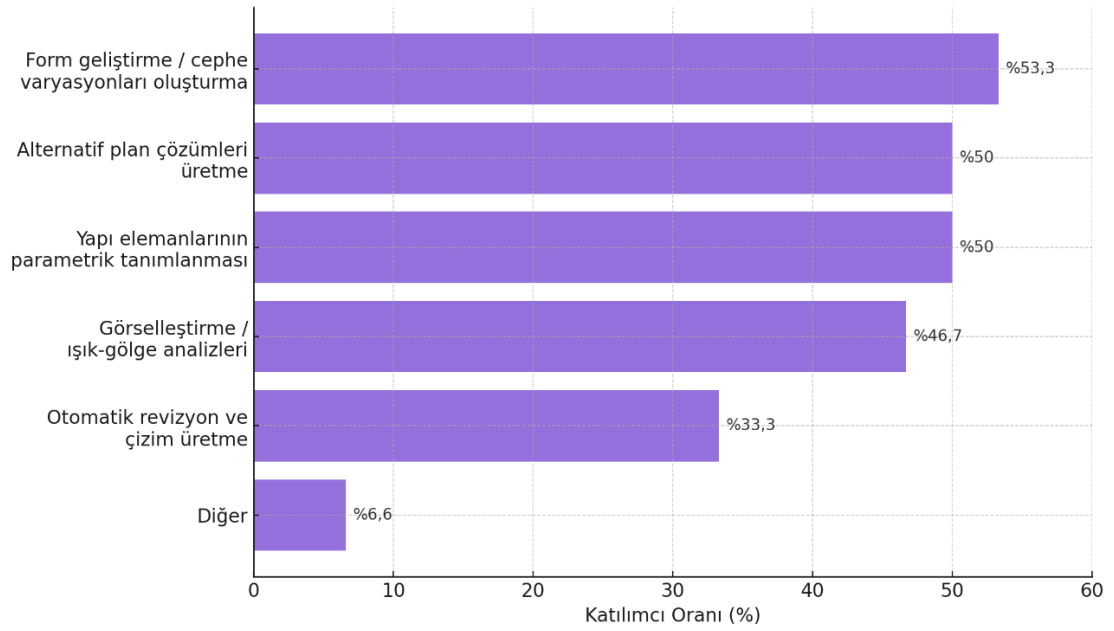


Şekil 5. 10: AI Destekli BIM Programlarının Mimari Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Aşamalarına Etkileri.

Katılımcıların verdiği yanıtlar doğrultusunda, AI destekli BIM yazılımlarının mimari karar süreçlerindeki en belirgin etkisi, %56,7 kullanım yoğunluğu ile alternatif tasarım senaryoları üretme (generatif tasarım) yönünde olmuştur. Bu durum, generatif sistemlerin erken tasarım sürecinde yaratıcı keşifleri artırarak, çoklu çözümler arasında karşılaştırmalı değerlendirme imkanı sunduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcılar %50'si yoğunluk oranı ile, bu araçların tasarım kararlarını veriye dayalı şekilde desteklediğini ifade etmiştir. Bu bulgu, AI algoritmalarının girdi parametrelerini işleyerek belirli hedeflere ulaşma kapasitesi sayesinde, veriye dayalı karar verme süreçlerini daha hızlı ve sistematik biçimde yapılandırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yine %50 yoğunluk oranında verilen yanıtlara göre, bu sistemlerin revizyon oranlarını azalttığı ve kaliteyi artırdığı ifade edilmiştir. Nitekim, **Pan ve Zhang [2020]** modelleme verimliliğini arttırmak için Autodesk Revit ile günlük verileri kullanarak tasarım komutlarının öğrenilmesi ve tahmin edilmesi üzerine derin öğrenme modelleriyle bir programlama geliştirmiştir. Proje paydaşlarıyla daha güçlü eşgüdüm seçeneği ise %40'lık yoğunluk oranı ile seçilmiştir. Bu sonuç, **Boechat ve Corrêa [2021]**'nın, mimarlar ve mühendisler arasında BIM ve AI entegrasyonunun disiplinler arası koordinasyonu güçlendirdiği tespitiyle örtüşmektedir. En düşük yoğunluk oranında işaretlenen seçenekler ise %23,3 ile enerji, maliyet ve sürdürülebilirlik, %26,7 ile yalnızca görselleştirme ve sunum seçenekleri olmuştur. Bu bağlamda, AI destekli BIM araçlarının mimari tasarım süreçlerinde, teknik analiz ve sunuma yönelik karar aşamalarında en az katkıyı sağladığı söylenebilir. Bununla birlikte, %6,7 yoğunluk oranında verilen yanıtlar “diğer” seçeneği altında işaretlenmiş, herhangi bir açıklama metni yazılmamıştır.

“Soru 19: Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı otomasyon çözümlerinden hangi alanlarda yararlandınız/yararlanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların AI destekli BIM araçlarının mimari tasarım süreçlerinde sunduğu otomasyon çözümlerini, hangi amaçlarla kullandıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.11**'de belirtilmiştir:



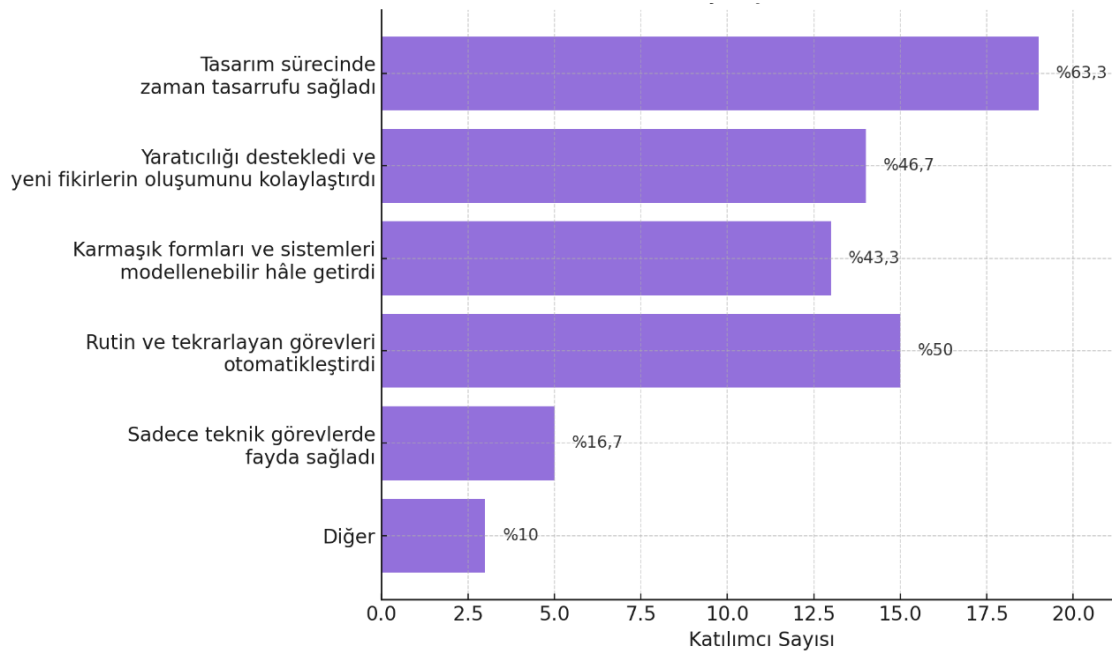
Şekil 5. 11: AI Destekli BIM Programlarının Mimari Tasarım Süreçlerin Otomasyon Çözümlerini Kullanım Alanları.

Yapılan analizler doğrultusunda %53,3 yoğunluk oranı ile, AI destekli BIM tabanlı otomasyon çözümlerinin mimari tasarım sürecinde en çok olarak form geliştirme ve cephe varyasyonları üretme amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Bu bulgu, generatif tasarım ve parametrik modelleme yaklaşımlarının mimari tasarım sürecindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Nitekim **Matter ve Gado [2024]**, AI ile alternatif konseptlerin hızlıca üretilmesinin tasarım kararlarını hızlandığını ve yaratıcı süreci desteklediğini vurgulamaktadır. Katılımcılar %50 yoğunluk oranı ile, alternatif plan çözümleri üretme amacıyla bu araçları kullandıklarını belirtmiştir. Elde edilen bu veri, **L. Caldas [2008]**'in, üretken tasarım araçlarının karar verme süreçlerinde etkili biçimde kullanıldığı görüşünü desteklemektedir. Katılımcılar tarafından %50 yoğunluk oranında işaretlenen diğer bir seçenek yapı elemanlarının parametrik tanımlanmasıdır. **Gao vd. [2024]**, parametrik tanımlı BIM modellemenin yapı öğeleri arasında kurulan dinamik ilişkiler sayesinde, tasarım varyasyonlarının hızlıca oluşturulabildiğini ve değişikliklerin model geneline otomatik olarak yansıtılarak sürecin hem tekrarlanabilir hem de esnek bir yapıya kavuştuğunu belirtmektedir. Görselleştirme ve ışık-gölge analizlerini içeren çevresel etki değerlendirmeleri %46,7 yoğunluk oranında işaretlenmiştir. **Fernandez-Antolin vd. [2021]**, performans odaklı tasarım için, çevresel değerlendirmelerin tasarım kalitesini artıran temel girdilerden biri olarak görüldüğünü vurgulamaktadır. Otomatik revizyon

ve çizim üretimi ise %33,3 yoğunluk oranında tercih edilmiştir. Dolayısıyla bu uygulamaların otomatik revizyon ve çizim üretimi alanında yaygınlık kazanma sürecinde olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, %6,6 yoğunluk oranında verilen yanıtlar “diğer” seçeneği altında işaretlenmiş, herhangi bir açıklama metni yazılmamıştır.

“Soru 20: AI destekli BIM tabanlı otomasyon çözümleri, mimari tasarım süreçlerinizde hangi etkileri yarattı? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru aracılığıyla, katılımcıların AI destekli BIM araçlarının otomasyon çözümleri doğrultusunda mimari tasarım süreçlerinde ne tür etkiler yarattığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.12**’de belirtilmiştir:



Şekil 5. 12: AI Destekli BIM Otomasyon Çözümlerinin Mimari Tasarım Sürecine Etkileri Üzerine Katılımcı Değerlendirmeleri.

Katılımcılar %63,3 yoğunluk oranı ile AI destekli BIM çözümlerinin tasarım sürecinde zaman tasarrufu sağladığını belirtmiştir. Bu sonuç, **Mostafa vd. [2023]** tarafından da vurgulanan otomasyonun üretkenliği artırma gücünü destekler niteliktedir. Ayrıca katılımcılar %50 yoğunluk oranı ile bu teknolojilerin rutin ve tekrarlayan görevleri otomatikleştirdiğini ifade etmiştir. Bu bağlamda, özellikle çizim üretimi, veri girişi ve revizyon tekrarlı süreçlerin dijitalleşmesinin tasarımcılara yaratıcı düşünce için daha

fazla zaman kazandırdığı söylenebilir. Katılımcılar da %46,7 yoğunluk oranı ile otomasyon çözümlerinin yaratıcılığı desteklediğini ve yeni fikirlerin oluşumunu kolaylaştırdığını belirtmiştir. Yine %43,3 yoğunluk oranında katılımcı, AI destekli BIM çözümlerinin karmaşık formların ve sistemlerin modellenmesini kolaylaştırdığını ifade etmiştir. **Gao vd. [2024]** parametrik sistemlerin bu tür formların kontrolünü kolaylaştırdığını ve yapısal geçerliliğini artırdığını vurgulamaktadır.

Öte yandan, %16,7 yoğunluk oranında katılımcı grubu otomasyon çözümleri yalnızca teknik görevlerde faydalı bulmuştur. Bu durum, bazı kullanıcıların AI destekli araçları, stratejik ya da yaratıcı tasarım süreçleri dışında, teknik destek amaçlı kullandıklarını göstermektedir. %10 yoğunluk oranında verilen yanıtlar “diğer” seçeneği altında işaretlenmiş, herhangi bir açıklama metni yazılmamıştır.

“Soru 21: AI destekli BIM tabanlı programlar kullanarak, mimari tasarım süreçlerinde oluşturduğunuz bilgiler nasıl yönetilmektedir?”

Bu soru ile katılımcıların mimari tasarım süreçlerinde ürettikleri bilgileri nasıl yönettikleri ve bu sürecin AI destekli BIM tabanlı sistemlerle ne ölçüde entegre edildiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Tablo 5.9**’da belirtilmiştir:

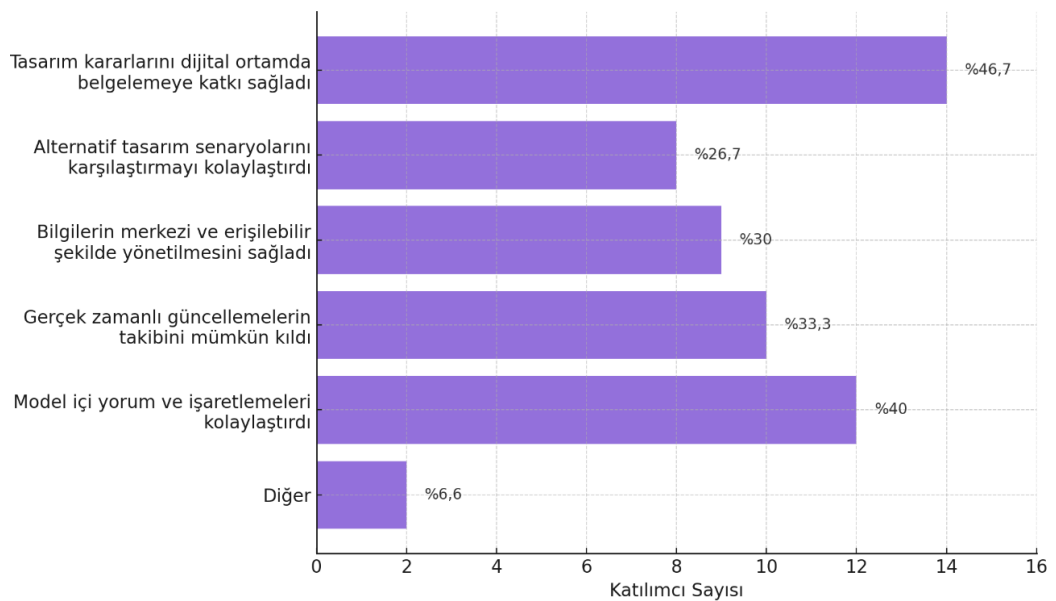
Tablo 5.9: Katılımcıların AI Destekli BIM Süreçlerinde Bilgi Yönetimine Yönelik Uygulamaları.

YANIT SEÇENEĞİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
Tüm Tasarım Kararları Dijital Ortamda Belgeleniyor ve BIM Modeline Entegre Ediliyor	10	33,3
Alternatif Çözümler Kayıt Altına Alınıyor ve Versiyonlanarak İzleniyor	8	26,7
Kararlar Ekip İçinde Paylaşıyor ve Yorumlanıyor	5	16,7
Bilgiler Model İçinde Güncel Tutuluyor Fakat Belgelenmiyor	2	6,7
Genellikle Sadece Çizim Üretimine Yönelik Bilgi Yönetiliyor	1	6,7
Diğer	3	9,9
TOPLAM	30	100

Tabloda yer alan verilere göre, katılımcıların %33,3'ü tasarım kararlarını dijital ortamda belgeleyerek, doğrudan BIM modeline entegre etmektedir. Bu sonuç, **Love vd. [2014]**'nin bilgi yönetimini, yalnızca veri toplama değil, aynı zamanda bilginin yeniden kullanımı ve bilgi paylaşımını kolaylaştıracak biçimde işlenmesi tanımını desteklemektedir. Katılımcıların %26,7'si alternatif çözümleri versiyonlayarak kayıt altına aldıklarını belirtmiştir. **Succar vd. [2013]** bu konuda BIM'in karar süreçlerinde versiyonlanabilir bilgi yapılarıyla çok paydaşlı koordinasyonlara olanak tanıdığı ifade etmektedirler. %16,7'lik bir kesim ise, bilgiyi ekip içinde paylaşarak yorumladığını ifade etmiştir. Bu yönelim, **Garber [2014]**'in BIM sistemlerinin tasarım sürecinde açık iletişim ve şeffaf iş birliği ortamı sunduğu ve kararların ortaklaşa şekillenmesine olanak tanıdığı söylemi ile doğrudan ilişkilidir. %6,7 oranına sahip yanıtlar ise, “bilgiler model içinde güncel tutuluyor fakat belgelenmiyor” ve “genellikle sadece çizim üretimine yönelik bilgi yönetiliyor” seçenekleridir. Son olarak, katılımcılar %10 oranında “diğer” seçeneğini işaretlemiş ve herhangi bir açıklama metni yazmamışlardır.

“Soru 22: Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı programlar, bilgi yönetimi aşamalarında hangi etkileri yarattı? (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir).”

Bu soru ile, katılımcıların mimari tasarım süreçlerinde ürettikleri bilginin bilgi yönetimi aşamalarına nasıl etki ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.13**'te belirtilmiştir:



Şekil 5. 13: AI Destekli BIM Araçlarının Bilgi Yönetimine Etkileri.

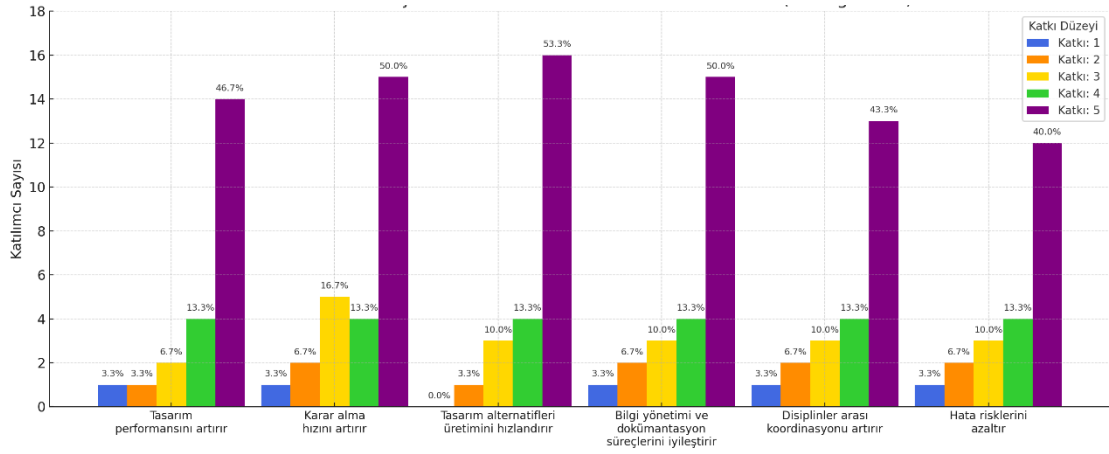
Katılımcılar %46,7 yoğunluk oranı ile, AI destekli BIM araçlarının tasarım kararlarını dijital ortamda belgelemeye katkı sunduğunu belirtmiştir. Bu bulgu, **Eastman vd. [2011]**'in BIM'in temel faydalarından biri olarak kararların dijital ortamda belgelenmesi ve izlenebilir hale getirilmesini vurgulayan yaklaşımıyla örtüşmektedir. Ayrıca, AI destekli kavramsal modelleme sistemleri aracılığıyla dijital belge yönetimi, BIM ile entegre edilerek bilginin sorgulanabilir, paylaşılabilir ve dijital olarak organize edilebilir hale getirilmesini mümkün kılmaktadır [**S. Zhang vd., 2014**]. %40 yoğunluk oranındaki kesim ise model içi yorum ve işaretleme olanaklarının arttığını vurgulamıştır. **Garber [2014]**, BIM'in dijital iş birliği ortamı olarak bu tür yorumların ve katılımcı geri bildirimlerin entegre edilmesini kolaylaştırdığını savunmaktadır.

Katılımcılar %33,3 yoğunluk oranında sistemlerin gerçek zamanlı güncellemeleri mümkün kıldığını ifade etmiştir. Bu bulgu **Almaz vd. [2024]**'nin bilgi yönetiminde, gerçek zamanlı güncellemeler hakkında, AI ile desteklenmiş BIM sistemlerinin karar kalitesini artırdığı ve geri bildirim döngülerini hızlandırdığı görüşü ile örtüşmektedir. Bilgilerin merkezi ve erişilebilir şekilde yönetilebilmesi seçeneğini %30 yoğunluk oranında katılımcı işaretlemiştir. **Succar vd. [2013]**'nin, bu tür sistemlerin disiplinler arası bilgi yönetimi altyapılarını güçlendirdiği ve sürdürülebilir bir veri akışı sağladığı görüşü bu sonucu desteklemektedir.

Alternatif tasarım senaryolarını karşılaştırma ise %26,7 yoğunluk oranında işaretlenmiştir. Bu kapsamda, özellikle konsept tasarım ve varyasyon üretimi süreçlerinde AI destekli simülasyon ve değerlendirme modellerinin kullanımının yaygınlaşmaya başladığı ifade edilebilir. Son olarak, %6,6 yoğunluk oranında işaretlenen “diğer” kategorisi, genellikle sınırlı kullanım veya bilgi yönetiminin henüz sistematik biçimde gerçekleştirilmediği durumları işaret etmektedir.

“Soru 23: BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımının mimarlık sektörüne sağlayabileceği katkıları 1 (Hiç Katkı Sağlamaz) ile 5 (Çok Büyük Katkı Sağlar) arasında değerlendiriniz:”

Bu soru ile, katılımcıların BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne sağlayabileceği katılara ilişkin algıları beşli Likert ölçeği üzerinden değerlendirilmiş ve bu teknolojilerin tasarım süreçlerine hangi açılardan olumlu etki ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği Şekil 5.14'te belirtilmiştir:



Şekil 5. 14: BIM-AI Teknolojilerinin Mimari Tasarıma Katkıları Üzerine Katılımcı Görüşleri.

Katılımcılar, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık sektörü üzerindeki etkilerine ilişkin en yüksek katkıyı %53,3 oranla “tasarım alternatifleri üretimini hızlandırma”, %50 oranla “karar alma hızını artırma” ve %50 oranla “bilgi yönetimi ile dokümantasyon süreçlerini iyileştirme” alanlarında belirtmiştir. Tasarım alternatifleri üretimi (generatif tasarım), çok sayıda çözümün hızlı şekilde oluşturulması ve değerlendirilmesini mümkün kılarak tasarım performansına doğrudan katkı sağlamaktadır [Mukkavaara ve Sandberg, 2020]. Elde edilen bu sonuç, Evins vd. [2012]’nin, AI destekli optimizasyon yaklaşımlarının çevresel, yapısal ve işlevsel ölçütleri dikkate alarak “yaklaşık en iyi çözümleri” sunma kabiliyeti çalışmaları ile de desteklenmektedir. Bu bağlamda BIM ve AI teknolojilerinin, mimarlar tarafından özellikle karar destek sistemleri, tasarım alternatifleri üretimi (otomasyon) ve bilgi yönetimi alanlarında yoğun olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Karar alma süreçlerinin hızlanması, parametrik modelleme ve simülasyon destekli karar destek sistemleri sayesinde mümkün olmaktadır. BIM verilerinin AI algoritmalarıyla bütünleşik kullanımı sayesinde, alternatif senaryolar hızlıca değerlendirilmekte ve belirsizlik içeren tasarım süreçlerinde daha güvenilir kararlar alınabilmektedir [Pan vd., 2023], [Sacks vd., 2020]. Bilgi yönetimi ve dokümantasyon süreçlerindeki iyileşme, tasarım sürecinde üretilen verilerin sistematik olarak kaydedilmesini, erişilebilir hale getirilmesini ve özellikle çok paydaşlı projelerde iş birliğinin sağlanmasını mümkün kılmaktadır [Succar vd., 2013], [Love vd., 2014].

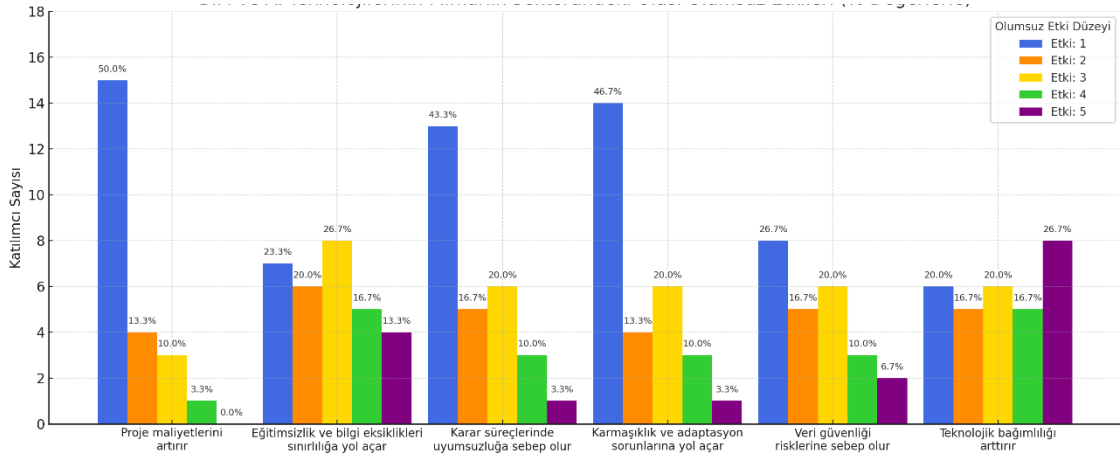
Katılımcıların %46,7'si, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne “tasarım performansını artırma” yönünde yüksek katkı sağladığını belirtmiştir. Bu bulgu **Mukkavaara ve Sandberg [2020]** ile **L. Caldas [2008]**'ın, AI tabanlı sistemlerin çok kriterli değerlendirme yaparak optimum tasarım çözümleri ürettiği ve bu sayede tasarımcıların performans odaklı kararlar almasının kolaylaştırdığı görüşünü desteklemektedir.

“Disiplinler arası koordinasyon” ve “hata risklerinin azaltılması” ise sırası ile, %43,3 ve %40 oranında işaretlenerek yüksek katkı düzeyinde değerlendirilmiştir. **Eastman vd. [2011]**, BIM'in özellikle 3D çakışma analizi ve entegre modelleme sayesinde disiplinler arası bilgi akışını senkronize ettiğini ve uygulama hatalarının önüne geçilmesini sağladığını belirtmektedir. Bununla birlikte **Almaz vd. [2024]**, AI'nın proje verilerini geçmiş hatalar ve tasarım örüntüleriyle karşılaştırarak proaktif uyarı sistemleri geliştirmeye olanak sağladığını; böylece hata risklerini minimize ederek daha güvenli ve koordineli tasarım süreçleri oluşturduğunu vurgulamaktadır.

Bu kapsamda, katılımcılar yüksek oranda AI destekli BIM teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine önemli katkılar sağladığını ifade etmiştir, bu durum literatürde vurgulanan, AI ve BIM entegrasyonunun sağladığı temel işlevsel avantajlarla örtüşmektedir.

“Soru 24: BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımının mimarlık sektörüne olan olumsuz etkilerini 1 (Hiç Olumsuz Etki Yapmaz) ile 5 (Çok Büyük Olumsuz Etki Yapar) arasında değerlendiriniz.”

Bu soru ile, katılımcıların BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık sektöründe olumsuz etkilerine ilişkin algıları beşli Likert ölçeği üzerinden değerlendirilmiş ve bu teknolojilerin tasarım süreçlerine hangi açılardan olumsuz etki ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Şekil 5.15**'te belirtilmiştir:



Şekil 5. 15: BIM-AI Teknolojilerinin Mimari Tasarıma Olumsuz Etkileri Üzerine Katılımcı Görüşleri.

Katılımcıların %50'si, BIM ve AI teknolojilerinin “proje maliyetlerini artırabileceği” seçeneğini, olumsuz etki yapmayacağı yönünde değerlendirmiştir. Bu bulgu, **Alreshidi vd. [2018]**’nin, özellikle küçük ölçekli ofislerde BIM tabanlı sistemlerin benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden birinin yüksek maliyet olduğu yönündeki görüşüyle çelişmektedir. Bu durum, katılımcıların BIM ve AI teknolojilerinin başlangıç yatırım maliyetlerine rağmen, süreç verimliliği, hata azaltma ve uzun vadeli tasarruf getirilerini daha baskın gördüklerini düşündürmektedir. “Karmaşıklık ve adaptasyon sorunlarına yol açar” ile “karar süreçlerinde uyumsuzluğa sebep olur” seçenekleri ise olumsuz etki yapmayacağı yönünde sırasıyla %46,7 ve %43,3 oranında işaretlenmiştir. Ancak, **Matter ve Gado [2024]**, AI destekli sistemlerin sunduğu hızlı ve çeşitli analiz olanaklarının, bazı durumlarda karar süreçlerinde belirsizlik ve yöntem uyumsuzlukları doğurabileceğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, **Succar vd. [2013]** de BIM uygulamalarının çok paydaşlı yapısı nedeniyle görev tanımları ve veri aktarımı alanlarında uyum sorunlarına neden olabileceğini ifade etmektedir. Bu durumda, katılımcıların söz konusu olası riskleri düşük düzeyde algılaması, teknolojilerin getirdiği karmaşıklığın günlük pratikte henüz belirgin bir sorun yaratmadığını ya da bu sistemlerle ilgili deneyim düzeylerinin henüz derinleşmediği sonucuna varılabilir.

“Eğitimsizlik ve bilgi eksikliği” kaynaklı sınırlılıklar da katılımcıların %26,7’si tarafından orta düzeyde olumsuz etki edeceği yönünde değerlendirilmiştir. **Succar vd. [2013]**, BIM’in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için teknolojik altyapının uygun

olmasının yanında, insan kaynağının da bilgi ve beceri açısından bu dönüşüme hazır olması gerektiğini vurgulamaktadır. **Kolarevic [2004]** ise dijital tasarım araçlarının mimarlık pratiğinde etkili olabilmesi için tasarımcıların bu sistemlerin mantığını anlaması ve yaratıcı potansiyelini kavrayabilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Ancak, diğer seçeneklerin işaretlenme oranlarının da birbirine oldukça yakın olması, bu başlık altındaki görüşlerin homojen bir eğilim göstermediğini ve katılımcılar arasında bu konulara ilişkin algıların göreceli olarak çeşitlilik taşıdığını ortaya koymaktadır.

Veri güvenliği riskleri, %26,7 oranında olumsuz etki yapmayacağı, %16,7 oranında az düzeyde olumsuz etki yapacağı ve %20 oranında orta düzeyde olumsuz etki yapacağı yönünde değerlendirilmiştir. Bu durum katılımcıların yüksek oranda, veri güvenliği konusunu BIM ve AI teknolojileri bağlamında doğrudan bir tehdit olarak görmediğini ortaya koymaktadır. Ancak toplamda %16,7'lik bir kesim bu başlığı çeşitli düzeylerde olumsuz etki alanında değerlendirmiştir. Bu sonuca referansla, **Alreshidi vd. [2018]**, bu konuda BIM projelerinde merkezi veri yönetimi ve açık erişimli platformların, yeterli teknik altyapıya sahip olmayan kurumlarda veri güvenliği endişelerini artırabileceğini belirtmiştir. **S. Zhang vd. [2014]** ise, AI tabanlı bilgi işleme sistemlerinde verilerin sınıflandırılması, paylaşılması ve analiz edilmesi sırasında siber güvenlik açıklarının oluşabileceğini vurgulamıştır.

Son olarak, katılımcıların %26,7'si, “teknolojik bağımlılığı artırır” seçeneğini en yüksek düzeyde olumsuz etki yapar şeklinde değerlendirmiştir. Bu oran, diğer birçok olumsuz etki başlığıyla karşılaştırıldığında yüksek düzeyde olup, bazı katılımcıların BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerinde tasarımcının karar verme özerkliğini sınırlandırabileceği yönünde bir kaygı taşıdığını göstermektedir.

“Soru 25: Gelecekte BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımı sektörde yaygınlaşır mı?”

Bu soru ile, katılımcıların gelecekte BIM ve AI teknolojilerinin nasıl konumlanacağı yönündeki görüşleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu soruya toplam 30 kişi yanıt vermiş, elde edilen yanıtların grafiği **Tablo 5.10**'da belirtilmiştir:

Tablo 5.10: BIM ve AI Teknolojilerinin Gelecekteki Yaygınlığına Dair Katılımcı Görüşleri.

YANIT SEÇENEĞİ	FREKANS [N]	YÜZDE [%]
AI ve BIM Uygulamalarının Özellikle Mimari Tasarım Süreçlerinde Yaygınlaşacağını Düşünüyorum	11	36.7
AI ve BIM Uygulamalarının Teknik Analiz, Maliyet Hesaplamaları ve Optimizasyon Gibi Konularda Yaygınlaşacağını Düşünüyorum	11	36.7
AI ve BIM, Tüm Proje Süreçlerinde Aktif Rol Oynayacak, Biz Sadece Süreçleri Kontrol Eden Konumda Kalacağız	8	26.7
Bu Teknolojiler Belirli Alanlarda Fayda Sağlayabilir Ancak Sektörde Tam Anlamıyla Benimsenmesi Zaman Alacaktır	0	0.0
TOPLAM	30	100

Katılımcıların %36,7’si, AI ve BIM uygulamalarının “mimari tasarım süreçlerinde yaygınlaşacağını” ve “teknik analiz, maliyet hesaplamaları ve optimizasyon” alanlarında daha yaygın kullanılacağını düşünmektedir. Katılımcıların bu iki seçeneği eşit oranda tercih etmesi, gelecekte AI-BIM entegrasyonunun hem yaratıcı tasarım süreçlerinde hem de teknik ve hesaplama dayalı uygulamalarda yüksek potansiyele sahip olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Bu görüş, **Matter ve Gado [2024]**’ün AI destekli sistemlerin tasarım alternatifleri üretme, parametrik analiz ve performans simülasyonlarında yaygınlaşacağını vurgulayan değerlendirmeleriyle örtüşmektedir. Ayrıca **Pan vd. [2023]**, AI ve BIM entegrasyonunun, karar süreçlerini kolaylaştırması sayesinde, analitik ve yaratıcı tasarım alanlarında gelecekte daha fazla rol alacağını belirtmektedir. Katılımcıların %26,7’si ise AI ve BIM’in tüm “proje süreçlerinde aktif rol oynayacağını, mimarların daha çok süreci yöneten konumda kalacağını” düşünmektedir. Bu görüş, tasarım sürecinde otomasyonun artmasıyla birlikte mimarın rolünün yeniden tanımlanması gerektiğini savunan **Kolarevic [2004]** ve **Oxman [2008a]**’nın, görüşleriyle örtüşmektedir.

Son olarak “bu teknolojiler belirli alanlarda fayda sağlayabilir ancak sektörde tam anlamıyla benimsenmesi zaman alacaktır” seçeneği hiçbir katılımcı tarafından tercih edilmemiştir. Bu durum, katılımcıların, AI ve BIM teknolojilerinin sektörde yaygınlaşmasının gerekli bir dönüşüm olarak değerlendirdiğini göstermektedir.

“Soru 25: BIM ve AI entegrasyon teknolojilerine yönelik eklemek istediğiniz görüş veya önerileriniz varsa lütfen yazınız.”

Bu soru, açık uçlu biçimde düzenlenmiş olup, katılımcılardan BIM ve AI entegrasyon teknolojilerine ilişkin deneyim, öneri veya eleştirilerini serbestçe ifade etmeleri beklenmiştir. Toplamda 5 katılımcı bu soruya yanıt vermiştir.

Katılımcıların, BIM ve AI entegrasyon teknolojilerine yönelik serbest ifadelerle katkı sundukları bu soru, alana ilişkin bireysel deneyimleri, eleştirileri ve önerileri yansıtmaktadır. Açık uçlu nitel veriler incelendiğinde, görüşlerin teknolojik gelişmenin kaçınılmazlığı, araçların güncelliği, kavramsal belirsizlikler, sektörel altyapı eksiklikleri ve etik sorumluluklar gibi ana başlıklar etrafında toplandığı görülmektedir. Bazı katılımcılar, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarımda yaygınlaşmasının kaçınılmaz bir dönüşüm olduğunu ifade etmiş, bu dönüşümde yazılım firmalarının yavaş entegrasyon süreçlerini eleştirerek, sektörün diğer alanlara kıyasla geriden geldiğini belirtmiştir. Katılımcılardan biri, “sektöre hakim yazılımların AI entegrasyonu konusunda geri kaldığını ve bu durumun entegrasyonu geciktirdiğini” vurgulamış, dolayısıyla, yalnızca kullanıcılar değil, yazılım geliştiricilerin de adaptasyon sürecinde etkin rol üstlenmesi gerektiğini savunmuştur. Bu ifade, **[Pan vd., 2023]**’nin AI ve BIM entegrasyonunun teknik yeterliliğin ötesinde stratejik planlama ve sektörel yönlendirme gerektirdiği yönündeki görüşleri ile örtüşmektedir.

Diğer bir katılımcı, anketin zamanlamasını tartışarak, konunun henüz erken aşamada olduğunu, “araçların olgunluk düzeyinin ve AI’nın sektöre entegrasyon düzeyinin daha derinlemesine incelenmesi gerektiğini” ifade etmiştir. Bu görüş, **Oxman [2008a]**’in dijital araçların yalnızca teknolojik varlıklar değil, aynı zamanda düşünme biçimini şekillendiren birer “tasarım mantığı” oluşturduğu yönündeki yaklaşımıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, sürdürülebilirlik bağlamında 6D BIM kavramına yönelik gelen eleştirilerde, bu boyutun genellikle yanlış konumlandırıldığı ve “moda bir kavram” olarak ele alındığı vurgulanmıştır. Katılımcı, 6D’nin sürdürülebilirlik olarak ele alınmasının bina yaşam döngüsüne yanlış bir perspektiften yaklaştığını, bunun yerine tasarımın erken aşamalarında bina performansının esas alınması gerektiğini savunmuştur. Bu yaklaşım, **Kolarevic [2004]**’in erken dönem dijital tasarım araçlarının karar verme süreçlerini yönlendirmedeki rolünü vurguladığı çalışmalarıyla doğrudan ilişkilidir.

Etik perspektiften bakıldığında, bir katılımcı teknolojinin insan ve doğa merkezli kullanılmasının önemine dikkat çekmiştir. BIM ve AI entegrasyonunun iş güvenliği, öngörülebilirlik ve süreç yönetimi açısından fayda sağlayabileceği ifade edilirken, “insan duygularından uzaklaşma, mekanikleşmiş tasarım anlayışı, iş yükü baskısı ve etik dışı uygulamalar” gibi potansiyel tehlikelere de dikkat çekilmiştir. Bu tür söylemler, teknolojik gelişimin yalnızca araçsal değil, kültürel ve etik çerçevede de değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Son olarak, bazı katılımcılar çalışmayı “heyecan verici” bulduklarını ifade ederek, gelecekte bu alandaki gelişmeleri takip etmek istediklerini belirtmiştir. Bu da mimarlık mesleğinde yeni teknolojilere yönelik ilgi, merak ve entelektüel sahiplenme düzeyinin gelişmekte olduğunu göstermektedir.

5.2. Yarı Yapılandırılmış Görüşme Verilerine İlişkin Bulgular

Bu bölümde, araştırmanın nitel boyutunu oluşturan yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Görüşmeler, BIM ve AI entegrasyonunu mimari tasarım süreçlerinde aktif olarak deneyimlemiş profesyonel mimarlarla gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların mesleki birikimleri ve uygulama deneyimleri doğrultusunda, entegrasyonun karar verme mekanizmalarına, otomasyon temelli tasarım yaklaşımlarına ve bilgi yönetimi pratiklerine olan etkileri detaylı biçimde değerlendirilmiştir. Bu sayede, anket çalışmasında elde edilen nicel bulguların arkasındaki bağlamsal unsurlar nitel veriler aracılığıyla derinleştirilmiş ve araştırmanın kuramsal çerçevesi desteklenmiştir. Tematik analiz yöntemiyle çözümlenen görüşmeler, katılımcı ifadeleriyle desteklenerek sunulmuş; böylece BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım sürecine dair çok boyutlu bir değerlendirme ortaya konmuştur.

5.2.1. Doğrudan Alıntılar ile Destek

Bu alt bölümde, yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen nitel veriler, katılımcı ifadelerinden yapılan doğrudan alıntılarla desteklenerek analiz edilmiştir. Doğrudan alıntılar, katılımcıların kişisel deneyimlerine, mesleki birikimlerine ve gözlemlerine dayalı olarak BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin özgün yaklaşımlarını yansıtmak

amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntem, yalnızca tematik bulguların değil, aynı zamanda katılımcıların öznel değerlendirmelerinin ve sektörel farkındalık düzeylerinin de daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Anket verilerinden elde edilen nicel sonuçlara eşlik eden bu nitel veriler, araştırmanın bütüncül değerlendirme çerçevesini güçlendirmektedir.

Bu kapsamda gerçekleştirilen görüşmeler, bir yazılım firmasında çalışan BIM-AI uzmanlığına sahip bir mimar (Katılımcı 1) ile mimarlık pratiğini aktif olarak sürdüren ve alan mimarlığı yapan iki farklı mimar (Katılımcı 2 ve Katılımcı 3) ile yapılmıştır. Katılımcılar, mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI teknolojilerini kullanan, farklı ölçek ve içeriklerde projelerde yer almış profesyonellerdir. Görüşme soruları, literatür taramasında tanımlanan kavramsal çerçeve doğrultusunda hazırlanmış olup, katılımcıların BIM ve AI entegrasyonuna yönelik karar alma süreçleri, otomasyon temelli tasarım uygulamaları ve bilgi yönetimi pratiklerine ilişkin deneyimlerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Analiz süreci, görüşme sorularına verilen yanıtların ayrı ayrı ele alınarak tematik çözümlemeye tabi tutulması şeklinde yapılandırılmıştır. Her bir soru için, katılımcıların verdiği yanıtlar karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiş, bu analizler katılımcı ifadelerinden alınan doğrudan alıntılarla desteklenmiştir. Böylece hem bireysel yaklaşımlar hem de ortak temalar ortaya konularak, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım sürecindeki etkileri çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir.

“Soru 1: Bize biraz kendinizden ve BIM teknolojileriyle çalışma deneyiminizden bahseder misiniz? (Hangi BIM yazılımlarını kullanıyorsunuz ve ne kadar süredir bu alandasınız?)”

Katılımcıların BIM teknolojileriyle tanışma ve deneyim süreçleri farklı bağlamlar, yıllar ve profesyonel roller çerçevesinde şekillenmiştir. Bu farklılıklar, BIM'e geçiş sürecinin kurumsal yapı, bireysel yönelim ve sektörel adaptasyon gibi değişkenlerden yoğun şekilde etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Katılımcı 1, 2016 yılında mimarlık lisans eğitimini tamamlamış ve BIM teknolojileriyle ilk temasını lisans eğitimi sırasında gerçekleştirmiştir. 2018 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nde Mimarlık ve Kentsel Enformatik yüksek lisans programına başlamasıyla birlikte, BIM üzerine akademik düzeyde çalışmalar

yürütmüş, bu kapsamda tez çalışmaları ve akademik makaleler üretmiştir. 2020 yılında BIM odaklı bir yazılım firması olan 3D Yazılım'da teknik destek uzmanı olarak çalışmaya başlamış, ilerleyen süreçte teknik takım liderliği görevini de üstlenmiştir. Bu görevi kapsamında, bireysel yazılım kullanımından ziyade, farklı kurumlara BIM eğitimi ve danışmanlığı vermektedir. BuildingSMART tarafından onaylı sertifikalı eğitmen olarak görev yapmaktadır. Yaygın kullanılan yazılımlar hakkında bilgi sahibi olan Katılımcı 1, sektörde özellikle Autodesk Revit yazılımının çok disiplinli çalışma imkanları nedeniyle ön plana çıktığını belirtmiştir. Ayrıca mimarlara özel geliştirilmiş olması nedeniyle Graphisoft Archicad yazılımının da mimarlık uygulamalarında yaygın olarak tercih edildiğini ifade etmiş; mühendislik alanında ise Opem ve Tekla gibi yazılımların BIM'in üç boyutlu modelleme kapasitesine katkı sunduğunu vurgulamıştır. Katılımcı 1, BIM teknolojilerine dair yaklaşımını, "Kendimi aktif bir BIM yazılımı kullanıcısından ziyade, bu alanda eğitmenlik ve danışmanlık yapan bir uzman olarak tanımlıyorum." ifadesiyle özetlemiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, BIM ile ilk temaslarını 2012–2013 yılları arasında, ofis düzeyinde gerçekleştirmiştir. Bu süreçte Autodesk Revit yazılımı tercih edilerek ekip içinde bir pilot proje başlatılmıştır. Ancak projenin Rusya, Almanya, İngiltere ve Meksika gibi çok paydaşlı ve uluslararası aktörleri barındırması; özellikle şantiyedeki yetersiz dijital altyapı nedeniyle sürecin verimli ilerlemesini engellemiştir. BIM kullanımı uzun bir süre boyunca "paralel proje aracı" olarak sınırlı kalmış, 2013–2020 yılları arasında tam anlamıyla entegre edilmiş projeler geliştirilememiştir. Bu gecikmenin temel nedenlerinden biri olarak, işverenlerin dijital dönüşüme dair yeterince yönlendirici olmaması gösterilmiştir. Ancak pandeminin de etkisiyle birlikte, 2021 yılında ofis içinde BIM tabanlı tam geçiş kararı alınmış; bu kapsamda Moskova'da yürütülen iki proje, Revit temelli olarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 2, bu süreci, "BIM'e geçiş süreci 2013'te başladı ancak işveren talebi ve dijital kültür eksikliği nedeniyle tam anlamıyla entegrasyon 2021'de sağlanabildi. Bu durum, yaklaşık 7-8 yıllık bir olgunlaşma süreciydi." sözleri ile değerlendirmiştir.

Katılımcı 3, BIM teknolojileriyle 2019 yılında tanıştığını ve mezuniyet sonrası doğrudan BIM sertifika programına katıldığını belirtmiştir. BIM odaklı firmalarla çalışmayı özellikle tercih ettiğini vurgulayan katılımcı, bu alanda yaklaşık 5-6 yıllık deneyime sahiptir. Genç mimarların BIM'e daha yatkın olduğunu vurgulayan katılımcı, sektördeki dijital dönüşüme genç kuşağın öncülük ettiği görüşünü, "Genç

mimarların sektörde BIM geçişine öncülük etmeye başladığını gözlemliyorum. Özellikle kariyer seçimlerinde bu yönde bir bilinç oluşmuş durumda.” şeklinde ifade etmiştir.

Katılımcıların deneyimleri, BIM teknolojilerine geçişin yalnızca teknik değil, aynı zamanda kurumsal, kültürel ve bireysel faktörlerin etkileşimiyle şekillendiğini göstermektedir. Kullanılan yazılımlar arasında Autodesk Revit’in öne çıktığı, Archicad’in ise mimarlık odaklı çözümleri nedeniyle tercih edildiği belirtilmiştir. Teknolojik altyapı, işveren talepleri ve bireysel yönelimler; BIM’in sektördeki uygulama düzeyini doğrudan belirleyen unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

“Soru 2: AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne getirdiği veya getireceği yenilikler hakkında ne düşünüyorsunuz? AI, tasarım süreçlerinde hangi otomasyon veya veri analizi imkanlarını sunuyor?”

Katılımcıların AI teknolojilerine ilişkin değerlendirmeleri, mimari tasarım süreçlerinde yalnızca teknik kolaylık sağlayan bir araçtan öte, karar verme mekanizmalarını yeniden yapılandıran, yaratıcı potansiyeli destekleyen ve stratejik düşüncüyü güçlendiren bir dönüşüm aracı olarak ele alınmaktadır. Katılımcı 1, AI’yı mimarlık mesleği açısından “devrim niteliğinde yenilikler sunma potansiyeline sahip” bir teknoloji olarak tanımlamıştır. Katılımcı 1’e göre, günümüzde mimarlık pratiği büyük ölçüde operasyonel ve teknik görevlerin ağırlıkta olduğu bir yapıya bürünmüş durumdadır. Mimari tasarım sürecinin önemli bir bölümünün modelleme, çizim ve detay çözümleme gibi zaman alıcı aşamalarda geçtiği, bu durumun mimarın yaratıcı ve stratejik rollerini sınırladığı ifade edilmiştir. AI ise bu operasyonel yükü azaltarak, mimarların öz yetkinliklerine dayalı karar alma süreçlerinde daha aktif rol üstlenmelerini mümkün kılmaktadır. Katılımcı 1, özellikle BIM ile entegre çalışan AI algoritmalarının, otomatik tasarım varyasyonları üretebildiğini, büyük veri kümeleri üzerinden optimum çözümler önerebildiğini ve karar süreçlerini önemli ölçüde hızlandığını belirtmiştir. Ayrıca AI’nın sadece iş süreçlerini kolaylaştırmakla kalmayıp, insan sağlığı, yaşam güvenliği ve afet dayanıklılığı gibi toplumsal öncelikli konulara odaklanan çözümlerin geliştirilmesinde de etkin rol oynadığı vurgulanmıştır. Bu doğrultuda Katılımcı 1, “AI, mimarların yaratıcı ve toplumsal etkisi yüksek kararlar almalarına zemin hazırlayan bir dönüşüm aracıdır.” tespitinde bulunmuştur.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, yapay zeka teknolojilerini BIM’den bağımsız bir şekilde ele alarak, özellikle erken tasarım aşamalarındaki katkılarına dikkat çekmişlerdir. Katılımcılara göre, AI destekli enerji analizleri, tasarımın henüz kavramsal aşamasındayken uygulanarak, yapının yönelimi, malzeme seçimi ve genel yerleşim gibi temel kararları etkilemektedir. Bu analizlerin sağladığı enerji verimliliği ve maliyet avantajları, tasarım süreçlerinin daha bilinçli ve sürdürülebilir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır.

AI sistemlerinin önemli avantajlarından biri olarak, tasarım sürecinde çok sayıda alternatif senaryoyu hızlı bir şekilde test etme olanağı gösterilmiştir. Bu durumun, tasarım sürecinin başında karar alma hızını ve doğruluğunu artırdığı ifade edilmiştir. Katılımcılar, bu sistemlerin henüz tam anlamıyla ofislerine entegre edilmediğini ancak karar destek sistemleri olarak aktif biçimde denendiklerini belirtmişlerdir. Türkiye'deki mimarlık ofislerinin genelinde bu teknolojilerin henüz yaygın olmadığını vurgulayan katılımcılar, kendi ofislerinin bu konuda öncü bir adaptasyon süreci yürüttüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca, konuyla ilgili akademik literatürün henüz oldukça yeni olduğuna dikkat çekilmiş ve araştırmaların büyük çoğunluğunun 2023 ve 2024 yıllarına ait olduğu belirtilmiştir.

Bu bağlamda, AI’nın mimarlık ve tasarım alanında henüz yerleşme sürecinde olduğu, ancak öncü ofisler tarafından benimsenmeye başlandığı aktarılmıştır. Katılımcıların öngörüsüne göre, bu süreç doğru stratejilerle yönetildiği takdirde, AI destekli mimari tasarım pratiklerinin yakın gelecekte sektör genelinde daha yaygın ve etkin biçimde kullanılacağı öngörülmektedir.

“Soru 3: AI ve BIM teknolojilerini iş süreçlerinizde ne kadar süredir kullanıyorsunuz? (BIM ve AI teknolojileri ile ilgili kişisel deneyimlerinizi paylaşır mısınız?)”

Katılımcıların BIM ve AI teknolojileri ile olan deneyimleri, profesyonel rollerine, çalıştıkları proje tiplerine ve ofislerinin dijital dönüşüm düzeyine göre farklılık göstermektedir. Ancak tüm katılımcılar, bu teknolojilerin mimarlık uygulamalarında yaratıcı düşünme, karar alma ve otomasyon olanaklarını artırarak sürece önemli katkılar sunduğu konusunda ortak görüş bildirmiştir.

Katılımcı 1, yazılım geliştirme odaklı bir firmada çalışması dolayısıyla BIM ve AI entegrasyonunu daha erken aşamalarda deneyimleme fırsatı bulmuştur. Bu kapsamda, geliştirilen yazılımların beta kullanıcı olarak test süreçlerinde yer aldığını ve teknik

ekibin yapay zekanın entegrasyon aşamalarını doğrudan gözlemleme imkanı elde ettiğini belirtmiştir. Bu erken dönem gözlemler, AI destekli BIM uygulamalarına dair edinilen deneyimlerin hızlı bir şekilde analiz edilmesini ve iş süreçlerine doğrudan entegre edilmesini mümkün kılmıştır. Katılımcının ifadesiyle bu durum, hem teknik bilgi düzeyinin hem de kullanım becerilerinin gelişimine katkı sağlamaktadır.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, son bir yıl içerisinde farklı projelerde çeşitli AI temelli araçlar ve veri görselleştirme yazılımlarını aktif olarak kullandıklarını ifade etmişlerdir. Özellikle Power BI yazılımı aracılığıyla metrekare verilerinin görselleştirilmesi ve bu görselleştirmenin karar alma süreçlerine katkısı önemli bir deneyim olarak paylaşılmıştır. Buna ek olarak, Dynamo ile yürütülen generatif tasarım çalışmaları kapsamında özel eğitim aldıklarını ve bu araçları hem kavramsal hem de yapısal tasarım aşamalarında etkin biçimde kullandıklarını vurgulamışlardır.

Katılımcılara göre, generatif tasarım araçları mimara teknik kararları (yerleşim, ölçü, oryantasyon vb). otomatik olarak optimize etme imkanı tanımakta ve bu sayede yaratıcı sürece daha fazla zaman ayırmasını sağlamaktadır. Bu durum, yalnızca zaman tasarrufu sağlamamakta, aynı zamanda kararların sürdürülebilirlik ve maliyet gibi çok boyutlu kriterlerle desteklenmesine olanak tanımaktadır. Katılımcıların vurguladığı üzere, bu analizler yalnızca konsept tasarım aşamasında değil, aynı zamanda yapı ve mekanik sistemlerle olan ilişkilerin şekillendiği yapısal tasarım evresinde de önemli katkılar sunmaktadır.

Katılımcılar, yaklaşık 4-5 yıldır BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonuna dayalı araçları aktif olarak kullandıklarını belirtmiştir. Başlangıçta bu entegrasyonların Autodesk Revit ile uyumlu çalışan Generative Design ve Dynamo gibi eklentiler aracılığıyla gerçekleştirildiği, bu araçların parametrik tasarım süreçlerini hızlandırdığı ve alternatif üretim yeteneklerini artırdığı aktarılmıştır. Özellikle Dynamo gibi görsel programlama araçları sayesinde, daha önce yalnızca manuel komutlarla yürütülen işlemler artık daha kullanıcı dostu ve doğal dil destekli arayüzler üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.

Son olarak, katılımcılar AI destekli görselleştirme olanaklarına da değinmiş; render motorları kullanılmadan oluşturulan 3D modellerin AI algoritmaları sayesinde etkili biçimde sunulabildiğini ifade etmişlerdir. Günümüzde büyük yazılım firmalarının

AI'yi doğrudan yazılım mimarisine entegre etmeye başlamasıyla, bu teknolojilere erişimin daha yaygın ve pratik hale geldiği belirtilmiştir.

Katılımcıların genel değerlendirmelerine göre, BIM ve AI teknolojilerinin entegrasyonu, tasarım kalitesini artırmakta, karar alma süreçlerini hızlandırmakta ve iş akışlarında verimliliği desteklemektedir. Bu teknolojiler, yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda mimarlık mesleğinde yaratıcı düşünciyi teşvik eden ve daha bilinçli tasarım kararlarının alınmasına olanak sağlayan stratejik araçlar olarak değerlendirilmektedir.

“Soru 4: Mimari tasarım süreçlerinde AI destekli BIM çözümlerini hangi aşamalarda kullanıyorsunuz ve karar verme süreçlerinizi nasıl etkiliyor? (Örn. konsept tasarım, mekansal koordinasyon veya teknik tasarım). (Alternatif üretimi, tasarım süresi, performans karşılaştırması gibi yönleriyle değerlendirebilir misiniz?)”

Katılımcıların değerlendirmeleri, AI destekli BIM çözümlerinin özellikle mimari tasarımın erken aşamalarında yoğun biçimde kullanıldığını, buna ek olarak teknik üretim süreçlerinde de zaman ve iş gücü tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır. Tasarım süreçlerinin hızlandırılması, alternatiflerin karşılaştırılması ve sunum çıktılarına dönüştürülmesi gibi işlevlerde AI teknolojilerinin belirleyici bir rol üstlendiği vurgulanmıştır.

Katılımcı 1, AI'nin BIM yazılımlarına entegre edildiği ilk alanlar arasında tasarım optimizasyonu ve görselleştirme süreçlerini işaret etmektedir. AI destekli sistemlerin, kullanıcı tarafından tanımlanan kriterler doğrultusunda çok sayıda alternatif üretip bunları analiz ederek optimize edilmiş seçenekler sunduğunu ve böylece tasarım kararlarının daha hızlı ve verimli biçimde alınabildiğini belirtmiştir. Özellikle opsiyon üretme ve değerlendirme aşamalarında zaman kazandıran bu çözümler, mimarın daha fazla seçenek üzerinde düşünmesini ve en uygun çözümü kısa sürede belirlemesini sağlamaktadır.

Buna ek olarak, Revit ve Archicad gibi BIM yazılımlarında yer alan AI destekli eklentilerin planlama, dokümantasyon ve pafta üretimi gibi teknik süreçleri otomatikleştirdiği vurgulanmıştır. Schedule üretimi, grafiksel detay düzenlemeleri gibi görevler, AI algoritmalarıyla daha kısa sürede ve kullanıcı müdahalesi olmaksızın gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum, hem veri temelli çıktıların üretilmesini

kolaylaştırmakta hem de tekrarlayan görevleri azaltarak iş akışlarını sadeleştirmektedir.

Katılımcı 1 ayrıca, AI destekli görselleştirme uygulamalarının sunum süreçlerinde önemli kolaylıklar sağladığını; render üretiminin daha kısa sürede tamamlanabildiğini ve alternatif sunum yollarının daha etkili biçimde geliştirilebildiğini ifade etmiştir. Tüm bu uygulamalar bağlamında AI destekli BIM çözümleri, sadece üretkenliği değil, zaman ve maliyet verimliliğini de artırmakta; böylece işletmeler için stratejik avantaj sunmaktadır. Katılımcı 1 bu durumu, “Mimarlık mesleğinde zaman eşittir maliyet olduğu düşünüldüğünde, AI-BIM entegrasyonları hem operasyonel hem de ekonomik verimlilik açısından kritik rol oynamaktadır.” şeklinde özetlemiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, AI tabanlı araçların özellikle şematik [ön] tasarım aşamasında etkili biçimde kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu aşamada AI'nin sunduğu alternatif üretim hızı, hızlı görselleştirme ve tasarım varyasyonları oluşturma kapasitesi, fikirlerin daha iyi analiz edilmesine ve erken kararların daha sağlıklı biçimde alınmasına katkı sunmaktadır. Özellikle konsept tasarımın ilk evresinde, görsel temsilin büyük önem taşıdığı durumlarda, AI destekli sistemlerin tasarımcılara önemli avantajlar sağladığı ifade edilmiştir.

Katılımcılara göre, AI'nin bu aşamadaki katkısı, yalnızca görselleştirme değil, aynı zamanda tasarım kararlarının yönlendirilmesine dair performans verilerinin değerlendirilmesiyle de ilgilidir. AI destekli sistemlerin sunduğu bu veri odaklı yaklaşım, yalnızca estetik değil; aynı zamanda sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve maliyet gibi kriterlerin de dikkate alındığı bir tasarım süreci oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

Katılımcılar, bu teknolojilerin halihazırda mimari ofislerinde aktif biçimde denendiğini ve erken karar alma süreçlerine entegre edildiğini, ancak henüz yapısal tasarım ve uygulama projelerinde tam entegrasyonun sağlanmadığını ifade etmişlerdir. Yine de bu entegrasyonun orta vadede genişletilmesi ve daha fazla tasarım aşamasına yayılması hedeflenmektedir.

Bu bağlamda, tüm katılımcılar AI destekli BIM çözümlerinin özellikle erken tasarım evresinde (konsept ve şematik tasarım) karar hızını artıran, alternatifleri sistematik biçimde değerlendiren ve teknik süreçleri otomatikleştirerek verimliliği artıran bir rol üstlendiği konusunda hemfikirdir. Bu çözümlerin sadece tasarım kalitesini değil, aynı

zamanda iş süreçlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini de doğrudan etkilediği vurgulanmıştır.

“Soru 5: AI destekli BIM teknolojilerini mimari tasarım süreçlerinde hangi yöntemler, araçlar veya yazılımlar ile kullanıyorsunuz? (Parametrik tasarım, simülasyon, optimizasyon veya bulut tabanlı iş birliği araçlarını kullanıyor musunuz? Bu araçlar tasarıma nasıl entegre oluyor?)”

Katılımcılar tarafından verilen yanıtlar, AI destekli BIM çözümlerinin mimari tasarım sürecine farklı katmanlarda entegre edildiğini ve bu entegrasyonun yalnızca tasarım üretimiyle sınırlı kalmayıp, veri analizi, görselleştirme, optimizasyon ve iş birliği süreçlerini de kapsadığını ortaya koymaktadır. Kullanılan araçların çeşitliliği ve işlevselliği, AI teknolojilerinin sektörde giderek daha yaygın ve kapsamlı biçimde benimsendiğini göstermektedir.

Katılımcı 1, son beş yıl içerisinde Autodesk ürünlerini aktif olarak kullandığını ve bu süreçte AutoCAD, Revit ve diğer BIM temelli yazılımlarda AI ve makine öğrenimi (ML) tabanlı teknolojilerin entegre edilmeye başlandığını ifade etmiştir. Özellikle “Autodesk AI” girişimi kapsamında, kullanıcı alışkanlıklarını analiz eden, işlem sürelerini kısaltmaya yönelik akıllı öneri sistemleri ve pop-up yardım çözümleri geliştirildiği belirtilmiştir. Katılımcıya göre bu sistemler, kullanıcı etkileşimini daha verimli kılmakta ve tasarım sürecine sezgisel geri bildirimler sağlamaktadır. Ayrıca, Autodesk Docs ve BIM 360 gibi bulut tabanlı platformlarda, görsellerin AI destekli otomatik etiketleme (auto-tagging) sistemiyle sınıflandırılabilirdiği, bu sayede veri düzenlemesi ve içerik yönetiminin kolaylaştırıldığı ifade edilmiştir. AI tabanlı bu çözümler yalnızca tasarım üretimiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda veri organizasyonu, analiz ve sunum süreçlerinde de etkin rol oynamaktadır.

Katılımcı 1’in özellikle üzerinde durduğu bir diğer araç ise Autodesk Forma platformudur. Forma, yapı öncesi planlama ve konsept tasarım süreçlerine özel olarak geliştirilmiş, bulut tabanlı ve AI destekli bir sistemdir. Kullanıcılar bu platformda arazi modelleri oluşturabilmekte, güneş ışığı, rüzgar yönü ve çevresel etkenler gibi kriterlere dayalı analizler gerçekleştirebilmektedir. Forma’da üretilen kütle modelleri Revit ile çift yönlü entegre edilerek döngüsel bir tasarım süreci kurgulanabilmektedir. Bu bütünsel yapı, AI tabanlı karar destek sistemlerinin tasarım sürecine doğrudan entegre edilmesini mümkün kılmaktadır.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3 ise ofislerinde çok sayıda yazılımı entegre ve eş zamanlı biçimde kullandıklarını belirtmişlerdir. Autodesk Revit, temel BIM platformu olarak tanımlanırken; parametrik modelleme ve veri işleme süreçlerinde Dynamo yazılımının aktif olarak kullanıldığı ifade edilmiştir. Bu iki yazılımın birlikte kullanılması sayesinde, mimari tasarım sürecinde hem parametrik kontrol hem de veri analitiği sağlanmakta, bu da kullanıcıların tasarımı daha bütüncül bir biçimde yönetmesine olanak tanımaktadır.

Görselleştirme ve sunum süreçlerinde ise V-Ray ve özellikle hızlı üretim için Veras araçlarının etkili biçimde kullanıldığı belirtilmiştir. Katılımcılara göre, bu araçlar tasarım fikirlerinin müşteriye daha etkili aktarılmasını sağlamakta, ayrıca iç iletişimde de görsel tutarlılığı güçlendirmektedir. Veri analizi ve karar destek süreçlerinde ise Power BI yazılımı öne çıkmaktadır. Katılımcılar, Power BI aracılığıyla metrekare analizleri, birim karşılaştırmaları ve grafiksel veri raporlamaları gerçekleştirdiklerini; bu analizlerin hem proje yönetimi hem de sunumlarda stratejik değer taşıdığını vurgulamışlardır.

Enerji analizleri kapsamında ise özellikle yeşil bina projelerinde IES-VE yazılımı kullanılmakta, aynı zamanda Autodesk Green Building Studio ile enerji simülasyonlarının konsept tasarıma entegre edilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bu entegrasyon, tasarımın erken evrelerinde sürdürülebilirlik kriterlerinin değerlendirilmesini ve enerji verimliliği odaklı kararların alınmasını kolaylaştırmaktadır.

Katılımcıların genel değerlendirmelerine göre, AI destekli BIM çözümleri yalnızca üretim süreçlerini hızlandırmakla kalmamakta, aynı zamanda karar verme, optimizasyon, sürdürülebilirlik değerlendirmesi ve veri yönetimi gibi stratejik boyutlarda da mimari tasarım sürecine katkı sunmaktadır. Parametrik tasarım araçları, bulut tabanlı iş birliği platformları ve performans analiz yazılımları aracılığıyla, mimari sürecin her aşamasında AI'nin etkisi daha görünür hale gelmektedir.

“Soru 6: AI destekli BIM kullanımı, geleneksel BIM süreçlerine kıyasla hangi yenilikleri veya avantajları sunuyor? (AI'nin kullanımıyla daha önce mümkün olmayan ne tür tasarım hedeflerine ulaştınız?)”

Katılımcıların ifadeleri, AI destekli BIM çözümlerinin geleneksel modelleme ve tasarım yaklaşımlarına kıyasla çok boyutlu bir dönüşüm sağladığını ve bu

teknolojilerin mimarlık mesleğine yalnızca teknik kolaylıklar değil, aynı zamanda tasarım vizyonu ve sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik yeni açılımlar kazandırdığını göstermektedir. Katılımcı 1, Autodesk Revit yazılımının klasik CAD tabanlı sistemlere kıyasla halihazırda önemli bir üretkenlik ve optimizasyon avantajı sunduğunu, ancak son yıllarda AI, makine öğrenimi (ML) ve parametrik tasarım altyapıları (örneğin Dynamo, Generative Design) ile entegre edilmesiyle bu avantajların çok daha geniş bir kapsam kazandığını ifade etmiştir. AI entegrasyonu öncesinde Revit'in sunduğu modelleme imkanlarının belirli kurallara ve yazılım sınırlarına bağlı kaldığını; özellikle amorf formlar ve özgün parametrik tasarımların kısıtlı biçimde üretilebildiğini vurgulamıştır. Gelişen AI ve ML altyapıları sayesinde kullanıcıların artık matematiksel formülasyonlar ve parametrik girdiler yoluyla çok daha esnek ve kompleks tasarımlar üretebildiğini belirten katılımcı, bu durumun özellikle Dynamo gibi görsel programlama araçlarıyla mümkün olduğunu ifade etmiştir. AI destekli çözümler sayesinde, mimari modelleme sürecinde tasarım özgürlüğü artmış; yazılımın sınırları içinde daha önce gerçekleştirilemeyen geometrik çözümler üretilebilir hale gelmiştir. Katılımcı 1 ayrıca, Revit'in klasik sürümlerinde enerji tüketimi ve gün ışığı analizleri gibi sürdürülebilirlik odaklı değerlendirmelerin yalnızca harici yazılımlarla yapılabildiğini, ancak bugün bulut tabanlı analiz araçları sayesinde bu işlemlerin hem hızlandığını hem de daha kapsamlı hale geldiğini belirtmiştir. Bu gelişme, sürdürülebilirlik kriterlerinin daha erken tasarım aşamalarında değerlendirilmesini mümkün kılmakta ve tasarım sürecine stratejik veri desteği sağlamaktadır.

AI'nin tasarım optimizasyonuna sağladığı katkı da katılımcı 1 tarafından önemli bir gelişme olarak aktarılmıştır. Belirli planlama kuralları, metrekare ihtiyaçları ve mahal yerleşimleri gibi kriterlerin girilmesiyle, kütle yerleşiminden otopark düzenlemelerine kadar birçok adımın tek bir komutla oluşturulabildiği, böylece zamandan tasarruf edilmesinin yanı sıra çok sayıda tasarım varyasyonunun kısa sürede denenebildiği ifade edilmiştir. Katılımcı 1, AI'nin en yoğun olarak konsept tasarım ve tasarım optimizasyonu aşamalarında kullanıldığını belirtmiş; bu süreçlerde yerleşim senaryoları, alan kullanımı ve kütle yönelimi gibi kritik kararlara doğrudan katkı sağladığını vurgulamıştır. Ayrıca, doğal dil komutlarıyla yürütülen otomasyon işlemleri (örneğin tüm merdivenlerin rengini değiştirme gibi) sayesinde, AI'nin artık

sadece başlangıç tasarımı değil, dökümantasyon ve revizyon süreçlerini de kapsar hale geldiği ifade edilmiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3 ise AI'nin geleneksel yöntemlere kıyasla mimari tasarıma çok daha kapsamlı ve veri odaklı analiz olanakları sunduğunu belirtmişlerdir. Özellikle yapı formunun belirlenmesi sürecinde AI araçlarının yalnızca estetik ve işlevsellik değil, aynı zamanda enerji verimliliği, iklimsel uygunluk ve kullanıcı senaryoları gibi çok boyutlu parametreleri dikkate alabildiği ifade edilmiştir.

Katılımcı 2 ve 3, AI destekli BIM araçlarının sunduğu gelişmiş analiz yetenekleri sayesinde, sürdürülebilir tasarım kararlarının daha bilinçli şekilde alınabildiğini, bu kararların artık yalnızca sınırlı parametrelere değil, daha geniş bir veri kümesine dayandığını vurgulamışlardır. Bunun özellikle yeşil bina projelerinde, simülasyon tabanlı kararların doğruluğunu ve etkililiğini artırdığı belirtilmiştir. Ek olarak, yaya dolaşımı, mekansal verimlilik ve kullanıcı hareketliliği gibi faktörlerin simülasyonlarla test edilmesi, karmaşık işlevli binalarda hem kullanıcı deneyimini iyileştirmiş hem de mekansal planlamada optimizasyon sağlamıştır.

Bu kapsamda, katılımcıların ortak görüşüne göre, AI destekli BIM teknolojileri yalnızca üretkenliği artıran bir araç değil, aynı zamanda çok kriterli, bütüncül ve sürdürülebilirlik temelli bir tasarım anlayışının önünü açan bir dönüşüm mekanizmasıdır. AI sayesinde mimari tasarım artık sezgisel bir süreç olmanın ötesine geçerek, veri temelli, ölçülebilir ve optimize edilebilir bir yapıya kavuşmuştur.

“Soru 7: BIM ve AI entegrasyonu proje tasarım süreçlerinde nasıl etkilere sahip? (Zorluklar ve fırsatlar neler oldu?)”

Katılımcıların değerlendirmeleri, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerine hem yapısal dönüşümler hem de yeni fırsatlar sunduğunu; ancak bu teknolojilerin uygulamaya alınmasında çeşitli ekonomik, kültürel ve teknik zorlukların da söz konusu olduğunu göstermektedir.

Katılımcı 1, BIM ve AI tabanlı yazılımların Türkiye gibi döviz kuru dalgalanmalarının yoğun yaşandığı ülkelerde özellikle maliyet kaynaklı zorluklar yarattığını vurgulamıştır. Katılımcı 1'e göre, BIM ve AI sistemlerinin büyük çoğunluğu yabancı menşelidir ve lisans ücretleri döviz üzerinden belirlendiği için, kur artışları bu sistemlerin erişilebilirliğini ciddi biçimde sınırlandırmaktadır. Katılımcı 1, yalnızca ana yazılım lisanslarının değil, render motorları, analiz araçları, AI destekli eklentiler

gibi ek modüllerin de yüksek maliyetler oluşturduğunu belirtmiştir. Katılımcı 1, bu maliyetlerin küçük ve orta ölçekli firmalar için ciddi bir bariyer teşkil ettiğini ifade etmiştir.

Katılımcı 1, entegrasyon sürecindeki ikinci temel zorluğun ise kültürel direnç ve kullanıcı alışkanlıkları olduğunu vurgulamıştır. Özellikle uzun yıllardır CAD tabanlı sistemler kullanan kıdemli mimarların yeni sistemleri öğrenmede isteksizlik gösterdiğini belirten Katılımcı 1, bu geçişin yalnızca teknik değil aynı zamanda pedagojik bir dönüşüm gerektirdiğini ifade etmiştir. Katılımcı 1'e göre, BIM sistemlerinin belirli yazılım altyapıları ve modelleme pratiği gerektirmesi, kullanıcılar açısından uyum sürecini daha karmaşık hale getirmektedir. Buna karşın, Katılımcı 1, AI araçlarının daha esnek, düşük maliyetli ve erişilebilir çözümler sunduğunu; bu nedenle sektör genelinde BIM sistemlerine kıyasla daha hızlı benimsendiğini ifade etmiştir. Özellikle AI tabanlı görselleştirme yazılımlarının, yüksek kaliteli sonuçlar üretmelerine rağmen düşük maliyetli abonelik sistemleriyle çalıştığını ve mobil cihazlarla dahi kullanılabildiğini belirtmiştir. Katılımcı 1, bu durumun AI'nin adaptasyon hızını artırdığını, pratik kullanım olanakları sayesinde yaygınlaşmasını kolaylaştırdığını vurgulamıştır.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, AI ve BIM entegrasyonunun tasarım süreçlerinde özellikle zaman yönetimi açısından büyük avantaj sağladığını belirtmiştir. Katılımcı 2, akıllı sistemlerin karmaşık kararları analiz ederek çözüm önerileri sunması sayesinde, mimarların daha fazla zamanı yaratıcı süreçlere ve estetik/fonksiyonel başarının artırılmasına ayırabildiklerini ifade etmiştir. Katılımcı 3 de bu görüşü destekleyerek, dijital araçların yarattığı zaman tasarrufunun tasarım kalitesine doğrudan katkı sağladığını belirtmiştir. Katılımcı 2, AI destekli BIM çözümlerinin özellikle enerji analizi ve yapısal tasarım gibi teknik alanlarda etkin kullanıldığını ve bu uygulamaların tasarımın erken safhalarında önemli katkılar sunduğunu vurgulamıştır. Katılımcı 3 ise, erken dönemde yapılan analizlerin, projelerin daha doğru ve verimli şekilde planlanmasını sağladığını ifade etmiştir. Katılımcı 2, AI ve BIM entegrasyonunun mimarlık ile mühendislik disiplinleri arasında daha entegre bir iş birliği ortamı oluşturduğunu belirtmiştir. Bu disiplinler arası bütünleşmenin, hem proje süresini kısalttığını hem de kapsamlı analizlerin eş zamanlı yürütülmesine olanak sağladığını vurgulamıştır. Katılımcı 3 de bu bütünleşik yapının, projelerdeki analiz yoğunluğunu artırarak tasarım kalitesini yükselttiğini ifade etmiştir.

Katılımcı 1, AI çözümlerinin daha esnek ve ekonomik olduğu için BIM'e kıyasla daha kolay adapte edildiğini belirtirken, Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, entegrasyonun getirdiği zaman yönetimi, disiplinler arası koordinasyon ve karar alma süreçlerindeki hızlanma gibi fırsatlara dikkat çekmiştir. Tüm katılımcıların ortak görüşü, AI ve BIM teknolojilerinin birlikte kullanımıyla mimari tasarım süreçlerinin daha verimli, stratejik ve bütüncül hale geldiği yönündedir.

“Soru 8: Kullandığınız yazılım veya araçların güçlü ve zayıf yönler neler? (Geliştirilmesi gereken işlevler veya eksikler hakkında neler düşünüyorsunuz?)”

Katılımcıların yanıtları, AI destekli BIM yazılımlarının özellikle son yıllarda kayda değer gelişmeler gösterdiğini, ancak entegrasyon süreçlerinde hala yapısal zorluklar ve sistemsel eksikliklerin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kullanıcı deneyimleri doğrultusunda hem teknik hem yönetsel açılardan sürdürülebilir ve esnek çözümlerin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Katılımcı 1, AI teknolojilerinin ilk dönemlerde mimarlık ve inşaat sektörüne entegrasyonunun sınırlı ve deneysel nitelikte olduğunu, ancak günümüzde bu teknolojilerin daha gelişmiş ve pratik çıktılar üretme düzeyine ulaştığını ifade etmiştir. Katılımcı 1, bu ilerlemenin “bebek adımları” olarak nitelendirilmesine rağmen, stratejik ve sağlam temellere dayandığını belirtmiştir. Katılımcı 1’e göre, AI’nin BIM sistemleriyle etkin biçimde entegre olabilmesi için sektörün üretim mantığını ve kurallarını öğrenmesi gerekmekte, bu da makine öğrenmesi algoritmalarının sektörel verilerle beslendiği bir süreci zorunlu kılmaktadır. Katılımcı 1, AI destekli sistemlerin ilk dönemlerde sunduğu kat planlarının hem görsel doğruluk hem de işlevsellik açısından sınırlı kaldığını; ancak günümüzde optimize edilmiş, kullanıcı beklentilerine uygun çözümler sunabildiğini belirtmiştir. Katılımcı 1, bu gelişmenin yalnızca görselleştirme ile sınırlı kalmayıp, doğrudan karar alma süreçlerine de etki etmeye başladığını vurgulamıştır. Katılımcı 1’e göre, AI’nin en büyük katkılarından biri zaman tasarrufudur ve bu fayda hem konsept tasarımda hem de üretim sonrası dokümantasyon aşamalarında somut olarak hissedilmektedir.

Katılımcı 1, AI’nin yalnızca tasarım aşamasında değil, yapı sonrası bakım, onarım ve izleme süreçlerinde de önemli bir rol üstlenme potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Örneğin, Autodesk Field Management gibi platformlar sayesinde AI’nin BIM modeline entegre verileri analiz ederek kullanıcıya öneri ve uyarılar sunabildiğini

ifade etmiştir. Katılımcı 1, bu sayede bakım gereksinimlerinin önceden tahmin edilebildiğini ve yapısal değişikliklerin potansiyel etkilerinin önceden öngörülebilir hale geldiğini belirtmiştir.

Ancak, Katılımcı 1 AI sistemlerinin tam anlamıyla işlevsel olabilmesi için güçlü bir dijital altyapı gerektiğini vurgulamıştır. Katılımcı 1'e göre, her bir yapının dijital ikizi niteliğinde BIM modeline sahip olması, AI'nin etkinliğini doğrudan belirleyen bir faktördür. Bu noktada, yalnızca özel sektör değil, kamu kurumlarının da bu dönüşüme aktif biçimde dahil olması gerektiği ifade edilmiştir. Katılımcı 1, teşvikler, standart sözleşmeler, dijital veri yönetimi şartnameleri gibi düzenlemelerin sektör genelindeki dönüşüm için elzem olduğunu belirtmiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, kullandıkları yazılımlar arasındaki en büyük sorunun entegrasyon eksikliği olduğunu belirtmişlerdir. Katılımcı 2, farklı yazılımlar arasında veri aktarımının çoğunlukla manuel olarak gerçekleştirildiğini ve bunun süreci yavaşlatmanın yanı sıra hata riskini artırdığını ifade etmiştir. Katılımcı 3, doğrudan ve otomatik çalışan entegrasyon sistemlerinin mevcut iş süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştıracağını vurgulamıştır.

Katılımcı 2, otomasyonun sağladığı hız ve etkinliğin mevcut yazılımların en büyük avantajlarından biri olduğunu belirtmiştir. Ancak, Katılımcı 3, buna rağmen veri bütünlüğünün sağlanamamasının hala temel bir sorun olarak varlığını sürdürdüğünü vurgulamıştır. Katılımcı 2, yazılımlar arasında otomatik ve hatasız veri transferi yapılmasının sürecin verimliliği açısından kritik olduğunu ifade etmiştir. Katılımcı 3, bu sorunları aşmak için zaman zaman 'Lora' gibi destekleyici yazılımlar kullandıklarını; ancak bu uygulamaların da tam entegrasyon sağlayamadığını belirtmiştir. Sonuç olarak, Katılımcı 2 ve Katılımcı 3 yazılımlar arası entegrasyonun otomatik, sorunsuz ve hızlı hale getirilmesinin, tasarım ve üretim süreçlerinde hata oranlarını azaltarak bütün süreci iyileştireceğini ifade etmişlerdir.

Görüşmelerde tüm katılımcılar AI destekli BIM çözümlerinin büyük bir potansiyele sahip olduğunu, ancak bu potansiyelin tam anlamıyla açığa çıkması için hem yazılımsal altyapıların geliştirilmesi hem de veri yönetimi politikalarının daha bütüncül ve standardize edilmiş şekilde kurgulanması gerektiğini belirtmişlerdir.

“Soru 9: BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık mesleğinin geleceği üzerindeki etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz? (Dijital dönüşüm bağlamında bu teknolojiler günümüzde ve gelecekte nasıl bir rol üstleniyor?)”

Katılımcıların değerlendirmeleri, BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık mesleği üzerinde yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyo-kültürel ve yönetsel boyutlarda da önemli dönüşümler yaratma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcıların ifadeleri, bu dönüşümün sektördeki ölçek, erişim, veri kullanımı ve teknolojiye adaptasyon gibi pek çok değişkenle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Katılımcı 1, Türkiye özelinde değerlendirildiğinde AI ve BIM teknolojilerinin yaygın, işlevsel ve sürdürülebilir biçimde sektöre entegre edildiğini söylemenin henüz mümkün olmadığını belirtmiştir. Katılımcı 1’e göre, büyük ölçekli mimarlık ve mühendislik ofisleri ile bireysel olarak teknolojiye açık kullanıcılar bu dönüşüm sürecine daha hızlı uyum sağlayabilmekte; bu kullanıcı profili açısından 1–2 yıllık bir adaptasyon süreci sonunda entegre çözümlere geçişin mümkün olduğu öngörülmektedir. Ancak, Katılımcı 1, sektördeki genel yayılım dikkate alındığında bu sürecin homojen biçimde işlemediğini ve kısa vadede tam işlevsellik düzeyine ulaşılmasının gerçekçi bir hedef olmadığını ifade etmiştir. Katılımcı 1, Türkiye’deki küçük ölçekli ofislerin, taşeron firmaların ve yerel müteahhitlerin AI ve BIM teknolojilerini daha çok operasyonel kolaylık aracı olarak gördüğünü; bu durumun, bu teknolojilerin dönüşüm potansiyelinden tam anlamıyla yararlanılmasını sınırladığını vurgulamıştır. Ayrıca, Katılımcı 1, AI teknolojilerinin mimarın yerini alacağına dair yaygın endişelerin kısa ve orta vadede gerçekçi olmadığını ifade ederek, AI’nin daha çok tekrarlayan ve rutin işlemlerde, karar destek sistemlerinde ve veri analizinde etkin rol oynadığını belirtmiştir. Katılımcı 1’e göre, bu teknolojiler kullanıcıyı devre dışı bırakmamakta; aksine üretkenliğini ve karar alma kapasitesini artırarak desteklemektedir.

Katılımcı 1, AI’nin sadece masa başı üretimle sınırlı kalmadığını; şantiye süreçlerine de entegre edilme potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. QR kod destekli takip sistemleri, kamera ve sensör destekli veri toplama sistemleri gibi uygulamaların AI ile entegre biçimde kullanılmasının yakın gelecekte yaygınlaşacağı öngörüsünde bulunmuştur. Katılımcı 1, bu teknolojilerin tasarım, saha üretimi, bakım ve tesis yönetimi gibi alanlarda yaygın etkiler yaratacağını ifade etmiştir. Ancak Katılımcı 1, Türkiye’de bu teknolojilere yönelik adaptasyon sürecinin küresel gelişmelere kıyasla

oldukça yavaş ilerlediğini vurgulamıştır. Katılımcı 1'e göre, dünyada 5–10 yıl içinde tamamlanması beklenen dönüşümlerin Türkiye'de 25–30 yıl gibi bir sürece yayılması, hatta bazı senaryolarda hiç gerçekleşmemesi dahi olasıdır. Yine de, Katılımcı 1, teknolojik gelişmelerin zaman zaman öngörülemez bir hızla ilerlediğini ve bu nedenle kesin tahminlerde bulunmanın güç olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak, Katılımcı 1, AI ve BIM entegrasyonunun sektörde umut vadeden bir gelişim süreci içinde olduğunu, ancak bu sürecin yaygınlaşmasının dijital altyapı, kullanıcı eğitimi ve kamu politikalarıyla desteklenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, veri biliminin yalnızca mimarlık değil, tüm sektörlerde bir dönüşüm süreci başlattığını ifade etmişlerdir. Katılımcı 2, inşaat sektöründe büyük veri mevcut olmasına rağmen bu verilerin henüz yeterince anlamlandırılmadığını; ancak doğru şekilde işlenmeleri halinde tasarım ve uygulama süreçlerinin çok daha etkin biçimde yönetilebileceğini belirtmiştir. Katılımcı 3, makinelerin verileri anlama ve karar üretme yetkinliğinin mimarlık ve inşaat sektörlerine önemli katkılar sunacağını vurgulamıştır. Katılımcı 2, Türkiye'de BIM uygulamalarının son beş yılda önemli ölçüde geliştiğini, bu gelişimin devlet politikaları ve altyapı projeleriyle desteklendiğini ifade etmiştir. Katılımcı 3, bazı projelerde devlet teşvikleri ile BIM kullanımını artırmaya yönelik yeniden modelleme süreçlerinin başlatıldığını belirtmiştir. Ancak Katılımcı 2, şantiyelerdeki gerçek zamanlı veri akışı ve buna bağlı karar alma mekanizmalarının henüz tam anlamıyla gelişmediğini ifade etmiştir. Katılımcı 3, BIM'in sektörde yaygınlaştıkça bu eksikliklerin de zamanla giderileceğini ve saha süreçlerinin daha akıllı hale geleceğini öngörmüştür.

Bu bağlamda, Katılımcı 1, dönüşümün sektörel ölçek, finansal olanaklar ve kamu politikalarıyla yakından ilişkili olduğunu vurgularken; Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, veri temelli karar alma yapılarının gelişmesinin ve devlet destekli teşviklerin, dijital dönüşüm sürecini olumlu yönde şekillendireceğini ifade etmişlerdir. Tüm katılımcıların ortak görüşü, AI ve BIM teknolojilerinin mimarlık mesleğinin geleceğinde yalnızca üretim değil, aynı zamanda strateji, sürdürülebilirlik, bakım ve yönetim gibi alanlarda da etkili olacağı yönündedir.

“Soru 10: Bu teknolojilerin yaygınlaşması ve etkin kullanımının artması için neler yapılmalı? (Eğitim, mevzuat, yazılım erişimi vb. konularda önerileriniz var mı?)”

Katılımcıların ifadeleri, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık ve inşaat sektörlerinde yaygınlaşabilmesi için yalnızca teknik yeterliliğin değil, aynı zamanda eğitim, ekonomik erişim, kurumsal strateji ve kültürel dönüşümün de eş zamanlı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Katılımcı 1, BIM ve AI teknolojilerinin etkin biçimde kullanılabilmesinin yalnızca yazılım becerilerine değil, aynı zamanda bilgiye erişim, kullanıcı farkındalığı ve eğitim stratejilerine de doğrudan bağlı olduğunu ifade etmiştir. Katılımcı 1, Autodesk gibi önde gelen firmaların yazılımlarına entegre ettiği AI özelliklerinin büyük bir kullanıcı kitlesi tarafından bilinmediğini; örneğin, AutoCAD kullanıcılarının yazılımda mevcut olan AI tabanlı araçların farkında bile olmadığını vurgulamıştır. Bu bağlamda, Katılımcı 1, yazılım sağlayıcılarının yalnızca lisans yönetimi değil, aynı zamanda kapsamlı teknik bilgilendirme sorumluluğu üstlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Katılımcı 1’e göre, teknik seminerler, kullanıcı rehberleri, online eğitim platformları ve sosyal medya içerikleri üzerinden bilgi paylaşımı yapılması, kullanıcı farkındalığını artırmak adına kritik önemdedir.

Katılımcı 1, yaygınlaşmanın önündeki en büyük engellerden birinin ekonomik erişilebilirlik olduğunu ifade etmiştir. BIM ve AI çözümleri sunan yazılımların genellikle yüksek döviz bazlı maliyetlerle lisanslandığını belirten Katılımcı 1, temel yazılım lisanslarının yanı sıra render motorları, optimizasyon modülleri ve AI eklentilerinin de kullanıcılar için ciddi bir finansal yük oluşturduğunu vurgulamıştır.

Bu noktada, Katılımcı 1, yalnızca yazılım üreticilerinin değil, aynı zamanda kamu kurumları, üniversiteler ve sektörel örgütlerin de sürece dahil olması gerektiğini ifade etmiştir. Katılımcı 1’e göre, öğrencilere ücretsiz lisans sağlanması, küçük ölçekli firmalara teşvik verilmesi ve kamu destekli lisans politikalarının oluşturulması, teknolojinin daha geniş kesimlere yayılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, Katılımcı 1, Autodesk’in başarı stratejisini örnek göstererek, öğrencilik döneminden itibaren sağlanan ücretsiz erişim olanakları, kullanıcı destek platformları ve eğitim içeriklerinin, kullanıcı sadakatini ve yazılım yaygınlığını artırdığını vurgulamıştır. Katılımcı 1, benzer bir stratejinin AI destekli BIM çözümleri için de uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Katılımcı 1, eğitim sistemlerinin bu sürece aktif biçimde

entegre edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. AI ve BIM teknolojilerinin yalnızca üniversite düzeyinde değil, ortaokul ve lise müfredatında da yer almasının önemine dikkat çeken Katılımcı 1, dijital okuryazarlığın geleneksel mimarlık becerileriyle birlikte geliştirilmesi gerektiğini savunmuştur. Son olarak, Katılımcı 1, sektörde teknolojik dönüşümün başarıyla gerçekleşebilmesi için yazılım üreticileri, eğitimciler, kamu kurumları ve bireysel kullanıcıların eş zamanlı sorumluluk alması gerektiğini ifade etmiş; sosyal medya gibi dijital mecralarda eğitici içeriklerin üretiminin dahi dönüşüm sürecine katkı sağlayabileceğini belirtmiştir.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, BIM ve AI teknolojilerinin yaygınlaşması için en temel unsurun eğitim ve farkındalık olduğunu belirtmişlerdir. Katılımcı 2, sektör çalışanlarının yalnızca araç kullanımını öğrenmekle yetinmeyip, aynı zamanda sektörel trendleri de aktif biçimde takip etmeleri gerektiğini ifade etmiştir. Katılımcı 3, Türkiye'deki inşaat sektöründe Ar-Ge faaliyetlerinin yetersizliğini temel bir eksiklik olarak değerlendirmiştir. Katılımcı 2, yazılım geliştiriciler, mimarlar ve mühendisler arasında daha güçlü bir iş birliği kültürü geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Katılımcı 3, veri paylaşımı ve entegrasyon süreçlerinin iyileştirilebilmesi için ortak standartların oluşturulmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmiştir. Katılımcı 2, kullanıcı dostu, sezgisel ve erişilebilir yazılım çözümlerinin benimsenme sürecini hızlandıracağını ifade etmiştir. Katılımcı 3, yazılım bilgisi eksikliğinin sektördeki en büyük engellerden biri olduğunu belirtmiş; teknolojik değişime yönelik direncin ise konfor alanından çıkma isteksizliği ve yüksek başlangıç maliyetlerinden kaynaklandığını ifade etmiştir.

Katılımcı 2, yazılım ve donanım altyapılarının güncellenmesinin zorunlu olduğunu ve değişim sürecinde insanlarda oluşan korkunun pedagojik yöntemlerle aşılabileceğini belirtmiştir. Katılımcı 3, Türkiye'deki dönüşüm sürecinin önündeki engellerin yalnızca teknik değil, aynı zamanda yetersiz sektörel yönetmeliklerle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Katılımcı 2, mevcut sistemden memnuniyetin değişime direnci artırdığını; ancak AI ve BIM teknolojilerinin sağlayacağı fayda ve verimliliğin görünür hale getirilmesiyle bu direncin kırılabileceğini öngörmüştür. Son olarak, Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, AI ve BIM teknolojilerinin sadece araçlar olduğunu; asıl önemli olanın bu araçların mimarlık mesleğine uygun, yaratıcı ve stratejik biçimde kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Katılımcı 2, teknolojinin insan zekasını

zayıflatmadığını; aksine zihinsel yetilerin evrimini destekleyerek daha yüksek düzeyde bilişsel faaliyetlere zemin hazırladığını ifade etmiştir.

Tüm bu veriler ışığında, Katılımcı 1, sektörel yaygınlaşmanın bilgiye erişim, ekonomik destek ve eğitim yoluyla sağlanabileceğini vurgularken, Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, bu teknolojilerin benimsenmesinde ortak standartların geliştirilmesi, Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve direncin pedagojik yollarla aşılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Tüm katılımcılar, AI ve BIM entegrasyonunun yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda kültürel bir değişim süreci olduğunu savunmuşlardır.

“Soru 11: Teşekkürler ve Son Yorumlar”

Bu bölümde katılımcıların genel değerlendirmeleri, sürece ilişkin memnuniyet ifadeleri ve sektöre dair gelecek perspektiflerine yer verilmiştir. Katılımcıların paylaştıkları görüşler, araştırmanın kapsamını güçlendiren nitel içeriklerle bütünleşerek, BIM ve AI teknolojilerinin mimarlık mesleğine etkileri konusunda bütüncül bir perspektif sunmaktadır.

Katılımcı 1, çalışmanın konusunu oldukça değerli ve güncel teknolojik gelişmelerle yakından ilişkili bulduğunu belirtmiştir. Katılımcı 1, paylaştığı bilgi ve deneyimlerin bu akademik sürece katkı sağlamış olmasından duyduğu memnuniyeti dile getirmiştir. Ayrıca, ilerleyen dönemlerde süreçlere dair ek sorular ya da ihtiyaçların oluşması halinde, destek vermeye açık olduğunu da ifade ederek katılımcı iş birliğine dayalı araştırmalara olan desteğini vurgulamıştır. Katılımcı 1, çalışmanın başarılı bir şekilde ilerlemesi temennisiyle görüşmesini sonlandırmıştır.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, görüşme sürecinin verimli geçtiğini ifade ederek araştırmacıya teşekkürlerini iletmışlerdir. Katılımcı 2, teknolojik gelişmelerin mimarlık pratiğinde yarattığı dönüşümün önemine dikkat çekmiş ve bu dönüşümün mesleğin geleceği açısından kritik olduğunu vurgulamıştır. Katılımcı 3, teknolojik yeniliklerin doğru ve etkin kullanımı sayesinde hem tasarım kalitesinin hem de proje süreçlerindeki verimliliğin artacağına dair olumlu beklentilerini paylaşmıştır.

Katılımcı 2 ve Katılımcı 3, AI ve BIM teknolojilerinin sektöre entegre edilmesi sürecinde bilgi paylaşımının ve sürekli eğitimin hayati öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Katılımcı 2, bu süreçte sadece teknolojiye değil, aynı zamanda insan faktörüne, eğitim süreçlerine ve mesleki gelişime yatırım yapılması gerektiğini belirtmiştir. Katılımcı 3, araştırmalara katkı sunan bu tür etkileşimlerin

yaygınlaşmasının sektörel bilinci artıracığını ve mesleki farkındalık yaratacağını ifade etmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda, Katılımcı 1, Katılımcı 2 ve Katılımcı 3 hem çalışmanın içeriğini hem de yürütülen araştırma sürecini destekleyici ve faydalı bulduklarını açıkça ifade etmişlerdir. Tüm katılımcıların görüşleri, araştırmanın nitel derinliğini arttırmış ve aynı zamanda sektör profesyonellerinin dijital dönüşüm süreçlerine dair değerlendirmelerini bütünsel bir bakış açısıyla yansıtmıştır.

5.5.2. Kodlama

Analiz sürecinde ortak kodlar, BIM teknolojileri ve AI alanında katılımcıların deneyimlerine odaklanmıştır. Kullanılan yazılımlar arasında Revit ve Dynamo öne çıkarken, BIM'e başlangıç süreci ve entegrasyon zorlukları dikkat çekmiştir. AI teknolojilerinin mimarlıkta kullanımı ise tasarım aşamalarında otomasyon, enerji analizleri ve generatif tasarım gibi yenilikçi yaklaşımlarla ele alınmıştır. Ayrıca, Türkiye ve Rusya örnekleri üzerinden uluslararası ve kültürel adaptasyon farkları gözlemlenmiş, işveren taleplerinin sürecin ilerleyişindeki önemi vurgulanmıştır.

Teknolojik altyapı ve entegrasyon sorunları, özellikle yazılımlar arası veri aktarımındaki güçlükler ve otomasyon eksiklikleri olarak öne çıkmıştır. Personelin teknolojik gelişmeleri takip etme gerekliliği ve Ar-Ge eksikliği nedeniyle eğitim ve farkındalık ihtiyacı da ortak kodlar arasında yer almıştır.

Gelecek ve sürdürülebilirlik perspektifi bağlamında, AI ve BIM'in mesleğin geleceğine ve sürdürülebilir tasarıma katkıları tartışılmıştır. Bununla birlikte, karar destek sistemleri ve hızlı alternatif üretimi sayesinde tasarım süreçlerinde hız ve kalite artışına işaret edilirken, otomasyonun yaratıcı sürece zaman kazandırması da kodlar arasında yer almıştır.

Karmaşık paydaş yapısı ve saha koşullarının dijital altyapı üzerinde yarattığı zorluklar da kodlama sürecinde tespit edilmiştir. Oluşturulan kodlama başlıkları **Tablo 5.11**'de belirtilmiştir:

Tablo 5. 11: Yarı Yapılandırılmış Görüşmelere Dayalı Tematik Kodlama Analizi.

Tema [Kod]	Alt Kategori	Örnek İfade
Yaratıcılık ve Karar Alma Üzerindeki Etki	AI ile alternatif üretim, yaratıcılığı destekleme	“AI, mimarların yaratıcı ve toplumsal etkisi yüksek kararlar almalarına zemin hazırlıyor.”
Teknik ve Operasyonel Verimlilik	Zaman tasarrufu, otomasyon, alternatif senaryolar	“Mimarlık mesleğinde zaman eşittir maliyet... AI-BIM entegrasyonları verimlilik sağlıyor.”
AI-BIM Entegrasyonunun Stratejik Katkıları	Karar destek, disiplinler arası uyum	“AI karar destek sistemleri sayesinde analizler hızlandı.”
Sürdürülebilirlik ve Performans Analitiği	Enerji analizi, optimizasyon, yeşil bina entegrasyonu	“AI destekli enerji analizleri ile konsept kararlar yönlendiriliyor.”
Eğitim ve Bilgi Paylaşımı	Eğitim eksikliği, kullanıcı rehberi ihtiyacı	“Kullanıcılar yazılımlarda yer alan AI destekli araçların farkında değil.”
Maliyet ve Lisanslama Sorunları	Yüksek lisans maliyetleri, küçük ofis erişimi	“Lisans ücretleri döviz bazlı; küçük ofislerin erişmesi zor.”
Dijital Kültür ve Direnç	Kıdemli mimarların direnç göstermesi	“Kıdemli mimarlar yeni sistemleri öğrenmekte isteksiz.”
Ofis ve Şantiye Uygulama Farklılıkları	Dijital altyapı farkı, şantiye zayıflığı	“Şantiyelerde hala dijital veri akışı sağlanamıyor.”
Yazılım Entegrasyonu ve Veri Yönetimi	Veri aktarım sorunları, entegrasyon eksikliği	“Yazılımlar arasında veri transferi manuel ve hata riski yüksek.”
Gelecek Öngörüler ve Uyarlanabilirlik	Teknolojiye adaptasyon süresi, devlet teşvikleri	“AI-BIM entegrasyonu sektör için umut vadeden bir gelişim süreci.”

Bu kodlama süreci, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarıma entegrasyonunun çok katmanlı yapısını ortaya koymakla birlikte, sektörel adaptasyonun yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda kültürel, ekonomik ve pedagojik bir geçiş olduğunu da göstermektedir. Bu çok katmanlı dönüşümün boyutları, kullanıcı deneyimleri ve sektörel uygulama pratikleri üzerinden “Tematik Analiz” bölümünde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

5.5.3. Tematik Analiz

Bu bölümde, yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla elde edilen nitel veriler doğrultusunda gerçekleştirilen tematik analiz sonuçlarına yer verilmektedir. Tematik

analiz, nitel araştırmalarda anlam üretme sürecinin temel bir bileşenidir **[Braun ve Clarke, 2006]**. Kodlamalar sonucunda on ana tema belirlenmiş, her tema altında ise ilgili alt temalar ve temsilci kodlar aracılığıyla kavramsal içerik derinleştirilmiştir. Analizler literatür ile karşılaştırılmal olarak yorumlanmış ve her bir tema sektördeki güncel durumu ve geleceğe yönelik öngörülerini yansıtan bulgularla desteklenmiştir.

“Yaratıcılık ve Karar Alma Üzerindeki Etki”

- Alt Temalar: AI ile alternatif üretim, yaratıcılığı destekleme
- Temsilci Kod: "AI, mimarların yaratıcı ve toplumsal etkisi yüksek kararlar almalarına zemin hazırlıyor."
- Analiz: AI destekli tasarım araçları, mimarların geleneksel ve öngörüye dayalı karar alma biçimlerini veri temelli ve çeşitlendirilmiş çözümlerle zenginleştirmektedir. Ayrıca, generatif tasarımın alternatif senaryolar üretme kabiliyeti, yaratıcılığı güçlendirmektedir **[Singh ve Gu, 2012]**. Bu süreç, üretkenliği ve hem toplumsal hem de mekansal etkileri içeren kararların daha nitelikli verilmesine katkı sağlamaktadır **[Gerber ve Lin, 2014]**.

“Teknik ve Operasyonel Verimlilik”

- Alt Temalar: Zaman tasarrufu, otomasyon, alternatif senaryolar
- Temsilci Kod: "Mimarlık mesleğinde zaman eşittir maliyet... AI-BIM entegrasyonları verimlilik sağlıyor."
- Analiz: Katılımcılar BIM ve AI'nin birlikte kullanımının, mimari tasarım süreçlerinde zaman yönetimi, kaynak optimizasyonu ve üretim verimliliği açısından önemli faydalar sunduğunu belirtmişlerdir. **Bryde vd. [2013]**, BIM'in proje yönetiminde zaman, maliyet ve kalite parametrelerinde doğrudan iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. **Zanni vd. [2017]** ise AI-BIM entegrasyonunun özellikle erken tasarım evresinde iş gücünü azalttığına dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda, BIM ve AI teknolojilerinin entegre kullanımının, teknik dokümantasyon süreçlerini hızlandırdığı, şantiye planlamalarında zaman sapmaları ve maliyet aşımalarını azalttığı ve süreçlerin bütüncül verimliliğini artırdığı ifade edilebilir.

“AI-BIM Entegrasyonunun Stratejik Katkıları”

- Alt Temalar: Karar destek, disiplinler arası uyum
- Temsilci Kod: "AI karar destek sistemleri sayesinde analizler hızlandı."

- Analiz: AI tabanlı karar destek sistemlerinin, mimarın sezgisel ve yaratıcı karar alma süreçlerine yapısal bir destek sunarak, tasarımı daha ölçülebilir ve optimize edilebilir hale getirdiği belirtilebilir. Katılımcıların ifadeleri, AI'nin sadece tasarımın biçimsel yönlerini değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kullanıcı ihtiyaçlarına dair verileri de analiz ederek çok boyutlu çözümler üretebildiğini göstermektedir. Ayrıca AI destekli karar destek sistemlerinin, mimarlık ile mühendislik disiplinlerinin aynı proje üzerinde çalışan çok aktörlü ekipler ile aynı veri seti üzerinden senkronize çalışmasını mümkün kıldığı ifade edilebilir. Katılımcı 1, Autodesk Forma ve BIM 360 bulut tabanlı platformlar ile AI entegrasyonunun planlama ve pafta üretimi görevlerini otomatikleştirdiğini, karar destek sistemleriyle optimizasyon süreçlerini hızlandırdığı vurgulamıştır. Bu bulgular, mimarlık mesleğinde AI'nin “karar destek” işlevini teknik, yaratıcı ve yönetsel düzeyde etkili kıldığını ortaya koymaktadır.

“Sürdürülebilirlik ve Performans Analitiği”

- Alt Temalar: Enerji analizi, optimizasyon, yeşil bina entegrasyonu
- Temsilci Kod: "AI destekli araçlar, enerji analizleri ile konsept tasarım kararları yönlendiriliyor."
- Analiz: AI tabanlı simülasyon araçları (örneğin, IES-VE), sürdürülebilirlik hedeflerinin tasarım sürecine erken aşamalarda entegre edilmesini mümkün kılmaktadır. Katılımcılar, bu sistemlerin özellikle enerji verimliliği, yönelim ve malzeme seçimi kriterleri açısından tasarımın ilk evresinde değerlendirme imkanı sunduğunu belirtmiş, bu sayede tasarım kararlarının veri temelli ve sürdürülebilir bir çerçevede alınabildiğini vurgulamışlardır. **Nguyen vd., [2021]**, bu araçların tasarım varyasyonlarını enerji performansına göre yönlendirdiğini ve karbon ayak izini azaltma potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur. Katılımcılar, AI destekli BIM araçları ile sürdürülebilirlik yaklaşımını, tasarımın erken evrelerine entegre ederek mimari kaliteyi çok boyutlu biçimde geliştirdiklerini ifade etmişlerdir. Bu yaklaşım, mimarın stratejik kararlar alan bir aktöre dönüşmesini desteklemektedir.

“Eğitim ve Bilgi Paylaşımı”

- Alt Temalar: Eğitim eksikliği, kullanıcı rehberi ihtiyacı

- Temsilci Kod: "Kullanıcılar yazılımlarda yer alan AI destekli araçların farkında değil."
- Analiz: Teknolojinin etkin kullanımı, kullanıcıların bu teknolojilere dair bilgi düzeyi ve farkındalığıyla doğrudan ilişkilidir. Katılımcı 1'in, birçok BIM kullanıcısının programlarda yer alan AI tabanlı işlevlerden haberdar olmadığını ifade etmesi, kullanıcı farkındalığına ilişkin bu eksikliğin, teknolojik adaptasyon sürecini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. **Succar [2009]**, BIM yeterliliğinin stratejik bilgi yönetimi ile bütünleşmesi gerektiğini belirtmiş, **Becerik-Gerber vd. [2011]** ise dijital okuryazarlığın pedagojik destekle güçlenmesi gerektiğini savunmaktadırlar. Bu bağlamda, sektörel dönüşümün sürdürülebilirliği, yalnızca teknik araçların kullanım yetkinliği ile değil, öğrenme biçimlerine dayalı eğitim modellerine de bağlı olduğu ifade edilebilir.

"Maliyet ve Lisanslama Sorunları"

- Alt Temalar: Yüksek lisans maliyetleri, küçük ofis erişimi
- Temsilci Kod: " Lisans ücretleri döviz bazlı; küçük ofislerin erişmesi zor. "
- Analiz: BIM ve AI yazılımlarının yüksek lisans maliyetleri, özellikle döviz kuruna bağlı fiyatlandırma yapısı nedeniyle, gelişmekte olan ülkelerde bu teknolojilere erişimi sınırlamaktadır. Katılımcı 1'in de vurguladığı üzere, yalnızca ana yazılım lisansları değil, render motorları, analiz eklentileri ve AI tabanlı modüller gibi ek bileşenler de maliyet yükünü artırmakta, bu durum küçük ve orta ölçekli ofisler için teknolojik erişimi neredeyse imkansız hale getirmektedir. **Volk vd. [2014]** BIM'in yaygınlaşmasının önünde yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve yapısal eşitsizliklerden kaynaklanan engellerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, BIM ve AI teknolojilerinin sektöre entegrasyonu için, ekonomik teşvikler, kamu politikaları ve adil fiyatlandırma modelleriyle desteklenmesi gereken bir dönüşüm süreci olması gerektiği vurgulanabilir.

"Dijital Kültür ve Direnç"

- Alt Temalar: Kıdemli mimarların direnç göstermesi
- Temsilci Kod: "Kıdemli mimarlar yeni sistemleri öğrenmekte isteksiz."
- Analiz: Teknolojik değişime karşı gösterilen direnç, çoğu zaman kullanıcıların uzun yıllara dayanan alışkanlıkları, mevcut sistemlere duydukları güven ve

yeni teknolojileri öğrenme sürecine dair duydukları kaygılarla ilişkilidir. Katılımcı 1'in özellikle kıdemli profesyonellerin BIM ve AI tabanlı sistemleri öğrenmeye karşı isteksizlik gösterdiğine dair gözlemi, pedagojik ve kültürel bir direnç biçimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, **Rogers [2003]'ın** "diffusion of innovations" kuramıyla doğrudan örtüşmektedir. Rogers, yeniliklere karşı en geç uyum sağlayan kullanıcıları "laggards" (gecikenler) olarak tanımlar ve bu grubun teknolojiye yönelik çekincelerinin büyük oranda alışkanlık, kuşak farkı ve statüyü koruma eğiliminden kaynaklandığını belirtmektedir. Katılımcı 1'in değerlendirmesi de bu çerçeveyi doğrular niteliktedir. Bu bağlamda, teknolojik adaptasyonun sağlanabilmesi için kullanıcıların konfor alanlarından çıkmalarını destekleyecek yöntemler ve kültürel dönüşüm stratejileri geliştirilebilir.

"Ofis ve Şantiye Uygulama Farklılıkları"

- Alt Temalar: Dijital altyapı farkı, şantiye zayıflığı
- Temsilci Kod: "Şantiyelerde hala dijital veri akışı sağlanamıyor."
- Analiz: Literatürde sıkça vurgulanan saha ve ofis bilgi kopukluğu [**Zhong vd., 2017**], BIM uygulamalarının yalnızca ofis düzeyinde sınırlı kalmasına neden olan temel sorunlardan biri olduğu söylenebilir. Bu durum, dijital dönüşümün tasarım ve planlama dışında, uygulama sahasında da sürdürülebilir bir dijital altyapıyla desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir. Tez kapsamında görüşülen katılımcılar, özellikle BIM ve AI sistemlerinin şantiye ortamlarında yeterince uygulanamadığını, gerçek zamanlı veri akışının ve sensör temelli takip sistemlerinin eksik olduğunu vurgulamışlardır. Katılımcı 1'in, şantiyelerde dijital üretimin kesintiye uğradığını ve entegrasyonun yalnızca masa başında kaldığını belirtmesi, bu yapısal sorunun sahadaki etkilerini ortaya koymaktadır. **Becerik-Gerber vd. [2011]** de bu soruna dikkat çekmiş, BIM'in tam koordine bir biçimde uygulanabilmesi için yazılım becerileri, altyapı, donanım ve saha verisinin dijital olarak entegre edilebileceği sistemsel bir çerçevenin gerekli olduğunu savunmuşlardır. Katılımcıların deneyimlerine referansla, saha uygulamalarında dijitalleşmenin, hem donanım hem de kullanıcı alışkanlıkları açısından henüz yeterince olgunlaşmadığı ifade edilebilir.

“Yazılım Entegrasyonu ve Veri Yönetimi”

- Alt Temalar: Veri aktarım sorunları, entegrasyon eksikliği
- Temsilci Kod: "Yazılımlar arasında veri transferi manuel ve hata riski yüksek."
- Analiz: BIM sürecinde birlikte çalışabilirlik, disiplinler arası koordinasyonun ve dijital sürecin sürekliliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır [Ren ve Zhang, 2021]. Ancak, Katılımcı 2 ve 3, farklı yazılımlar arasında veri aktarımının çoğunlukla manuel yollarla gerçekleştirildiğini ve bu durumun, hem süreci yavaşlattığını hem de hata riskini artırdığını vurgulamışlardır. Özellikle Revit, Dynamo, Power BI ve görselleştirme araçları gibi farklı platformların aynı projeye eşzamanlı entegre edilmesi gerektiğinde yaşanan senkronizasyon sorunları, veri bütünlüğünü zedeleyen yapısal bir zayıflık olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgulara referansla **Grilo ve Jardim-Goncalves [2010]**, BIM'in sunduğu çok disiplinli modelleme kapasitesine rağmen, yazılımlar arası entegrasyonun sınırlı olması nedeniyle verinin parçalandığını ve süreçte bütünsel bir dijital akışın sağlanamadığını ifade etmektedir. Dolayısıyla katılımcıların veri entegrasyonu ve yönetimine ilişkin olumsuz deneyimleri, dijital dönüşüm sürecinde yazılımlar arası uyumluluğun sağlanması, veri standardizasyonunun güçlendirilmesi ve açık format politikalarının yaygınlaştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

“Gelecek Öngörülleri ve Uyarlanabilirlik”

- Alt Temalar: Teknolojiye adaptasyon süresi, devlet teşvikleri
- Temsilci Kod: "AI-BIM entegrasyonu sektör için umut vadeden bir gelişim süreci."
- Analiz: AI ve BIM entegrasyonunun sektörde yaygınlaşması, bu sürecin sağlıklı ve sürdürülebilir biçimde ilerleyebilmesi için kamu politikaları, eğitim sistemleri ve ekonomik teşvik mekanizmalarının da bütüncül olarak başlatılmasının gerekli olduğu vurgulanabilir. Katılımcı 1, bu durumu açık biçimde dile getirmiş, özellikle öğrenciler ve küçük ölçekli ofisler için lisans erişimi, yazılım maliyetleri ve teknik destek alanlarında ciddi eksikliklerin bulunduğunu belirtmiştir. Bu bulgu **Succar vd. [2013]**'nin, BIM'in stratejik planlama ve sektörel bir dönüşüm aracı olduğu ve bu dönüşümün gerçekleşebilmesi için yapı sektöründe kurumlar arası iş birliği, politika üretimi ve eğitimde standardizasyonun önemli olduğu görüşü ile

örtüşmektedir. Katılımcılar aynı zamanda, teknolojinin yalnızca “erişilebilir” değil, aynı zamanda “öğrenilebilir” ve “uygulanabilir” hale gelmesi için kamusal destek, eğitim içeriği ve ekonomik kolaylaştırıcıların bir arada sunulması gerektiği görüşündedir. Bu bağlamda, AI ve BIM’in sektörel dönüşümde oynayacağı rolün, politik ve kültürel bir yapılanmayı da zorunlu kıldığı söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, çalışmanın kuramsal altyapısı, uygulama bulguları ve analizlerinden elde edilen sonuçlar, tez kapsamında belirlenen alt başlıklar doğrultusunda sistematik bir biçimde özetlenmiştir. BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonu; karar verme, otomasyon ve bilgi yönetimi boyutlarında değerlendirilmiş, Türkiye'de faaliyet gösteren mimarların deneyimlerine dayalı bulgular ışığında tartışılmıştır.

Literatürde mimari tasarım süreçlerinin, yalnızca fiziksel ürün üretimi değil, aynı zamanda düşünsel, estetik ve bağlamsal değerlendirmelerle şekillenen döngüsel bir süreç olduğu vurgulanmıştır. Buna ek olarak, **Schön [1983]'nün** “reflection-in-action” yaklaşımı, mimarın sürekli geri bildirim ve deneme yanılma temelli bir karar döngüsü içinde olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, mimari tasarım süreçlerinin, analitik düşünce ile yaratıcılığın eş zamanlı işlendiği, teknik bilgi ile estetik sezginin bütünleştiği dinamik ve sürekli dönüşen bir süreç olduğu söylenebilir. Mimari tasarım süreçlerinde bilgi yönetimi ise, geçmiş verilerin saklanması, yeniden işlenmesi ve karar süreçlerine entegre edilmesini kapsayan dinamik bir yapıdır. Çok paydaşlı projelerde bu yönetimin sistematik uygulanması, tasarım kalitesi ile birlikte uygulama, bakım ve işletme aşamalarını da doğrudan etkilemektedir [Lee ve Egbu, 2007], [Herrera vd., 2020]. Ayrıca BIM, AI, AR ve simülasyon temelli sistemler, tasarım sürecini veriye dayalı, iş birliğine açık ve zamansal açıdan verimli hale getirmektedir [Succar vd., 2013], [Kolarevic, 2004]. Bu çerçevede, dijital teknolojilerin bilgi yönetimine entegrasyonunun, tasarım süreçlerinde verimliliği arttırdığı, tasarımcıya alternatif üretme, görselleştirme ve değerlendirme olanakları sunduğu, dolayısıyla mimari düşünce biçimlerini de yeniden yapılandığı ifade edilebilir.

Mimarlık sektöründe dijital dönüşümün öncülerinden biri olan BIM teknolojisi, tasarım süreçlerinde, stratejik tanım, konsept tasarım ve mekansal koordinasyon aşamalarında bilgi temelli bir dönüşüm sunmaktadır [NIBS, 2014], [ISO 19650, 2018], [RIBA, 2020]. BIM, enerji analizi, maliyet yönetimi, yapısal modelleme ve aydınlatma alanlarında çok disiplinli karar destek mekanizmaları ile entegre çalışmakta, bu bağlamda LOD sistemi ile birlikte projelerde bilgi güvenilirliğini

artırmaktadır **[Krygiel ve Nies, 2008]**, **[RICS, 2014]**. Buna ek olarak, BIM'in olgunluk seviyeleri (Level 0-3), yapı sektöründeki dijitalleşme düzeyini tanımlarken, boyutsal seviyeler (3D, 4D, 5D, 6D, 7D) projelerin bilgi işleme kapasitesini artırarak entegre çözümler sunmaktadır **[Succar, 2009]**, **[Smith, 2014]**. Dolayısıyla, BIM'in aşamalı ve katmanlı yapısının, dijitalleşme ve bilgi yönetimini mimari tasarım sürecine kademeli olarak entegre ederek, proje yönetiminde öngörülebilirliği ve verimliliği arttırdığı söylenebilir.

AI ise, makine öğrenimi, derin öğrenme ve evrimsel algoritmalar yoluyla tasarım sürecine veri analizi, performans optimizasyonu ve alternatif üretme olanakları sunmaktadır **[Ruiz-Montiel vd., 2013]**, **[Saadi ve Yang, 2023]**. Bu bağlamda, mimari tasarım süreçlerinde AI' nın, hem kullanıcı odaklı hem de performans temelli çözümler üretilmesini mümkün kılan, tasarımın işlevselliğini, sürdürülebilirliğini ve karar verme etkinliğini artıran yenilikçi bir araç olduğu ifade edilebilir.

Tez kapsamında elde edilen literatür bulguları, AI ve BIM entegrasyonlarının hem erken evre tasarım süreçlerinde, hem de çok hedefli optimizasyon senaryolarında mimarlara bilimsel tabanlı karar alma olanakları sunduğunu göstermektedir. Bu entegrasyonda kullanılan Rhino-Grasshopper, Revit-Dynamo, Wallacei, Opossum, Autodesk Generative Design araçları, kullanıcı gereksinimlerine duyarlı, enerji verimli ve çevresel verilerle uyumlu tasarım alternatifleri üretme kapasitesine sahiptir **[Oxman, 2008b]**, **[Mukkavaara ve Sandberg, 2020]**. Aynı zamanda simülasyon araçları, gün ışığı, termal konfor ve enerji verimliliği kriterlerini analiz ederek, tasarımın çevresel etkilerini sayısal olarak değerlendirme olanağı sağlamaktadır **[Fernandez-Antolin vd., 2021]**. Bilgi yönetiminde kullanılan BIM ve AI araçları ise, farklı uzmanlık alanlarını tek bir dijital veri ortamında bir araya getirerek eş zamanlı ve senkronize bir tasarım süreci sağlamaktadır **[Succar vd., 2013]**, **[Scully ve Khosrowshahi, 2010]**. Dolayısıyla, BIM ve AI entegrasyonunu sağlayan dijital araçların, mimari tasarımı veriye dayalı düşünme, çevresel duyarlılık ve çok disiplinli etkileşim temelinde yeniden tanımlayarak, çağdaş mimarlık pratiğine yön veren yenilikçi bir paradigma sunduğu görülmektedir.

Bununla birlikte, BIM ve AI entegrasyonunun mimari tasarım süreçlerine sağladığı çok yönlü katkıların yanı sıra, uygulama sürecinde çeşitli teknik, örgütsel ve yapısal zorluklarla da karşılaşmaktadır. Bu zorluklar teknik, finansal, örgütsel ve yasal boyutlarıyla kapsamlı bir değerlendirme gerektirmektedir **[Khan vd., 2024]**. Bu

zorlukların üstesinden gelebilmek için ise eğitim programları, açık veri standartları, finansal teşvikler ve yasal düzenlemelerin oluşturulması ve bu eylemlerin eş zamanlı olarak hayata geçirilmesi vurgulanabilir.

Yukarıda belirtilen literatür sonuçları kapsamında, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarımın geleceğindeki konumu değerlendirildiğinde, tasarımcıların dijital yetkinliklerinin artırılması, AI ile iş birliğine dayalı tasarım kültürünün geliştirilmesi ve generatif sistemlerin mimarlık pratiğinde daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir [Cove, 2025], [Nagy vd., 2018]. Bu bağlamda, mimari tasarım süreçlerinde insan merkezli, performans odaklı ve sürdürülebilir yaklaşımların ön plana çıkacağı öngörülmektedir.

Türkiye’de BIM kullanan mimarlarla gerçekleştirilen anket sonuçları değerlendirildiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun mimarlık mesleğinde 0-5 yıl arasında deneyime sahip olduğu ve BIM teknolojisini 0-5 yıldır deneyimlendikleri görülmüştür. Dolayısıyla, dijital teknolojilere adaptasyon sürecinin erken kariyer evresinde olan mimarlar açısından daha hızlı ilerlediği sonucuna varılabilir. Bu sonuç, **Luna [2025]**’ nın BIM’in yakın dönemde sektör tarafından hızla benimsendiği yönündeki bulgularını desteklemektedir.

Anket çalışmasında katılımcıların büyük çoğunluğu, BIM sistemlerini ağırlıklı olarak 3D modelleme için kullandıklarını ifade etmişlerdir. BIM’in 4D ve 5D boyutlarının mimari tasarıma entegrasyonu konusunda olumlu tutumlar gözlenmektedir, buna karşın 6D ve 7D ileri boyutların halen sınırlı düzeyde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, **Elmalı ve Bayram [2022]**’ ın Türkiye’de BIM uygulamalarının, büyük ölçüde görsel modelleme ve temel proje yönetimi işlevleriyle sınırlı kaldığı, ileri düzey entegrasyon süreçlerinin ise halen gelişme aşamasında olduğu görüşünü desteklemektedir. Buna ek olarak, BIM’i Seviye 2 olgunluk düzeyinde ve LOD 300 detay seviyesinde kullandığını belirten katılımcıların oranı en fazla olup bu durum, sektörün entegre BIM uygulamalarına geçiş sürecinde olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, **RICS [2014]**’nin profesyonel uygulama projelerinde bilgi yoğunluğunun çoğunlukla orta detay seviyesinde yoğunlaştığı yönündeki tespitiyle örtüşmektedir. BIM kullanımının proje aşamaları açısından dağılımı incelendiğinde ise, en yüksek kullanım oranı konsept tasarım aşamasında gerçekleşmiştir. Bu bulgu, görselleştirme, analiz ve varyasyon üretimi işlevlerinin erken tasarım kararlarında aktif biçimde kullanıldığını göstermektedir.

AI teknolojilerinin sektördeki etkilerine yönelik algılar incelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğu AI'nın dönüşüm yaratacağı ancak insan faktörünün etkili olmaya devam edeceğini belirtmiştir. Bu görüş, **Aslan [2024]** ve **Figoli vd. [2022]**'nin AI'nın bir araçtan öte, tasarım sürecinin aktif bir bileşeni olduğuna dair yorumlarıyla paralellik göstermektedir. Dolayısıyla AI'nın mimarlık disiplinde, insan merkezli, karar alma süreçlerini tamamlayan, yaratıcı ve stratejik bir ortak olarak konumlandığı söylenebilir. Katılımcılar, AI'nın en bilinen kullanım alanlarının generatif tasarım ve görselleştirme uygulamaları olduğunu belirtmişler, buna karşın katılımcıların büyük çoğunluğu, AI destekli araçları henüz kullanmadığını, ancak bu alana ilgi duyduğunu ifade etmişlerdir.

BIM ve AI entegrasyonuna dair bilgi düzeyi sorusuna verilen yanıtlar doğrultusunda elde edilen veriler, katılımcıların büyük çoğunluğunun orta düzeyde bilgi sahibi olduğunu, buna karşılık ikinci en yüksek oranda katılımcının ise bu konuda yetersiz bilgiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, sektörde BIM ve AI entegrasyonuna yönelik farkındalığın oluşmaya başladığını, ancak bilgi derinliği ve uygulama yeterliliğinin henüz istenen düzeye ulaşmadığını göstermektedir. Anket verilerine göre, mimari tasarım süreçlerinde BIM ve AI entegrasyonunun en sık kullanıldığı aşamalar ise konsept tasarım, alternatif tasarım varyasyonları üretimi, görselleştirme/simülasyon ve teknik tasarım aşamalarıdır. Bu durum, tasarımın erken evre karar süreçlerinde BIM ve AI teknolojilerinden yüksek oranda yararlanıldığını ve entegrasyonun uygulama projelerinde de etkili olduğunu göstermektedir.

Anket verileri, mimari tasarım süreçlerinde AI destekli BIM yazılımları arasında Revit+Dynamo+Fractal kombinasyonunun en yaygın şekilde kullanıldığını, buna ek olarak Autodesk Generative Design ve Octopus araçlarının çok hedefli optimizasyon süreçlerinde etkin biçimde tercih edildiğini göstermektedir. Simülasyon araçları açısından, Sefaira ve Ladybug Tools öne çıkmaktadır. Bilgi yönetimi ve iş birliği alanında ise BIM Track ve Autodesk 360 platformları yoğun olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu programların mimari tasarım süreçlerinde en sık tercih edilen araçlar arasında yer alması, kullanıcı arayüzlerinin daha erişilebilir, anlaşılır ve pratik olmasıyla doğrudan ilişkili olabilir.

Katılımcıların verdiği yanıtlar doğrultusunda yapılan değerlendirme, AI destekli BIM teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerinde giderek daha fazla benimsendiğini ve özellikle karar verme, varyasyon üretimi, simülasyon ve bilgi yönetimi aşamalarında

aktif olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Katılımcıların yanıtları, bu teknolojilerin tasarım sürecinde yaratıcılığı teşvik ettiğini, üretkenliği artırdığını, zaman kullanımını optimize ettiğini ve tasarım kararlarını daha sistematik, analitik ve veriye dayalı bir zemine taşıdığını ortaya koymuştur. Buna ek olarak katılımcıların çoğunluğu, AI destekli BIM sistemlerinin form üretimi, cephe tasarımı ve alternatif senaryo geliştirme uygulamalarında önemli katkılar sunduğunu ifade etmiş, teknik değerlendirme ve çevresel analiz süreçlerinde de bu araçların etkin şekilde kullanıldığını belirtmiştir. Bu bulgular, **Matter ve Gado [2024]**'nın, AI destekli sistemlerin alternatif konsept üretiminde yaratıcılığı desteklediği ve tasarım kararlarını hızlandırdığı yönündeki tespitleriyle örtüşmektedir. Ayrıca **Hamdy vd. [2024]** tarafından vurgulanan, parametrik sistemlerin tasarım süreçlerini veriye dayalı ve esnek hale getirme gücü de katılımcı değerlendirmeleriyle paralellik göstermektedir.

BIM ve AI teknolojilerinin bilgi yönetiminde, çok paydaşlı iş birliği ve karar destek sistemleri açısından mimari sürece değer kattığını vurgulayan anket katılımcıları, aynı zamanda bu teknolojilerinin uygulanmasında bazı sınırlılıkların da olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle bilgi eksikliği, yazılımsal yeterlilik sorunları ve etik endişelerin de sürece eşlik ettiğine dikkat çekmişlerdir. Anketin devamında, geleceğe dönük değerlendirmelerde bu entegrasyonun sektörde daha yaygın hale geleceği, mimarın rolünü daha stratejik ve yönetim odaklı bir konuma taşıyacağı yönünde ortak bir öngörü ortaya çıkmıştır. Ankette yanıtlanan açık uçlu sorularda ise, yazılımların entegrasyon düzeyi, etik sorumluluklar ve kavramsal belirsizliklere değinilmiş, teknolojik dönüşümün stratejik, kültürel ve mesleki paradigmaları da dönüştüren çok katmanlı bir süreç olduğu ifade edilmiştir.

Uzman mimarlarla yapılan yarı yapılandırılmış görüşmeler ile, BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin daha derinlikli nitel veriler sunulmuştur. Katılımcılar, tasarım sürecinde AI destekli karar destek sistemlerinin özellikle ilk taslakların üretilmesi, varyasyonların test edilmesi ve performansa dayalı karşılaştırmalar yapılması aşamalarında büyük avantaj sağladığını belirtmişlerdir. Katılımcıların deneyimleri, bu teknolojilerin özellikle konsept tasarım ve şematik planlama aşamalarında yoğun olarak kullanıldığını, alternatif tasarım üretimi, karar verme, enerji analizi ve bilgi yönetimi süreçlerinde üretkenliği artırarak mimarların karar alma kapasitesini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. AI destekli generatif tasarım araçlarının, form üretimi, performans odaklı tasarım senaryoları oluşturma ve bu senaryoları nicel

verilerle karşılaştırma olanakları sunduğu ifade edilmiştir. Bu bulgular, **Hamdy vd. [2024]**'nin generatif sistemlerin mimarın yaratıcı düşünme becerisini destekleyen yapılar oluşturduğu yönündeki tespitiyle örtüşmektedir.

Yarı yapılandırılmış görüşmelerde katılımcılar, BIM ve AI entegrasyonunun zaman tasarrufu, operasyonel verimlilik ve otomasyon açısından önemli avantajlar sunduğunu vurgulamıştır. Teknik dokümantasyon süreçlerinin hızlanması, veri odaklı karar destek sistemlerinin gelişmesi ve çok paydaşlı disiplinler arası koordinasyonun daha uyumlu hale gelmesi, bu teknolojilerin stratejik katkılarını somutlaştırmaktadır. Diğer yandan, yazılımlar arası veri aktarımı, entegrasyon eksiklikleri ve donanımsal yetersizlikler, katılımcıların ortak görüş olarak vurguladığı yapısal sorunlar arasında yer almaktadır. Bu durum, **Grilo ve Jardim-Goncalves [2010]**'in yazılımlar arası uyum eksikliğinin BIM'in bütüncül dijital akış potansiyelini zedelediği yönündeki görüşüyle paralellik göstermektedir. Ayrıca görüşmelerde, AI destekli enerji analizlerinin, yeşil bina ve sürdürülebilirlik kriterlerinin tasarımın erken aşamalarına entegre edilmesine olanak tanıdığı, böylece mimarın çevresel ve işlevsel sorumluluklar çerçevesinde karar verebildiği belirtilmiştir. Bu bulgular, **Nguyen vd. [2014]**'nin, AI tabanlı sistemlerin karbon ayak izini düşürmek için katkılar sağladığına dair değerlendirmelerini desteklemektedir.

Bununla birlikte, katılımcılar mevcut sistemlerin yaygınlaşmasında eğitim eksikliği, kullanıcı farkındalığı yetersizliği ve yüksek lisans maliyetlerinin önemli engeller oluşturduğunu ifade etmiştir. Özellikle küçük ve orta ölçekli mimarlık ofislerinin bu sistemlere erişiminde ekonomik sınırlılıkların belirleyici olduğu, lisanslama politikalarının gözden geçirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Katılımcılar, sektörel dönüşümün yalnızca yazılımsal bir adaptasyon değil, aynı zamanda kültürel bir yeniden yapılanma olduğunu, bu dönüşümün başarıyla sağlanabilmesi için eğitim sistemlerinin, yazılım üreticilerinin ve kamu politikalarının eş zamanlı olarak harekete geçirilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Tez çalışmasından elde edilen bulgular ve sonuçlar doğrultusunda, BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonunun yüksek potansiyele sahip olduğunu, ancak bu entegrasyonun Türkiye'deki mevcut uygulamalarda çeşitli teknik, yönetsel ve pedagojik sınırlılıklar nedeniyle istenilen düzeyde gerçekleşmediğini ortaya koyulmuştur. Bu kapsamda aşağıda, araştırmadan elde edilen veriler doğrultusunda geliştirilen öneriler sıralanmıştır:

- Eğitim ve Mesleki Gelişim Süreçlerine Yönelik Öneriler: BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımı, yüksek düzeyde teknik bilgi ve disiplinler arası beceriler gerektirmektedir. Bu bağlamda, mimarlık lisans ve yüksek lisans programlarında, hesaplamalı tasarım, algoritmik düşünme, parametrik modelleme ve AI uygulamalarına ilişkin zorunlu ders içeriklerinin yapılandırılması gerekmektedir. Mevcut müfredatın, yalnızca yazılım öğretimine değil, aynı zamanda bu teknolojilerin tasarım pratiğine etkilerini tartışmaya açacak şekilde güncellenmesi önerilmektedir [Oxman, 2006], [Krish, 2011]. Ayrıca meslek içi eğitimlerin ve sertifika programlarının yaygınlaştırılması, özellikle orta yaş ve üzeri profesyonel mimarların dijital geçiş sürecine adapte olabilmelerini kolaylaştıracaktır. Bu eğitimlerin uygulama temelli, sektörle iş birliği içinde ve BIM ve AI entegrasyonunu deneyimlemeye yönelik olması önem arz etmektedir.
- Yazılım ve Teknoloji Altyapısına Yönelik Öneriler: BIM ve AI tabanlı sistemlerin daha yaygın kullanılabilmesi için yerel dil desteği olan, kullanıcı dostu ve sektöre özgü çözüm önerileri sunan yazılım altyapılarının geliştirilmesi gerekmektedir. Halihazırda kullanılan parametrik tasarım ve generatif araçların (örneğin Revit-Dynamo, Rhino-Grasshopper, Autodesk Generative Design) Türkçe arayüz ve yerel kullanıcı kılavuzları ile desteklenmesi, yaygınlık açısından olumlu etki yaratacaktır. Ayrıca, bulut tabanlı disiplinler arası iş birliği platformlarının (örneğin BIM 360, BIM Collaborate Pro) küçük ölçekli ofisler tarafından erişilebilirliğini artırmak amacıyla, kamu destekli yazılım lisanslama veya açık kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesi önerilmektedir.
- Kurumsal ve Yönetişel Yapıya İlişkin Öneriler: Anket ve görüşme bulguları, teknolojik dönüşüm sürecinin önündeki temel engellerden birinin kurumsal direnç ve yönetim odaklı planlama eksikliği olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, tasarım ofisleri ve inşaat firmalarının BIM ve AI entegrasyonuna ilişkin stratejik yol haritaları oluşturması, görev tanımlarını ve iş akışlarını yeniden yapılandırması gerekmektedir. Ayrıca, yöneticilere ve proje liderlerine yönelik teknoloji vizyonunu güçlendirecek seminerler, çalıştaylar ve sektör raporları hazırlanmalıdır.
- Politik ve Mevzuatsal Düzenlemelere Yönelik Öneriler: BIM ve AI entegrasyonunun sektörde sürdürülebilir biçimde yaygınlaşabilmesi için yasal ve yönetsel düzenlemelerin de oluşturulması gerekmektedir. Bu doğrultuda, BIM

kullanımının kamu projelerinde zorunlu hale getirilmesi, AI destekli sistemlerin proje süreçlerine entegrasyonunu teşvik edecek yönergelerin oluşturulması ve bu teknolojilere özel mevzuat altyapısının geliştirilmesi önerilmektedir. Özellikle veri güvenliği, fikri mülkiyet hakları ve AI çıktılarının sorumluluk paylaşımı alanlarında açık düzenlemelerin yapılması, sektördeki belirsizlikleri azaltacak ve dönüşüm sürecini hızlandıracaktır.

- Toplumsal ve Etik Boyuta Yönelik Öneriler: BIM ve AI teknolojilerinin tasarım süreçlerine entegrasyonu, toplumsal ve etik sonuçlar doğurmaktadır. Bu bağlamda, insan merkezli tasarım yaklaşımının korunması, AI sistemlerinin karar verme süreçlerinde mimarın yaratıcı rolünü destekleyici biçimde konumlandırılması ve teknolojik bağımlılık riskine karşı mesleki özerkliğin güçlendirilmesi önem arz etmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, mimarın etik sorumluluğunu, AI ile iş birliği içinde yeniden tanımlaması ve bu süreci meslek pratiğiyle uyumlu hale getirmesi beklenmektedir.
- Geleceğe Yönelik Araştırma Konularına Yönelik Öneriler: Tez çalışması, yalnızca mimari tasarım süreçlerini odağına almakta, mühendislik, inşaat yönetimi veya tesis işletimi gibi disiplinlerin BIM ve AI deneyimlerini kapsam dışında bırakmaktadır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı disiplinlerin perspektiflerinin karşılaştırmalı olarak ele alınması önerilmektedir. Ayrıca, generatif tasarım sistemleri, AI ile güçlendirilmiş sürdürülebilirlik analizleri, kullanıcı davranışına göre uyarlanabilen mekansal senaryolar ve kent ölçeğinde BIM ve AI uygulamalarının, mimarlık literatüründe giderek daha fazla önem kazanacağı öngörülmektedir. Bu alanlarda yapılacak uygulamalı ve disiplinler arası araştırmalar, hem akademik katkı hem de sektörel yönlendirme açısından değerli olacaktır.

Tez çalışması kapsamında BIM ve AI teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyonu, hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde çok boyutlu olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, BIM ve AI teknolojilerinin mimari pratiği düşünsel düzeyde dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır. Dijitalleşmenin getirdiği olanaklarla birlikte, tasarım süreçlerinin veriye dayalı, performans odaklı ve iş birliğine açık hale gelmesi, mimarlık mesleğinin paradigmalarını da etkilemektedir. Dolayısıyla bu dönüşüm, kültürel adaptasyon, mesleki eğitim, etik farkındalık ve stratejik yönetimler ile mümkün olabilecektir. Bu bağlamda, BIM ve AI

teknolojilerinin mimarlık disiplinde sürdürülebilir, katılımcı ve yaratıcı bir gelecek inşa edebilmesi için, bütüncül ve çok aktörlü bir yaklaşımın benimsenmesinin büyük önem taşıdığı ifade edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdulfattah, B. S., Abdelsalam, H. A., Abdelsalam, M., Bolpagni, M., Thurairajah, N., Perez, L. F., ve Butt, T. E. (2023). "Predicting Implications of Design Changes in BIM-Based Construction Projects Through Machine Learning", *Automation in Construction*, 155. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2023.105057>
- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Davila Delgado, J. M., Bilal, M., Akinade, O. O., ve Ahmed, A. (2021). "Artificial intelligence in the Construction Industry: A Review of Present Status, Opportunities and Future Challenges", *Journal of Building Engineering*, 44, 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103299>
- Abrishami, S., Goulding, J., Rahimian, F. P., ve Ganah, A. (2014). "Integration of BIM and Generative Design To Exploit AEC Conceptual Design Innovation", *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 19, 350-359. https://www.researchgate.net/publication/265421507_Integration_of_BIM_and_generative_design_to_exploit_AEC_conceptual_design_innovation
- Açar, B. (2019). "Implementation Problems Of Building Information Modeling: Case Study Of Istanbul Airport Project", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Afzal, M., ve Şafiq, M. T. (2021). "Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety of Multilingual Construction Job-Site Crews: Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site", *Buildings*, 11(8), 319. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11080319>
- Akçan, Z. M. (2022). "Yapay Zeka Algoritmalarının Mimari Şematik Plan Oluşturmak İçin Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Akın, E., ve Şahin, M. E. (2024). "Derin Öğrenme ve Yapay Sinir Ağı Modelleri Üzerine Bir İnceleme", *EMO Bilimsel Dergi*, 14(1), 27-38.
- Aksin, F. N. (2019). "Yapı Kabuklarının Güneşli Ve Enerji Bağlamında Eniyilenmesinde Parametrik Modelleme Ve Evrimsel Algoritma Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Alavi, H., Gordo-Gregorio, P., Forcada, N., Bayramova, A., ve Edwards, D. J. (2024). "AI-Driven BIM Integration for Optimizing Healthcare Facility Design", *Buildings*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14082354>
- Almaz, A. F., El-Agouz, E. A. E. A., Abdelfatah, M. T., ve 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", *Civil Engineering and Architecture*, 12(3), 1749-1772. <https://doi.org/10.13189/CEA.2024.120336>

Alreshidi, E., Mourshed, M., ve Rezgui, Y. (2018). "Requirements for Cloud-Based BIM Governance Solutions to Facilitate Team Collaboration in Construction Projects", *Requirements Engineering*, 23(1), 1-31. <https://doi.org/10.1007/S00766-016-0254-6/FIGURES/13>

Andrić, J. M., ve Zheng, Z. (2024, Eylül). "The Application of BIM in Developing a Sustainable Building Design", OTMC Conference. https://www.researchgate.net/publication/384800679_The_Application_of_BIM_in_Developing_a_Sustainable_Building_Design

Aranda-Mena, G., Crawford, J., Chevez, A., ve Froese, T. (2009). "Building Information Modelling Demystified: Does It Make Business Sense to Adopt BIM?", *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(3), 419-434. <https://doi.org/10.1108/17538370910971063>

Aslan, F. (2024). "Öznemekanların Arakesitiyle Kurgulanan Bir Temsil Anlatısı: Tasarımın Yaratıcı Süreçlerinde Yapay Zeka", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Autodesk. (2025a, Nisan 25). "Üretken tasarım: Tekrarlama ve İnovasyonu Basitleştirme", <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>

Autodesk. (2025b, Mayıs 10). "Autodesk Forma", <https://www.autodesk.com/tr/products/forma/overview>

Autodesk. (2025c, Mayıs 12). "Construction IQ", https://help.autodesk.com/view/BIM360D/ENU/?guid=BIM360D_Insight_About_Construction_IQ_html

Bakhoun, E. S., ve Brown, D. C. (2015). "An Automated Decision Support System for Sustainable Selection of Structural Materials", *International Journal of Sustainable Engineering*, 8(2), 80-92. <https://doi.org/10.1080/19397038.2014.906513>

Bakır, K. E. (2020). "YBM (BIM) Platformlarının Mimari Tasarım Süreci İle İlişkilerinin Tespiti: Antalya Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

Balaban Ökten, B. (2016). "Türk İnşaat Sektöründe Küçük ve Orta Ölçekli Firmalarda Bilgi Yönetimi", Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Baltacı, A. (2018). "Nitel Araştırmalarda Örneklem Yöntemleri ve Örnek Hacmi Sorunsalı Üzerine Kavramsal Bir İnceleme", *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 231-274.

Barnes, P., ve Davies, N. (2014). "BIM in Principle and in Practice", <https://www.benardmakaa.com/wp-content/uploads/2021/11/P.T-Barnes-and-N.-Davies-BIM-in-Principle-and-In-Practice-ICE-Publishing-2014.pdf>

Bassir, D., Lodge, H., Chang, H., Majak, J., ve Chen, G. (2023). "Application of Artificial Intelligence and Machine Learning for BIM: Review", *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 14, 5.

Becerik-Gerber, B., Gerber, D. J., ve Ku, K. (2011). "The Pace of Technological Innovation in Architecture, Engineering, and Construction Education: Integrating Recent Trends Into the Curricula", *ITcon*, 16(24), 411-432. <http://www.itcon.org/paper/2011/24>

Bentley, P. J., ve Corne, D. (2001). "An Introduction to Creative Evolutionary Systems", *Creative Evolutionary Systems*, 1-75. <https://doi.org/10.1016/B978-155860673-9/50035-5>

Bilgin, M. (2017). "Gerçek Veri Setlerinde Klasik Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Performans Analizi", *Bursa Uludağ Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi*. <https://ab.org.tr/ab17/bildiri/101.pdf>

BIM Teknoloji. (2024, Kasım 20). "LOD Kavramı", <https://www.bimteknoloji.com/fikir/model-tanim-duzeyi-lod-level-of-development/>

BIM Track. (2025, Mayıs 10). "BIM Track-Burning Questions", <https://bimtrack.co/blog/blog-posts/your-top-10-burning-questions-about-bim-track-answered>

Boechat, L. C., ve Corrêa, F. R. (2021a). "Augmented BIM Workflow for Structural Design Through Data Visualization", *Lecture Notes in Civil Engineering*, 180-196. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_15

Boechat, L. C., ve Corrêa, F. R. (2021b). "Augmented BIM Workflow for Structural Design Through Data Visualization", *Lecture Notes in Civil Engineering*, 98, 180-196. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_15

Bostrom, N., ve Yudkowsky, E. (2014). "The Ethics of Artificial Intelligence", W. M. Ramsey ve K. Frankish (Ed.), *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence* (ss. 316-334). Cambridge University Press. <https://doi.org/doi.org/10.1017/CBO9781139046855.020>

Braun, V., ve Clarke, V. (2006). "Using Thematic Analysis in Psychology", *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706QP063OA>

Bryde, D., Broquetas, M., ve Volm, J. M. (2013). "The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM)", *International Journal of Project Management*, 31(7), 971-980. <https://doi.org/10.1016/J.IJROMAN.2012.12.001>

Büyüköztürk, Ş. (2012). "Sosyal Bilimler için Veri Analizi El Kitabı (17. bs)", Pegem Akademi.

Caldas, L. (2008). "Generation of Energy-Efficient Architecture Solutions Applying GENE_ARCH: An Evolution-Based Generative Design System", *Advanced Engineering Informatics*, 22(1), 59-70. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2007.08.012>

Caldas, L. G., ve Norford, L. K. (2002). "A Design Optimization Tool Based on a Genetic Algorithm", *Automation in Construction*, 11(2), 173-184.

Celanto, D. (2007). "Innovate or Perish: New Technologies and Architecture's Future", Harvard Design Magazine <https://www.harvarddesignmagazine.org/articles/innovate-or-perish-new-technologies-and-architectures-future/>

Chapman, R. E., Butry, D. T., ve Huang, A. L. (2010, Mayıs). "Measuring And Improving U.S. Construction Productivity", Proceedings of the 2010 CIB World Congress. <https://www.nist.gov/publications/measuring-and-improving-us-construction-productivity>

Charef, R., Alaka, H., ve Emmitt, S. (2018). "Beyond The Third Dimension of BIM: A Systematic Review of Literature And Assessment of Professional Views", Journal of Building Engineering, 19, 242-257. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.04.028>

Chen, Y., Dib, H., Cox, R. F., Shaurette, M., ve Vorvoreanu, M. (2016). "Structural Equation Model of Building Information Modeling Maturity. Journal of Construction Engineering and Management", 142(9), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001147](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001147)

Chien, K. F., Wu, Z. H., ve Huang, S. C. (2014). "Identifying And Assessing Critical Risk Factors For BIM Projects: Empirical Study", Automation in Construction, 45, 1-15. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2014.04.012>

Chitchian, D. (1997). "Artificial Intelligence For Automated Floor Plan Generation", Delft University of Technology.

Cove. (2025, Mayıs 5). "AI and Architecture: How Human-Centered Tech is Reshaping Design", https://cove.inc/blog/ai-architecture-human-centered-tech-reshaping-design?ed=trueveutm_source=chatgpt.com

Cowls, J., King, T., Taddeo, M., ve Floridi, L. (2019). "Designing AI for Social Good: Seven Essential Factors", SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3388669>

Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., ve Bartolo, P. J. (2019). "Additive Manufacturing as an Enabling Technology for Digital Construction: A Perspective on Construction 4.0", Automation in Construction, 103, 251-267. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2019.03.011>

Creswell, J. W. (2009). "Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches", (V. Knight, S. Connelly, H. Lauren, S. K. Quesenberry, ve M. P. Scott, Ed., 3. bs). SAGE.

Creswell, J. W., ve Plano Clark, V. L. (2018). "Designing and Conducting Mixed Methods Research", (H. Salmon, C. Neve, J. Scappini, K. DeRosa, ve S. Kelly, Ed., 3. bs). SAGE.

Currie, ve Brown. (2018, Şubat 15). "Artificial Intelligence In The Construction Industry", <https://www.curriebrown.com/en/news-insights/insights/2018/artificial-intelligence-in-the-construction-industry/>

Çetin, M. K., Er, H., ve Çetin İpekçi, E. (2005). “Finansta Evrimsel Algoritmik Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Uygulamaları”, Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 5(10), 73-94.

Davidson, L. (2019). “Narrow vs. General AI: What’s Next for Artificial Intelligence?”, <https://www.springboard.com/blog/data-science/narrow-vs-general-ai/>

Dick, S. (2019). “Artificial Intelligence”, Harvard Data Science Review, 1(1). <https://doi.org/10.1162/99608F92.92FE150C>

Díez-González, J., Verde, P., Ferrero-Guillén, R., Álvarez, R., ve Pérez, H. (2020). “Hybrid Memetic Algorithm For The Node Location Problem in Local Positioning Systems”, Sensors, 20(19). <https://doi.org/10.3390/S20195475>

dRofus. (2025, Mayıs 12). “dRofus Saves the Architect Time and Money”, <https://www.drofus.com/en/architect>

Durak, İ., Arslan, H. M., Ayyıldız, H., Öztel, A., Çıplak, T., Şahin, S., Eş, A., Eğilmez, G., Mutlu, H. T., Yaldirak, B. İ., Doğan, K., ve Yıldız, M. S. (2024). “Bütünleşik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Güncel Uygulamaları”, H. M. Arslan (Ed.), Özgür Yayınları. <https://doi.org/10.58830/OZGUR.PUB468>

Duzenli, T., ve Alpak, E. M. (2016). “Peyzaj Mimarlığı Eğitiminde Doğaya Öykünme Yaklaşımının Yaratıcılık Üzerindeki Etkisi”, Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 1(1), 13-21. <https://doi.org/10.26835/MY.266428>

Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P., ve Sacks, R. (2018). “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers”, Wiley.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., ve Liston, K. (2008). “BIM handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors (1. bs)”, John Wiley ve Sons. www.wiley.com

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., ve Liston, K. (2011). “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors (2. bs)”, John Wiley ve Sons. www.wiley.com

Eiben, A. E., ve Smith, J. E. (2003). “Introduction to Evolutionary Computing (2. bs)”, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44874-8>

Elbeltagi, E., Hegazy, T., ve Grierson, D. (2005). “Comparison Among Five Evolutionary-Based Optimization Algorithms”, Advanced Engineering Informatics, 19(1), 43-53. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2005.01.004>

Elmalı, Ö., ve Bayram, S. (2022). “Adoption of BIM Concept in the Turkish AEC Industry”, Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering, 46(1), 435-452. <https://doi.org/10.1007/S40996-021-00768-8>

Eryılmaz, H. E. (2023). “Yapay Zeka Çağında Kişisel Veri Mahremiyeti”, UMay Sanat ve Sosyal Bilimler Dergisi, 1(2), 6-25. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/umay/issue/81365/1357617>

Evins, R., Pointer, P., Vaidyanathan, R., ve Burgess, S. (2012). “A Case Study Exploring Regulated Energy Use in Domestic Buildings Using Design-of-Experiments and Multi-Objective Optimisation”, Building and Environment, 54, 126-136. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2012.02.012>

Fedakar, A. (2024). “Üretken Yapay Zekanın Mimari Tasarım Süreçlerine Etkisi: Konut Cephelerinin Görselleştirilmesi Bağlamında Nitel Bir Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.

Fernandez-Antolin, M. M., Manuel del Rio, J., ve Gonzalez-Lezcano, R. A. (2021). “Building Performance Simulation Tools as Part of Architectural Design: Breaking the Gap Through Software Simulation”, International Journal of Technology and Design Education, 32(2), 1227-1245. <https://doi.org/10.1007/S10798-020-09641-7/TABLES/2>

Figoli, F. A., Rampino, L., ve Mattioli, F. (2022). “Artificial Intelligence In The Design Process”, Franco Angeli. <http://bit.ly/francoangeli-oa>

Fjeldstad, Ø. D., Snow, C. C., Miles, R. E., ve Lettl, C. (2012). “The Architecture of Collaboration”, Strategic Management Journal, 33(6), 734-750. <https://doi.org/10.1002/SMJ.1968>

Fogel, D. (1995). “Evolutionary Computation - Toward A New Philosophy Of Machine Intelligence”, Wiley-IEEE Press. https://www.academia.edu/7005539/Evolutionary_computation_toward_a_new_philosophy_of_machine_intelligence

Formsolver. (2025, Nisan 25). “Design Better, Greener Buildings”, <https://www.formsolver.com/>

Frazer, J. (2002). “Creative Design And The Generative Evolutionary Paradigm”, Creative Evolutionary Systems, 253-274. <https://doi.org/10.1016/B978-155860673-9/50047-1>

Freitas, S., ve Brito, M. C. (2015). “Maximizing the Solar Photovoltaic Yield in Different Building Facade Layouts”, 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2862-2866. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20152015-6AV.5.6>

Gao, X., Chen, S., Li, Q., Bai, S., ve Yang, L. (2024). “A 3D Parameterized BIM-Modeling Method for Complex Engineering Structures in Building Construction Projects”, Buildings, 14(6), 1752. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14061752>

Garber, R. (2014). “BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling”, 1-248. <https://doi.org/10.1002/9781118914694>

Gerber, D. J., ve Lin, S. H. E. (2014). "Designing in Complexity: Simulation, Integration, and Multidisciplinary Design Optimization for Architecture", *Simulation*, 90(8),936-959.

Gerrard, A., Zuo, J., Zillante, G., ve Skitmore, M. (2010). "Building Information Modeling in the Australian Architecture Engineering and Construction Industry", *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics* (ss. 521-545). <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-928-1.CH023>

Glover, F., ve Kochenberher, G. A. (2003). "Handbook Of Metaheuristics", F. S. Hillier (Ed.), Kluwer. Kluwer Academic Publishers. <http://ebooks.kluweronline.com>

Goodfellow, I., Bengio, Y., ve Courville, A. (2016). "Deep Learning", MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>

Gökmeral, E. B. (2014). "Sürdürülebilir Ve Bütünleşik Bina Tasarım Süreçlerinde İç Mimarlık", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Grasshopper. (2025, Nisan 25). "Octopus", <https://www.grasshopper3d.com/group/octopus?overrideMobileRedirect=1>

Grilo, A., ve Jardim-Goncalves, R. (2010). "Value Proposition on Interoperability of BIM and Collaborative Working Environments", *Automation in Construction*, 19(5), 522-530. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2009.11.003>

Guerrero, J. I., Miró-Amarante, G., ve Martín, A. (2022). "Decision Support System in Health Care Building Design Based on Case-Based Reasoning and Reinforcement Learning", *Expert Systems with Applications*, 187. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.116037>

Hamdy, A., Goubran, S., ve Altantawy, Y. (2024). "Can Artificial Intelligence and Parametric Modeling Create Contextual Architecture?", *An Exploration of Creating Parametric Contextual Architecture Using Artificial Intelligence and Digital Design Technologies*, *Proceedings of the 12th International Conference of the Arab Society for Computation in Architecture, Art and Design* (ss. 261-270).

Hamedani, M. N., ve Smith, R. E. (2015). "Evaluation of Performance Modelling: Optimizing Simulation Tools to Stages of Architectural Design", *Procedia Engineering*, 118, 774-780. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.08.513>

Hansen, N., Arnold, D. V, ve Auger, A. (2015). "Evolution Strategies", Springer, 871-898. <https://inria.hal.science/hal-01155533v1>

Hardin, B., ve McCool, D. (2015). "BIM and Construction Management Proven Tools, Methods, and Workflows, 2nd Edition", (Mariann Barsolo, Tom Cirtin, Jana Conover, Rebecca Anderson, Elizabeth Welch, ve Mary Beth Wakefield, Ed., 2. bs, C. 1). John Wiley ve Sons, Inc.

Herr, C. M., ve Fischer, T. (2019). “BIM Adoption Across the Chinese AEC Industries: An Extended BIM Adoption Model”, *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(2), 173-178. <https://doi.org/10.1016/J.JCDE.2018.06.001>

Herrera, R. F., Mourgues, C., Alarcón, L. F., ve Pellicer, E. (2020). “Understanding Interactions Between Design Team Members Of Construction Projects Using Social Network Analysis”, *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001841](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001841)

Holmes, J. (2024, Ağustos 20). “How AI in Architecture is Shaping the Future of Design, Construction”, https://www.autodesk.com/design-make/articles/ai-in-architecture?utm_source=chatgpt.com

Humppi, H., ve Österlund, T. (2016). “Algorithm-Aided BIM”, *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2, 601-609. <https://doi.org/10.52842/CONF.ECAADE.2016.2.601>

Hündal, A. C. C. (2024). “Mimarlıkta Döngüsel Tasarım Yaklaşımı: Karar Verme Mekanizmaları İçin Kavramsal Bir Çerçeve”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi*.

IBM. (2024, Kasım 28). “What is Machine Learning (ML)?”, <https://www.ibm.com/think/topics/machine-learning>

ideCAD. (2025, Ocak 6). “Yapı Mühendisleri İçin Yapısal BIM Yazılımı”, <https://idecad.com.tr/architecture-engineering-construction/building-design/bim-workflows-structural-analysis-design/>

Idi, D. B., ve Khaidzir, K. A. M. (2018). “Critical Perspective of Design Collaboration: A Review”, *Frontiers of Architectural Research*, 7(4), 544-560. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2018.10.002>

ISO 19650. (2018). “ISO 19650-1: Organization And Digitization Of Information About Buildings And Civil Engineering Works, Including Building Information Modelling (BIM)”, *Information Management Using Building Information Modelling-Part 1: Concepts And Principles*.

Itanola, M., ve Whang, S. W. (2024). “The Impact of Digital Technologies on Energy-Efficient Buildings: BIM and AI-Based Study”, *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 15(3), 392-412. <https://doi.org/10.22712/SUSB.20240028>

Jajal, T. (2018). “Distinguishing between Narrow AI, General AI and Super AI”, <https://medium.com/aiden-global/distinguishing-between-narrow-ai-general-ai-and-super-ai-a4bc44172e22>

Juan, Y. K., Chi, H. Y., ve Chen, H. H. (2021). “Virtual Reality-Based Decision Support Model for Interior Design and Decoration of an Office Building”, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 229-245. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-0138>

Kaan, E. (2017). “Hesaplamalı Tasarım ve Yapı Bilgi Model Entegrasyonu “Dynamo” İle Yeni Olanakların Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kahraman, E. (2022). “Finansal Risk Analizinin 5D BIM Sistemine Entegrasyonu ve Finansal Risk Destekli BIM Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

Kaplan, A., ve Haenlein, M. (2019). “Siri, Siri, In My Hand: Who’s The Fairest In The Land? On The Interpretations, Illustrations, And Implications Of Artificial Intelligence”, Business Horizons, 62(1), 15-25. <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2018.08.004>

Karabulut, B. (2021). “Yapay Zeka Bağlamında Yaratıcılık ve Görsel Tasarımın Geleceği”, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 20(79), 1516-1539. <https://doi.org/10.17755/ESOSDER.844536>

Kayış, M. K. (2019). “Mimari Tasarımda Yapay Zeka: Evrişimli Yapay Sinir Ağlarının Vaziyet Planı Tasarımında Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kennedy, J. (2011). “Particle Swarm Optimization”, Encyclopedia of Machine Learning, 760-766. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_630

Khan, A. A., Bello, A. O., Arqam, M., ve Ullah, F. (2024). “Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies”, Technologies 2024, 12(10), 185. <https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES12100185>

Kolarevic, B. (2004). “Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing”, Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing (1. bs). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203634561>

Krish, S. (2011). “A Practical Generative Design Method”, Computer-Aided Design, 43(1), 88-100. <https://doi.org/10.1016/J.CAD.2010.09.009>

Krygiel, E., ve Nies, B. (2008). “Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling”, 1. <https://www.wiley.com/en-us/Green+BIM%3A+Successful+Sustainable+Design+with+Building+Information+Modeling-p-9780470390467>

Ladybug Tools. (2025, Mayıs 10). “Honeybee”, <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>

Laseau, P. (2000). “How Designers Think (4. bs)”, John Wiley. <https://www.scribd.com/doc/50838826/Graphic-Thinking-for-Architects-amp-Designers>

Lawson, B. (2005). “How Designers Think; The Design Process Demystified (4. bs)”, Elsevier. www.elsevier.com

Lee, C., ve Egbu, C. (2007). "Information Technology Tools for Capturing and Communicating Learning and Experiences in Construction Smes in Developed and Developing Countires", *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 12, 167. <http://itcon.org/2007/11/>

Liang, C., Lu, W., Rowlinson, S., ve Zhang, X. (2016). "Development of a Multifunctional BIM Maturity Model", *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001186](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001186)

Liu, K. S., Hsueh, S. L., Wu, W. C., ve Chen, Y. L. (2012). "A DFuzzy-DAHP Decision-Making Model for Evaluating Energy-Saving Design Strategies for Residential Buildings", *Energies*, 5(11), 4462-4480. <https://doi.org/10.3390/EN5114462>

Liu, Y., Cao, B., ve Li, H. (2021). "Improving Ant Colony Optimization Algorithm With Epsilon Greedy And Levy Flight", *Complex and Intelligent Systems*, 7(4), 1711-1722. <https://doi.org/10.1007/S40747-020-00138-3>

Long, R., ve Li, Y. (2021). "Research on Energy-efficiency Building Design Based on BIM and Artificial Intelligence", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 825. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/825/1/012003>

Love, P. E. D., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A., ve Olatunji, O. A. (2014). "A Benefits Realization Management Building Information Modeling Framework for Asset Owners", *Automation in Construction*, 37, 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2013.09.007>

Lu, W., Fung, A., Peng, Y., Liang, C., ve Rowlinson, S. (2014). "Cost-Benefit Analysis of Building Information Modeling Implementation in Building Projects Through Demystification of Time-Effort Distribution Curves", *Building and Environment*, 82, 317-327. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.08.030>

Luna, D. (2025, Mayıs 7). "The Future of BIM: Emerging Trends and Technologies", https://business.bimobject.com/blog/the-future-of-bim-emerging-trends-and-technologies/?utm_source=chatgpt.com

Mahesh, B. (2020). "Machine Learning Algorithms - A Review", *International Journal of Science and Research*, 9(1), 381-386. <https://doi.org/DOI:10.21275/ART20203995>

Matter, N. M., ve Gado, N. (2024). "Artificial Intelligence In Architecture: Integration Into Architectural Design Process", *Engineering Research Journal*, 181, 1-16. <https://doi.org/10.21608/ERJ.2024.344313>

McCuen, T. L., Suermann, P. C., ve Krogulecki, M. J. (2012). "Evaluating Award-Winning BIM Projects Using the National Building Information Model Standard Capability Maturity Model", *Journal of Management in Engineering*, 28(2), 224-230. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000062](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000062)

McLine Studios. (2025, Mayıs 12). "BIM 360 ve ACC: Hangisini Seçmeli?", <https://mclinstudios.com/bim-360-vs-acc-what-to-choose/>

Medium. (2024, Aralık 29). “Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)”, <https://medium.com/@rmysbkc/deneti%CC%87msi%CC%87z-%C3%B6%C4%9Frenme-unsupervised-learning-33be6aeb2269>

Merriam-Webster. (2025). “Knowledge Definition”, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/knowledge>

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., ve Zikic, N. (2019). “BIM Project Execution Planning Guide-Version 2.2”, Computer Integrated Construction Research Program. <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/>

Mordue, S. (2016). “National BIM Report 2016-Introducing the Periodic Table of BIM”, www.theNBS.com/knowledge/periodic-table-of-bim

Mosaic. (2024, Kasım 15). “Building Information Modeling (BIM)”, <https://mosaicprojects.com.au/PMKI-ITC-011.php>

Mostafa, A. L., Mohamed, M. A., Ahmed, S., ve Youssef, W. M. M. A. (2023). “Application of Artificial Intelligence Tools with BIM Technology in Construction Management: Literature Review”, International Journal of BIM and Engineering Science, 6(2), 39-54. <https://doi.org/10.54216/IJBES.060203>

Mukkavaara, J., ve Sandberg, M. (2020). “Architectural Design Exploration Using Generative Design: Framework Development and Case Study of a Residential Block”, Buildings, 10(11), 1-17. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10110201>

Nabiyev, V. V. (2016). “Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritmalar”, Seçkin Yayıncılık.

Naboni, E. (2013, Eylül). “Environmental Simulation Tools in Architectural Practice. The Impact on Processes, Methods and Design”, PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future., <https://doi.org/DOI:10.13140/2.1.3021.3440>

Nagy, D., Villaggi, L., ve Benjamin, D. (2018). “Generative Urban Design: Integrating Financial and Energy Goals for Automated Neighborhood Layout”, Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 50(7), 190-197. <https://doi.org/10.22360/SIMAUD.2018.SIMAUD.025>

Nalbant, A. E. (2020). “Yapı Bilgi Modelleme’nin Erken Evre Mimari Tasarım Sürecindeki Yeri: Vaka Çalışmaları”, Yüksek Lisans Tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

NBS. (2020). “National BIM Report 2020”, <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2020>

NBS. (2024a). “Building Safety Act White Paper 2024”, <https://www.thenbs.com/building-safety-act-whitepaper>

NBS. (2024b). “Sustainable Futures Report 2024”, <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2024/warm-may-and-spring-for-the-uk>

Nguyen, A. T., Reiter, S., ve Rigo, P. (2014). “A Review on Simulation-Based Optimization Methods Applied to Building Performance Analysis”, *Applied Energy*, 113, 1043-1058. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2013.08.061>

Ni, X. R., Pan, P., ve Lin, J. R. (2025). “What Makes a Good BIM Design? Quantifying the Link Between Design Behavior and Quality”, *Automation in Construction*, 171, 105992. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2025.105992>

NIBS. (2007). “National Building Information Modeling Standard Version 1”, Part 1: Overview, Principles, and Methodologies.

NIBS. (2014). “National BIM Standard”, United States: Version 2.

Nilsson, N. J. (2019). “Yapay Zeka: Geçmişi Ve Geleceği (E. Kocabıyık, Ed., M. Doğan, Çev., 2. bs)”, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., ve Moules, N. J. (2017). “Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria”, *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1). https://doi.org/10.1177/1609406917733847/ASSET/E3E580C8-AF29-4F8E-A810-D37473EEEE85/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_1609406917733847-FIG4.JPG

Ofluoğlu, S. (2014). “Yapı Bilgi Modelleme : Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik”, *Mimarist*. <https://www.researchgate.net/publication/328875465>

Onar, A. (2020, Eylül 21). “Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları”, <https://alitunacanonar.medium.com/derin-%C3%B6%C4%9Frenme-y%C3%B6ntemleri-ve-uygulamalar%C4%B1-1ce215de40e8>

Open Zeka. (2025, Ocak 2). “Transformer Modeli Nedir?”, <https://blog.openzeka.com/ai/transformer-modeli-nedir/>

Oxman, R. (2006). “Theory and Design in the First Digital Age”, *Design Studies*, 27(3), 229-265. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2005.11.002>

Oxman, R. (2008a). “Digital Architecture As a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium”, *Design Studies*, 29(2), 99-120. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2007.12.003>

Oxman, R. (2008b). “Performance-Based Design: Current Practices and Research Issues”, *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.1260/147807708784640090>

Önal, G. K. (2011). “Yaratıcılık ve Kültürel Bağlamda Mimari Tasarım Süreci”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1).

Öz, K. (2024). “Yapı Bilgi Yönetiminin Mimari Tasarım Sürecine Entegrasyonu Algoritmik Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.

Öztürk, K., ve Şahin, M. E. (2018). “Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zeka’ya Genel Bir Bakış”, Takvim-i Vekayi, 6(2), 25-36.

Pan, Y., ve Zhang, L. (2020). “BIM Log Mining: Learning and Predicting Design Commands”, Automation in Construction, 112. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103107>

Pan, Y., ve Zhang, L. (2023). “Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions”, Archives of Computational Methods in Engineering, 30(2), 1081-1110. <https://doi.org/10.1007/S11831-022-09830-8>

Pan, Y., Zhang, L., ve Mario, C. (2023). “Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. Archives of Computational Methods in Engineering”, 30(2), 1081-1110. <https://doi.org/10.1007/S11831-022-09830-8>

Paris, M., Sansen, M., Bosc, S., ve Devillers, P. (2022). “Simulation Tools for the Architectural Design of Middle-Density Housing Estates”, Sustainability, 14(17). <https://doi.org/10.3390/SU141710696>

Park, M., Jang, Y., Lee, H. S., Ahn, C., ve Yoon, Y. S. (2013). “Application of Knowledge Management Technologies in Korean Small and Medium-Sized Construction Companies”, KSCE Journal of Civil Engineering, 17(1), 22-32. <https://doi.org/10.1007/S12205-013-1607-Z>

Parsaei, M., Motealleh, P., ve Parva, M. (2016). “Interactive Architectural Approach (Interactive Architecture): An Effective and Adaptive Process for Architectural Design”, HBRC Journal, 12(3), 327-336. <https://doi.org/10.1016/J.HBRCJ.2015.01.001>

Pétrowski, A., ve Ben-Hamida, S. (2017). “Evolutionary Algorithms”, G. Rozenberg (Ed.), Evolutionary Algorithms: An Overview volume 9. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119136378>

Punch, K. F. (2005). “Introduction to Social Research: Quantitative and Qualitative Approaches”, Introduction to social research quantitative and qualitative approaches (2. bs). SAGE.

Quirk, V. (2012, Aralık 7). “A Brief History of BIM”, Archdaily. <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

Rahman, S., Odeyinka, H., Perera, S., ve Bi, Y. (2012). “Product-Cost Modelling Approach for the Development of a Decision Support System for Optimal Roofing Material Selection”, Expert Systems with Applications, 39(8), 6857-6871. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2012.01.010>

Rajagopalan, N., Brancart, S., De Regel, S., Paduart, A., De Temmerman, N., ve Debacker, W. (2021). "Multi-Criteria Decision Analysis Using Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing in Circular Building Design: A Case Study for Wall Partitioning Systems in the Circular Retrofit Lab", Sustainability (Switzerland), 13(9). <https://doi.org/10.3390/SU13095124>

Ren, R., ve Zhang, J. (2021). "A New Framework to Address BIM Interoperability in the AEC Domain from Technical and Process Dimensions", Advances in Civil Engineering, 2021(1), 8824613. <https://doi.org/10.1155/2021/8824613>

Revizto. (2025, Mayıs 12). "Connecting All Project Members on One Platform", <https://revizto.com/en/>

RIBA. (1980). "Handbook of Architectural Practice And Management (4. bs)", RIBA Publications, https://books.google.com/books/about/RIBA_Handbook_of_Architectural_Practice.html?hl=tr&ved=hVRQAAAAMAAJ

RIBA. (2020). "RIBA Plan of Work 2020 Overview", www.ribaplanofwork.com

RICS. (2014). "International BIM Implementation Guide : RICS Guidance Note, Global (1. bs)", Royal Institution of Chartered Surveyors.

RICS. (2020). "The Future of BIM: Digital Transformation in the UK Construction and Infrastructure Sector", www.rics.org

Robinson, H. S., Carrillo, P. M., Anumba, C. J., ve Al-Ghassani, A. M. (2004). "Developing a Business Case for Knowledge Management: The IMPaKT Approach", Construction Management and Economics, 22(7), 733-743. <https://doi.org/10.1080/0144619042000226306>

Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, E., Mandow, L., ve Pérez-De-La-Cruz, J. L. (2013). "Design With Shape Grammars And Reinforcement Learning", Advanced Engineering Informatics, 27(2), 230-245. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2012.12.004>

Russell, S. J., ve Norvig, P. (2016). "Artificial intelligence : A Modern Approach (3. bs)", Pearson Education.

Russell, S. J., ve Norvig, P. (2021). "Artificial intelligence : A Modern Approach (4. bs)", Pearson Education.

Saadi, J., ve Yang, M. (2023). "Observations On The Implications Of Generative Design Tools On Design Process And Designer", Proceedings of the Design Society, 3, 2805-2814. <https://doi.org/10.1017/PDS.2023.281>

Saaty, T. L. (2004). "Decision Making - The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)", Journal of Systems Science and Systems Engineering, 13(1), 1-35. <https://doi.org/10.1007/S11518-006-0151-5>

Sacks, R., Girolami, M., ve Brilakis, I. (2020). "Building Information Modelling,

Artificial Intelligence and Construction Tech”, Developments in the Built Environment, 4. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2020.100011>

Sakal, M. (2020, Haziran 20). “Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kısa Açıklamaları”, <https://muratsakal.com/?p=230>

Sanalan, A. (2022). “Yapay Zeka Ve Büyük Veri Teknolojilerinin Mimari Tasarım Sürecindeki Rolü”, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Maltepe Üniversitesi.

Saraç Çıracıoğlu, A. (2021). “İnşaat Sektöründe Planlama Ve Kontrol İş Akış Süreçlerinin Yapı Enformasyonu Modellemesi (BIM) Kullanılarak Etkinleştirilmesi: Kavramsal Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Schön, D. A. (1983). “The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action”, The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action (1. bs). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315237473/REFLECTIVE-PRACTITIONER-DONALD-SCH>

Scully, R., ve Khosrowshahi, F. (2010). “Implementing the Process of Knowledge Sharing Within Small Construction Consultancy Companies in Ireland”, Salford Postgraduate Annual Researcher Conference (SPARC). https://www.researchgate.net/publication/338897397_Implementing_the_Process_of_Knowledge_Sharing_within_Small_Construction_Consultancy_Companies_in_Ireland

Shadram, F., ve Mukkavaara, J. (2018). “An Integrated BIM-Based Framework for the Optimization of the Trade-Off Between Embodied and Operational Energy”, Energy and Buildings, 158, 1189-1205. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.11.017>

Shafiq, M. T., Matthews, J., ve Lockley, S. R. (2013). “A Study of BIM Collaboration Requirements and Available Features in Existing Model Collaboration Systems”, Journal of Information Technology in Construction, 18, 148-161. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84876918346veorigin=inward>

Shi, J. J., ve Halpin, D. W. (2003). “Enterprise Resource Planning for Construction Business Management”, Journal of Construction Engineering and Management, 129(2), 214-221. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:2\(214\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:2(214))

Siebelink, S., Voordijk, J. T., ve Adriaanse, A. (2018). “Developing and Testing a Tool to Evaluate BIM Maturity: Sectoral Analysis in the Dutch Construction Industry”, Journal of Construction Engineering and Management, 144(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001527](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001527)

Singh, H. (2024, Aralık 29). “What is Reinforcement Learning and How Does it Works?”, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/02/introduction-to-reinforcement-learning-for-beginners/>

Singh, V., ve Gu, N. (2012). “Towards an Integrated Generative Design Framework”, Design Studies, 33(2), 185-207. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2011.06.001>

Smith, P. (2014). "BIM Implementation-Global Strategies", *Procedia Engineering*, 85, 482-492. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.10.575>

Stavric, M., ve Marina, O. (2011). "Parametric Modeling for Advanced Architecture", *International Journal Of Applied Mathematics And Informatics*, 1(5).

Succar, B. (2009). "Building Information Modelling Framework: A Research And Delivery Foundation For Industry Stakeholders", *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2008.10.003>

Succar, B., Sher, W., ve Williams, A. (2013). "An Integrated Approach to BIM Competency Assessment, Acquisition and Application", *Automation in Construction*, 35, 174-189. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2013.05.016>

Suphavarophas, P., Wongmahasiri, R., Keonil, N., ve Bunyarittikit, S. (2024). "A Systematic Review of Applications of Generative Design Methods for Energy Efficiency in Buildings", *Buildings*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14051311>

Sutton, R. S., ve Barto, A. G. (2015). "Reinforcement Learning: An Introduction" (2. bs).

Şeker, A., Diri, B., ve Balık, H. H. (2017). "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.

Şeker, C. (2020). "BIM ve GIS Entegrasyonu ile Kentsel Verinin Erken Mimari Tasarımda Kullanımı", *Yapı Bilgi Modelleme, Uluslararası Hakemli Akademik Dergi*, 2(1).

Şeker, Ş. E. (2025, Ocak 11). "Evrimsel Algoritmalar (Evolutionary Algorithms)", <https://bilgisayarkavramlari.com/2011/05/17/evrimsel-algoritmalar-evolutionary-algorithms/>

Tang, D., Zhao, J., Yang, J., Liu, Z., ve Cai, Y. (2021). "An Evolutionary Frog Leaping Algorithm For Global Optimization Problems And Applications", *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/8928182>

Teicholz, P. (2004, Nisan 14). "Labor-Productivity Declines In The Construction Industry: Causes And Remedies. AECbytes Viewpoint", https://www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue_4.html

Teknoloji İnternet. (2025, Ocak 5). "Yapısal BIM Nedir?", <https://www.banaozel.com/teknoloji-internet/yapisal-bim-nedir>

Tian, Z. C., Chen, W. Q., Tang, P., Wang, J. G., ve Shi, X. (2015). "Building Energy Optimization Tools and Their Applicability in Architectural Conceptual Design Stage" *Energy Procedia*, 78, 2572-2577. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.11.288>

Tuker, M., Ballı, S., ve Pembeci, İ. (2013). “Ant Colony Optimization In Multi-Agent Systems With NetLogo”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 19(2), 88-96. <https://doi.org/10.5505/PAJES.2013.32032>

Turrin, M., Buelow, P. Von, Kilian, A., ve Stouffs, R. (2011). “Parametric Modeling and Optimization for Adaptive Architecture”, Proceedings of the 2011 eg-ice Workshop, 8.

Türkyılmaz, H. (2021). “Hastanelerde Bütünleşik İç Mekan Tasarımında BIM Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi.

Ulukavak Harputlugil, G. (2007). “Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Enerji Simülasyon Programı Uygulamalarının Yeri”, Teknoloji, 10(4), 249-265.

UNESCO. (2017). “Data revolution to measure equity in education for the SDGs #CIES2017”, <http://www.iiiep.unesco.org/en/data-revolution-measure-equity-educationsdgs-cies2017-3886>

Uzun, F. (2019). “BIM -Yapı Bilgi Modellemesi’ne Geçiş ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi: 3 Vaka Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi.

Uzuner Şahin, M. (2021). “Arıza Ve Tamir Durumunda Sistem Güvenilirliği: Genetik Ve Memetik Algoritmalar”, Doktora Tezi, Başkent Üniversitesi.

Vahdatikhaki, F., Salimzadeh, N., ve Hammad, A. (2022). “Optimization of PV Modules Layout on High-Rise Building Skins Using a BIM-Based Generative Design Approach”, Energy and Buildings, 258. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.111787>

Vandezande, J., Read, P., ve Krygiel, E. (2012). “Autodesk Revit Architecture 2013 Essentials: Autodesk Official Training Guide”, <https://www.wiley.com/en-us/Autodesk+Revit+Architecture+2012+Essentials-p-9781118016831>

Vaswani, A., Shazeer, N. M., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., ve Polosukhin, I. (2017). “Attention Is All You Need”, Neural Information Processing Systems (NIPS). <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>

Vatan Özgen, C. (2013). “Sürdürülebilirlik Kavramının Firma Stratejisi Açısından Ambalaj Tasarımına Etkilerinin İrdelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Volk, R., Stengel, J., ve Schultmann, F. (2014). “Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings - Literature Review and Future Needs”, Automation in Construction, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2013.10.023>

Vurgun Çelikel, S. (2021). “Enhanced Project Delivery From Construction To Operations And BIM Use In Facility Management: Istanbul Airport Case Study”, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi.

Wallacei. (2025a, Nisan 25). “The Wallacei Platform”, <https://www.wallacei.com/about>

Wallacei. (2025b, Nisan 28). “Evolutionary Optimization Engine for Grasshopper”, <https://www.wallacei.com/>

Wardah, E. S. A. A., ve Khalil, M. O. (2016, Mart). “Design Process ve Strategic Thinking in Architecture”, Proceedings of 2016 International Conference on Architecture ve Civil Engineering (ICASCE 2016). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17758/UR.U0316313>

Wei, C., ve Li, Y. (2011). “Design of Energy Consumption Monitoring and Energy-Saving Management System of Intelligent Building Based on the Internet of Things”, 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control, 3650-3652. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066758>

Wortmann, T. (2022). “Opossum - Introducing and Evaluating a Model-Based Optimization Tool for Grasshopper”, Proceedings of the 22nd Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 283-292. <https://doi.org/10.52842/CONF.CAADRIA.2017.283>

Xu, J. (2017). “Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand Project”, Procedia Engineering, 174, 600-610. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.01.194>

Yalçın, C. (2022). “Comparison of the Architectural Design Process Quality Between BIM and Traditional Design Methods”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yaman, H., ve İlhan, B. (2010). “İnşaat Sektöründe Bina Enformasyonu Modellemesi Kavramına Genel Bir Bakış”, 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 962-976. https://www.researchgate.net/publication/296692018_Insaat_Sektoru'nde_Bina_Enf_ormasyonu_Modellemesi_Kavramina_Genel_Bir_Bakis

Yang, C., ve Peng, J. (2024). “Digital Application of BIM Technology in the Architectural Design Stage”, Journal of Architectural Research and Development, 8(5), 7-12. <https://doi.org/10.26689/JARD.V8I5.8261>

Ye, Z., Yin, M., Tang, L., ve Jiang, H. (2018). “Cup-of-Water Theory: A Review on the Interaction of BIM, IoT and Bockchain During the Whole Building Lifecycle”, 35. International Symposium on Automation and Robotics in Construction.

Yıldırım, B., ve Demirarslan, D. (2020). “İç Mimarlıkta Yapay Zeka Uygulamalarının Tasarım Sürecine Faydalarının Değerlendirilmesi”, Humanities Sciences, 15(2), 62-80. <https://doi.org/10.1101/703801V2>

Zanni, M. A., Soetanto, R., ve Ruikar, K. (2017). “Towards a BIM-Enabled Sustainable Building Design Process: Roles, Responsibilities, and Requirements”, Architectural Engineering and Design Management, 13(2), 101-129. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1213153>

Zareiyan, B., ve Khoshnevis, B. (2017). "Interlayer Adhesion And Strength Of Structures In Contour Crafting - Effects Of Aggregate Size, Extrusion Rate And Layer Thickness", Automation in Construction, 81, 112-121. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.06.013>

Zhang, D., Shah, N., ve Papageorgiou, L. G. (2013). "Efficient Energy Consumption and Operation Management in a Smart Building with Microgrid", Energy Conversion and Management, 74, 209-222. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2013.04.038>

Zhang, S., Boukamp, F., ve Teizer, J. (2014). "Ontology-Based Semantic Modeling of Safety Management Knowledge", Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2254-2262. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.280>

Zhong, R. Y., Peng, Y., Xue, F., Fang, J., Zou, W., Luo, H., Thomas Ng, S., Lu, W., Shen, G. Q. P., ve Huang, G. Q. (2017). "Prefabricated Construction Enabled by the Internet-of-Things", Automation in Construction, 76, 59-70. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.01.006>

ÖZGEÇMİŞ

Rahime Efşan Coşkun, 2014 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü 2020 yılında başarıyla tamamlayarak 2022 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında başladı. 2020 yılında gemi ve yatlar için iç mekan tasarımı ve üretimi faaliyet gösteren TT Grup firmasında proje sorumlusu olarak profesyonel kariyerine başladı. 2022 yılında stadyum, spor kompleksi ve otel projeleri yapan FATI Group firmasında BIM mimarı pozisyonunda işe başladı. 2023 yılından bu yana alüminyum cephe sistemleri alanında faaliyet gösteren FYT Mühendislik firmasında teknik satış ve BIM danışmanı pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir.

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Coşkun,R. E., Özgen, C., Türkmenoğlu Berkan, S. (2024), “Mimari Tasarım Süreçlerinde Yapay Zeka (AI) Ve BIM Entegrasyonunun İncelenmesi”, International Yeditepe Scientific Research Congress, 178-183.

EKLER

Ek-A: BIM ve AI Kullanımı Anketi

Ek-B: Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler

Ek-A: BIM ve AI Kullanımı Anketi

Sayın Katılımcı: Bu anket, Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda yürütülen yüksek lisans tez çalışması kapsamında hazırlanmıştır. Araştırmanın amacı, BIM ve Yapay Zeka (AI) teknolojilerinin mimari tasarım süreçlerine olan etkilerini sektörde çalışan profesyonellerin deneyimleri üzerinden incelemektir. Anket yaklaşık 15-20 dakika sürecektir. Veriler, akademik bir tez çalışmasında gizlilik esaslarına uygun şekilde kullanılacaktır. Katılımınız için teşekkürler.

BIM Kullanımı Bilgi Düzeyi:

- 1) Mimarlık sektöründe kaç yıldır çalışıyorsunuz?
- 2) BIM teknolojisini profesyonel kariyerinizde ne kadar süredir kullanıyorsunuz?
- 3) BIM' i hangi olgunluk seviyesinde kullanıyorsunuz?
- 4) BIM' in hangi boyutsal seviyelerini kullanıyorsunuz?
- 5) BIM' i hangi detay seviyesinde kullanıyorsunuz?
- 6) BIM teknolojisini mimari tasarım süreçlerinde hangi aşamalarda kullanıyorsunuz?

Yapay Zeka (AI) Bilgi Düzeyi:

- 7) Yapay Zeka' nın (AI) mimarlık sektöründeki etkileri hakkında ne düşünüyorsunuz?
- 8) Yapay Zeka (AI) teknolojileri hakkında kendinizi nasıl değerlendirirsiniz?
- 9) Aşağıdaki Yapay Zeka (AI) alanlarından hangileri hakkında bilginiz veya deneyiminiz bulunmaktadır?
- 10) Mimari tasarım süreçlerinde AI destekli araçlar kullandınız mı?

BIM ve Yapay Zeka (AI) Entegrasyonu Bilgi Düzeyi:

- 11) BIM ve Yapay Zeka (AI) entegrasyonu hakkında kendinizi nasıl değerlendirirsiniz?

BIM ve Yapay Zeka (AI) Entegrasyonu Kullanıcı Deneyimleri:

- 12) Projelerinizde mimari tasarım süreçlerinin hangi aşamalarında, BIM ve AI entegrasyonundan aktif olarak faydalandınız / faydalaniyorsunuz?
- 13) Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve Yapay Zeka (AI) destekli parametrik tasarım araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz?

- 14) Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve Yapay Zeka (AI) destekli optimizasyon ve generatif tasarım araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz?
- 15) Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve Yapay Zeka (AI) destekli simülasyon araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz?
- 16) Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan BIM ve Yapay Zeka (AI) destekli bulut tabanlı iş birliği araçlarından hangilerini kullandınız/kullanıyorsunuz?
- 17) Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı araçları hangi karar verme aşamalarında kullandınız/kullanıyorsunuz?
- 18) Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı programlar, karar verme aşamalarına hangi etkileri yarattı?
- 19) Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli, BIM tabanlı otomasyon çözümlerinden hangi alanlarda yararlandınız/yararlanıyorsunuz?
- 20) AI destekli BIM tabanlı otomasyon çözümleri, mimari tasarım süreçlerinizde hangi etkileri yarattı?
- 21) AI destekli BIM tabanlı programlar kullanarak, mimari tasarım süreçlerinde oluşturduğunuz bilgiler nasıl yönetilmektedir?
- 22) Mimari tasarım süreçlerinizde AI destekli BIM tabanlı programlar, bilgi yönetimi aşamalarında hangi etkileri yarattı?

BIM ve Yapay Zeka (AI) Entegrasyonu Performans Değerlendirme ve Gelecek Öngörülere:

- 23) BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımının mimarlık sektörüne sağlayabileceği katkıları 1 (Hiç Katkı Sağlamaz) ile 5 (Çok Büyük Katkı Sağlar) arasında değerlendiriniz.
- 24) BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımının mimarlık sektörüne olan olumsuz etkilerini 1 (Hiç Olumsuz Etki Yapmaz) ile 5 (Çok Büyük Olumsuz Etki Yapar) arasında değerlendiriniz.
- 25) Gelecekte BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımı sektörde yaygınlaşır mı?
- 26) BIM ve AI entegrasyon teknolojilerine yönelik eklemek istediğiniz görüş veya önerileriniz varsa lütfen yazınız.

Ek-B: Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler

Görüşme Bilgileri

Firma: YAZILIM 3D

Görüşme Tarihi: 13.02.2025

Görüşme Saati: 14.00-15.00

Görüşme Tipi: Online (Teams)

- 1) Bize biraz kendinizden ve BIM teknolojileriyle çalışma deneyiminizden bahsedermisiniz? (Hangi BIM yazılımlarını kullanıyorsunuz ve ne kadar süredir bu alandasınız?)

Katılımcı 1: 2016 yılında Mimarlık bölümünden mezun olmuştur. BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) teknolojileriyle tanışması, mimarlık eğitimi sırasında modelleme çalışmalarıyla başlamıştır. 2018 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nde Mimarlık ve Kentsel Enformatik yüksek lisans programına başlamasıyla birlikte BIM süreçleri akademik düzlemde daha da resmiyet kazanmıştır.

Yüksek lisans eğitimi süresince hem tez çalışmaları hem de akademik makaleler aracılığıyla dört yıllık bir akademik birikim elde etmiştir. 2020 yılında bir yazılım firması olan 3D Yazılım'da teknik destek uzmanı olarak çalışmaya başlamış; bu görevine ek olarak şu anda teknik takım liderliği görevini de üstlenmektedir. Bu süreçle birlikte, BIM alanındaki çalışmaları daha aktif ve profesyonel bir düzleme taşınmıştır.

Kendisini aktif bir BIM yazılımı kullanıcılarından ziyade, bu alanda eğitmenlik ve danışmanlık yapan bir uzman olarak tanımlamaktadır. Akademik altyapısını, BIM yazılım eğitimleri ve danışmanlık hizmetleri çerçevesinde farklı kurumlara aktarmaktadır. Bu kapsamda, BIM alanında faaliyet gösteren uluslararası bir sivil toplum kuruluşu olan buildingSMART tarafından onaylı eğitimlerde sertifikalı eğitmen olarak görev almaktadır.

Şu anda bireysel bir kullanıcı olarak görüşlerini paylaşmakta olup, herhangi bir marka önerisinde bulunmamaktadır. Ancak sektörde yaygın olarak tercih edilen yazılımlara değinmektedir. Özellikle Autodesk firmasının Revit yazılımı, çok disiplinli çalışma imkanı sunması nedeniyle BIM uygulamaları arasında ön plana çıkmaktadır. Revit'in

tercih edilme sebeplerinden biri de yalnızca mimarlara değil, farklı disiplinlere hitap eden esnek ve çevik (Agile) metodolojilere uygun bir yapı sunmasıdır.

Ayrıca Archicad yazılımı da özellikle mimarlar tarafından aktif olarak kullanılan bir BIM yazılımı olup, “mimarlar tarafından mimarlar için” geliştirilmiş olmasıyla öne çıkmaktadır. Mühendislik alanında ise özellikle Opem ve Tekla gibi yazılımlar BIM’in 3 boyutlu modelleme yönünü destekleyen araçlar arasında sıkça tercih edilmektedir.

2) AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne getirdiği veya getireceği yenilikler hakkında ne düşünüyorsunuz? (Yapay zeka, tasarım süreçlerinde hangi otomasyon veya veri analizi imkanlarını sunuyor?)

Yapay zeka teknolojileri, mimarlık mesleği açısından devrim niteliğinde yenilikler sunma potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler, özellikle tasarım süreçlerinde otomasyon ve veri analitiği yoluyla mimarların daha yaratıcı ve stratejik rollere odaklanmalarına olanak sağlamaktadır. Günümüzde mimarlık mesleğinin, çoğu zaman operasyonel ve teknik görevler çerçevesinde icra edildiği gözlemlenmektedir. Tasarım kararlarının alınmasında mimarların daha sınırlı yer alabildiği bu süreçlerde, zamanın önemli bir bölümü modelleme, çizim ve detay çözümlemeleri gibi dijital üretim aşamalarında harcanmaktadır.

Yapay zeka destekli sistemler ise bu operasyonel yükü azaltarak mimarlara mesleki öz yetkinliklerini daha etkin kullanabilecekleri bir alan açmaktadır. Özellikle BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) teknolojileriyle entegre biçimde çalışan yapay zeka algoritmaları, tasarım alternatiflerini otomatik olarak üretebilmekte, karmaşık veri kümelerini analiz ederek optimum çözümler önerebilmekte ve karar verme süreçlerini hızlandırmaktadır.

Bu bağlamda, yapay zeka yalnızca iş süreçlerini kolaylaştıran bir teknoloji değil, aynı zamanda mimarlığın özündeki insan odaklı yaklaşımı daha etkili şekilde ortaya koymayı mümkün kılan bir destek aracıdır. İnsan sağlığı, yaşam güvenliği ve afet dayanıklılığı gibi kritik konulara odaklanan çözümlerin geliştirilmesinde, yapay zeka mimarların karar alma süreçlerini güçlendiren önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yaşanan çeşitli felaketler, yapı tasarımında güvenlik, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi kriterlerin ne denli önemli olduğunu ortaya koymuş; bu doğrultuda yapay zekanın sunduğu hızlı analiz ve öngörü mekanizmalarının değeri daha da artmıştır.

Sonuç olarak, yapay zeka teknolojileri mimarlık pratiğinde operasyonel yükü azaltmakla kalmayıp, mimarların yaratıcı ve toplumsal etkisi yüksek kararlar almalarına zemin hazırlayan bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir.

3) AI ve BIM teknolojilerini iş süreçlerinizde ne kadar süredir kullanıyorsunuz? (BIM ve AI teknolojileri ile ilgili kişisel deneyimlerinizi paylaşır mısınız?)

Yazılım geliştirme süreçlerinde aktif rol alan firmalar, çeşitli BIM ve yapay zeka tabanlı uygulamaları erken aşamalarda test etme ve değerlendirme olanağına sahiptir. Bu bağlamda, beta kullanıcı olarak görev alan teknik ekipler, firmaların geliştirdiği yazılımlarda yapay zekanın entegrasyon sürecini doğrudan gözlemleme fırsatı bulmaktadır. Bu sayede, ilgili teknolojilerle edinilen deneyimler hızlı bir şekilde analiz edilmekte ve iş süreçlerine entegre edilebilmektedir.

Yaklaşık 4-5 yıldır yapay zeka tabanlı yazılımlar, özellikle mimarlık ve yapı bilgi modelleme (BIM) alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta bu entegrasyonlar, Autodesk Revit ile uyumlu çalışan Generative Design ve Dynamo gibi eklentiler aracılığıyla gerçekleşmiştir. Bu araçlar, parametrik tasarım süreçlerinin hızlandırılmasını ve alternatif çözümlerin sistematik biçimde üretilmesini sağlamaktadır.

Özellikle Dynamo gibi görsel programlama araçları, daha önce yalnızca manuel komutlar ve kod bloklarıyla yürütülen otomasyon süreçlerini; artık doğal dil girdileriyle, daha kısa sürede ve kullanıcı dostu bir biçimde gerçekleştirmeye imkan tanımaktadır. Planlama, dökümantasyon, görselleştirme ve veri listeleme gibi görevler, bu entegrasyon sayesinde önemli ölçüde kolaylaştırılmıştır. Render motorları kullanılmadan, yalnızca yapay zeka desteğiyle üç boyutlu modellerin görselleştirilmesi de bu teknolojik gelişmelerin bir sonucudur.

Günümüzde Autodesk başta olmak üzere bazı yazılım üreticileri, yapay zekayı ana yazılım mimarisine entegre etmeye başlamış; bu durum, kullanıcıların ek eklentilere gerek duymadan yapay zeka destekli işlemlere erişmesini mümkün kılmıştır. Her ne kadar bu entegrasyon henüz ilk aşamalarında olsa da, özellikle mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektörlerinde bu tür uygulamaların yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak, BIM ve AI teknolojilerinin birlikte kullanımı, tasarım ve üretim süreçlerinde önemli bir dönüşüm yaratmakta; mimari karar alma süreçlerinin

hızlanmasına, hata paylarının azalmasına ve daha verimli iş akışlarının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

- 4) Mimari tasarım süreçlerinde AI destekli BIM çözümlerini hangi aşamalarda kullanıyorsunuz ve karar verme süreçlerinizi nasıl etkiliyor? (Örn. Konsept tasarım, mekansal koordinasyon veya teknik tasarım.) (Alternatif üretimi, tasarım süresi, performans karşılaştırması gibi yönleriyle değerlendirebilir misiniz?)

Yapay zekanın BIM yazılımlarına entegre edildiği ilk alanlardan biri, görselleştirmenin yanı sıra tasarım optimizasyonu olmuştur. Bu entegrasyon, özellikle mimari tasarım kararlarının alınmasında kullanıcıya destek sağlayan bir yapı sunar. Başlangıçta tasarım kararlarının tamamen kullanıcı tarafından verilmesi gerektiği düşünülse de, yapay zeka destekli sistemler bu kararlara temel oluşturacak alternatif seçenekleri kısa sürede sunarak karar alma sürecini hızlandırmakta ve verimliliği artırmaktadır.

Kullanıcı tarafından sisteme tanımlanan kriterler ve tasarım girdileri doğrultusunda, yapay zeka alternatif çözümleri analiz eder ve optimize edilmiş seçenekler üretir. Bu süreç, özellikle opsiyon yaratma ve değerlendirme aşamalarında zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu sayede, daha fazla seçeneği kısa sürede değerlendirme ve en uygun çözümü belirleme imkanı doğmaktadır.

Buna ek olarak, bazı BIM yazılımlarında (örneğin Revit ve Archicad gibi), yapay zeka ile desteklenen eklentiler sayesinde planlama, dökümantasyon ve pafta hazırlama gibi teknik görevlerin otomasyonu mümkün hale gelmiştir. Örneğin, schedule (zaman çizelgesi) üretimi, pafta üzerindeki bazı imge kalınlıklarının değiştirilmesi, belirli görsel unsurların otomatik olarak oluşturulması gibi işlemler çok daha kısa sürede ve kullanıcı müdahalesi olmaksızın gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür otomasyon uygulamaları, veriye dayalı çıktılar üretme ve tekrar eden işlemleri azaltma bakımından önemli katkılar sunmaktadır.

Yapay zeka destekli çözümler ayrıca, sunum süreçlerinde de etkin biçimde kullanılmaktadır. Özellikle görselleştirme ve render üretimi gibi zaman alıcı işlemler, bu teknolojiler sayesinde artık daha kısa sürede tamamlanabilmekte ve kullanıcıya sunum kalitesinden ödün vermeden alternatif üretim yolları sağlanmaktadır. Her ne kadar bu sistemler henüz tamamen hatasız olmasa da, mevcut durumda dahi mimari sunum süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Bu kapsamda, zaman yönetimi kavramı ön plana çıkmaktadır. Mimarlık mesleğinde doğrudan tasarımdan ziyade, harcanan zaman üzerinden gelir elde edildiği düşünüldüğünde, zaman eşittir maliyet denklemi daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle bir ekip ya da ofis yapısında çalışılıyorsa, personelin zaman kullanımı doğrudan işletme maliyetlerini etkileyen bir unsur haline gelir. Bu nedenle, yapay zeka ve BIM entegrasyonları sadece üretkenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda zaman ve maliyet verimliliğini de optimize ederek işletmeler açısından stratejik bir avantaj sunar.

- 5) AI destekli BIM teknolojilerini mimari tasarım süreçlerinde hangi yöntemler, araçlar veya yazılımlar ile kullanıyorsunuz? (Parametrik tasarım, simülasyon, optimizasyon veya bulut tabanlı iş birliği araçlarını kullanıyor musunuz? Bu araçlar tasarıma nasıl entegre oluyor?)

Son beş yıl içerisinde Autodesk ürünlerinin aktif bir kullanıcısı olarak, bu süreçte yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi (ML) tabanlı teknolojilerin yazılımlara entegrasyonuna dair önemli gelişmelere tanıklık edilmiştir. Özellikle Autodesk'in AutoCAD, Revit ve diğer BIM tabanlı uygulamaları başta olmak üzere, bu yazılımlarda yapay zeka destekli otomasyon adımlarının “bebek adımları” olarak nitelendirilebilecek düzeyde ancak istikrarlı biçimde geliştirildiği gözlemlenmektedir.

Autodesk'in “Autodesk AI” çatısı altında yürüttüğü girişimler çerçevesinde, örneğin AutoCAD içerisinde kullanıcıların sık kullandığı komutlara ilişkin öneriler sunan, işlem sürelerini kısaltmaya yönelik akıllı pop-up sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistemler, kullanıcı alışkanlıklarını analiz eden ve daha verimli yollar öneren yapay zeka destekli etkileşimli yardım sistemleri ile desteklenmektedir.

Benzer şekilde, bulut tabanlı platformlarda (örneğin Autodesk Docs veya BIM 360 gibi) yüklenen görsel materyaller, yapay zeka destekli otomatik etiketleme (auto-tagging) sistemiyle işlenebilmektedir. Bu sistemler, bir görseldeki öğeleri (örneğin: iş makineleri, insanlar, ekipmanlar) tanıyarak uygun sınıflandırmalar yapabilmekte ve veri düzenlemesini kolaylaştırmaktadır. Bu örnekler, Autodesk yazılımlarında yapay zeka teknolojilerinin kullanımının yalnızca tasarım süreçleri ile sınırlı olmadığını; aynı zamanda veri yönetimi, kullanıcı etkileşimi ve otomasyon alanlarında da etkili bir şekilde yaygınlaştığını göstermektedir.

Autodesk ürünleriyle doğrudan entegre olmayan ancak 3. taraf yazılım firmaları tarafından geliştirilen çok sayıda yapay zeka temelli eklenti (plugin) de mevcuttur. Kullanıcılar bu eklentilere Autodesk App Store (apps.autodesk.com) üzerinden ulaşabilmektedir. Burada yer alan ücretsiz veya ücretli eklentiler, özellikle analiz, generatif tasarım, otomasyon ve optimizasyon gibi alanlarda AI tabanlı çözümler sunmaktadır.

Buna ek olarak Autodesk, yaklaşık üç yıl önce tanıtılan Autodesk Forma platformu ile mimarlık, inşaat ve mühendislik (AEC) disiplinleri arasında daha bütünleşik bir akış (flow) sağlama hedefi doğrultusunda önemli bir adım atmıştır. Autodesk Forma, özellikle yapı öncesi planlama ve konsept tasarım süreçlerini destekleyen, bulut tabanlı, yapay zeka destekli bir hizmet platformudur. Bu platform aracılığıyla kullanıcılar, harici bir modelleme yazılımı kullanmaksızın arazi modellerini oluşturabilmekte, çevresel verileri (örneğin: güneş ışığı, rüzgar yönü, gürültü dağılımı) analiz edebilmekte ve sürdürülebilirlik odaklı kararlar için otomatik optimizasyonlar gerçekleştirebilmektedir.

Forma ile oluşturulan kütle modelleri doğrudan Revit yazılımına aktarılabilen, bu yazılımda detaylandırılan modeller tekrar Forma'ya gönderilerek analizler sürdürülebilmektedir. Bu çift yönlü veri akışı, tasarım sürecinin daha esnek ve döngüsel bir yapıda işlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca Autodesk Forma'nın, geçmişte kullanıma sunulmuş ancak artık erişilemeyen Flow Design gibi araçların yerini alacak şekilde geliştirilmeye devam ettiği ve gelecek dönemlerde daha ileri düzey analiz kabiliyetlerine sahip olması hedeflendiği bilinmektedir.

Tüm bu gelişmeler, Autodesk'in özellikle yapay zeka ve bulut teknolojilerini BIM temelli süreçlerle bütünleştirme konusundaki stratejik yaklaşımını ortaya koymaktadır. Şirketin tüm bu teknolojik entegrasyonları ISO 19650 gibi uluslararası standartları temel alarak gerçekleştirmesi, endüstri genelinde güvenilir ve sürdürülebilir bir dönüşüm vizyonunu da desteklemektedir.

- 6) AI destekli BIM kullanımı, geleneksel BIM süreçlerine kıyasla hangi yenilikleri veya avantajları sunuyor? (AI'nin kullanımıyla daha önce mümkün olmayan ne tür tasarım hedeflerine ulaştınız?)

Revit yazılımı, geleneksel CAD (Computer-Aided Design) tabanlı süreçlere kıyasla başlı başına önemli bir optimizasyon ve üretkenlik artışı sağlamıştır. Ancak, özellikle

son yıllarda gelişen yapay zeka, makine öğrenmesi ve parametrik tasarım altyapılarına (örneğin Dynamo, Generative Design) entegrasyonu ile birlikte, bu yazılımın sunduğu olanaklar çok daha geniş bir kapsama ulaşmıştır.

Yapay zeka entegrasyonundan önce, Revit'in yapabildiği işlemler belirli kurallar ve sınırlar çerçevesinde şekillenmekteydi. Yazılımın doğası gereği, yapısal anlamda gerçek dünyada uygulanabilirliği olmayan öğeleri modellemek çoğu zaman mümkün değildi. Örneğin, amorf formlar ya da parametrik tasarım öğeleri sınırlı ölçüde modellenebilmekteydi. Ancak machine learning (makine öğrenmesi) temelli sistemlerin devreye girmesiyle birlikte, Revit içerisine entegre edilen görsel programlama araçları sayesinde bu sınırlamalar büyük ölçüde aşılmıştır. Kullanıcılar artık, belirli bir matematiksel formülasyon ya da sayısal parametreler doğrultusunda daha esnek, özgün ve kompleks geometrilere sahip tasarımlar üretebilmektedir.

Özellikle Dynamo gibi görsel programlama ortamları aracılığıyla, Revit yazılımı geleneksel işlevlerinin ötesine taşınmış; kullanıcıların parametrik girdilerle yazılıma daha esnek komutlar verebilmesine imkan tanımıştır. Bu gelişmeler, Revit kullanıcılarının yazılımı daha yaratıcı biçimlerde yönlendirebilmelerini ve gerçek dünyada üretilebilirliği olan fakat yazılım sınırları içinde daha önce mümkün olmayan çözümler üretebilmelerini sağlamıştır. Dolayısıyla, mimari modelleme süreçleri açısından hem teknik kolaylık hem de tasarım özgürlüğü anlamında kayda değer ilerlemeler sağlanmıştır.

Bunun yanında, BIM süreçlerinde kullanılan analiz ve optimizasyon araçları da gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Revit'in klasik versiyonlarında, örneğin yeşil bina sertifikasyonları (LEED, BREEAM vb.) kapsamında yapılan enerji tüketimi, gün ışığı analizi gibi değerlendirmeler ancak harici analiz yazılımları ile gerçekleştirilebilmekteydi. Günümüzde ise bulut tabanlı (cloud-based) ve tarayıcı destekli yeni nesil araçlar sayesinde bu analizler hem çok daha hızlı yapılabilmekte hem de kapsamı genişletilebilmektedir. Bu gelişme, sürdürülebilir tasarım kriterlerini daha erken aşamalarda değerlendirebilmeye ve hızlı geri bildirim almaya olanak tanımaktadır.

Ayrıca, tasarım optimizasyonu süreci yapay zekanın Revit platformuna getirdiği en önemli kazanımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Belirli plan kuralları, metrekare tanımları, mahal ve hacim ölçütleri girildiğinde; kütleli tasarımdan blok

yerleşimlerine, kat planlarının oluşturulmasından otopark düzenlemelerine kadar birçok planlama adımı artık tek bir komutla oluşturulabilir hale gelmiştir. Bu durum, yalnızca zamandan tasarruf sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda çok sayıda tasarım varyasyonunun kısa sürede denenebilmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, Revit'in yapay zeka, makine öğrenimi ve parametrik tasarım gibi teknolojilerle entegrasyonu; hem modelleme esnekliğini artırmış, hem de analiz, optimizasyon ve sunum süreçlerini hızlandırarak mimarlık mesleği açısından katma değeri yüksek yeni bir dijital üretim dönemine geçişin önünü açmıştır.

Deneyimlere dayanarak değerlendirildiğinde, yapay zeka teknolojilerinin en yoğun ve etkili şekilde kullanıldığı süreç, mimari tasarımın erken evresi olan konsept tasarım aşamasıdır. Bu aşamada, tasarım kararlarının alınması sürecine yapay zeka destekli araçlar doğrudan katkı sunmakta, özellikle de yerleşim senaryoları, alan kullanım alternatifleri ve kütle yönelimleri gibi kritik karar noktalarında önemli bir destek sağlamaktadır.

Bu kullanımın devamında, ikinci evre olarak nitelendirilebilecek tasarım optimizasyonu süreci de yapay zeka araçlarının etkili olduğu bir başka alandır. Belirli bir tasarım kararı alındıktan sonra, bu kararın farklı parametrelere göre en verimli şekilde uygulanabilmesi adına yapay zekadan faydalanılmaktadır. Yeni geliştirilen araçlarla birlikte, yalnızca karar alma süreçlerinde değil, aynı zamanda bu kararların dokümantasyonu, revizyonu ve iyileştirilmesi gibi sonraki aşamalarda da yapay zekanın aktif bir rol oynamaya başladığı gözlemlenmektedir.

Günümüzde çoğu kullanıcı, yapay zeka destekli çözümlerden yalnızca plan otomasyonu ya da kütle yerleşimi gibi konularda yararlansa da, artık yazılımların içine entegre edilen komut tabanlı yapay zeka uygulamaları sayesinde, proje bazında çok daha spesifik işlemler de otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin, “projedeki tüm merdivenlerin rengini kırmızıya çevir” ya da “belirli kalem kalınlıklarını varsayılan seviyeye getir” gibi daha önce manuel olarak yapılan birçok rutin işlem artık doğal dil ile verilen komutlarla yerine getirilebilmektedir. Bu durum, yapay zekanın artık yalnızca başlangıç evresinde değil, tüm proje yaşam döngüsüne yayılmaya başladığını göstermektedir.

Analiz evresinde ise yapay zeka henüz çok ileri düzeyde bir etki göstermemekle birlikte, varlığını hissettirmeye başlamıştır. Özellikle bulut tabanlı üretim süreçlerinde

kullanılan yazılımlarda, örneğin şantiyelerden yüklenen görsellerin otomatik olarak etiketlenmesi gibi küçük ama işlevsel özellikler sayesinde yapay zeka bu aşamada da yer almaya başlamıştır.

Bu çerçevede, yapay zeka teknolojilerinin mimari proje süreçlerine entegrasyonunda en yoğun kullanımın konsept tasarım ve optimizasyon safhalarında olduğu; ancak analizden dökümantasyona, üretimden revizyona kadar tüm evrelere yayılma çabasında olduğu söylenebilir. Süreç içerisinde farklı yoğunluk ve olgunluk seviyelerinde olmakla birlikte, yapay zekanın proje yaşam döngüsünün tamamına etki etmeye başladığı görülmektedir.

7) BIM ve AI entegrasyonu proje tasarım süreçlerinde nasıl etkilere sahip? (Zorluklar ve fırsatlar neler oldu?)

Yapay zeka ve BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) tabanlı yazılımların mimarlık sektörüne entegrasyonu, özellikle Türkiye gibi döviz kuru dalgalanmalarının yoğun yaşandığı ülkelerde bazı temel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların başında maliyet unsuru gelmektedir. Söz konusu yazılımların büyük çoğunluğu yabancı menşelidir ve lisans ücretleri genellikle Amerikan doları veya Euro bazlı olarak belirlenmektedir. Dolayısıyla, kur artışları doğrudan yazılım ve eklenti maliyetlerini etkilemekte, bu da özellikle küçük ve orta ölçekli firmalar için önemli bir finansal yük oluşturmaktadır.

Üstelik, yalnızca ana yazılımın lisansını almak yeterli olmamaktadır. Tasarım sürecinde ihtiyaç duyulan render motorları, analiz araçları, yapay zeka destekli otomasyon ve optimizasyon eklentileri gibi pek çok ek modülün de ayrıca edinilmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu eklentiler bireysel olarak düşük maliyetli gibi görünse de, bir araya geldiklerinde toplam maliyeti artırmakta ve uygulama sürecinde önemli bir bariyer teşkil etmektedir.

İkinci temel zorluk ise kültürel ve alışkanlığa dayalı dirençtir. Özellikle CAD tabanlı sistemlerden BIM tabanlı sistemlere geçiş sürecinde yaşanan zorluklar, büyük ölçüde kullanıcı alışkanlıklarından kaynaklanmaktadır. Uzun yıllar boyunca belirli bir yöntemle çalışmış, özellikle kıdemli mimar ve tasarımcılar açısından, yeni bir sistem öğrenme süreci zaman zaman isteksizlik ve dirençle karşılanabilmektedir. Bu durum, teknolojik geçişin yalnızca teknik değil, aynı zamanda pedagojik ve davranışsal bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, yapay zeka ve BIM süreçlerinin entegrasyonuna dair yaşanan zorluklar birbirine oldukça paralel seyretmektedir. Ancak burada önemli bir ayrım yapmak gerekir: BIM sistemlerinin kullanımı belirli bir yazılım altyapısı ve modelleme pratiği gerektirirken, yapay zeka araçları bu noktada daha hızlı adapte olunabilen, daha esnek ve erişilebilir alternatifler sunmaktadır. Örneğin, BIM yazılımları kullanılmadan da yüksek kaliteli görseller üretmeye olanak sağlayan, düşük maliyetli ve kullanıcı dostu yapay zeka tabanlı görselleştirme yazılımları son dönemde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu tür yazılımlar genellikle düşük ücretlerle ya da abonelik sistemiyle kullanılabilmekte, hatta mobil cihazlarda dahi etkin şekilde çalıştırılabilmektedir.

Bu yönüyle değerlendirildiğinde, her ne kadar iki süreç eş zamanlı ilerliyor gibi görünse de, yapay zeka tabanlı araçların yaygınlık ve benimsenme hızının, BIM sistemlerine kıyasla daha yüksek olduğu söylenebilir. Yapay zekanın sunduğu pratik çözümler ve erişilebilirliği, onu sektörde daha hızlı adapte olunan bir teknoloji haline getirmektedir.

8) Kullandığınız yazılım veya araçların güçlü ve zayıf yönler neler? (Geliştirilmesi gereken işlevler veya eksikler hakkında neler düşünüyorsunuz?)

Yapay zeka teknolojilerinin özellikle mimarlık ve inşaat sektöründeki entegrasyonu, ilk aşamalarda oldukça sınırlı ve deneysel nitelikteyken, bugün itibarıyla çok daha gelişmiş ve pratik sonuçlar üretme yetisine ulaşmıştır. Bu gelişim süreci, zaman zaman “bebek adımları” olarak nitelendirilse de, aslında oldukça sağlam temeller üzerine kurulmuş, stratejik ve kademeli bir ilerlemeyi ifade etmektedir. Yapay zekanın, yapı bilgi modelleme (BIM) sistemleriyle entegre bir biçimde çalışabilmesi için öncelikle bu alandaki kuralları ve üretim mantığını öğrenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda geliştirilen machine learning algoritmaları, sektörel verileri ve üretim pratiklerini adım adım analiz ederek, gerçek anlamda işlevsel ve doğru sonuçlar üretme yetkinliğini artırmaktadır.

Örneğin, yapay zeka destekli sistemlerin ilk dönemlerde ürettikleri kat planları, görsel doğruluk ve işlevsel kurgu açısından oldukça sınırlıyken, günümüzde çok daha optimize ve kullanıcı beklentilerine uygun çözümler sunabildiği gözlemlenmektedir. Bu gelişim, yalnızca görsel üretimle sınırlı kalmayıp, karar alma süreçlerine doğrudan etki eden bir yapıya dönüşmektedir. Mimari tasarımda zamanın büyük öneme sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapay zekanın sunduğu en büyük katkılardan

biri şüphesiz zaman tasarrufudur. Gerek konsept tasarım gerekse üretim sonrası dokümantasyon süreçlerinde bu teknolojiler sayesinde ciddi bir verimlilik sağlanmaktadır.

Bu bağlamda, yapay zeka yalnızca tasarım aşamasında değil, yapım sonrası yönetim süreçlerinde de aktif bir rol oynayabilecek potansiyele sahiptir. Autodesk'in geliştirdiği "Field Management" gibi platformlar aracılığıyla, bakım, onarım ve izleme süreçlerinde BIM modeline entegre edilmiş veriler, yapay zeka tarafından analiz edilerek kullanıcıya öneriler ve uyarılar sunulabilir. Örneğin bir tesis, konut ya da endüstriyel yapıda, yapay zeka destekli sistemler sayesinde bakım gereksinimleri önceden tespit edilebilir; hatta kullanıcı, yapıya dair bir değişiklik yapmak istediğinde, bu değişikliğin güvenliğe ya da yapısal performansa etkileri öngörülebilir hale gelebilir.

Ancak bu tür gelişmiş sistemlerin tam anlamıyla işlevsel olabilmesi için güçlü bir dijital altyapı gereklidir. Yapay zekanın doğru ve anlamlı sonuçlar üretebilmesi için her bir yapının dijital ikizi niteliğindeki BIM modeline sahip olması gerekmektedir. Bu da yalnızca özel sektörün değil, aynı zamanda kamunun da aktif şekilde sürece dahil olmasını ve gerekli dijital dönüşüm politikalarının desteklenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada kamu tarafından sağlanacak teşvikler, standartlaştırılmış sözleşmeler, dijital veri yönetimiyle ilgili şartnameler ve bilgi paylaşım protokolleri gibi düzenlemeler büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, yapay zeka ile BIM entegrasyonu yalnızca tasarım aşamasını değil, yapının tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir bilgi yönetim sistemi oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi için sektör genelinde dijitalleşme bilincinin artırılması, verilerin sistematik biçimde modellenmesi ve bu altyapıya entegre çözümler geliştirilmesi kritik bir öneme sahiptir.

- 9) BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık mesleğinin geleceği üzerindeki etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz? (Dijital dönüşüm bağlamında bu teknolojiler günümüzde ve gelecekte nasıl bir rol üstleniyor?)

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, yazılım kullanımına ve teknoloji entegrasyonuna dair sürecin tamamen geride kaldığı söylenemez. Özellikle büyük ölçekli mimarlık ve mühendislik ofisleri ile teknolojiye açık bireysel kullanıcılar açısından, güncel yapay zeka destekli yazılımların takibi ve kullanımı oldukça

mümkün hale gelmiştir. Bu kullanıcı profili için teknolojik dönüşüm sürecinin 1-2 yıllık bir adaptasyon evresiyle tamamlanabileceği ve sonrasında entegre çözümlerle ilerlenebileceği öngörülebilir.

Ancak ülke genelindeki geniş sektör yelpazesi ve farklı ölçeklerdeki uygulayıcılar göz önünde bulundurulduğunda, bu dönüşümün homojen bir biçimde gerçekleşmesi mümkün görünmemektedir. Gerçekçi bir yaklaşımla değerlendirildiğinde, söz konusu teknolojilerin tam anlamıyla işlevsel biçimde sektöre yayılması ve beklenen faydaların elde edilmesi kısa vadede ulaşılabilir bir hedef değildir. Bugün için sektördeki birçok paydaş—özellikle küçük ölçekli ofisler, taşeron firmalar ya da yerel müteahhitler—bu teknolojileri daha çok işlerini kolaylaştıracak bir araç olarak görmektedir. Bu da, yapay zekanın dönüşüm potansiyelinden tam anlamıyla yararlanılmasını sınırlamaktadır.

Bu bağlamda, yapay zekanın sektörde tasarımcıların yerini alması gibi bir kaygının, kısa ve orta vadede gerçekçi olmadığı ifade edilebilir. Yapay zeka, daha çok tekrarlayan ve rutin işlemlerin otomasyonunda, karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde ve veri analizi süreçlerinde etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla, bu teknolojilerin asıl amacı kullanıcıyı devre dışı bırakmak değil, onun üretkenliğini ve karar alma kapasitesini artırmak olarak yorumlanmalıdır.

Öte yandan, yapay zekanın yalnızca masa başı üretim süreçlerinde değil, sahada da etkin biçimde kullanılması kaçınılmaz bir gelişme olarak öngörülmektedir. Özellikle son yıllarda şantiyelerde kullanılan QR kod destekli takip sistemleri, kamera ve sensör destekli veri toplama robotları gibi uygulamaların giderek yaygınlaşması, bu teknolojilerin yakın gelecekte yapay zeka ile daha entegre hale geleceğine işaret etmektedir. Bu gelişme, yalnızca tasarım sürecinde değil, aynı zamanda saha üretim, bakım, onarım ve tesis yönetimi gibi alanlarda da önemli bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir.

Ancak bu noktada, teknolojik gelişimin dünya genelindeki hızına karşın, Türkiye'deki sektör adaptasyonunun oldukça yavaş seyrettiği göz önünde bulundurulmalıdır. Küresel ölçekte 5-10 yıl içerisinde gerçekleşmesi öngörülen dönüşümler, ülkemizde ancak 25-30 yıl içinde hayata geçebilir; hatta kimi senaryolarda bu dönüşümün hiç gerçekleşmemesi dahi olasılıklar dahilindedir. Bununla birlikte, teknolojik gelişmelerin zaman zaman öngörülemeyen bir ivmeyle ilerlediği de unutulmamalıdır.

Dolayısıyla, bugünden 2-3 yıl sonrasına dair kesin öngörülerde bulunmak da oldukça güçtür.

Sonuç olarak, Türkiye'de yapay zeka ve BIM entegrasyonu açısından umut vadeden bir gelişim süreci yaşanmakla birlikte, bu sürecin yaygın ve işlevsel hale gelmesi, ancak dijital altyapıların geliştirilmesi, kullanıcı eğitimlerinin artırılması ve kamu destekli politikalarla yönlendirilmesiyle mümkün olacaktır.

10) Bu teknolojilerin yaygınlaşması ve etkin kullanımının artması için neler yapılmalı? (Eğitim, mevzuat, yazılım erişimi vb. konularda önerileriniz var mı?)

Yapay zeka ve Building Information Modeling (BIM) teknolojilerinin mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörlerinde etkin biçimde kullanılabilmesi yalnızca teknik yeterlilikle değil, aynı zamanda bilgiye erişim, farkındalık ve eğitim stratejileriyle de doğrudan ilişkilidir. Günümüzde birçok yazılım, özellikle de Autodesk gibi global ölçekte sektöre yön veren firmalar, kullanıcılarına entegre yapay zeka özellikleri sunmaktadır. Ancak bu özelliklerin varlığı ve nasıl kullanılacağı konusunda kullanıcıların önemli bir kısmının yeterli bilgiye sahip olmadığı gözlemlenmektedir. Örneğin, halihazırda AutoCAD kullanan birçok kullanıcı, yazılım içerisinde yer alan yapay zeka destekli araçların farkında bile değildir.

Bu durum, yazılım sağlayıcılarının ve teknik danışmanların üstlenmesi gereken bilgilendirme sorumluluğunu açıkça ortaya koymaktadır. Kullanıcıları yalnızca ürünün kurulumu ya da lisans yönetimi gibi teknik konularda değil, yazılımın sunduğu tüm potansiyeller hakkında da bilinçlendirmek büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda; teknik seminerler, kullanıcı rehberleri, eğitim içerikleri ve online platformlardaki yayınlar yoluyla bilgilendirme yapılması, farkındalığın artırılması adına kritik bir adımdır.

Yaygınlaşmanın önündeki bir diğer önemli engel de ekonomik erişilebilirliktir. Yapay zeka ve BIM teknolojilerini barındıran yazılımlar genellikle yüksek maliyetlidir ve döviz kuru dalgalanmaları sebebiyle bu maliyet Türkiye gibi ülkelerde kullanıcılar açısından daha da zorlayıcı hale gelmektedir. Üstelik temel yazılımların ötesinde, render motorları, optimizasyon eklentileri ya da yapay zeka modülleri gibi ek bileşenlerin de ücretli olması, kullanıcılar için önemli bir finansal külfet yaratmaktadır. Bu noktada, yazılım üreticileri kadar kamu kurumları, üniversiteler ve sektörel organizasyonlara da görev düşmektedir. Lisansların öğrencilere ücretsiz sunulması,

düşük bütçeli firmalara yönelik teşvik sistemlerinin oluşturulması gibi uygulamalar, bu teknolojilerin daha geniş bir kesim tarafından erişilebilir hale getirilmesini sağlayacaktır.

Autodesk'in sektördeki liderliğini sürdürebilmesinin en önemli nedenlerinden biri de tam olarak bu yaklaşım olmuştur. Öğrencilik döneminden itibaren sağlanan ücretsiz lisanslar, aktif kullanıcı forumları ve yoğun teknik destek sayesinde firma yalnızca bir yazılım sağlayıcısı değil, aynı zamanda bir öğrenme ve gelişim ekosistemi oluşturmuştur. Zamanında Revit'in, teknik olarak daha üstün alternatiflerinin bulunmasına rağmen öne çıkmasının temelinde de bu strateji yatmaktadır. Aynı yol haritası, yapay zeka destekli BIM çözümlerinin yaygınlaşması için de geçerli olabilir.

Bu noktada, eğitmen konumundaki bireylerin, yazılım sağlayıcılarının ve teknoloji danışmanlarının rolleri daha da önem kazanmaktadır. Bu kişilerin, güncel yazılım çözümleri hakkında bilgi üretmeleri, yayın yapmaları ve eğitsel içerikler sunmaları yaygınlaşmayı hızlandıracaktır. Eğitim sistemlerinin de bu sürece entegre edilmesi elzemdir. Günümüzde yapay zeka ve BIM teknolojilerine dair bilgiler ortaokul ve lise düzeyinde müfredata girmeye başlamışsa da, bu entegrasyonun daha sistematik ve yaygın hale gelmesi gerekmektedir.

Burada önemli bir denge gözetilmelidir: Geleneksel bilgi ve beceriler korunmalı, ancak çağın gereklerine uygun dijital okuryazarlık da kazandırılmalıdır. El çizimi, mekansal algı ve perspektif gibi temel yetkinlikler, mimarlık eğitiminde vazgeçilmezdir. Ancak bu becerilerin yanında öğrenciler; parametrik tasarım, veri odaklı karar alma ve dijital üretim araçları gibi konularda da yetkin hale getirilmelidir. BIM'in özü olan "açıklık" (open) ilkesi, sektörel kapalılıkların kırılması ve bilgiye erişimin demokratikleştirilmesi anlayışı üzerine inşa edilmiştir. Dolayısıyla, yapay zeka ve BIM teknolojilerinin yaygınlaşması için aynı açıklık ilkesinin; yazılım erişimi, eğitim müfredatı ve sektörel bilgilendirme düzeyinde de benimsenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, sektörde teknolojik dönüşümün başarıyla gerçekleşebilmesi için yalnızca yazılım üreticilerinin değil, aynı zamanda eğitimcilerin, kamu kurumlarının ve bireysel kullanıcıların da sorumluluk alması gerekmektedir. Sosyal medya ve dijital reklamcılığın gücünden dahi eğitici içerikler üreterek faydalanmak, farkındalığı artırmak için etkili bir araç olabilir. Bu çok boyutlu yaklaşım sayesinde, yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda kültürel bir dönüşüm sağlamak mümkün olacaktır.

11) Teşekkürler ve son yorumlar.

Tez konunuz gerçekten çok değerli ve günümüz teknolojik gelişmeleriyle son derece örtüşen, anlamlı bir çalışma. Umarım paylaştığım bilgiler ve deneyimler bu sürece katkı sağlayabilmiştir. Süreçlere dair başka sorularınız ya da ihtiyaçlarınız olursa, her zaman yardımcı olmaktan memnuniyet duyarım. İyi çalışmalar diliyorum.

Görüşme Bilgileri

Firma: ALAN MİMARLIK

Görüşme Tarihi: 30.01.2025

Görüşme Saati: 15.00-16.00

Görüşme Tipi: Online (Teams)

- 1) Bize biraz kendinizden ve BIM teknolojileriyle çalışma deneyiminzden bahsedermisiniz? (Hangi BIM yazılımlarını kullanıyorsunuz ve ne kadar süredir bu alandaszınız?)

Alan Mimarlık BIM ile ilk temaslarını 2012–2013 yılları arasında ofis düzeyinde gerçekleştirdiklerini belirtmiştir. Bu dönemde, ekip içerisinde yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli BIM tabanlı yazılımlar değerlendirilmiş ve Autodesk Revit tercih edilerek ilk eğitim alınmıştır. Bu eğitimi takiben, Rusya’da gerçekleştirilen bir fabrika projesi pilot proje olarak seçilmiş ve mimari ile statik disiplinler özelinde Revit ile ilenlenmiştir. Ancak, projenin işverenin Meksika’da, proje yönetim ekibinin Almanya’da, danışmanlarının İngiltere’de, inşaat sahasının ise Rusya’da olması gibi uluslararası çok paydaşlı bir yapıya sahip olması, sürecin verimli ilerlemesini zorlaştırmıştır. Özellikle şantiyede yeterli dijital altyapının (internet erişimi, bulut sistemlerine ulaşım vb.) bulunmaması, BIM tabanlı bir sürecin tam anlamıyla işlemesine engel olmuştur. Katılımcı 1, bu süreci bir öğrenme aracı olarak değerlendirdiklerini ve ofis içinde Revit’in uzun bir süre "paralel proje aracı" olarak kullanıldığını ifade etmiştir. 2013–2020 yılları arasında herhangi bir projede baştan sona sadece BIM ile üretim yapılmamış; süreç geleneksel yöntemlerle yürütülürken BIM ile paralel takip yapılmıştır. Bu durumun temel nedenlerinden biri olarak, Türkiye’de ve yurt dışında (örneğin Rusya’da) işverenlerin yeni teknolojilere geçiş sürecinde yeterince destekleyici rol üstlenmemeleri gösterilmiştir. Pandemi öncesinde ise, küresel gelişmelerin de etkisiyle ofis içinde bir dönüşüm kararı alınmış ve 2021 itibarıyla tüm projelerde Revit temelli bir üretim sürecine geçilmiştir. Bu kapsamda başlatılan ilk iki proje, Moskova’daki bir ICD projesi ve Rosco projesi olmuştur. Bu projelerde hem işverenin hem de tüm paydaşların BIM tabanlı süreçleri talep etmesi, entegrasyonu kolaylaştırmıştır. Katılımcıya göre, bu noktada Rusya gibi ülkelerin Türkiye’ye kıyasla 5-6 yıl ileriye geçtiği, bunun temel nedeninin de işveren talebinin süreçleri yönlendirmedeki belirleyici rolü olduğu ifade edilmiştir.

Katılımcının değerlendirmesine göre, BIM'e geçiş süreci 2013'te başlatılmış, ancak teknolojik altyapının ve kültürel adaptasyonun eksikliği nedeniyle 2021'e kadar tam anlamıyla entegre olamamıştır. Bu dönüşüm süreci yaklaşık 7-8 yıllık bir olgunlaşma evresini kapsamaktadır. Katılımcı 2: Ayrıca, görüşmeye katılan diğer bir katılımcı ise 2019 yılında BIM ile tanıştığını ve mezun olduktan hemen sonra BIM sertifika programına katıldığını belirtmiştir. Kariyer tercihini de BIM ile çalışan firmalar doğrultusunda şekillendirdiğini vurgulamıştır. Yaklaşık 5-6 yıllık BIM deneyimine sahip olduğunu belirten bu katılımcı, özellikle genç mimarların sektörde BIM geçişine öncülük etmeye başladığını ifade etmiştir.

- 2) AI teknolojilerinin mimarlık sektörüne getirdiği veya getireceği yenilikler hakkında ne düşünüyorsunuz? (Yapay zeka, tasarım süreçlerinde hangi otomasyon veya veri analizi imkanlarını sunuyor?)

Katılımcı, BIM'den bağımsız olarak yapay zeka teknolojilerinin özellikle erken tasarım aşamalarındaki katkılarına dikkat çekmiştir. Tasarım sürecinde, yapının yönelimi, kullanılacak malzeme seçimi gibi temel kararların alınmasında yapay zeka destekli enerji analizlerinin önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Katılımcıya göre, bu analizlerin henüz konsept aşamasındayken gerçekleştirilmesi, hem enerji verimliliği hem de maliyet açısından kullanıcıya çeşitli avantajlar sunmakta; bu nedenle tasarım kararlarını doğrudan etkilemektedir. Yapay zeka destekli sistemlerin bir diğer avantajı, tasarım sürecinde hızlı alternatifler sunarak, farklı senaryoları kısa sürede test edebilme imkanı sağlamasıdır. Bu, özellikle tasarım sürecinin ilk aşamalarında karar verme hızını ve doğruluğunu artırmaktadır. Katılımcı, ofislerinde bu teknolojilerin kullanılmakta olduğunu ve yapay zekanın sunduğu imkanlardan faydalandıklarını ifade etmiştir. Tam anlamıyla entegre olmasa da, çeşitli karar destek sistemlerinin aktif şekilde denendiğini ve kullanıldığını belirtmiştir. Henüz bu uygulamaların Türkiye'deki mimarlık ofislerinde yaygın olmamakla birlikte, kendilerinin erken dönemde bu tür teknolojilere adapte olmaya çalıştıklarını vurgulamıştır. Ayrıca katılımcı, bu alandaki akademik literatürün de oldukça yeni olduğuna, çalışmaların büyük çoğunluğunun 2023 ve 2024 yıllarına ait olduğuna işaret etmiştir. Bu durum, yapay zekanın henüz mimarlık ve tasarım alanında yerleşme sürecinde olduğunu göstermektedir. Ancak, Türkiye'de bazı ofislerin bu süreci yakından takip etmesi ve uygulamaya geçirmesi, gelecekteki yaygın kullanımın öncüsü olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

3) AI ve BIM teknolojilerini iş süreçlerinizde ne kadar süredir kullanıyorsunuz? (BIM ve AI teknolojileri ile ilgili kişisel deneyimlerinizi paylaşır mısınız?)

Katılımcı, özellikle son bir yıl içerisinde çeşitli projelerde farklı yapay zeka temelli araçlar ve veri görselleştirme teknolojilerini deneyimlediklerini belirtmiştir. Örnek olarak, bir projelerinde metrekaşe verilerinin görsel olarak analiz edilmesi ihtiyacı doğrultusunda Power BI yazılımından yararlandıklarını aktarmıştır. Bu sayede proje verilerini hem daha etkili görselleştirmiş hem de karar alma süreçlerini hızlandırmışlardır.

Aynı zamanda, Dynamo ile generatif (üretken) tasarım süreçlerine odaklandıklarını ifade eden katılımcı, bu amaçla özel bir eğitim aldıklarını ve generatif tasarım uygulamalarını aktif olarak kullandıklarını belirtmiştir. Generatif tasarım araçlarının en önemli katkısının, mimarlara daha fazla "yaratıcı düşünme" zamanı bırakmak olduğunu vurgulamıştır. Katılımcıya göre, yerleşim, ölçü, oryantasyon gibi teknik kararların algoritmalar tarafından hızlı şekilde optimize edilmesi sayesinde tasarımcı, bu zaman dilimini esas yaratıcı sürece ayırabilmektedir. Böylelikle tasarım süreci hem daha verimli hem de daha nitelikli bir şekilde ilerlemektedir. Bu uygulamaların tasarım sürecinde sağladığı en büyük katkıların başında zaman tasarrufu ve karar süreçlerinde destekleyici analizlerin gelmekte olduğunu ifade etmiştir. Özellikle enerji analizlerinin erken tasarım aşamasında yapılabilmesi, yalnızca estetik değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik ve maliyet açısından da mimara yön gösterici bilgiler sunmaktadır. Katılımcı ayrıca, bu analizlerin sadece kavramsal (konsept) tasarım aşamasında değil, yapısal tasarım kararlarının şekillendiği süreçlerde de oldukça faydalı olduğunu vurgulamıştır. Mimari tasarım sürecinde, tasarımın ilk fikir aşamasından itibaren yapı, mekanik ve diğer disiplinlerle olan ilişkilerinin göz önünde bulundurulması, hem entegrasyonu kolaylaştırmakta hem de daha bütüncül bir yaklaşımı mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, katılımcı yapay zeka destekli araçların özellikle erken karar alma süreçlerinde ve alternatif çözümlerin hızlı değerlendirilmesinde oldukça etkili olduğunu ve bu teknolojilerin tasarım kalitesini artırıcı bir rol oynadığını ifade etmiştir.

4) Mimari tasarım süreçlerinde AI destekli BIM çözümlerini hangi aşamalarda kullanıyorsunuz ve karar verme süreçlerinizi nasıl etkiliyor? (Örn. Konsept tasarım, mekansal koordinasyon veya teknik tasarım.) (Alternatif üretimi, tasarım süresi, performans karşılaştırması gibi yönleriyle değerlendirebilir misiniz?)

Katılımcı, halihazırda yapay zeka temelli tasarım araçlarını en çok şematik (ön) tasarım aşamasında kullandıklarını ifade etmiştir. Bu aşamada, hem farklı tasarım opsiyonlarının hızlı şekilde üretilmesi hem de bu opsiyonların erken safhada görselleştirilebilmesi açısından yapay zeka uygulamalarının katkısı oldukça belirgin olmaktadır. Özellikle görsel temsil ihtiyacının yoğun olduğu konsept tasarım sürecinde, yapay zeka destekli araçların sunduğu hızlı render ve tasarım varyasyonları oluşturma kapasitesi, tasarım fikirlerinin daha net anlaşılmasına ve erken karar alma süreçlerinin desteklenmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, katılımcının da belirttiği üzere, şematik tasarım aşaması; yaratıcı fikirlerin hızlı üretilmesi, farklı alternatiflerin denenmesi ve projeye dair ilk görsel çıktının oluşturulması yönüyle yapay zeka uygulamalarının en verimli kullanıldığı safha olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu kullanımın ilerleyen süreçlerde — yapısal tasarım, uygulama projeleri gibi aşamalarda — genişletilmesi hedeflenmektedir.

- 5) AI destekli BIM teknolojilerini mimari tasarım süreçlerinde hangi yöntemler, araçlar veya yazılımlar ile kullanıyorsunuz? (Parametrik tasarım, simülasyon, optimizasyon veya bulut tabanlı iş birliği araçlarını kullanıyor musunuz? Bu araçlar tasarıma nasıl entegre oluyor?)

Katılımcılar, ofislerinde farklı yazılımları eş zamanlı ve entegre biçimde aktif olarak kullandıklarını belirtmişlerdir. BIM süreçlerinde temel yazılım olarak Autodesk Revit tercih edilirken, veri işleme ve parametrik modelleme için Dynamo kullanılmaktadır. Bu iki programın birlikte kullanımı sayesinde hem parametrik hem de veri odaklı tasarım süreçleri yürütülmektedir. Ayrıca, render alma aşamalarında Veras ve V-Ray gibi görselleştirme araçlarının da etkin şekilde kullanıldığı vurgulanmıştır. Görsel temsilin özellikle konsept geliştirme ve müşteri iletişiminde etkili bir araç olduğu ifade edilmiştir.

Veri analizi ve görselleştirme tarafında ise Power BI öne çıkmaktadır. Power BI sayesinde metrekafe hesaplamaları, birim analizleri ve görsel raporlamalar yapılabilmekte, bu da proje takibini ve karar alma süreçlerini hızlandırmaktadır. Enerji analizi kapsamında ise yeşil bina projeleri için IES-VE yazılımı kullanılmakta, aynı zamanda Autodesk Green Building Studio ile enerji analizlerinin tasarım sürecine daha doğrudan entegrasyonu üzerinde çalışıldığı belirtilmiştir. Böylelikle enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir tasarım hedeflerine ulaşmak amacıyla enerji simülasyonlarının erken aşamalara entegre edilmesi eğilimi gözlemlenmektedir,

- 6) AI destekli BIM kullanımı, geleneksel BIM süreçlerine kıyasla hangi yenilikleri veya avantajları sunuyor? (AI'nin kullanımıyla daha önce mümkün olmayan ne tür tasarım hedeflerine ulaştınız?)

Katılımcılara göre, yapay zeka teknolojilerinin tasarım süreçlerine dahil edilmesiyle, geleneksel yöntemlerle mümkün olmayan çok daha kapsamlı ve verimli analizler yapılabilmektedir. Özellikle yapı formunun belirlenmesinde, geleneksel olarak estetik ve fonksiyonellik kriterleri ön planda iken, yapay zeka destekli araçlar enerji verimliliği, iklimsel uygunluk ve kullanıcı senaryoları gibi çok boyutlu parametreleri dikkate alabilmektedir.

BIM süreçlerinde enerji simülasyonları önceden sınırlı parametrelerle yapılırken, yapay zeka destekli araçlarla çok daha detaylı, doğru ve dinamik analizler gerçekleştirilebilmekte, bu da sürdürülebilir tasarım kararlarını güçlendirmektedir. Ayrıca yapay zekanın yaya dolaşım yolları ve alan verimliliği gibi mekansal optimizasyon alanlarında da önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir. Karmaşık işlevli binalarda kullanıcı hareketlerinin simülasyonlarla test edilmesi, hem kullanıcı deneyimini hem de mekansal verimliliği artırmaktadır. Sonuç olarak, yapay zeka sayesinde yalnızca estetik veya fonksiyonel değil, çok kriterli, veri odaklı ve sürdürülebilirlik temelli tasarım kararlarının alınması mümkün hale gelmiştir.

- 7) BIM ve AI entegrasyonu proje tasarım süreçlerinde nasıl etkilere sahip? (Zorluklar ve fırsatlar neler oldu?)

Teknolojik gelişmelerin mimarlık sürecine etkisi değerlendirildiğinde, zaman yönetiminde ciddi kazanımlar sağlandığı görülmektedir. Özellikle yaratıcı süreçlere ayrılan zamanın arttığı, tasarımda yaşanan zaman kayıplarının azaldığı ifade edilmiştir. Karmaşık kararların akıllı yazılımlar tarafından çözülmesi sayesinde mimarın önceliği estetik ve fonksiyonel başarının artırılmasına odaklanabilmektedir. Enerji analizi ve yapısal tasarım gibi teknik alanlarda dijital araçların sağladığı avantajlar da ön plandadır. Konsept tasarım aşamasından sonra yapısal ve mekanik tasarım safhalarında entegre analizlerin kullanılması, projelerin daha verimli ve doğru planlanmasını sağlamaktadır. Erken aşamada yapılan yapısal analizlerin sağladığı faydalar özellikle vurgulanmıştır. Dijital teknolojilerin mimarlık ve mühendislik disiplinleri arasındaki entegrasyonu, tasarım kalitesini artırırken süreci hızlandırmakta ve kapsamlı analizler yapılmasına olanak tanımaktadır.

- 8) Kullandığınız yazılım veya araçların güçlü ve zayıf yönler neler? (Geliştirilmesi gereken işlevler veya eksikler hakkında neler düşünüyorsunuz?)

Katılımcılar, BIM ve ilgili yazılımlar arasında en büyük zorluğun entegrasyonun sağlanması olduğunu belirtmişlerdir. Farklı yazılımlar arasındaki entegrasyonun çoğunlukla manuel yapılması, süreci yavaşlatmakta ve hata riskini artırmaktadır. Daha doğrudan ve otomatik çalışan entegrasyon araçlarının iş süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştıracağı vurgulanmıştır. Otomasyonun sağladığı hız ve etkinlik en büyük avantajlar arasında yer almaktadır. Ancak, veri bütünlüğünün sağlanamaması halen temel bir sorun olarak görülmektedir. Yazılımlar arasında veri transferinin otomatik ve hatasız yapılmasının sürecin verimliliği açısından kritik olduğu ifade edilmiştir.

'Lora' gibi bazı destekleyici yazılımlar kullanılsa da tam entegrasyon henüz sağlanamamıştır. Sonuç olarak, yazılımlar arası entegrasyonun otomatik, sorunsuz ve hızlı olması, hata oranlarını azaltarak süreci iyileştirecektir.

- 9) BIM ve AI entegrasyonunun mimarlık mesleğinin geleceği üzerindeki etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz? (Dijital dönüşüm bağlamında bu teknolojiler günümüzde ve gelecekte nasıl bir rol üstleniyor?)

Katılımcılar, veri biliminin tüm sektörleri dönüştürdüğünü, inşaat sektöründe de bu dönüşümün devam edeceğini belirtmiştir. İnşaatla büyük veri mevcut olmasına rağmen bu veriler henüz etkin şekilde kullanılmamaktadır. Ancak veriler anlamlı hale getirildiğinde, tasarım ve inşaat süreçlerinin daha etkin yönetilebileceği düşünülmektedir.

Veri yönetimi modellerinin ve makinelerin verileri anlayıp doğru kararlar alabilmesinin sektöre önemli katkı sağlayacağı vurgulanmıştır. Türkiye’de BIM uygulamalarının özellikle son beş yılda geliştiği, devlet politikaları ve altyapı projelerinin bu gelişime destek verdiği ifade edilmiştir. Bazı projelerde devlet teşvikleriyle BIM kullanımının artırılması için yeniden modelleme süreçlerinin başlatıldığı belirtilmiştir. Ancak inşaat sahasında gerçek zamanlı veri akışının ve buna bağlı karar alma mekanizmalarının henüz tam gelişmediğine dikkat çekilmiştir. Yine de BIM yaygınlaştıkça saha süreçlerinin daha akıllı ve verimli hale geleceği öngörülmektedir.

10) Bu teknolojilerin yaygınlaşması ve etkin kullanımının artması için neler yapılmalı?

(Eğitim, mevzuat, yazılım erişimi vb. konularda önerileriniz var mı?)

Teknolojilerin yaygınlaşması için eğitim ve farkındalığın kritik olduğu vurgulanmıştır. Çalışanların yalnızca araç kullanımını öğrenmeleri değil, sektördeki yeni trendleri de takip etmeleri gerektiği ifade edilmiştir. İnşaat sektöründeki Ar-Ge faaliyetlerinin yetersizliği önemli bir eksiklik olarak görülmüştür. Yazılımcılar, mimarlar ve mühendislerin iş birliği yapmasının faydalı olacağı belirtilmiştir. Veri paylaşımı ve entegrasyonun sağlanabilmesi için ortak standartların geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Kullanıcı dostu, sezgisel ve erişilebilir yazılım araçlarının teknolojinin benimsenmesini kolaylaştıracağı belirtilmiştir. Yazılım bilgisi eksikliğinin kullanım önündeki en büyük engel olduğu ifade edilmiştir. Sektörde direncin temelinde mevcut konfor alanından çıkma isteksizliği ve teknolojinin yüksek başlangıç maliyetleri olduğu belirtilmiştir. Yazılım ve donanım altyapılarının güncellenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Değişim sürecinde insanlarda oluşan korku ve direnç aşılmalıdır. Türkiye’de inşaat sektöründeki Ar-Ge eksikliği ve yetersiz sektörel yönetmeliklerin dönüşümün önünde engel oluşturduğu ifade edilmiştir. Mevcut sistemden memnuniyet nedeniyle değişime karşı isteksizlik olduğu belirtilmiştir. Ancak teknolojinin faydalarının görünür kılınması ve maliyet-kazanç analizlerinin yapılmasıyla bu dirençlerin aşılabileceği düşünülmektedir. Son olarak, teknolojilerin sadece araç olduğu; asıl önemli olanın bu araçların mimarlık mesleğine ve projelerin amaçlarına uygun kullanımı olduğu vurgulanmıştır. Teknolojinin insan zekasını azaltmayacağı, aksine zihinsel faaliyetlerin farklı alanlara yönelmesini sağlayarak evrime katkıda bulunacağı ifade edilmiştir. Katılımcılar, teknolojik gelişmeleri takip etmenin ve bu gelişimlerin içinde yer almanın kaçınılmaz olduğunu belirtmiştir.

11) Teşekkürler ve son yorumlar.

Katılımcılar görüşme için teşekkür etmiş ve sürecin verimli geçtiğini ifade etmişlerdir. Teknolojilerin mimarlık pratiğinde yarattığı dönüşümün önemine dikkat çekmiş, bu alandaki gelişmelerin mesleğin geleceği açısından kritik olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, teknolojik yeniliklerin doğru ve etkili kullanımıyla hem tasarım kalitesinin hem de proje verimliliğinin artacağına dair olumlu beklentilerini paylaşmışlardır. Son olarak, bu alanda bilgi paylaşımının ve sürekli eğitimin gerekliliği üzerinde durmuşlardır.