

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MİMARLIKTA MAKİNE ÖĞRENİMİ UYGULAMALARI:
FIRSATLAR, ZORLUKLAR VE GELECEĞE DAİR ÖNGÖRÜLER**

HAZIRLAYAN

BİLGE ŞAPCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA – 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MİMARLIKTA MAKİNE ÖĞRENİMİ UYGULAMALARI:
FIRSATLAR, ZORLUKLAR VE GELECEĞE DAİR ÖNGÖRÜLER**

HAZIRLAYAN

BİLGE ŞAPCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. AYSU SAGUN KENTEL

ANKARA - 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Bilge ŞAPCI tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23 / 05 / 2022

Tez Adı: Mimarlıkta Makine Öğrenimi Uygulamaları: Fırsatlar, Zorluklar ve Geleceğe Dair Öngörüler

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)	İmza
Doç. Dr. Aysu Sagun Kentel, Başkent Üniversitesi (Danışman)	
Prof.Dr. Cüneyt Kurtay, Gazi Üniversitesi (Başkan)	
Doç.Dr. Tayfun Yıldırım, Gazi Üniversitesi (Üye)	

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Bilge ŞAPCI

Öğrencinin Numarası : 21910079

Anabilim Dalı : Mimarlık Anabilim Dalı

Programı : Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Doç. Dr. Aysu SAGUN KENTEL

Tez Başlığı : Mimarlıkta Makine Öğrenimi Uygulamaları: Fırsatlar, Zorluklar ve Geleceğe Dair Öngörüler

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 105 sayfalık kısmına ilişkin, 20/05/ 2022 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'dür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı, İmza:

Doç. Dr. Aysu SAGUN KENTEL

Aileme...



TEŞEKKÜR

Öncelikle, başta tez danışmanım Doç. Dr. Aysu SAGUN KENTEL olmak üzere bu tez çalışmasını yapmamda bana yol gösteren ve tez süreci boyunca karşılaştığım güçlükleri aşmamda her zaman yardımcı olan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma yanımda oldukları ve araştırmalarımnda yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Son olarak, bana her zaman güvenen, destekleyen ve inanan aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Bilge ŞAPCI

MİMARLIKTAKİ MAKİNE ÖĞRENİMİ UYGULAMALARI: FIRSATLAR, ZORLUKLAR VE GELECEĞE DAİR ÖNGÖRÜLER

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

2022

Yapay zekânın alt dallarından biri olan makine öğrenimi, algoritmalar kullanılarak verilerin analiz edilmesiyle öğrenen, insan zekâsını taklit edebilen ve kendi kendini geliştirebilen bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Makine öğrenimi kullanılarak büyük verilerin depolanması ve bu verilerin işlenmesiyle de yeni verilerin oluşumu sağlanmaktadır. Makine öğrenimi teknikleri bu özellikleri sayesinde başta mühendislik ve üretim sektörleri olmak üzere pek çok alanda kullanıldığı halde, yapılan araştırmaların azlığı ve yetersiz çalışmalar sebebiyle mimarlık alanındaki henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu tezin amacı, makine öğreniminin mimaride sağladığı faydaları vurgulamak ve tasarım üretimi ve yapım sürecinde karşılaşılabilecek sorunları ve riskleri belirlemektir. Bu bağlamda, önce makine öğrenimi teknikleri incelenerek çeşitli disiplinlerdeki kullanım şekilleri ele alınmıştır. Ardından günümüze kadar mimarlık alanında makine öğrenimi kullanılarak yürütülen örnek çalışmalar araştırılmıştır. Tezde incelenen bu çalışmalarda, makine öğrenimi tekniklerinin nasıl ve hangi amaçlarla kullanıldığı üzerinde durularak, makine öğrenimi kullanımının mimarlık alanında sağlayabileceği faydalar, uygulama sırasında karşılaşılabilecek zorluklar ve oluşabilecek potansiyel riskler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak makine öğrenimi tekniklerinin mimarlık alanında kullanımı geliştirilerek tasarım, üretim ve inşaat süreçlerinde verimli bir araç olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Yapay Zekâ, Makine Öğrenimi, Mimarlık, Veri Analizi, Tasarım ve Üretim Süreci

ABSTRACT

Bilge ŞAPCI

MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN ARCHITECTURE: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND FORESIGHTS FOR THE FUTURE

Başkent University Institute of Science

Department of Architecture

2022

Machine learning, one of the sub-branches of artificial intelligence, is defined as a system that can learn by analyzing data using algorithms, can imitate human intelligence and can improve itself. It is possible to store large amount of new data and the data formed by processing these data using machine learning. Although, machine learning techniques are used in many fields due to these features, especially in the engineering and production sectors, they are not yet widely used in the field of architecture because of scarcity of research and insufficient studies. The aim of this thesis is to highlight the benefits provided by machine learning in architecture and to identify the problems and risks that may be faced during design production and construction process. In this context, first the machine learning techniques are observed and their use in various disciplines are discussed. Then, examples carried out until today on machine learning in architecture are presented. In the thesis, the benefits that can be gained, problems that can be encountered and the risks that may rise during the use of machine learning are identified, focusing on how and for what purposes machine learning techniques are used in the field of architecture. It is concluded that the use of machine learning techniques in the field of architecture can be developed and used as an efficient tool in design, production and construction processes, depending on the findings of this research study.

KEYWORDS: Architecture, Artificial Intelligence, Data Analysis, Design and Production Process, Machine Learning

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Konusu ve Önemi	1
1.2. Tezin Amacı ve Araştırma Yöntemleri	2
1.3. Yöntem	3
2. MAKİNE ÖĞRENİMİ NEDİR?	5
2.1. Makine Öğreniminin Gelişim Süreci	5
2.2. Makine Öğrenimi Süreci ve Algoritmaları.....	6
2.2.1. Denetimli Öğrenme	8
2.2.2. Denetimsiz Öğrenme	10
2.2.3. Pekiştirmeli Öğrenme	12
2.2.4. Derin Öğrenme	13
2.2.4.1. Yapay Sinir Ağları	15
2.2.4.2. Üretken Çekişmeli Ağlar	17
3. MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KULLANIM ALANLARI	20
3.1. Üretimde Makine Öğrenimi	21
3.1.1. Endüstri 4.0	26
3.1.2. Mimari Üretimde Makine Öğrenimi.....	29
3.2. Kullanıcı Deneyimi (User Experience, UX).....	32
3.2.1. Kullanıcı Deneyimlerinin Makine Öğrenimi Teknikleri ile Aktarılması .	36
3.2.2. Kullanıcı Deneyimlerinin Makine Öğrenimi Teknikleri ile Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullanılması	40

4. MİMARLIKTA MAKİNE ÖĞRENİMİ	42
4.1. Planlama Sürecinde Makine Öğrenimi	47
4.2. Mimari Tasarım Sürecinde Makine Öğrenimi	52
4.2.1 Kavramsallaştırma.....	53
4.2.2 Modelleme	60
4.2.3 Stil Aktarımı	65
4.2.4 Optimizasyon	70
4.2.5 Öneri Sistemleri.....	78
4.3. Mimari Öğelerin Algılanmasında Makine Öğrenimi	81
4.4. Mimari Tasarımların Uygulanma Sürecinde Makine Öğrenimi	87
4.4.1. Yapı Bilgi Modelleme ve Makine Öğrenimi	87
4.4.2. İnşaat Sürecinde Makine Öğrenimi	90
 5. MİMARİ ALANDA MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KAZANDIRDIĞI FIRSATLAR, KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE RİSKLER	95
5.1. Verilerin Belirlenme Süreci	97
5.2. Tasarım Gelişim Süreci	97
5.3. Üretim Süreci	99
6. SONUÇ	102
KAYNAKLAR	105

TABLÖLÄR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Makine Öğreniminin Üretim Gereksinimlerini Karşılama Yeteneği.....	23
Tablo 2. Bina İnşasında Uygulanan Makine Öğrenimi Algoritmaları	93
Tablo 3. Mimarlıkta Makine Öğrenimi: Faydalar, Zorluklar ve Riskler.....	96



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Makine Öğrenimi Süreci.....	7
Şekil 2. Makine Öğrenimi Algoritmaları.....	8
Şekil 3. Denetimli Öğrenme: Sınıflandırma & Regresyon	10
Şekil 4. Denetimli Öğrenme ve Denetimsiz Öğrenme.....	11
Şekil 5. Pekiştirmeli Öğrenme İşleyiş Diyagramı	12
Şekil 6. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Karşılaştırması	14
Şekil 7. Yapay Sinir Ağı Mimarisi	16
Şekil 8. Üretken Çekişmeli Ağların Eğitim Süreci	18
Şekil 9. Çeşitli Üretken Çekişmeli Ağ Varyasyonları Kullanılarak Oluşturulan Görseller...	18
Şekil 10. Üretimde Dijital Dönüşüm	24
Şekil 11. Endüstri 4.0 Özellikleri	26
Şekil 12. Gelecekteki “Endüstri 4.0” projesi bağlamında bir tedarik zincirinin karşılıklı bağımlılıklarına örnek	28
Şekil 13. Dijital Zincir ile Tasarım ve Üretimin Döngüsel İlişkisi.....	30
Şekil 14. Kullanıcı Deneyiminin Yönleri.....	33
Şekil 15. Kullanıcı Deneyimi Bileşenleri.....	34
Şekil 16. Kullanıcı Deneyimi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Sorular.....	35
Şekil 17. Makine Öğrenimi Algoritmalarında Kullanılan Kullanıcı Deneyimi Verileri.....	37
Şekil 18. Geleneksel UX Yaklaşımı & Veriye Dayalı UX Yaklaşımı.....	38
Şekil 19. Tasarımda Kullanıcı Deneyimi, Makine Öğrenimi ve İnsan-Bilgisayar Etkileşimi İlişkisi	40

Şekil 20. Mimarlıkta Buluşlar ve Teoriler	43
Şekil 21. Villemard: Geleceğin Vizyonu – 1910 & Günümüz Mimarlığında Robotun Yeri	44
Şekil 22. Mimari Üretim Sistemlerinin Robota Aktarılması	44
Şekil 23. Makine Öğreniminin Mimarlık Alanında Benimsenmesi	45
Şekil 24. Deadalus Pavilyonu Tasarım-Analiz-İnşa Süreçleri	46
Şekil 25. Doğrudan ısıya maruz kalan termo-aktif laminatların deformasyonu	49
Şekil 26. Makine Öğrenimi İçin Veri Kümeleri Oluşturarak Yapay Sinir Ağlarının Beslenmesi	50
Şekil 27. Hedeflenen Laminat Deformasyonu ve Simülasyon Sonucu	51
Şekil 28. Sistemin Tersine Çalıştırılarak Hedef Deformeler İçin Görüntü Elde Etme.....	51
Şekil 29. Mimarlıkta Makine Öğreniminin Kullanım Alanını Yansıtan Kavramlar.....	52
Şekil 30. Tümdengelimci ve Tümevarımcı Yaklaşım Örnekleri.....	54
Şekil 31. Tümdengelimci ve Tümevarımcı Yaklaşım Örnekleri.....	55
Şekil 32. Şekil Grameri için Temel Birimlerin Oluşturulması	56
Şekil 33. Kuralların Bir Araya Gelmesiyle Oluşan Apartman Binaları.....	57
Şekil 34. Shape Evolution & VRML ile Apartman Modeli Tasarımı.....	58
Şekil 35. Temel Genotiplerin Çaprazlanmasıyla Yeni Genotip Üretimi	59
Şekil 36. Üretilen Tasarım Örnekleri	59
Şekil 37. Tasarımda Modelleme ve Simülasyon Döngüsü	60
Şekil 38. Fiziksel Prototipleme & Bileşen Modeli & Farklı Bağlantıların Olası Durumları.....	61
Şekil 39. Bağlantı Mantıkları & İlk Simülasyon Çalışması	62
Şekil 40. Platform Çalışmaları	63
Şekil 41. Yatay Çizgiler ile Bileşenlerin Tasarımı	63

Şekil 42. Yapı Taşlarının Birleşmesiyle Model Oluşumu	64
Şekil 43. Watson tarafından tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen etkileşimli heykelin oluşumu	66
Şekil 44. Farklı Bina-Zemin İlişkisine Gruplarındaki Mimari Stillerin Kümelenmesi.....	67
Şekil 45. Çeşitli Stillerdeki Kat Planları ve Stil Transfer Örneği.....	68
Şekil 46. Kat Planlarının Stillere Göre Eğitilmesi ve Yeni Modeller Oluşturma	69
Şekil 47. Optimizasyon Yöntemlerinin Bina Tasarım Sürecine Dahil Edilmesi.....	70
Şekil 48. Etkileşimli Bina Yerleştirme Optimizasyon Yöntemi.....	71
Şekil 49. Mimari Yerleşim Tasarımında Parametreler	73
Şekil 50. Ceza Fonksiyonları	74
Şekil 51. Ödül Fonksiyonları	75
Şekil 52. Farklı Parametre Etkileriyle Oluşturulan Sonuçlar	76
Şekil 53. Farklı t ve k Değerlerinde Yerleşim Sonuçları.....	77
Şekil 54. Öneri Sistemlerinin İşleyiş Döngüsü.....	78
Şekil 55. Finch ile 2D ve 3D Plan Tasarımı.....	79
Şekil 56. Mimari Tasarım Önerileri.....	80
Şekil 57. Kat Planı Öğretme ve Algılama Çalışma Aşamaları.....	82
Şekil 58. Evrişimli Sinir Ağları ile Kat Planı Aktarımı.....	83
Şekil 59. Çeşitli Oda Etiketleme Sonuçları.....	84
Şekil 60. Makine Öğrenimi İş Akış Diyagramı.....	85
Şekil 61. Kat Planı Öğelerinin Tespit Edilmesi ve Birbirleriyle İlişkileri.....	86
Şekil 62. BIM Uygulaması Aşamaları.....	88
Şekil 63. BIM- Aşamalar, Alt Aşamalar, Etkinlikler, Alt Etkinlikler ve Görevler.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AECO	Architecture Engineering Construction and Operation (Mimarlık Mühendislik İnşaat ve Operasyon)
ANN	Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları, YSA)
BIM	Building Information Modeling – Yapı Bilgi Modellemesi
CAD	Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBR	Case Based Reasoning (Duruma Tabanlı Akıl Yürütme)
CNN	Convolutional Neural Networks (Evrişimli Sinir Ağları)
DL	Deep Learning (Derin Öğrenme)
GAN	Generative Adversarial Nets (Üretken Çekişmeli Ağlar)
GPU	Graphic Processing Unit (Grafik İşlemci Birimi)
HBI	Human Building Interaction (İnsan-Bina Etkileşimi)
HCI	Human Computer Interaction (İnsan-Bilgisayar Etkileşimi)
ML	Machine Learning (Makine Öğrenimi)
RBR	Rule Based Reasoning (Kurala Dayalı Akıl Yürütme)
SA	Simulating Annealing (Tavlama Simülasyonu)
SVM	Support Vector Machine (Destek Vektör Makinesi)
UX	User Experience (Kullanıcı Deneyimi)
VRML	Virtual Reality Modelling Language (Sanal Gerçeklik Modelleme Dili)

1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli yazılım programlarının ve yapay zekâ tabanlı algoritmaların günden güne gelişerek kullanım alanlarının yaygınlaşması ile birlikte basit hesaplamalar ve bilgilerin depolanmasının yanı sıra verilerin işlenmesiyle kullanıcıya otomatik sonuçlar sunulabilen yazılım programları geliştirilmektedir. Bu amaçlar için sıklıkla kullanılan ve yapay zekâ teknolojisinin alt dallarından biri olan Makine Öğrenimi (Machine Learning, ML), mevcut çevredeki ortamdan öğrenerek insan zekâsını taklit etmek için tasarlanmış bir hesaplama algoritmaları dalı olarak tanımlanmaktadır [1]. Makine Öğrenimi Sistemleri, girdi olarak verilen bilgileri öğrenir ve bu bilgiler doğrultusunda yapay sinir ağları ve algoritmaları kullanarak veri analizlerinin yapılmasını sağlar. Bu sayede veri analizleri yapılarak yeni veri oluşturmak için başarılı tahminler yürütülebilir.

Makine Öğrenimi algoritmaları, veri analizleri yaparak kendi kendine akıllı kararlar alabilen ve temelde otomatik öğrenme prensibi ile gelişebilen bir sistem olarak düşünülebilir [2]. Herhangi bir projede insan faktörü olmadan kendiliğinden öğrenen, pekiştiren, geliştiren ve üreten bu otonom sistem özellikle mühendislik alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek boyutlu ve karmaşık verilerin analiz edilmesini sağlayan ve büyük veri kümelerinin saklanmasına imkân tanıyan makine öğrenimi teknikleri, kullanıcıların iş yükünü hafifleterek zamandan kazanç sağlaması sebebiyle çeşitli disiplinlerde kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmeleri takip etme ve benimseme konusunda geriden gelen mimarlık sektöründe ise makine öğrenimi tekniklerinin kullanımı yaygın olmamakla birlikte bu tekniklerin mimari tasarım uygulamalarına dâhil edilmelerine yönelik mevcut çalışmalar vardır. Bu çalışmaların sayıca az olması bir araştırma eksikliği olarak değerlendirilerek, tezde mimarlık alanında bu eksikliğin giderilmesi ve yeni çalışmalara ışık tutması için makine öğreniminin sağlayabileceği fırsat ve zorlukların belirlenmesine yönelik bir araştırma yapılmıştır.

1.1. Tezin Konusu ve Önemi

Tezde, yapay zekânın alt başlıklarından biri olan Makine Öğreniminin tanımı ve temel çalışma prensibi anlatılarak mimarlık alanında makine öğrenimi tekniklerinin nasıl kullanılabileceği ve bu konuda günümüzdeki gelişmeler anlatılmıştır. Bu tekniklerin mimarlık sektörünü ne şekilde etkileyebileceği konusunda fikir vermesi amacıyla mimarlık

alanında kullanılan çeşitli makine öğrenimi teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Ardından mimari tasarım ve uygulama aşamalarında makine öğreniminden yararlanılarak yapılan çalışmalar incelenerek, bu çalışmaların hedef-sonuç ilişkilerine göre çalışmayı etkileyen fırsat ve zorluklar belirlenmiştir. Mimarların mimari tasarım sürecinde Makine Öğrenimi teknolojilerinden nasıl faydalandıkları araştırılarak, makine öğreniminin mimarlık alanına sağladığı yararlar ve yapılan çalışmalarda karşılaşılabilecek sorunlar ve riskler ele alınarak bu tekniklerin mimari alanda kullanımının yaygınlaşması ihtimalleri üzerine durulmuştur. Mevcut çalışmaların sayıca az olması ve mimarlıkta yenilikçi yaklaşımların yavaş ilerlemesi sebebiyle bu çalışmanın mimarlıkta makine öğrenimi uygulamaları için yeni araştırma alanlarının belirlenmesinde yol gösterici olması umut edilmektedir.

1.2. Tezin Amacı ve Araştırma Soruları

Farklı disiplinlerden esinlenilerek makine öğreniminin mimarlık alanında kullanımı geliştirilerek tasarım adına yenilikçi ve kolaylaştırıcı adımlar atılacağı düşünülmektedir. Bu çalışmaların, ilerde yapılan tasarımların teknoloji ile paralel olarak geliştirilmesiyle yeniliklere ve değişimlere açık olması açısından potansiyeli olduğu için tezin amacı, makine öğrenimi uygulamalarının mimarlık alanında sağladığı faydaları vurgulamak ve uygulamalarda ortaya çıkabilecek sorunların yanı sıra riskleri de belirlemektir. Bu amaçla aşağıdaki dört araştırma sorusu belirlenmiştir:

1. Mimari tasarım sürecinde makine öğrenimi uygulama alanları nelerdir?
2. Mimari tasarım sürecinde makine öğrenimi uygulamalarının sağladığı faydalar nelerdir?
3. Mimari tasarım sürecinde makine öğrenimi uygulamalarından kaynaklanabilecek riskler nelerdir?
4. Mimari tasarım sürecinde makine öğrenimi uygulamaları sırasında karşılaşılabilecek zorluklar nelerdir?

1.3. Yöntem

Bu tezde gelişmekte olan makine öğrenimi algoritmalarının ve tekniklerinin mimarlık alanında kullanım örneklerinin nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde betimsel olarak incelendiği, bütünleştirici bir araştırma çalışması (integrative research) yürütülmüştür. Araştırmaya makine öğrenmesinin tanımı, kullanım alanları, kullanıldığı disiplinler, kullanıcı deneyimi ve üretim gibi farklı süreçlerde uygulama örneklerinin araştırıldığı kapsamlı bir literatür taraması ile başlanmıştır. Mimari alanda yapay zekânın kullanım alanlarını belirlemek amacıyla örnek araştırma projeleri incelenerek, makine öğreniminin mimarlıkta daha yaygın kullanılması durumunda sağlayacağı faydalar ve karşılaşılabilecek riskler ve sorunlar belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen bulgular Veri Toplam-İşleme, Tasarım ve Üretim süreçleri kapsamlarında düzenlenerek sunulmuştur. Çalışmada mimarlık alanında makine öğrenimini kullanıma ışık tutmak için incelenen örnekler üzerinden, meydana gelebilecek zorluklar ve riskler de ele alınarak daha sonraki çalışmalarda karşılaşılabilecek olumlu ve olumsuz durumlara dikkat çekilmiştir.

Literatür taramasında, mimarlıkta planlama alanında makine öğrenimi kullanımıyla ilişkili olarak incelenen örnekte Foster + Partners ve Autodesk işbirliği ile uyarlanabilir pasif cephe oluşturmak için veri sentezi yapılarak makinenin öğrenmesi sağlanmış ve simülasyonların yapılmasıyla hedeflenen cepheler oluşturulmuştur [69]. Mimari tasarım süreçlerinde makine öğrenimi kullanımına ilişkin, şekil grameri ile temel birimlerin oluşturulması ve bir araya getirilmesiyle apartman binalarının oluşturulduğu bir çalışmada ise genetik algoritmalar kullanılarak temel genotiplerin çaprazlanması işlemleri yapılarak yeni tasarım örnekleri üretilmiştir [78]. Modelleme üzerine makine öğrenimi kullanımı ile ilgili olarak, Royal Melbourne Teknoloji Enstitüsü Üniversitesi'ndeki (Royal Melbourne Institute of Technology University, RMIT) bir çalışmada geometrik temellere dayanan bileşimlerin hesaplama sorununu ele almak için geliştirilen bir algoritma kullanılmıştır. Büyük mimari kümelerin montajında bileşenlerin bölgelere ayrılması ve yoğunluğu için veri haritaları üretilerek otomatik inşaata yönelik simülasyon çalışmaları yapılmıştır [83]. Verilerden öğrenen ve çıkarım yapan makine öğreniminin mimari stil aktarımı alanında da örnek kullanımları incelenmiştir. International Business Machine (IBM) tarafından geliştirilen bir makine öğrenimi sistemi olan Watson'ın Antoni Gaudi'ye ait eserler ile eğitilmesinin ardından Gaudi'nin tarzına özgü yeni çıktılar ürettiği görülmüştür [86]. Bir diğer çalışmada ise, bina ile zemin arasındaki ilişkilerin incelenerek belirli dönemlere ait

mimari stillerin kümelenmesi üzerinde durulmuştur [88]. Mimari tasarım alanında yeni planlar üretmede stil transferi yapılabileceğini düşünen Chaillou tarafından yapılan bir çalışmada ise, kat planları içerisindeki geometri ve şekil düzenlerinin bir tarzdan diğerine dönüştürülmesi ele alınmıştır [56]. Makine öğreniminin en uygun çözümleri üretmesine yönelik mimari optimizasyon alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde, Hao Zheng ve Yue Ren tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada binaların yerleşim düzenlerini optimal seviyede kurabilmek amacıyla tasarım parametrelerinin kullanıldığı görülmüştür. Giriş, sınır, güneş ışığı ve nehir/peyzaj özellikleri için belirlenen parametrelerin kullanılmasıyla çalıştırılan programın ürettiği sonuçlara bakılarak istenilene en uygun olan bina oturma düzeni seçilmiş ve algoritmaların optimizasyon sürecinde kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır [95]. Benzer bir şekilde, öneri sistemlerinin mimari uygulamalarda kullanılması için geliştirilen Finch aracı incelenerek mekânsal yapılandırma ve uyarlanabilir planlar üretmek için bu aracın kullanılabileceği önerilmiştir [102]. Yapılan literatür taramasında, son zamanlarda sıklıkla çalışılan mimari öğelerin algılanması konusu üzerinde de durulmuştur. Kat planları temel alınarak yapılan bu çalışmalarda, makine öğrenimi sistemine mekân bilgileri öğretilmesiyle makinenin beslenmesi sağlanmış ve yeni bir kat planı verildiğinde mimari öğelerin doğru bir şekilde algılanması amaçlanarak sonrasında öğrenilen kurallara uygun yeni kat planları üretilmesi beklenmiştir [55], [56], [107].

İncelenen çalışmalar, mimarlıkta makine öğreniminin nasıl kullanıldığını göstermekte ve bu çalışmaların yürütülmesi ile elde edilen kazançlar ile yaşanan zorlukların anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, gelecekte, mimarlık alanında makine öğrenimi kullanılmasına ilişkin yapılacak olan diğer çalışmalar için bir zemin oluşturulmakta olup, araştırma sürecinde yaşanabilecek durumlar için fikir verilmektedir.

2. MAKİNE ÖĞRENİMİ NEDİR?

Gelişen teknoloji ile birlikte, bilgisayar kullanımı her geçen gün biraz daha yaygınlaşmakta ve pek çok alanda iş yükünün büyük bir kısmında bilgisayar teknolojisi kullanılmaktadır. İcat edilmelerinden günümüze kadar geçen süreçte, bilgisayarlar toplumun ihtiyaçlarını karşılayarak hayatı kolaylaştırmayı sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu gelişim günden güne artarak ilerlemeye devam etmektedir. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde, şu anda büyük miktarda veriyi saklama, işleme ve ayrıca bir bilgisayar ağı üzerinden fiziksel olarak uzak yerlerden erişme imkânları vardır [2]. Bu sayede, ihtiyaç duyulan tüm bilgilerin bir araya toplanarak kullanıcının isteğine göre işlenmesi ve erişilebilirliğin sağlanması, günlük hayatın ve iş yaşamının aksama olmadan ilerlemesi mümkündür. Öte yandan, bu gelişmelere bağlı olarak, yeni ihtiyaçlar ve talepler doğmaktadır. Artık, bilgisayarlar ve bilgisayar destekli dijital cihazlardan beklentilerimiz veri depolama ve basit hesaplamaları yapmanın yanı sıra bu verilerin işlenmesi ve otomatik sonuçlar almak yönündedir [2]. Bahsedilen işlemlerin yapılması için bir sisteme ihtiyaç duyulduğu için bu amaçlara yönelik olarak, yapay zekâ tabanlı algoritmaların ve makine öğrenimi uygulamalarının kullanılması olası bir çözüm olarak düşünülebilir. Makine Öğrenimi (Machine Learning, ML), verilerdeki kalıpları otomatik olarak algılayarak ortaya çıkan kalıpları yeni veri tahmininde ve karar alma süreçlerinde kullanır [3]. Bu noktada, makine öğrenmesi, elde edilen verilerin analiz edilebildiği, her bir verinin işlenme şeklinin makine tarafından öğrenilerek daha sonra elde edilebilecek olası sonuçların ortaya konulabildiği bir sistem olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda, makine öğrenimi ile, karışık örüntülerin algılanarak akılcı kararların verilebilmesi amaçlanmaktadır.

2.1. Makine Öğreniminin Gelişim Süreci

Makine Öğrenimi terimi ilk defa 1959 senesinde, bilgisayar oyunu ve yapay zekâ alanında bir öncü olan, Arthur Samuel tarafından önerilmiştir. Bu önerme ile, kendi kendini optimize eden bilgisayar algoritmalarının öğrenme kapasitesine atıfta bulunulmuştur [4]. Makine Öğrenimi destekli algoritmalar, sürekli yinelenen sistem durumlarına adapte edilerek, kendi kendine bir model oluşturma ve bilimsel karar vererek tahminlerde bulunma gibi görevleri yerine getirebilir. 1990'larda araştırmacıların büyük miktarda verileri analiz

etmeye başlamaları ile birlikte sinir ağı ve çekirdek yöntemleri gibi makine öğrenimi algoritmaları geliştirilmiştir. Bu gelişme, makine öğreniminin işleyişi için temel adımların atılması olarak değerlendirilebilir. Ardından 2000li yıllarda, derin öğrenmeye olan ilginin artması ile birlikte makine öğreniminin çok çeşitli hizmetleri ve uygulamaları desteklemek için vazgeçilmez olduğu düşünülmüştür. Bu düşünce ile, makine öğreniminin farklı pek çok alanda kullanılması mümkün kılınmıştır. Günümüzde ise, makine öğreniminin araştırma odağı ‘amaç olarak öğrenme’ den ‘yöntem olarak öğrenme’ ye doğru kaymaktadır [4]. Burada bahsedilen farklılaşma, makine öğrenmesinde kullanılan algoritmaların artık insanların öğrenme yeteneklerini taklit etmelerinden ziyade görev odaklı akıllı veri analizine odaklanması olarak açıklanabilir. Dünyada sahip olunan kaynaklardaki veri bolluğunun kontrol edilebilmesi ve amaca uygun şekilde kullanılabilmesi için makine öğrenimi algoritmalarının analizci ve çıkarımcı faydalarından yararlanması oldukça mümkündür. Öte yandan, bu şekilde veri analizi yapabilen ve akıllıca kararlar veren otonom bir sistemin pek çok alanda kullanılması ile birlikte, kullanıcı sayısındaki artış da dikkate alınmalıdır. Böyle bir artış ele alındığında, verilerdeki aşırı büyüme, ağ kapasitesinin sınırlarını zorlamaktadır. Bu sıkıntıya çözüm olarak da yine makine öğrenmesi destekli ağ yönetimleri ve kontrolleri ile oluşturulabilecek kablosuz ağlar bir çözüm olarak gösterilmektedir [4]. Makine Öğrenimi tarihsel gelişimi incelendiğinde, zaman içinde kullanımının yaygınlaştığı ve böylece daha fazla kitleye ulaşarak günümüzde vazgeçilmez bir araç olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.

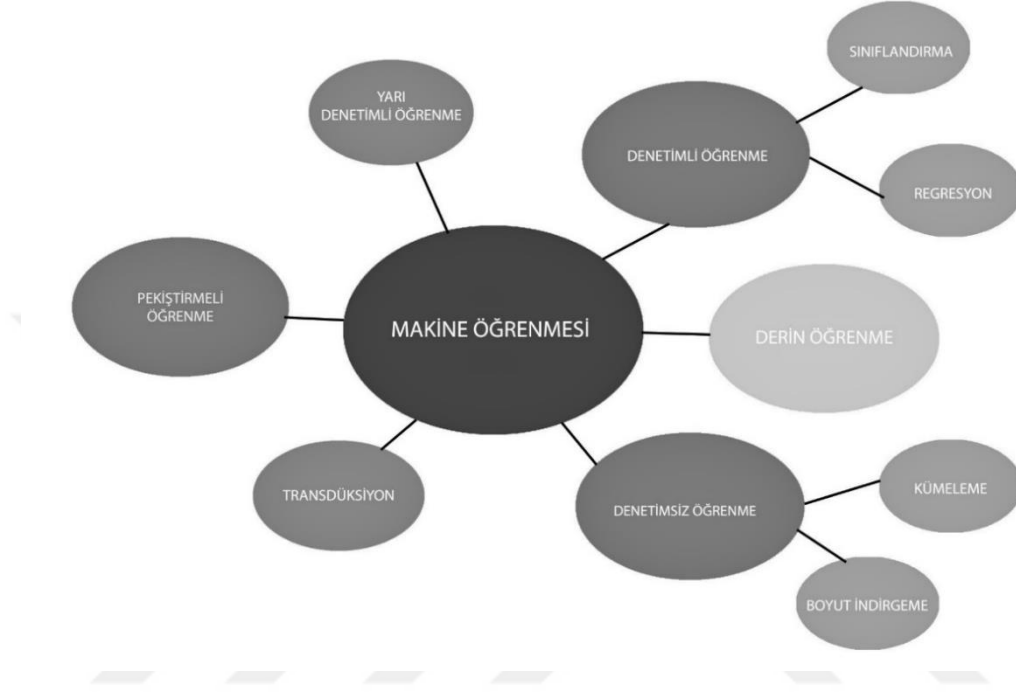
2.2. Makine Öğrenimi Süreci ve Algoritmaları

Kendisine verilen bilgiler ile veri analizi yaparak akıllı kararlar alabilen makine öğrenimi algoritmaları, deneyimlerden yola çıkarak otomatik öğrenme ve geliştirme yeteneği sağlayabilir [5]. Deneyimler kullanılarak, verilerin analizi gerçekleştirilir ve daha sonra uygulanacak olan yeni bir işlemde olası sonuçlar en doğru şekilde tahmin edilmeye çalışılır. Örnek olarak, spam (önemsiz) olan bir e-postanın spam olmayandan ayrılabilirdiği bir e-posta filtresi oluşturmak istendiğinde, uygulanabilecek makine öğrenimi yaklaşımı, spam olan ve olmayan her iki türdeki e-postadan olabildiğince çok örnek toplayarak başlamaktır. Ardından, bu örneklerin spam olup olmadıklarını belirten etiketler kullanılarak, sınıflandırma veya tahmin kuralı oluşturacak olan makine öğrenme algoritması beslenmelidir. Bu işlem sonucunda, etiketlenmemiş olan yeni bir e-posta verildiğinde, daha

önce oluşturulan kurala göre bir tahmin yapılarak, e-postaların spam olup olmadığı ayrıştırılabilir [6]. Makine öğrenimi algoritmaları, daha önceden sahip olunan veriler ile beslenerek öğrenme işlemini gerçekleştirmekte ve daha sonrasında girilen yeni verileri öncekiler ile karşılaştırarak bir analiz sürecinden geçirir. Bu şekilde, veri girdilerinin işlenmesinde örnek modeller kullanılarak, girdiler üzerinde karar verme sürecinin otomatikleşmesi ve yeni modellerin değerlendirilmesi sağlanır (Şekil 1). Öte yandan, makine öğrenimi araştırmalarındaki ana odak noktalardan biri de otomatik olarak modeller üretmektir. Bu modeller, matematiksel bir işlemi gerçekleştirerek belirli bir kural dâhilinde formüle edilmelidir [5]. Böylece, oluşturulan algoritmanın kuralları dâhilinde yeni modeller elde etmek hedeflenmektedir.

Şekil 1: Makine Öğrenimi Süreci [7]

istatistik dalıdır [8]. Burada, öğrenme eylemi gerçekleştiren algoritmaların yaptığı analizlerin başarısı ve çalışma performansları, istatistik ile ilişkilendirilerek ele alınmaktadır. Verilerin algoritmalar tarafından doğru işlenmesi ve ayrıştırılması olayları, istatistiklere dayandırılarak, hesaplamalı analiz olarak görülmektedir.



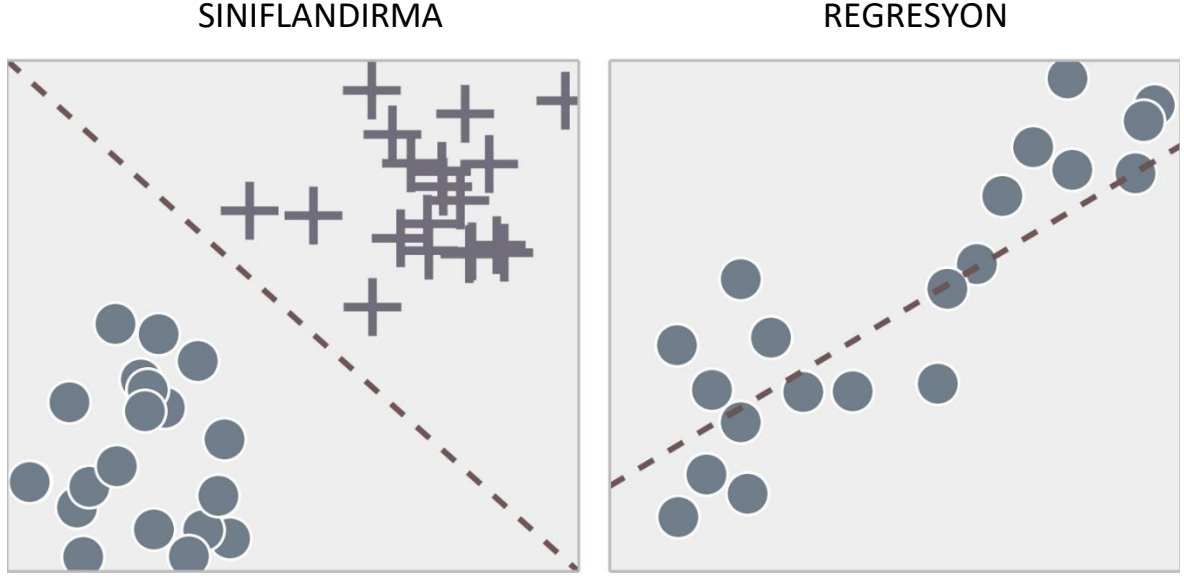
Şekil 2: Makine Öğrenimi Algoritmaları

2.2.1. Denetimli Öğrenme (Supervised Learning)

Denetimli öğrenme, sinir ağlarını ve kararları eğitmek için kullanılan en yaygın tekniktir. Burada, önceden belirlenmiş sınıflandırmalar ile verilen bilgiler oldukça önemlidir. Sinir ağlarına bakıldığında, ağın hatasını belirlemek ve hatayı en aza indirecek şekilde ayarlamalar yapmak için kullanılır. Burada, öğrenme algoritmasının amacı, verilen girdilere göre hataları tespit ederek azaltmaktır. ‘Eğitim Seti’ olarak adlandırılan bu girdiler, algoritmaların öğrenmesi istenilen verilerden oluşmaktadır [8]. Bu veriler belirli bir sınıflandırma yapılarak girdi şeklinde verildiğinde, makine algoritmalarının bunu öğrenebilmesi ve bu duruma uygun sınıflandırmalar yapabilmesi beklenir. Denetimli öğrenmede, makineye tam olarak hangi kalıpları araması gerektiğini söylemek için veriler

etiketlenir [9]. Bu veriler sayesinde makinenin öğrenmesi beklenen bilgiler girdi olarak eklenmiş olur. Daha sonra ise bu veriler doğrultusunda çıktılar elde edilmesi hedeflenerek girdi ve çıktıları temel alan tahmini model geliştirmek için kullanılır.

Denetimli öğrenme işlemleri genellikle, sınıflandırma ve regresyon olarak iki kategoriye ayrılır (Şekil 3). Denetimli öğrenmede, bir nesnenin kategori tahmininin yapılmasını sağlayan sınıflandırma ve sayısal bir ekseninde belirli bir noktanın tahminini yapabilecek regresyon işlemleri bulunur [8]. Sınıflandırma işleminde, makinenin öğrenilmesi sağlanan verilere bağlı olarak, bir nesnenin kategori tahmini yapılabilir. Bu tahminler ile girdi olarak yüklenen veriler dışında sınıflandırılması istenilen farklı bir verinin hangi kategoriye ait olduğu anlaşılabilir. Verilerin sınıflandırılabilmesi için ilk olarak tüm nesnelerin kategorize edilmiş şekilde sisteme tanıtılmaları gerekir. İşlevin doğruluğunu kontrol etmek için de bir doğrulama kümesine ihtiyaç duyulur. Bu aşamalar tamamlandıktan sonra program çalıştırılarak, elde edilen çıktıların doğruluğu kontrol edilir ve çıkan hatalar düzeltilerek makinenin öğrenme eğitimi yapılır. Böylece, örnek verilerin tanıtılarak makineye sınıflandırma yapması öğretilmekte ve daha sonra gösterilen örneklerin hangi sınıfa ait olduğunun kullanılan algoritmalar ile tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Sınıflandırma işlemi için gösterilebilecek en yaygın örneklerden biri, gereksiz e-postaların ayrıştırılması için kullanılan algoritma çeşididir [6]. Günümüzde, spam filtreleme, dil algılama ve benzer belgelerin aranması gibi uygulamalar için kullanılan algoritmalar, denetimli öğrenmenin sınıflandırma işlemi sayesinde istenilen sonuçları çıktı olarak bize sunabilir. Öte yandan regresyon işleminde ise, sınıflandırma işleminde uygulanan bir kategori tahmini yerine, bir sayı tahmini yapılmaktadır. Regresyon algoritmaları, girdilerin değişkenliklerine bağlı olarak sayısal bir değer öngörür. Bu işlemdeki asıl amaç, girdi ve çıktı değişkenlerine bağlı olarak bir eşleme fonksiyonu tahmin etme üzerinedir ve girdi değişkenleri ile sürekli fonksiyonlar eşlenmeye çalışılır. Regresyon işlemi yapılırken, girdi olan verilerin sonuçlarına göre süreklilik gösteren lineer bir grafik oluşturulur. Bu grafiğe göre, eski verilerin sonuçları temel alınarak yeni verilerin sonuçlarının tahmin edilmesi beklenmektedir. Denetimli Öğrenme sürecinde performansın yüksek olması, girdilerin çokluğuyla doğru orantılıdır.

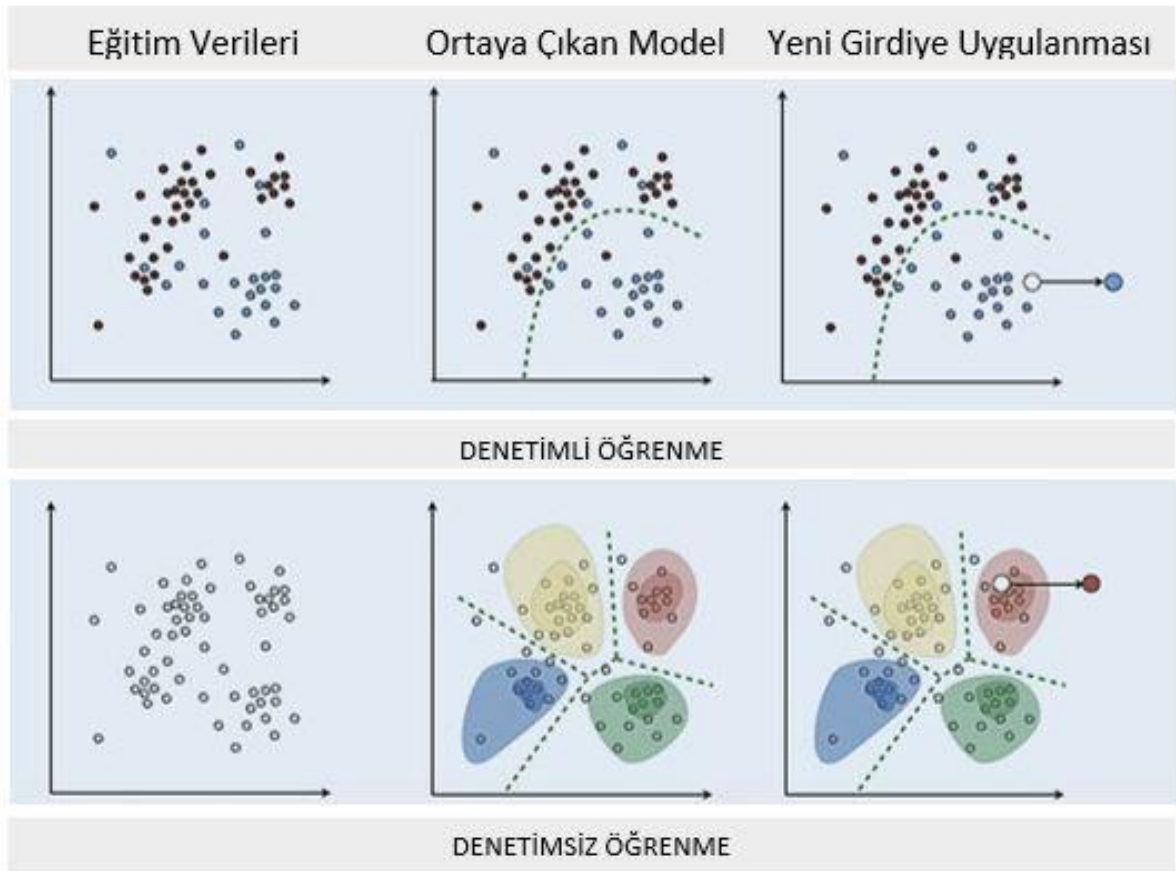


Şekil 3: Denetimli Öğrenme: Sınıflandırma & Regresyon

2.2.2. Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)

Denetimsiz öğrenmede verilerin etiketi bulunur. Bunun anlamı, makinenin herhangi bir kategori olmaksızın tüm verileri taraması olarak açıklanabilir. Başka bir deyişle, herhangi bir sistem oluşturmadan ve makinenin nasıl öğrenmesi gerektiği söylenmeden, makinenin öğrenmesini sağlamak amaçlanmaktadır [8]. Bu öğrenme türünde, verilerin ayrıştırılmasında, önceden belirlenen sınıflandırmalar yapılmadan, makinenin kendi kendine verilerin benzerliklerini karşılaştırarak bir çıktı üretmesi beklenir. Girdilere göre verilerin gruplanması ve yorumlanması amaçlanır. Denetimsiz öğrenmede, denetimli öğrenmenin aksine, hiçbir öğretici etken bulunmaz ve amaç, girdideki düzenleri bulmaktır. Girdi uzayında, belirli modellerin diğerlerinden daha sık meydana geldiği bir yapı vardır ve nelerin olup olmadığı görmek istenir [2]. Denetimsiz öğrenmenin işleyişini açıklayabilmek için örnek olarak, makineye kedi ve köpeklerden oluşan bir görselin girdi olarak verildiği düşünüldüğünde, makinenin herhangi bir öğretilmiş etiket olmadan görsel üzerinde bir gruplama yapabilmesi için, görseldeki şekillerin benzerlik ve farklılıklarına göre şekilleri sınıflandırılması beklendiği görülmektedir. Bu şekilde, makinenin, daha önce belirtilmeyen kalıpları ve bilgileri keşfetmek için kendi başına çalışmasına izin verilir. Böylece, belirli bir sınırlama ya da tanımlanmış bir kategorizasyon olmadan, benzerlik esaslı analiz işlemi uygulanmasına imkân tanınmış olur.

Denetimsiz öğrenme, günümüzde kullanılan pek çok hizmetin gelişmesinde ve uygulanmasında önemli rol oynar. Bu hizmetlerden en yaygın olanlarından, Netflix, YouTube ve Spotify gibi öneri sistemlerine, Google ve Baidu gibi arama motorlarına, Facebook ve Twitter gibi sosyal medya yayınlarına, Siri ve Alexa gibi ses yardımcılara ve benzer uygulamaların gelişimine katkı sağlamıştır [9]. Denetimsiz öğrenme ile, insanların bu uygulamaları kullanım sıklıkları, amaçları, istekleri ve ihtiyaçları hesaplanabilir. Böylece, insanların aktif kullanım alanlarının tespit edilmesi ve kişiye özel önerilerin hazırlanması mümkün olmaktadır.



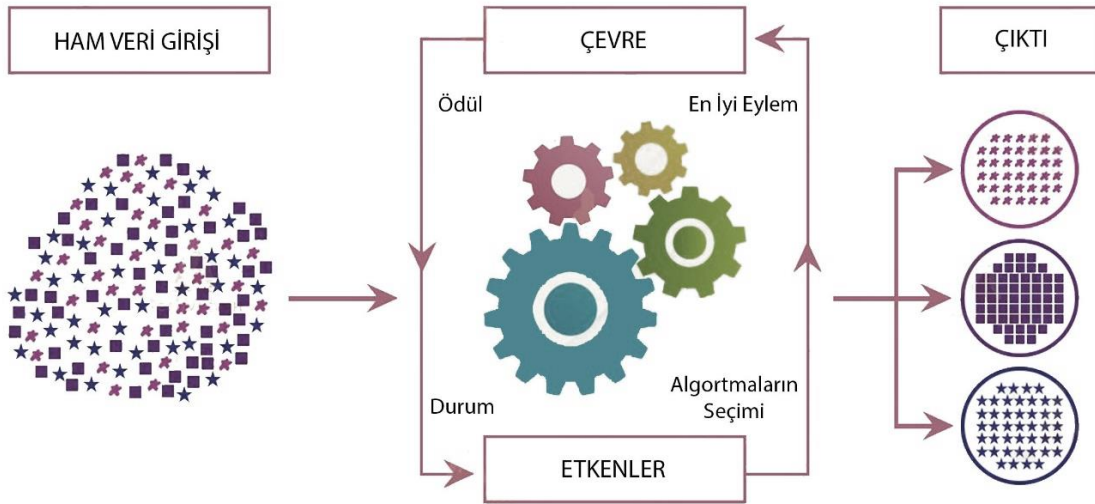
Şekil 4: Denetimli Öğrenme ve Denetimsiz Öğrenme, [10]

Şekil 4'te görüldüğü gibi denetimli öğrenmede, her eğitim örneğinin bir temel doğruluk seviyesi vardır. Model, bir karar sınırını öğrenir ve etiketlemeyi yeni verilere kopyalar. Denetimsiz öğrenmede ise, eğitim örneklerinin kesin referans etiketleri yoktur. Model, kümeler gibi yapıları tanımlar ve kümelere yeni veriler atanabilir [10]. Kullanıcının

isteğine bağılı olarak, tahmin yapılması beklenen çalışmalarda verileri tanımlamak için modelin eğitilmesi gerektiği zaman denetimli öğrenme tercih edilirken, verilerin keşfedilmesi amaçlanan çalışmalarda ise kümeleme ve ayrıştırma işlemi yapılacağı için denetimsiz öğrenme kullanılır.

2.2.3. Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Sistemin çıktısının bir dizi eylemden oluştuğu uygulamalarda, tek bir eyleme bakılmaksızın, hedefe ulaşmada kullanılan eylemlerin oluşturduğu politikalar önemlidir. Bu durumda, makine öğrenimi programı politikaların iyiliğini değerlendirebilmeli ve bir politikanın oluşturulabilmesi için geçmişteki iyi eylem dizilerinden ders almalıdır. Bu şekilde işleyen öğrenme yöntemlerine ise pekiştirmeli öğrenme denir [2]. Pekiştirmeli öğrenme, en iyi sonuca ulaşılabilmesi için hangi eylemlerin yapılması gerektiği ile ilgilenilen ve amaca yönelik ne yapılması gerektiğini öğrenen bir makine öğrenimi yaklaşımıdır.



Şekil 5: Pekiştirmeli Öğrenme İşleyiş Diyagramı

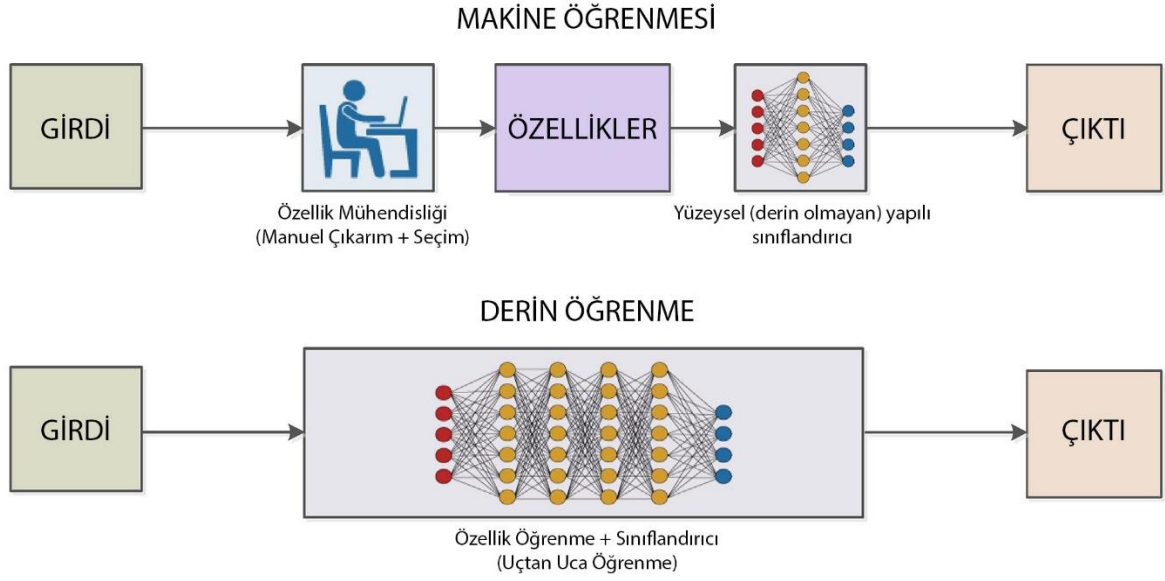
Bu öğrenme türü genellikle oyun oynama alanında, en yüksek puana ulaşma hedefini gerçekleştirebilmek için pek çok hamle arasından en iyisini seçmek için kullanılır. Bir dizi

deneme çalışmasından sonra, algoritmaların en yüksek puanı kazanabilmek için, doğru eylem sırasını öğrenerek mevcut engelleri aşması ve olabildiğince hızlı bir şekilde bu işlemi gerçekleştirmesi beklenir (Şekil 5). Örnek olarak bir satranç oyunu düşünüldüğünde, oyuncu bir hamle kararı aldığı zaman muhtemel hamlelerin tahmin edilmesi ve karşıt hamlelerin planlanması yapılabilir. Öte yandan, robotik alanda kullanılan pekiştirmeli öğreniminde, robotlara, bir öğreticinin gösteremediği görevleri öğretme, öğrenilen beceriyi yeni bir görev için uyarlama ve optimizasyona ulaşma yeteneğini sağlamak istenir.

Pekiştirmeli öğrenmedeki amaç, verimli öğrenme algoritmaları geliştirmenin yanı sıra algoritmaların yararlarını ve sınırlamalarını anlamaktır [11]. Denetimli ve denetimsiz öğrenme ile karşılaştırıldığında, pekiştirmeli öğrenmenin geri bildirim türü bir algoritmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu sayede, elde edilen her sonuç için algoritmalar eğitim altındaki modele geri bildirim sağlamak ve pekiştirmeli öğrenimi gerçekleştirir.

2.2.4. Derin Öğrenme (Deep Learning)

Derin öğrenme (Deep Learning, DL), makine öğreniminin bir alt dalıdır ve genellikle yapay sinir ağları kullanılır. Görüntüler, sesler ve metinler gibi verileri anlamlandırmaya yardımcı olan çoklu temsil ve soyutlama düzeylerini öğrenmekle ilgilidir [12]. Derin öğrenme, verileri el işçiliği ile işlemek yerine, birden çok katmandan oluşan bir basamak aracılığıyla verilerin doğrusal olmayan ve karmaşık özellik soyutlamasının otomatik olarak işlenmesine izin verir. Bahsedilen karmaşık ve doğrusal olmayan verilerin soyutlanmasında kullanılan işleme katmanlarıyla, birbiri altında kalan gizli modellerin tanımlanması ve optimizasyon yoluyla tahmin edilebilir olması sağlanır [13]. Öte yandan, derin öğrenme modellerinin hiyerarşik yapılarının derinleşmesi, model eğitiminin ve parametre optimizasyonunun daha zor ve zaman alıcı hale gelmesine sebep olmuştur. Bu sorunları gidermek ve derin öğrenme algoritmalarının geliştirilebilmesi için zamanla çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar ile girdi olarak yüklenen verilerin yapılandırılmasını güçlendirmek ve gizli katmanların daha sağlam özellikler keşfetmelerini sağlamak amaçlanmıştır [13]. Günümüzde ise derin öğrenme algoritmalarının geliştirilmesi ve kullanım alanlarını genişletmedeki çalışmalar hala devam etmektedir.



Şekil 6: Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Karşılaştırması [13]

Derin öğrenme katmanlarını ve sınıflandırma işlemini anlayabilmek için örnek olarak görüntülerin analizi ele alınabilir. Bir görüntü, piksel dizisi biçiminde gelmektedir ve ilk katmanda öğrenilen özellikler, görüntüdeki belirli yönlerde ve konumlarda kenarların varlığını ya da yokluğunu temsil eder. İkinci katmanda, kenar konumlarındaki varyasyonlardan bağımsız olarak, belirli kenar düzenlemelerine bakılarak motifler tespit edilir. Üçüncü katmanda ise motifler, tanıdık nesnelerin parçalarına denk gelen daha büyük kombinasyonlar halinde birleştirilebilir ve sonraki katmanlarda nesneler bu parçaların kombinasyonları olarak algılanabilir [14]. Derin öğrenmenin temel yönü, girdilerin katmanlarda işlemlerden geçmesinin ardından elde edilen verilerin, manuel bir müdahale olmadan, tekrar yeni girdi olarak ele alınması ve diğer katmanlarda bu verilerin kullanılması olarak değerlendirilebilir. Bu noktada insan faktörü olmadan genel amaçlı bir öğrenme yöntemi kullanılarak verilerden öğrenme işlemi gerçekleştirilebilir. Şekil 6’da verilen görsele bakıldığında, derin öğrenmede manuel bir işleme gerek duyulmaması ve sinir ağı ile uçtan uca öğrenme yöntemi kullanılmasının, makine öğrenimi ve derin öğrenme arasındaki en temel fark olduğu anlaşılmaktadır.

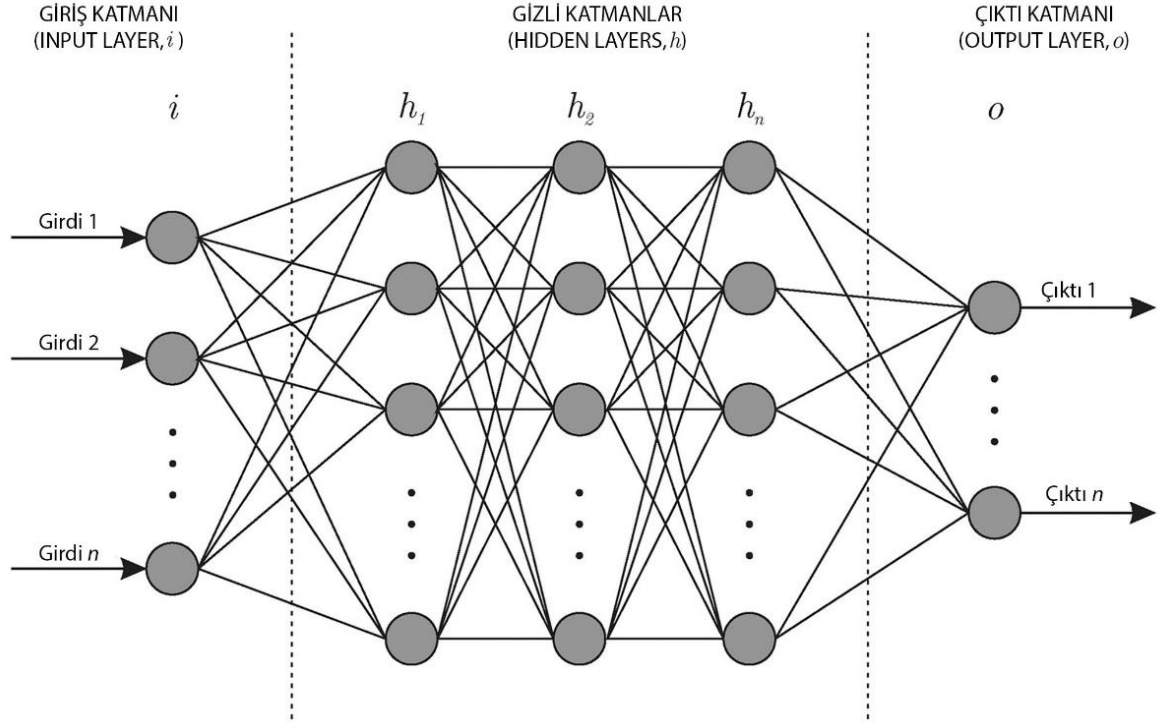
Derin öğrenme algoritmalarının en etkileyici biçimlerinden biri Evrişimli Sinir Ağlarıdır (Convolutional Neural Networks, CNN). CNN’ler öncelikle zor görüntü güdümlü görüntü tanıma görevlerini çözmek için kullanılır ve girdinin görüntülerden oluşacağı

temeline odaklanır [15]. Görüntülerdeki çeşitliliği baz alan bu algoritmalar, görüntüleri sınıflandırma, benzer görüntülerin kümelenmesi ve nesne tanımlama gibi işlemler için genellikle tercih edilen algoritma türüdür. Evrişimli sinir ağları, evrişim katmanları, havuzlama katmanları ve tam bağlantı katmanları gibi birden fazla ögeden oluşmakta ve içerisinde bulunan geri yayılım algoritması aracılığıyla özelliklerin uzamsal hiyerarşilerini otomatik ve uyarlanabilir bir şekilde öğrenmek için tasarlanmıştır [16]. CNN'lerin sahip olduğu bu ögeler ile öncelikle öznitelik çıkarma işlemleri yapılabilirken sonrasında ise çıkartılan bu özniteliklerin sınıflandırılması gibi işlemler yapılabilir. Görseller, içerisinde belirlenmiş değerler barındıran ve piksellerden oluşan matrisler olarak düşünüldüğünde, evrişim katmanları girdi olarak temel aldıkları görsel boyutları üzerinde yoğunlaşarak bir çeşit filtreleme yapmaktadır. CNN algoritmalarındaki öğrenilen parametreler ise bu filtrelerdeki değerleri göstermektedir. Bu şekilde, görseller üzerinde analiz ve çıkarımlar yapılması mümkün olmaktadır.

Günümüzde, yüz ve ses tanıma sistemlerinde, alarm sistemlerinde, otonom araç teknolojilerinde, doğal dil işleme konularında ve sınıflandırma sistemleri gibi birbirinden farklı pek çok alanda derin öğrenme kullanılmaktadır [17]. Derin öğrenme algoritmalarının geliştirilmesi ve kullanım alanının artması, kullanıcıların istedikleri bilgiye erişimlerini kolaylaştırarak zamandan da tasarruf edilmesine olanak sağlar. Öte yandan gelişmekte olan derin öğrenmenin alt dalları niteliğindeki kavramlar ile farklı algoritmalar geliştirilmekte olup çeşitli çalışmalar da yapılmaktadır.

2.2.4.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN)

Makine öğrenimi temelde akıllı makinelerin deneyim yoluyla öğrenerek çevrelerine uyum sağlayabilmeleri gerekliliğine dayanır. Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme gibi makine öğreniminin ana yaklaşımları incelendiğinde ise bu yaklaşımları gerçekleştirmek için çeşitli çerçeveler oluşturulduğu bilinmektedir. Bu çerçeveler arasında, insan zekasını taklit edebilme yeteneğine sahip olan Yapay Sinir Ağları (YSA), en önemlileri olarak kabul edilmektedir [18]. YSA'lar, makine öğreniminin gelişiminde, verilerin işlenebilmesi ve istenilen sonuçların elde edilebilmesi için uygulanan öğrenme işlemlerinde kullanılırlar.



Şekil 7: Yapay Sinir Ağı Mimarisi [19]

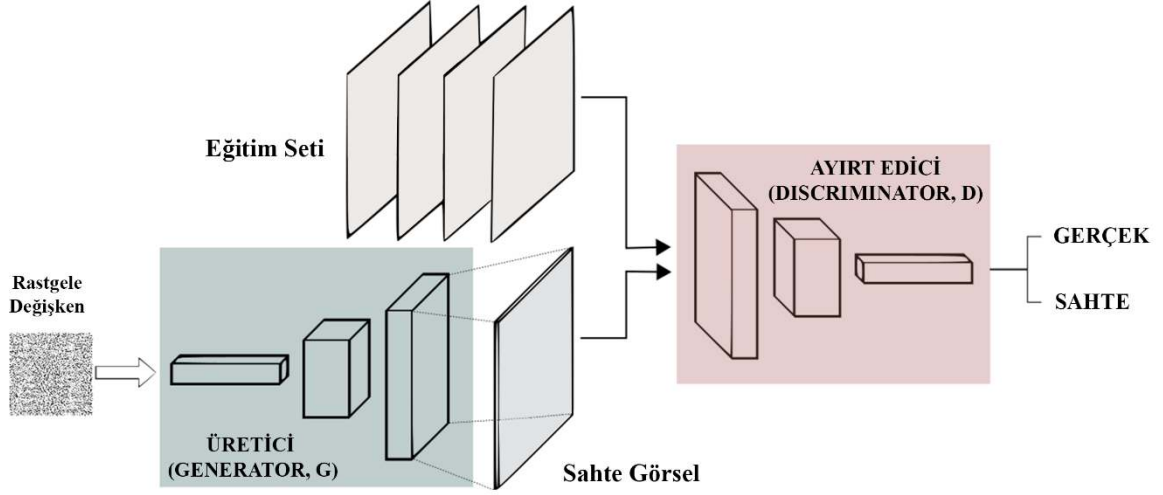
YSA'lar, bir nöron giriş katmanından, bir veya iki gizli nöron katmanından ve son olarak bir nöron çıkış katmanından oluşurlar [20] (Şekil 7). İşlenmesi için girdi olarak yüklenen veriler giriş katmanında yer alır ve bu katmanda veriler üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan verilerin gizli katmana aktarılması sağlanır. Gizli katman, öğrenme işleminin gerçekleştiği ve verilerin transfer edildiği katmandır. Çıkış katmanı ise, giriş verilerine göre sistemin öğrenmesi istenilen çıkış değerlerinin yer aldığı katmandır ve sistemin çıktısı bu katmandan alınır [21]. Çok katmanlı olan ve verilerin işlenmesinde belirli bir süreci izleyen YSA'lar insan sinir sistemine benzetilmekte ve biyolojik sinir ağlarını taklit eden sentetik yapılar olarak tanımlanmaktadır [22]. Bu benzetme, YSA'nın insan beyninin özelliklerini taklit eden algoritmalarından oluşmasına ve bu sayede yeni bilgiler üreterek öğrenmesine ve keşfetmesine dayatılmaktadır. İnsan beyninin nöronlarına benzer şekilde YSA'lar da birbirine bağlı nöronlardan oluşmaktadır.

Makine öğrenimi ve yapay sinir ağları incelendiğinde, sinir ağlarının makine öğreniminin gelişmesinde ve desteklenmesinde rol aldığı anlaşılmaktadır. Makine öğreniminin alt dallarından biri olan derin öğrenmede olduğu gibi, yapay sinir ağlarında da öğrenme işlemi gerçekleşirken bir insan etkeni olmadan kendi kendine karar veren bir sistem mevcuttur. Yapay sinir ağlarını makine öğrenmesinden ayıran diğer unsurlar içerisinde,

makine öğreniminde örnek veriler ve deneyimler yardımı ile öğrenme ve gelişme işlemi sürdürülürken, yapay sinir ağları içinde bulunan çok katmanlı sistem sayesinde verilerin aktarılması sırasında bilgi iletiminin sağlanması, hesaplama ve problem çözmede daha fazla yeteneğin olması gibi özellikler örnek olarak gösterilebilir. Bu farklılıklar ele alındığında ise, yapay sinir ağlarının temelde makine öğrenmesine hizmet ettiği ve makine öğrenmesinin gelişmesinde etkin rol oynadığı düşünülebilir.

2.2.4.2. Üretken Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Nets, GAN)

Üretken çekişmeli ağlar, üretken bir modelden ve bir ayırmacı modelden oluşmaktadır. Üretken modelin (generator) amacı, gerçek görüntülere benzeyen görüntüleri sentezlemektir. Ayırt edici modelin (discriminator) amacı ise, gerçek görüntüler ile sentezlenmiş görüntüleri birbirlerinden ayırmaktır. Bu noktada hem üretken hem de ayırt edici modeller çok katmanlı algılayıcılar olarak gerçekleştirilir [23]. Bu ağların her ikisi de aynı anda ve birbirleri ile rekabet halinde olacak şekilde eğitilirler. Üretken modeldeki ağların gerçek görüntüler ile doğrudan bir etkileşimi yoktur ve öğrenmenin gerçekleşmesi için tek yol ayırt edici model ağları ile etkileşim içinde olmasıdır. Ayırt edici ağlar, gerçek görüntüler ile sentezlenmiş görüntülere erişebilir ve görüntünün nereden geldiğini ayırt ederek hata sinyali oluşturabilir. Bu hata sinyali sayesinde üretken ağlar eğitilerek gerçek görüntüye daha yakın olan kaliteli sentezler üretilebilir [24]. Üretken çekişmeli ağlar yeterince eğitildikten sonra, gerçeğe benzer yeni görseller oluşturulabilir. Bu ağların kullanılması ile, ağı besleyen görsellere benzer olan fakat daha önce var olmayan yeni görseller elde etmek mümkündür. Üretici ağlar olan jeneratör, ayırt edici ağları kandırmaya çalışmak amacı ile rastgele değişken olan girdiyi verilerin bir taklidine dönüştürmektedir. Ayırmacı ağlar ise jeneratör tarafından oluşturulan sahte görseller ile gerçek görselleri belirlemeye çalışmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8: Üretken Çekişmeli Ağların Eğitim Süreci

Güçlü bir üretken sınıfı olan üretici çekişmeli ağlar, veri örneklerinin dağılımlarına göre, gerçek örneklerle aynı dağılıma uygun olan yeni örnekler oluşturmayı öğrenirler. Potansiyel olarak sonsuz yeni örnek üretme yeteneği, görüntü ve görüntü hesaplama, konuşma ve dil işleme ve bilgi güvenliği gibi birçok alanda büyük uygulama değerine sahiptir [25]. Üretici çekişmeli ağları oluşturabilmek için PyTorch, TensorFlow ve Keras gibi derin öğrenme kütüphaneleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ağları kullanarak, üretici ve ayırt edici algoritmaları örnek girdiler ile besleyerek yeni sonuçlar elde etmek mümkün olduğundan, görselleştirme ve tasarım alanlarında yeni ve farklı sonuçlar elde etmek de mümkündür.



Şekil 9: Çeşitli Üretken Çekişmeli Ağ Varyasyonları Kullanılarak Oluşturulan Görseller [25]

Şekil 9’da verilen örneklerin birinde BEGAN adı verilen üretken çekişmeli ağ modeli ile yüksek kalitede üretilen çeşitli pozlar, ifadeler, cinsiyetler ve ten renkleri gibi örneklerin oluşturulduğu gösterilmektedir. Bir diğer örnekte ise farklı bir üretken çekişmeli ağ türü kullanılarak ağın eğitilmesine bağlı olarak oluşturulan görsellerin kalitesinin artırıldığı gösterilmektedir. Üretken çekişmeli ağların birçok varyasyonu vardır fakat genel mantık hepsinde aynıdır. Jeneratörün bir ayrıştırıcı ile beraber çalışarak sahte örnekler üretirken, ayrıştırıcının sahte ile gerçeği birbirinden ayırması temel alınır. Böylece iki farklı ağ aynı anda uzmanlaşmaktadır.



3. MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KULLANIM ALANLARI

Makine öğreniminde yer alan süreçler, veri madenciliği ve tahmin modellemesi ile ilişkili olarak düşünülebilir. Veriler kullanılarak kalıpları aramak ve program eylemlerini ayarlamak mümkündür. Yeni veri üretiminin ne şekilde yapıldığı ve bu sürecin ayrıntıları düşünüldüğünde, yapılan işlemlerin rastgele olmadığı ve belli kalıplara bağlı olarak çıkarımlar yapıldığı söylenmektedir. Bu durum tüketici davranışları üzerinden ele alındığında, insanların bir süpermarkete gittikleri zaman, yazın dondurma kışın baharat almaları gibi, satın aldıkları ürünlerin rastgele olmaması ile örneklendirilebilir [2]. Veriler belirli modellere sahiptir ve makine öğreniminin işi de süreci tam olarak tanımlayamasa da faydalı yaklaşımlar oluşturabilmesidir. Bu sayede ileriye dönük ve gerçeğe yakın tahminler üretilerek ihtiyaçları karşılayacak sonuçlar elde edilebilir.

Makine öğrenimi yöntemlerinin büyük veri tabanlarına uygulanması veri madenciliği olarak tanımlanır [2]. Bu tanımda yapılan benzerlik, hammadde olarak çokluğu ifade etmek ve işlendiği durumda az miktardan çok değerli malzemenin elde edilmesi ile açıklanabilir. Günümüzde teknolojinin gelişmesine bağlı olarak verilerin kaydedilmesi ve depolanması her alanda yaygınlaşmıştır. Bu şekilde, büyük bir veri kümesinin oluşması ve istenilen bilgiye ulaşmak da kolaylaşmıştır. Elde edilen verilerin sınıflandırılmalarına ve işleme yöntemlerine göre pek çok farklı alanda analiz ve üretim yapılabilmektedir. Finansal alanda, bankalarda kredi uygulamalarında, dolandırıcılık tespitinde ve borsada kullanılmak üzere modeller oluşturabilmek için geçmiş verilerin analizi yapılmaktadır. Üretim alanında, optimizasyon, kontrol ve sorun giderme için öğrenme modelleri kullanılmaktadır. Tıpta, tıbbi teşhisler ve geliştirilen sağlık elemanları için öğrenme programları kullanılmaktadır. Bilimde, fizik, astronomi ve biyolojideki büyük miktarda veri ancak bilgisayarlar tarafından yeterince hızlı analiz edilebilmektedir. Ayrıca, görme, konuşma, tanıma ve robotikteki birçok soruna çözüm bulmak için de makine öğreniminden yararlanılmaktadır [2]. Yapay zekânın da bir parçası olan makine öğrenimi sayesinde, değişiklikleri öğrenebilen ve bunlara uyum sağlayabilen sistemler oluşturularak tasarımcının herhangi bir eylemde bulunmasına ve çözüm sunmasına gerek kalmamaktadır.

3.1. Üretimde Makine Öğrenimi

İmalat endüstrisi, kalite iyileştirme girişimleri, üretim maliyet tahmini, süreç optimizasyonu ve müşteri gereksinimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi gibi ihtiyaçlarının karşılanmasında yoğun veri kullanılabilirliğinden yararlanmak için desteğe ihtiyaç duymaktadır [26]. Teknolojinin ve bilgisayar yazılım programlarının gelişmesiyle birlikte üretim alanındaki veri akışlarının sürdürülebilirliğini kolaylaştırmak üzere yeni potansiyeller sunulmaktadır. Küresel düzeyde üretimin temel zorlukları ele alındığında, gelişmiş üretim teknolojilerinin benimsenmesi, bilgi yönetimi ve yapay zekâ sistemlerinden yararlanma, sürdürülebilir üretim ve ürünler, ürünlerin hizmetlerinde ve süreçlerinde yenilikler, yeni teknolojileri benimsemek için endüstri ve araştırma arasında yakın iş birliği ve yeni üretim yönetimi paradigmaları gibi önemli çalışmalar ele alınmaktadır [27]. Bu temel zorluklar düşünüldüğünde, üretim programlarının yanı sıra üretilecek olan ürün ve işbirlikçi ağların da karmaşıklık içinde olduğu söylenebilir.

Makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak, pazarlamadan satışa ve bakıma kadar bir işletmenin pek çok yönden geliştirilmesi sağlanabilir. Bu noktada, makine öğreniminin, veri tabanlarından bilgi keşfi sağlayabilmesi oldukça önemlidir. Günümüz karmaşık üretim sistemlerinde karşılaşılan bazı önemli zorlukların üstesinden gelebilmek için makine öğrenimi teknikleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşım ile, farklı tür ve kaynaklardaki verilerde karmaşık ve doğrusal olmayan kalıpların bulunabilmesi ve ham verilerin sınıflandırma ve regresyon gibi uygulamalar için özellik alanlarına dönüştürülebilmesi mümkündür [28]. Bu sayede tahmin ve algılama işlemleri sonrasında ham veriler amaca yönelik olarak kullanılabilir.

Üretim alanında, belirli bir sorunun gereksinimlerini net bir şekilde anlamak ve bu gereksinimlere uygun olan tekniği seçebilmek oldukça önemlidir. Genel olarak bakıldığında, makine öğreniminin bir üretim uygulamasında yararlı olabilmesi için, farklı veri türlerini kullanabilme, aykırı değerler ve belirsiz verileri ele alabilme, gerçek zamanlı işlem yapabilme, büyük veri kümeleri ve yüksek boyutlu verilerle çalışabilme, anlaşılması kolay sonuçlar üretebilme ve uygulamanın basit olması gibi yeteneklere sahip olması gerekir [29]. Bu gereksinimler karşılanabildiği sürece, üretim alanında makine öğrenmesinden beklenen yararın sağlanabileceği düşünülmektedir. Makine öğrenimi yöntemleri uygulanırken belirli bir model izlenir. Sürecin ana aşamaları problemi formüle etmek, temsilini belirlemek, eğitim verilerini toplamak, öğrenilen bilgiyi değerlendirmek ve bilgi tabanını kullanmak

olarak ifade edilmiştir [30]. Belirtilen bu işlem sırası ile sürecin eksiksiz ve verimli bir şekilde tamamlanması amaçlanmıştır.

Üretim ortamının hızlı değişen dinamik bir yapıya sahip olması dikkate alındığında, değişen ortamlardan otomatik olarak öğrenmek ve bunlara uyum sağlamak gibi özellikler makine öğreniminin güçlü yönleri olarak değerlendirilmektedir [31]. Değişimlere hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmek ve yeni şartlara uygun olan analizler ile sonuçlar üretebilmeyi sağlayan bu potansiyel sayesinde, meydana gelen değişimlerden kaynaklanabilecek sorunların önüne geçme imkânı sunar. Bu sayede, sistem tasarımcılarının öngöründe bulunma ve olası problemlere çözüm bulma ihtiyaçları ortadan kaldırılabilir. Makine öğrenmesinin üretim sürecindeki kullanımı, adapte edilebilirlikte ve tasarımcıyı olası sorunlara çözüm arama zahmetinden kurtarma gibi durumlar için oldukça faydalıdır.

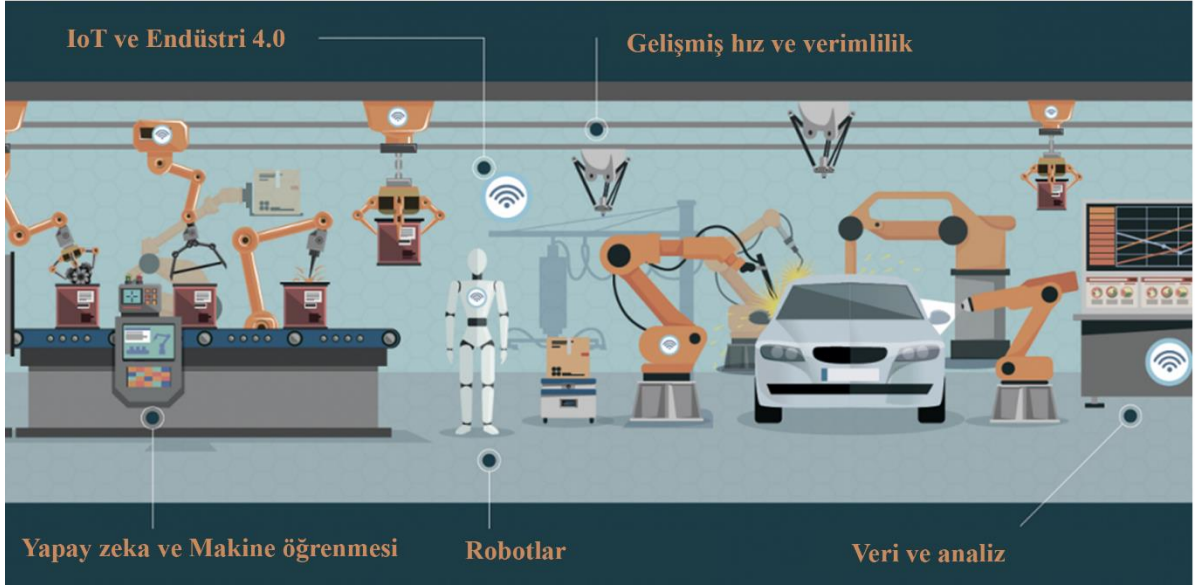
Makine Öğrenmesi tekniklerini var olan kaynaklardan bilgi oluşturmak için tasarlanmışlardır ve var olan kaynak ancak analiz edildiğinde, bir bilgiye dönüştüğünde ya da tahminler üretmemize olanak sağladığında faydalı hale gelir [2]. Kaynakların işlenmesinde kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları, kaynaklardan yararlı bilgilerin elde edilmesini ve yeni çıkarımlar yapılabilmesini sağlama özelliği ile imalat alanı için uygun bir araç olarak düşünülebilir. Teknik, finansal ve bilgi kısıtlamaları ile çalışılan üretim programlarında gerçek veri elde etme mücadelesi göz önüne alındığında, imalat alanında makine öğrenmesi tekniklerinin sağladığı faydalar oldukça önemli bir yer tutar [32]. Algoritma alanındaki hızlı tempolu gelişmeler, artan ulaşılabilir kaynaklar ve artan hesaplama gücü göz önüne alındığında, makine öğrenmesinin üretimdeki uygulamalarını artırabileceği düşünülmektedir.

Verilerin yararlı olup olmadığını analiz edebilmek amacıyla kontrol noktaları seçme işlemi, makine öğrenmesi teknikleri sayesinde yararsız olduğu düşünülen verilerden yeni bilgiler türetilmesi ile yetersiz ve eski bir sistem olarak değerlendirilebilmektedir. Bu durum, genel üretim programında tüm süreç düşünüldüğünde daha fazla veri yakalamayı ve farklı durumları belirlemeyi sağlar. Tüm bu özellikler dikkate alındığında, makine öğrenimi tekniklerinin üretim uygulamalarındaki gereksinimlere ve temel zorluklara cevap verme konusundaki teorik yetenekleri incelenmek amacıyla tablo oluşturularak bir değerlendirme yapılmıştır [28] (Tablo 1). Yapılan analizler göz önüne alındığında, makine öğrenim tekniklerinin belirtilen gereksinimleri karşılaması konusunda ümit verici olduğu söylenebilir.

ÜRETİM GEREKSİNİMLERİ	MAKİNE ÖĞRENİMİNİN TEORİK OLARAK GEREKSİNİMLERİ KARŞILAMA YETENEĞİ
Yüksek boyutlu sorunları ve veri kümelerini makul bir çabayla ele alma becerisi	ML tekniklerinden bazıları çok boyutlulukla idare etmede yetkindir. Fakat bu duruma eşlik eden aşırı uyumluluk sorunu dikkate alınmalıdır. (Widodo & Yang, 2007; Yang & Trew, 2004).
Sonuçların olası karmaşık doğasını azaltmada ve uygulayıcılara saydam ve net öneriler verme yeteneği	ML, var olan kaynaklardaki örüntüleri çıkarmada ve gelecek durumlarla alakalı yaklaşımlar sağlamaya elverişlidir (Alpaydın, 2010). Bu yeni bilgiler süreç yöneticilerin karar vermesinde ve otomatik bir şekilde sistemi geliştirmesinde yardımcı olabilir.
Değişen çevreye karşılanabilir bir efor ve maliyetle uyum sağlama yeteneği	Makine Öğrenimi, yapay zekanın bir parçası olduğu ve dolayısıyla değişiklikleri öğrenip uyum sağlayabildiği için, ‘sistem tasarımcısının olası tüm durumlar için öngörüle bulunması ve çözümler sunması gerekmez’ (Alpaydın, 2010). Otomatik olarak değişen ortamlardan öğrenme ve bunlara uyum sağlama, makine öğreniminin en önemli gücüdür (Lu, 1990; Simon, 1983).
Sonuçlardan çıkarım yaparak var olan bilgiyi iletme yeteneği	ML, mevcut verilerdeki örüntülerin belirlenmesi gibi örneklerde olduğu gibi, yeni ve olası bilgilerin oluşturulmasına katkı sağlar (Alpaydın, 2010; Pham ve Afify, 2005).
Özel ilgilenmeye ihtiyaç duymadan var olan bilgiyle çalışabilme yeteneği ve ilk başta çok detay bilgi olmadan işleme başlayabilme	ML teknikleri, var olan kaynaklardan bilgi aktarımı sağlamak için tasarlanmıştır (Alpaydın, 2010; Kwak ve Kim, 2012). Hali hazırda olan bilgiler ancak kullanıma hazır hale getirildiğinde ve analiz edildiğinde fayda sağlar (Alpaydın, 2010).
İlgili süreç içi ve arası ilişkileri, ideal olarak korelasyonu ve nedenselliği belirleme yeteneği	Bazı ML tekniklerinin amacı ilişkileri açıklayan somut düzen ve tekrarları tespit etmektir (Alpaydın, 2010).

Tablo 1: Makine Öğreniminin Üretim Gereksinimlerini Karşılama Yeteneği [28]

Üretimde makine öğreniminin sağladığı faydalara bakıldığında, yüksek boyutlu problemlerin ve verilerin yönetilebilmesi, kaynak programların sağladığı algoritmaların uygulamalarda kullanılabilirliği artırması, önceden bilinmeyen örtük bilgilerin keşfedilerek veri kümelerindeki ilişkilerin belirlenmesi ve dinamik sistemden öğrenme yeteneği ile değişen ortamlara uyum sağlayabilme becerisi gibi avantajların elde edildiği görülmektedir [28]. Bu avantajlar sayesinde, üretim sürecindeki sorunların çözülmesi ve bu sürecin iyi yönde geliştirilebilmesi için makine öğrenmesinin neden gerekli olduğu da anlaşılmaktadır. Üretim alanındaki farklı aşamalarda farklı amaçlarla kullanılabilen makine öğrenmesi teknikleri ile istenilen sonuca en kısa ve en doğru şekilde ulaşmak hedeflenmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Üretimde Dijital Dönüşüm [33]

Öte yandan, üretimde makine öğrenmesi uygulamasının kullanılmasında yaşanan sorunlar da mevcuttur. Bu sorunlar, genellikle, elde edilen üretim verilerinin kullanılabilirliği, kalitesi ve bilişimi ile ilgili olmaktadır. Hangi verilerin etiketli olup olmadığı veya hangi verilerin işleme dahil olup olmayacağı gibi sorunlar makine öğrenmesi algoritmalarının performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu için bu durum bir sınırlama olarak düşünülmektedir [28]. Veri setleri içerisindeki alakasız ve gereksiz bilgilerin analiz edilmesinde yaşanabilecek sıkıntılar da göz önüne alındığında, mevcut tekniklerin sağladığı ayrıştırma ve analiz işlemlerinin her zaman uygulamaya yönelik çıkarımlar yapamaması da olası bir problemdir. Mevcut verilerden bilgi çıkarmak için çok zaman harcanan geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında, makine öğreniminde verilerin hazırlanmasına çok zaman harcandığı belirtilmiştir [34]. Bu durumda, mevcut veriler ayarlandıktan sonra kullanılacak algoritmaların bu verilere göre uygunluğu göz önüne alınmalı ve verilerin dengesiz olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Üretim uygulamasında belirli öz niteliklerin değerlerinin veri setinde bulunmaması veya eksik olması yaygın bir sorun olarak değerlendirilmiştir [29]. Bahsedilen değerlerin eksik olması makine öğrenimi algoritmaları için bir zorluk oluşturur ve bu durum, üretimde istenilen sonuca ulaşmak için sorun olarak değerlendirilebilir.

Üretimde makine öğreniminin kullanıldığı çeşitli alanlar mevcuttur. Tümevarımsal öğrenme yaklaşımını öneren Lu ve Chen (1987), bir simülasyon deneyinin sonuçlarını kullanarak nitel bir bilgi tabanı oluşturmuşlardır. Bu öğrenme yaklaşımı ile, kontrol

parametreleri oluşturarak genelleştirilmiş bir türetme yapmayı hedeflemişlerdir. Böylece, üretilen bilgi tabanı sürecin kontrolü için kullanılmıştır. Stirling ve Buntine (1988) ise tümevarımlı öğrenme yaklaşımını süreç planlama kararını verebilmek için kullanmışlardır. Bir çelik fabrikasındaki işleme yolları hakkında bilgi edinmek için yaptıkları görüşmeler sonucunda, kuralların tümevarımını, uzmanların bilgilerini yapılandırmada yardımcı olabilecek bir araç olarak kullanarak zaman ve çaba tasarrufu sağlamışlardır. Bu öğrenme yöntemi ile mühendislerin karar vermelerini destekleyen pek çok verinin özetlenmesi mümkün olmuştur. İmalatta, tornalama süreci simülasyon verilerinin analiz edilmesinde endüktif öğrenme algoritmaları kullanılarak makine operasyon planlaması desteklenmiştir. Lu ve diğerleri (1993) yaptıkları çalışmalarla, mühendislikten gelen simülasyon ve optimizasyon ile endüktif öğrenmeyi birleştirerek bir bilgi işleme metodolojisi geliştirmişlerdir. Böylece, üretim operasyonları yönetiminde otomatik çizelgeleme sistemlerinin kullanımını sağlamışlardır. Endüktif öğrenme tekniklerini kullanarak çizelgeleme kurallarının elde edilmesi için önerilen yöntemler, akış atölyesi çizelgeleme problemlerine, atölye çizelgeleme problemlerine ve esnek imalat sistemleri çizelgeleme problemlerine de uygulanmıştır [29]. Bu şekilde yapılan çalışmalar günden güne gelişerek üretim alanında makine öğrenimi kullanımının yaygınlaşmasına olanak sağlamışlardır.

Büyük miktarda veriyi analiz etmek için kullanılan makine öğrenimi tekniklerinden biri olan Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine, SVM) yüksek boyuttaki verileri de iyi idare edebilir [35]. Bu özelliğinden dolayı SVM, imalat alanında kullanılabilir. Bu imalat alanındaki bilgilerin alakalı ya da alakasız olmasına bakmaksızın eklenmesinde daha özgür davranılmasını sağlar. Ancak her ne kadar güçlü algoritmalar mevcut olsa da boyutların büyüklüğünden dolayı bir sorun yaşanması ihtimaline karşı olan boyut küçültme için de yöntemler bulunmaktadır. Bu teknikler kullanılarak büyük verilerin de analiz edilebilmesi ve yeni veri üretiminde kullanılması sağlanabilir. SVM'nin üretimdeki birincil kullanım alanı görüntülemedir. Üretim sürecinde makine durumunun görüntülenebilmesi, arıza teşhisi gibi durumlarda ve kalite görüntülenmesinde devamlı ve başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca, fotoğraf tanıma özelliği kullanılarak üretimdeki hatalı ürünlerin tespitinde de SVM'den yararlanılmaktadır [28]. Yapılan bu çalışmalar, üretim süreci ve yapılan iş sonucunda elde edilen ürünler için oldukça önemli bir yer tutar. Bu çalışmaların sürekliliği ile üretim alanındaki gelişmelerin ilerlemesine büyük katkı sağlanır. Makine öğrenim tekniklerinin üretim sistemlerine uygulanması, bilgi modelleme yetenekleri sayesinde kaliteli mühendislik tasarımlarının gerçekleştirileceğini göstermektedir.

3.1.1. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, Alman hükümeti tarafından başlatılan stratejik bir girişim olarak tanımlanabilmektedir. Burada bahsedilen girişim, üretimin dijitalleşmesi ve yeni teknoloji potansiyellerin kullanılması yoluyla dönüştürülmesi olarak değerlendirilmektedir [36]. Sanayileşmenin başlangıcından günümüze kadar makinelerin gelişmesi ve kullanımlarının artmasına bağlı olarak üretim alanında insan faktörü yerini makinelere bırakmıştır. İmalat sürecinin daha hızlı ve doğru olarak ilerlemesi, hataların minimuma indirilmesi ve kolayca çözümler üretilmesi gibi nedenler bu geçişin yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır.

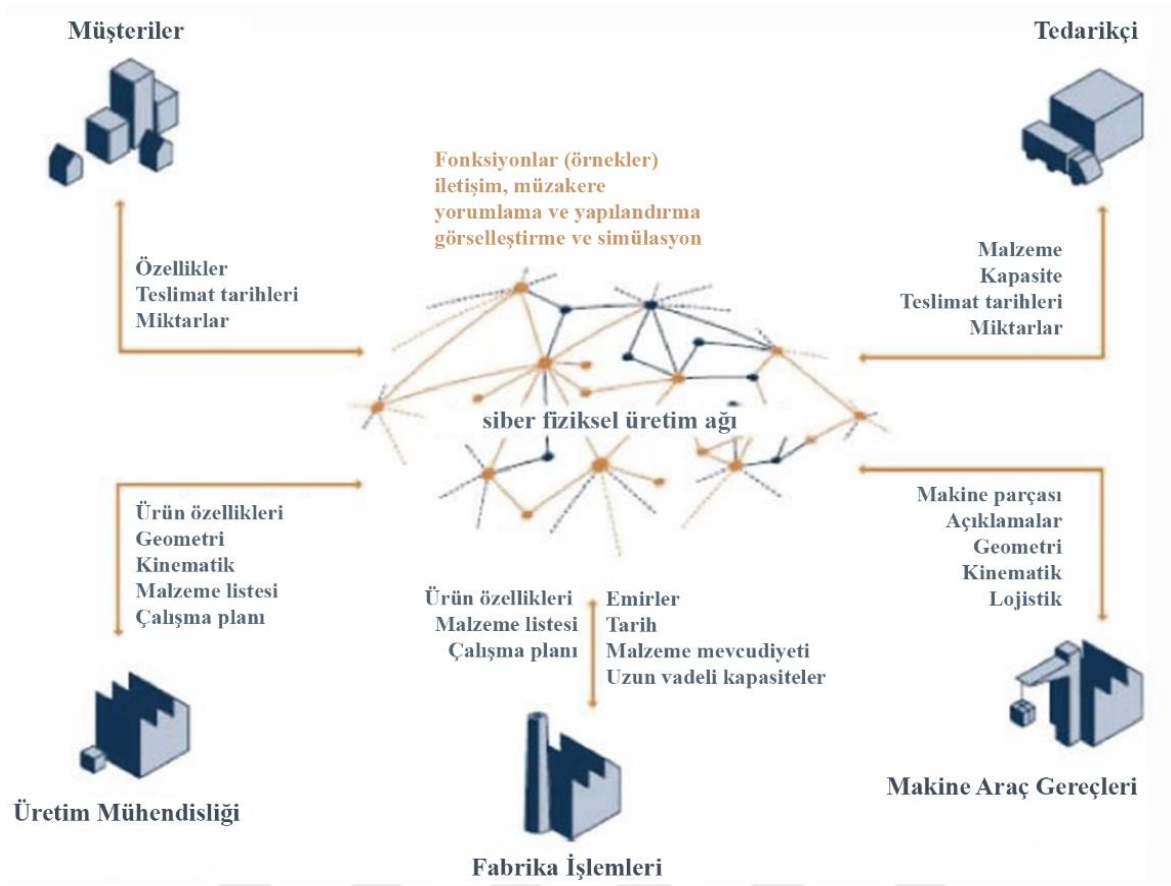


Şekil 11: Endüstri 4.0 Özellikleri

Yakın zamanda ortaya çıkmış olan Endüstri 4.0, tarihsel bir gelişimin süreci olarak değerlendirilmektedir. Endüstri devrimleri yaşanmadan önce ekonomi, tarım ve hayvancılığa bağlı olarak insan, hayvan ve toprak gibi üretim faktörlerine bağlı olarak yürütülmekteydi. Buhar makinelerinin icadı ile hayatımıza giren sanayi devrimi, üretim sektörünün yapısında köklü değişikliklere neden olmuştur. Endüstri 1.0 olarak adlandırılan bu dönemde, uluslararası ticaret ve yeni çalışma ilişkileri ortaya çıkarak, tarım ve hayvancılığa bağlı olan ekonomi sistemini sanayi ve hizmet alanına yönlendirmiştir. Bu

dönemin en önemli özelliği ise sürekli gelişmesi ve yeni devrimlere yol açması olarak görülmektedir. Bu gelişmelerin ilerlemesi ve zamanla yeni malzemelerin kullanımının artması ile kısa bir süre sonra çelik kullanımının yaygınlaştığı Endüstri 2.0 dönemine geçilmiştir. Bu dönemde demiryollarının artması ve ulaşım ağlarının yaygınlaşması oldukça önemli rol oynamıştır. Teknolojinin aktarılmasını sağlayan bu gelişim, sanayi devrimindeki ilerlemeyi de hızlandırmıştır. Ardından nükleer, bilgisayar, lazer ve genetik gibi alanların gelişmesi ile birlikte üçüncü sanayi devrimi olan Endüstri 3.0'a geçilmiştir. Bu dönemin en önemli belirgin özelliği ise bilişim teknolojilerinde görülen hızlı gelişme olarak değerlendirilmektedir. Tüm dünyayı etkisi altına alan bu dönemde, üretim alanında, pazarlama ve satış tekniklerinde büyük bir değişime gidilmiştir. Bilişim sektörü ve internetin yaygınlaşmasına bağlı olarak, ürünlerin etkinliği artırılarak, daha kaliteli ve daha ucuz üretimler yapmak mümkün olmuştur. Bu dönemde, sanayileşmiş ülkelerdeki üretim çevre faktörlerine bağlı olarak gelişmiş ülkelere taşınmış ve hizmet sektörü ön plana çıkmıştır.

Endüstri 4.0 ise ilk olarak 2011 yılında Almanya'da ortaya çıkmıştır. 3. Sanayi devriminde gelişmeye başlayan bilgisayar donanımları, yazılımlar ve ağlar gibi teknoloji ürünlerinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, ekonomiyi dönüşüme uğratmıştır. Bu dönüşüm ile, bilgi teknolojileri ve otomasyon yaygınlaşarak veri işleme ile değer zincirlerinin birbirine bağlandığı Endüstri 4.0 dönemine geçiş başlamıştır [37]. Geçilen bu dönemde, verilerin işlenmesi ve aktarılmasına bağlı olarak tüm dünyayı birbirine bağlayan bir sanayi devrimi kurulmuştur. Bağlantıların artması ve verilerin işlenmesine bağlı olarak bu dönemde farklı parametreleri değerlendirmek ve kaliteli ürünleri daha ucuz bir şekilde elde etmek mümkün olmuştur. Makinelerin otonom kontrolleri temel alınarak ilerleyen bu dönem 'Makinelerin, Bilgisayarların, İnsanların ve Nesnelerin İnterneti' olarak da tanımlanmıştır [38] (Şekil 11). Endüstri 4.0, üretimde otonom sistemleri kullanması ve veri işlemede makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak hızlı ve doğru karar verebilme yeteneğine sahip olunan bir dönem olarak düşünülebilir.



Şekil 12: Gelecekteki “Endüstri 4.0” projesi bağlamında bir tedarik zincirinin karşılıklı bağımlılıklarına örnek [39]

Günümüzde endüstri 4.0 ile makineler arası iletişimin gerçekleşmesi ve üretimin ağ bağlantıları ile kontrol edilebilmesi mümkün kılınmaktadır. Endüstri 4.0 ortamında, sensör ağları tarafında üretilen veriler, makine öğrenimi ve veri analizi teknikleri gerektirir. Endüstriyel ortamda tahmine dayalı analizlerin uygulanabilmesi, gerçek zamanlı bir ortamda çalışabilen dinamik, akıllı, esnek ve açık uygulamaların inşası ve gelecekteki olayları, hataları veya davranışları tahmin edebilen modellerin oluşturulması için daha önceden kullanılmış olan teknolojilerden yola çıkılarak yeni teknikler ve araçlar geliştirilmektedir [40]. Bu noktada, istenilen verilerden tahmin modellerinin oluşturulmasında, davranış kalıplarının incelenerek istatistiksel sonuçlar çıkarılmasında ve riskler ile fırsatların belirlenmesi gibi işlemler için makine öğrenmesinden faydalanılmaktadır (Şekil 12). Böylece, sinir ağları kullanılarak makinelerin kontrolüne bağlı seri üretim gerçekleştirmek sağlanabilir. İnsan gücüne daha az ihtiyaç duyulmasının ve zamandan tasarruf edilmesinin yanı sıra kısa sürede eksiklerin tespit edilerek ihtiyaçların karşılanmasını sağlanmıştır.

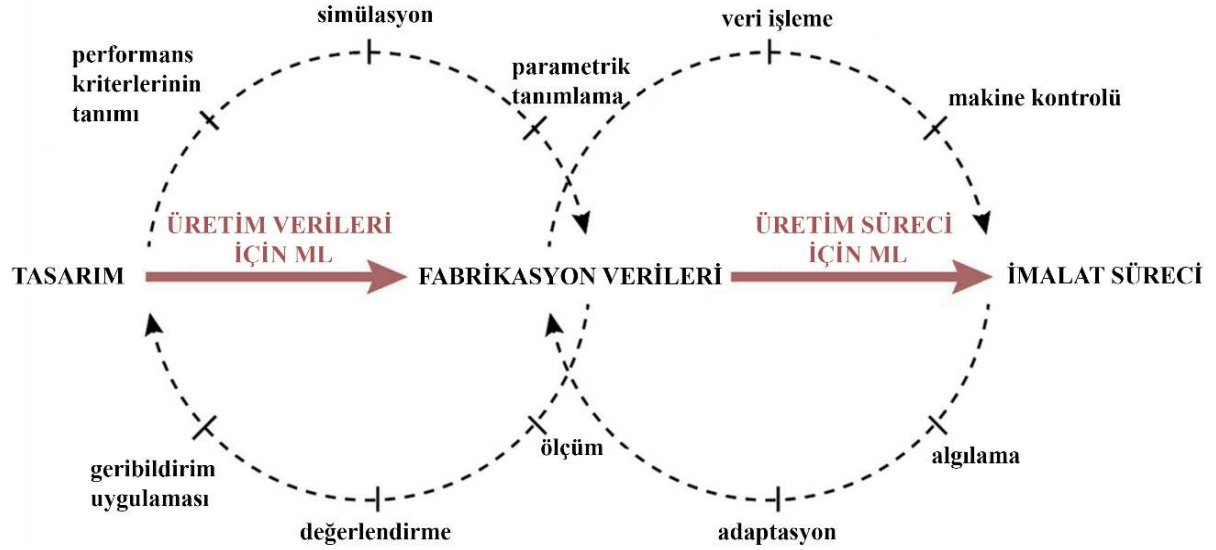
3.1.2. Mimari Üretimde Makine Öğrenimi

Yenilikçi teknolojileri benimseyerek gelişen imalat sanayi ve üretim sektörü, yapay zekâ destekli makine öğrenmesi sayesinde üretim planlaması, çalışan verimliliği, üretim kalitesi ve güvenliğine kadar pek çok alanda ilerleme sağlamıştır. Karmaşık ilişkileri anlama ve yeni bir örnek oluşturmada bilinmeyen özellikleri tahmin edebilme imkânı sağlayan makine öğrenmesi teknikleri, geleneksel yöntemler olarak kullanılan matematiksel ve istatistiksel modellerden daha etkili olmaktadır.

Makine öğrenmesinin imalat alanında sağladığı bu faydalar göz önüne alındığında mimari fabrikasyon için yeni perspektifler sunmak amacıyla mimari üretim alanında da çalışmalar yapılmıştır. 2020 yılında yapılan ‘Endüstri 4.0 Çağında Mimari Fabrikasyon İçin Makine Öğrenimine Doğru’ isimli bir araştırmada, endüstri 4.0’ın inşaat endüstrisinde gelişmesiyle birlikte, makine öğrenmesi ile üretim verilerinin oluşturulmasında yaşanabilecek radikal değişiklikler ve bunların tasarım amacı ile doğrudan ilişkili olduğu öne sürülmüştür [41]. Bu çalışma, performansı fabrikasyon verilerinin üretilmesiyle ilişkilendirmek ve fabrikasyon verilerini gerçek zamanlı olarak uyarlama yeteneğini entegre etmek amacıyla yapılmıştır. Üretim ile ilgili tüm bilgilerin modelleme sürecinde ve sonrasında ortaya çıkan üretim verileri içinde temsil edilmesi için bir dijital zincir kurulması gerektiği düşünülmüştür. Dijital zincir, bir dizi bağımlı model ve simülasyon aracılığıyla sırayla bilgi oluşturur. Bunlardan bazılarının hızlı ve esnek olurken bazılarının ise hesaplama açısından önemli süreler gerektirmesi, anında geri bildirim sağlamayı ve gerçek zamanlı tasarım yinelemesini engeller. Bu noktada ML algoritmaları, gecikme yaratan veya çok yüksek karmaşıklığa sahip modelleme zincirlerinin bu kısımları arasında bir kısa yol sağlayabilecektir [41]. Böylece doğrudan tasarım amacı ile tahmin edilen performans ve üretim verilerine erişilebileceği düşünülmüştür. ML algoritmaları, fabrikasyon sürecini gerçek zamanlı olarak değiştirerek öngörülemez veya bilinmeyene tepki vermenin bir yolunu bulabilir [42]. Bu sayede anında geri bildirim yapılabilmesi ve gerçek zamanlı tasarım yinelemesi önündeki engeller aşılabilecektir.

Yapılan araştırmada, bilgi açısından zengin tasarım uygulamaları ve makine öğrenmesi, tasarım amacından üretim verilerine kadar olan tasarım süreçlerini iyileştirmek ve hantal tasarım süreçlerini kısa kesmek için yeni bir araç olarak konumlandırılmaktadır. Parametrik mimari modeller ve simülasyonlar, işledikleri bilgilere bir dizi iyi tanımlanmış ve önceden belirlenmiş işlev uygulandığında, bu işlevleri keşfetmek için denetimli ve

denetimsiz yöntemlerin temel olarak bir eğitim süreci kullanılır. Tasarımdan üretime her zaman belirli üretim süreci ve ihtiyaç duyulan veri türleri hakkında derinlemesine bilgi gerekir [41].



Şekil 13: Dijital Zincir ile Tasarım ve Üretimin Döngüsel İlişkisi [41]

Mevcut yöntemler ağırlıklı olarak önceden tanımlanmış bir dizi ve tanımlanmış parametre aralığı ile statik modeller üzerinde çalışır. Bu, onların projeye ve iş akışına özel olduğunu gösterir. Böyle bir durumda da aktarılabilirlik engellenmiş olur ve iş akışının sürekli olarak yeniden tanımlanması ve yeniden çizilmesi gerekir. Şekil 13'te, üretim verilerinin oluşturulmasını otomatikleştirmeye ve bunları doğrudan tasarım amacına bağlamaya yönelik farklı adımlar sunulmaktadır. Burada amaç, modellerin tasarım bilgilerinin eğitim verileri olarak nasıl kullanılabileceğini ve dijital zincir içindeki adım adım süreçler için nasıl eğitilebileceğini incelemektir. Bu araştırma, mimari üretimde makine öğrenmesinin ne amaçla kullanılabileceğini ve bu konuda makine öğrenmesinden nasıl yararlanılabileceği konusunda bir fikir verirken aynı zamanda bu alanda yapılabilecek diğer çalışmalar için de bir örnek niteliği taşımaktadır.

Üretimde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak verilerin analiz edilmesi ve sorunların çözülmesi sağlanır. Mimarlık alanında tasarım aşamasında ortaya çıkan hataların erken fark edilmesi ve olası çözüm önerilerinin tasarımcıya ihtiyaç duyulmadan makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak oluşturulması, projelerin ilerleyişinde hızlanma ve kalite açısından oldukça faydalı olabilir. Böylece, tasarımcının gözünden kaçan hataların,

inşa sürecinden önce belirlenerek bir çözüm üretmesi mümkün olabilir. Ayrıca, yeni tasarım fikirlerini değerlendirmek amacıyla, mevcut tasarımlar ile büyük bir veri tabanı oluşturmak ve bu verilerin belirlenmiş parametrelere bağlı olarak sınıflandırılması ile kısa süre içerisinde pek çok farklı tasarım fikri üretilebilmesi hedeflenir. Bu şekilde oluşturulan farklı tasarım modelleri sayesinde, müşterilerin ihtiyaçlarına karşılık veren en iyi model tespit edilerek tasarımcının kısa zaman içerisinde müşteriye anlaması ve direkt olarak beklenen sonuca yönelik çalışmaya başlanması sağlanabilir.

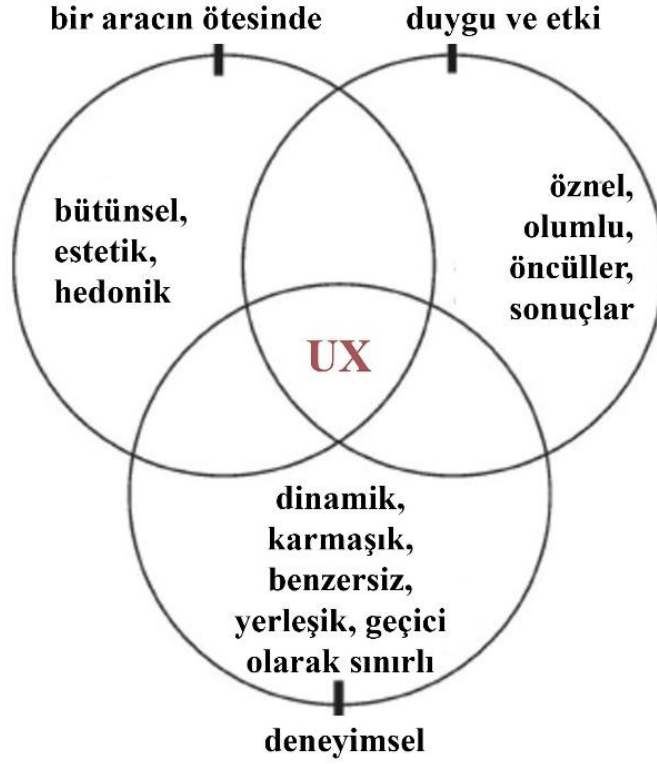
Mimarlık alanında makine öğrenimi tekniklerinin kullanılması, ihtiyaç duyulan temel tasarım elemanlarının üretilmesi, veri analizlerinin yapılması ve hatalara çözüm üretilmesi gibi faydalar sağlayabilir. Bir projenin tasarım sürecinde ihtiyaç duyulan verilere ulaşılmasını kolaylaştırmak ve ortaya çıkan sorunların çözümlenmesinde makine öğrenmesi algoritmaları ile kendi kendine akıllı çözümler üretebilen sistemlerin kullanılması öngörülmektedir. Üretim sektöründe kullanılan makine öğrenmesi tekniklerinin sağlamış olduğu otonom ve seri üretim fırsatları ele alındığında bu tekniklerin mimari alana uyarlanarak benzer fırsatları mimaride de değerlendirmenin mümkün olduğu düşünülmektedir. Böylece, tasarım alanındaki temel gereksinimlerin otomatik olarak karşılanabilmesine olanak sağlanabilecektir. Aynı zamanda, herhangi bir insan faktörü olmadan makine öğrenmesi sayesinde hataların kısa sürede çözümlenmesini sağlamak, tasarımcıya proje geliştirmek ve yeni tasarımlar üretebilmek için daha fazla zaman kazandırılacağı düşünülmektedir.

Endüstri 4.0 dönemine geçilmesi ile birlikte, tüm dünyayı saran iletişim bağı sayesinde, mimari alanda üretilen projelerin ulaşılabilirliği de daha kolaylaşabilir. Bu noktada, yapılması gereken, projelerin gerçekçi zaman aralığında işlenirken, farklı disiplinlerin de eşzamanlı olarak takip edebilme şansını artırmaktır. Bu sayede, bir projenin işleyişinde, tasarım süreci ilerlerken aynı zamanda mekanik, elektrik, tesisat gibi ilgili diğer alanların da yönlendirme ve sonuçta üretilen modelin en uygun şekilde ortaya çıkarılması da mümkün olması beklenmektedir.

3.2. Kullanıcı Deneyimi (User Experience, UX)

Kullanıcı deneyimi (User Experience, UX) tasarımı, kullanıcılara tasarımcılar tarafından anlamlı ve kullanıcı ile ilişkili bir takım deneyim sağlayabilecekleri ürünlerin oluşturulması için kullanılan süreçtir. Bu süreç, kullanıcıya uygun ürün elde etme ve çeşitli özelliklerin entegre edilmesi süreçlerinde gerçekleşen tasarımlardan başlayarak markalama, kullanılabilirlik ve işlev yönlerinin tamamını içermektedir [43]. Kullanıcı deneyimleri, bir kişinin bir sistemi kullanma konusunda nasıl hissettiğine dair bütünsel bakış açısını içermelidir. Bu süreçte, kullanıcıların ilgili konu hakkındaki tüm tecrübe ve bilgileri önemlidir. Kişinin yaptığı seçimleri neden yaptığı, ihtiyaçları ve kullanım nedenleri gibi verilerin analiz edilmesi, kullanıcı deneyimlerinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu sayede ihtiyaca yönelik kişiye özel sonuçlar çıkartılarak tasarımcıların kullanıcı odaklı çalışmaları da mümkün olmaktadır. Kullanıcının durumu ve önceki deneyimleri, sistem özellikleri ve kullanım bağlamı gibi birçok faktör, kullanıcının bir sistemle ilgili deneyimlerini etkileyerek değişmesini sağlayabilir. Kullanıcının mevcut durumunun yanı sıra önceden edindiği deneyimler, sistemin sunduğu özellikler ve kullanım bağlamı gibi çeşitli etkenler kullanıcının sistem ile ilgili deneyimini etkiler [44]. Bu durumda, elde edilen verilerin analiz edilmesi ve yeni ulaşılan bilgiler ile uyumlu olup olmamasına bakılarak süreç devam ettirilir.

Kullanıcı Deneyimleri ile dijital projelerin tasarlanmasında öncelikli olarak psikoloji ve iletişim olmak üzere iki temel disiplin üzerinde durulmaktadır. Psikolojide, kullanıcı tarafından bakmanın ve empati kurmanın, kullanıcıya aktarılacak istenilen duygunun ve kullanıcıyı ikna etmenin önemi vurgulanırken, iletişimde kullanıcı araştırmalarının ve davranış verilerinin aktarıldığı iş geliştirmeye, içerik üretimine ve teknik sınırlamalara önem verilmektedir. UX, belirsiz, geçici ve anlaşılması zor olduğu için sıklıkla eleştirilmesinin yanı sıra insan-bilgisayar etkileşimi (Human-Computer Interaction, HCI) topluluğu ve araştırmacılar tarafından kolayca adapte olunabilir bir yapıya sahiptir. Hassenzahl ve Tractinsky yaptıkları çalışmalar sonucu, kullanıcı deneyimi terimini, geleneksel kullanılabilirlik, güzellik, teknoloji kullanımdaki duygusal ve deneyimsel yönler gibi çeşitli anlamlar ile ilişkilendirmişlerdir [45]. Burada, teknoloji kullanımının çeşitliliği sayesinde geleneksel HCI'ye uygulanabilir bir alternatif olarak kullanıcı deneyimlerini benimsedikleri anlaşılmaktadır.



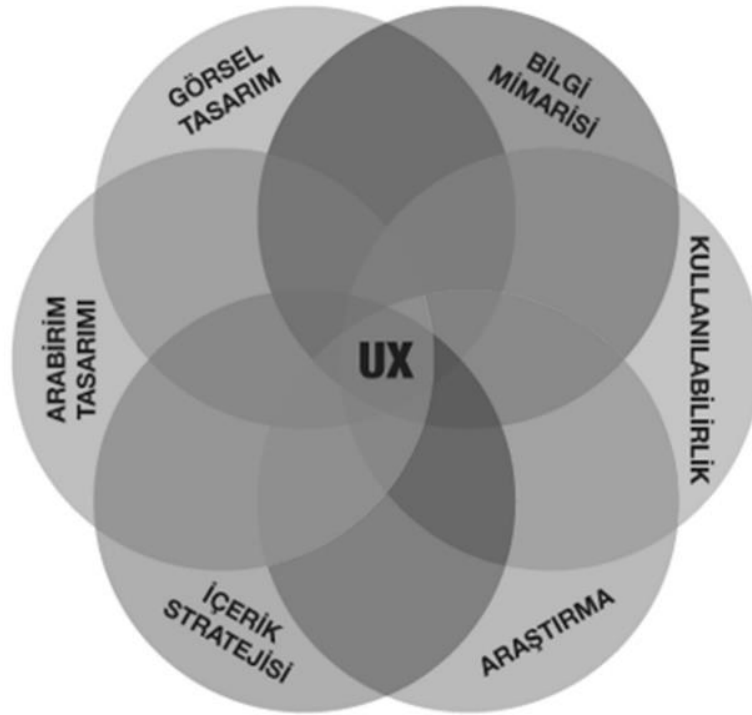
Şekil 14: Kullanıcı Deneyiminin Yönleri [45]

UX, kullanımını özel, konumlu, karmaşık ve dinamik bir karşılaşma olarak kabul eden ve ihtiyaçlardan fazlasını karşılayan teknoloji ile ilgilidir [45]. Bu durum, pek çok tasarım ve deneyim fırsatı sunar. Kullanıcı tabanının sürekli büyümesi ve gelişmesi ile birlikte etkileşimli oldukları ürünlere olan talebin parametreleri de değişmektedir. Bu noktada UX, işlevselliğin ötesinde olumlu, deneyimsel ve duygusal olan yönleri de odaklanır (Şekil 14). Kullanıcı deneyiminin sağlanabilmesinde, ürün tüketimi ve kullanımının yanı sıra satın alma, sahip olma ve sorun giderme gibi işlemlerin bir bütün olarak tasarlanması önemlidir.

Kullanıcı Deneyimi tasarımları genellikle, sıklıkla kullanılan mobil uygulamalarda, web sitelerinde, günlük hayatta kullandığımız pek çok üründe ve içinde bulunduğumuz ortamlarda aktif olarak kullanılır [46]. Burada amaç, kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap vermeyi kolaylaştırmak ve kişilerin deneyimlerine uygun çıkarımlar yapılmasını sağlamaktır. Bu tasarımlar oluşturulurken kullanıcıların beklentilerinin neler olduğu ve bu beklentileri karşılamak için nasıl bir yol izledikleri, UX tasarımlarında içerik belirleyebilmek için oldukça önemlidir. İçeriklerin oluşturulmasında dikkat edilen bu sorular sayesinde pek

çok farklı kitleye hitap edebilmek ve kullanıcı ile paralel düşünebilmek amaçlanmaktadır. Böylece elde edilen kullanıcı verilerinin en doğru şekilde yorumlanması ve çeşitli konularda tahmin yürütülmesi de sağlanır.

Kullanıcı Deneyimi, karmaşık ve dinamik kullanımları içeren ihtiyaçların karşılandığı bir teknoloji olarak nitelendirilebilir. UX, kullanıcının eğilim, beklenti, ihtiyaç, motivasyon ve ruh hali gibi mevcut durumlarının, karmaşıklık, amaç, kullanılabilirlik ve işlevsellik gibi tasarlanan sistem özelliklerinin ve etkileşimlerin gerçekleştiği bağlamların bir bütünü olarak düşünülebilir [45]. Bu bütünlük, kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik tasarlanan projelerde etkileşimin artırılabilmesi ve çıkan sonuçtan en fazla verimin elde edilmesi bakımından oldukça faydalıdır. Genel olarak bakıldığında, UX, kullanıcıyı yönlendirirken aynı zamanda ihtiyaç duyulan bileşenlerin toplamına ulaşılmasını sağlayan etkin bir yöntemdir (Şekil 15).



Şekil 15: Kullanıcı Deneyimi Bileşenleri (User experience components) [47]

Kullanıcıların davranışlarını takip etmek ve karşılaşılan durumlara verilen tepkilerin değerlendirilmesini sağlayarak, UX kullanıcıya sunulması beklenen faydaların neler olduğu, kullanıcının bu faydalara erişip erişemediği, sürecin ne kadar zorlu olduğu ve sonrasında

kullanıcıların nasıl hissettikleri gibi çeşitli etkenlerin bir bileşimi olarak ortaya çıkmaktadır. Temel olarak beş ana başlık altında toplanan bu bileşenler, yararlılık (utility), teknik yeterlilik (functional integrity), kullanılabilirlik (usability), ikna edicilik (persuasiveness) ve grafik tasarım (graphic design) olarak sıralanmıştır [48]. Hedeflenen sonuca başarılı bir şekilde ulaşabilmek için, tüm bu başlıkların bir arada düşünülerek sürecin bütüncül olarak ilerletilmesi gerekir.

UX Tasarımında “Neden, Ne ve Nasıl”



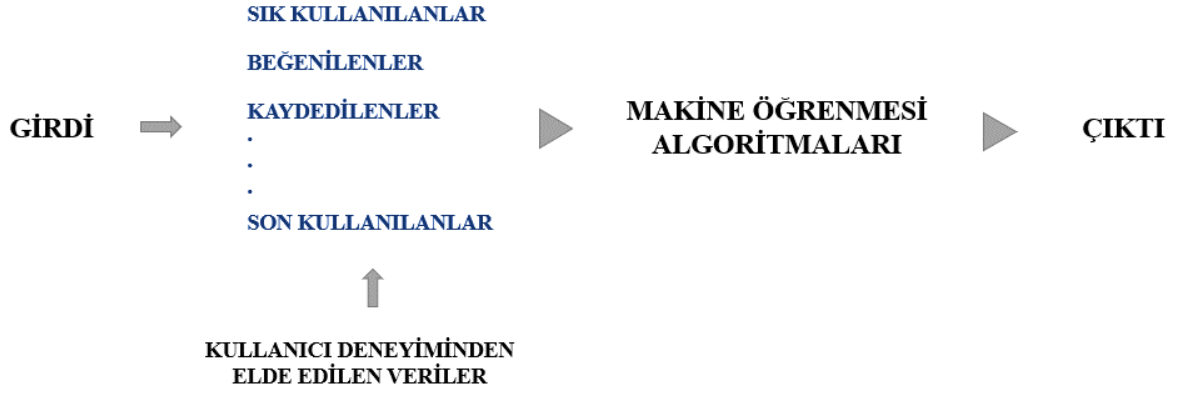
Şekil 16: Kullanıcı Deneyimi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Sorular [43]

Kullanıcıların anlaşılabilmesi ve deneyimlerin sınıflandırılarak sunulacak olan önerilerin kullanıcı için yararlı olabilmesini sağlamak amacıyla kullanıcı deneyimi tasarımında dikkat edilmesi gereken temel sorular vardır (Şekil 16). ‘Neden’ sorusu sorulduğunda, kullanıcının motivasyonlarına, değerlerine ve görüşlerine bakılarak kullanıcı hareketlerinin nedenleri anlamlandırılır. İşlevsellik ve özellikler ile kullanıcıların ‘ne’ amaçladıkları ve bu amaca ulaşmak için ‘ne’ kullandıkları belirlenir. Kullanıcıların deneyiminde kişilerin ihtiyaçlarını belirlemede ve bunlara yönelik içerik üretmede ‘ne’ sorusu oldukça önemli bir yer tutar. Kullanıcıların ihtiyaçlarını belirledikten sonra nasıl bir yol izledikleri ise ulaşılabilirlik ve estetik değerlendirmelerin yapılması ile tespit edilebilir. Bu olguların tamamı ele alındığında, kullanıcının düşünceleri ve beklentileri hakkında daha çok fikre sahip olmak ve karşı tarafı anlayarak kullanıcı temel alınmış daha işlevsel ürünler elde etmek kolaylaşır. Kullanıcıların gözü ile görmeye başlamak ve empati kurmanın kolaylaşması ile tasarım aşamasındaki bazı zorlukların önüne geçilebilir.

3.2.1. Kullanıcı Deneyimlerinin Makine Öğrenimi Teknikleri ile Aktarılması

Makine Öğrenimi (ML) ile Kullanıcı Deneyimi (UX), son yıllarda hızlı bir gelişme gösteren ve gün geçtikçe büyümeye devam eden teknolojik araştırmalar alanında iki farklı konudur. Beraber incelendiklerinde, her ikisinin de insan davranışlarını yorumlayabilmesi ve bir sonraki adımda yapılacak olan seçimleri tahmin edebilmesi gibi benzer özelliklere sahip oldukları görülmektedir [49]. Bu benzerlik, her iki alanın da aynı amaç doğrultusunda kullanılabildiğini de göstermektedir. ML ve UX bir bütün olarak ele alındığında, insanların teknoloji ile ilişkilerinin artmasında önemli bir potansiyele sahiptirler. Netflix, YouTube, Spotify gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan pek çok sosyal platformda Makine Öğreniminin sağladığı Denetimsiz Öğrenme tekniği ile kullanıcıyla etkileşimli bir ara yüz sağlanır. Bu sistemin sürekliliği ise Kullanıcı Deneyimlerinin sıklığına bağlı olarak gelişen bilgiler sunulmasına bağlı olarak sağlanır.

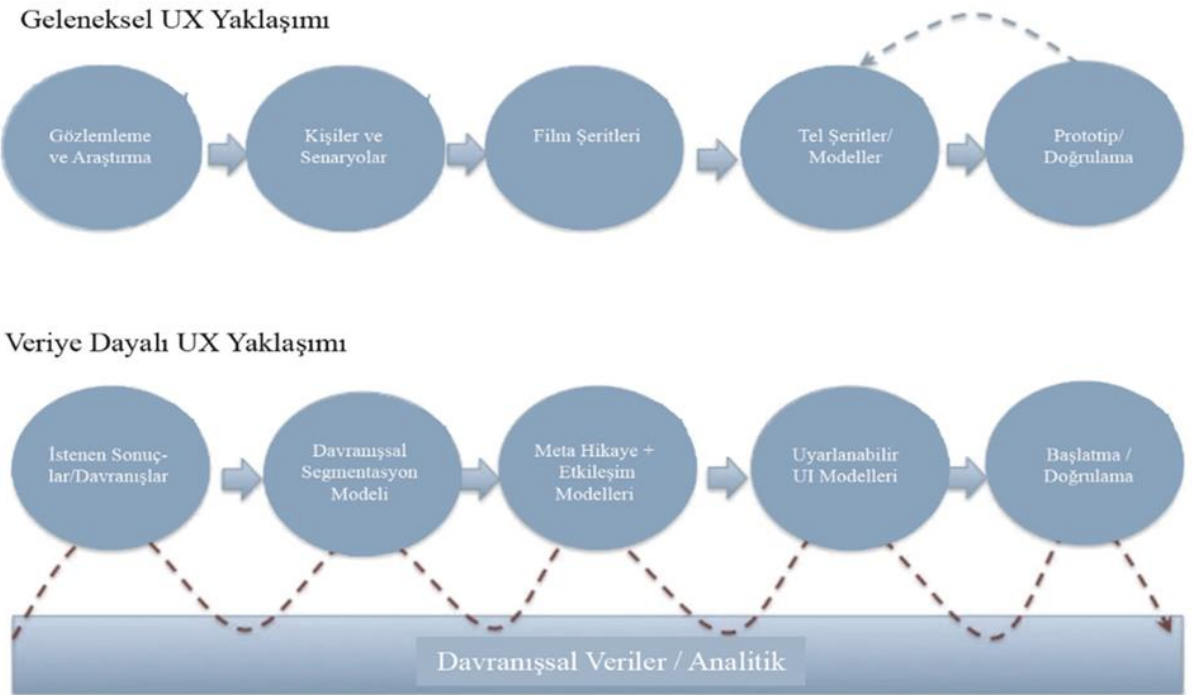
ML ile UX arasındaki ilişkiyi incelemek ve açıklayabilmek amacıyla yapılmış bazı araştırmalar da bulunmaktadır. UX tasarımcılarının farklı çözümler üzerinde fikir yürütmeleri gerekirken ihtiyaç duydukları ‘doğru şey nedir?’ sorusuna cevap verebilmeleri için ML algoritmalarına başvurulmaktadır. Kullanıcıların deneyimlerini baz alan UX tasarımcıları, yeni öneriler oluştururken makine öğrenmesi alt dallarından olan önerici sistemlerden faydalanırlar. ‘Makine öğrenimi: Eğilimler, perspektifler ve beklentiler’ isimli makalede, ML algoritmalarının, birey grupları için kişiselleştirilmiş deneyimler oluşturulması amacıyla büyük veri kümelerinden nasıl öğrenebileceği incelenmiş ve insanların yıllar boyu süren deneyimleri sayesinde gerçekleştirdikleri öğrenme şekillerinin makine öğrenmesi gelişimi için de bir fırsat olarak ele alınabileceğini belirtmiştir [50]. Bu çalışmada, bir dizi kullanıcı ile bir dizi öğe arasındaki bağlantıları gösteren veriler, bir makine öğrenimi sistemi olan öneri sistemleri aracılığıyla ele alınmıştır. Bir kullanıcı ile bir öğe arasındaki bağlantı, kullanıcının geçmişte o öğeye gösterdiği ilgi ile ilişkilendirilmiş ve kullanıcının deneyimlerine bağlı olarak makine öğrenmesi için veriler sunulduğu anlatılmıştır (Şekil 17). Bu durum, seçimlerin sunumunu daha kişisel hale getirilmesini sağlayarak kullanıcıların daha kolay seçim yapmalarına da imkân sağlamıştır.



Şekil 17: Makine Öğrenmesi Algoritmalarında Kullanılan Kullanıcı Deneyimi Verileri

Kullanıcı deneyimleri ile makine öğrenmesinin birlikte kullanılması yaklaşımı ile kullanıcılardan elde edilen verilerin saklanıp yeni tasarımlar üretilirken bu bilgileri kullanmanın yanı sıra, kullanıcı ile etkileşime geçerek, yapılacak yeni tasarımda kullanıcının yönlendirmelerine olanak sağlayan potansiyel bir sistem oluşturulması düşünülebilir [44]. Böylece, kullanıcı ile eşzamanlı düşünmek ve kullanıcının tercihlerinde karşılıklı olarak etkileşimli bir yol izlenmesi mümkün olabilir. 2018 yılında yapılan ‘Deneyimli UX Tasarımcılarının Makine Öğreniminde Etkili Çalışma Biçimlerinin Araştırılması’ isimli çalışmada, UX ile ML arasındaki iş birliğinin nasıl şekillenebileceği konusunda bir inceleme yapılmıştır. Burada, tasarımcıların geçirdikleri tasarım süreçlerinin çalışan bir makine öğrenmesi uygulaması ile test edildiği ve ilk seferde yakalanamayan tasarım sorunlarının bu uygulama ile tespit edilerek giderildiği gözlemlenmiştir. Böylece, tasarım sürecinde yaşanan sıkıntıların defalarca tekrarlanmadan çözümlenebilmesi için makine öğrenmesinden kesin bir sonuç elde edilebilecek şekilde faydalanılabileceği de gözler önüne serilmiştir. Ayrıca bu inceleme, kullanıcılara yenilikler sağlamak için düzenlenen tasarım süreçlerinde ML kullanımının da önemini vurgulamaktadır. Yeni tasarımlar için sağlanan kolaylıkların yanı sıra, var olan diğer tasarımların iyileştirilebilmesi ve daha uzun süre kullanılabilmesi için de ML teknikleri bir fırsat olarak değerlendirilebilir. Yapılan bu çalışmada, makine öğrenimini kullanıcı deneyimi uygulamalarına sunmak için tasarım eğitimi, araştırma ve araç geliştirme için referans noktalara odaklanılmış olsa da çalışmanın genişletilmesi ve ilerletilebilmesi için tasarım sürecinde veri bilimcileri veya diğer işbirlikçilerin bakış açısının da araştırılarak daha bütünsel bir anlam çıkartılması gerektiği düşünülmektedir.

Geleneksel olarak kullanılan UX yaklaşımları ile veriye dayalı olarak ML uygulamaları ile beraber kullanılan UX yaklaşımları arasında oldukça fark vardır. İlk olarak geleneksel olarak uygulanan UX yaklaşımlarında, kullanıcı etkileşimini artırmaya yönelik çalışmalar; kullanıcı araştırması, kullanıcı akışı oluşturulması, kişi oluşturma, çerçeve oluşturma ve son olarak tasarımın grafiksel bir prototipinin oluşturulması şeklinde ilerler. Öte yandan, kullanıcı deneyimlerini yorumlamak için incelenen kullanıcılar da kendi içlerinde oldukça farklıdırlar. Her bir kullanıcı için farklı bir etkileşim yolu gerekebilir. Bunun için ise her kullanıcının davranışları, motivasyonları ve bağlamları hakkında bilgi toplayarak sağlam, analitik ve uyarlanabilir bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmalıdır. Böylece, her bir kullanıcıya en uygun temel deneyim varyasyonu sunmak da mümkün olabilir. Veriye dayalı UX yaklaşımlarında ise süreç; ilk olarak istenen sonucun belirlenmesi, davranışsal modelin oluşturulması, etkileşim modellerinin oluşturulması, uyarlanabilir modeller üretilmesi ve doğrulama işlemi olarak ilerler [51] (Şekil 18). ML uygulamalarına bağlı olan veriye dayalı UX yaklaşımlarında ML tekniklerinden faydalanılarak daha fazla veri toplanabilmekte ve daha hızlı analiz edilebilir. Bu kullanıcılar için oluşturulan önerilerin eski veriler ile uyumlu olmasına ve kişiye uygun daha doğru çıktılar üretilmesine olanak sağlar.



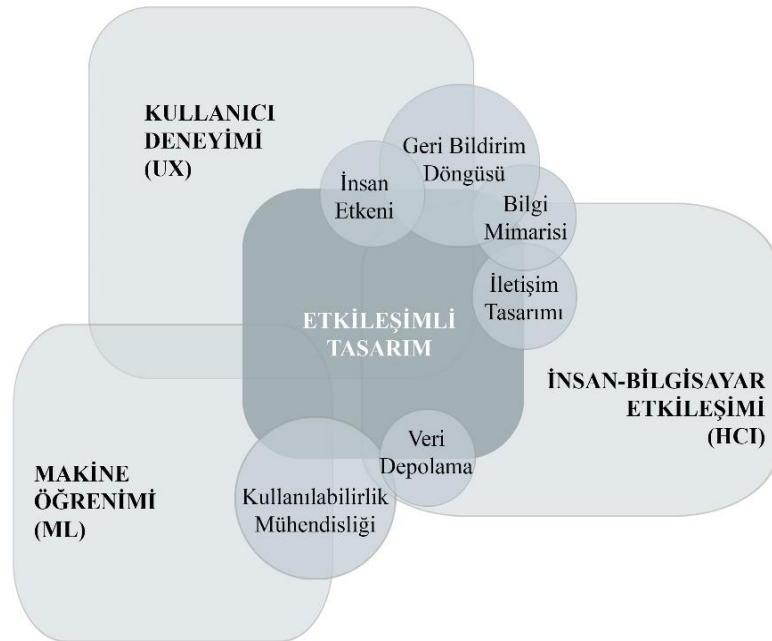
Şekil 18: Geleneksel UX Yaklaşımı & Veriye Dayalı UX Yaklaşımı [51]

Veri analizlerinin yapılmasında, makine öğrenmesinin alt dallarından biri olan denetimli öğrenme algoritmalarının sunduğu sınıflandırma işlemleri ile kullanıcıların markalar üzerindeki duygusal izlenimlerine ulaşılabilir. Kişilerin herhangi bir ürün hakkında mutlu, öfkeli ya da üzgün olabilecekleri duygusal veriler gruplara ayrılarak kullanıcılar ile pazarlamacılar arasında bir etkileşim kurulması sağlanabilir [49]. Böylece, kullanıcılardan direkt olarak elde edilen verilerin yoğunlukları göz önünde bulundurularak istatistiksel bir çıkarım yapılması ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda kullanıcı memnuniyetini artırabilmek için gerekli iyileştirmelerin yapılması sağlanabilir. İzlenen bu yol sayesinde, bir ürünün kullanıcının beklentisine uygun hale getirilmesi ve buna bağlı olarak ürüne duyulan talebin artmasıyla karşılıklı memnuniyet ve başarı elde edilmektedir.

Makine öğrenmesinin kullanıcı deneyimlerine sağladığı katkılar olduğu gibi kullanıcı deneyimleri de makine öğrenmesi algoritmalarının gelişmesi ve güçlenmesi için oldukça önemli bir etkidir. İyi bir UX tasarımı hem hataları önlemede hem de kullanıcıların hataları tanıyarak bu hatalardan kurtulmasını sağlamada başarılıdır [52]. Buna benzer olarak ML teknolojisinin de çıktı doğruluğunu iyileştirmeye devam etmesi ve öngörülebilir hatalara karşı kurtarma yöntemlerini hazırlaması beklenmektedir. Makine öğrenmesi kullanıcı deneyimi ile birlikte düşünüldüğünde kullanıcı ile etkileşimlerinde sağladığı yeni olasılıkların yanı sıra bilgi mimarisini geliştirme, bilişsel yükü azaltma, etkileşimi basitleştirme ve dönüşümlü etkileşim yöntemleri kazandırma gibi çeşitli faydalar da sunar. ‘Uyarlanabilir İçerik’ olarak bilinen içeriklerin geçmişteki kullanıcı hareketlerine bakılarak değiştirilmesi işlemi, içerik odaklı pek çok sistemde kullanılmaktadır [53]. Günümüzde kullanılan en yaygın içerik odaklı uygulamalardan olan Netflix ve Youtube gibi uygulamalar düşünüldüğünde, kullanıcıların geçmişteki davranışları ile eşzamanlı olarak sürekli yeni bir öneri sunulduğu ve böylece kullanıcı ihtiyaçlarına cevap vermenin yanı sıra makine öğrenmesinin gelişiminin de arttığı gözlenebilir. Makinenin sıklıkla kullanıldığı alanlarda makine öğrenimi algoritmaları da daha fazla gelişme göstererek diğer alanlara göre çok daha akıllı geri dönüşler vermektedir. Bu duruma, Google arama motorunda sesli arama kısmının sürekli kullanılmasına bağlı olarak sistemin kullanıcının sesini ve kelimeleri telaffuz ediş şeklini çözümülemesi ve az kullanılan sesli arama motorlarına göre daha doğru sonuçlar vermesi örnek olarak gösterilebilir. Benzer şekilde, klavye içeren uygulamalarda gördüğümüz otomatik düzeltme sözlüğü ve haritaları kullanırken sıklıkla kullandığımız yolların otomatik öneriler olarak karşımıza çıkması da ML algoritmalarının kullanıcı deneyimine bağlı olarak geliştiğini gösterir.

3.2.2. Kullanıcı Deneyimlerinin Makine Öğrenimi Teknikleri ile Mimari Tasarım Süreçlerinde Kullanılması

Mimarlık, sanat ile bilimin birlikte yürütüldüğü ortak bir alan olarak değerlendirilebilir. İnsanların hayatlarını kolaylaştırmak ve ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla oluşturulan tasarımlar aynı zamanda bilimin ve teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan yeniliklere uygun olarak gelişme göstermektedir. Mimarlıkta tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri de toplumun içinde bulunduğu tarihi ve kültürel değerlerdir. Yapılan tasarımlarda insanların alışageldiği düzen ve tercihleri ön planda tutularak geçmiş ile gelecek arasındaki süregelen düşünce yapısı geliştirilmelidir. Her toplum içinde bulunduğu değerlere göre kendi yaşayış şeklini oluşturmakta ve ihtiyaçlarına en uygun şekilde yapılar tasarlayarak alışık oldukları düzeni devam ettirmektedirler. Bu noktada, tasarlanan her yapı için o yapıları kullanacak kişilerin tercih ve öncelikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Gelişen teknolojiyi kullanarak daha hızlı ve kontrollü tasarımlar yapılması mümkün olsa da kullanıcıların bu tasarımlar üzerindeki etkileri kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Böylece, teknolojinin getirilerinden faydalanırken aynı zamanda insanların benimsedikleri düzen içerisindeki beklentilerine de tam anlamıyla cevap vermek daha mümkün olabilecektir.



Şekil 19: Tasarımda Kullanıcı Deneyimi, Makine Öğrenmesi ve İnsan-Bilgisayar Etkileşimi İlişkisi

Kullanıcı deneyimlerinin mimarlık alanında kullanılmasıyla, kişilerin bulundukları mekândan maksimum verim alması öngörülmekte ve insan-mekân arasındaki ilişkiyi geliştirmek amacıyla makine öğrenmesi teknikleri kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında, İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) alanındaki araştırmaların insanlar ile çevre arasındaki ilişkiye odaklanmış olduğu ve bunlardan elde edilen deneyimleri analiz ederek anlamaya ve şekillendirmeye çalışıldığı görülebilir [54]. Bilgisayar destekli programların kullanılmasıyla, İnsan-Bina Etkileşiminden (Human-Building Interaction, HBI) farklı olarak, kullanıcıların sosyal deneyimlerine ek olarak maliyet, verimlilik ve süreklilik gibi konularda da iyileştirmeye gidilmesi amaçlanmaktadır. Bu konu tasarım üzerinde ele alındığında ise, insanların bulundukları mekânları tercihlerine göre düzenleyebilmelerini sağlamak ve uyarlanabilir alanlar oluşturmak için kullanıcı deneyimlerine göre daha işlevsel mekânların oluşturulması sağlanabilir. Erken tasarım aşamalarında, kişisel verilere göre belirlenen kullanıcı deneyimlerinin, insan-bilgisayar etkileşiminin ve makine öğrenmesi tekniklerinin beraber değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Böylece, kesişen veya ayrışan unsurlar tespit edilerek en faydalı tasarım yaklaşımının benimsenmesi sağlanabilir (Şekil 19).

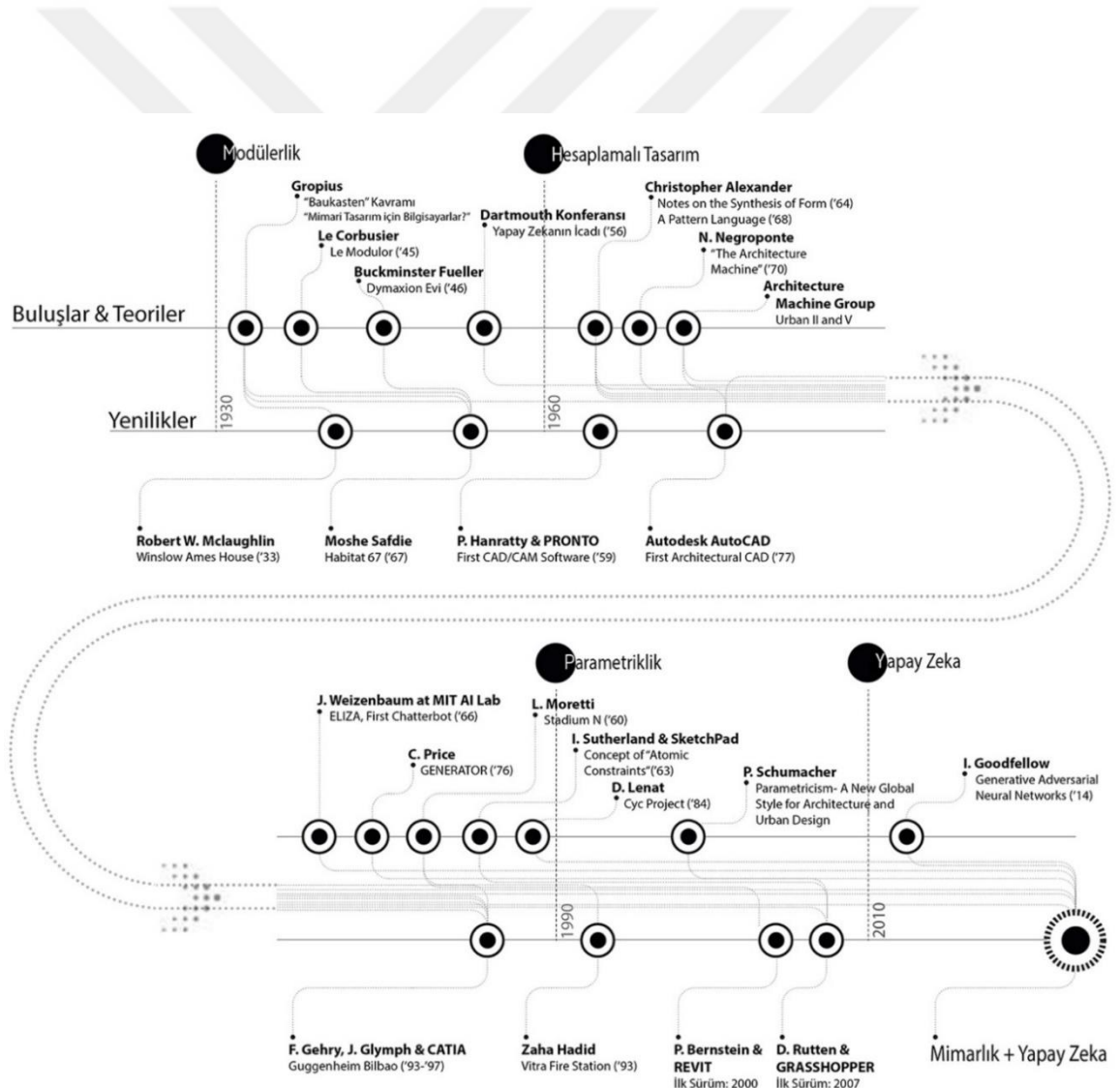
Kullanıcıların mekân ile etkileşimini incelemek ve bu etkileşimin kişiler üzerindeki yansımalarını gözlemlemek amacıyla Holger Schnädelbach, Nils Jäger ve Lachlan Urquhart tarafından 2019 yılında yapılan bir çalışması bulunmaktadır. Bu araştırmada çeşitli sayıda katılımcılardan oluşan üç aşamalı atölye çalışmalarına yer verilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı, sensörler kullanılarak kişisel veriler ile insan-bilgisayar arasındaki iletişimi incelemek olarak belirtilmiştir. Bahsedilen üç aşamalı atölyelerde, teknik sınırlar dâhilinde, katılımcıların öngörülerini üzerine durularak kişisel verilerin yapılarıdaki kullanılabilirliği incelenmiş ve mekânların kullanıcılara göre şekillenerek uyarlanabilir mekânlar oluşturulması ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, katılımcıların oluşturdukları çoklu tasarımlara bakılarak, mekânlarda bulunan asansörler, yürüyen merdivenler, otomatik kapılar, değiştirilebilir aydınlatma ve havalandırma sistemi gibi uyarlanabilir yapı unsurlarının kullanıcıların deneyimlerine göre konumlandırıldığında yapıların daha kullanışlı olabileceği düşünülmüştür [55]. Bu araştırmada, katılımcılardan elde edilen kişisel veriler ile oluşturulması mümkün gözüken uyarlanabilir yapılar ile daha verimli ve ihtiyaçlara karşılık veren tasarımlar oluşturulabileceği de anlaşılmaktadır.

4. MİMARLIKTAKİ MAKİNE ÖĞRENİMİ

Mimarlık, tarihte günümüze kadar yaşanmış olan önemli olaylardan etkilenen ve dönemin şartları doğrultusunda değişim gösteren bir sektördür. İlk yerleşim yerleri düşünüldüğünde, insanların kendi ihtiyaçlarına göre yaptıkları evlerde taş, ahşap, metal gibi mevcut malzemeler kullanılırken, zamanla sanayinin gelişerek endüstrileşmenin artması ile birlikte, çelik, alüminyum, plastik gibi doğal olmayan malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Endüstri devriminin başlaması ile birlikte sadece kullanılan malzemelerin değişmesi değil aynı zamanda ortaya çıkan makineleşme ve insanların daha işlevsel mekânlar tercih etmesi mimari tasarımın ve ortaya çıkan eserlerin de değişmesine yol açmıştır. Bu şekilde, dönemin gerekliliklerine göre tasarlanan yeni yapılar, teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçlara bağlı olarak yaşanan çevrenin getirileri doğrultusunda sürekli olarak değişim göstermiştir. Yaşanılan her türlü yenilik ve ortaya çıkan farklı yaklaşımlar mimarlık alanını da şekillendirmeyi başarmıştır. Böylece farklı dönemlerde yeni gelişmelere öncülük eden isimler ve yapılan tasarımlar bir sonraki yeni fikrin gelişmesine de öncülük etmiştir.

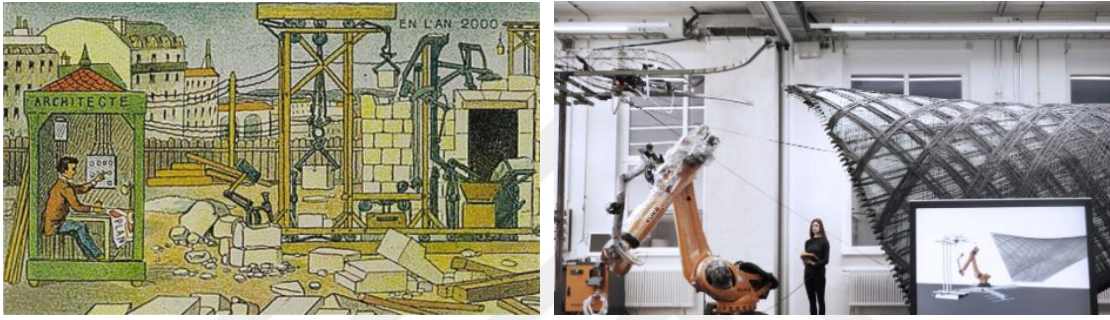
Geçmişten günümüze kadar yaşanan gelişmeler mimari tasarımların şekillenmesine yön verirken aynı zamanda mimarların bu alanda kullandıkları araçların ve izledikleri yolların da değişmesini sağlamıştır. Bu değişiklikler, modüler tasarım, hesaplamalı tasarım, parametrik tasarım ve yapay zekânın farklı şekillerde kullanılması ile gerçekleşmiştir (Şekil 20). Makineleşmenin yaygınlaşması ve bilgisayar kullanımının ilerlemesinden önce el ile çizim yaparak eserlerini ortaya koyan mimarlar daha sonra yazılım programları ile desteklenen CAD uygulamalarının kullanılması ile iki boyutlu çizim programlarını kullanmaya başlamışlardır. Ardından çizimlerin daha gerçekçi olarak algılanmasını sağlamak ve bir sonraki adımı tahmin edebilmek amacıyla geliştirilen yazılımlar sayesinde tasarımların üç boyutlu olarak sunulması mümkün hale getirilmiş ve bu çizimler ile gerçekçi simülasyonlar yapılarak tasarımların işlevlerinin daha doğru değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır. Sıklıkla tercih edilen Sketchup, Revit, Rhino ve 3Ds Max gibi bu modelleme programlarının kullanılması farklı disiplinlerin ortaklaşa çalışmalarına imkân sunmuştur. Bu sayede, mimarlık sektörü iş birliği içerisinde olduğu diğer disiplinler ile birlikte eş zamanlı olarak çalışarak olası hataları tasarım hayata geçirilmeden tespit ederek, çalışan sağlıklı çözümleri daha hızlı üretebilmektedir. BIM ile çoklu disiplinlerin bir arada çalışmasına

olanak sağlayan ortak bir platform oluşturulması da mimari çizimlerin üretilmesine ve yapı tasarımındaki mühendislik ve mekanik çözümlerin de eşzamanlı olarak ilerlemesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde, yapay zekânın gelişmesi ve pek çok alanda kullanılması ile mimarlık alanında yapay zekânın ne şekilde kullanılabileceğine dair çalışmalar ve öneriler sunulmaktadır. Ancak, mimarlık, inşaat ve mühendislik sektöründe, yeni teknolojileri çalışma ortamlarına kabul etme isteksizliği bulunduğu açıkça görülebilir [55]. Bu durum, teknolojinin getirilerine eğitim eksikliği ve maddi koşullar sebebiyle tam anlamıyla karşılık verilememesinin yanı sıra eski alışılmış sistemin pek çok yerde hala sürdürülüyor olması en temel sebepler olarak düşünülebilir. Mimarlık alanında yapılan çalışmaların da diğer sektörler kadar ilerleyememesi ve çoğu mimarlık ofisinin bu etkileşimli çalışma ortamına geçiş yapamaması da bu durumla ilişkilidir.



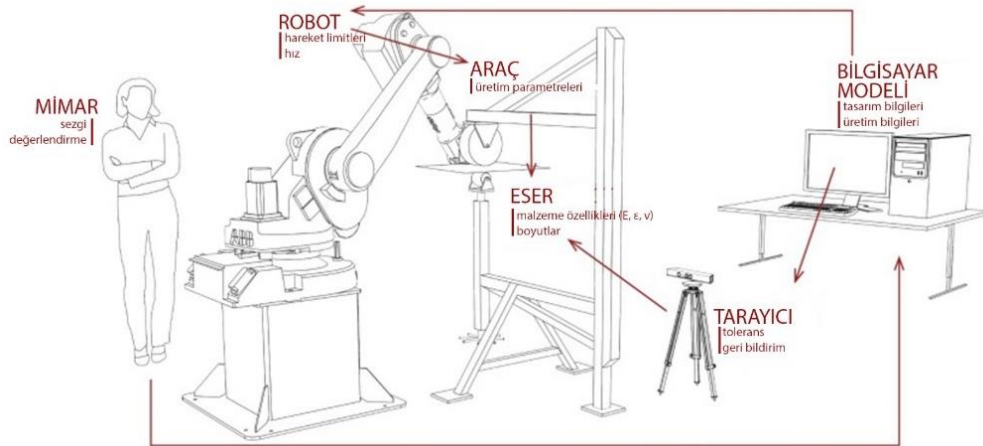
Şekil 20: Mimarlıkta Buluşlar ve Teoriler [56]

1910'da Villemard tarafından 2000 yılındaki bir şantiye betimlenmiş ve robotların inşaatta kullanılacağı öngörülmüştür (Şekil 21). Geleceğin Vizyonu olarak tanımlanan bu görselde masanın üzerinde bir plan çizimi ve robotu kontrol etmek için bir düğme bulunmaktadır. Görselde tasarım ve inşaat sürecinin ortak noktası olan mimar düğmeyi kullanarak robotun hareketini belirlemektedir. Buradaki robot, mimarın yaratıcı fikrini gerçekte harekete geçirebilmek için kullanılan mekanik bir vücut olarak düşünülebilir. Bu fikrin ortaya çıktığı zamanlardan bu yana geliştirilerek uygulamaya dökülmesiyle tahmin edilen teknolojiye ulaşılmış olup günümüzde inşaat alanında tasarımların uygulamaya dökülme aşamasında robotlardan yararlanılmaya başlanmıştır [57].



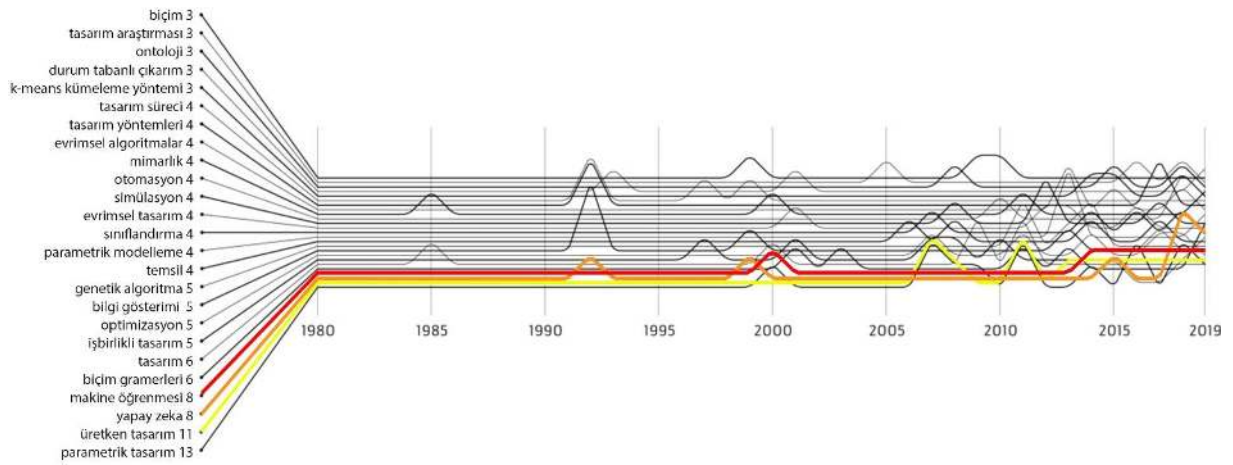
Şekil 21: Villemard: Geleceğin Vizyonu – 1910 [58] & Günümüz Mimarlığında Robotun Yeri [57]

Robotlar, insanlar tarafından manuel olarak yapılacak görevleri daha hızlı ve daha az hata payı ile yerine getirebilmeleri, yıkım ve karmaşık vinç işleri gibi yaralanma riski bulunan tehlikeli sayılabilecek inşaat işleri için uygun olmaları ve ürettikleri ürünlerin şekil, yapı ve genel kalite açısından daha tutarlı olmaları gibi çeşitli avantajlara sahip oldukları için mimarlıkta ve inşaat süreçlerinde tercih edilmektedir.



Şekil 22: Mimari Üretim Sistemlerinin Robota Aktarılması [59]

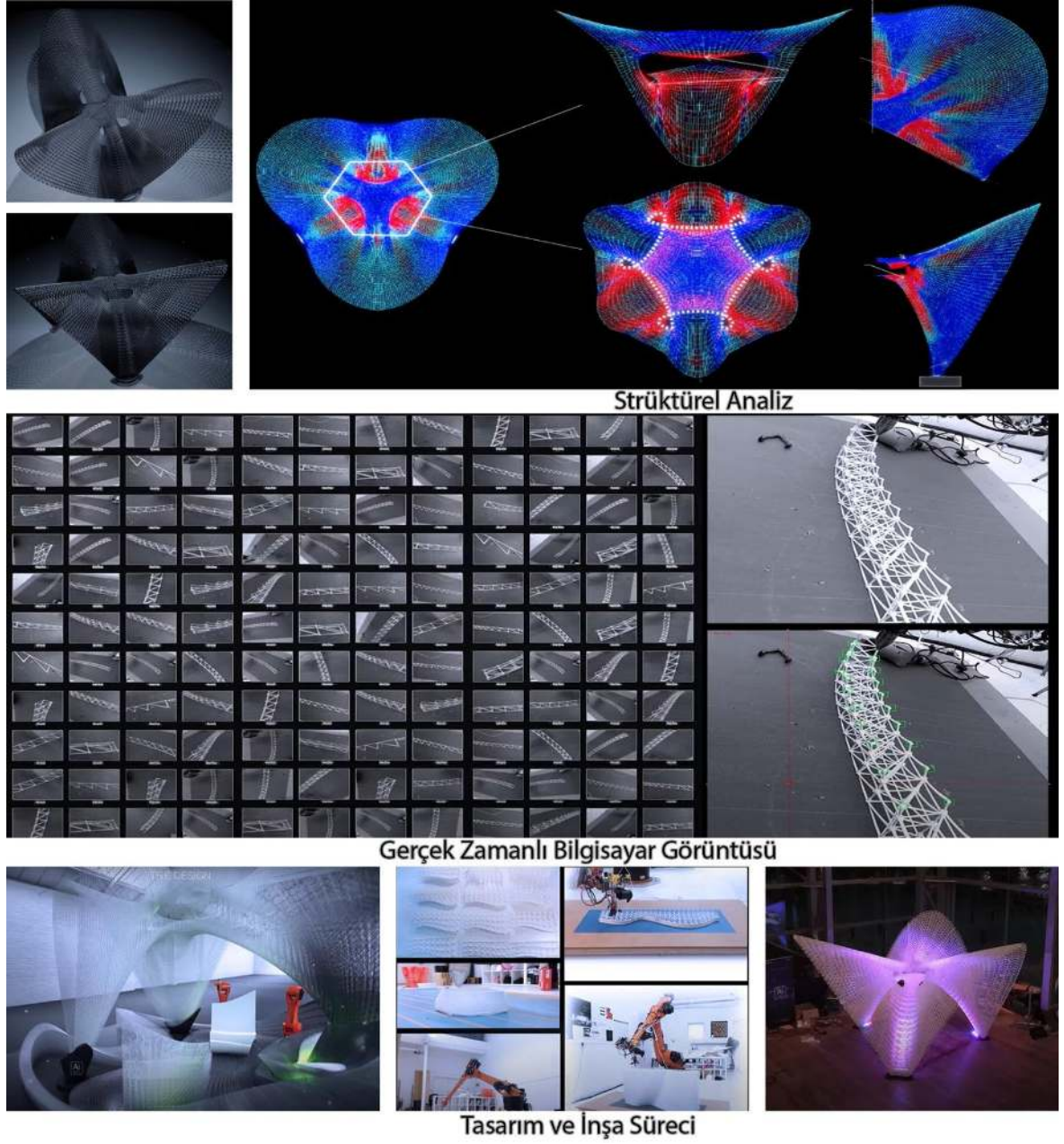
Robotik süreçlerin anlaşılması, montaj sürecindeki zorlukların ele alınmasını gerektirdiğinden, tasarımcıların dijital tasarım ortamında farklı araçlar ile robotik yapıyı simüle etmesi sağlanabilir [60]. Genel olarak dijital malzemelerin robotların tasarımlarını hayata geçirmek için kullanılması, gelişen ve yenilikçi yöntemler sunan teknoloji ile mümkün olmaktadır. Bilgisayar modelleri ile üretim sistemlerinin, beyin, vücut, araç ve eser arasındaki sürekli diyalogun, yeniden oluşturulup robota aktarılması ile sistemin öğretildiği ve sürekli gelişen fabrikasyon modelleri inşa edilmektedir [59] (Şekil 22). Bu işlemleri kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmak için teknolojiadaki ilerlemeleri takip ederek bunları kullanılan sistemlere uyarlamak oldukça önemlidir.



Şekil 23: Makine Öğrenmesinin Mimarlık Alanında Benimsenmesi [61]

Mimari alandaki gelişmeler incelendiğinde şu an yapılan çalışmaların çoğunun, son teknolojik yenilik olarak kabul edebileceğimiz yapay zekâ ve yapay zekâ destekli programlar ile ilgili olduğu söylenebilir (Şekil 23). Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin gelişmesi pek çok alanda olduğu gibi mimarlık alanında da farklı çalışmalara yön vermiştir. İnşaat sektörünü yapay zekâ ve robotik ile geliştirmeyi amaçlayan bir şirket olan Ai Build ve Arup mühendisleri birlikte çalışarak tasarladıkları mimari bir kurulum olan Deadalus Pavilyonun inşası ile inşaat sektörünün yapay zekâ tabanlı uygulamalarla nasıl değiştirilebileceğini göstermek istemişlerdir [62] (Şekil 24). Bu kurulumun optimize edilmesi aşamasında robotlar, tasarımın inşa edilmesini izlemek ve oluşan hatalardan ders çıkarılabilmek için de kameralar kullanılmıştır. Ai Build, büyük ölçekli 3D baskının hızını ve doğrultusunu artırmak için yazıcılara kamera takarken aynı zamanda yapıları gerçek zamanlı olarak analiz edebilmek amacıyla derin öğrenme algoritmalarının bir

kombinasyonunu çalıştırmak için NVIDIA GPU'ları (Graphics Processing Unit, Grafik İşlemci Birimi) kullanmıştır. Böylece aktarılan tüm görüntü işlemleri ve görüntü hesaplamaları analiz edilirken makine öğrenmesi algoritmalarına dayanan yapay zekâ teknolojisi kullanılmıştır. Şirketin CEO'su ve kurucularından olan Daghan Cam, bu çalışmada amaçlarının fiziksel ortam ile dijital ortam arasında bir geri bildirim döngüsü oluşturmak olduğunu belirtmiştir [63].



Şekil 28: Deadalus Pavilyonu Tasarım-Analiz-İnşa Süreçleri [62]

Piyasada bulunan üç boyutlu yazıcıların küçük boyutlu ve yavaş hızı nedeniyle büyük yapıların 3D olarak basılması çok masraflı ve hatta imkânsız olarak görülmekte olup bu çalışmada kullanılan algoritmalar ile baskı süresinin azaltılması ve inşaat maliyetinin düşürülmesi de hedeflenmiştir [64]. Yapay zekâ ve üç boyutlu baskının binaların evrim sürecinde nasıl bir rol oynayabileceği üzerine yapılmış olan bu mimari kurulum, Ai Build tarafından hedeflenen sezgisel, akıllı ve doğal ev kontrolünü sağlayan bir örnek ön-model üretimini sağlamak için geliştirilen bir çalışma niteliği taşımaktadır. Ai Build ve Arup arasındaki bu iş birliği, inşaat gibi yerleşik endüstrilerin bile yapay zekâ tarafından nasıl geliştirilebileceğini somut bir şekilde ortaya koymaktadır [62].

4.1. Planlama Sürecinde Makine Öğrenimi

Planlama, istenen amaca ulaşabilmek için gerçekleşecek olan eylemlerin sırasını gösteren ve ne yapılması gerektiğine odaklanılan bir düzeni temsil etmekte olup, planlamanın görevi ise robotlar, insanlar ya da makineler gibi planlamayı yapan her türlü aracın hedeflerine ulaşan eylem rotalarını sentezlemelerini sağlayan kontrol algoritmalarını bulmaktır [65]. Hedeflenen eylemi uygulamaya dökmeden önce bu eylemlerin etkili bir şekilde modellenmesi ve ortaya çıkan planlama problemlerini çözmek için doğru algoritmaların seçilmesi planlamanın bir süreç içerisinde gerçekleştiğini göstermektedir. Planlama süreçleri, hedefleri tanımlayarak bu hedeflere ulaşmak için gerekli olan eylem yolunu ve projenin kapsamını belirlemektedir [66]. Böylece, bir planlama süreci ile projeye başlandığında projenin yaşam döngüsüne uygun ve o proje özelinde çalışma aşamaları tanımlanabilmektedir. Bu şekilde oluşturulan proje planlaması ile ulaşılmak istenen sonuç için tasarımın yürütülürken gerçekleşecek olan aşamaların nasıl yapılması gerektiğine ilişkin bir dizi kararın belirlenmesi mümkün olabilir.

Makine öğrenmesi teknikleri bir öğrenme sistemi için geri bildirim kaynaklarına sahip olduğundan planlama süreçlerinde kullanılmaya oldukça uygundur [67]. Sistemdeki mevcut bilginin yetersiz olması ve tam anlamıyla analiz edilememesi sonucu tutarsız verilerin bulunması planın yürütülmesinde problemlere yol açabileceğinden, bu sorunları önlemek ya da minimum seviyeye indirmek için makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılabileceği öngörülmektedir. Yapay zekâda geleneksel olarak tanımlandığı gibi planlama problemi, bir başlangıç durumu, bir dizi hedef ve bir dizi eylemden oluşmaktadır.

Bu noktada, makine öğrenmesi gibi veri işleme ve ayrıştırma konusunda gelişmiş yöntemler kullanılarak sadece problem çözme dizinleri değil aynı zamanda araştırılan alanlarda bilginin açık temsillerine ve farklı temsil formlarına da ulaşılması sağlanabilmektedir [65]. Bu bağlamda oluşturulan planlamalarda, plan yürütme aşamasına geçilmeden önce olası problemlere çözüm bulabilir ve alternatif uygulama yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlanabilir.

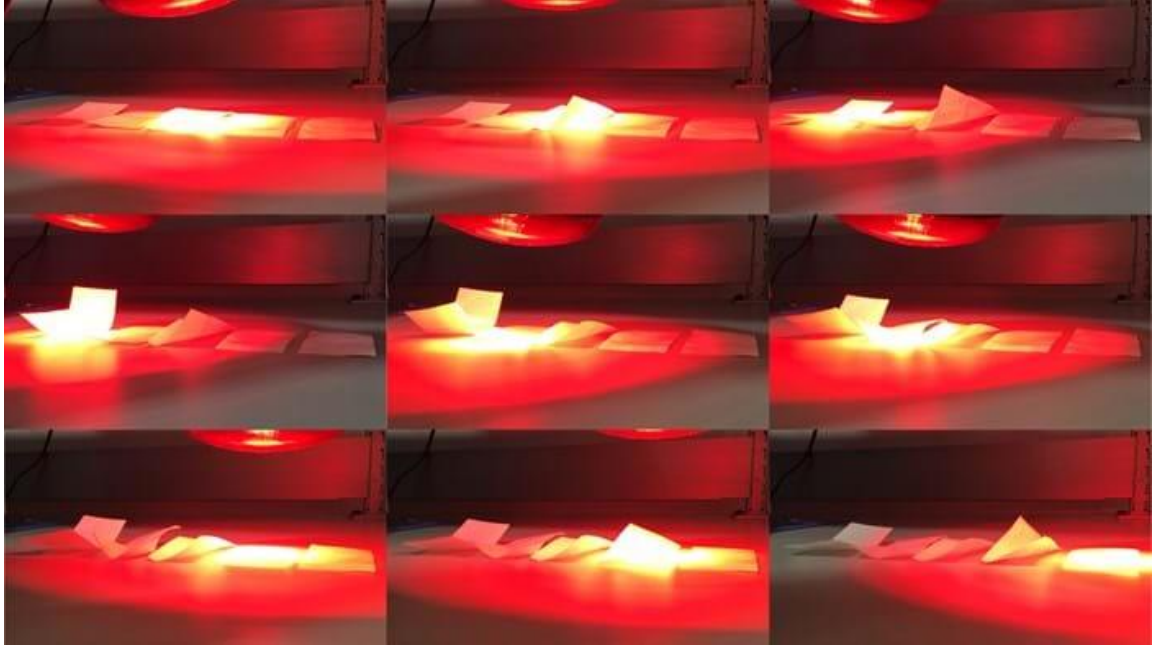
Mimarlık alanında çeşitli aşamalarda kullanılan makine öğrenimi teknikleri ve bu konularda yapılan araştırmalara bakıldığında, inşa edilmesi planlanan mimari bir tasarımın makine öğrenimi teknikleri ile elde edilebilmesi için girilmesi gereken bazı temel parametreler olduğu anlaşılmıştır. Sistemin belirlenen bu sınırlamalar içerisinde uygun tasarım önerileri sunabilmeleri için makine öğrenmesi uygulaması süreci ve belirlenmesi gereken parametreler temel olarak aşağıdakileri içerir:

- Tasarım probleminin ve ihtiyaçlarının belirlenmesi,
- Çalışılacak tasarımın yapı tipine ve içerdiği fonksiyonlara karar verilmesi,
- Tasarlanacak yapı içindeki istenen mekânsal ölçülerin belirlenmesi,
- Yapıda kullanılması istenilen strüktür ve malzeme seçimleri,
- Yapının konumlandırılacağı alana dair jeolojik değerler, eğim, rüzgâr yönü, güneş yönü gibi fiziksel ve iklimsel bilgilerin belirlenmesi,
- Yapının çevresi ile uyumlu olabilmesi için arazinin çevresindeki temel unsurlar hakkında parametrik değerler oluşturulması ve
- Aydınlatma, akustik, iklimlendirme ve fiziksel çevre kontrolü için tanımlar

Bunların dışında acil durum için tasarımı, sürdürülebilir tasarım, yeşil bina tasarımı, akustik tasarım gibi tasarım problemine ve içeriğine özel parametreler de belirlenerek eklenebilir.

Foster + Partners firması, içerisinde uzman programcılar olan çok disiplinli bir mimar mühendis ekibinden oluşan Uygulamalı Araştırma ve Geliştirme ekibi (The Applied Research and Development team, ARD) ile karmaşık tasarım zorluklarını çözmek için son teknoloji araştırma geliştirmeleri yürütürken makine öğrenimi ve gerçek zamanlı simülasyon gibi yeni teknolojileri kullanmaktadır [68]. 2017 yılında, firmanın ARD ekibi ile Autodesk iş birliğinde, kendinden deforme olan cepheler: termoaktif laminatların simülasyonu üzerine bir çalışma yürütülmüştür [69]. Uyarlanabilir pasif bir cephe elde edilmesi amaçlanan bu çalışmada, çok katmanlı malzemelerden oluşan pasif laminatlar kullanılarak, motor kontrolü veya kontrollü panjurlar gibi herhangi bir mekanizmaya sahip olmayan, dış ışık koşulları

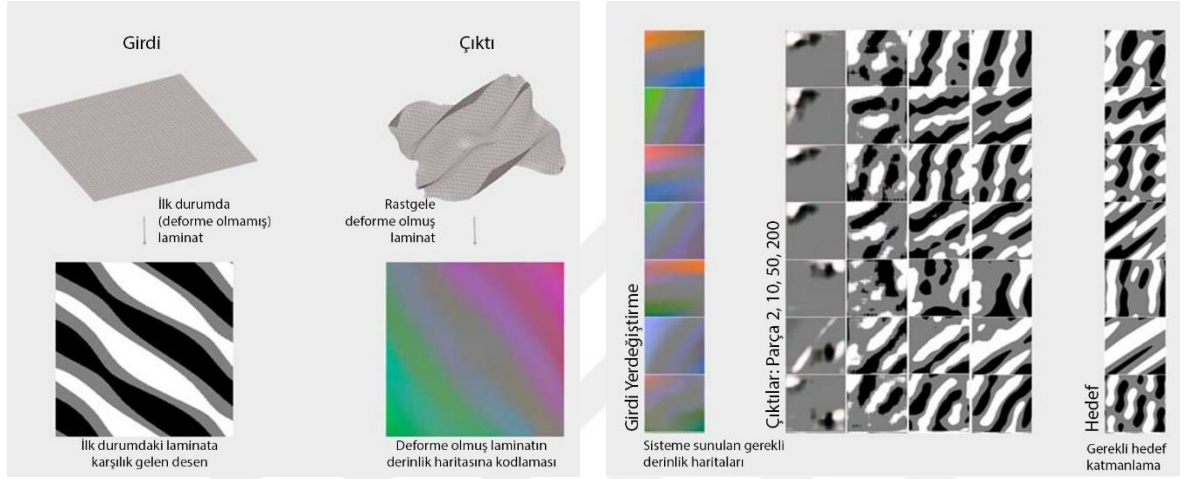
altında kendi kendine deforme olarak aşırı ısınmayı önleyen ve gölgeleme ayarını gerçekleştirebilen bir tasarım üretilmesi hedeflenmiştir. Termo-aktif laminatlar ile yapılan fiziksel deneylerde, doğrudan ısıya maruz kalan laminatların deforme olarak oluşturdukları farklı katmanlaşma desenleri incelenmiştir (Şekil 25). Yapılan fiziksel deneyler sonucu, laminatların iç kuvvetleri ile yer değiştirmeleri arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı ve bu sebeple de girdi parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkisinin tahmin edilemez olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda, karmaşık ve zaman alıcı bir simülasyon stratejisi gerekli görülmüştür.



Şekil 25: Doğrudan ısıya maruz kalan termo-aktif laminatların deformasyonu [69]

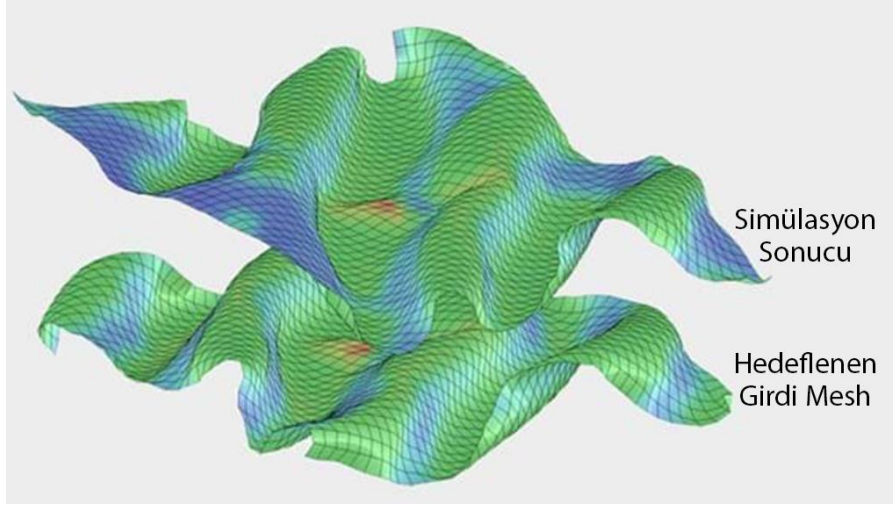
Araştırmada, laminatın başlangıçtaki deforme olmamış hali tamamen açık bir cepheyi ifade ederken hedeflenen deformasyona ulaşmış hali ise tamamen kapalı bir cepheyi ifade etmektedir. Kullanılan termo-aktif malzemenin farklı parametrelerde doğrusal olmayan sonuçlar vermesi sonucu belirli bir sıcaklık altında ortaya çıkan deformasyon hakkında tahmin yürütmeyi engellemesi bir tasarım problemi olarak ele alınmaktadır. Bu sorunu çözebilmek için iki farklı yaklaşım yolu düşünülmüştür. Birinci yol, laminatın katmanlaşmasını tekrar tekrar değiştirmek ve değişikliklerin hedef deformasyona uygunluğunu ölçmek için sürekli analizler yapmak olarak tanımlanmıştır. Bu yolun seçilmesi halinde doğrusal olmayan simülasyonların karmaşıklığı sebebiyle işlemin son derece zaman alacağı düşünüldükçe ikinci yol olan bir vekil model oluşturmak için makine öğrenmesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Vekil modeller, karmaşık sistemlerin

girdi/çıktı davranışını taklit eden basit analitik modellerdir [70]. İlk olarak, makine öğrenmesini kullanabilmek için sistemin eğitilmesi gerektiğinden, şirket içi özel hazırlanmış bir yazılım olan ‘Hydra’ kullanılarak öğrenme işlemine yetecek kadar sentezlenmiş veri üretilmesi sağlanmıştır. Daha sonra, başlangıç durumlarından türetilen deformasyonların oluşturduğu bu veri kümesi ile birbiriyle rekabet eden iki yapay sinir ağının beslenmesi sağlanmıştır.



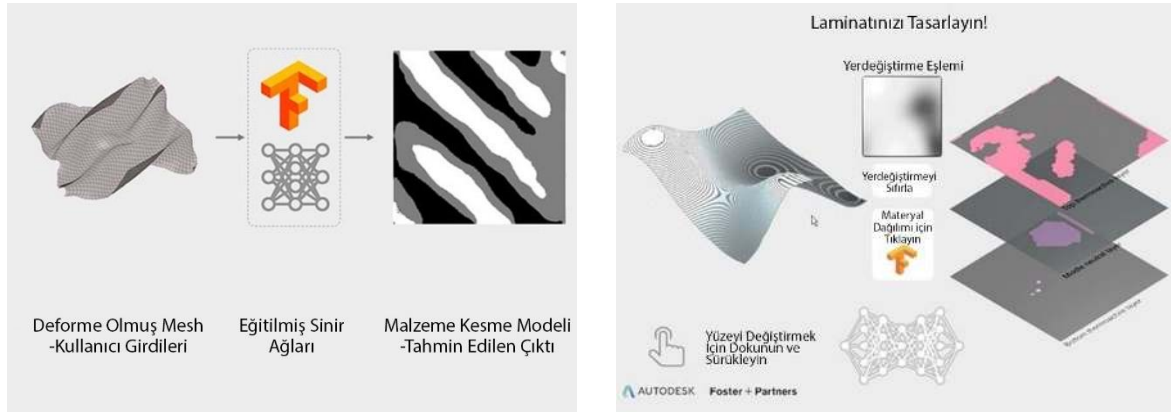
Şekil 26: Makine Öğrenmesi İçin Veri Kümeleri Oluşturarak Yapay Sinir Ağlarının Beslenmesi [69]

Sistemin, üretken çekişmeli ağlardan oluşan ve birbirinin gelişmesini sağlayan sinir ağlarını kullanarak, deforme olmuş laminatların oluşturduğu girdiler ve bu laminatların desenlerinden oluşan çıktılar ile eğitilmiştir. İlk durumda deforme olmamış laminat verildiğinde gri ölçekli bir görüntü elde edilirken, doğrusal olmayan bir analiz çalıştırılarak deforme olması sağlanan bir laminat verildiğinde ise renkli bir görüntü elde edilmektedir (Şekil 26). Görüntüdeki farklı renkler laminatın her bir parçasının ne kadar deforme olduğunu göstermektedir. Ardından, elde edilen bu görüntüler kullanılarak sistemin istenilen şekilde deformasyon edilmiş laminat katmanlarını tahmin etmesi sağlanmıştır. Bu eğitme işlemi sonucunda makine öğrenimi sistemi kısa süre içinde bilinen bir deformasyon için doğru laminat katmanını oluşturmayı başarmıştır (Şekil 27).



Şekil 27: Hedeflenen Laminat Deformasyonu ve Simülasyon Sonucu [69]

Hedef laminat ve simülasyon sonucu incelendiğinde, bu iki deformasyonun tam olarak aynı olmadığı görülse de bu yaklaşımın etkinliği ve sistemin genelleme yeteneği oldukça yüksektir. Bu durum, tasarımcının bir laminatı hedef olan deforme halinde tasarlayabileceğini göstermektedir. Böylece, çalışmanın başında amaçlanan, istenilen deforme durumunu elde edebilmek için makine öğrenmesi sisteminin kullanılarak sistemin önce deforme durumunu anlaması ve ardından da gerekli malzeme modelinin oluşturulması sağlanmıştır.



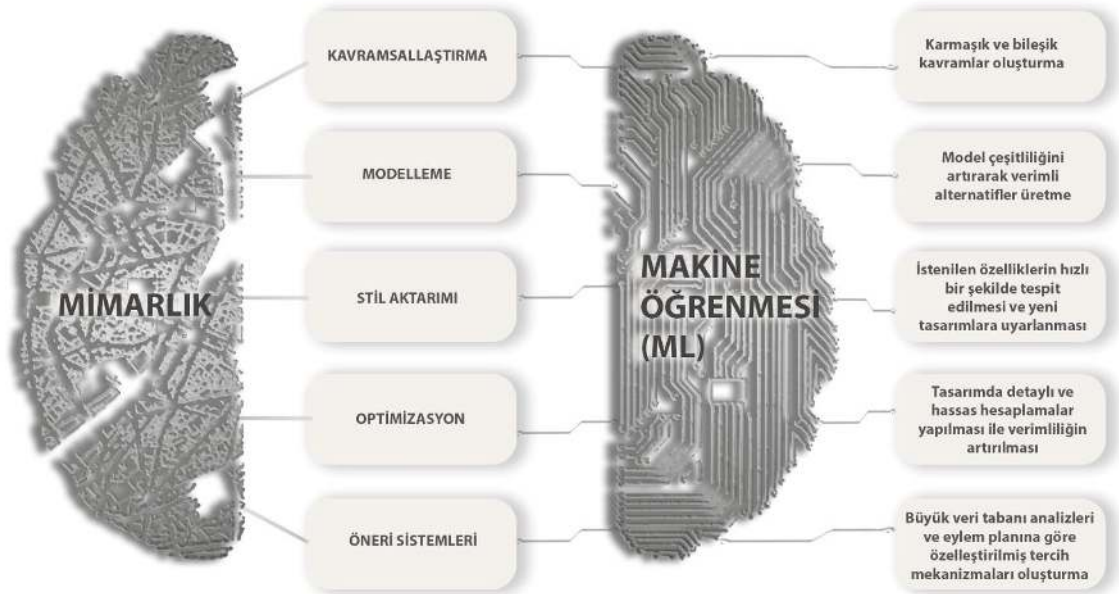
Şekil 28: Sistemin Tersine Çalıştırılarak Hedef Deformeler İçin Görüntü Elde Etme [69]

Çalışmanın başında problemin tasarlanış şeklinin tersi uygulanarak, hedeflenen deformasyona sahip istenen, lamine katmanlarının eğitilmiş olan sinir ağlarına yüklenmesi ile gerekli malzemenin kesme modeli elde edilmektedir (Şekil 28). Böylece uyarlanabilir paneller oluşturulabilmesi için gerekli görülen parçaların, eğitilmiş sistem kullanılarak daha

kısa sürede seçilebilmesi ve deneme yanılmaya göre daha kesin sonuçlar elde edilmesi sayesinde maliyetin düşürülmesi başarılmıştır. Yapılan bu çalışma, firmanın, tasarım destekli bir model olarak ilk vekil makine öğrenimi modelini planlama sürecinde etkin bir şekilde kullandıklarını göstermektedir.

4.2. Mimari Tasarım Sürecinde Makine Öğrenimi

Bilgisayar teknolojisi ve yazılım programlarının kullanımının yaygınlaşması ile pek çok farklı sektörün yeni bir bakış açısı oluşturarak farklı yöntemleri uygulamaya koyması mimarlık alanına da yansyarak çevrenin getirdiği değişimlerin yapı sektöründe nasıl kullanılabileceğine dair araştırmaların artmasını sağlamıştır. Bu araştırmalar, mimaride farklı süreçlerde makine öğrenmesi tekniklerinin uygulanması ve diğer alanlarda kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin mimarlık için de uygulanabilir olup olmadığı üzerine yoğunlaşmaktadır. Tasarım aşamasından uygulama aşamasına kadar pek çok noktada ihtiyaç duyulan verilerin ayrıştırılması, kümelenmesi ve analiz edilmesi gibi kritik konularda makine öğrenmesi tekniklerine başvurulmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmalarından bazıları mimarlar tarafından sıklıkla kullanılan akıl yürütme süreçlerine benzetilebilir. Bu durum, makine öğrenmesini tasarım sürecini geliştirmek için büyük bir potansiyel haline getirmektedir.



Şekil 29: Mimarlıkta Makine Öğrenmesinin Kullanım Alanını Yansıtan Kavramlar

Mimari uygulamaları tasarım ve uygulama süreçleri içerisinde tasarım, görselleştirme, simülasyon, malzeme seçimi, maliyet analizi ve teknik çizimler gibi pek çok farklı çalışma alanı barındırmaktadır. Tüm bu alanlar düşünüldüğünde, yazılım programları ve makine öğrenmesi tekniklerinin mimarlıkta nerelerde ve ne amaçla kullanılabileceğini belirlemek önemlidir. Kavramsallaştırma, modelleme, stil aktarımı, optimizasyon ve öneri sistemleri gibi temel kavramlar, genel olarak mimarlıkta makine öğrenmesinin kullanıldığı alanları ve kullanım amaçlarını yansıtmaktadır [71]. Belem, Santos ve Leitão [71] tarafından belirlenen bu kavramlar incelenerek Şekil 29’da makine öğreniminin mimarlıkta ne şekilde kullanılabileceğine ve neler beklenebileceğine dair fikirleri özetlenmiştir. Böylece, mimari tasarım ve uygulama süreçlerinde makine öğrenmesi algoritmalarının sağlayabileceği destek alanları belirlenmiştir.

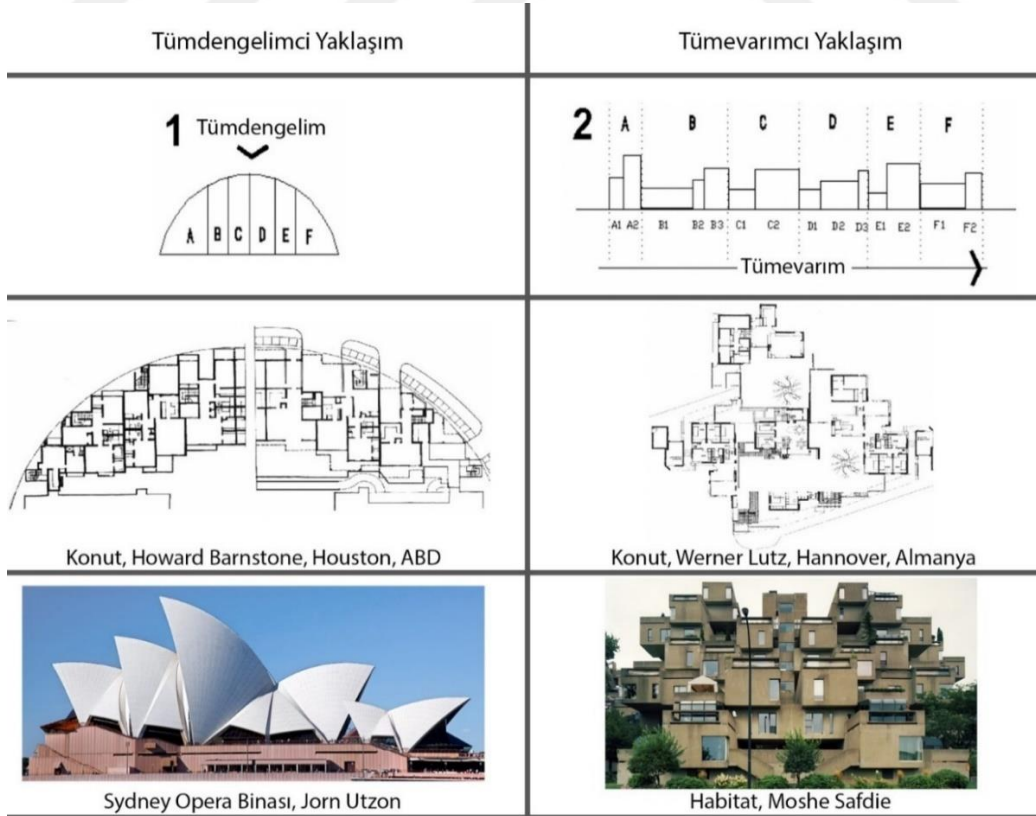
Makine öğrenmesi algoritmalarının sağladığı veri analizi ve detaylı ayrıştırma işlemleri, erken tasarım aşamasındaki taslak oluşum sürecinde ihtiyaç duyulan bilgilere erişilmesinde ve mevcut bilgilerin uygun bir şekilde kategorize edilmesinde kolaylık sağlayabilir. Makine öğrenmesi tekniklerinin kullanıldığı, tasarımcının düşünme ve uygulama süresince gerçekleşen eylemi pekiştirme işlemleri bir döngüye sahip olan ve bilişsel yeteneği ile bağlantı kuran bir öğrenme yinelemesidir [72]. İdealle edilmiş tasarım kavramları için üretilen her bir açıklama, daha sonra ilgili tasarımı oluşturmak için farklı şekillerde işlenebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, makine öğrenmesi tekniklerinin tasarım sürecinde farklı düşünme ve biçimlendirme tercihleri yapılırken kullanılmasının, tasarım geliştirilmesi, mekân analizlerinin iyileştirilmesi ve binada tercih edilecek olan malzeme ve taşıyıcı sistem gibi öğelerin seçilmesi gibi konularda etkili bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu çalışmada Catarina Belém, Luís Santos ve António Leitão (2019) tarafından belirlenen Makine Öğrenimi kullanım alanları temel alınarak, bu alanlar aşağıdaki örneklerle açıklanmıştır.

4.2.1. Kavramsallaştırma

Kavramsallaştırma genel olarak, tasarım fikirlerinin büyük bir tasarım kavramına dönüştüğü aşama olarak tanımlanmaktadır [73]. Bu aşama, mimari öğelerin ve fikirlerin diğer bağlamlar ile birlikte düşünülerek yorumlanmaya başlandığı ve tasarıma aktarılacak istenen verilerin bir bütün olarak ele alındığı bir süreç olarak değerlendirilebilir. Erken

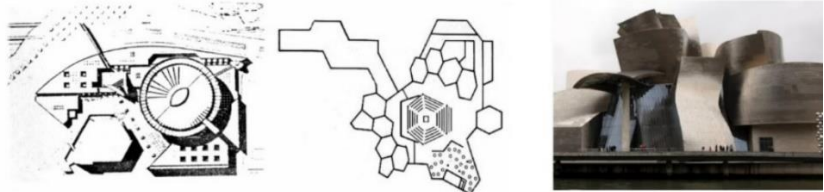
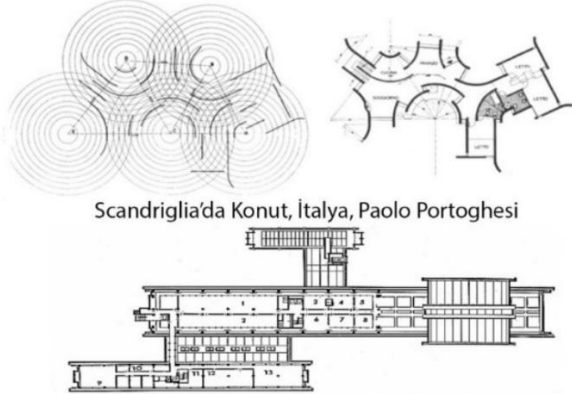
tasarım aşamalarına esas olan kavramsallaşma süreci belirli bir tasarımın ana fikirleri, stratejileri, mekânsal ve zamansal anlatılanlarının tanımlanmasından oluşur ve mimarlar tarafından aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya yaklaşım çerçevesinde geliştirilir [71]. Yapılan tanımlamalar için kullanılan algoritmalar, tasarımcı tarafından kavramsal tanımlama, yaklaşım ve keşif dâhil olmak üzere kavramsallaştırma işlemlerini gerçekleştirmede işlevsel olabilmektedir. Böylece, çeşitli kavramlar ve stratejiler aşamalı bir şekilde oluşturularak karmaşık ve bileşik kavramlar ortaya çıkarılabilir.

Bina kavramı içerisinde bulunan nesnelerin çözümlenebilir bileşenlerinin olası durumlar için değerlendirilmesi ve bu uygulamalara erişebilmek için gerekli eylemlerin planlanması mimari tasarımı net bir şekilde ifade etmektedir [74]. Tasarım yapılırken mevcut fikirler ve elde edilen verilerin bütünleşmesini kapsayan tasarım süreçleri farklı yaklaşım türlerine göre çeşitli stratejiler doğrultusunda şekillenmektedir. Bu bağlamda örnek olarak, bina tasarımlarında formun biçimsel olarak önceden karar verilen bir kompozisyona göre şekillenmesi tüm dengelimci bir stratejiyi yansıtırken, binanın yapısal elemanlarının bir araya gelme şekline göre ortaya çıkan bina formu ise tasarımın başında belirlenen bir biçim amacı taşımayan tümevarımcı bir stratejiyi ortaya koymaktadır (Şekil 30) [74].



Şekil 30: Tümdengelimci ve Tümevarımcı Yaklaşım Örnekleri [74]

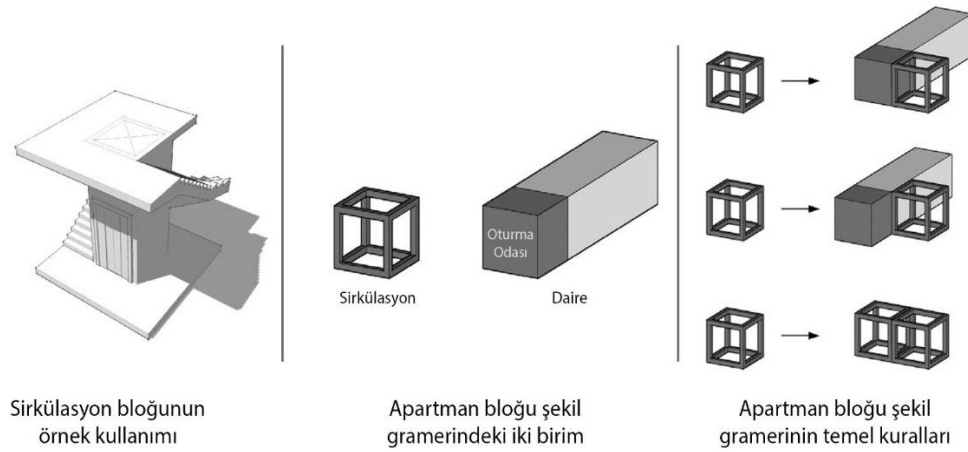
Öte yandan, kavramsallaştırmada, tasarlanan binanın formunu oluşturan temel şekle karar verilen süreç strüktürleri de bulunmakta olup mimari tasarımda organik ve geometrik olmak üzere iki çeşit biçimlendirme strüktürü bulunmaktadır (Şekil 31) [74]. Organik strüktür yaklaşımına göre yapılan tasarımlarda, mekânların şekillenmesinde, geometrik formların yanı sıra serbest formların da kullanıldığı görülürken geometrik strüktür yaklaşımında ise yalnızca düzenli geometrik formların kullanıldığı anlaşılmaktadır. Verilen örnekler incelendiğinde, tasarım aşamasında bahsedilen stratejiler ve strüktürel yaklaşımların tasarımcı düşünme biçimleri ve kavramsallaştırma ile ilişkili olduğu görülebilir.

Strüktür Yaklaşımları	Örnekler
Organik Strüktür Yaklaşımı	 Kütüphane , Manfredi G. Nicoletti, İskenderiye, Mısır Halkevi, Ulrike Kaelberer, Darmstadt, Almanya, Guggenheim Müzesi, Frank Gehry, Bilbao, İspanya
Geometrik Strüktür Yaklaşımı	 Scandriglia'da Konut, İtalya, Paolo Portoghesi Kongre Binası, Sachio Otani, Kyoto, Japonya

Şekil 31: Tümdengelimci ve Tümevarımcı Yaklaşım Örnekleri [74]

Mimari tasarım fikirlerinin geliştirilmesi ve bu aşamada tasarımın içinde barındırdığı maliyet, inşaat, sürdürülebilirlik gibi etkenlerin de düşünülerek üretimler yapılabilmesi için bilgisayar destekli programlar kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, pek çok alanda gelişen yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi sinir ağları ve algoritmaların kullanıldığı örnekler üzerinde durulmaktadır. Oluşturulmak istenen tasarım stratejilerini tasarım fikirlerine entegre etmek için kavramsal tasarım aşaması en uygun zamandır [75].

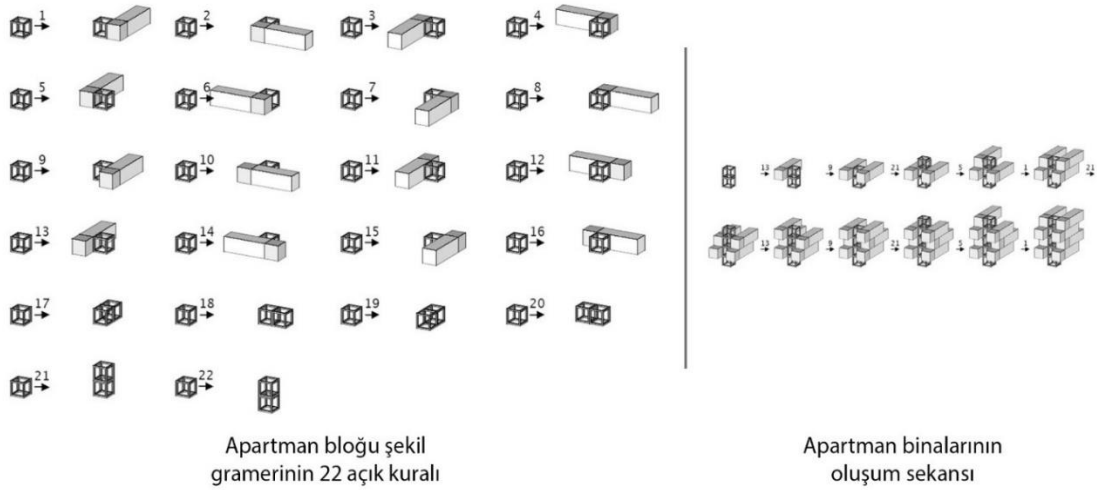
Bunun sebebi, bu aşamada en uygun çözümlerin seçilmesi ve tasarım alternatifleri üretilerek performans değerlendirmesi yapılabilmesidir. Tasarım sırasında yapılan akıl yürütme işlemlerinin kavramsal olarak aşırı yüklemeye sebep olması, bu aşamada bilgisayar tabanlı desteklerin geliştirilmesini sağlayabilir [76]. Böylece, karar verilmesi gereken verinin daha iyi anlaşılması, etkin karar seçeneklerinin oluşturulması ve uygun alternatiflerin oluşturularak değerlendirmelerin yapılması gibi süreçlere destek sağlayarak verilen kararın doğru olma olasılığı artırılmak istenmektedir. Optimizasyon problemleriyle mücadelede ve çok büyük arama uzaylarını keşfetmede başarılı oldukları kanıtlanan genetik algoritmalar [77], makine öğrenmesinde de kullanılarak çözülmesi uzun zaman alacak zor problemlerin çözülmesini sağlayabildiğinden, veri merkezleri, elektronik devre tasarımları, kod kırma, görüntü işleme ve yapay yaratıcılık gibi çeşitli uygulamaların yanı sıra mimari tasarım fikirlerinin oluşturulmasında da kullanılmıştır.



Şekil 32: Şekil Grameri için Temel Birimlerin Oluşturulması [78]

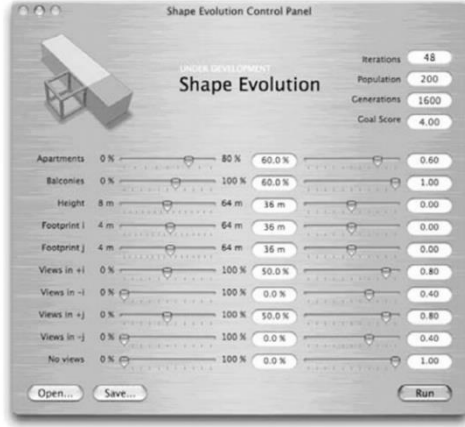
2007 yılında genetik algoritmalar ile bir şekil grameri kullanılarak yapılan tasarım araştırmasında, sistemi test etmek için çok katlı bir apartman bloğu için yenilikçi ve işlevsel tasarım kavramları üretmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır [78]. Yatay ve dikey dolaşım boşlukları ile bir dizi benzer daireden oluşan bir bina modeli ele alınarak tüm dolaşımların bitişik olması ve zemin katta erişilebilir bir giriş olması gerekli görülmüştür. Tasarlanan dolaşım ünitesi 4mx4mx4m’lik bir küp ile hesaplanabilecek şekilde olup hem dikey hem de yatay sirkülasyonu içinde barındıracak şekilde ayarlanmış ve daire düzenlemelerini basitçe ifade edebilmek için soyut temsiller kullanılmıştır (Şekil 32). Yerleştirilecek olan strüktürün

apartman girişini önlemesi ihtimali düşünülerek zemin katta daire olmamasına karar verilmiştir. Bitişik dolaşım ve her daire için erişebilirlik sağlanabilecek bir şekil grameri oluşturulmak istenmiş ve bu bileşenlerin bir araya gelerek amaca uygun sonuçlar üretebilecekleri kurallar oluşturulmuştur. Gereksinimleri yerine getirebilen çeşitli temel varyasyonların bir birim olarak üretilmesinin ardından bu birimlerin birbirlerine eklenmesi ile basit bir apartman oluşumu sergilenmiştir (Şekil 33). Böylece, oluşturulan şekil grameri kullanılarak üretilen kavramsal tasarımların nicel olarak tanımlanabilmesi ve tasarımların optimizasyonu için hedeflenen özellikleri tanımlamak mümkün kılınmıştır.

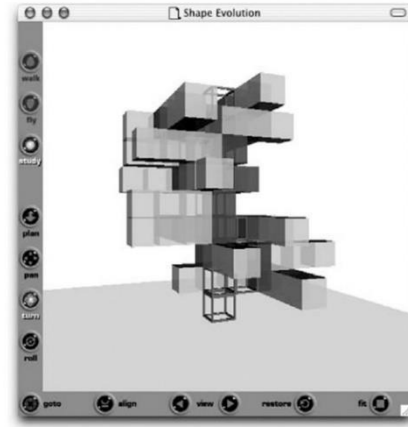


Şekil 33: Kuralların Bir Araya Gelmesiyle Oluşan Apartman Binaları [78]

Tasarımların ölçülen özellikleri ile hedef miktarlarının karşılaştırılarak değerlendirilebilmeleri için grafiksel kullanıcı bir ara yüzü oluşturulmuştur. Sistem, tasarımı oluşturan kural dizisini tanımlayan bir şekil kodu dizisi kullanmaktadır. Boşluğu temsil etmek için '0', bir sirkülasyon bloğunu temsil etmek için '1' ve dairedeki odaları temsil etmek için ise 2'den 5'e kadar sayılar gösterilmektedir. Kullanıcıya bir tasarımı anlaşılır bir şekilde sunabilmek amacıyla, üç boyutlu diziyi uygun bir tarayıcıda etkileşimli olarak görüntüleyebilen Sanal Gerçeklik Modelleme Dili (Virtual Reality Modelling Language, VRML) kullanılmaktadır (Şekil 34). Tasarım ve imalatla etkin bir role sahip olan VRML, sanal modelleri uzak kullanıcılar ile paylaşarak ortak çalışmayı ve eşzamanlı mühendisliği desteklemek için mükemmel bir araç sağlamaktadır [79].



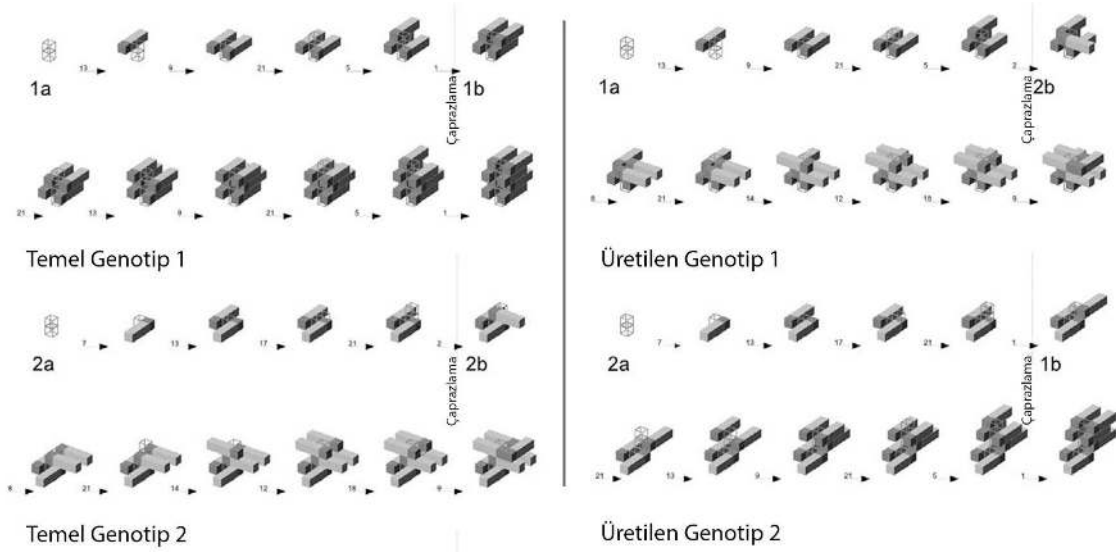
Şekil geliştirme sistemi



Bir VRML tarayıcısında görüldüğü gibi tipik bir apartman bloğu tasarımı

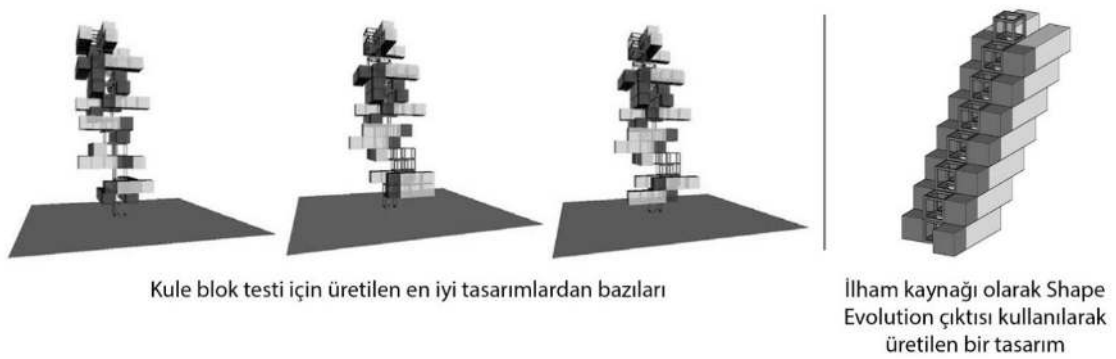
Şekil 34: Shape Evolution & VRML ile Apartman Modeli Tasarımı [78]

Genetik algoritmanın problem uzayını aramada bir mekanizma sağlayabilmesi için öncelikli olarak rastgele bir başlangıç popülasyonu seçilmiştir. Bu popülasyonu oluşturmak için tanımlı sayıda rastgele kural seçilerek uygulanmış ve üç boyutlu tasarım kullanılarak bir kontrol adımı eklenmiştir. Daha sonra değerlendirme aşamasına geçilerek, başlangıç popülasyonlarındaki tasarım performansları ile kullanıcı tarafından sağlanan optimizasyon hedefleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen kaynaklar ile daire sayısı, tamamlanan bina alanı ve hacmi, yükseklik ve kapladığı alan gibi bilgileri çıkarmak mümkün kılınmıştır. Genetik algoritmanın diğer aşamasında ise, değerlendirilen popülasyondan bir sonraki yeni üretilmeye materyal sağlayacak temel kaynaklar seçilmiştir. Bu işlemde, iki temel genotipin şekil kodlarının rastgele bir konumda ikiye bölünmesi ve yarılarının değiştirilerek tekrar birleştirilmeleri ile yeni üretimler için bir başka genotip elde edilmektedir. Oluşan yeni genotipler ile temel genotipler arasında da aynı şekilde böl-değiştir-birleştir işlemleri uygulanarak oluşan genotipler ile farklı popülasyonlar üretilmektedir (Şekil 35). Genetik algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen bu sistem ile mutasyonlar oluşturularak yeni popülasyona çeşitlilik katma ve problem uzayının yeni alanlarının keşfedilmesini sağlama olasılıkları artırılmaktadır. Çaprazlama ve mutasyon olarak adlandırılan bu işlemler sonucu geliştirilen tasarım sonuçları, geçersiz bir genotipin ortaya çıkma ihtimali olduğundan dolayı hiçbir çakışma olmadığı konusunda emin olmak için kontrol edilmektedir.



Şekil 35: Temel Genotiplerin Çaprazlanmasıyla Yeni Genotip Üretimi [78]

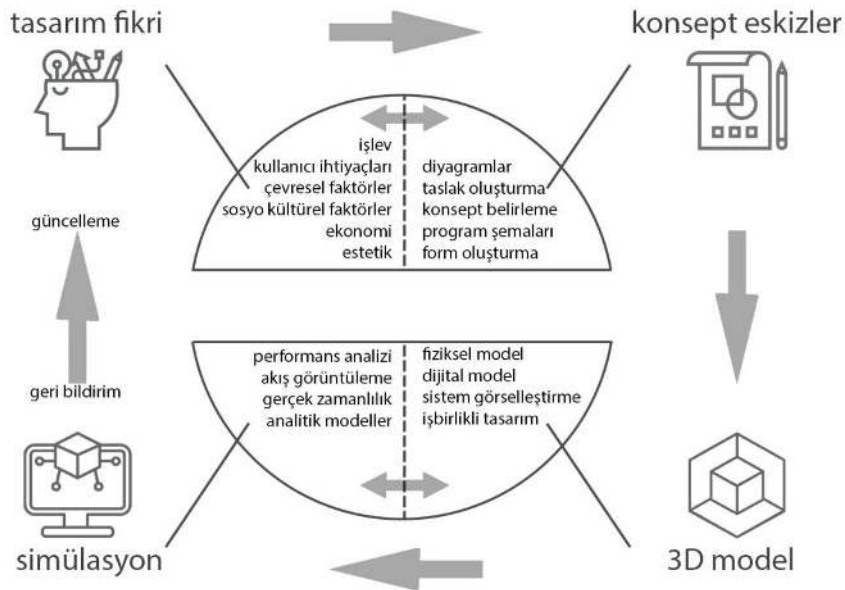
Oluşturulan yeni tasarımları üretmek için kullanılan bu programın amacı, tasarımcıya iyi çözümler önererek ilham vermektir (Şekil 36). Bu bağlamda, bir dizi alternatif üretilerek sunulan önerilerin yanı sıra ele alınmayan ölçütlerden etkilenilebilecek farklı seçim imkânları da sunulmuş olmaktadır. Kullanıcıya, hızlı ve basit, işlevsel çözümler önerebilen, yenilikçi tasarım fikirleri veren bir yöntem ve araç üretmek amacıyla yapılan bu çalışma sonucu beklentilerin haricinde tasarımcının stilistik ve estetik gereksinimleri ile tutarlı tasarımlar üretme yeteneğini karşılamayı başarmıştır. Elle yapılan tasarımla kıyasla genetik algoritmaların kullanılması ve şekil gramerlerinin oluşturulması ile tasarım problemleri için oluşturulan çözümlerin daha geniş bir havuzdan seçilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple, erken tasarım aşamasında genetik algoritmaların kullanılarak düşünülen fikrin geliştirilmesi ve en uygun hale getirilmesinde bu yöntemin oldukça faydalı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 36: Üretilen Tasarım Örnekleri [78]

4.2.2. Modelleme

Modelleme, ilgilenilen sistemin yapısının ve işleyişinin temsili olan bir modeli üretme süreci olarak tanımlanabilir [80]. Mimari modelleme, sistemin özelliklerinin belirlenmesi ve sistemin anlaşılabilmesi için önemli olup model tarafından temsil edilen sistem hakkındaki bilgilerin görselleştirilmesini sağlar. Makine Öğrenimi, bina performans simülasyonu için analitik modeller ve bina görselleştirmesi sunmanın yanı sıra farklı bina modellerinin üretilmesiyle ilgili tasarım aktivitelerini geliştirme potansiyeline de sahiptir (Şekil 37). Simülasyon yapılarak performansa dayalı yaklaşımları desteklemek ve tahmin edilen performansın gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını incelemek mümkündür. Çünkü simülasyon bilgisayar ortamında, yapı modellerinin gerçekte maruz kalacakları, rüzgâr, deprem yükü, güneş ışıınımı vb. etkilerin yapıda yaratacağı sonuçların analizlerini, içerir [81].

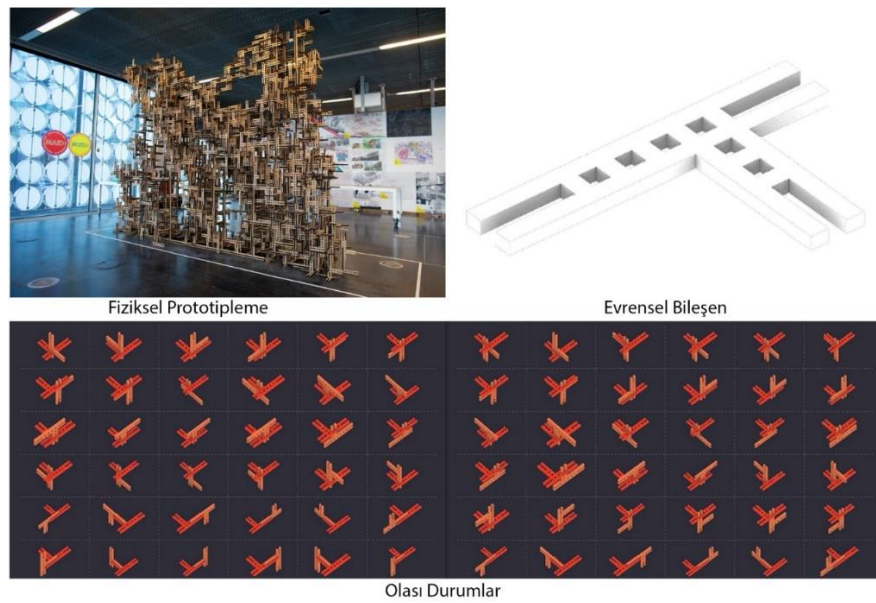


Şekil 37: Tasarımda Modelleme ve Simülasyon Döngüsü

Öte yandan, bu yaklaşımların kendi bağlamlarıyla sınırlı olması, tek bir alanda uzmanlık, zamanla gelişmeyen sabit bilgi tabanı ve düşük performans gibi sorunlar da bulunmaktadır. Bu durum, makine öğrenmesinin, simülasyon programlarına kıyasla nasıl daha iyi olabileceği konusunda da bir fikir sağlayabilir [71]. İnsanlar tarafından yazılan programların yanı sıra makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak örneklerden öğrenen bir sistemin yeni durumlar karşısında daha kolay bir şekilde uyum sağlayabileceği düşünülmektedir. Makine öğrenimi tekniklerinin veriye dayalı modelleme yaklaşımları

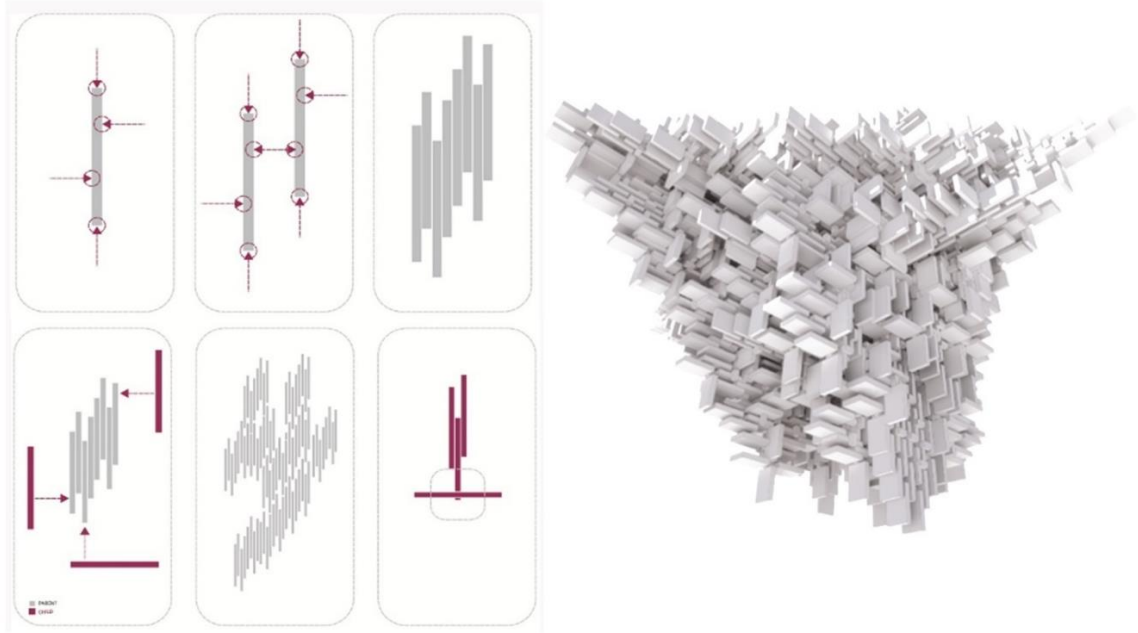
oldukları düşünüldüğünde [82], bu tekniklerin mimarlıkta ihtiyaç duyulan modelleme işlemleri için de uygun ve kullanılabilir bir araç olarak değerlendirilmesi mümkündür. Mimarlık alanında özellikle BIM gibi gelişmekte olan çeşitli alanlarda kullanılan modelleme işlemi ile gerçekleştirilen simülasyonlar, tasarlanan yapıların daha işlevsel ve uzun ömürlü olmasını sağlamak ve olası problemlerin önceden tespit edilerek farklı alternatifler üretilerek çözüm yolları sunulması bakımından oldukça önemlidir. Ayrıca, yeni tasarımların yanı sıra, çok eski olan tarihi yapıların modellenmesi ile güncel verilerin modele aktarılması, bu yapıların olası etkenlere karşı dayanıklılığını ölçmek ve yeni koruma yöntemleri geliştirebilmek için de etkili bir yöntem olarak düşünülebilir.

Karmaşık ortamlar için tasarım yapılabilmesi, tasarım süreçlerinde büyük veri ve yapay zekânın daha fazla bütünleşmesi ve inşaatta otomasyonu ile ilişkilidir [83]. Yüksek çözünürlüklü mimari kavramları ve bilgi açısından zengin tasarım ortamları çok sayıda algoritmik yöntem ve büyük veri kaynağının bir sentezi üzerine kuruludur. Çok küçük girdilerin çok karmaşık ve zengin çıktılar üreteceği basit ayrık yapı taşlarının kullanılmasında rastgeleliğe dayanan birleşimler bulunmasından dolayı beklenmedik durumlarla karşılaşma ve bunların hesaplanamaz olması üzerine yapılan araştırmalar Royal Melbourne Teknoloji Enstitüsü Üniversitesi'ndeki (Royal Melbourne Institute of Technology University, RMIT) bir araştırma stüdyosunda yapılan çalışma ile ele alınmıştır [83]. Bu çalışmada, bağlantı ve iç birleşimlerinden oluşan evrensel bir bileşen oluşturulmuştur. Bileşimin oluşturulması geometrik temellere dayansa da bağlantı sayısının fazla olması birden fazla tasarım ve hesaplama zorluğuna yol açmıştır (Şekil 38).



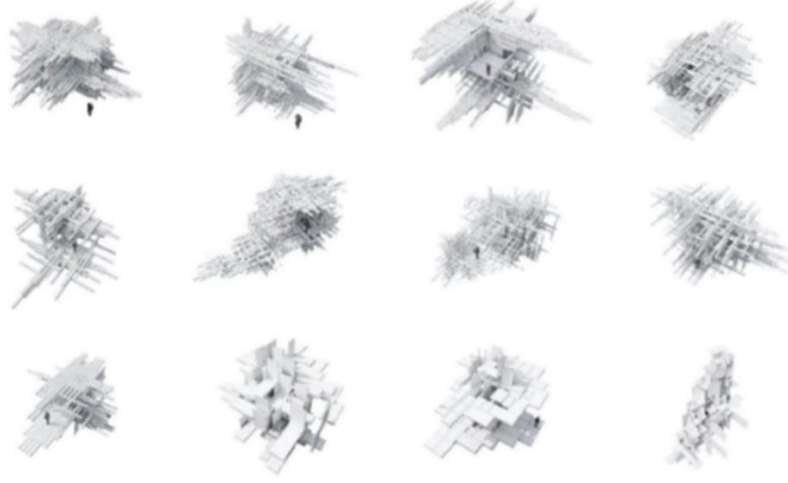
Şekil 38: Fiziksel Prototipleme & Bileşen Modeli & Farklı Bağlantıların Olası Durumları [83]

Hesaplama sorununu ele almak için bileşenin bağlantı mantığını yakalamak amacıyla geliştirilen bir algoritma kullanılarak, daha büyük mimari kümelerin montajında bileşenlerin bölgelere ayrılması, yoğunluğu ve yönlülüğü için veri haritaları üretilmiştir. Fiziksel prototipleme sayesinde farklı bağlantı durumlarının ürettiği olası sonuçların daha hızlı anlaşılması sağlanmış olsa da büyük veri sorunu ve yapıdaki her bileşen için farklı simülasyonlar yürütmenin imkânsız olması sebebiyle yapının montajı çalışmayı yürüten öğrencilerin deneyimi ve doğaçlama yönelimlerine göre şekillenmiştir. Otomatik inşaata yönelik uzun soluklu bir düşünce yapısı benimsendiğinde bu tarz montaj sistemleri için simülasyonun ne kadar önemli olabileceği üzerine durulmuştur. Böylece, bu projede karşılaşılan zorluklar makine öğreniminin simülasyon ortamına entegre edilmesine yönelik daha fazla araştırma yapılması için bir temel oluşturmuştur.



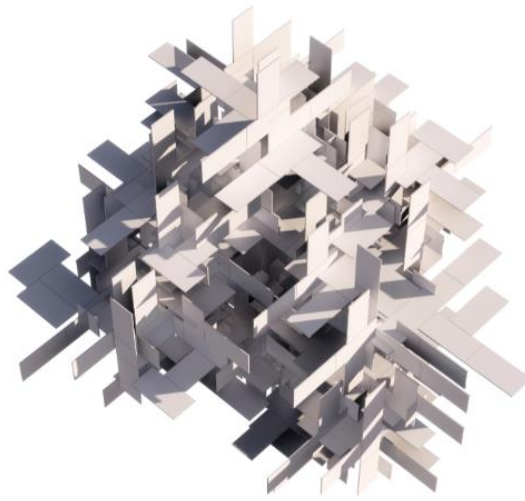
Şekil 39: Bağlantı Mantıkları & İlk Simülasyon Çalışması [83]

Makine öğrenmesi alt dallarından biri olan pekiştirmeli öğrenme, gözlemlere dayalı olarak sürekli sıralı kararlar verme yeteneğine sahip olması sebebiyle bu çalışmanın geliştirilebilmesi için uygun bir makine öğrenmesi modeli olarak kullanılmıştır. Makine öğrenimi aracına simülasyonun başında birleştirilen bileşenlerin örnekleri verilerek montaj için başlatıcı görev oluşturulmuştur (Şekil 39). Pekiştirmeli öğrenmedeki eylem dizilerini geliştirmede rol alan ajanlara, örneklerin x, y, z yönünde nasıl hareket edeceklerine dair mantıkların verilmesiyle uygunluk koşulları belirtilmiştir.



Şekil 40: Platform Çalışmaları [83]

Yapılan ilk simülasyon çalışması, küresel düzlemler, bileşen kesişimleri ve yoğun uzaysal kümeleme ile sonuçlanmaktadır. Bağlantı sayılarının çok olması ve monte edilen çok sayıda bileşen girilmesi sebebiyle kullanılan algoritmaların kullanılabilir tüm alanı doldurmaya çalışması beklenmiştir. Tasarım çalışmasının ilerlemesiyle, bileşenlerin bağlantı noktalarının yinelemeli olarak sınırlandırılması ve simülasyonların daha uzun süreler boyunca çalıştırılmasıyla mekânsal diziler oluşturularak karmaşık dolaşım yolları elde edilmiştir (Şekil 40). Böylece, ayrı öğelerin belirli bir araya getirilmiş durumlar etrafında kümelenebileceği ve benzer uzamsal alanları tekrar tekrar bir araya getirmek yerine kümeler boyunca dağılabileceği önerilmiştir. Bu sonuç, farklı durumların değerlendirilerek mimari dokunun benzersiz örneklerinin oluşturulabileceğini göstermiştir.



Şekil 41: Yatay Çizgiler ile Bileşenlerin Tasarımı [83]

Tasarım araştırmasının bir sonraki adımında, algoritma kapasitesini anlayabilmek amacıyla yüksek çözünürlük, birden çok bileşen, çeşitli geometriler ve bağlantı veri kümesi bütünleştirilmiştir. Ayrıca, simülasyon montajı bir konut ölçeğine yaklaşan mimari alan parçalarıyla sınırlandırılmıştır. Daha sonra, tavanların, duvarların ve zeminlerin ayrıklaştırılması yapılarak yatay çizgilerin nitelikleri araştırılmış ve bileşenlerin tasarımında kullanılan bir stratejiyle bir sonraki ögenin oluşumunu kolaylaştıracak evrensel bir blok kullanılmıştır (Şekil 41). Çeşitliliği artırmak için ise yüzeylere birden çok bağlantı noktası eklenerek bileşenlerin montaj sürecinde yüzeyler arasında kayması planlanmıştır. Çalışmanın sonunda, gerçekleştirilen simülasyonlar ile standartlaştırılabilen, özelleştirilebilen ve yeniden yapılandırılabilen ayrı yapı taşlarının yeniden birleştirilmesiyle ortaya çıkan modeller (Şekil 42) mimari açıdan değerlendirilmiştir.



Şekil 42: Yapı Taşlarının Birleşmesiyle Model Oluşumu [83]

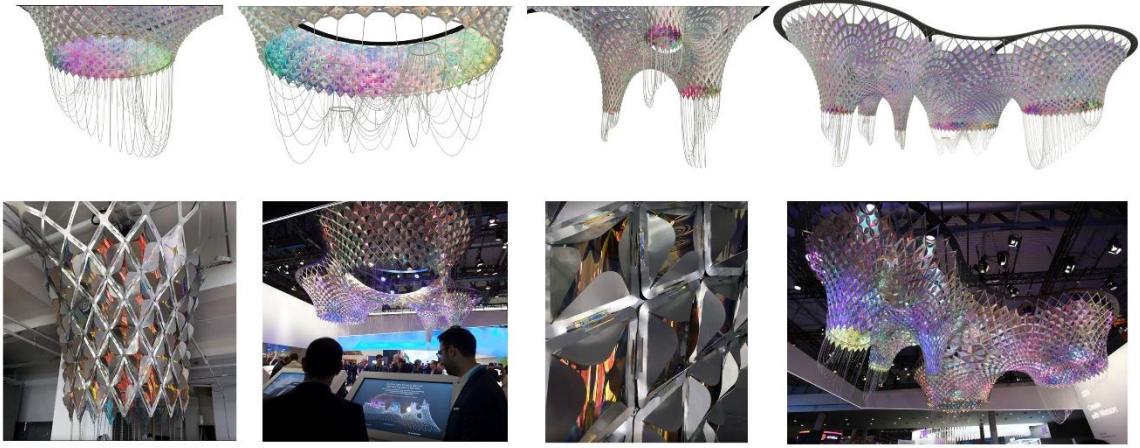
Yapılan bu araştırma, mimarlıkta makine öğrenmesinin simülasyon oluşturmak için kullanılmasının olası sonuçlarını gösterirken aynı zamanda pekiştirmeli öğrenme tekniğinin bu alanda nasıl uygulanabileceği hakkında da fikir vermektedir. Makine öğrenimi mantığının tasarım sürecinde uygulanabilmesi için bir mimari çevre ve mimariye özgü uygunluk koşulları üretilmesi gerektiğini gösteren bu çalışma, tasarım sürecinin makine öğrenimi ile geliştirilerek karmaşık sistemlerin daha yüksek düzeyde tasarlanabileceğini ortaya koymaktadır.

4.2.3. Stil Aktarımı

Stil aktarımı görseller üzerinde düşünüldüğünde, temel görüntü ile aynı içeriğe sahip olurken aynı zamanda farklı bir resmin stiline sahip bir görüntü oluşturmaktır [84]. Sinirsel stil aktarımına yönelik yapılan çalışmalarda sinirsel stil aktarım algoritmalarının önerildiği görülmektedir. Bu algoritmaların özünde içerik ve stil fotoğraflarından çıkarılan derin özelliklerin optimizasyon problemlerini çözmek ve stilizasyon performansı ile hızını artırmak amacıyla bir dizi yöntem geliştirilmiştir [4]. Sinirsel stil aktarımı ile görüntülerin renk ve doku özellikleri gibi temel özelliklerini koruyarak farklı bir stil referans görüntüsüne ulaşmak mümkün kılınmaktadır. Bu şekilde stil aktarma tekniklerinin mimarlıkta kentsel planlama ve kitlesel özelleştirme gibi konularda da kullanılabileceği düşünülmektedir [71]. Yapay zekâya bağlı sinirsel stil aktarımı yaklaşımları ile binaların veya mimarların stillerinin transfer edilmesi de mümkün görülmektedir. Makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmesi planlanan stil aktarımı uygulamalarında, mimarların ulaşabilecekleri çıktılar karşısındaki tutumları oldukça önemlidir. Hatalı kullanıma bağlı olarak karşılaşılabilecek makul olmayan tasarım varyasyonlarına karşı elde edilen sonuçlara eleştirel olarak yaklaşılması gerekmektedir.

Makine öğrenmesi ile kişisel veriler depolanabilir ve analiz edilerek eski verilere dayanan yeni tasarımlar yapılabilir. Bu amaç için örnek alınabilecek bir çalışma olarak International Business Machine (IBM) tarafından geliştirilen Watson adında bir makine öğrenmesi sistemini gösterilebiliriz. Yapılan çalışmada makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak, ünlü bir mimar olan Antoni Gaudi'ye ait eserlerden pek çok görsel, şehrin kültürünü yansıtan resimler, biyografiler, makale ve şarkı sözleri gibi tarihi imgeler kullanılarak Watson adı verilen bu sistemin beslenmesi sağlanmıştır. Öğretme amaçlı olan besleme işlemi tamamlandıktan sonra ise Watson'ın girdi olarak yüklenen bu verileri analiz ederek Gaudi'nin tarzına özgü bilgi veren bir heykel tasarladığı görülmüştür [85] (Şekil 43). Bu heykel, makine öğrenmesi sistemi olan Watson'ın aktif olarak güncellenebilir olmasına bağlı olarak gerçek zamanlı veri aktarımını sağlarken aynı zamanda etkileşimli bir form ortaya koymuştur. Ortaya çıkan bu yeni formun, Gaudi'yi anlayarak ve onun yaklaşımlarını temel alan yeni çıktılar üretebilmesi beklenerek Gaudi'nin doğa ile olan ilişkilerini, materyal kullanımındaki şekilleri ve renkleri seçimini, yapılarında hayvan ve ağaç gibi doğa elemanlarını kullanmasını ve sorunları çözmek için başvurduğu doğa elemanlarının bu form içerisinde yansıtılması hedeflenmiştir. Bu sayede, Gaudi'nin çalışmalarındaki güzellik ve

egzotizm gibi faktörler somutlaştırılırken aynı zamanda onun yaşayan, organik, değişen ve düşünen bir yapıya bürünerek günümüz yaşamıyla bütünleşmesi sağlanmıştır.



Şekil 43: Watson tarafından tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen etkileşimli heykelin oluşumu [86]

Yapılan heykel ile bir bütün olarak ele alınan Watson, dünyanın dört bir yanındaki insanların söylediklerini anlamlandırmak için Tone Analyzer API kullanmıştır. Tone Analyzer (Ton Analizörü), kişilerin duygularını analiz etmek ve anlatım biçimleri saptamak amacıyla dilbilim analizini kullanan bir sistemdir. Python yazılım programı kullanılan bu analiz sisteminde, kodlama kullanılarak kişilerin yaptıkları yorumlara göre sinirli, korkmuş, mutlu, üzgün, detaycı, tereddütlü gibi hangi duyguya karşılık geldiği belirlenip duyguların analizi yapılmıştır [87]. Watson kullandığı bu teknik ile, belirli kişilik özelliklerini çıkararak bu özelliklere göre heykelin değişimini sağlayabilmektedir. Etkileşimli bir heykel olması ise, gerçek zamanlı veri analizine ve girdiye bağlı olarak değişen hareketleri ışıklar, halkalar ve şekiller kullanarak somutlaştırmayı sağlamaktadır. Bu durum, kullanıcı deneyimlerinin makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak bir sistem üzerinde toplanmasıyla tasarım alanında aktarılan veriler ile örtüşen yeni bir tasarım örneğine ulaşıldığını göstermektedir. Yapılan bu çalışma, kişisel veriler kullanılarak ortaya çıkartılan yeni eserin hem tamamen farklı olduğunu hem de verileri kullanılan kişiye ait öznel izler barındırdığını gösterirken aynı zamanda farklı insanların duygu ve düşüncelerinin analiz edilmesiyle değişken ve neredeyse canlı denilebilecek bir form oluşturulabileceğini gözler önüne sermektedir.

Öte yandan, mimarlık alanında mimari stiller üzerine yapılan araştırmalarda, makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılarak binalar ve bulundukları yerler arasında bir bağlam

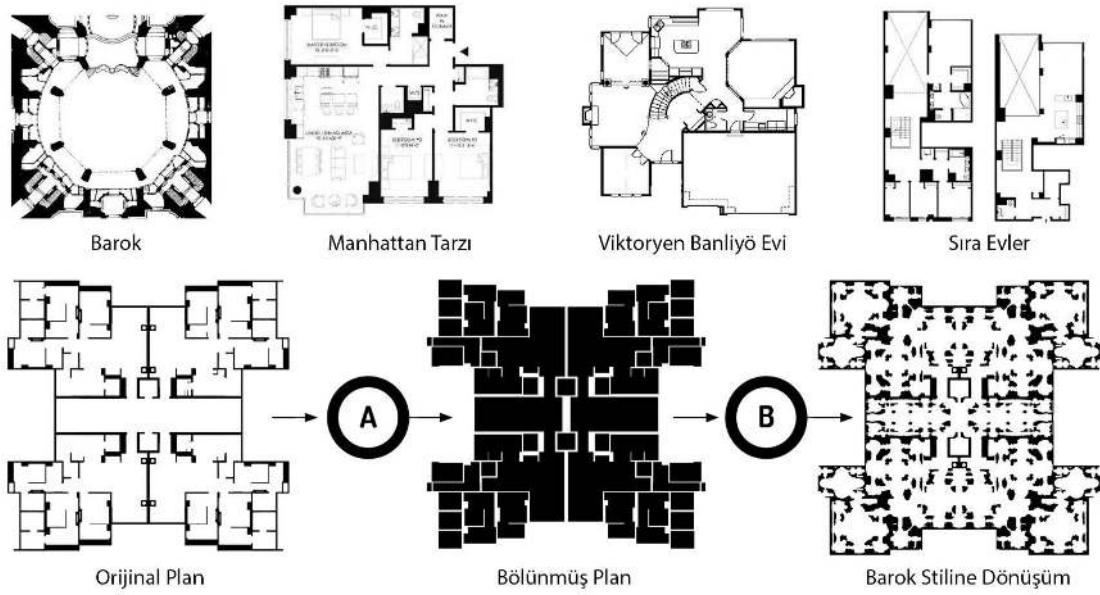
kurmak amacıyla yapılan çalışmalar da bulunmaktadır. Mimari stillerin kümelenmesine yönelik yapılan bir çalışmada [88], bina-zemin arasındaki ilişkinin anlaşılması ve binaların tasarım stillerinin belirlenebilmesi amacıyla makine öğrenmesi tekniklerinden biri olan denetimsiz öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, mimarların tarzları bina-zemin ilişkisine göre kategorize edilerek bir veri tabanı oluşturmak amaçlanmış olup ele alınan yapıların belirli dönemlere, yapı türlerine ve bulundukları bölgelere ait farklı niteliklerde sınıflandırılması sağlanmıştır. Bu çalışma incelendiğinde, farklı mimari stillerin figür-zemin ilişkisini anlamlandırabilmek amacıyla oluşturulan mimari tanım çerçevesi için görselleri girdi olarak alan evrişimli sinir ağlarının (CNN) kullanılması önerilmiştir [89].



Şekil 44: Farklı Bina-Zemin İlişkisine Gruplarındaki Mimari Stillerin Kümelenmesi [88]

Araştırmada oluşturulan veri tabanı için, modernizm, postmodernizm ve çağdaş mimariden oluşan tarihin belirgin üç dönemine odaklanılan 139 mimari örnek kullanılmıştır. Makine öğrenmesi teknikleri ve kullanılan sinir ağları algoritmaları ile işlenen bu örneklerin kategorilere ayrılması beklenmiştir. Elde edilen sonuçlar sayısallaştırılarak, var olmayan kategoriyi tanımlamak için '0' kullanılırken, mevcut olan bir kategori için '1' ifadeleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, zemine oturan yapıların ayrı bir stil olarak ayrıştırılırken zemine oturmayan yükseltilmiş yapıların farklı bir stil olarak tanımlanmış olduğunu göstermektedir (Şekil 47). Bu araştırma, mimarların stillerini anlamlandırmak için yapıların bina-zemin ilişkisine bakılabileceğini göstermekte olup, ulaşılacak sonuçların güvenilirliğini artırmak için daha geniş bir veri tabanına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Stil aktarımının bir başka örneği ise, bir kat planı içerisinde duvarların geometrisi ve şekil düzleminin incelenerek stil gözleminin yapılması ile ilgilidir. Stanislas Chaillou tarafından yapılan çalışmada (2019), kat planlarının bir tarzdan diğerine dönüştürülmesi konu edilmiştir [56]. Her stil sahip olduğu kültürel önemin yanı sıra mekânı farklı şekillerde ele alırken, farklı stillerin benzer kısıtlamalara sahip olduğu da görülmektedir. Bu çalışmada, mimari stil öğrenimini araştırmak için, her bir mimari stili taklit edebilen Barok, Sıra Evler, Viktoryen Banliyö Evi ve Manhattan Tarzı gibi belirli stiller üzerinde bir dizi modellerin eğitilmesi sağlanmıştır.

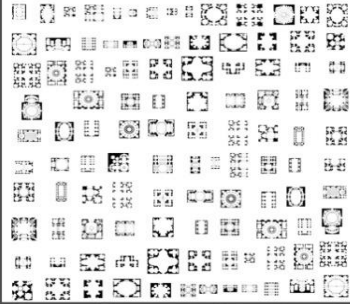
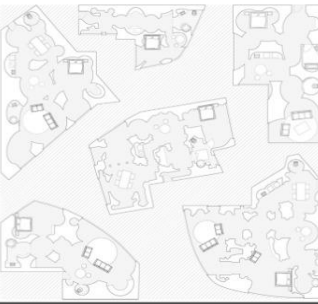
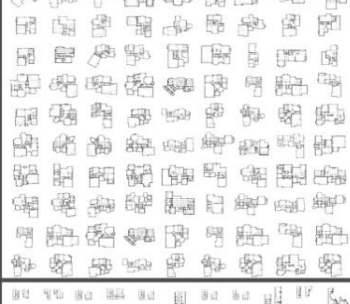
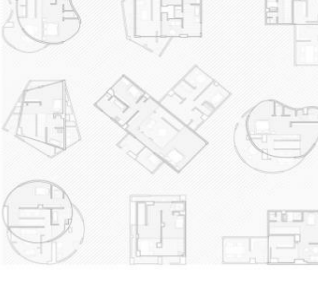


Şekil 45: Çeşitli Stillerdeki Kat Planları ve Stil Transfer Örneği [56]

İlk görüntü bir planın orijinal hali olarak alınmakta olup, bu kat planı A modeli ile bölümlere ayrılmakta ve B modeli ile de yeni duvar stilleri aktarılarak yeniden oluşturulmaktadır (Şekil 45). Bu şekilde, model A ve B üzerinden yapılan aktarım sadece bir devretme işlemi olarak değil aynı zamanda mekânsal organizasyonlar için yeniden modelleme olarak değerlendirilebilir [56]. Böylece belirli bir döneme ya da karakteristik özelliğe sahip stillerin farklı tarzlara aktarılarak yeni bir model üretilmesi ile stil transferinin nasıl sonuçlar verebileceği gözler önüne serilmektedir.

Oluşturulan birimler arasında, her stil için bazı net kalıplar belirlenmiş olup her model için farklı bir davranış olarak nitelenen bu kalıpların, stillerin mekaniğini yansıttığı

düşünülmektedir. Eğitilen modeller, öğretmek amacıyla yüklenen stil örneklerini bu kalıplara göre ayırt edebilmekte ve onlara uygun yeni örnekler üretebilmektedir (Şekil 46).

Stiller	Eğitim Setleri	Oluşturulan Birimler	Fiziksel Model
Barok Stili			
Manhattan Stili			
Viktoryen Banliyö Evi			
Sıra Evler			

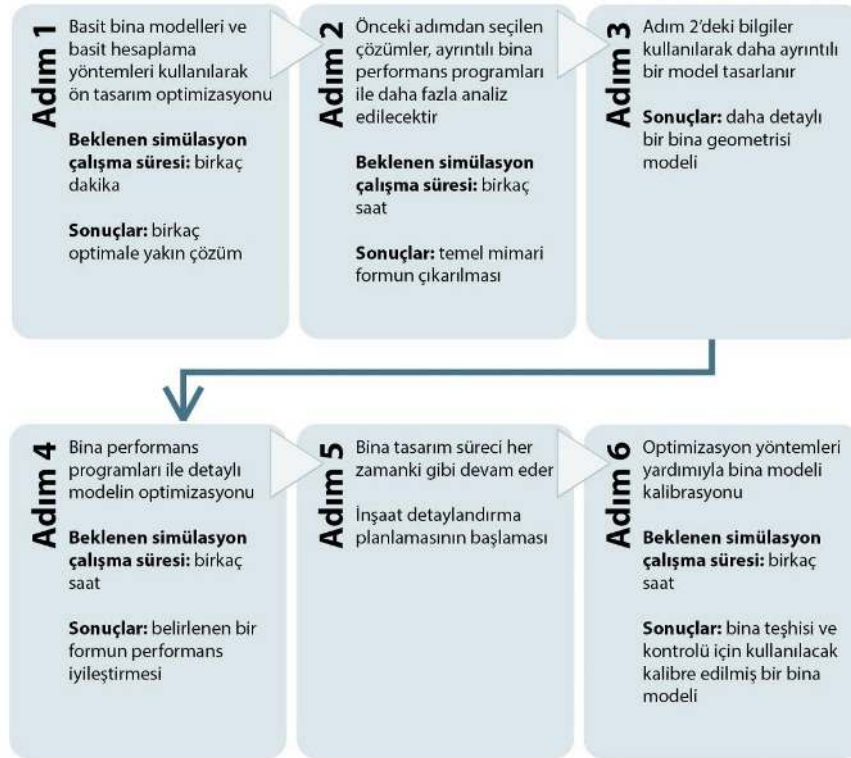
Şekil 46: Kat Planlarının Stillere Göre Eğitilmesi ve Yeni Modeller Oluşturma [56]

Yapılan bu çalışma, algoritmalar kullanılarak farklı stillerin öğrenilmesini ve bu stillerde yeni tasarımlar yapılabilceğini gözler önüne seren örnek bir çalışma olarak değerlendirilebilir. Mimari stilleri otomatik olarak ortaya koymaya yönelik yapılan bu ve

benzeri çalışmalar, makine öğrenmesi tekniklerinin mimarlık alanında kullanımını yaygınlaştırmak için bir adım olarak görülebilirken aynı zamanda araştırmaların geliştirilmesi ile elde edilebilecek kazanımlara dikkat çekebilecek niteliktedir.

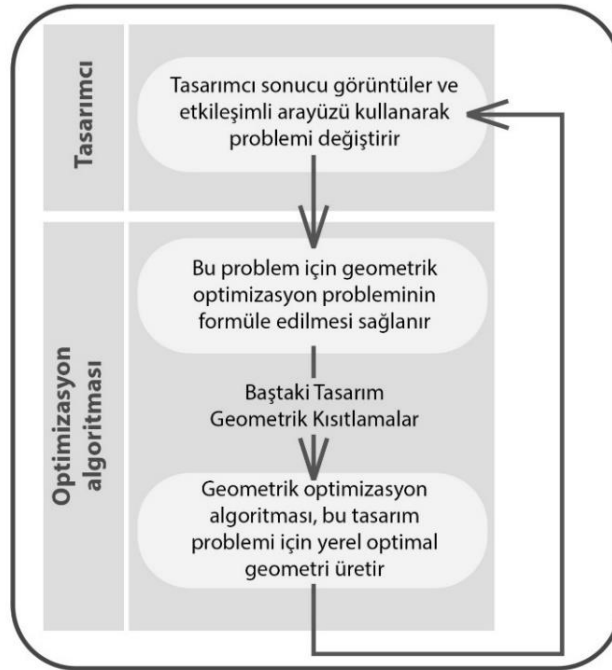
4.2.4. Optimizasyon

Makine öğrenmesinin en önemli parçalarından biri olan optimizasyon, çeşitli alanlarda pek çok araştırmacının ilgisini çekmekte olup yapılan araştırmalar ile farklı optimizasyon yöntemleri incelenmektedir. Makine öğrenmesi algoritmalarının temeli genellikle, bir optimizasyon modeli oluşturmak ve girdi olarak yüklenen verilerden amaç fonksiyonundaki parametreleri öğrenme üzerine kuruludur. Bu bağlamda, gelişen veri kümeleri ele alındığında, sayısal optimizasyon algoritmalarının etkinliği ve verimliliği makine öğrenmesi uygulamalarını da önemli derecede etkilemektedir. Öte yandan, veri miktarının büyümesi ve model karmaşıklıklarının artmasıyla birlikte makine öğrenimindeki yöntemleri zamanla daha fazla zorlukla karşı karşıya kalmaktadır [90]. Makine öğrenmesi uygulamalarının gelişimini desteklemek amacıyla performansı ve verimliliği artıran çeşitli optimizasyon yöntemleri denenmektedir.



Şekil 47: Optimizasyon Yöntemlerinin Bina Tasarım Sürecine Dahil Edilmesi [91]

Optimizasyon, bir soruna mümkün olan en iyi çözümü bulma süreci olarak düşünüldüğünde, mimarlık alanında da pek çok noktada iyileştirici yöntem arayışlarına yönelik farklı sistemler geliştirilmektedir (Şekil 47). Sürdürülebilirlik ve kaynakların verimli kullanılması talebinin yanı sıra çeşitli hazır araç setlerinin ortaya çıkması, tasarım alanında optimizasyonun daha yaygın hale gelmesine yol açmıştır [71]. Mimari tasarımda optimizasyonu artırmak, öncelikli olarak problemleri doğru bir şekilde ortaya koymakla ilişkilendirilebilir. Genetik algoritmaların optimizasyon problemlerine karşı kolay ve etkili bir çözme başarısı olduğu son zamanlarda yapılan çalışmalar ile desteklenmekte olup [92], bu algoritmaların mimarlık alanında kullanımlarında yaşanan en büyük sıkıntı olarak mimari tasarım problemlerinin kötü tanımlanması ve çözüme ulaşmada uygun değerlendirme kriterlerini belirlemeyi zorlaştırmasıdır [93]. Buna bağlı olarak, dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan birinin de problemi doğru tanımlamak olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 48: Etkileşimli Bina Yerleştirme Optimizasyon Yöntemi [94]

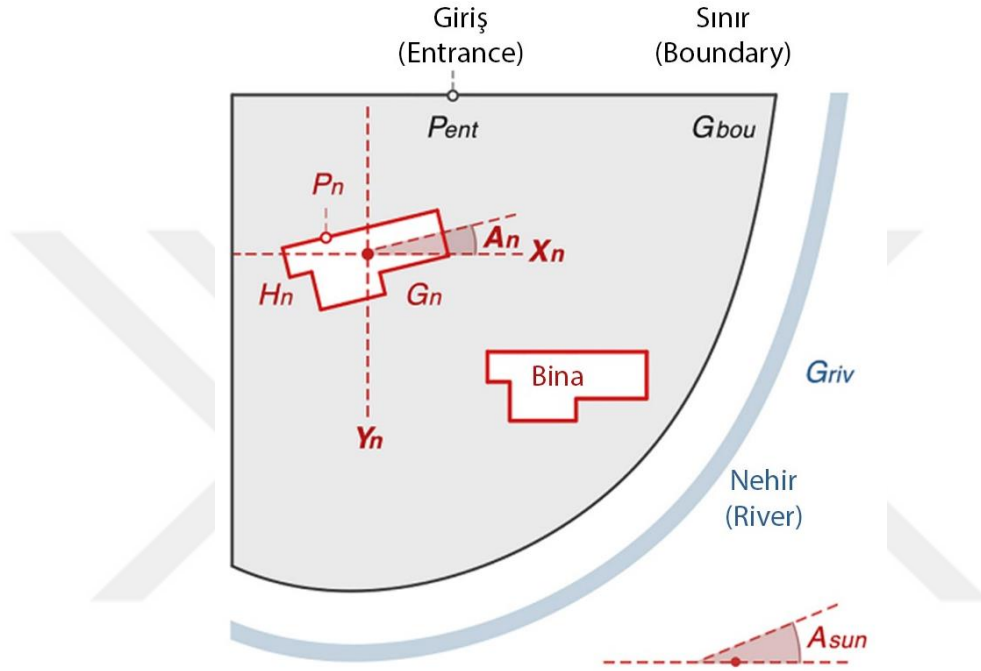
Mimari tasarımlarda, tasarımcının optimizasyon süreci sırasında yerleşim problemleri ile etkileşime girmesini sağlamak amacıyla yapılan bir bina geometrisi optimizasyonu tasarım aracı geliştirilmiştir [94] (Şekil 48). Bu etkileşimli araç, tasarım optimizasyon sorunu ile sorunu tanımlama, aramaya rehberlik etme ve tasarım alanını

keşfetme olmak üzere üç farklı şekilde etkileşime girmeye olanak sağlamıştır. Böylece, tasarımcı hem problem tanımını iyileştirmek ya da değiştirmek için hem de aramayı yönlendirmek için algoritmalarından gelen geri bildirimi kullanmaktadır. Genel olarak optimizasyon görevleri göz önüne alındığında, ML kullanımları, değerlendirme fonksiyonu yaklaşımı, boyutsallık azaltma ve hiperparametre optimizasyonu içererek, tasarım ekibi tarafından önceden tanımlanmış farklı kriterlere göre yüksek performanslı çözümler arayarak mimari tasarımda bu uygulamaların yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır.

Optimizasyon problemlerinin çözümü için en çok tercih edilen sezgisel yöntemlerden biri olan Tavlama Simülasyonu (Simulating Annealing, SA), katı malzemelerin fiziksel tavlama işlemi ile optimizasyon problemi arasındaki benzerliğe dayanan, geniş bir arama uzayında bir önermenin optimal çözümünü bulmaya yarayan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır [95]. Tavlama prosedürü, kütlenin potansiyel enerjisinin en aza indirildiği metal parçacıkların tasarım problemine en uygun moleküler düzenlemelerini tanımlar ve metallerin yüksek ısıya maruz kaldıktan sonra kademeli olarak soğutulmasını ifade eder. Genel olarak SA algoritması, metallerin tavlama işlemini taklit eden değişken sıcaklık parametresine göre yinelemeli bir hareket benimser [96]. Mimari tasarım çalışmalarını geliştirmek için sıkça kullanılan bu algoritmalar, yüksek performanslı ve düşük maliyetli hafif bir yapıyı değerlendirmek ve optimize etmek [97], bir hastanenin iç tasarımındaki tesis yerleşim problemlerini çözmek [98] ve tasarım problemlerine en uygun kat planları oluşturmak [99] gibi çeşitli konuların araştırılmasında da etkili olmuştur.

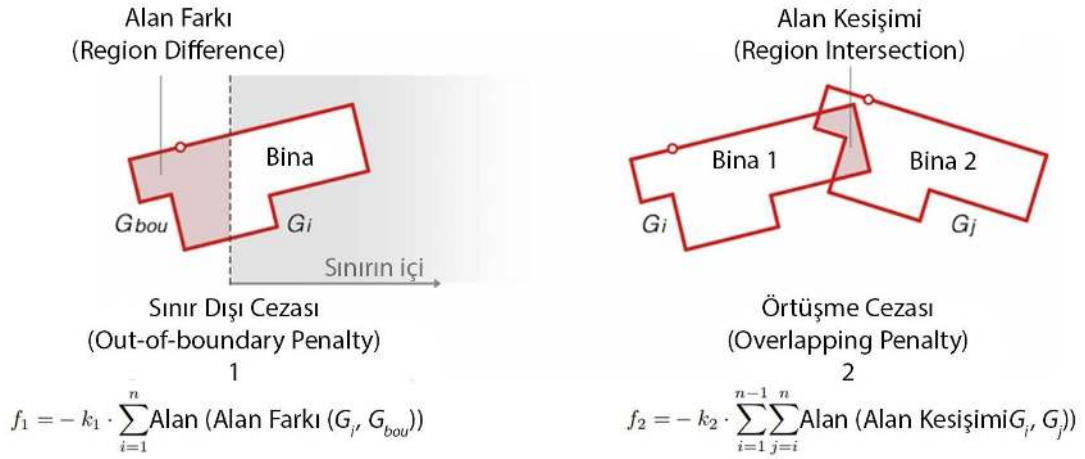
2020 yılında Hao Zheng ve Yue Ren tarafından, tasarım eğilimi parametrelerinin kullanılmasıyla konut binalarının yerleşim düzenini oluşturmak ve her bir tasarım odağı arasında optimizasyon ile denge oluşturabilmek amacıyla mimarlar için yararlı bir araç oluşturulmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır [95]. Bu çalışmada, bir tasarım planını değerlendirmek ve fonksiyonları tanımlayarak optimal çözümü aramak için simüle edilmiş tavlama algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar kullanılarak, planın otomatik olarak oluşturulması ve optimize edilebilir olması üzerinde durulmuştur. Çalışmada ilk olarak soruyu ve çalışma limitini netleştirmek amacıyla tasarım durumunu ve gereksinimlerini temsil edecek parametreler önerilmiştir (Şekil 49). Parametreler, giriş konumu için Pent, tasarım alanının sınır geometrisi için Gbou, güneş ışığı açısı için Asun, ve nehir geometrisi ya da herhangi bir peyzaj merkezi Griv olarak tanımlanmıştır. Bu parametreler sabit tutularak ceza ve ödül fonksiyonlarını (penalty and reward functions) tanımlamak için kullanılmışlardır. Sonrasında, sahaya yerleştirilmesi gereken binalar için parametreler

tanımlanmıştır. Bu parametreler ise, her bir binanın sınır parametresi için G_n , giriş konumu için P_n , yükseklik için H_n , binaların dönüş açısı için A_n ve binaların ilgili konumları için X_n ve Y_n olarak ifade edilmiştir. G_n , P_n ve H_n olarak tanımlanan parametreler sabit tutulurken, X_n , Y_n ve A_n parametreleri amaç fonksiyonu $f(x)$ için Simüle Edilmiş Tavlama Algoritmasında x değeri beslenecek olan ana parametreler olarak belirlenmiştir.



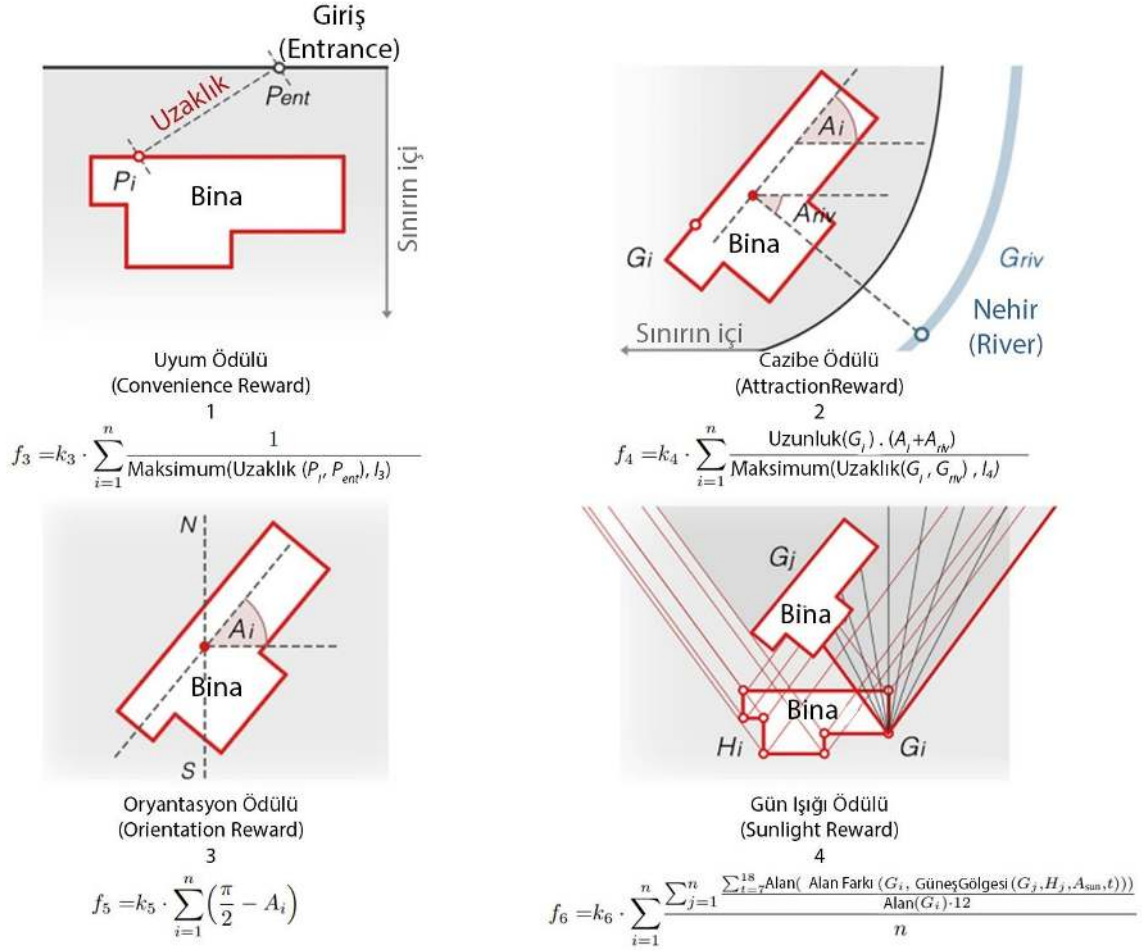
Şekil 49: Mimari Yerleşim Tasarımında Parametreler [95]

Tüm parametrelerin tanımlanmasından sonra amaç fonksiyonu $f(x)$ geliştirilmiş ve ilk olarak mimari tasarım için göze çarpan herhangi bir geometrik hatadan kaçınmak için ‘Sınır Dışı Cezası’ (Out-of-Boundary Penalty) ve ‘Örtüşme Cezası’ (Overlapping Penalty) olmak üzere iki ceza işlevi önerilmiştir (Şekil 50). Sınır Dışı Cezası binaların geometrileri kısmen veya tamamen alan sınırlarının dışında olduğunda, amaç fonksiyonuna bir ‘eksi’ ekleneceği anlamına gelmektedir. Örtüşme Cezası ise iki binanın örtüşmesi sonucu oluşan alanın bir anlam ifade etmemesinden dolayı binaların çarpışmasını önlemek amacıyla verilen ceza işlevidir ve bu durumda da amaç fonksiyonuna ‘eksi’ eklenmektedir.



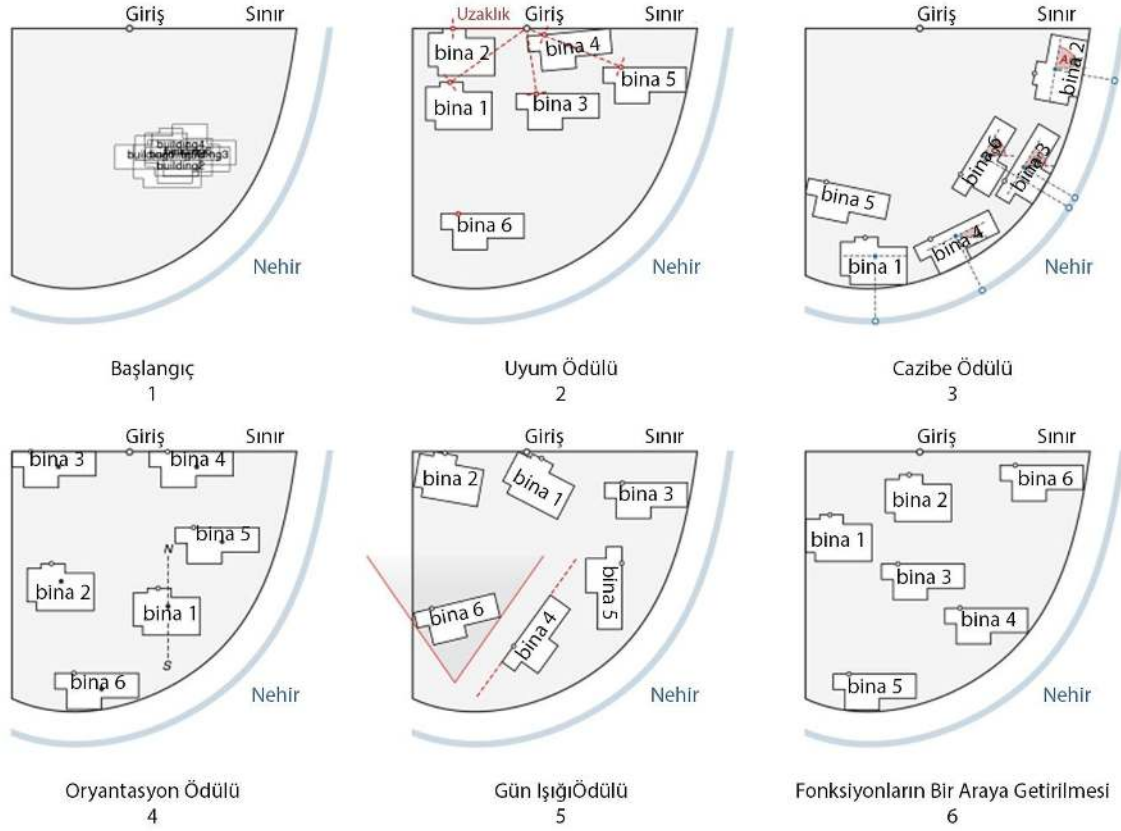
Şekil 50: Ceza Fonksiyonları [95]

Ceza fonksiyonlarına ek olarak sistemin en iyi çözümü bulmasına rehberlik edebilmek için 4 ödül fonksiyonu oluşturulmuştur (Şekil 51). Bunlardan ilki, bir bina girişinin sitenin erişimine yakın olması durumunda sistemin bina kullanıcıları için uygun olacağı fonksiyona bir ödül puanı vereceği anlamına gelen Uyum Ödülüdür (Convenience Reward). İkinci olarak, her bina için sitedeki peyzaj değerini temsil eden Cazibe Ödülü (Attraction Reward) oluşturulmuştur. Bu ödül için uygulanan formül, sistemin nehrin eğrisinden binanın merkezine en yakın noktayı bularak iki nokta arasındaki mesafeyi hesaplayacağı ve binanın manzaraya bakacağı yönünü değerlendireceği şekilde oluşturulmuştur. Böylece, kullanıcıların binadan manzarayı görebilecekleri alanın olası uzunluğunu temsil etmek için bina sınırının uzunluğu da dikkate alınmıştır. Üçüncü ve dördüncü ödül işlevlerinin ikisi de güneş ışığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu ödül, geometrideki doğrudan güneş ışığı alabilen tek yüz güney eğrisi olarak değerlendirilerek binanın güneye bakması durumunda değerlendirme işlevine ek bir ödül verileceğini belirten ‘Yönlendirme Ödülü’ (Orientation Reward) olarak ifade edilmiştir. Son olarak, ceza ve ödül fonksiyonlarının tamamlanmasıyla elde edilen 6 fonksiyonun bir araya getirilmesiyle amaç fonksiyonu tanımlanmış olmaktadır ($f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6$).



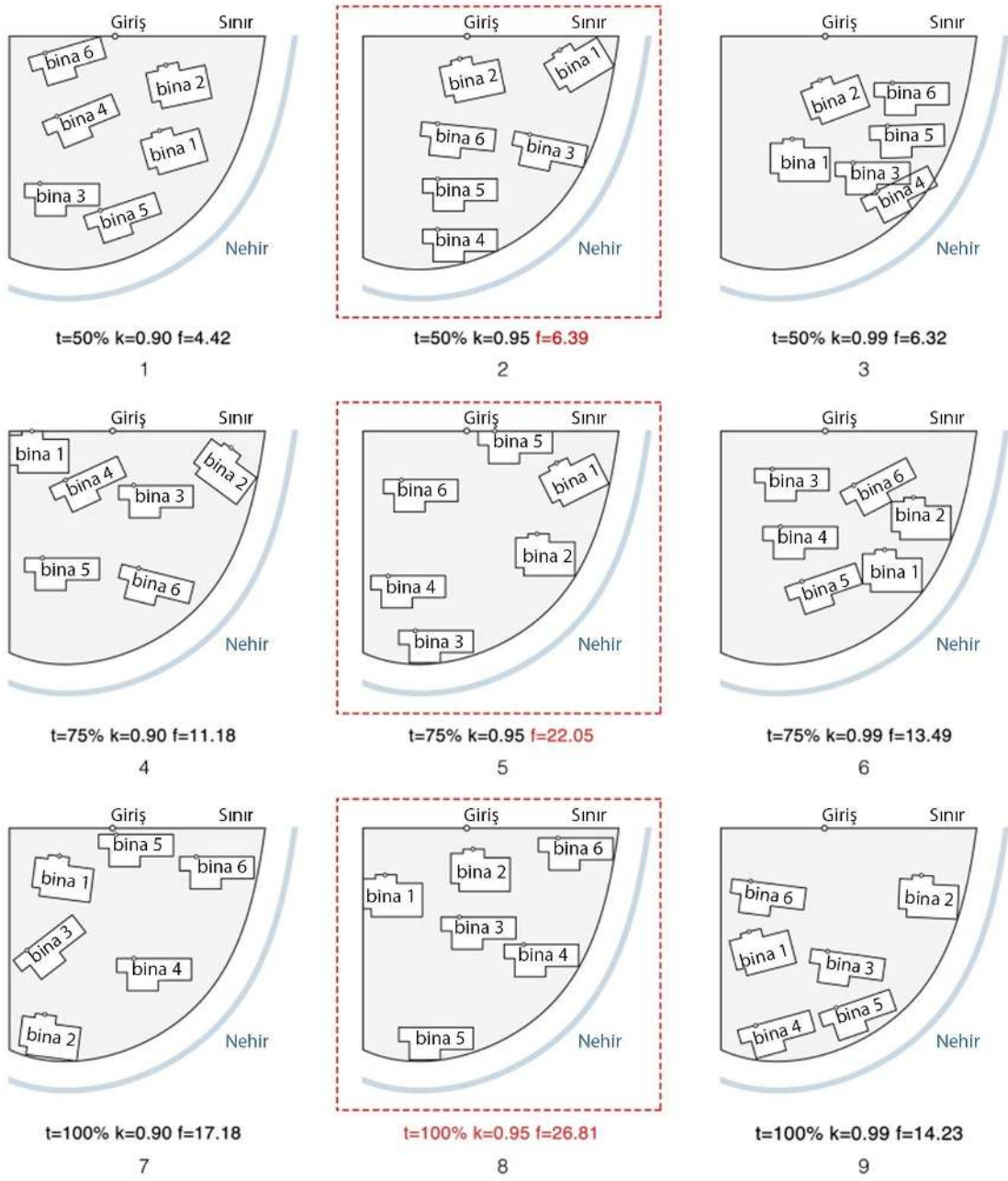
Şekil 51: Ödül Fonksiyonları [95]

f amaç fonksiyonunu optimize etmek için kullanılacak olan X_n , Y_n ve A_n parametrelerini girmeden önce, ceza ve ödül fonksiyonlarının etkilerini belirleyen k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 ve k_6 katsayıları ayarlanmıştır. Bu katsayılar bulundukları fonksiyonların temsil ettikleri farklı tasarım gereksinimlerini ve farklı tasarım stratejilerini yansıttığından tamamen farklı optimumlarla sonuçlanabileceklerdir. En iyi sonuca ulaşabilmek için çeşitli testler yapılmış ve optimizasyon süreci tüm binaların sitenin merkezinde düzenlendiği ($X_n=0,5$, $Y_n=0,5$ ve $A_n=0,5$) bir başlangıç durumu ile başlatılmıştır (Şekil 52).



Şekil 52: Farklı Parametre Etkileriyle Oluşturulan Sonuçlar [95]

Test sonuçlarına göre bulunan en etkin k katsayıları ile X_n , Y_n ve A_n parametreleri, optimizasyon için Simüle Edilmiş Tavamaya girilmiştir. Algoritmanın çalıştırılmasında hesap makinesi olarak Grasshopper'daki Galapagos eklentisi kullanılmıştır. Bu eklentide, t_s (başlangıç sıcaklık değeri) ve k_t (katsayı) kullanıcılar tarafından 'sıcaklık' ve 'soğutma' olarak verilmiştir. Simüle Edilmiş Tavlamada sıcaklık parametreleri belirlenerek farklı ayarlar ile optimizasyon süreci takip edilmiş ve programın 5 dakika çalıştırılmasından sonra farklı ayarların yerleşimleri kaydedilmiştir (Şekil 53). Bu denemeler sonucunda, t_s %100'e ve k_t 0.95'e eşit olduğunda, f amaç fonksiyonunun diğer sonuçlardan daha anlamlı olduğu belirtilmiştir.



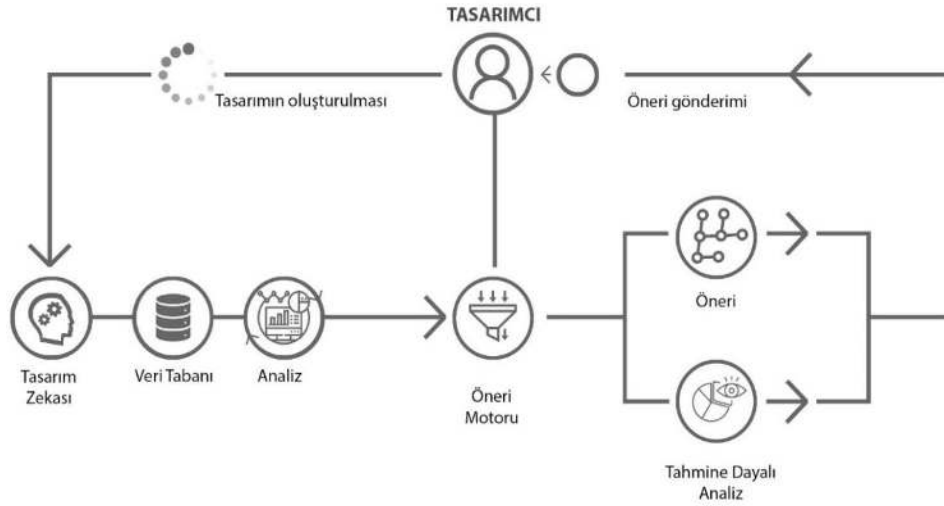
Şekil 53: Farklı t ve k Değerlerinde Yerleşim Sonuçları [95]

Yapılan çalışma sonucunda, Simüle Tavlama Algoritmalarının optimizasyon süreçlerinde en uygun çözümü bulmak için güçlü bir makine öğrenmesi algoritması olduğu anlaşılmıştır. Mimari yerleşim tasarımı optimize etmek için bu algoritmaların kullanılabileceği ve böylece gelecekte mimarların tasarım fikirlerini ve stratejilerini parametrelere çevirerek erken tasarım aşamasında yerleşim planları oluşturmak için bu algoritmaları verimli bir şekilde kullanabilecekleri ifade edilmiştir.

4.2.5. Öneri Sistemleri

Öneri sistemleri, bilgi filtreleme sistemlerinin bir alt dalı olup, genellikle daha büyük bir yazılım sisteminin parçası olmakla beraber aynı zamanda bağımsız araçlar da olabilen özel yazılım bileşenleri olarak tanımlanmaktadır [100]. Doğru ve ilgili önerilere ulaşabilmek amacıyla geliştirilen öneri sistemleri, yararlı olabilecek öğeler için kullanıcı yazılımları ile öneri sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sistemler, farklı kullanıcılara ait çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerin analiz edilmesini sağlayarak, kullanıcıların ilgilerini öngörmek ve bu doğrultuda ilgili konuların doğru kullanıcıya aktarılmasını hedeflemektedir (Şekil 54). Bahsedilen veri analizi ve uygun kullanıcıya erişme gibi özelliklerin geliştirilmesi için ise yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinden yararlanıldığı görülmektedir.

İTÜ Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği araştırmalarına göre, gereksiz ve istenmeyen bilgilerin filtrelenmesi olarak görülen öneri sistemleri, en güçlü makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olmakla birlikte, ürün arama motorları, çevrimiçi platformlar, sağlık uygulamaları ve sosyal ağlar gibi çeşitli alanlarda bu sistemlerden yararlanılmaktadır [101]. Genel olarak bakıldığında, bir öneri sisteminin en uygun eylem planı için öneriler sunarak kullanıcıların karar vermelerine yardımcı olması beklenmektedir.



Şekil 54: Öneri Sistemlerinin İşleyiş Döngüsü

Mimari tasarımda, kullanıcılara öneri olarak çeşitli alternatifler sunabilecek tasarım araçları sunmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, mimarlık stüdyosu Wallgren Arkitekter ve İsveçli inşaat şirketi BOX Bygg tarafından, mimarlar için tekrarlayan görevleri otomatikleştirecek ve simülasyonlar ile makine öğrenmesi teknikleri kullanarak

daha bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olarak tasarım sürecinde mimarlara rehberlik edebilecek bir araç olan Finch adlı parametrik bir tasarım aracı oluşturulmuştur. Wallgren Arkitekto'nun kurucu ortağı Pamela Wallgren, Finch fikrinin, mimarların herhangi bir Grasshopper veya kodlama bilgisi olmadan parametrik tasarımın avantajlarından yararlanabilmeleri için daha kullanıcı dostu bir araç yaratmak olduğunu ifade etmiştir [102].



Şekil 55: Finch ile 2D ve 3D Plan Tasarımı, [102]

Finch, projelerin erken tasarım aşamalarından itibaren kullanılabilecek, mekânsal yapılandırmalar için öneriler sunmak ve uyarlanabilir planlar üretmek için uygun olduğu düşünülen mimari bir araç olarak tasarlanmıştır. Bu aracın amacı, çoğu durumda birden çok seçeneği değerlendirmek ve her birini derinlemesine incelemektir. Finch ile binlerce tasarımın hızlı bir şekilde değerlendirilmesi ve bilinçli kararlar verilmesi için gerekli olan verilere ulaşımın kolaylaşması hedeflenmektedir. CAD ve BIM gibi programların bir uzantısı olarak çalışabilen bu araç ile 2D ve 3D planların oluşturulması mümkündür (Şekil 55). Bu noktada, uygulamanın kurucularından Jasper Wallgren, Finch'in sadece bir araç olduğunu vurgulayarak mimari gelişmelerdeki etkisinin bu aracı kullanan kişilerin yönelim ve ilerleyişine bağlı olduğunu belirtmiştir [103].



TASARIM ÖNERİSİ 1



TASARIM ÖNERİSİ 2



TASARIM ÖNERİSİ 3



TASARIM ÖNERİSİ 4

Şekil 56: Mimari Tasarım Önerileri [104]

Finch, kural tabanlı ve makine öğrenimi olmak üzere iki tür zekâyâ sahiptir. Kural tabanlı zekâda, kullanıcıların kendi değiştirebileceği girdileri olan algoritmalar bulunmaktadır. Bina yüksekliği, apartman dağılımı ve duvar kalınlığı gibi değişkenler ile bu algoritmalar çalıştırılır (Şekil 56). Bu türdeki zekâ ile, birçok kez tekrarlayan bir görevin otomatikleşmesi sağlanmaktadır. Makine öğrenimi bölümü ise kullanıcıları anlamaya ve farklı tasarım örnekleri üretmeye odaklanmaktadır. Makine öğrenmesi kullanılması sayesinde, yazılım, kullanım sıklığına bağlı olarak akıllanmaktadır. Makine öğrenmesinin temel mantığında olduğu gibi, uygulamanın öğrenebilmesi için sıklıkla yeni girdiler yüklenerek çalıştırılması gerekir. Finch algoritması, siz alanın toplam alanını değiştirdikçe önceden belirlenmiş parametrelere göre farklı uzaysal düzenler üretir. Bu, projenin ilk aşamalarında daha sonra görevin özel gereksinimlerine göre iyileştirilebilecek bölgelerin tanımlanmasına yardımcı olur [105]. Bu şekilde bir araç olarak tanıtılan Finch, kullanan kişinin çalışmaları doğrultusunda mimarinin gelişimine katkıda bulunabilecek bir yazılım olarak değerlendirilebilmektedir.

4.3. Mimari Öğelerin Algılanmasında Makine Öğrenimi

Ağ eğitimi ve bilgi işleme sürecinin analizi yoluyla, bir insanın öğrenme sürecine kıyasla, bir makine öğrenme algoritmasının, somut varlıklardan soyut kavramlara ulaşmak ve doğru standartları elde etmek gibi benzer özelliklere sahip olduğu gözlenmektedir. Yapılan çalışmalar, gelecekte, makine öğrenmesinin sadece tekrarlayan çalışmalarda değil, aynı zamanda yaratıcı çalışmalarda da daha aktif rol oynayabileceğini göstermektedir [106]. Makine öğreniminin mimarlık alanında kullanıldığı kavramlar ve örneklerin yanı sıra, çizimlerin ve görsellerin yapay sinir ağları kullanılarak algılanması ve kat planlarında tanımlanan öğelerin otomatik olarak sınıflandırılması ve ayrıştırılması ile oda özelliklerinin tanımlanabildiği bir makine öğrenimi formu üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bir kat planını tasarlayabilmek için anlamak, anlayabilmek için de öğrenmek gerekir. Modern ML algoritmalarının çok yönlülüğü ve yaygın erişilebilirliği göz önüne alındığında, bu amaçla yapılan araştırmalarda, artan sayıda anlamlı uygulamalı sonuç ve girişimin olduğu bir alan olan mimaride ML'yi keşfetmeye teşvik edilmiştir.

Mimari alanda yapay zekâyı ele alan Stanislas Chaillou, AI + Architecture isimli çalışmasında, yapay zekânın kullanılması ile yeni planların oluşturulabilmesi ve analiz edilebilmesi için bir çerçeve sunmuştur [56]. Buradaki amacı, makine öğrenimine dayalı kat planı üretimi için bir çerçeve oluştururken çeşitlilik ve miktarın üstesinden gelebilen uygun bir kat planı sınıflandırma ilkeleri sunmak olarak belirtilmiştir. İlk olarak, sinir ağını mimari tasarım konusunda eğitmek için bir yöntem oluşturulmuştur. Bu noktada, ağa yüklenen verilerin belirli özelliklerini nitelendirmeyi öğretmek hedeflenmiştir. Eğitim tamamlandıktan sonra ise, ağ, yeni plan topografileri oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma organizasyonu temel olarak üç bölüme ayrılmaktadır. İlk olarak bir bina taslağı belirlenerek genel bir ev çevresindeki veriler kullanılmakta ve bina ayak izi (footprint) bilgileri alınmıştır. Bu şekilde belirlenen bina formundan sonra odaların bölünmesi (room split) işlemi gerçekleştirilerek son olarak da bu odaların işlevlerine uygun tefrişler (furnishing) belirlenmiştir (Şekil 57). Girdi olarak yüklenen örnekler makinenin kararlarını şekillendirerek beklenen insan-makine etkileşimi sağlanmıştır.

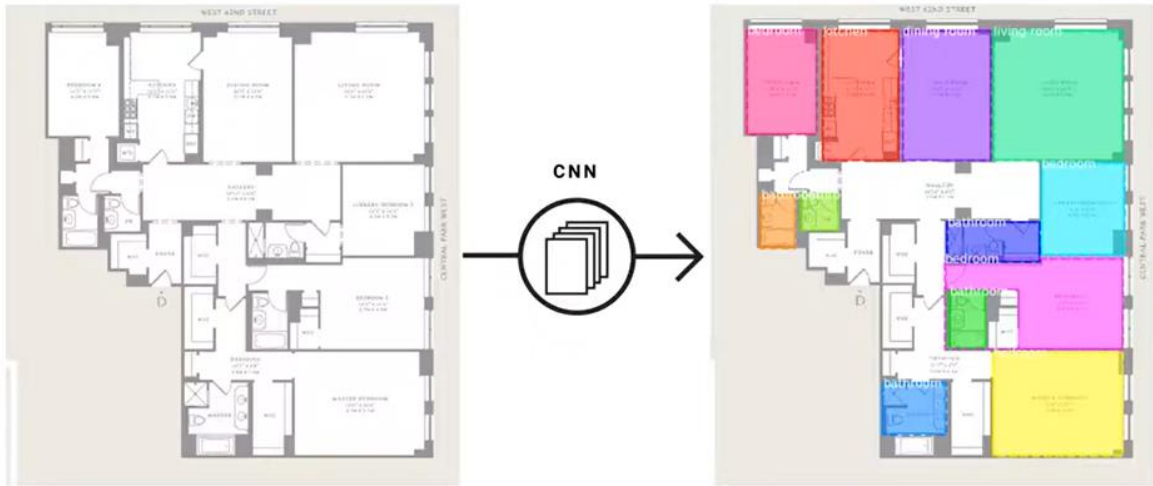


Şekil 57: Kat Planı Öğretme ve Algılama Çalışma Aşamaları [56]

Makine öğrenmesi algoritmaları ile ağı beslemek için kat planları ve renk kodlu organizasyonlar kullanılarak 250 tekrar yapılarak makine sezgisi oluşturulmuştur. Bu eğitim dizisi ile, makineyle modeller arasında bir korelasyon yaratılmıştır. Çıktı kat planları ve zemin, oluşturulan makine modeli ve orijinal şema arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için sıklıkla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda ise, otomatik sınıflandırmanın ortaya çıkışı, makine öğrenimi uygulamalarının temeli olarak değerlendirilmiştir.

Kat planları ile ilgili olan ve makine öğrenimi sistemlerini mimari tasarım iş akışına entegre etmeye yönelik yapılan bir diğer örnek araştırmada [55], mimari çizimleri tanıyan ve otomatik olarak oluşturabilen Evrişimli Sinir Ağı (CNN) şeklinde bir ML algoritması geliştirilerek tasarım iş akışlarında geleceğe yönelik bir uygulama ortaya koymak

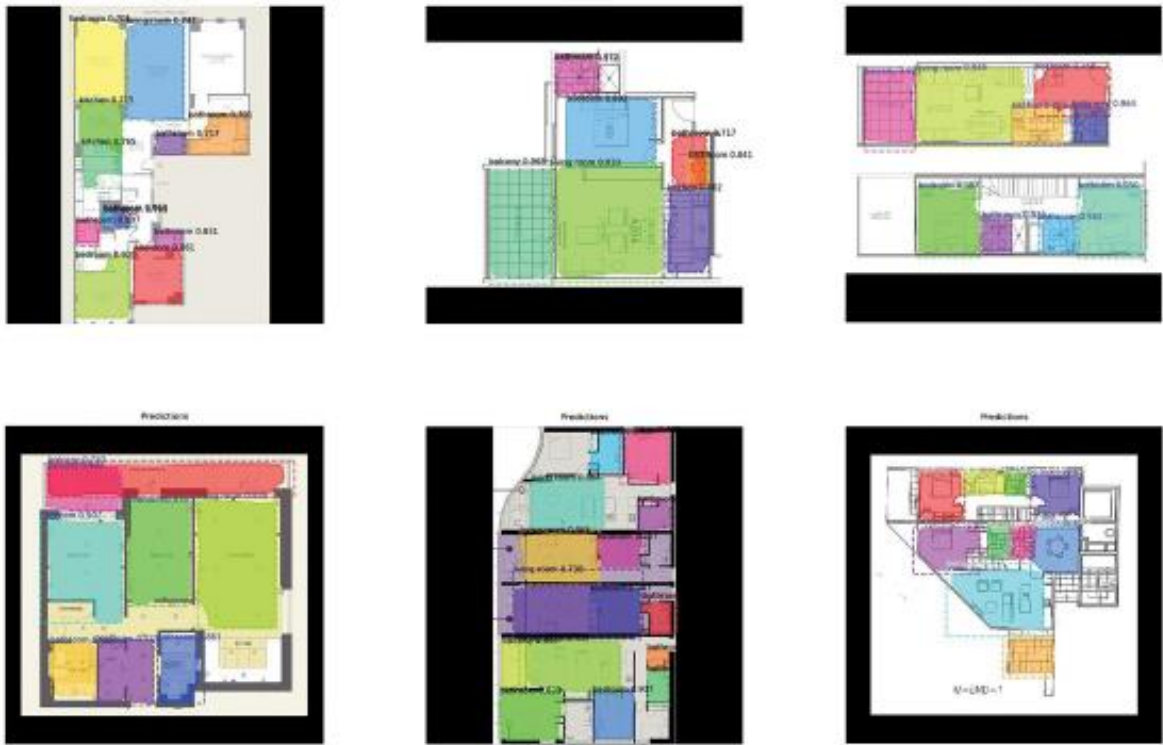
amaçlanmıştır. Bu çalışma ise, makine öğrenimi süreçlerinin araştırılması, veri toplama ve işleme yöntemleri, komut dosyası geliştirme, test etme, yansıtma ve bir makine öğrenimi kat planı tanıma modelinin üretimini içeren dört temel aşamaya bölünmüştür. AEEO endüstrisindeki makine öğrenimlerinin mevcut uygulamalarının araştırıldığı aşamada, bir CNN'in oluşturularak etiketli kat planı görüntüleri ile eğitilmesiyle tahminleri alan ve sınıflandıran bir program oluşturulması gerektiği görülmektedir. Bu aşamada, ML algoritmaları üretmek için Python programlama dilinin, açık kaynaklı ML kitaplığı olan TensorFlow ve Keras API ile birlikte kullanılmasının CNN oluşturmada en uygun yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır. Bu şekilde, kat planı görüntülerinin okunabilmesi için oluşturulan CNN'lerin eğitilmesi yoluyla makine öğrenmesi algoritmalarının kat planlarını anlayıp anlayamadığı test edilebilecektir (Şekil 58). Ayrıca, odaların sınıflandırmasını yapabilmek için bir tahmin üreten (prediction), örnek bölünme ile oda elemanlarını tanımlayan ve etiketleyen bir sınır ağı (segmentation mask) ve odanın alanıyla koordinatlarını listeleyen bir sınır kutusu (boundary box) gerekmektedir. Böylece, mimari iş akışlarının iyileştirilmesinde ve çalışma alanlarında makine öğreniminin güvenilirliğini kanıtlamak için uygulanabilecek evrensel bir veri kümesi olacağı düşünülmektedir [107].



Şekil 58: Evrişimli Sinir Ağları ile Kat Planı Aktarımı [107]

CNN'leri beslemek için kat planı görüntülerini toplamak, görüntüleri etiketlemek ve bunları bir veri kümesine işlemek için ayrılan ikinci aşamada, mimarların önceki projelerinden toplanan ve 454 kat planı görüntüsünden oluşan bir veri seti elde edilmiştir. Bu planlar üzerinde yatak odası, ebeveyn banyosu dâhil olmak üzere banyo, oturma odası,

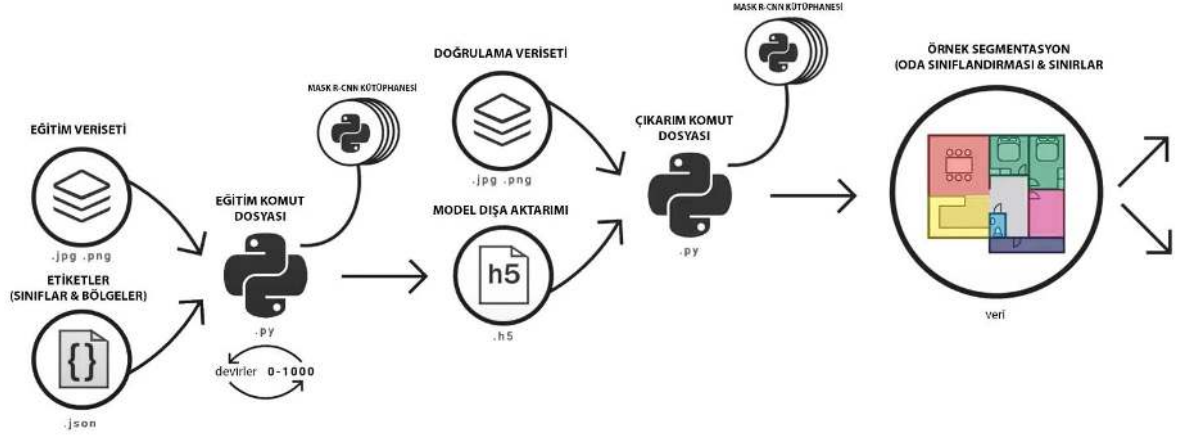
yemek odası, mutfak ve terasları da içeren balkon olmak üzere altı oda sınıfı yapılmasına karar verilmiştir. Üçüncü aşamaya geçildiğinde ise test verileri üzerinde örnek bölünmeyi gerçekleştirebilecek bir program geliştirmek için çalışılmıştır. Bu örnek bölünme, tek bir görüntü içinde kapladığı alanı tanımlayan bir maske üretmektedir. Son aşamaya gelindiğinde, CNN'in test edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kat planı görüntüleri üzerinde tamamlanmış bir CNN örnek bölünme ile yeni test görüntüleri girilmiştir (Şekil 59). Elde edilen sonuçlar, genel olarak CNN'in temel bir tasarım anlayışı geliştirmeye başladığını göstermektedir.



Şekil 59: Çeşitli Oda Etiketleme Sonuçları [55]

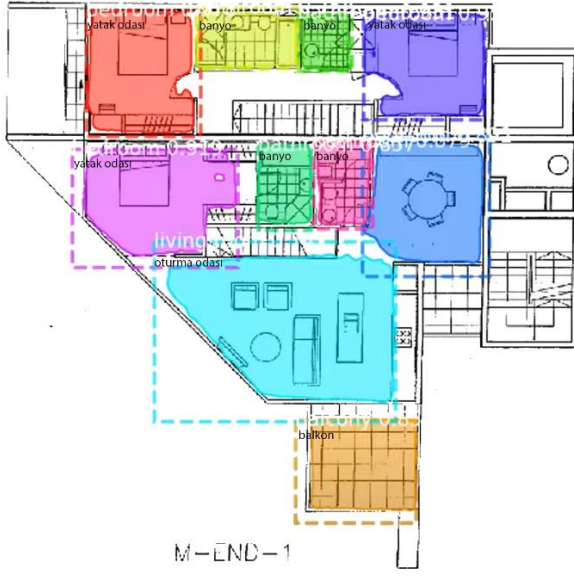
Gerçekleştirilen projedeki iş akışı ele alındığında (Şekil 60), bir eğitim veri setinin çeşitli topolojilerin kat planı görüntüleri, ölçek türleri ve çizim stillerinin derlenerek etiketler üretildiği ve öğretmek amacıyla sinir ağlarının beslendiği görülmektedir. Daha sonra, çıkan sonuçların dışa aktarılması sağlanarak, yeni kat planlarını okuyan ve üzerlerinde eşzamanlı olarak bölünme üreten bir komut dosyası uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar bir makinenin kat planlarını anlayabildiğini gösterirken, aynı zamanda, evrişimli sinir ağlarının

her oda örneğinde değerlendirme yapabilmek için kelimeler, semboller ve simgeler gibi çeşitli unsurlar kullanarak özellik algılamayı içerdığını de göstermektedir.

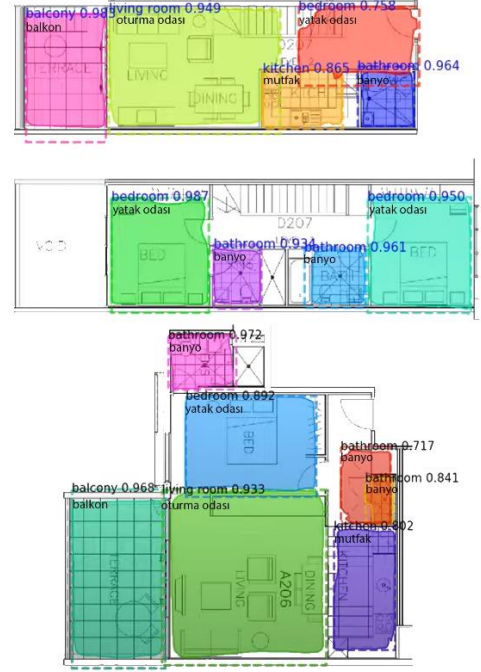


Şekil 60: Makine Öğrenimi İş Akış Diyagramı [107]

Öte yandan, kat planlarında gösterilen odaların birbirleri ile ilişkisi de algılamayı güçlendiren bir başka etken olarak değerlendirilmektedir (Şekil 61). Bu noktada, oda şekilleri, boyutları ve işlevlerine göre konumları gibi özelliklere dikkat edildiğinde bunların birbirleri ile ilişkileri temel alınarak ortak tasarım ilkeleri oluşturulmaktadır. Örnek olarak, tipik bir apartman dairesi ele alındığında, salon veya oturma odasının dairedeki en büyük alana sahip odayı temsil etmesi ya da bir banyonun hiçbir durumda bir balkon ile bağlantılı olmaması gibi temel tasarım kararları benimsenmektedir. Kat planı içerisindeki bir banyo ele alındığında, banyoyu simgeleyen tefriş elemanları, banyonun küçük bir alana sahip olması ve banyo zemininin ıslak hacimler için kullanılan ayrı bir taramaya sahip olması gibi faktörler o mekânın banyo olduğunun algılanmasını sağlarken, yatak odası olarak tahmin edilen diğer bir alana yakın bir konumda olması durumu ise bu tespitin doğruluğunu destekleyebilecek niteliktedir.



ÖZELLİK TESPİT ETME



İLİŞKİLER

Şekil 61: Kat Planı Öğelerinin Tespit Edilmesi ve Birbirleriyle İlişkileri [107]

Sonuç olarak yapılan bu çalışma değerlendirildiğinde, CNN'lerin mekân algılaması ve ayrıştırma yeteneği kanıtlanmış olmakla beraber veri kümesinin darlığı sebebiyle birtakım sorunlarla da karşılaşıldığı görülmüştür. Çalışmada elde edilen çıktıların bakıldığında, banyo ve çamaşır odası şeklinde tasarlanmış olan mekanların tam olarak ayırt edilememesi gibi sorunlar tespit edilmiş olup bu sorunların daha fazla örnek kullanılarak makinenin eğitimi geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmasıyla düzeltilebileceği öne

sürülmektedir. Bu araştırma, mekân ayrımları yapılırken doğru sonuçlara ulaşmada veri çokluğunun önemli bir etken olduğunu da ispatlar nitelikte olmuştur. Makine öğrenmesinin mimari öğeleri anlaması ve ayrıştırmasına yönelik yapılan bu çalışmaların yanı sıra, CNN'ler kullanılarak kesitler ve planlar arasında ayrım yapılabilmesi [108], makine öğrenimi teknikleri ile mimari çizimlerin oluşturulması, sınıflandırılması ve doğrulanması [56] ve GAN'lar kullanılarak tasarım prensiplerinin anlaşılmasıyla örnek ağların görselleştirilmesi ve tasarım süreçlerinin yönetimi ile yeni fikirlerin geliştirilmesi [106] gibi çeşitli çalışmaların da bulunduğu görülmektedir. Genel olarak tüm bu çalışmaların desteklediği ortak düşünce ise, yapay sinir ağlarının mimarlıkta makine öğrenmesi araştırmalarında daha fazla kullanılabilmesi için yeni araştırma ve uygulamalara yatırım yapılarak mevcut çalışmaların geliştirilmesi gerektiği yönündedir.

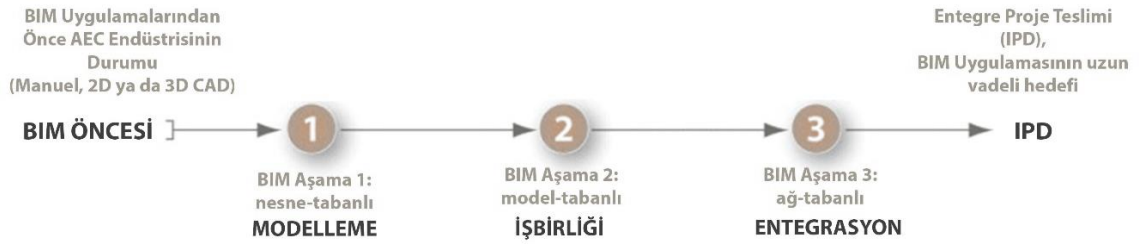
4.4. Mimari Tasarımların Uygulama Sürecinde Makine Öğrenimi

Mimari tasarım aşamasının tamamlanması ve uygulama sürecinde tasarıma bağlı kalınarak inşaat yapılması süreçlerinde de makine öğrenimi kullanımına yer verilmektedir. İki ve üç boyutlu yapılan çizimlerin yanı sıra simülasyonların uygulanmasıyla gerçekleştirilmesi planlanan yapıların inşa sürecinde kontrol edilmesi ve karşılaşılan sorunların tasarım özelinde düzeltilmesi önemlidir. Bu bağlamda, makine öğrenimi tekniklerinin kullanılmasıyla, bir yapının erken tasarım aşamasından son inşa aşamasına kadar her seviyede incelenerek sürecin amaca uygun bir şekilde geçirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen yazılım programları ile tasarım aşamasındayken inşa sürecinde yaşanabilecek durumları değerlendirmek ve olası sorunları erkenden fark ederek uygun çözüm önerileri sunmak mümkündür. Makine öğreniminin sağladığı veri analizleri ve çıkarım yapabilme olanaklarının bu aşamalarda kullanılmasıyla problemlerin kısa sürede çözülmesi ve daha sağlıklı bir inşa süreci geçirilmesi, mimari projelerin uygulamaları için oldukça önemlidir.

4.4.1. Yapı Bilgi Modelleme ve Makine Öğrenimi

Tasarım ve inşaat alanında, erken tasarım sürecinden inşaat ve yapı yönetim sürecinin tamamını kapsayan bir çalışma düzeni benimsenmesi ile projelerin daha kısa

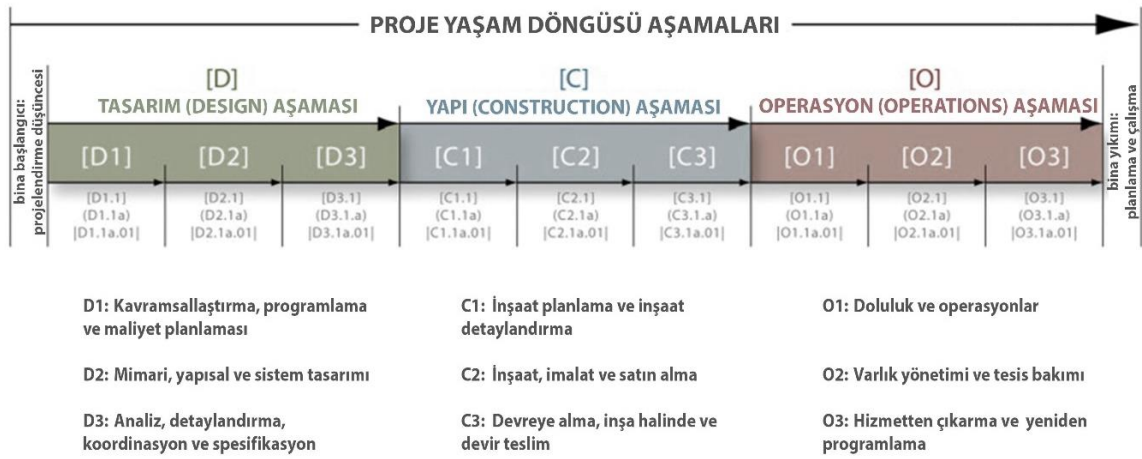
sürede ve daha az hata payı bırakılarak ilerlemesine imkân sağlayan Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling, BIM) kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. “BIM” terimi genellikle nihai ürünü (modelin kendisi) ve süreci (proje teslim yöntemi olarak BIM kullanan inşaat ekibi) tanımlamak için birbirinin yerine kullanılmaktadır [109]. BIM, mimari projelerin tasarımından inşaat sürecinin tamamlanmasına kadar gerçekleşecek olan tüm aşamaları içeren çalışmalarda görev alan farklı disiplinlerin, işbirliği yapabilmesi için aynı üç boyutlu model üzerinde çalışmalarına imkân tanıyan bir bilgi paylaşım sürecidir. Mimari, Mühendislik, İnşaat ve Operasyon (Architecture, Engineering, Construction and Operation-AECO) endüstrisinde, BIM’i benimseyerek daha hızlı veri paylaşımını ve maliyet düşürmeyi amaçlar. BIM kullanımı ile ulaşılabilecek imkanların yanı sıra, bu süreçte disiplinlerin üstlendikleri görevlerde birtakım değişiklikler olduğu ve yeni sorumluluklar eklenerek işbirlikçi çalışmanın getirdiği farklı bir çalışma sürecine girdikleri görülmektedir [110].



Şekil 62: BIM Uygulaması Aşamaları [111]

Farklı disiplinlerin her birinin sağladığı veri akışı ve tüm bu alanların ortaklaşa çalışma gerekliliği, alışlagelmiş çalışma düzeninden farklı olarak yeni bir adaptasyon sürecini de beraberinde getirir (Şekil 62). Bu süreç, disiplinlerin yükümlü oldukları iş performansları dışında ayrıca yapmaları gereken başka işler ile sorumlu olmaları veya bu zamana kadar alışılmış iş düzenlerini değiştirmeleri gerekmesi ile ilgili olabilir. Yeni sözleşmeler ile işbirlikçi çalışma süreçlerinin yeniden organize edilmesi gerekebilir. BIM kullanımının gerektirdiği çalışma sistemine uyabilmek için yapılan yeni sözleşmeler gereğince, işverenin yalnızca tasarımcı ve inşaat konularında yetkili kişiler ile görüşmesi ve diğer alanların entegre çalışma düzeniyle işi yürütmeleri beklenir [112]. Bu durum göz önünde bulundurularak, yeni sistem ile eski sistem karşılaştırıldığında, meslek gruplarının bulundukları konum ve yüklendikleri sorumluluklar değişmeye başlamaktadır.

AECO endüstrisinde BIM'in benimsenmesinin artması, bir projenin bağlantılı olmayan mimari, yapısal, hizmet ve altyapı çizimlerini, üç boyutlu modellerini, teknik açıklamalarını ve veri tabanlarını semantik açıdan zengin bilgi modellerine dönüştürme ve düzenlemenin getirdiği avantajlardan kaynaklanmaktadır [113]. Bu alanda yaşanan en büyük zorluklardan biri olarak projelerde üretilen tüm verileri anlamlandırmaya çalışarak daha iyi kararlar alabilmek için yeni yaklaşımların kullanılması olarak belirlenmiştir. Kapsamlı bir çalışma sunan BIM ile mevcut bilgilerin bir arada toplanması ve mühendislik uygulamalarında geleneksel hesaplama yaklaşımları aracılığıyla belgelerin ve modellerin örtük niteliklerinin analiz edilmesi kolay değildir [111]. Bu noktada, AECO endüstrisindeki projelerin aşamaları için veri toplamak ve oluşturmak için makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılması bir yöntem olarak düşünülebilir.



Şekil 63: BIM- Aşamalar, Alt Aşamalar, Etkinlikler, Alt Etkinlikler ve Görevler [111]

Makine Öğreniminin BIM'e uygulamaları incelendiğinde temel olarak planlama ve tasarım otomasyonu, çakışma tespit sınıflandırması, tasarım verimlilik analizi, otomatik kural kontrolü, tahmini enerji performans modelleri ve atık analitiği için tahmine dayalı modeller konularında çalışmalar yapıldığı görülmektedir [113]. Projenin tüm yaşam döngüsünü kapsayan BIM aşamaları düşünüldüğünde (Şekil 63) tasarım aşamasından yıkım aşamasına kadar yapının tüm süreçlerine hâkim bir model oluşturulur. Makine öğrenmesi algoritmaları bu aşamaların tamamında kullanılabilirken, amaca uygun olarak istenilen sonuca hızlı ve doğru bir şekilde ulaşmak için de kullanılabilir. Operasyon BIM modellerinde konsept düzeyinde ML uygulamaları kullanılarak, akıllı bilgi tabanlı BIM sistemlerinde, bakım tahmin modelleri, enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve iç mekân yerleştirme gibi farklı alanlarda araştırmalar yürütülmüştür. Bunlara örnek olarak, bir

BIM-ML yaklaşımının tesis yönetim süreci ve enerji yönetim sistemlerini iyileştirmede nasıl yardımcı olduğunu inceleyen bir çalışma ele alınarak dinamik bir akıllı izleme ve kontrol ara yüzünün kullanılabilirliği incelenmiştir. Çözüm, tesisleri, sensörleri ve simülasyon modelleriyle birleştirilmiş ML bileşenlerini, geçmiş veriler üzerinde oluşturulan kuralları ve akıllı bir denetleyiciyi entegre etmek için BIM ve Semantik Web teknolojilerinin kullanıldığını göstermektedir. Daha sonra potansiyel enerji tasarrufu bölgeleri ve eylemleri hakkında tesis yöneticilerine öneriler sunmak için 3D etkileşimli bir web ara yüzü kullanılmıştır [113]. Yapılan bu ve benzeri çalışmalar, BIM'deki hızlı büyüme ve ML alanındaki gelişmelerin, büyük veri kümelerinin analizi ve ihtiyaç duyulan hesaplamaların yapılabilmesinde sürekli bir gelişim sağladığını göstermektedir.

Öte yandan, BIM ortamında ML uygulamalarının geliştirilmesini yavaşlatan etkenler de bulunmaktadır. Bu etkenler araştırma zorluğu olarak nitelendirilmekte olup, veri kaynakları, uygulama proje aşamaları ve teknik olmayan kullanıcılar tarafından insan bilgisi etkileşimi konuları ile ilişkilendirilebilir [113]. Verileri etiketlemeye yönelik standart bir yaklaşım olmaması ve proje aşaması, uygulamaların boyutu, disiplini ve ML sisteminin tekrarlanabilirlik ölçeğinin belirsizliği gibi etkenler BIM ortamında makine öğrenimi uygulamalarında sorunlara sebep olabilir. ML ve BIM arasındaki bağlantıyı sağlamlaştırmak ve AECO ortamındaki sistemlere uygun dijital eşleştirme çerçeveleri oluşturabilmek için daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4.2. İnşaat Sürecinde Makine Öğrenimi

Veri analizi ve tahmini inşaat mühendisliği alanında oldukça önemli bir role sahiptir. Yapıların güvenliği ve verimliliğine odaklanılan inşaat mühendisliğinde, çeşitli endüstrilerle birlikte çalışılırken, yapıların tasarlanması ve bir projenin tanımlanması gibi konularda mimarlarla birlikte çalışılmaktadır. İnşaat mühendisleri, yapıların inşa edildiği şantiyelerde çalışırken aynı zamanda yeni teknolojileri takip ederek ve yeniliklerden inşa sürecinde nasıl faydalanılabileceğini düşünerek yapıların iyileştirilmesinde bu yeniliklerin nasıl uygulanabileceği üzerine de araştırmalar yapmaktadırlar. Yapay zekâ destekli makine öğrenimi tekniklerinin inşaat sektöründe kullanılmasıyla diğer mühendislik alanlarına ayak uydurmak için gelişmeleri takip edebilmek ve veri yönetimi gibi çeşitli amaçlara hizmet edilmek amaçlanmıştır. Makine öğreniminin inşaat sektöründeki kullanımları düşünüldüğünde, risklerin değerlendirilmesi ve güvenlik tehditlerinin tespiti yapılabilmesi

bakımından güvenlik kontrolleri sağlamak için faydalı bir araç olarak görülebilir. Proje özelinde çalışanların uygun güvenlik bilgilerine sahip olup olmadıklarının kontrolü, güvenlik sınıfları ve sertifikaların teyit edilmesi ve olası sorunların tespit edilmesi durumunda üst birimdeki yöneticilere haber verilebilmesi gibi işlemlerin makineler tarafından kontrol edilmesiyle inşaat sürecinin daha tedbirli bir şekilde ilerlemesine imkân sunulabilir. Ayrıca, makine öğreniminin proje yönetimi sürecinde kullanılması, projedeki ilerlemenin izlenebilmesi, çalışanların takip edilebilmesi ve kullanılan ekipmanların kontrollerinin sağlanabilmesinde de fayda sağlayabilir. Manuel izleme ve kaydetme ile gözden kaçabilecek ayrıntıların inşaat hayati bir değere sahip olabileme ihtimali göz önüne alındığında, otomatik olarak bu işlemlerin yapılabilmesiyle zaman tasarrufu ve daha sıkı bir iş takibi sağlanabilir.

Bahsedilen kullanımlara ek olarak, maliyet tahminlerinin yapılması, veri analizleri ile yapı tasarımlarının iyileştirilmesi, şantiye alanlarındaki üretkenliğin artırılması, işgücü sıkıntılarının giderilmesi ve inşaat sonrasında binanın yapısı hakkında bilgilerin depolanabilmesi gibi pek çok farklı konuda da makine öğrenimi tekniklerinden yararlanılmaktadır (Tablo 2). Maliyet yönetimi, inşaat aşamasında makine öğrenimi tekniklerinin önemli bir uygulaması olarak kabul edilir [114]. İnşaat maliyetlerinin tahmin edilmesi ile proje yöneticilerinin potansiyel sorunları belirlemesi, bunlara karşılık oluşturulacak stratejilerin belirlenmesi ve proje maliyetlerinin kontrol altında tutulması sağlanabilir. Makine öğrenmesi tekniklerinin kullanıldığı maliyet tahminleri ile ilgili olarak, inşaat aşamasında lojistik maliyetlerini tahmin etmek için [115], proje maliyet tahmini oluşturmak için [116], inşaat maliyeti tahmini için [117] ve inşaat maliyet planlamasında büyük önem taşıyan konut fiyatlarının tahmini için [118] yapılan araştırmalar da bulunmaktadır. Makine öğreniminin görüntü işlemeye elverişli olan tekniklerinin kullanılmasıyla ise, inşaat sürecinde şantiyelerden alınan görüntülerin verimli ve otomatik bir şekilde depolanarak işlenmesi ve analiz edilmesi sağlanmaktadır [114]. Bu şekilde, görüntü içeriğinde bulunan kiriş, kolon, döşeme gibi yapı elemanlarının seçilmesinde [119], inşaat malzemelerinin algılanmasında [120] ve şantiye görüntülerinden beton ve çelik gibi malzemelerin anlaşılmasında [121] makine öğrenimi tekniklerinin kullanıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu sayede elde edilen veriler ile şantiyedeki inşaat sürecinin daha kolay bir şekilde takip edilmesi, sınıflandırma işlemlerinin rahatça yapılabilmesi ve otomatik inşaat sürecinin izlenmesinde kolaylık sağlanabilir.

İnşaat sürecinde belgelerin yapılabilmesi ve raporların oluşturulmasında ise, Lazer Mesafe ve Menzil ekipmanı kullanılarak toplanan üç boyutlu görüntüler ile oluşturulan üç boyutlu tarama ve dijital kameranın kullanılmasıyla görüntü toplanan fotogrametri yöntemleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır [122]. İnşaat halindeki bir yapı üzerinde kullanılan bu yöntemler ile projedeki ilerleme ölçümleri sağlanarak şantiyelerden toplanan veriler doğrultusunda proje kontrolü sağlanmıştır. Tarihi binalar üzerinde yapılan çalışmalarda belgeleme ve korumanın önemi aşikâr olduğundan bu amaçla yapılan çalışmalarda da makine öğrenimi tekniklerinden faydalanılarak görüntü işleme üzerine deneyler yapılmıştır [123], [124]. Bu sayede, zamana bağlı yapısal sorunların tespit edilmesi ve kullanılan malzemelerin koruma kapsamındaki işlevselliğini değerlendirmek mümkündür.

Makine öğreniminin sağladığı hata tespit işlevi, pek çok alanda olduğu gibi inşaatta da oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak inşaattaki hataların tespit edilmesi ve binaların yapısal gücünü değerlendirebilmek mümkün görülmektedir [114]. Bu konuda yapılan bir çalışmada, otomatik inşaat hata tespiti ve yönetimi yoluyla inşaatın kalite kontrol yöntemi sağlanmasına yönelik bir çalışma önerilmiştir [125]. CNN'lerin kullanılması temel alınan bu çalışmada, lazer tarayıcıdan elde edilen görüntüler ile inşaattaki sapmaların belirlenmesi amaçlanmış ve ortaya çıkan sapmaların birer hata olduğu varsayılmıştır. Bu amaçla yapılan bir diğer çalışmada ise, beton yüzeylerindeki oluşan boşluklar ve renk değişimlerini inceleyen bir diğer hata tespit araştırmasıdır [126]. Benzer şekilde, köprülerin yapısal sağlamlığına odaklanan bir çalışmada da köprü deformasyonların tespit edilmesinde ve yapısal testlerin izlenmesinde makine öğreniminin görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır [127].

İnşaat teknolojisinin dijitalleştirilmesinde oldukça büyük bir etkiye sahip olan BIM'in verilerin depolanması ve değiştirilebilmesi için sağladığı imkânlar göz önüne alındığında, inşaat sürecinde makine öğrenimi teknikleri ile beraber kullanılmasına ilişkin yapılan çalışmalar da vardır. Bu konuda, ilk olarak duvarların, tavanların ve zeminlerin etiketlenmesi, farklı taramalardan elde edilen ölçümlerin birleştirilmesiyle pencere ve kapı gibi açıklıkların yerlerinin tespit edilmesi, SVM kullanılarak açıklıkların şekillerinin tahmin edilmesi ve en son boyama algoritmaları kullanılarak yüzey bölgelerinin doldurulmasına yönelik yapılan bir çalışmada, BIM ile makine öğrenimi teknikleri beraber kullanılarak geometrik modelleme ve nesne ilişkileri üzerinde durulmuştur [128]. Ayrıca, iç mekân

algılaması için de 3D nokta verileri kullanılarak bir geometrik haritalama sürecinin önerildiği farklı bir çalışmada da bu tekniklerden faydalanılmıştır [129].

UYGULAMALAR	MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARI	REFERANSLAR
MALİYET ANALİZİ	SVM (Support Vector Machine / Destek Vektör Makinesi)	'The Research of Building Logistics Cost Forecast Based on Regression Support Vector Machine' [115]
	SVM ve fmGA (Fast messy genetic algorithm / Hızlı dağınık genetik algoritma)	'Estimate at Completion for construction projects using Evolutionary Support Vector Machine Inference Model' [116]
	SVM, ANN (Artificial Neural Network / Yapay Sinir Ağları-YSA) ve Doğrusal Regresyon	'Comparison of School Building Construction Costs Estimation Methods Using Regression Analysis, Neural Network, and Support Vector Machine' [117]
EV FİYAT TAHMİNİ	Non-mating genetic algorithm (Çiftleşmeyen genetik algoritma)	'A Novel Machine Learning Model for Estimation of Sale Prices of Real Estate Units' [118]
İNŞAAT NESNESİ / MALZEMESİ ALGILAMA	CNN (Convolutional Neural Networks / Evrişimli Sinir Ağları)	'Shape-Based Retrieval of Construction Site Photographs' [119]
		'Material-Based Construction Site Image Retrieval' [120]
		'Parameter optimization for automated concrete detection in image data' [121]
İNŞAAT BELGELERİ	Photogrammetry (Fotogrametri)	'Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work' [122]
		'Control of structural problems in cultural heritage monuments using close range photogrammetry and computer methods' [123]
		'Low-cost documentation of traditional agro-industrial buildings by close-range photogrammetry' [124]
İNŞAAT HATA TESPİTİ	CNN (Convolutional Neural Networks / Evrişimli Sinir Ağları)	'A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control' [125]
		'Machine Vision-Based Concrete Surface Quality Assessment' [126]
		'Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features' [127]
YAPI BİLGİ MODELLEME (BİM)	SVM (Support Vector Machine / Destek Vektör Makinesi)	'Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data' [128]
	PCA (Principal Component Analysis / Temel Bileşenler Analizi) ve Maximum Likelihood Estimation (Maksimum Olabilirlik Tahmini)	'Towards 3D Point cloud-based object maps for household environments' [129]
İNŞAAT ATIK YÖNETİMİ	PCA (Principal Component Analysis / Temel Bileşenler Analizi) ve CNN (Convolutional Neural Networks / Evrişimli Sinir Ağları)	'Increasing the Safety in Recycling of Construction and Demolition Waste by Using Supervised Machine Learning' [130]

Table 2: Bina İnşasında Uygulanan Makine Öğrenimi Algoritmaları [114]

İnşaat sürecinin de bir parçası olan ve daha sonraki aşamalar için büyük önem taşıyan bir diğer konu ise inşaat yıkım süreci olarak düşünülmelidir. Bu süreçte, gerçekleşen yıkım işleminden sonra ortaya çıkan atıkların en iyi şekilde değerlendirilmesi ve yüksek oranda geri dönüşümünün sağlanması gerekir. Bu amaçla yapılan bir araştırmada bilgisayar görme tekniklerinin kullanılmasına bağlı olarak görüntü tanıma algoritmaları ile inşaat yıkım atıklarının sınıflandırılması ve otomatik olarak tanımlanması amaçlanmıştır [130]. Bu çalışma ve sonrasında bu konu üzerine yapılacak olan çalışmalar ile daha güvenli bir inşaat yıkım ve atık sürecinin oluşturulabileceği ve daha yüksek kalitede geri dönüşüm sağlanabileceği düşünülmektedir [114].

İnşaat sektörünün kapsamı çok geniş olmakla beraber pek çok farklı aşamadan oluşur. Bu aşamaların her biri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, süreçlerin iyileştirilmesi ve yeni yöntemlerin inşaat sektörü ile bütünleştirilmesinde makine öğrenimi teknikleri etkili bir rol oynar. İncelenen çalışmalar, inşaat sektöründe makine öğreniminin yerinin ve öneminin anlaşılmasına katkı sağlar ve daha sonrasında yapılacak olan yeni çalışmalarla mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni kullanım şekilleri önerilmesine zemin hazırlamış olur. Bu sayede, makine öğrenimi tekniklerinin inşaata uyarlanmasında nasıl bir yol izlenebileceği, hangi tekniklerin ne amaçla kullanılabileceği ve bu sayede elde edilebilecek kazanımlar gözler önüne serilmektedir.

5. MİMARİ ALANDA MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KAZANDIRDIĞI FIRSATLAR, KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE RİSKLER

Mimarlık sektöründe kullanılan makine öğrenimi tekniklerinin hangi kavramlarda ve ne şekillerde kullanıldığına dair yapılan araştırmalar ve örnek çalışmalar ele alındığında, bu teknikleri kullanmanın mimarlık için sağladığı faydaların yanı sıra karşılaşılan zorlukların olduğu da anlaşılmaktadır. Yürütülen çalışmalar incelendiğinde elde edilen veriler göz önüne alınarak makine öğreniminin mimarlık alanında sağladığı kolaylıkların ve karşılaşılan zorlukların belirlenmesi bu alanda yapılan çalışmaların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına destek olabilir. Makine öğreniminin mimarlıktaki kullanım amaçları, tasarım problemleri ve hedeflenen sonuca ulaşılması için gereken en uygun çalışma yöntemi tespit edilerek, yapılan çalışmalardan elde edilen kazanımlar ve bu çalışmalarda karşılaşılan eksiklikler değerlendirilebilir. Ayrıca, bu tekniklerin kullanılması ile oluşabilecek potansiyel riskler de göz önünde bulundurulmalıdır. Riskler, yalnızca fırsat ve zorluklara bağlı olarak değil aynı zamanda makine öğrenimi tekniklerinin çalışma düzeni ile ilişkili olarak da ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda, Tablo 3'te mimarlık alanında yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler incelenerek özetlenmiştir.

İlk olarak, uygulamalı çalışmalar yapan ve faaliyet gösteren mimarlık sektöründe makine öğrenimi kullanımına geçmeden önce, mimarlık eğitimleri üzerinde durulmalı ve bu aşamada kullanılan yöntemlerin makine öğrenimi için uygun olup olmadığı düşünülmelidir. Mimarlık eğitiminde geleneksel yöntemlere göre tasarım derslerinin verilmesi ve bilgisayar programlarının yazılım temellerini anlayacak şekilde kullanılmaması, mimari tasarım fikirlerinin kullanılan bilgisayar destekli uygulamalar ile tam olarak yansıtılamamasına sebep olmaktadır. Öğrencilerin tasarlama psikolojisi ve sürecin getirdiği bileşenlerin kullanılan yazılımlar ile uyumsuz olması durumu tasarımın kısıtlanmasına sebep olarak yazılımın tasarımı olumsuz bir şekilde etkilemesine yol açabilir [74]. Bunun için kullanılan programların yazılım olanaklarına ve çalışma şekline hâkim olunmalı ve tasarım fikirlerine uygun yazılım türleri seçilmelidir. Böylece, tasarımların hangi kısıtlamalar ile programa aktarılabilceği bilinçli bir şekilde eyleme dökülerek eksik kalınan noktalarda farklı bir yazılım türünü seçerek hedeflenen sonuca ulaşılabilir.

MİMARLIKTAKİ MAKİNE ÖĞRENİMİ DEĞERLENDİRMESİ				
		FAYDALAR	ZORLUKLAR	RİSKLER
VERİ	VERİ TOPLAMA VE ANALİZ	-Veri analizi ve gerekli bilgiye ulaşılmasında zamandan tasarruf edilmesi -İhtiyaç duyulan verilerin bir arada toplanabilmesi ve erişilebilirliğin kolay olması [2] - Verilerden çıkarım yapılabilmesi [5]	- Gerekli olan öz niteliklerin veri setinde bulunmaması ya da eksik olması [29] - Yapılan çalışmaların yetersiz olması durumunda toplanabilecek veri sayısının az olmasına bağlı olarak sınırlı çıktı üretilmesi [67]	- Bilgi tabanının tüm kullanıcıların geçmişini incelemesi ve her şeyi bilen bir sistemden oluşması [71]
	VERİLERİN İŞLENMESİ	- Girdi olarak verilen bilgilere göre ayrıştırma, tanımlama ve kümeleme gibi işlemlerin sağlanabilmesi [72] - Eski verilerden çıkarım yaparak yeni tasarım hakkında ihtiyaca göre yönlendirme yapılabilmesi [44]	-Veri miktarının büyümesi ve model karmaşıklığının artması durumlarında üretilen optimizasyon olasılıklarının azalması [90] - Girdi bilgilerinin karmaşık olmaları durumunda sistemin hata yapmaya yatkın olması [132]	- Dengesiz bir veri kümesi sağlanması halinde, ML algoritmalarının belirli kalıplara karşı önyargılı hale gelerek zayıf genelleştirici olabilmeleri [71]
TASARIM GELİŞİMİ	TASARIM PROBLEMLERİNİN UYGUN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ ÜRETİLMESİ	-Tasarım problemlerinin belirlenerek hedef ölçütlerinin oluşturulması - Tasarım problemleri için üretilen çözümlerin daha geniş bir havuzdan seçilebilmesi [78]	- Tasarım problemlerinin doğru bir şekilde aktarılmayarak kötü tanımlanması ve uygun değerlendirme ölçütlerini belirleme zorluğu [93]	- Tasarım problemlerinin yanlış tanımlanmasına bağlı olarak hatalı sonuçlar üretilmesi [93]
	ALTERNATİF ÜRETİLMESİ VE OLASILIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	-Alternatif uygulama yöntemleri geliştirilebilmesi [65] -İstatistiksel değerlendirmeler ile proje üzerindeki riskler ve fırsatların belirlenebilmesi [40]	-Üretilen çıktılar arasında seçilecek olan en uygun sonucun tüm gereksinimlere karşılık verebilecek nitelikte olması [29]	- Kullanılan kavramların her kullanıcı için aynı anlama gelmemesi ihtimaline bağlı olarak yanlış sonuçlara ulaşılabilmesi
	KULLANICI DENEYİMİNE GÖRE ÇIKTI ÜRETİLMESİ	-Kullanıcının aktif hareketlerine göre durum özelinde öneriler hazırlanması [44]	- Sistemin istenilen sonuca ulaşabilmesi için yeterince geliştirilmesinde çok kez test edilmesi gerekmesi	- Kullanıcı geri bildirimine göre gelişen sistemlerin herhangi bir geri dönüş alamaması halinde sistemin durma ihtimalinin varlığı [99]
	KARAR VERME SÜRECİ	- Var olan tasarımların iyileştirilmesi ve daha uzun süre kullanılabilmesi için gerekliliklerin belirlenmesi [41] - Yapılacak olan seçimlerde ölçütlere göre eleme işlemi yaparak daha kolay karar vermeyi sağlaması [76]	- Tasarım eğitimlerinde bilgisayar destekli programların ve algoritmaların yaygın olarak kullanılmaması ve bunun sonucunda yeni yöntemlerin kullanılmasında sıkıntı yaşanılması [74]	- Sistemin, sonuçların anlaşılabilirliğini kısıtlayan sınırlı açıklamalarda bulunması durumunda anlaşılamayan bilgilere dayanarak yanlış kararlar verilebilecek olması [71]
	TASARIMIN YİNELEMELİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ	- Farklı parametrelerin kullanılabilmesiyle üretilen çıktıların çeşitliliğini artırması [56] - Simülasyonlar ile istenilen sonuca ulaşılmasında erken tasarım sürecinde daha hızlı bir deneyim sağlaması [69]	- Sistemin tekrarlanabilirlik ölçeğinin belirsiz olması [113]	- Sınırlı sayıda kullanıcının deneyimine dayanan sistemlerin kurulması durumunda yetersiz fikir üretme riskinin bulunması
	FARKLI DİSİPLİNLERİN ORTAKLAŞA ÇALIŞMASI	-Birden fazla disiplinin ortak proje üzerinde eşzamanlı olarak birlikte [79]	- Farklı disiplinlerin farklı gereksinimleri olduğundan çok fazla veri doğrultusunda eşzamanlı olarak sürecin yönlendirilmeye çalışılması [112]	- Farklı alanların beraber çalışması sırasında uyumsuzlukların meydana gelmesi [113]
ÜRETİM	TASARIM SÜRECİNİN ÜRETİM SÜRECİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ	- Değerlendirme fonksiyonu, boyutsallık azaltma ve hiperparametre optimizasyonu içererek yüksek performans çözümleri sunulması [94] - Değişikliklere karşı hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmesi [31] - Makinelere bağlı seri üretimin gerçekleştirilebilmesi	- Otonom olmayan işgücü eksikliği sebebiyle tasarım ve uygulama aşamasındaki tutarsızlıklar - Akademik araştırmaların saha uygulamalarında yapılandırılmamış olmasına bağlı olarak uygulama süreçlerinde sıkıntı çıkması [131]	-Eleştirel olarak değerlendirilmeyen çıktılar doğrultusunda hatalı kullanıma yol açılması ve makul olmayan sonuçlar üretilmesi [71]

Tablo 2: Mimarlıkta Makine Öğrenimi: Faydalar, Zorluklar ve Riskler

5.1. Verilerin Belirlenme Süreci

Verilerin toplanarak hızlı ve detaylı bir şekilde analiz edilmelerini sağlayan makine öğrenimi teknikleri bu özellikleri sebebiyle yalnızca mimarlıkta değil aynı zamanda diğer alanlarda da sıklıkla tercih edilmektedir. Yapay sinir ağları ile mevcut olan tüm bilgiler içerisinde ihtiyaç duyulan bilgilerin seçilmesini ve ayrıştırılmasını sağlayan bu yöntemlerin kullanıcıya ek zaman kazandırmaları ve çalışma alanlarındaki gereksiz verileri elemeleri gibi kolaylıklar makine öğreniminin sağladığı en büyük faydalar arasında gösterilebilir [2]. Fakat böyle bir kazanıma erişebilmek için veri kümesinin zengin olması ve çalışmanın gereksinimlerini karşılayacak şekilde ana temaya uygun verilerin çokluğu oldukça önemlidir. Makine öğreniminin mimaride uygulanması henüz başlangıç aşamasındadır ve doğal olarak veri kümeleri ya yoktur ya da olgunlaşmamıştır [71]. Bu durum, veri kümesinin yeterli örneklerle beslenememesi durumunda hedeflenenden daha az çıktı üretilmesine yol açacağından, mimarlıkta makine öğrenimi tekniklerinin günümüzde kullanılabilirliğini kısıtlayan ciddi zorluklardan biri olarak ele alınmaktadır. Veri toplama ve analiz işlemlerinde risk olarak değerlendirilen unsur ise, tüm verilerin ortak bir havuzda toplanarak büyük bir veri seti oluşturulması sürecinde bilgi tabanının tüm kullanıcıların geçmişini incelediği bir sistemden oluşmasıdır [71]. Bu şekilde hazırlanan ve her şeyi bilen bir sistemin oluşturulmasıyla, her kavramın her kullanıcı için aynı anlama geldiği varsayılarak elde edilen çıktıların her zaman doğru olmamasına ve yanlış sonuçlara ulaşılmasına yol açabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, oluşturulan kapsamlı veri kümelerindeki bilgilerin tutarsız olması dengesiz bir veri seti oluşumuna sebep olabileceğinden böyle bir durumda kullanılan algoritmaların belirli kalıplara karşı önyargılı olması ve zayıf genelleştirici konumuna düşmeleri de mümkündür. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların doğru sonuç vermeleri sıkıntılı olabileceğinden bu durum da riskli olarak değerlendirilebilmektedir.

5.2. Tasarım Gelişim Süreci

Tasarım fikirleri üretme ve karar verme süreçlerinde kullanılan makine öğrenimi teknikleri mevcut tasarımların iyileştirilerek daha uzun ömürlü olmasının sağlanması ve oluşturulan ihtimaller arasından belirlenmiş kriterlere göre seçim yapılmasının kolaylaştırılması gibi imkânlar sunmaktadır. Tasarımların farklı parametreler girilerek

çeşitlendirilmesi ve üretilen çıktıların simüle edilerek değerlendirilmesi ile de belirlenen tasarım fikirlerinin geliştirilmesinde etkili olmaktadır. Bu aşamalarda, tasarıma başlarken kullanılan programların makine öğrenimi algoritmalarının da kullanılabilmesi ve gerekli simülasyonların yapılabilmesinde sistemin her değişikliğe karşı tekrarlanabilir bir performans göstermesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılan çalışmalarda sistemin verdiği sonuçların iyi değerlendirilmesi ve net olarak anlaşılamayan çıktılar doğrultusunda yanlış kararlar alınmamasına özen gösterilmelidir. Ayrıca, sınırlı sayıda örnek ile beslenen sistemin ürettiği fikirlerin tekrara düşmesi ve yetersiz çıkarım yapabilmesi gibi durumlar da söz konusu olabilmektedir.

Öneri sistemleri ele alındığında ise bu sistemlerin mimarlık alanındaki kullanımları değerlendirildiğinde, yeni tasarım fikirleri verme gibi sahip oldukları çeşitli avantajlara rağmen bu yaklaşımları mimariye uygulanma riskleri de bulunmaktadır [71]. Bu riskler incelendiğinde, ilk olarak, bilgi tabanının tüm kullanıcıların geçmişini incelediği ve her şeyi bilen bir sistemden oluşması bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Böyle bir durumda, her kavramın genel olarak tüm kullanıcılar için aynı anlama geldiğini varsayabilen bir sistemin oluşturulması her zaman doğru olamayabileceği için yanlış sonuçlara ulaşılmasına yol açılabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, yalnızca tek bir kullanıcının geçmiş deneyimine dayanan bir sistemin oluşturulduğu varsayıldığında ise bu sistemin çok fazla fikir veremeyeceği ve dolayısıyla da daha az üretken olabileceği ihtimali de göz önünde bulundurulmaktadır. Öngörülen bir diğer risk olarak ise, kullanıcı geri bildirimine bağlı olarak işleyen bu sistemlerin herhangi bir geri dönüş alamadığında sistemin durması ele alınmaktadır. Bu sebeple meydana gelebilecek olan problemlerin üstesinden gelebilmek için sistemin sürekli yeni bilgiler ile beslenmesi gerekmektedir. Tüm bu riskler göz önüne alınarak mimarlık alanında kullanılan öneri sistemleri, kullanıcılar için tam olarak istenilen sonuca ulaşılmasını sağlamasa da yine de yeni fikirler için yol gösterici özellikte kaynaklara erişilmesinde faydalı olabilecektir. Bu tür sistemlerin daha sık kullanılması ve biriken veri kümelerinin gelişmesi sağlanarak zamanla mimarlıkta da öneri sistemlerinin en doğru şekliyle yaygınlaşması mümkün olabilir.

Mimarlıkta tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar farklı ihtiyaçlara cevap vermek için kullanılan makine öğrenimi teknikleri, tasarım fikrine karar verme, yüksek performanslı optimizasyon tahminleri ve olası tasarım problemlerine karşı daha geniş çözüm önerileri gibi çeşitli imkanlar sunarak tasarımcıya kolaylık sağlama konusunda oldukça faydalıdır. Bu aşamalarda karşılaşılan zorluklar ise genel olarak tasarım problemleri ya da

değerlendirme ölçütleri gibi temel kavramların makineye açık bir şekilde ifade edilememesi sonucu beklentiye uymayan sonuçlar ile karşılaşılmasıdır. Makine öğrenimi algoritmaları ve yapay sinir ağları girdi olarak yüklenen verilere göre öğrenme işlemini gerçekleştirdiklerinden herhangi bir tanımlama yapıldığında öğrendikleri verilere göre bir çıkarım yaparak o doğrultuda bir çıktı üretmek üzere çalışırlar. Bundan dolayı, makine öğrenimi algoritmalarının tasarım aşamasında kullanım amacının tam olarak makineye aktarılabilmesi, amaca uygun sonuçlar alabilmek için gerekli olan en büyük etkenlerden biridir. Yanlış tanımlama sonucu istenilenden farklı olarak yanlış sonuçların çıkma ihtimali, projenin gidişatına ve uygulama aşamasında sıkıntılara yol açabileceğinden potansiyel bir risk olarak değerlendirilmektedir.

5.3. Üretim Süreci

Üretim kısmında ise makine öğrenimi teknikleri seri üretimin gerçekleşmesi ve değişiklikleri kavrayıp adapte olma konusunda kolaylık sağlarken, otonom olmayan işgücü eksiklikleri üretim sürecinde zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Akademik araştırmaların mimari ölçekte ve gerçek inşaat projelerinde test edilmesi gerekmektedir. Ortaya çıkan teknolojileri uygulamaya koymanın en önemli zorluklarından birinin, saha dışı prefabrikasyondan çok daha karmaşık olan bir inşaat sahasının yapılandırılmamış ortamı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, diğer bir zorluk ise, mimarların makine öğrenimi ve robot odaklı tasarımları iş akışına dâhil etmede zorlanmaları fakat inşaat işçilerinin eski makineler yerine otonom robotları kullanmak istemeleridir [131]. Gelişmelere bağlı olarak gerçekleşen değişikliklere ayak uydurarak alışlagelmiş yöntemlerden vazgeçilmesinin tarih boyunca hep zor olduğu görülür. Bu bağlamda, geçmişte, manuel teknik çizimlerden Bilgisayar Destekli Tasarıma (CAD) geçiş bazıları tarafından mimarının yıkımı için bir araç olarak algılanmış olsa da bu programların yaygınlaşmasıyla birlikte mimarlar bu yeni duruma adapte olarak ustalaşmış ve içinde bulundukları yeniliklerden yararlanmaya başlamışlardır [71]. Benzer bir şekilde, makine öğrenimi tekniklerinin mimarlıkta kullanımına daha benimseyici şekilde yaklaşmak ve bu aracı avantaja çevirmek de mümkün görülmektedir.

Mimarlık ile birlikte çalışan çeşitli alanlar ele alındığında BIM gibi uygulamaların da temelinde yatan disiplinler arası ortaklaşa çalışmalarda kullanılan makine öğrenimi algoritmaları aynı proje üzerinde eşzamanlı olarak çalışmaya imkân sağlamak amacıyla

geliştirilmektedir. Bu bağlamda amaç, tasarıma etki eden her türlü faktörün tüm kullanıcılar tarafından takip edilebilmesini kolaylaştırmak olsa da günümüzde hala bu konuda da tam anlamıyla kusursuz bir ilerleme sağlanamamıştır. Bunun sebebi, tasarım üzerinde çalışan farklı alanların gereksinimlerinin farklı olması ve tüm alanların ihtiyaç duyduğu verilerin bir arada tutulmasıyla veri kümesinin çok büyük boyutlara ulaşabilmesidir. Böyle bir dosya üzerinde tam anlamıyla kusursuz bir şekilde çalışılabilmesi için bütün alanların bir bütün olarak uyumlu bir şekilde hareket etmeleri ve makinelerin eğitilmesinde bu alanların tamamı dikkate alınarak detaylı bir veri seti oluşturulması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, tek bir alanın yürüttüğü çalışmalarda dahi yeterli veriye ulaşma ve problemlerin doğru bir şekilde tanıtılması gibi konularda sıkıntı yaşandığı göz önüne alınarak çoklu çalışma ortamlarında bu sıkıntılar ile karşılaşmak mümkündür. Öte yandan, eşzamanlı olarak çalışılan proje üzerinde yürütülen sürecin tüm kullanıcıların farklı yönlendirmelerine maruz kalması sonucunda uyumsuzlukların ortaya çıkması da ihtimal dâhilinde olan bir risk olarak görülebilir.

Kullanıcı özelinde çıkarımlar yaparak kişiye özel üretimler yapabilen makine öğrenimi teknikleri mimarlıkta da mekân performansını iyileştirebilmek ve kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte yeni alanlar üretebilmek için ilgi çekici bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Bu aşamada, yapay sinir ağları kullanılarak kullanıcı aktif hareketlerine bağlı olarak tekrarlanan durumların sıklık derecelerini ölçmek ve tespit edilen değerlere göre tasarım yapmak amacıyla makine öğrenmesi teknikleri kullanılmaktadır. Yapılan tasarımın verimli olması ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi, incelenen kullanıcı hareketlerine ve sistemin bu veriler ile yeterli seviyeye ulaşılincaya kadar test edilmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu noktada yaşanan zorluk ise sistemin beslenebilmesi için test edilen ortam için çok sayıda kullanıcıya ulaşmak olarak görülebilir. Kullanıcı geri bildirimine bağlı olarak öğrenen ve gelişen bu sistemlerin herhangi bir geri dönüş alamaması durumunda ise sistemin tamamen çalışmayı durdurma ihtimali ise göz ardı edilemeyecek bir risk olarak ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, mimarlıkta makine öğrenimi tekniklerinin kullanılması, gelişmelere ayak uydurmak ve ilerleyen teknolojiyi mimari alanda da takip etmek açısından oldukça önemlidir. Fakat bu tekniklerin mimarlık alanına uyarlanabilmesi sırasında karşılaşılan zorluklar göz önüne alınmalı ve yapılacak olan yeni çalışmalarda olası riskler üzerine durularak kapsamlı bir çalışma planı oluşturulmalıdır. İncelenen örnekler, çeşitli mimari çalışmalarda makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımını gösterirken aynı zamanda,

Çalışmalarda hedeflenen sonuca ulaşılmasına rağmen yaşanan zorlukları giderebilmek ve bu alanda gelişme sağlayabilmek için daha fazla uygulamalı çalışmaların yapılması gerektiğini göstermektedir.



6. SONUÇ

Makine öğrenimi, kullanım alanlarının yaygınlaşarak çoğalması ve yapılan çalışmaların artmasına bağlı olarak sürekli bir ilerleme göstermektedir. Mühendislik ve üretim sektörleri gibi teknolojiyi takip ederek uyum sağlayabilen sektörler ele alındığında yapay zekâ destekli sistemlerin ve makine öğrenmesi tekniklerinin bu sektörlerle uyurabilmesi için devamlı olarak yeni denemeler ve uygulamaya yönelik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Teknolojinin gelişimini genellikle ekonomik sebeplerden dolayı daha yavaş takip ettiği görülen mimarlık alanında ise yapay zekânın ve makine öğrenmesi teknolojilerinin kullanımı ile ilgili araştırmaların diğer alanlara kıyasla daha az olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, zamanla gelişen bilgisayar destekli programların mimarlıkta kullanılması ve güncel gelişimlere ayak uydurmada mimarlığın gelebileceği son noktayı görebilmek amacıyla mühendislik, üretim ve endüstri alanlarında kullanılan bu yeni tekniklerin mimarlık alanında da yaygınlaşması amaçlanmaktadır. Belirtilen amaca yönelik olarak, bu tez çalışmasında, mimarlık sektörünün şekillenmesinde yapay zekâ destekli makine öğrenimi tekniklerinin sunacağı farklı perspektifler ve daha önceden yapılmış olan çalışmalar incelenerek, mimarlıkta makine öğrenimi kullanımının sağladığı faydaların, zorlukların ve risklerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tezde, öncelikle, makine öğreniminin genel olarak ne olduğunu ve nasıl işlediğini anlayabilmek adına, ilgili temel tanımlar tanıtılmıştır. Ardından makine öğreniminin yaygın olarak kullanıldığı alanlardaki çalışmalar incelenip sonrasında ise mimarlık alanında bu tekniklerin kullanım amaçları ve yöntemleri örnekler üzerinden anlatılmıştır. Henüz mimarlık alanında kullanımı yaygınlaşmayan makine öğrenimi tekniklerinin bu alanda uygulamalı çalışmaları sınırlı sayıda olduğu için, mevcut araştırmaların değerlendirilmesi yapılarak elde edilen bilgilerin yeni çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir. Tezde ele alınan örneklerde, makine öğreniminin sağladığı faydalar ve yapılan çalışmalarda karşılaşılan zorluklar ele alınarak makine öğrenimi kullanımının sebep olabileceği potansiyel riskler de belirlenmiştir. Makine öğrenimi tekniklerinin mimarlık alanında kullanılmasına ilişkin örneklerle bakıldığında, kazanılan faydalar, karşılaşılan zorluklar ve olası riskler genel olarak verilerin belirlenmesi süreci, tasarım gelişim süreci ve üretim süreci şeklinde üç ana süreç üzerinden incelenmiştir. Bu süreçlerde makine öğreniminin sağladığı temel faydalar, büyük verilerin depolanmasıyla veri setlerinin oluşturulması ve analiz edilmeleri, öneri

sistemlerinin geliştirilmesine bağı olarak yeni tasarım fikirlerinin sunulması ve otonom sistemler ile seri üretime geçilmesine ek olarak var olan tasarımların iyileştirilmesine imkân sağlanması olarak görülmektedir. Karşılaşılan temel zorluklar ise, mimarlık alanında yapılan çalışmaların ve oluşturulan veri kümelerinin yetersiz olması sebebiyle elde edilen çıktılarının sınırlı olması, öneri sistemlerinin yetersiz kalmaları durumunda çıkan sonuçların birbirini tekrar eder nitelikte olması ve çözülmesi istenen sorunlar yanlış tanıtılırsa beklenenden farklı sonuçlara ulaşılmasıdır. Söz konusu olan riskler değerlendirildiğinde ise, veri tabanındaki bilgilerin kullanıcılar için aynı anlama gelmemeleri durumunda yanlış çıktılar oluşturulması ve öneri sistemlerinin geri bildirimlere bağı olarak çalışmasına bağı olarak yaşanabilecek herhangi bir aksaklıkta sistemin çalışmayı durdurması gibi ihtimallerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Makine öğreniminde veri kümesi oluştururken kullandığımız örnek veriler, sonuç olarak makinenin üreteceği çıktıyı doğrudan etkileyeceği için, ulaşmak istenilen sonuca yönelik bir veri kümesi oluşturulması ve toplanan veriler içerisinde yanıltıcı ve gereksiz bilgilerin bulunma ihtimalinin de göz ardı edilmemesi gerekir. Literatür taramasında incelenen örneklerde veri kümelerini oluşturmak ve makine öğrenimini gerçekleştirebilmek için Python programlama dili ve TensorFlow, Keras ve PyTorch gibi veri kütüphanelerinin kullanıldığı anlaşılmıştır. Mimarlıkta tasarım ve uygulama alanlarında kullanılmak üzere yapılacak olan yeni makine öğrenimi araştırma çalışmalarında, bahsedilen programlar gibi yeni programların geliştirilmesi ve bu programların kullanımlarının incelenerek amaca yönelik yeni veri kütüphanelerinin oluşturulması mümkündür. Özellikle veri kütüphanelerinin geliştirilmesi ve artırılması makine öğreniminin mimarlık alanında kullanımını geliştireceği ve yaygınlaştıracığı ön görülmektedir.

Yapılan incelemeler ve örnek analizleri sonucunda, makine öğreniminin gelişmekte olan ve yeni araştırmalara açık bir alan olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle mühendislik alanında kullanımı yaygınlaşan makine öğrenimi teknikleri diğer disiplinler ile de etkileşimli olan ve gelecekte pek çok işin kolaylaşmasını sağlayabilecek potansiyel bir güç olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, makine öğreniminin kullanım şekillerinin anlaşılması ve mimarlıkta bu kullanımların yaygınlaşması için incelenen mevcut çalışmalarla birlikte bu araştırmanın da daha sonraki çalışmalara temel olması hedeflenmiştir. Mimarlık alanında makine öğrenimi kullanılarak yapılan çalışmaların azlığı ve veri setlerinin yetersiz olması gibi temel eksikliklere rağmen yapılan çalışmaların geliştirilmesi ve yeni çalışmaların yapılmasıyla mimarlıkta makine öğreniminin sıklıkla kullanılan bir araç olarak tercih

edilebileceği öngörölmektedir. Benzer çalışmaların artması, makine öğreniminin mimarlık alanına getirebileceği yenilikçi bakış açısı ile yeni tasarım ve fikir yöntemlerinin sunulması için bir fırsat oluşturabilir.



KAYNAKLAR

- [1] I. El Naqa and M. J. Murphy, ‘What Is Machine Learning?’, in Machine Learning in Radiation Oncology: Theory and Applications, I. El Naqa, R. Li, and M. J. Murphy, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 3–11. doi: 10.1007/978-3-319-18305-3_1.
- [2] E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning. MIT Press, 2020.
- [3] K. P. Murphy, Machine Learning: A Probabilistic Perspective. MIT Press, 2012.
- [4] K.-H. Liu, T.-J. Liu, C.-C. Wang, H.-H. Liu, and S.-C. Pei, ‘Modern Architecture Style Transfer for Ruin or Old Buildings’, in 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), May 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISCAS.2019.8702121.
- [5] T. Ayodele, ‘Machine Learning Overview’, 2010. doi: 10.5772/9374.
- [6] R. E. Schapire, ‘The Boosting Approach to Machine Learning: An Overview’, in Nonlinear Estimation and Classification, D. D. Denison, M. H. Hansen, C. C. Holmes, B. Mallick, and B. Yu, Eds. New York, NY: Springer, 2003, pp. 149–171. doi: 10.1007/978-0-387-21579-2_9.
- [7] E. Ballieker, ‘Azure Machine Learning Studio ile Machine Learning’e Giriş Bölüm 2 – Supervised&Unsupervised Learning, Regression, Classification, Clustering’, Erhan Ballieker, Dec. 10, 2018. <https://erhanballieker.com/2018/12/11/azure-machine-learning-studio-ile-machine-learning-giris-bolum-2/>

- [8] Y. Zhang, New advances in machine learning. BoD–Books on Demand, 2010.
- [9] K. Hao, ‘What is machine learning? | MIT Technology Review’, Nov. 17, 2018.
<https://www.technologyreview.com/2018/11/17/103781/what-is-machine-learning-we-drew-you-another-flowchart/>
- [10] G. Langs et al., ‘Machine learning: from radiomics to discovery and routine’, *Der Radiologe*, vol. 58, Jun. 2018, doi: 10.1007/s00117-018-0407-3.
- [11] C. Szepesvári, ‘Algorithms for reinforcement learning’, *Synth. Lect. Artif. Intell. Mach. Learn.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–103, 2010.
- [12] L. Deng and D. Yu, ‘Deep learning: methods and applications’, *Found. Trends Signal Process.*, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.
- [13] J. Wang, Y. Ma, L. Zhang, R. X. Gao, and D. Wu, ‘Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications’, *J. Manuf. Syst.*, vol. 48, pp. 144–156, 2018.
- [14] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, ‘Deep learning’, *nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [15] K. O’Shea and R. Nash, ‘An Introduction to Convolutional Neural Networks’, *ArXiv151108458 Cs*, Dec. 2015, Accessed: Mar. 27, 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1511.08458>

- [16] R. Yamashita, M. Nishio, R. K. G. Do, and K. Togashi, ‘Convolutional neural networks: an overview and application in radiology’, *Insights Imaging*, vol. 9, no. 4, pp. 611–629, Aug. 2018, doi: 10.1007/s13244-018-0639-9.
- [17] A. Şeker, B. Diri, and H. H. Balık, ‘Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme’, *Gazi Mühendis. Bilim. Derg.*, vol. 3, no. 3, pp. 47–64, 2017.
- [18] M. Chen, U. Challita, W. Saad, C. Yin, and M. Debbah, ‘Artificial neural networks-based machine learning for wireless networks: A tutorial’, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 21, no. 4, pp. 3039–3071, 2019.
- [19] A. Hussein, J. Agbinya, I. Satti, A. Hussein, and Sudan, ‘A Survey on Data mining Techniques for Water Flow Forecasting’, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 14, pp. 13–27, Mar. 2020, doi: 10.22587/ajbas.2020.14.3.2.
- [20] S.-C. Wang, ‘Artificial neural network’, in *Interdisciplinary computing in java programming*, Springer, 2003, pp. 81–100.
- [21] A. Suliman and Y. Zhang, ‘A review on back-propagation neural networks in the application of remote sensing image classification’, *J. Earth Sci. Eng.*, vol. 5, pp. 52–65, 2015.
- [22] E. Egrioglu, C. H. Aladag, U. Yolcu, V. R. Uslu, and M. A. Basaran, ‘A new approach based on artificial neural networks for high order multivariate fuzzy time series’, *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 7, pp. 10589–10594, 2009.

- [23] M.-Y. Liu and O. Tuzel, 'Coupled generative adversarial networks', *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 29, 2016.
- [24] A. Creswell, T. White, V. Dumoulin, K. Arulkumaran, B. Sengupta, and A. A. Bharath, 'Generative Adversarial Networks: An Overview', *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 35, no. 1, pp. 53–65, Jan. 2018, doi: 10.1109/MSP.2017.2765202.
- [25] K. Wang, C. Gou, Y. Duan, Y. Lin, X. Zheng, and F.-Y. Wang, 'Generative adversarial networks: introduction and outlook', *IEEECAA J. Autom. Sin.*, vol. 4, no. 4, pp. 588–598, 2017.
- [26] J. Davis et al., 'Smart Manufacturing', *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 141–160, 2015, doi: 10.1146/annurev-chembioeng-061114-123255.
- [27] D. J. Dingli, 'The manufacturing industry—Coping with challenges', 2012.
- [28] T. Wuest, D. Weimer, C. Irgens, and K.-D. Thoben, 'Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications', *Prod. Manuf. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–45, 2016.
- [29] D. T. Pham and A. A. Afify, 'Machine-learning techniques and their applications in manufacturing', *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 219, no. 5, pp. 395–412, 2005.
- [30] P. Langley and H. A. Simon, 'Applications of machine learning and rule induction', *Commun. ACM*, vol. 38, no. 11, pp. 54–64, 1995.

- [31] H. A. Simon, 'Why should machines learn?', in Machine learning, Elsevier, 1983, pp. 25–37.
- [32] T. Wuest, A. Liu, S. C.-Y. Lu, and K.-D. Thoben, 'Application of the stage gate model in production supporting quality management', *Procedia Cirp*, vol. 17, pp. 32–37, 2014.
- [33] J. Rowe, 'Study Reveals Top Trends In Digital Manufacturing - Part 1', *MCADCAfe Editorial*, Jul. 06, 2018.
<https://www10.mcadcafe.com/blogs/jeffrowe/2018/07/05/study-reveals-top-trends-in-digital-manufacturing-part-1/>
- [34] A. G. Hoffmann, 'General Limitations on Machine Learning.', in *ECAI*, 1990, vol. 90, pp. 345–347.
- [35] K. Yang and J. Trewn, *Multivariate statistical methods in quality management*. McGraw-Hill Education, 2004.
- [36] A. Rojko, 'Industry 4.0 concept: Background and overview.', *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 11, no. 5, 2017, [Online]. Available: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/7072/4532>
- [37] A. F. Özsoylu, 'Endüstri 4.0', *Çukurova Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 21, no. 1, pp. 41–64, 2017.
- [38] P. C. Evans and M. Annunziata, 'Industrial internet: Pushing the boundaries', *Gen. Electr. Rep.*, pp. 488–508, 2012.

- [39] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, ‘Industry 4.0’, *Bus Inf Syst Eng*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, Aug. 2014, doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
- [40] I. S. Candanedo, E. H. Nieves, S. R. González, M. Martín, and A. G. Briones, ‘Machine learning predictive model for industry 4.0’, in *International Conference on Knowledge Management in Organizations*, 2018, pp. 501–510.
- [41] M. Ramsgaard Thomsen, P. Nicholas, M. Tamke, S. Gatz, Y. Sinke, and G. Rossi, ‘Towards machine learning for architectural fabrication in the age of industry 4.0’, *Int. J. Archit. Comput.*, vol. 18, no. 4, pp. 335–352, Dec. 2020, doi: 10.1177/1478077120948000.
- [42] S. H. Dezfoulian, D. Wu, and I. S. Ahmad, ‘A Generalized Neural Network Approach to Mobile Robot Navigation and Obstacle Avoidance’, in *Intelligent Autonomous Systems 12: Volume 1 Proceedings of the 12th International Conference IAS-12*, held June 26-29, 2012, Jeju Island, Korea, S. Lee, H. Cho, K.-J. Yoon, and J. Lee, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013, pp. 25–42. doi: 10.1007/978-3-642-33926-4_3.
- [43] ‘What is User Experience (UX) Design?’, The Interaction Design Foundation. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/ux-design> (accessed May 05, 2022).
- [44] Q. Yang, A. Scuito, J. Zimmerman, J. Forlizzi, and A. Steinfeld, ‘Investigating How Experienced UX Designers Effectively Work with Machine Learning’, *Proc. 2018 Des. Interact. Syst. Conf.*, pp. 585–596, Jun. 2018, doi: 10.1145/3196709.3196730.

- [45] M. Hassenzahl and N. Tractinsky, 'User experience-a research agenda', *Behav. Inf. Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 91–97, 2006.
- [46] S. Ay, 'Bir UX ve UI tasarımcısı olarak tasarım sürecim nasıl geçiyor?', *Medium*, May 14, 2019.
- [47] C. Aricioglu, 'Kullanıcı Deneyimi (User Experience) ve SEO', *Zeo*, Jul. 07, 2015. <https://zeo.org/tr/blog/kullanici-deneyimi-ve-seo/>
- [48] M. M. Gürbulak, 'Kullanıcı Deneyimi Nedir?', *UX Türkiye*, Jun. 09, 2013. <http://uxturkiye.co/kullanici-deneyimi-nedir/>
- [49] C. J. Haughey, 'How to Improve UX With AI and Machine Learning | Springboard Blog', Jul. 30, 2019. <https://www.springboard.com/blog/improve-ux-with-ai-machine-learning/>
- [50] M. I. Jordan and T. M. Mitchell, 'Machine learning: Trends, perspectives, and prospects', *Science*, vol. 349, no. 6245, pp. 255–260, Jul. 2015, doi: 10.1126/science.aaa8415.
- [51] 'The User Experience: Why Data – Not Just Design – Hits the Sweet Spot', *Knowledge at Wharton*. <https://knowledge.wharton.upenn.edu/article/the-user-experience-why-data-not-just-design-hits-the-sweet-spot/>
- [52] J. Nielsen, *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.

- [53] Trevor, 'How Machine Learning is transforming UX (With Examples)', May 07, 2016. <http://projectilepixels.com/blog/how-machine-learning-is-transforming-ux-with-examples/>
- [54] H. S. Alavi et al., 'Introduction to Human-Building Interaction (HBI): Interfacing HCI with Architecture and Urban Design', *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 26, no. 2, pp. 1–10, Apr. 2019, doi: 10.1145/3309714.
- [55] L. Brown et al., 'Integrating Machine Learning Systems into Architectural Design Workflows', p. 10, 2020.
- [56] S. Chaillou, 'AI + Architecture | Towards a New Approach', Harv. Univ., Jan. 2019, [Online]. Available: https://www.academia.edu/39599650/AI_Architecture_Towards_a_New_Approach
- [57] A. Heiskanen, 'Robotics for Architecture and Construction - An Interview with Lauren Vasey', *AEC Business*, Jul. 03, 2019. <https://aec-business.com/robotics-for-architecture-and-construction-an-interview-with-lauren-vasey/>
- [58] M. J. Skibniewski and E. K. Zavadskas, 'Technology development in construction: a continuum from distant past into the future', *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 19, no. 1, pp. 136–147, 2013.
- [59] G. Rossi and P. Nicholas, 'Modelling A Complex Fabrication System', pp. 811–820, 2018.
- [60] B. Wibranek and O. Tessmann, 'Interfacing architecture and artificial intelligence: Machine learning for architectural design and fabrication', in *The Routledge*

Companion to Artificial Intelligence in Architecture, Routledge, 2021, pp. 380–393.

- [61] M. Zwierzycki, ‘On AI Adoption Issues in Architectural Design’, 2020, p. 519. [Online]. Available: http://cumincad.scix.net/data/works/att/ecaade2020_139.pdf
- [62] ‘Daedalus Pavilion | Ai Build’, Jan. 20, 2021. <https://ai-build.com/daedalus-pavilion/>
- [63] Hanna Watkin, ‘Artificially Intelligent 3D Printer Creates “Daedalus Pavilion”’, All3DP, Oct. 17, 2016. <https://all3dp.com/daedalus-pavilion/>
- [64] Alec, ‘Ai Build unveils Daedalus Pavilion, 3D printed by robots using Artificial Intelligence’, 3ders.org, 2016. <http://www.3ders.org/articles/20161017-ai-build-unveils-daedalus-pavilion-3d-printed-by-robots-using-artificial-intelligence.html>
- [65] J. Sauer, ‘Planning and Scheduling – An Overview’, 2003.
- [66] M. M. Wagner, A. W. Moore, and R. M. Aryel, Handbook of Biosurveillance. Elsevier, 2011.
- [67] S. Minton and M. Zweben, ‘CHAPTER 1 - Learning, Planning, and Scheduling: An Overview’, in Machine Learning Methods for Planning, S. Minton, Ed. Morgan Kaufmann, 1993, pp. 1–29. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781483207742500068>

- [68] F. + P. / www.fosterandpartners.com, ‘Applied Research & Development | Foster + Partners’. <https://www.fosterandpartners.com/expertise/applied-research-development/>
- [69] M. Tsigkari, Ş. Tarabishy, and M. Kosicki, ‘Towards Artificial Intelligence in Architecture: How machine learning can change the way we approach design | Foster + Partners’, Mar. 29, 2021. <https://www.fosterandpartners.com/plus/towards-artificial-intelligence-in-architecture/>
- [70] M. N. Thombre, H. A. Preisig, and M. B. Addis, ‘Developing Surrogate Models via Computer Based Experiments’, in *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 37, K. V. Gernaey, J. K. Huusom, and R. Gani, Eds. Elsevier, 2015, pp. 641–646. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044463578550102X>
- [71] C. Belém, L. Santos, and A. Leitão, ‘On the Impact of Machine Learning: Architecture without Architects?’, 2019.
- [72] A. Meeran, ‘AI and Architecture: Image-based Machine Learning for early-stage design conceptualization’, 2021.
- [73] A. S. Mahmoodi and M. Bastani, ‘Conceptualization Methods in the Design Process of Architecture’, *Honar-Ha-Ye-Ziba Memary Va Shahrsazi*, vol. 23, no. 1, pp. 5–18, May 2018, doi: 10.22059/jfaup.2018.238916.671776.
- [74] M. T. Yildirim, ‘MİMARİ TASARIMDA BİÇİMLENDİRME YAKLAŞIMLARI İLE BİLGİSAYAR YAZILIMLARI İLİŞKİSİ’, no. 1, p. 13, 2004.

- [75] J. C. Miles, G. M. Sisk, and C. J. Moore, 'The conceptual design of commercial buildings using a genetic algorithm', *Comput. Struct.*, vol. 79, no. 17, pp. 1583–1592, Jul. 2001, doi: 10.1016/S0045-7949(01)00040-2.
- [76] D. G. Ullman, *The mechanical design process*, 4th ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- [77] D. E. Goldberg, 'Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison', Reading, 1989.
- [78] O. Chouchoulas and A. K. Day, 'Design Exploration Using A Shape Grammar With A Genetic Algorithm', *Open House International*, vol. 32, pp. 26–35, Jun. 2007, doi: 10.1108/OHI-02-2007-B0004.
- [79] K.-P. Beier, 'Web-based virtual reality in design and manufacturing applications', in *Proceedings of COMPIT*, 2000, pp. 45–55.
- [80] A. Maria, 'Introduction to modeling and simulation', in *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, 1997, pp. 7–13.
- [81] B. Kolarevic, 'Computing the Performative in Architecture', 2003. [Online]. Available: http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/2015%20+dave=2:/Show?ecaade03_457_104_kolarevic
- [82] F. Recknagel, 'Applications of machine learning to ecological modelling', *Ecol. Model.*, vol. 146, no. 1, pp. 303–310, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0304-3800(01)00316-7.

- [83] J. Lye and A. Andrasek, 'Machine Learning Combinatorial Frameworks for Architecture', *Int. J. Innov. Econ. Dev.*, vol. 7, no. 2, pp. 20–29, Jun. 2021, doi: 10.18775/ijied.1849-7551-7020.2015.72.2002.
- [84] L. A. Gatys, A. S. Ecker, and M. Bethge, 'A Neural Algorithm of Artistic Style', *ArXiv150806576 Cs Q-Bio*, Sep. 2015, Available: <http://arxiv.org/abs/1508.06576>
- [85] K. Lewis, 'The First Thinking Sculpture: Inspired by Gaudi, created with Watson', *Business Operations*, Feb. 28, 2017. <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/first-thinking-sculpture/>
- [86] S. Santos, 'How Artificial Intelligence Helped to Create a Gaudí-Inspired Thinking Sculpture', *ArchDaily*, Mar. 23, 2017. <https://www.archdaily.com/867048/ibm-watson-how-artificial-intelligence-helped-to-create-a-gaudi-inspired-thinking-sculpture>
- [87] R. High and T. Bakshi, *Cognitive Computing with IBM Watson: Build smart applications using artificial intelligence as a service*. Packt Publishing Ltd, 2019.
- [88] A. Alymani, W. Jabi, and P. Corcoran, 'Machine Learning Methods for Clustering Architectural Precedents', p. 10, 2020.
- [89] A. M. Obeso, J. Benois-Pineau, A. Á. R. Acosta, and M. S. G. Vázquez, 'Architectural style classification of Mexican historical buildings using deep convolutional neural networks and sparse features', *J. Electron. Imaging*, vol. 26, no. 1, p. 011016, 2016.

- [90] S. Sun, Z. Cao, H. Zhu, and J. Zhao, 'A Survey of Optimization Methods from a Machine Learning Perspective', ArXiv190606821 Cs Math Stat, Oct. 2019, Available: <http://arxiv.org/abs/1906.06821>
- [91] V. Machairas, A. Tsangrassoulis, and K. Axarli, 'Algorithms for optimization of building design: A review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 31, pp. 101–112, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.036.
- [92] J. H. Jo and J. S. Gero, 'Space layout planning using an evolutionary approach', Artif. Intell. Eng., vol. 12, no. 3, pp. 149–162, 1998.
- [93] L. G. Caldas and L. K. Norford, 'A design optimization tool based on a genetic algorithm', Autom. Constr., vol. 11, no. 2, pp. 173–184, Feb. 2002, doi: 10.1016/S0926-5805(00)00096-0.
- [94] J. Michalek and P. Papalambros, 'Interactive design optimization of architectural layouts', Engineering Optimization, vol. 34, no. 5, p. 485, 2002.
- [95] H. Zheng and Y. Ren, 'ARCHITECTURAL LAYOUT DESIGN THROUGH SIMULATED ANNEALING ALGORITHM', pp. 275–284, 2020.
- [96] Y. Eren, İ. B. Küçükdemiral, and İ. Üstoğlu, Optimization in Renewable Energy Systems: Recent Perspectives. Butterworth-Heinemann, 2017.
- [97] F. Sonmez, 'Structural Optimization Using Simulated Annealing', 2008, pp. 281–306.

- [98] I.-C. Yeh, 'Architectural layout optimization using annealed neural network', *Autom. Constr.*, vol. 15, no. 4, pp. 531–539, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.autcon.2005.07.002.
- [99] T.-C. Chen and Y.-W. Chang, 'Modern floorplanning based on fast simulated annealing', in *Proceedings of the 2005 international symposium on physical design - ISPD '05*, San Francisco, California, USA, 2005, p. 104. doi: 10.1145/1055137.1055161.
- [100] A. Fanca, A. Puscasiu, D.-I. Gota, and H. Valean, 'Recommendation Systems with Machine Learning', in *2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Oct. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCC49264.2020.9257290.
- [101] INSPIRO, 'Öneri Sistemleri', Yapay Zeka ve Veri Mühendisliği Bölümü. <https://yapayzeka.itu.edu.tr/arastirma/oneri-sistemleri>.
- [102] T. Ravenscroft, 'Wallgren Arkitekter and BOX Bygg create parametric tool that generates adaptive plans', *Dezeen*, Jun. 27, 2019. <https://www.dezeen.com/2019/06/27/adaptive-floor-plans-wallgren-arkitekter-box-bygg-parametric-tool/>
- [103] J. Franco T., 'Can a Machine Perform the Work of an Architect? A Chat with Jesper Wallgren, Founder of Finch 3D', *ArchDaily*, Dec. 06, 2019. <https://www.archdaily.com/929300/can-a-machine-perform-the-work-of-an-architect-a-chat-with-jesper-wallgren-founder-at-finch-3d>
- [104] E. McSweeney, 'Automation finds home in building design | Financial Times', 2020. <https://www.ft.com/content/e36ba45e-f973-11e9-a354-36acbbb0d9b6>.

- [105] E. Baldwin, 'BuildTech Futures: Artificial Intelligence and Machine Learning', ArchDaily, Sep. 19, 2021. <https://www.archdaily.com/924704/buildtech-futures-artificial-intelligence-and-machine-learning>.
- [106] W. Huang and H. Zheng, 'Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning', ACADIA 2018, pp. 156–165, 2018.
- [107] L. Brown, DRAWING RECOGNITION: Integrating Machine Learning Systems into Architectural Design Workflows, (Aug. 29, 2020). [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=1VsvfwsJ2bA>
- [108] J. M. Y. Ng et al., 'OPTIMISING IMAGE CLASSIFICATION', pp. 795–804, 2019.
- [109] J. Carmona and K. Irwin, 'BIM: who, what, how and why', Facilitiesnet, Jan. 10, 2007. <https://www.facilitiesnet.com/software/article/BIM-who-what-how-and-why-7546>
- [110] W. Smits, M. van Buiten, and T. Hartmann, 'Yield-to-BIM: impacts of BIM maturity on project performance', Build. Res. Inf., vol. 45, no. 3, pp. 336–346, Apr. 2017, doi: 10.1080/09613218.2016.1190579.
- [111] B. Succar, 'Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders', Autom. Constr., vol. 18, no. 3, pp. 357–375, May 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [112] R. Sebastian, 'Changing roles of the clients, architects and contractors through BIM', Eng. Constr. Archit. Manag., 2011, [Online]. Available:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09699981111111148/full/html>

- [113] A. Zabin, V. A. González, Y. Zou, and R. Amor, ‘Applications of machine learning to BIM: A systematic literature review’, *Adv. Eng. Inform.*, vol. 51, p. 101474, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.aei.2021.101474.
- [114] T. Hong, Z. Wang, X. Luo, and W. Zhang, ‘State-of-the-art on research and applications of machine learning in the building life cycle’, *Energy and Buildings*, vol. 212, p. 109831, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109831.
- [115] J. Tian, M. Gao, and S. Zhou, “The Research of Building Logistics Cost Forecast Based on Regression Support Vector Machine,” in *2009 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2009, vol. 1, pp. 648–652.
- [116] M.-Y. Cheng, H.-S. Peng, Y.-W. Wu, and T.-L. Chen, “Estimate at Completion for construction projects using Evolutionary Support Vector Machine Inference Model,” *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 5, pp. 619–629, Dec. 2010.
- [117] G.-H. Kim, J.-M. Shin, S. Kim, and Y. Shin, “Comparison of School Building Construction Costs Estimation Methods Using Regression Analysis, Neural Network, and Support Vector Machine,” *J. Build. Constr. Plan. Res.*, vol. 01, no. 01, pp. 1–7, 2013.
- [118] R. M. Hossein and A. Hojjat, “A Novel Machine Learning Model for Estimation of Sale Prices of Real Estate Units,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. 2, p. 4015066, Dec. 2016.

- [119] B. I. K. and S. Lucio, "Shape-Based Retrieval of Construction Site Photographs," *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 14–20, Dec. 2008.
- [120] B. Ioannis, S. Lucio, and S. Yoshihisa, "Material-Based Construction Site Image Retrieval," *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 341–355, Dec. 2005.
- [121] Z. Zhu and I. Brilakis, "Parameter optimization for automated concrete detection in image data," *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 7, pp. 944–953, Dec. 2010.
- [122] S. El-Omari and O. Moselhi, "Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work," *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2008.
- [123] P. Arias, J. Herráez, H. Lorenzo, and C. Ordóñez, "Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods," *Comput. Struct.*, vol. 83, no. 21, pp. 1754–1766, Dec. 2005.
- [124] P. Arias, C. Ordóñez, H. Lorenzo, J. Herraiez, and J. Armesto, "Low-cost documentation of traditional agro-industrial buildings by close-range photogrammetry," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 4, pp. 1817–1827, Dec. 2007.
- [125] B. Akinci, F. Boukamp, C. Gordon, D. Huber, C. Lyons, and K. Park, "A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control," *Autom. Constr.*, vol. 15, no. 2, pp. 124–138, Dec. 2006.
- [126] Z. Zhenhua and B. Ioannis, "Machine Vision-Based Concrete Surface Quality Assessment," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, no. 2, pp. 210–218, Dec. 2010.

- [127] M. Brown and D. G. Lowe, "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 74, no. 1, pp. 59–73, Dec. 2007.
- [128] X. Xiong, A. Adan, B. Akinci, and D. Huber, "Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data," *Autom. Constr.*, vol. 31, pp. 325–337, Dec. 2013.
- [129] R. B. Rusu, Z. C. Marton, N. Blodow, M. Dolha, and M. Beetz, "Towards 3D Point cloud based object maps for household environments," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 56, no. 11, pp. 927–941, Dec. 2008.
- [130] P. Kuritcyn, K. Anding, E. Linß, and S. M. Latyev, "Increasing the Safety in Recycling of Construction and Demolition Waste by Using Supervised Machine Learning," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 588, p. 12035, Dec. 2015.
- [131] N. Melenbrink, J. Werfel, and A. Menges, 'On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building', *Automation in construction*, vol. 119, p. 103312, 2020. [104] N. Khean, A. Fabbri, D. Gerber, and M. H. Haeusler, 'Examining Potential Socio-economic Factors that Affect Machine Learning Research in the AEC Industry', 2019, pp. 247–263.
- [132] Q. Huang, 'Application of artificial intelligence in mechanical engineering', 2017, pp. 855–860. [Online]. Available: <https://www.atlantispress.com/proceedings/iccia-17/25880303>