

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI



İNŞAAT SEKTÖRÜNDE SANAL GERÇEKLIK
UYGULAMALARININ KULLANIMI

DERYA ATAHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Yeliz TÜLÜBAŞ GÖKUÇ (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Betül BAKIR
Prof. Dr. Bedriye ASIMGİL

BALIKESİR, ŞUBAT - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**İnşaat Sektöründe Sanal Gerçeklik Uygulamalarının Kullanımı**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.



Derya ATAHAN

ÖZET

**İNŞAAT SEKTÖRÜNDE SANAL GERÇEKLIK UYGULAMALARININ
KULLANIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DERYA ATAHAAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YELİZ TÜLÜBAŞ GÖKÜÇ)**

BALIKESİR, ŞUBAT - 2024

Bu çalışma, inşaat sektöründe Sanal Gerçeklik (VR), teknolojilerinin kullanımını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Çalışma, İnşaat 4.0 çerçevesinde bu teknolojilerin sektöre entegrasyonunu ve etkilerini analiz etmektedir. Araştırma, dijitalleşme, bilgi teknolojileri, akıllı şantiyeler, yapay zeka uygulamaları ve sürdürülebilirlik gibi temel konuları ele alarak, inşaat sektörünün dijital dönüşüm sürecini detaylandırır.

İnşaat sektöründe Sanal Gerçeklik (VR) teknolojilerinin kullanım alanları, proje görselleştirmeden tasarım süreçlerine ve eğitim uygulamalarından müşteri sunumlarına kadar geniş bir yelpazede incelenmiştir. Bu teknolojilerin, proje yönetimi, maliyet azaltma, risk yönetimi ve müşteri memnuniyeti gibi alanlarda sağladığı avantajlar ortaya konmuştur. Sanal Gerçeklik (VR), Artırılmış Gerçeklik (AR), Karma Gerçeklik (MR) teknolojilerinin inşaat sektöründeki uygulama alanlarını detaylandırmış, bu teknolojilerin etkin kullanımı ve potansiyel zorlukları ile gelecek perspektifleri de değerlendirilmiştir.

Çalışmanın amacı; İnşaat sektöründe sanal gerçekliğin kullanım alanlarına odaklanarak, bu alanda daha derinlemesine çalışmalar yapılmasını ve sanal gerçeklik teknolojisinin inşaat sektöründe daha geniş bir şekilde benimsenmesini sağlamaktır. İnşaat sektöründe bu teknolojilerin kullanımının artması, projelerin daha etkili ve verimli şekilde yürütülmesini sağlayacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), inşaat sektörü, teknolojik yenilikler, dijital dönüşüm, veri analizi, akıllı inşaat, teknolojik entegrasyon.

ABSTRACT

USE OF VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

MSC THESIS

DERYA ATAHAN

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ARCHITECTURE

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YELİZ TÜLÜBAŞ GÖKUÇ)

BALIKESİR, FEBRUARY - 2024

This study comprehensively examines the use of Virtual Reality (VR) technologies in the construction industry. It analyzes the integration and impact of these technologies within the Construction 4.0 framework. The research addresses key topics such as digitalization, information technologies, smart construction sites, artificial intelligence applications, and sustainability, detailing the digital transformation process in the construction sector.

The use of Virtual Reality (VR) technologies in the construction industry has been explored across a wide spectrum, from project visualization to design processes, and from training applications to client presentations. The advantages provided by these technologies in areas such as project management, cost reduction, risk management, and customer satisfaction have been highlighted. The study details the application areas of Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), and Mixed Reality (MR) technologies in the construction industry, evaluating their effective use, potential challenges, and future perspectives.

The aim of the study is to focus on the areas of application of virtual reality in the construction industry, encouraging more in-depth research in this field and promoting the broader adoption of virtual reality technology in the construction sector. Increasing use of these technologies in the construction industry will ensure that projects are carried out more effectively and efficiently.

KEYWORDS: Virtual reality (VR), augmented reality (AR), construction industry, technological innovations, digital transformation, data analysis, smart construction, technological integration.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı.....	2
2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ VE İNŞAAT 4.0	4
2.1 İnşaat 4.0	4
2.2 Dijitalleşme Ve İnşaat Sektörü	5
2.3 Bilgi Teknolojilerinin İnşaat Sektörüne Etkisi	7
2.4 İnşaat 4.0'ın Getirdiği Yenilikler	8
2.4.1 Dijitalleşme ve Bağlantı	9
2.4.1.1 İnternet of Things (IoT) ve İnşaat Sektörü	11
2.4.1.2 Bulut Bilişim ve Veri Yönetimi	12
2.4.2 Akıllı Şantiyeler	14
2.4.2.1 Robotik ve Otonom Araçlar	15
2.4.2.2 Dronlar ve Gözetim	17
2.4.3 Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi Uygulamaları	19
2.4.3.1 Veri Analizi ve Karar Destek Sistemleri	20
2.4.3.2 Görüntü ve Ses Tanıma Sistemleri	22
2.4.4 Güvenlik ve Risk Yönetimi	23
2.4.4.1 Akıllı Güvenlik Sistemleri	25
2.4.4.2 Tehlike Analizi ve Önleme	26
2.4.5 BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) ve Dijital İkiz	28
2.4.5.1 BIM'in Proje Yönetimine Katkıları	30
2.4.5.2 Dijital İkiz ve Gerçek Zamanlı Veri Analizi	30
2.4.6 Sürdürülebilirlik ve Yeşil İnşaat Pratikleri	32
2.4.6.1 Enerji Verimli Çözümler	35
2.4.6.2 Sürdürülebilir Malzeme ve Kaynak Kullanımı	36
2.4.7 Akıllı İnşaat Malzemeleri ve Çözümleri	38
2.4.7.1 Kendini Onaran Malzemeler	39
2.4.7.2 Akıllı Çözümler için Sensör Kullanımı	41
2.4.8 Sanal ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları	43
2.4.8.1 3D Modelleme ve Simülasyonlar	45
2.4.8.2 İnteraktif Sanal Tur ve Sunumlar	47
3. SANAL VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK UYGULAMALARI	49
3.1 Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - VR)	49
3.1.1 Sanal Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler	50
3.1.2 İnşaat Sektöründe Sanal Gerçekliğin Kullanım Alanları	54
3.2 Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality - AR)	57
3.2.1 Artırılmış Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler	60
3.2.2 İnşaat Sektöründe Artırılmış Gerçekliğin Kullanım Alanları	63
3.3 Karma Gerçeklik (Mixed Reality – MR)	66
3.3.1 Karma Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler	67
3.3.2 İnşaat Sektöründe MR Kullanım Alanları	70
4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE SANAL GERÇEKLIK UYGULAMALARININ KULLANIMININ DETAYLI İNCELENMESİ	73

4.1 Proje Görselleştirmede Sanal Gerçeklik	73
4.2 Tasarım Süreçlerinde Sanal Gerçeklik.....	75
4.3 Eğitim ve Güvenlikte Sanal Gerçeklik	78
4.4 Müşteri Sunumlarında Sanal Gerçeklik	81
4.5 Bakım ve Onarım Faaliyetlerinde Sanal Gerçeklik	83
5. SANAL GERÇEKLİKTE GÜNCEL UYGULAMALAR VE ÖRNEK İNCELEMELERİ.....	87
5.1 VR ile Gerçekleştirilmiş Başarılı Projeler	87
5.2 Türkiye ve Dünya'dan Uygulama Örnekleri	91
5.3 Başarısız Uygulamalar	102
5.4 Gelecek Perspektifi	103
6. SONUÇ.....	105
7. KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	122



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Endüstri 4.0 bileşenleri	4
Şekil 2.2: İnşaatın dijitalleşme süreci (Safronova et al. 2018).....	6
Şekil 2.3: Bilgi teknolojilerinin inşaat sektörüne entegre edilmesinde karşılaşılan bazı zorluklar.....	8
Şekil 2.4: İnşaat 4.0 Bileşenleri (Türkmen ve Akar 2021)	9
Şekil 2.5: İnşaat sektöründe dijitalleşme adımları.....	10
Şekil 2.6: IoT Kullanım Alanları	11
Şekil 2.7: BIM süreçleri (Dortek, 2018)	12
Şekil 2.8: Bulut Tabanlı Veri Yönetimi Hizmetleri Pazar Büyüklüğü	13
Şekil 2.9: Çok değişkenli heterojen verileri işlemek için geleceğe yönelik uygun yöntemler (Xu et al.2022).	15
Şekil 2.10: Dünya marketinde inşaat robotları 2018-2025 (Matthews,2019).....	16
Şekil 2.11: Drone (İHA) ile İnşaat Denetimi	17
Şekil 2.12: İnşaat aşamasında dron uygulamaları.(Choi et al., 2023).....	18
Şekil 2.13: Yapay zekanın inşaat ve inşaat endüstrisindeki uygulama alanları (Baduge S.,2022).....	20
Şekil 2.14: Karar destek sistemleri için etkin büyük veri analitiği (Sucu, 2021)	21
Şekil 2.15: Otomatik konuşma tanıma sisteminin temel yapısı	22
Şekil 2.16: Risk Yönetimi Prosesi	24
Şekil 2.17: Akıllı ev güvenlik sisteminde kullanılan sensörler (Abbas I.,2020).....	25
Şekil 2.18: Tehlike Tanımlama ve Risk Değerlendirme Süreci.....	27
Şekil 2.19: BIM Kullanım Süreçleri	28
Şekil 2.20: The Shard – London	34
Şekil 2.21: The Edge – Amsterdam (URL-1)	35
Şekil 2.22: The Edge – Amsterdam (URL-2)	35
Şekil 2.23: BedZED (Birleşik Krallık) (URL-3).....	37
Şekil 2.24: Bullitt Center (ABD)	37
Şekil 2.25: One Central Park, Sydney (URL-4).....	39
Şekil 2.26: Henderson Waves Köprüsü, Singapur (URL-5).....	41
Şekil 2.27: Sensör Çeşitleri	42
Şekil 2.28: 3D Model Örneği	45
Şekil 2.29: 3D Sanal Tur Videolarının Hazırlanması	47
Şekil 3.1: VR Teknolojik Bileşenleri	52
Şekil 3.2 Gerçek ve Sanal Dünyanın Birleştiği Ekran Teknolojileri	61
Şekil 3.3: Karma Gerçeklik Teknolojisi (MR).....	66
Şekil 3.4: Ivan Sutherland "The Sword of Damocles"	67
Şekil 4.1: Proje Görselleştirme	73
Şekil 4.2: Tasarım Sürecinde VR.....	76
Şekil 4.3: Sanal Gerçeklikle Güvenlik Eğitimi	80
Şekil 4.4: Akıllı Sensör Teknolojileri	81
Şekil 4.5: Sanal Gerçeklik ile Müşteri Sunumu.....	82
Şekil 4.6: Bakım ve Onarımda Robotik Sistemler.....	85
Şekil 5.1: Los Angeles Uluslararası Havalimanı'ndaki (LAX) Otomatik İnsan Taşıma Sistemi (Automated People Mover - APM) (URL-22)	92
Şekil 5.2: Sahlgrenska Üniversite Hastanesi (URL- 24).....	93

Şekil 5.3: Sthlm New Creative Business Spaces. Stokholm/ İsveç (URL-25)	94
Şekil 5.4: ASU Mullett Arena. Arizona State University (URL-27)	96
Şekil 5.5: Waterloo İstasyonu London. (URL-29).....	97
Şekil 5.6: Buell Public Media Center (URL-17).....	97
Şekil 5.7: Truist Park (URL-30).....	98
Şekil 5.8: Climate Pledge Arena. ABD (URL-31).....	99
Şekil 5.9: İstanbul Havalimanı (URL-33).....	100
Şekil 5.10: Emlak Konut GYO Balıkesir (URL-34).....	101



KISALTMALAR LİSTESİ

AI	: Artificial İntelligence (Yapay Zeka)
APM	: Automated People Mover (Otomatik İnsan Taşıma Sistemi)
AR	: Augmented Reality (Artırılmış Gerçeklik)
ASU	: Arizona State University (Arizona Devlet Üniversitesi)
BIM	: Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CCTV	: Close Circuit TeleVision (Kapalı Devre Televizyon)
DCP	: Dijital İnşaat Platformu
GPS	: Global Positioning System
GPU	: Graphics Processing Unit (Yüksek Performanslı Grafik İşleme Birimleri)
GUI	: Graphical User Interface (Grafik Kullanıcı Arayüzü)
HDR	: High Dynamic Range (Yüksek Dinamik Aralık)
HMD	: Head Monted Display (Başa Takılan Gözlükler)
HUD	: Head-Up Display (Oyun Arayüzü)
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
ITI	: Industrial Training International
LAWA	: Los Angeles World Airports
ML	: Machine Learning (Makine Öğrenimi)
MLB	: Major League Baseball
MR	: Mixed Reality (Karma Gerçeklik)
RMPM	: Rocky Mountain Public Media
SDK	: Software Development Kit (Yazılım Geliştirme Kitleri)
STEAM	: Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics (Bilim, Teknoloji, Mühendislik, Sanat ve Matematik)
UI	: User Interface (Kullanıcı Arayüzü)
VOC	: Volatile Organic Compound (Uçucu Organik Bileşik)
VR	: Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
VUI	: Voice User İnterface (Sesli Kullanıcı Arayüzü)

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını hazırlama sürecimde, değerli yönlendirmeleri ve bilgileri ile çalışmamın şekillenmesinde büyük rol oynayan danışmanım sayın Doç. Dr. Yeliz Tülübaş GÖKUÇ'a

Sabır ve anlayışı için değerli kızım Eylül ATAHAN'a, destekleriyle her zaman yanımda olup motivasyonumu yüksek tuttukları için sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2024

Derya ATAHAN



1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, modern teknolojinin hızla gelişmesi ve yenilikçi yaklaşımların benimsenmesiyle büyük değişimler yaşamaktadır. Bu değişimler, inşaat projelerinin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanımakta ve sektördeki tüm paydaşlar için yeni fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda, sanal gerçeklik (VR) uygulamaları, inşaat sektöründe önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Bu tez çalışması, inşaat sektöründe sanal gerçeklik uygulamalarının kullanımını incelemeyi ve bu teknolojinin sektördeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Sanal gerçeklik, bilgisayar teknolojisi ve grafik tasarımının birleşimini kullanarak kullanıcıları farklı bir dijital dünyaya taşıyan bir teknolojidir. Bu teknoloji, inşaat sektöründe çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Birinci aşama olarak, tasarım sürecinde VR uygulamaları, mimarlar ve mühendisler için tasarımın daha iyi anlaşılmasına ve görsel olarak daha etkileyici tasarımların oluşturulmasına yardımcı olur. Bu sayede, projelerin daha iyi planlanması ve hataların önceden tespit edilmesi mümkün olur.

İkinci aşama olarak, VR uygulamaları inşaat sahasında kullanılmaktadır. İnşaat projelerinin karmaşıklığı göz önüne alındığında, işçilerin ve yöneticilerin sahada daha iyi yönlendirilmesi ve iş süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi gerekmektedir. VR, sahada çalışanların proje detaylarını daha iyi anlamalarına ve tehlikeli durumları simülasyonlar aracılığıyla deneyimlemelerine olanak tanır. Bu da iş güvenliğini artırır ve işçi eğitimini geliştirir.

Üçüncü aşama olarak, VR uygulamaları müşterilere ve yatırımcılara projeleri daha iyi anlatma ve görselleştirme imkanı sunar. Karmaşık bir inşaat projesini 2D çizimlerle anlatmak yerine, VR sayesinde müşterilere proje içinde gezinme fırsatı sunulur. Bu da projenin daha iyi anlaşılmasını ve yatırımcıların daha iyi bilgilendirilmesini sağlar.

Sonuç olarak, inşaat sektöründe sanal gerçeklik uygulamalarının kullanımı, tasarım sürecinden inşaat sahasına kadar bir dizi avantaj sunmaktadır. Bu tez çalışması, VR teknolojisinin inşaat sektöründeki mevcut durumunu ve gelecekteki potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, inşaat sektöründeki paydaşlar için bu

yenilikçi teknolojinin nasıl daha etkili bir şekilde kullanılabileceğini anlamalarına yardımcı olacaktır.

1.1 Problem Tanımı

İnşaat sektöründe VR teknolojisinin kullanımı, teknolojinin potansiyel faydalarına rağmen, sektördeki profesyoneller arasındaki bilgi eksikliği nedeniyle sınırlı kalmaktadır. İnşaat sektöründe faaliyet gösteren mühendisler, yöneticiler, işçiler ve diğer paydaşlar, VR teknolojisinin nasıl kullanılacağı ve hangi avantajları sunacağı konusunda yeterince bilgi sahibi değildirler. Bu bilgi eksikliği, VR teknolojisinin sektörde daha yaygın bir şekilde kabul edilmesini ve kullanılmasını engellemektedir. Bu tez çalışması, inşaat sektöründeki profesyoneller arasındaki VR teknolojisi hakkındaki bilgi eksikliğini tanımlamayı ve bu eksikliği gidermek için eğitim ve farkındalık programları geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Bu çalışma, inşaat sektöründe teknolojik gelişmelerin önemli bir yansıması olan VR teknolojisinin kullanım alanlarını detaylı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Özellikle tasarım, proje görselleştirme, eğitim, şantiye yönetimi, iş güvenliği, bakım – onarım ve müşteri ilişkileri gibi belirli başlıklar altında VR'nin sektördeki rolleri derinlemesine incelenecektir.

Çalışmanın kapsamında, VR teknolojisinin sektöre getirdiği yenilikler, oluşturduğu fırsatlar ve karşılaşılan potansiyel zorluklar ele alınmıştır.

Çalışmanın kapsamı şunları içermektedir:

- **Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Tanımı:** Teknolojinin temel özellikleri, çalışma prensipleri ve diğer teknolojik uygulamalarla olan ilişkisi.
- **İnşaat Sektöründe VR'nin Uygulama Alanları:** Tasarımın görselleştirilmesi, sanal prototipleme, şantiye yönetimi ve denetimi, iş güvenliği eğitimi ve müşteri ilişkileri gibi konulardaki spesifik uygulamalar.
- **VR Uygulamalarında Örnek İncelemeleri:** VR'nin inşaat sektöründe uygulanmasının başarılı ve başarısız örnekleri üzerine örnek incelemeleri.
- **Geleceğe Yönelik Beklentiler:** VR teknolojisinin inşaat sektöründe nasıl evrileceği ve potansiyel gelecekteki uygulamaları hakkında bir perspektif.

Bu alışma, inşaat sektörü profesyonellerine, sanal gerçeklik teknolojisinin sunduğu potansiyeli anlamalarına ve bu teknolojiyi projelerinde nasıl etkili bir şekilde kullanabileceklerine dair kapsamlı bir rehber sunmayı hedeflemektedir.

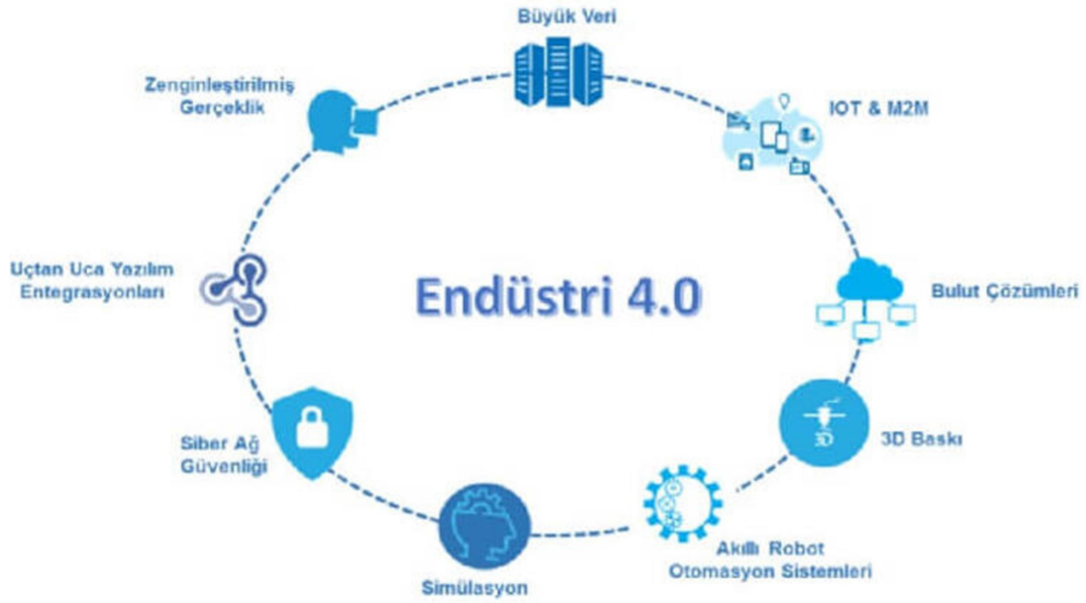


2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ VE İNŞAAT 4.0

İnşaat sektöründe bilgi teknolojileri ve İnşaat 4.0" konusuna odaklanan bu çalışma, inşaat sektörünün dijital çağa nasıl adapte olduğunu ve bu süreçte karşılaştığı dönüşümleri incelemektedir. İlk olarak, İnşaat 4.0'ın temel prensiplerini ve bunların inşaat sektörüne nasıl yansıdığı ele alınmıştır. Ardından, dijitalleşmenin inşaat sektörü üzerindeki etkileri ve bu sürecin iş akışlarına, katkıları incelenmiştir. Ayrıca, İnşaat 4.0'ın getirdiği yenilikler derinlemesine analiz edilmiştir.

2.1 İnşaat 4.0

İnşaat 4.0, Endüstri 4.0 hareketinin bir yansıması olarak ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0, Almanya'da başlayan ve tüm dünyada etkisini gösteren, üretim süreçlerinde dijitalleşmeyi vurgulayan bir kavramdır. İnşaat 4.0, Endüstri 4.0'ın prensiplerini inşaat sektörüne uygulayarak, bu sektörde de dijital dönüşümü hedefler (Oesterreich & Teuteberg, 2016).



Şekil 2.1: Endüstri 4.0 bileşenleri.

İnşaat sektöründeki dijital dönüşüm, özellikle BIM, IoT, AI ve veri analitiği gibi teknolojilerle hız kazanmıştır. Bu teknolojiler, projelerin daha efektif planlanması ve yönetilmesi, risklerin azaltılması ve karar alma süreçlerinin iyileştirilmesine imkan tanımıştır (Sacks et al., 2018).

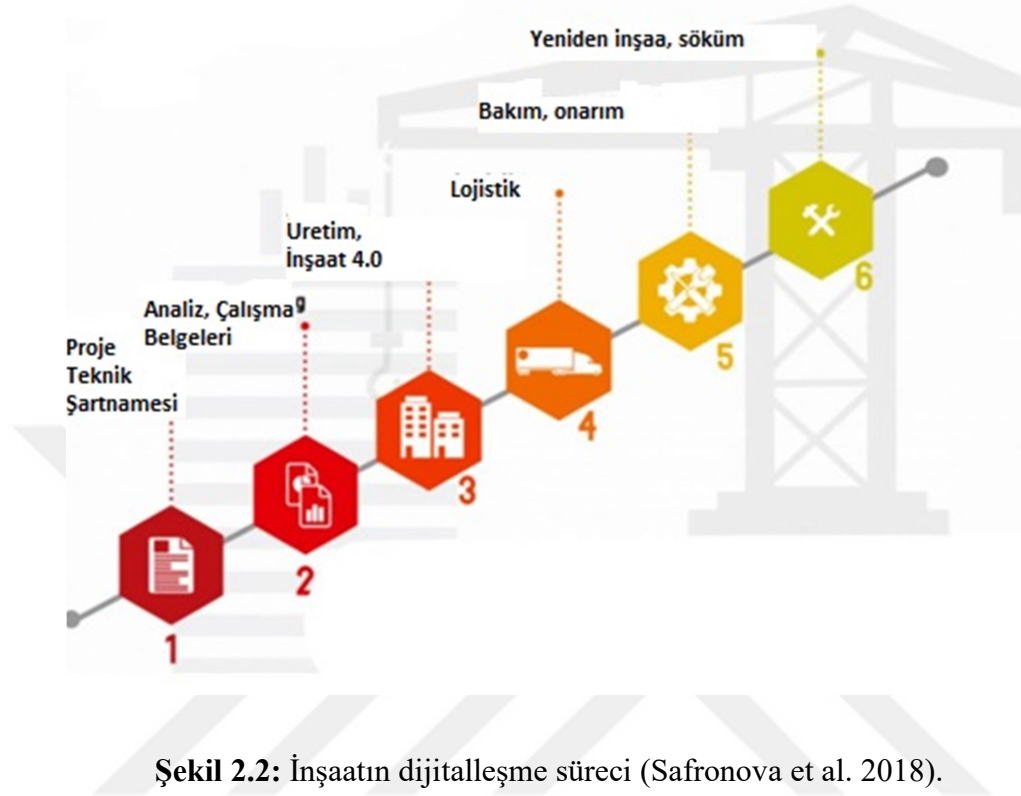
Günümüzde, İnşaat 4.0, projeleri daha verimli ve maliyet etkin bir şekilde yönetmek için dijital teknolojileri inşaat sektörüne entegre etmektedir. BIM'in kullanımının yaygınlaşması, projelerin daha kapsamlı planlanmasını ve yönetilmesini sağlamaktadır. VR/AR teknolojileri, tasarım süreçlerini canlandırırken, 3D baskı ve robotik uygulamalar, inşaat süreçlerinde yenilikler yaratmaktadır (Eastman, 2011). Özellikle Nesnelerin İnterneti, şantiyelerdeki ekipmanların ve araçların gerçek zamanlı izlenmesine imkan tanıyarak, daha etkili bir kaynak yönetimi ve planlama yapılmasına olanak tanır (Li et al.,2016). Yapay Zeka ise, projelerin planlanmasından uygulanmasına kadar olan süreçlerde karşılaşılan sorunları öngörmekte ve bu sorunlara çözüm üretmekte kullanılır. Sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, projelerin görselleştirilmesini ve simülasyonlarla test edilmesini sağlar, böylece potansiyel hataların erken tespit edilmesi mümkün olur. İnşaat 4.0, aynı zamanda iş modelleri, iş süreçleri ve organizasyonel yapılar üzerinde de derinlemesine bir etkiye sahiptir (Oesterreich & Teuteberg, 2016). Bu, inşaat sektörünün daha inovatif, esnek ve müşteri odaklı hale gelmesini teşvik eder. Sürdürülebilir inşaat yöntemleri ve çevre dostu uygulamalar, her geçen gün İnşaat 4.0'ın önemli bir parçası haline gelmektedir. Ayrıca, gelecekte otomasyon ve robotik teknolojilerin daha da gelişmesi ve geniş bir alanda uygulanması beklenmektedir (Azhar, 2011).NKısacası, İnşaat 4.0, inşaat sektörünün dijital dönüşümünü temsil eder ve bu dönüşüm, sektörün geleceğini şekillendiren anahtar bir faktördür.

2.2 Dijitalleşme Ve İnşaat Sektörü

Dijitalleşme, bilgi ve verilerin dijital formatta saklanması, işlenmesi ve iletilmesi sürecini ifade eder. Bu süreç, geleneksel analog formatlardan (kağıt tabanlı kayıtlar, manuel işlemler) bilgisayar teknolojileri kullanılarak oluşturulan dijital formatlara geçişi kapsar. Dijitalleşme, veri erişimini, verinin saklanması ve analizini kolaylaştırır, iş süreçlerini hızlandırır ve daha verimli hale getirir. Özellikle iş dünyası ve endüstriyel alanlarda, dijitalleşme, iş süreçlerinin otomasyonunu, veri tabanlı karar alma mekanizmalarını ve müşteri deneyimlerinin iyileştirilmesini içerir. Dijitalleşme süreci, büyük veri, yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT) ve bulut bilişim gibi teknolojilerle desteklenir ve işletmelerin daha rekabetçi, yenilikçi ve etkili olmalarını sağlar.

Dijitalleşme, son yıllarda tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de büyük bir dönüşüme neden olmuştur. İnşaat sektörü, dijital teknolojilerin hızla entegre edilmesiyle büyük bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu dijitalleşme süreci, projelerin daha

verimli, maliyet etkin ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır. Ayrıca dijitalleşmenin etkileri tasarım süreçlerinden, şantiye yönetimine ve malzeme seçimine kadar birçok alanda kendini göstermektedir.



Şekil 2.2: İnşaatın dijitalleşme süreci (Safronova et al. 2018).

İnşaat sektöründe dijitalleşme, yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri ve yapı bilgi modellemesi (BIM) gibi teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ile başlamıştır (Xu et al., 2018). BIM, tasarım, planlama ve inşaat süreçlerinde dijitalleşmenin merkezinde yer alır. BIM, tüm proje bilgilerinin dijital bir modelde entegre edilmesini ve yönetilmesini sağlar, bu da iş akışlarının iyileştirilmesine katkıda bulunur (Eastman, 2011). Dijital araçlar, projelerin daha hızlı ve daha düşük maliyetle tamamlanmasına olanak tanır. Örneğin, IoT cihazları, şantiye ekipmanlarının gerçek zamanlı izlenmesini sağlar, bu da kaynak yönetimini ve planlamayı iyileştirir (Li et al., 2016). Dijital teknolojiler, inşaat süreçlerinin kalitesini ve güvenliğini artırır. AR ve VR teknolojileri, iş güvenliği eğitimlerinde ve tehlikeli alanların simülasyonunda kullanılır (Kim et al., 2013). Dijitalleşme, çevresel etkiyi azaltma ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarını teşvik etme yönünde önemli bir rol oynamaktadır (Azhar, 2011). Dijitalleşme ile birlikte inşaat sektörünün geleceği, otomasyon ve robotik teknolojilerin daha geniş çapta kullanımını içerecek şekilde dönüşmektedir.

2.3 Bilgi Teknolojilerinin İnşaat Sektörüne Etkisi

İnşaat sektörü, bilgi teknolojilerinin (BT) gelişimiyle büyük dönüşümler yaşamıştır. Bu dönüşümün geçmişten günümüze evrimi, inşaat projelerinin yönetilme şeklini temelden değiştirmiştir.

1980'lerde, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemlerinin kullanılmaya başlaması, elle çizilen planların yerini alarak tasarım süreçlerini hızlandırmış ve hataları azaltmıştır (Eastman et al., 2011). 1990'larda, proje yönetimi ve planlama için özel yazılımlar (örneğin, Microsoft Project) kullanılmaya başlanmıştır. Bu yazılımlar, zamanlama ve kaynak yönetimini kolaylaştırmıştır. 2000'lerin başında, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) teknolojisinin ortaya çıkışı, tasarım, inşaat ve işletme süreçlerinde devrim yaratmıştır. BIM, projelerin daha kapsamlı planlanmasını ve veri tabanlı kararların alınmasını sağlamıştır (Succar, 2009). Akıllı telefonlar ve tabletler, sahada veri erişimini ve iletişimi kolaylaştırmış, proje yönetimini ve iletişimi mobil hale getirmiştir. 2010 ve sonrasında İnşaat sektöründe Nesnelerin İnterneti ve Yapay Zeka'nın etkilerinin görülmeye başlamış, Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi, şantiyelerdeki ekipmanların ve araçların izlenmesini ve veri toplanmasını sağlamıştır. Bu, daha etkili kaynak yönetimi ve proaktif bakım stratejilerine olanak tanımıştır (Li et al., 2016). Yapay zeka ve büyük veri analitiği, projelerin planlanmasından uygulanmasına kadar olan süreçlerde karşılaşılan sorunları öngörmekte ve çözüm üretmekte kullanılmıştır. Bu teknolojiler, risk yönetimi ve karar destek sistemlerini geliştirmiştir (Ma et al., 2018). Günümüzde, dijital ikizler ve gerçek zamanlı veri analizi, projelerin performansını sürekli izlemek ve optimize etmek için kullanılmaktadır. Dijitalleşme, enerji verimliliği ve atık azaltma gibi sürdürülebilir inşaat uygulamalarını desteklemektedir (Azhar, 2011).

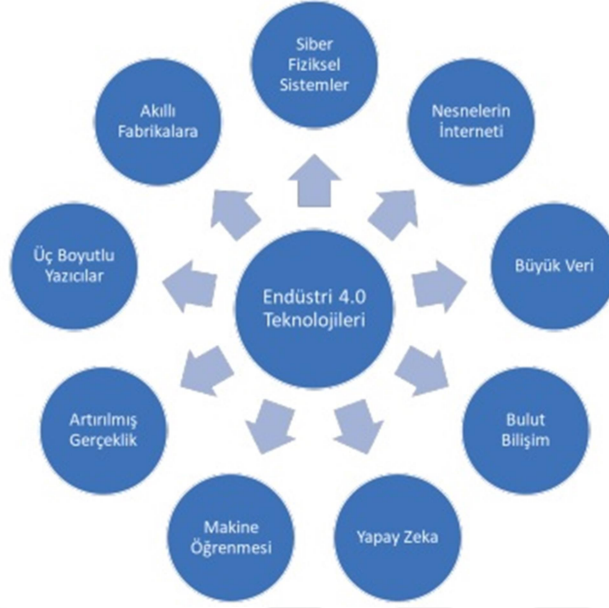
1	Yatırım Maliyetlerinin Yüksekliği
2	Yatırım Geri Dönüşünün Belirsizliği
3	Kalifiye Çalışan Yetersizliği
4	Teknoloji Altyapısının Yetersizliği
5	Yerel Tedarikçi Eksikliği

Şekil 2.3: Bilgi teknolojilerinin inşaat sektörüne entegre edilmesinde karşılaşılan bazı zorluklar.

Ancak, tüm bu yeniliklere rağmen, bilgi teknolojilerinin inşaat sektörüne tam olarak entegre edilmesinde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar, altyapı yetersizlikleri, eğitim eksiklikleri ve kültürel dirençler şeklinde kendini göstermektedir. Bilgi teknolojileri, inşaat sektöründe derinlemesine bir dönüşüm ve ilerleme potansiyeline sahiptir. Ancak, bu potansiyelin tam olarak gerçekleştirilmesi için sektörün bazı zorlukları aşması gerekmektedir.

2.4 İnşaat 4.0'ın Getirdiği Yenilikler

Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm teknolojilerinin, birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründeki uygulama alanları da hızla artmaktadır. İnşaat sektörü insan yaşamının temel ihtiyaçları ile doğrudan ilişkili olduğu için sektörde oluşacak her yenilik doğrudan insan hayatını etkilemektedir. Bina, köprü, havaalanı, baraj gibi yapıların üretimini üstlenen inşaat sektörü, yapım ve yönetim süreçlerinde verim elde etmek için teknolojik gelişmelere maksimum ölçekte ayak uydurmaya çalışmaktadır.



Şekil 2.4: İnşaat 4.0 bileşenleri (Türkmen ve Akar 2021).

İnşaat 4.0'ın inşaat sektörüne getirdiği yenilikler;

- Dijitalleşme ve Bağlantı
- Akıllı Şantiyeler
- Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi Uygulamaları
- Güvenlik ve Risk Yönetimi
- BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) ve Dijital İkiz
- Sürdürülebilirlik ve Yeşil İnşaat Pratikleri
- Akıllı İnşaat Malzemeleri ve Çözümleri
- Sanal ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

şeklinde sıralanabilir.

2.4.1 Dijitalleşme ve Bağlantı

İnşaat 4.0'ın en önemli özelliklerinden biri dijitalleşmenin ve bağlantının artırılmasıdır. Dijitalleşme, inşaat süreçlerinin ve operasyonlarının dijital teknolojilerle entegrasyonunu ifade eder. Bu entegrasyon, veri toplama, analiz ve yönetimi süreçlerinin gelişmesini sağlar ve daha akıllı, verimli ve etkili inşaat yöntemlerinin geliştirilmesine olanak tanır.

Bağlantı ise, projelerin, ekipmanın, sistemlerin ve insanların birbirleriyle ve çevresiyle sürekli iletişim halinde olması anlamına gelir. IoT (Nesnelerin İnterneti) gibi teknolojiler, gerçek zamanlı veri alışverişi yaparak proje paydaşları arasında daha iyi bir koordinasyon ve etkili karar alma süreçleri oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Wang et al., 2013).

Dijitalleşme ve bağlantı, inşaat projelerinin daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir şekilde yürütülmesine olanak tanırken, aynı zamanda sektörün değişen talep ve beklentilere daha hızlı yanıt vermesini sağlar. Dünyamızın hızla gelişimi karşısında inşaat firmaları dijital dönüşüm teknolojilerine hızlıca ayak uydurarak bu teknolojilerin proje, operasyon ve süreç yönetimlerinde sektöre getirdiği, avantajlardan faydalanmaktadır. Bu sayede sağladıkları yüksek müşteri memnuniyeti ile sektördeki pazar payları ve rekabet avantajları artmaktadır.



Ancak, yetkin personelin yeterli olmaması, standardizasyonun sağlanamamış olması (ülke ülke farklılıklar görülmektedir), geleneksel inşaat sektörüne teknolojinin adapte edilmesindeki yetersizlikler, sektördeki paydaşların entegrasyonunun sağlanamaması, alışkanlıklardan vazgeçmenin verdiği zorluklar, kaynak yetersizliği, firmaların daha önce yaşamış olduğu olumsuz deneyimler nedeniyle dönüşümden uzak durması vb. dönüşümün önündeki önemli engellerdir.

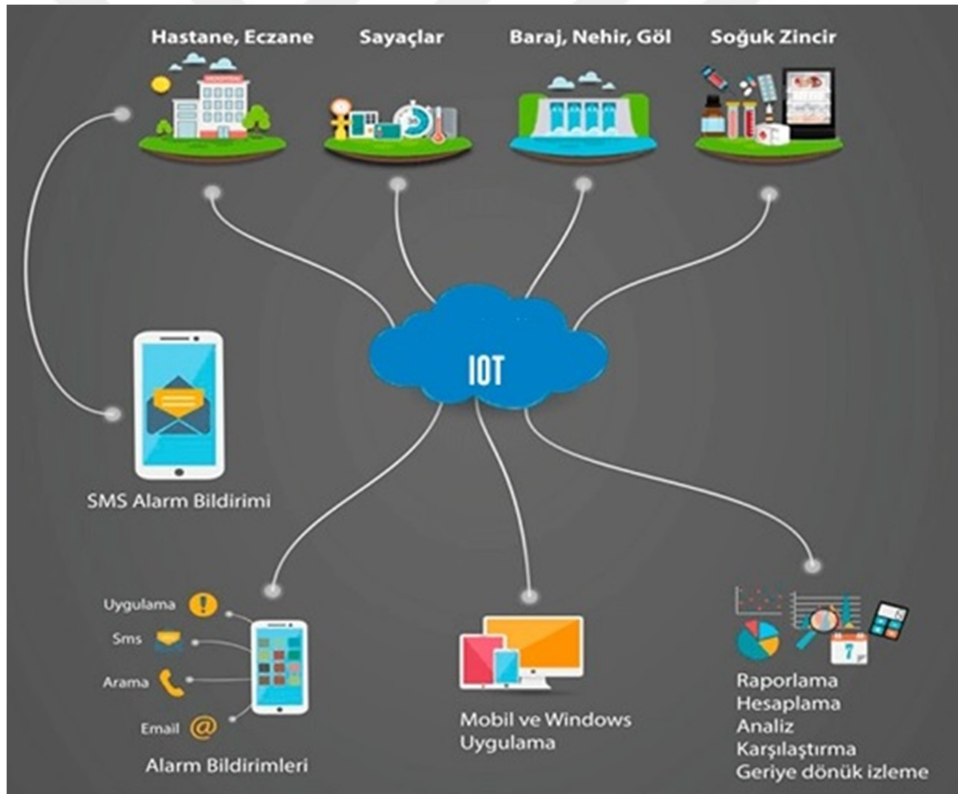
Bu nedenle, yeni teknolojilerin mevcut iş modellerine entegre edilmesinde yöneticilerin ve çalışanların stratejilerini dijital gerçekliğe uyarlamaları gerekir. Dijital teknolojilerin inşaat sektörüne adaptasyonunda yaşanacak zorlukların ve başarılı bir geçiş süreci için gerek duyulan adımların net olarak belirlenmiş olması gerekir. Bu bağlamda dijital dönüşümün önemli adımlarından biri adaptasyon sürecini etkileyen unsurların ortaya konulmasıdır. İnşaat sektöründe dijital dönüşümün sağlanabilmesi için daha fazla bilimsel araştırma yapılarak yeni teknolojilerin inşaat sektörüne entegre edilmesinde karşılaşılan sorunları ve

bu teknolojilerin geleceğini anlamak için bir rehber oluşturmaya ihtiyaç vardır. (Maskuriy et al., 2019).

2.4.1.1 İnternet of Things (IoT) ve İnşaat Sektörü

Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramı, fiziksel cihazların, araçların, ev aletlerinin ve diğer öğelerin birbiriyle ve internetle bağlantı kurabilmesini ifade eder. Bu bağlantı sayesinde büyük miktarda veri toplanabilir, analiz edilebilir ve çeşitli uygulamalarla işlenebilir (Johnson & Watson, 2019). İnşaat sektöründe IoT, önemli dönüşümlere yol açmaktadır.

İnşaat alanında IoT, gerçek zamanlı veri toplama, ekipman izleme, enerji yönetimi ve yapısal sağlık izleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin, şantiyede yer alan ekipmanların ve araçların sensörlerle donatılması sayesinde, bu ekipmanların konumu, kullanım süresi, yakıt tüketimi gibi veriler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve raporlanabilmektedir.



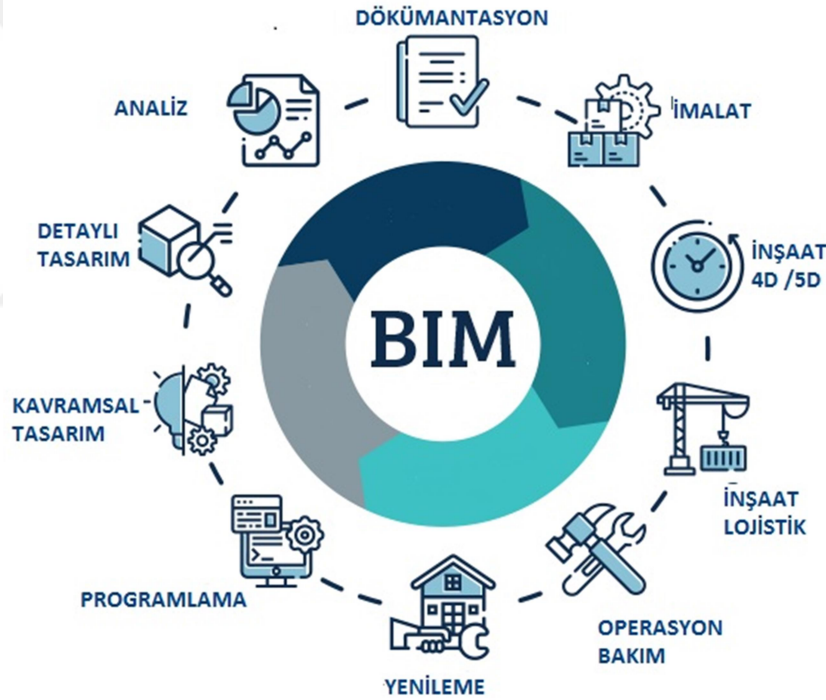
Şekil 2.6: IoT kullanım alanları.

Ayrıca, binaların enerji tüketimini izlemek ve optimize etmek için IoT sensörleri kullanılabilir. Bu, binaların enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olurken, aynı zamanda işletme maliyetlerini de azaltmaktadır (Garcia, 2013). İnşaat sektöründe IoT'nin bir diğer

önemli uygulama alanı da yapısal sağlık izlemesidir. Köprüler, tüneller ve binalar gibi yapılarda kullanılan sensörler, bu yapılarda oluşabilecek herhangi bir hasarı veya deformasyonu anında tespit ederek, olası kazaların ve yüksek maliyetli onarımların önüne geçebilir (Kim & Choi 2021). IoT'nin inşaat sektöründe sunduğu bu avantajlar, sektörün daha verimli, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde faaliyet göstermesine olanak tanımaktadır. Ancak, IoT'nin tam potansiyeline ulaşması için gerekli altyapının oluşturulması, veri güvenliği ve gizlilik konularına dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.4.1.2 Bulut Bilişim ve Veri Yönetimi

Bulut bilişim, veri depolama ve işleme işlemlerini internet üzerinden erişilebilir sunucularda gerçekleştiren bir teknolojidir. İnşaat sektöründe, bulut bilişim, büyük veri setlerinin depolanması, işlenmesi ve paylaşılması için kullanılır.



Şekil 2.7: BIM süreçleri (Dortek, 2018).

Procore veya Autodesk BIM 360 gibi platformlar, tüm proje paydaşlarının proje dokümanlarına, planlarına ve ilerleme raporlarına anında erişebilmesini sağlar. Bu sistemler, projelerin daha etkin bir şekilde yönetilmesine ve işbirliği içinde çalışılmasına olanak tanır. (Howard et al., 2017). Örneğin;

- Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) verilerinin bulut tabanlı platformlarda saklanması, projenin tüm paydaşlarına her yerden erişim imkanı sağlayarak işbirliğini artırır (Elias et al., 2023).
- Saha çalışanları, bulut tabanlı mobil uygulamalar aracılığıyla şantiye durumunu, ekipman kullanımını ve malzeme stoklarını güncelleyebilir. Bu, yöneticilerin ve ekip üyelerinin ofiste veya sahada gerçek zamanlı bilgiye erişimini sağlar, böylece daha hızlı ve bilinçli kararlar alınabilir (Wong et al.,2014).
- İnşaat dokümanları, sözleşmeler ve teknik çizimler bulut tabanlı sistemlerde depolanabilir ve kolayca paylaşılabilir. Bu, evrak işlerinin basitleştirilmesine ve projenin tüm aşamalarında doküman erişilebilirliğinin artırılmasına yardımcı olur.
- Bulut bilişim, büyük veri analizini ve karmaşık raporlama işlemlerini kolaylaştırır. Proje verileri bulut üzerinde işlenerek, performans ölçütleri, maliyet analizleri ve risk değerlendirmeleri gibi önemli raporlar oluşturulur.

Veri yönetimi, proje verilerinin toplanması, depolanması, analizi ve sunulmasını içerir. İnşaat sektöründe, veri yönetimi, proje performansını izlemek, riskleri değerlendirmek ve karar verme süreçlerini desteklemek için kritik bir öneme sahiptir. IoT cihazlarından ve sensörlerden toplanan veriler, bulut tabanlı sistemlerde işlenir ve analiz edilir, bu da malzeme kullanımını, iş gücü verimliliğini ve ekipman performansını izleme konusunda faydalı bilgiler sağlar. IoT cihazları ve bulut bilişim entegrasyonu, inşaat ekipmanının ve varlıklarının etkin bir şekilde takibini sağlar. GPS ve sensör teknolojileri, ekipmanın konumunu, kullanımını ve bakım ihtiyaçlarını izler.



Şekil 2.8: Bulut tabanlı veri yönetimi hizmetleri pazar büyüklüğü.

Bulut bilişim ve veri yönetimi, inşaat projelerinin daha hızlı, maliyet etkin ve risklerin daha iyi yönetildiği bir ortam yaratır. Ayrıca, proje paydaşları arasında gerçek zamanlı veri paylaşımı ve işbirliğini teşvik eder, bu da proje süreçlerinin şeffaflığını ve koordinasyonunu artırır.

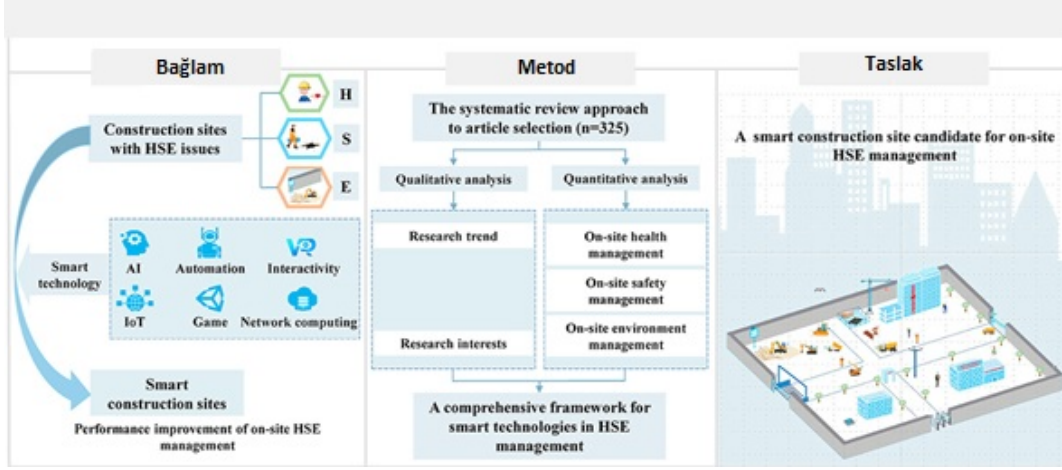
2.4.2 Akıllı Şantiyeler

Akıllı şantiyeler, inşaat sektöründe teknolojik yeniliklerin ve dijital çözümlerin entegre edildiği, verimlilik ve iş güvenliğinin artırıldığı modern inşaat alanlarıdır. Akıllı şantiyeler, IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazları, sensörler, drone'lar, yapay zeka ve bulut bilişim gibi teknolojileri kullanarak inşaat süreçlerini otomatikleştirir ve optimize eder (Oesterreich, & Teuteberg, 2016). Bu tür şantiyeler, gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve karar destek sistemleri ile donatılmıştır. İşçi güvenliği, kaynak yönetimi ve proje takibi bu teknolojiler sayesinde daha etkin bir şekilde yönetilir.

Geleneksel şantiyeler, manuel işlemlere ve daha az otomatik veri toplama sistemlerine dayanırken, akıllı şantiyelerde otomasyon ve veri tabanlı karar alma süreçleri ön plandadır. Akıllı şantiyeler, risk yönetimi, proje takvimi ve bütçe yönetimi konularında daha yüksek verimlilik ve doğruluk sunar.

Akıllı şantiyelerde;

- İnşaat ekipmanları ve araçları, performans ve kullanım verilerini toplamak için IoT cihazlarıyla donatılır. Ayrıca, işçi güvenliği için giyilebilir sensörler kullanılır. (Howard et al., 2017) Gelişmiş kamera sistemleri ve giyilebilir teknolojiler, potansiyel tehlikeleri önceden tespit edebilir ve bu sayede kazaların önlenmesine katkıda bulunabilir.
- Drone'lar, inşaat alanlarını havadan izleyerek, proje ilerlemesini ve güvenlik durumunu değerlendirir.
- AI tabanlı sistemler, toplanan verileri analiz eder ve proje yöneticilerine değerli bilgiler sunar.



Şekil 2.9: Çok değişkenli heterojen verileri işlemek için geleceğe yönelik uygun yöntemler (Xu et al.2022).

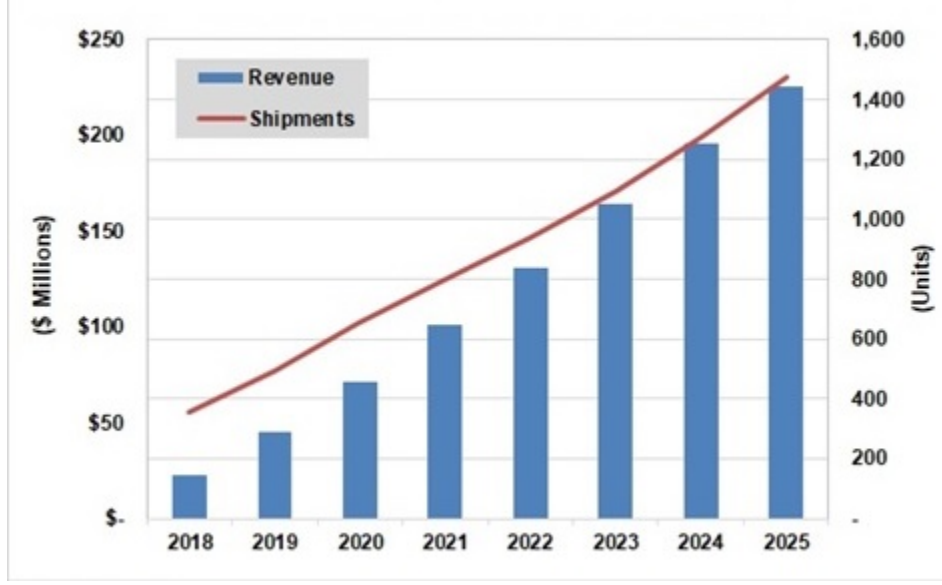
Akıllı Şantiyelerin Avantajları;

- İş güvenliğinde iyileşme ile kazaların azaltılması.
- Kaynak ve malzeme kullanımının daha iyi yönetilmesi.
- Proje süreçlerinde zaman ve maliyet tasarrufu.
- Çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilirlik uygulamalarının desteklenmesi. (Wang et. al.,2019) olarak sıralanabilir.

Sonuç olarak, akıllı şantiyeler, inşaat sektörünün geleceğini şekillendiren önemli bir yeniliktir. Bu yenilik, sektörün dijitalleşmesi ve otomasyonla daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir hale gelmesi anlamına gelmektedir.

2.4.2.1 Robotik ve Otonom Araçlar

İnşaat sektöründe robotik ve otonom araçların kullanımı, son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu teknolojiler, inşaat süreçlerini otomatikleştirmeye, iş gücü verimliliğini artırmaya ve genel olarak inşaat projelerinin güvenlik ve kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.10: Dünya marketinde inşaat robotları 2018-2025 (Matthews,2019).

Kendi kendine çalışabilen ekskavatörler ve dozerler gibi otonom iş makineleri, özellikle büyük ölçekli inşaat projelerinde kullanılır (Bock, 2015). Bu araçlar, GPS ve sensör teknolojileri sayesinde hassas çalışmalar yapabilir. İnşaat robotları duvar örme, kaynak yapma, boyama gibi spesifik görevler için kullanılır (Siegel & Shea, 2017). Bu robotlar, tekrarlanan ve zahmetli işleri insan iş gücü yerine yapar.

Uygulama alanlarına bakıldığında, otonom araçlar, yol yapımı ve altyapı projelerinde malzeme taşıma, toprak kazma ve düzleme gibi işlerde kullanılır. GPS ve sensör teknolojisi sayesinde, bu araçlar belirlenen yollar üzerinde bağımsız olarak hareket edebilir ve işlerini insan müdahalesi olmadan gerçekleştirebilir. Hassas ve tekrarlanan görevleri otomatikleştirilmesine olanak sağlar. Robotik teknolojiler, yüksek yapı inşaatlarında, özellikle tehlikeli ve erişilmesi zor alanlarda çalışmalar yapmak için kullanılır.

Robotik ve otonom araçların kullanımı, hız ve verimlilikte önemli artışlar, insan işçilerin tehlikeli veya sağlık için zararlı görevlerde çalışmasının önüne geçme, uzun vadede işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlama gibi birçok avantajı beraberinde getirir. Bunun yanında robotik ve otonom araçların kullanımının bir takım dezavantajları ve zorlukları da vardır. Örneğin, robotik ve otonom araçların kullanımı yüksek başlangıç yatırımı gerektirir. Bu teknolojilerin kullanımı ve bakımı için özel eğitim ve kaynaklara ihtiyaç vardır. Robotik teknolojilerin yaygınlaşması, bazı geleneksel inşaat işlerinin azalmasına yol açabilir.

Günümüzde robotik ve otonom araçlar, akıllı şantiyelerin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Bu teknolojik gelişmeler, inşaat sektöründe verimliliği ve güvenliği artırmak için büyük potansiyele sahiptir.

2.4.2.2 Dronlar ve Gözetim

İnşaat sektöründe dronların kullanımı, son yıllarda, özellikle teknolojik gelişmeler ve veri toplama yöntemlerindeki ilerlemeler sayesinde hız kazanmıştır. Dronlar, çeşitli inşaat işlerinde etkin bir şekilde kullanılarak, projelerin daha verimli ve güvenli bir şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 2.11: Drone (İHA) ile inşaat denetimi.

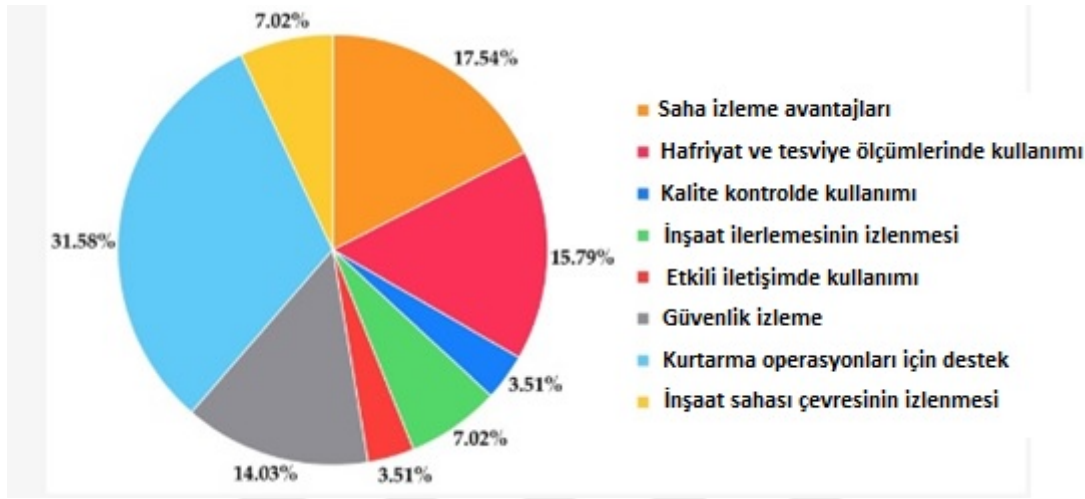
Dron teknolojisinin inşaat sektörüne girişi, 2010'lu yılların başlarında, daha uygun maliyetli ve gelişmiş dronların piyasaya sürülmesiyle hızlandı (Bock, 2015). Gelişen kamera ve sensör teknolojileri, dronların inşaat sahalarında daha geniş kullanım alanlarına yayılmasını sağladı.

Dronların İnşaat Sektöründeki Kullanım Alanları incelendiğinde;

- Dronlar, arazi taraması ve 3D haritalama işlemlerinde kullanılarak, geniş alanların hızlı ve etkili bir şekilde haritalanmasını sağlar.

- İnşaat sahalarının düzenli olarak havadan fotoğraflanması ve videolanması, projenin ilerleme durumunun detaylı bir şekilde izlenmesine olanak tanır.
- Tehlikeli veya ulaşılması zor alanların izlenmesinde dronlar kullanılarak, iş güvenliği riskleri azaltılır ve güvenlik önlemleri geliştirilir.

şeklinde bir çok alanda etkin olarak kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 2.12: İnşaat aşamasında dron uygulamaları (Choi et al., 2023).

Dronlarla yapılan tarama ve haritalama işlemleri, geleneksel yöntemlere göre çok daha hızlı ve verimli şekilde gerçekleştirilir. Projelerin düzenli olarak havadan izlenmesi, proje yöneticilerine detaylı ve güncel veriler sunar. Dronlar, tehlikeli alanların insansız izlenmesini sağlayarak işçi güvenliğini artırır.

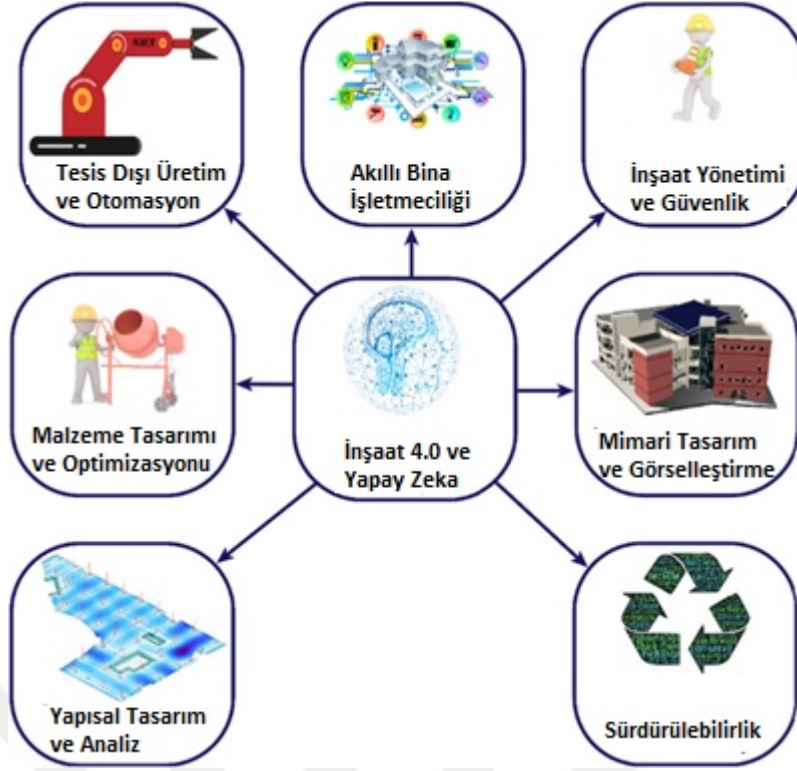
Kaliteli dron ekipmanı ve ilgili yazılımların kullanımının önündeki en büyük engel yüksek maliyetleridir. Aynı zamanda Dron pilotları için özel eğitim gerekliliği ve hava sahası düzenlemelerine uyum zorlukları bulunmaktadır. Büyük miktarda toplanan verinin işlenmesi ve yönetilmesi de karşımıza çıkan bir diğer zorluktur. Tüm bunlara rağmen inşaat sektöründe dronların kullanımı, son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır ve bu teknolojinin geleceği, sektörde daha da büyük bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Dronların inşaat sektörünün geleceğindeki rolü, teknolojik yenilikler, artan veri işleme kapasitesi ve gelişen sensör teknolojileriyle şekillenmektedir. Gelecekte, dronlar tarafından toplanan verilerin analizi ve işlenmesi daha da gelişecektir. Bu veriler, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları ile işlenerek, inşaat projelerinin planlanması ve yönetilmesinde daha derin farkındalık ve tahminler sağlanabilir. (Harper et al., 2019).

İnşaat sahalarında tamamen otonom dronların kullanımı, gelecekteki bir olasılıktır. Bu dronlar, inşaat sahasını sürekli izleyerek, malzeme ve iş gücü dağılımı gibi konularda otomatik kararlar alabilir ve inşaat süreçlerini optimize edebilir (Holt et al., 2015). Dronlar, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojileriyle entegre edilerek, inşaat projelerinin daha etkileşimli ve gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesini sağlayabilir. Bu, tasarım ve planlama aşamalarında büyük avantajlar sunar (Shirazi & Behzadan, 2015). Dronlar, inşaat sahalarının çevresel etkilerini izlemek ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarını desteklemek için kullanılabilir. Erozyon, hava kalitesi ve vahşi yaşamın izlenmesi gibi konular, dronlar ile daha etkin bir şekilde yönetilebilir (Zainudin, 2015). İnşaat sahalarında güvenlik ve risk yönetimi kapsamında dronlar, tehlikeli alanları izleyerek ve iş kazalarını önlemeye yardımcı olarak, işçi güvenliğini artırabilir (Pajares, 2015).

2.4.3 Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi Uygulamaları

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi, inşaat sektöründe önemli bir dönüşüm yaratmakta ve projelerin daha verimli ve etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknolojilerin gelişimi, 1950'lerden bu yana sürekli devam etmektedir ve bu gelişim özellikle son on yılda, büyük veri, güçlü bilgisayar işlemcileri ve gelişmiş algoritmalar sayesinde büyük bir ivme kazanmıştır (Russell & Norvig, 2010). İnşaat sektöründe yapay zeka ve makine öğrenimi uygulamalarının kullanımı, 2000'lerin başlarında özellikle proje yönetimi ve risk değerlendirmesi alanlarında ortaya çıkmıştır.

Bu teknolojiler, proje yönetimi ve planlamada, risk değerlendirmesi ve güvenlik analizlerinde, tasarım ve mimarlık süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. AI, projelerin zamanlamasını, maliyet tahminlerini ve kaynak planlamasını optimize ederek verimliliği artırırken, makine öğrenimi algoritmaları, inşaat sahalarındaki güvenlik risklerini analiz ederek önlemler önerir. Ayrıca, AI tabanlı tasarım araçları, yapısal tasarım ve enerji verimliliği analizlerinde kullanılmaktadır.

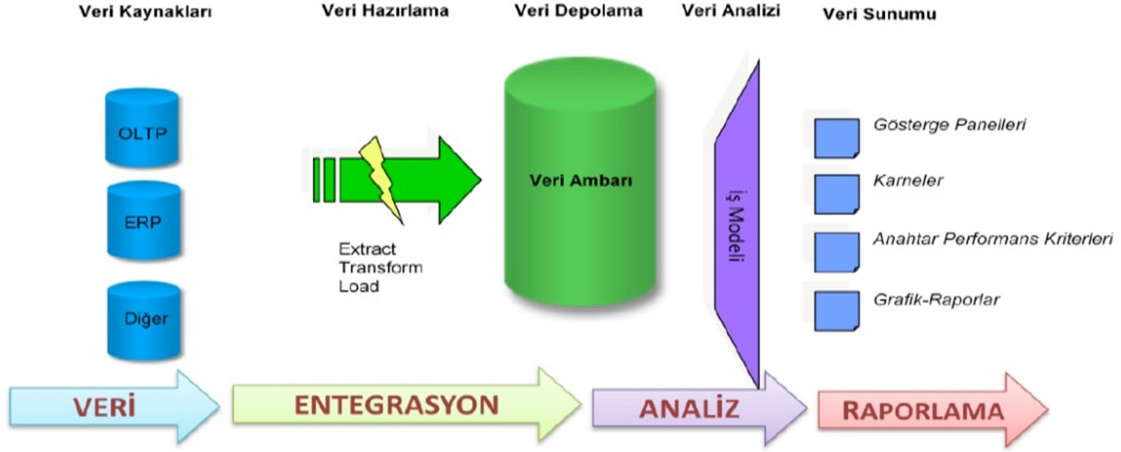


Şekil 2.13: Yapay zekanın inşaat ve inşaat endüstrisindeki uygulama alanları (Baduge S.,2022).

Yapay zeka ve makine öğreniminin inşaat sektörüne katkıları arasında, proje yönetimi süreçlerinin hızlandırılması, veriye dayalı karar verme süreçlerinin desteklenmesi ve inşaat sahalarındaki güvenliği artırmak için kritik risk faktörlerinin belirlenmesi yer almaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, sektördeki karar verme, risk yönetimi ve proje yönetimi süreçlerini büyük ölçüde iyileştirmekte ve inşaat sektöründe önemli bir teknolojik dönüşüm yaratmaktadır.

2.4.3.1 Veri Analizi ve Karar Destek Sistemleri

Veri analizi, ham verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi sürecidir. Bu süreç, verilerden bilgi elde etmek, sonuçlar çıkarmak ve karar verme süreçlerini desteklemek için kullanılır. Veri analizi, çeşitli aşamaları kapsar ve geniş veri kümelerinden anlamlı bilgiler, trendler, desenler ve istatistikler çıkarmak için matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanır (Provost & Fawcett, 2013).



Şekil 2.14: Karar destek sistemleri için etkin büyük veri analitiği (Sucu, 2021).

İlk adımda, analiz için gerekli veriler toplanır. Bu veriler, anketler, deneyler, işlem kayıtları, sosyal medya, sensörlerden elde edilen veriler ve daha pek çok kaynaktan gelebilir (Han, et al., 2006). Toplanan veriler genellikle eksik, hatalı veya tutarsız olabilir. Veri temizleme, bu tür sorunları düzelterken ve verileri analize hazır hale getiren bir süreçtir (Pyle, 1999). Veri Analizi aşamasında ise veriler matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılarak analiz edilir. Bu süreçte veri madenciliği, makine öğrenimi ve yapay zeka teknikleri gibi gelişmiş yöntemler de kullanılabilir (Witten, et al., 2005). Son olarak analiz sonuçları, grafikler, raporlar ve görselleştirmeler aracılığıyla sunulur. Bu, karar vericilerin ve analistlerin elde edilen bilgileri kolayca anlamalarını ve iş kararlarına dönüştürmelerini sağlar (Few, 2009).

Veri analizi ve karar destek sistemleri, bilgisayar bilimi ve bilgi teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, çeşitli endüstrilerde, özellikle de inşaat sektöründe, önemli bir rol oynamaya başlamıştır. 1960'lar ve 1970'lerde temelleri atılan bu sistemler, bilgisayar teknolojilerinin ve veri işleme kapasitesinin gelişmesiyle önemli bir ivme kazanmıştır. 1990'lar ve 2000'lerde, büyük veri, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin gelişimi, veri analizi ve karar destek sistemlerinin daha karmaşık ve etkili hale gelmesini sağlamıştır (Power, 2007).

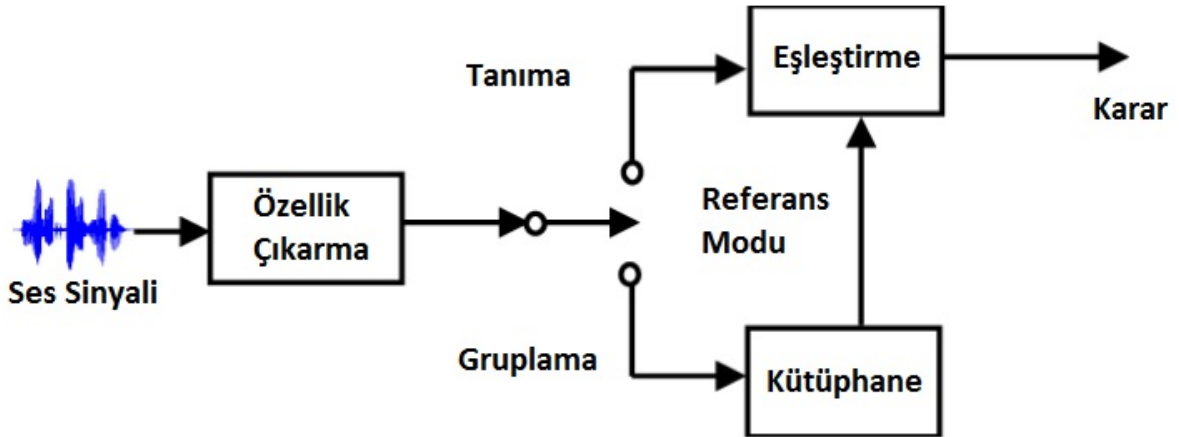
İnşaat sektöründe veri analizi ve karar destek sistemlerinin kullanım alanları çeşitlidir. Proje yönetimi ve planlamada, bu sistemler, projelerin zamanlamasını, maliyet tahminlerini ve kaynak planlamasını iyileştirmek için kullanılır. Ayrıca, risk değerlendirme

süreçlerinde, inşaat sahalarındaki potansiyel risklerin analiz edilmesi ve önleyici stratejilerin geliştirilmesi için de bu sistemlerden yararlanır. Performans değerlendirmesi açısından da, bu sistemler, proje performansını izlemek ve süreçleri iyileştirmek için etkili bir araçtır. Bu teknolojilerin inşaat sektörüne sunduğu katkılar oldukça çeşitlidir. Veriye dayalı karar verme süreçlerinin desteklenmesi, projelerin daha etkin yönetilmesine ve daha iyi stratejik kararların alınmasına olanak tanır. Risk yönetiminde, potansiyel risklerin önceden tespit edilmesi ve yönetilmesi, işçi güvenliğini artırırken maliyetleri de düşürür. Veri analizi, ayrıca, proje yönetimi süreçlerini hızlandırarak genel verimliliği artırır ve daha hızlı, maliyet etkin çözümler sunar.

2.4.3.2 Görüntü ve Ses Tanıma Sistemleri

Görüntü ve ses tanıma sistemleri, yapay zeka ve makine öğrenimi alanlarında geliştirilen teknolojilerdir. Bu sistemler, bilgisayarların görsel ve ses verilerini algılamasını, işlemlerini ve anlamasını sağlayarak, çeşitli sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesi sunar.

Görüntü tanıma sistemleri, dijital görüntüler veya videolar üzerinden nesnelere, yüzleri, yazıları ve diğer görsel öğeleri tanımlayabilen teknolojilerdir. Derin öğrenme ve yapay sinir ağları, bu sistemlerin temel bileşenleridir (Zhao et al., 2003).



Şekil 2.15: Otomatik konuşma tanıma sisteminin temel yapısı.

Ses tanıma sistemleri, insan sesini ve konuşmayı algılayıp anlayabilen teknolojilerdir. Bu sistemler, sesli komutları, konuşma dillerini ve hatta duygusal tonlamaları tanıyabilir (Hinton et al., 2012).

Görüntü ve ses tanıma sistemlerinin kullanım alanları;

- Sağlık Sektöründe, görüntü tanıma sistemleri, tıbbi görüntülemelerde (MR, CT vb.) anormallikleri tespit etmek için kullanılır. Ses tanıma sistemleri ise, doktorların hastalarla etkileşimini ve hasta kayıtlarını yönetmeyi kolaylaştırır.
- Perakende ve pazarlamada, görüntü tanıma, müşteri davranışlarını analiz etmek ve ürün tanımlamada kullanılır. Ses tanıma, müşteri hizmetleri ve sesli alışveriş asistanları için önemlidir.
- Otomotiv sektöründe, gelişmiş sürüş destek sistemlerinde ve otonom araçlarda, çevreyi algılamak ve anlamak için görüntü tanıma teknolojileri kritik rol oynar.
- İnşaat sektöründe, görüntü tanıma sistemleri, inşaat sahalarında güvenlik izlemesi, ilerleme raporlaması ve kalite kontrol için kullanılır. Dronlar, inşaat sahalarının havadan fotoğraflanması ve videolanması için kullanılır. Bu, proje ilerlemesini ve saha koşullarını izlemek için etkili bir yöntemdir (Siebert & Teizer, 2014).

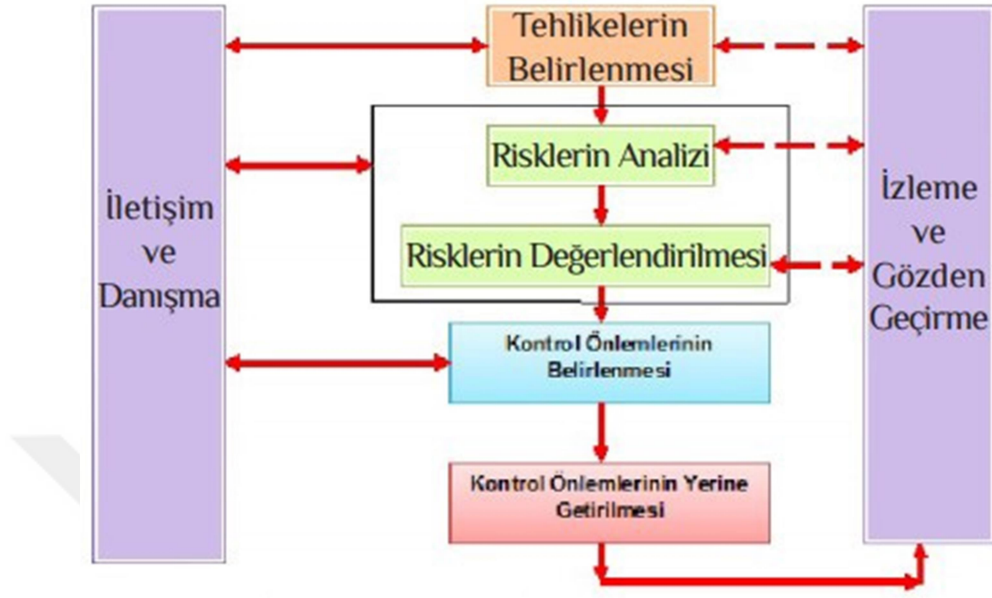
CCTV ve sabit kameralar, inşaat sahalarını sürekli izlemek ve güvenlik ihlallerini tespit etmek için kullanılır. Bu sistemler, yapay zeka destekli görüntü analizi teknikleri ile güçlendirilerek, tehlikeli durumları ve güvenlik risklerini otomatik olarak tespit edebilir (Kim et al., 2013). Ses tanıma teknolojisi, saha çalışanları arasında sesli iletişimi ve komut tabanlı kontrolleri kolaylaştırır. İnşaat sahalarında işçilerin eller serbest iletişim kurmalarını ve ekipmanları sesle kontrol etmelerini sağlar. Bu, iş güvenliği ve verimliliğini artırır (Zhang et al., 2013).

2.4.4 Güvenlik ve Risk Yönetimi

Güvenlik ve risk yönetimi, organizasyonların karşılaşılabileceği riskleri tanımlama, değerlendirme, ve bu riskleri azaltma veya kontrol altına alma süreçlerini ifade eder. Bu kavramlar, özellikle tehlike içerebilecek endüstrilerde, işçi sağlığı ve güvenliği ile ilgili standartları korumak ve iş süreçlerinin etkinliğini artırmak için hayati öneme sahiptir.

Güvenlik yönetimi, iş yerindeki fiziksel ve sağlıkla ilgili riskleri azaltmaya odaklanır. Bu süreç, tehlikeleri tanımlamak, riskleri değerlendirmek ve önlemleri uygulamak için

yapılandırılmış bir yaklaşım gerektirir. Güvenlik yönetimi, iş kazalarını ve yaralanmaları önleme, acil durum hazırlıkları ve çalışanların sağlık ve güvenlik eğitimlerini içerir (Hughes & Ferrett, 2011).



Şekil 2.16: Risk yönetimi süreci.

Risk yönetimi, potansiyel riskleri tanımlama, analiz etme ve bu risklere yanıt verme sürecidir. Finansal, operasyonel, stratejik ve diğer türdeki riskleri içerebilir. Risk yönetimi, riskleri azaltma, riskleri transfer etme (örneğin, sigorta yoluyla) veya riskleri kabul etme stratejilerini içerebilir (Hopkin, 2018).

İnşaat sektöründe güvenlik ve risk yönetimi, projelerin başarılı ve güvenli bir şekilde tamamlanmasının temel unsurlarından biridir. Bu sektördeki riskler, işçi güvenliği, proje zamanlaması, maliyet yönetimi ve kalite kontrolü gibi çeşitli alanları kapsar. İnşaat sektörü, yüksekte düşme, elektrik çarpması, makine kazaları ve diğer tehlikeler nedeniyle yüksek oranda iş kazası ve yaralanma riski içerir. Bu nedenle, işçi sağlığı ve güvenliği yönetimi, inşaat alanlarında kritik bir öneme sahiptir (Howarth, 2008). Güvenlik eğitimleri, düzenli güvenlik denetimleri, koruyucu ekipman kullanımı ve acil durum planları, bu riskleri azaltmada etkili yöntemlerdir. İnşaat projeleri, bütçe aşımı, zamanlama sorunları, hava koşulları ve tasarım değişiklikleri gibi çeşitli riskler içerir. Proje risk yönetimi, bu riskleri tanımlamak, değerlendirmek ve azaltmak için stratejiler geliştirir (Smith, 2014). Risk değerlendirme süreçleri, proje planlaması ve uygulaması boyunca sürekli olarak gerçekleştirilir. Kalite kontrol prosedürleri ve uyum standartları, inşaat projelerindeki

riskleri yönetmek için hayati öneme sahiptir. Bu prosedürler, proje spesifikasyonlarına ve yasal gerekliliklere uygunluğu sağlamak için gerekli olan standartları belirler (Choudhry & Fang, 2008).

2.4.4.1 Akıllı Güvenlik Sistemleri

Akıllı güvenlik sistemleri, gelişmiş teknoloji ve internet bağlantısını kullanarak güvenliği artıran ve izleme, algılama, erişim kontrolü gibi işlevleri otomatikleştiren sistemlerdir. Geleneksel güvenlik sistemlerinden farklı olarak, akıllı güvenlik sistemleri, gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve uzaktan kontrol gibi özellikler sunar.



Şekil 2.17: Akıllı ev güvenlik sisteminde kullanılan sensörler (Abbas I.,2020).

Akıllı güvenlik kameraları ve video analitik sistemleri; hareket algılama, yüz tanıma ve anormal davranış tespiti gibi özelliklere sahiptir. Bu sistemler, güvenlik ihlallerini tespit edebilir ve otomatik olarak uyarılar gönderebilir (Velastin & Remagnino, 2006).

Akıllı kapı kilitleri ve erişim kontrol sistemleri; kart okuyucular, biyometrik sensörler ve mobil cihazlar aracılığıyla erişimi yönetir. Bu sistemler, kimin ne zaman ve nerede erişim sağladığını takip ederek güvenliği artırır (Christin et al., 2009).

Akıllı alarm sistemleri; yangın, gaz sızıntısı ve diğer tehlikelere karşı gerçek zamanlı izleme ve uyarı sağlar. Bu sistemler, tehlike durumunda otomatik olarak ilgili kişilere veya acil servislere bilgi verebilir (Radhi, 2016).

Akıllı giyilebilir cihazlar ve sensörler; işçilerin sağlık durumunu izleyerek, potansiyel tehlikelere karşı uyarıda bulunur.

Akıllı güvenlik sistemleri, genellikle bir merkezi platform aracılığıyla yönetilir ve entegre edilir. Kullanıcılar, güvenlik kameralarını, alarm sistemlerini ve erişim kontrollerini tek bir arayüz üzerinden izleyebilir ve yönetebilir (Lu et al., 2013).

Akıllı güvenlik sistemlerinin inşaat sektöründe kullanımı, özellikle 2000'lerden itibaren, IoT cihazlarının, kablosuz iletişim teknolojilerinin ve yapay zeka tabanlı analiz araçlarının gelişimiyle ivme kazanmıştır. Bu sistemler, inşaat sahalarının özgün ihtiyaçlarına uygun olarak uyarlanmıştır (Arslan & Ulubeyli 2022). Akıllı kamera sistemleri, inşaat sahalarında sürekli gözetim sağlar ve hırsızlık, izinsiz giriş gibi güvenlik ihlallerini tespit eder. Ayrıca, işçilerin güvenli çalışma uygulamalarına uyup uymadığını izlemek için de kullanılır. Akıllı erişim kontrol sistemleri, inşaat sahasına giriş-çıkışları yönetir ve yetkisiz erişimi engeller. Biyometrik tanıma veya RFID teknolojisi, bu amaçla kullanılır.

Akıllı güvenlik sistemlerinin geleceği, gelişen teknolojiler ve artan veri bağlantılılığı ile şekillenmektedir. Bu alandaki inovasyonlar, daha etkili, entegre ve kullanıcı dostu güvenlik çözümlerine doğru ilerlemektedir.

2.4.4.2 Tehlike Analizi ve Önleme

Tehlike analizi ve önleme, riskleri tanımlama, değerlendirme ve bu riskleri azaltma veya ortadan kaldırma sürecidir. Bu süreç, iş yerlerinde ve özellikle tehlikeli endüstrilerde, kazaları ve yaralanmaları önlemek, iş güvenliğini artırmak ve genel sağlık ve güvenlik standartlarını yükseltmek için kritik öneme sahiptir.



Şekil 2.18: Tehlike tanımlama ve risk değerlendirme süreci.

Tehlike analizi, bir iş yerindeki veya özel bir iş sürecindeki potansiyel tehlikeleri sistemli bir şekilde tespit etmeyi içerir. Bu analiz, iş yerindeki makineler, kimyasallar, çalışma ortamı ve işlemler gibi çeşitli faktörleri değerlendirir (Manuele, 2020). Analiz sürecinde, tehlikelerin olası sonuçları ve bu sonuçların oluşma olasılıkları değerlendirilir. Bu süreç, kazaların ve yaralanmaların nedenlerini ve bu olayların nasıl önlenebileceğini anlamak için kullanılır. Tehlike analizinin bir parçası olarak risk değerlendirme, belirlenen tehlikelerin ciddiyetini ve çalışanlar üzerindeki potansiyel etkilerini inceleyerek, risk seviyelerini belirler (Hughes & Ferrett, 2011). Tehlike analizi ve risk değerlendirmesinin ardından, riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygun önlemler alınır. Bu önlemler mühendislik kontrolleri, yönetsel değişiklikler, güvenlik eğitimleri ve koruyucu ekipman kullanımını içerebilir (Cox & Cheyne, 2000). Tehlike analizi ve önleme süreci, sürekli bir izleme ve gözden geçirme gerektirir. Çalışma ortamı, teknoloji veya iş süreçlerindeki değişiklikler yeni tehlikeler ortaya çıkarabilir ve bu, sürekli bir değerlendirme ve güncelleme gerektirir (Salvendy, 2012).

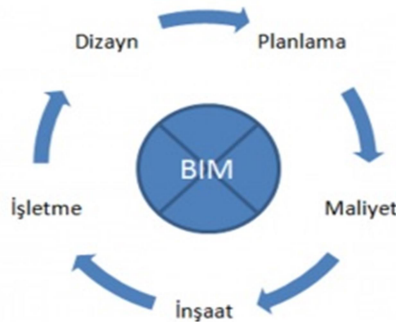
İnşaat sektöründe tehlike analizi ve önleme, sektörün doğası gereği yüksek risk taşıyan bir ortamda iş güvenliğini sağlamak ve kazaları önlemek için hayati önem taşır. İnşaat projeleri, genellikle yüksekte düşme, elektrik çarpması, makine kazaları ve diğer tehlikeleri içerir, bu nedenle etkin bir tehlike analizi ve önleme stratejisi geliştirmek kritik bir ihtiyaçtır. İnşaat projelerinde tehlike analizi, potansiyel tehlikelerin sistematik bir şekilde tespit edilmesini ve değerlendirilmesini içerir. Bu süreç, inşaat sahasındaki ekipman, malzeme, çalışma koşulları ve iş süreçleri göz önünde bulundurularak yapılır (Hallowell & Gambatese, 2009). Belirlenen tehlikelerin ciddiyeti ve olasılıkları

değerlendirilir, risk seviyeleri belirlenir ve bu riskleri azaltmak için uygun yöntemler geliştirilir. Örnek olarak, yüksekte çalışma sırasında düşme riskini azaltmak için emniyet kemeri kullanımı, iskele güvenliği ve düşmeyi önleyici sistemlerin kullanılması yer alabilir (Sawacha et al., 1999). Tehlike analizi sonuçlarına dayanarak, inşaat sahalarında mühendislik kontrolleri, işçi eğitimleri ve güvenlik prosedürleri gibi önleme stratejileri uygulanır. Ayrıca, acil durum planları ve ilk yardım tedbirleri de bu sürecin bir parçasıdır (Choudhry & Fang, 2008). İnşaat sahaları dinamik ortamlardır ve sürekli değişir, bu nedenle tehlike analizi ve önleme süreçleri düzenli olarak gözden geçirilir ve güncellenir. Yeni tehlikelerin ortaya çıkması durumunda, risk değerlendirme süreçleri tekrarlanır ve gerekli önlemler alınır (Carter & Smith, 2006).

2.4.5 BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) ve Dijital İkiz

BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) ve Dijital İkiz, inşaat ve yapı sektöründe kullanılan iki ileri teknolojidir. Her ikisi de yapı projelerinin planlanması, tasarımı, inşası ve yönetimi süreçlerinde verimlilik ve etkinlik sağlamak için kullanılır.

BIM, bir yapının fiziksel ve işlevsel özelliklerini temsil eden dijital bir modeldir. BIM, yapı tasarımı, inşaat planlaması ve inşaat yönetimi süreçlerinde kullanılır (Eastman, 2011). Yapının tüm yaşam döngüsü boyunca, tasarımdan yapımına, işletmesine ve hatta yıkımına kadar tüm aşamalarda etkili bir kaynak yönetimi ve karar verme aracı olarak hizmet eder. Bu modelleme yöntemi, mimarlar, mühendisler, inşaatçılar ve diğer paydaşlar arasında daha iyi iletişim ve işbirliği sağlar ve projelerin daha etkin ve hızlı bir şekilde tamamlanmasına yardımcı olur.



Şekil 2.19: BIM kullanım süreçleri.

Dijital ikiz, bir fiziksel varlığın veya sistemin dijital bir kopyasıdır. Bu teknoloji, gerçek dünyadaki nesnelere veya sistemlerin dijital verilerini kullanarak, bu varlıkların davranışlarını ve performansını simüle eder (Tao et al., 2018). Dijital ikizler, fiziksel varlıkların sanal kopyalarını oluşturma fikriyle ortaya çıkmıştır ve bu kavram, son yıllarda endüstriyel uygulamalar ve veri analitiği alanlarında önemli bir gelişim göstermiştir. Dijital ikiz kavramının kökeni, NASA'nın uzay araçlarının uzaktan analizi ve simülasyonu için kullandığı tekniklere dayanır. Bu teknikler, 2002'de Michael Grieves tarafından bir sunumda resmi olarak "dijital ikiz" olarak adlandırılmıştır (Grieves, 2005). 2010'ların başından itibaren, dijital ikizler özellikle üretim ve endüstriyel sistemlerde daha geniş bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Bu dönemde, nesnelere interneti (IoT) ve büyük veri analitiği teknolojilerinin gelişimi, dijital ikizlerin daha karmaşık ve etkili hale gelmesine olanak tanımıştır (Tao et al., 2018). Günümüzde dijital ikizler, gerçek zamanlı veri toplama, makine öğrenimi ve yapay zeka teknolojileri ile entegre edilerek, daha gelişmiş analiz ve tahmin yetenekleri sunmaktadır. Bu, özellikle akıllı üretim, sağlık hizmetleri ve şehir planlaması gibi alanlarda uygulamalarını genişletmiştir (Kritzinger et al., 2018).

İnşaat sektöründe, bir yapının dijital ikizi, gerçek zamanlı veri akışlarıyla sürekli güncellenir, bu sayede yapının mevcut durumu, performansı ve olası sorunları hakkında detaylı bilgi edinmek mümkündür (Rosen, et al., 2015). Dijital ikiz, BIM'in sunduğu bilgileri gerçek zamanlı olarak takip etme ve analiz etme kapasitesi ile birleştirilerek, inşaat projelerinin etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Dijital ikizler binaların, altyapıların ve diğer yapıların performansını izlemek ve yönetmek için kullanılır. Gerçek zamanlı veri analizi ve uzaktan izleme yetenekleri sayesinde, yapıların bakımı ve işletilmesi süreçlerinde önemli faydalar sağlar. Dijital ikizler, BIM modelleriyle entegre edilerek, yapıların gerçek zamanlı performans verileri ile tasarım ve planlama verilerini birleştirebilir. Bu, yapının tüm yaşam döngüsü boyunca daha iyi bir varlık yönetimi ve optimizasyonu sağlar.

Bu iki kavram, İnşaat 4.0'ın temel taşlarından biri olarak kabul edilir ve sektördeki dijital dönüşümün öncüsüdür.

2.4.5.1 BIM'in Proje Yönetimine Katkıları

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), inşaat sektöründeki dijitalleşmenin merkezinde yer almaktadır. BIM'in sağladığı bilgi zenginliği ve işbirliği kapasitesi, proje yönetiminin daha etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır.

- **Etkili İletişim ve İşbirliği:** BIM, tüm projenin paydaşları arasında etkili bir iletişim ve işbirliği platformu oluşturur. Bu platform, farklı disiplinler arasındaki bilgi akışını hızlandırır ve hataların erken tespit edilmesini sağlar (Succar, 2009).
- **Maliyet ve Zaman Tasarrufu:** BIM, proje maliyetlerini ve zamanlamasını daha doğru bir şekilde tahmin etme imkanı sunar. Bu sayede, projenin bütçe ve zaman sınırları içinde tamamlanması kolaylaşır.
- **Risk Yönetimi:** BIM, potansiyel riskleri önceden tespit edebilme kapasitesi sunar. Projenin erken aşamalarında risklerin belirlenmesi, bu risklere karşı önlem alınmasını ve bu sayede maliyetin artmasının önlenmesini sağlar (Zhang, et al., 2013).
- **Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği:** BIM, enerji tüketimi, malzeme seçimi ve sürdürülebilir tasarım konularında değerli bilgiler sunar. Bu bilgilere dayanarak, binaların enerji verimliliği ve çevresel etkisi konusunda daha bilinçli kararlar alınabilir (Krygiel & Nies, 2008).
- **Dijital İkiz ve Gerçek Zamanlı Güncellemeler:** BIM ile oluşturulan yapı modeli, dijital ikiz teknolojisi ile gerçek zamanlı olarak güncellenebilir. Bu yapının gerçek dünyadaki durumu ile dijital modeli arasındaki uyumu sürekli olarak korur ve proje yönetiminin dinamik bir şekilde yapılmasına olanak tanır (Rosen et al., 2015).

BIM'in proje yönetimine sağladığı bu katkılar, inşaat sektörünün gelecekteki projelerini daha verimli, sürdürülebilir ve maliyet-etkin bir şekilde tamamlamasına yardımcı olacaktır.

2.4.5.2 Dijital İkiz ve Gerçek Zamanlı Veri Analizi

Dijital ikiz, bir fiziksel varlığın veya sistemin sanal bir kopyasıdır. Bu, gerçek dünyadaki nesnelerin veya sistemlerin dijital verilerini kullanarak, bu varlıkların davranışlarını ve performansını simüle eder (Tao et al., 2018). Kullanım alanları arasında üretim, sağlık hizmetleri, otomotiv ve inşaat sektörleri bulunur. Bu teknoloji, varlıkların performansını izlemek, bakımı optimize etmek ve işletme süreçlerini geliştirmek için kullanılır.

Gerçek zamanlı veri analizi, verilerin toplanması ve analiz edilmesi sürecidir. Bu analiz, verilerin toplandığı anda yapılır ve hemen sonuçlar üretir. Bu analiz türü, finans, perakende, telekomünikasyon ve inşaat gibi çeşitli sektörlerde kullanılır. Gerçek zamanlı veri analizi, operasyonel verimliliği artırmak, müşteri deneyimini iyileştirmek ve hızlı karar verme süreçlerini desteklemek için kullanılır.

Dijital ikiz ve gerçek zamanlı veri analizi, modern teknolojinin önemli unsurlarından olup, çeşitli sektörlerde, özellikle inşaat sektöründe giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, projelerin daha verimli, etkili ve interaktif bir şekilde yönetilmesine olanak tanır.

İnşaat sektöründe dijital ikizlerin ve gerçek zamanlı veri analizinin kullanımı, özellikle proje yönetimi ve varlık yönetiminde önem kazanmıştır. Bu teknolojiler, inşaat projelerinin karmaşıklığını ve büyüklüğünü yönetmek için son yıllarda giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Bilal et al., 2016).

Dijital ikizlerin kullanımı ile;

- İnşaat projelerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve yönetilmesi için kullanımı ile projenin tüm aşamalarında, tasarımdan inşaata ve işletmeye kadar, proje performansı sürekli olarak izlenebilir ve değerlendirilebilir.
- Binaların ve altyapıların bakımını optimize etmek için kullanımı bakım maliyetlerinin düşürülmesine ve varlıkların ömrünün uzatılmasına yardımcı olur.
- Yapıların yapısal sağlığını gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılabilir. Sensörlerden alınan verilerle, binaların ve köprülerin yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığı sürekli olarak değerlendirilebilir (Motawa & Almarshad,
- Binaların enerji tüketimi ve karbon ayak izi, dijital ikizler aracılığıyla optimize edilebilir. Bu sistemler, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için bina işletme stratejilerini geliştirmek için kullanılırlar. (Garcia, 2013).
- Tesis yönetimi ve bakım faaliyetlerini desteklemek için kullanılabilir. Bu teknoloji, bakım gereksinimlerini öngörmeye, planlamaya ve yönetmeye yardımcı olur, bu da bakım maliyetlerini azaltır ve varlık ömrünü uzatır (Grieves, 2014).

- Acil durum tepkileri ve tahliye planları, dijital ikizler kullanılarak simüle edilebilir. Bu, acil durum eğitiminde ve güvenlik protokollerinin geliştirilmesinde kullanılabilir (Khanzode et al., 2008).

Gerçek zamanlı veri analizinin kullanımı ile;

- İnşaat sahalarındaki riskleri azaltmak ve güvenliği artırmak için kullanımı ile potansiyel sorunlar ve aksaklıklar, hızlı bir şekilde tespit edilebilir ve önlemler alınabilir.
- İnşaat sahasının mevcut durumunu izlemek için kullanılır. Sensörler ve IoT cihazları, hava koşulları, malzeme stokları, ekipman kullanımı ve işçi hareketleri gibi kritik verileri toplayıp analiz eder (Wang et al., 2018).
- Kaynakların (malzeme, ekipman, işgücü) etkin kullanımı için gerçek zamanlı veri analizi hayati öneme sahiptir. Bu teknoloji, kaynakların mevcut durumunu ve ihtiyacını analiz eder, böylece proje yöneticileri kaynakları daha etkin bir şekilde planlayabilir ve kullanabilirler. (Jiang et al., 2015).
- İnşaat sahalarında güvenlik ihlallerini ve potansiyel tehlikeleri tespit etmek için kullanılır. Örneğin, işçilerin güvenli çalışma bölgelerinde olup olmadığını izlemek ve tehlikeli davranışları algılamak için kullanılır (Costin et al., 2012).
- Projelerinin ilerlemesi, gerçek zamanlı veri analizi ile izlenir. Bu, proje yöneticilerinin zamanlamaları takip etmelerine, gecikmeleri ve sapmaları hızla tespit etmelerine ve gerekli düzeltici önlemleri alabilmelerine olanak tanır (Wang et al., 2018)

İnşaat sektöründe dijital ikiz ve gerçek zamanlı veri analizi teknolojilerinin kullanımı, projelerin daha verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır.

2.4.6 Sürdürülebilirlik ve Yeşil İnşaat Pratikleri

Sürdürülebilirlik, mevcut ihtiyaçları karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamayı riske atmama prensibine dayanan bir kavramdır. Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla, dengeli bir gelişmeyi ve kaynakların sorumlu bir şekilde kullanılmasını vurgular. Sürdürülebilirlik, insanların yaşam kalitesini artırmak, doğal kaynakları korumak ve ekolojik dengeyi sürdürmek için önemlidir.

Ekonomik sürdürülebilirlik; kaynakların verimli kullanımını, ekonomik büyümeyi ve eşitliği içerir. Bu, uzun vadede ekonomik istikrarı ve insanların refahını hedefler (Goodland, 1995).

Çevresel sürdürülebilirlik; doğal kaynakların korunmasını ve çevresel etkilerin minimize edilmesini amaçlar. Bu, atık azaltmayı, enerji verimliliğini, sürdürülebilir tarımı ve doğal habitatların korunmasını içerir.

Sosyal sürdürülebilirlik; toplumun sağlık, eğitim, adalet ve eşitlik gibi ihtiyaçlarını karşılamayı hedefler. Bu, sosyal adalet, toplumsal katılım ve insan haklarının korunmasını içerir (Sen, 2014).

Sürdürülebilirlik, bu üç boyutun entegre bir yaklaşımını gerektirir. Buna göre, sürdürülebilir kalkınma, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulunduran dengeli bir yaklaşımı ifade eder (Brundtland Commission, 1987).

Yeşil inşaat pratikleri, çevresel etkiyi azaltmayı ve sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen inşaat yöntemleri ve teknolojileridir. Bu pratikler, enerji verimliliğini, su tasarrufunu, kaynakların etkin kullanımını ve bina içi hava kalitesini iyileştirmeye yöneliktir. Yeşil inşaat, sadece çevreye olan etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede ekonomik tasarruflar sağlar ve bina kullanıcılarının sağlık ve konforunu artırır. Binaların enerji tüketimini azaltmayı hedefler. Yeşil inşaat pratikleri, yüksek verimli ısıtma ve soğutma sistemleri, enerji verimli aydınlatma ve yalıtım malzemeleri kullanımını içerir (Kibert, 2016). Bina içi hava kalitesini iyileştirmek için toksik olmayan, düşük emisyonlu malzemelerin kullanımını teşvik eder. Ayrıca, etkin havalandırma sistemleri ve iç mekan bitkileri ile hava kalitesi artırılır (Brown et al., 2010).

Güneş panelleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu da enerji verimliliğini artıran önemli bir unsurdur. Su tasarrufu için düşük akışlı armatürler ve suyun yeniden kullanımı ve geri dönüşümüne yönelik teknolojiler kullanılır. Yağmur suyu toplama sistemleri ve gri su geri dönüşümü, su kaynaklarının verimli kullanımını sağlar (Kruger & Seville, 2012). Sürdürülebilir inşaat malzemeleri, geri dönüştürülmüş içeriklerden yapılan veya yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemeleri içerir. Ayrıca, yerel olarak

Üretilen malzemelerin kullanımı, nakliye sırasında oluşan karbon emisyonlarını azaltır (Berardi, 2012). İnaşat sürecinde çevresel etkinin azaltılması ise atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları, doğal habitatların korunması ve erozyon kontrolü gibi uygulamaları içerir (Ding, 2008).



Şekil 2.20: The Shard – London.

Bir rnek olarak, Londra'daki "The Shard" binası yeşil inşaat konseptine uygun olarak inşa edilmiştir. Bu gökdelen, enerji verimliliği ve sürdürülebilir malzeme kullanımı ile dikkat çeker. Binada yağmur suyu toplama sistemi, yüksek verimli ısıtma ve soğutma sistemleri ve doğal ışıktan maksimum derecede yararlanacak şekilde tasarlanmış pencereler bulunmaktadır. The Shard, modern mimarinin çevreye duyarlı yaklaşımlarını ve sürdürülebilirlik ilkelerini başarıyla entegre eden bir yapı olarak tanınmaktadır.

Sürdürülebilirlik, günümüz dünyasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu, sadece çevresel boyutlarıyla değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlarıyla da kapsamlı bir yaklaşımı gerektirir. Sürdürülebilirlik kavramı, kurumlar ve toplumlar için yol gösterici bir ilke olarak kabul edilmekte ve bu kavramın uygulanması gelecekteki kalkınmanın anahtarı olarak grlmektedir.

2.4.6.1 Enerji Verimli Çözümler

Enerji verimli çözümler, inşaat sektöründe binaların ve diğer yapıların enerji kullanımını azaltmak, çevresel etkilerini düşürmek ve genel sürdürülebilirliği artırmak için kullanılan yöntem ve teknolojileri ifade eder. Enerji verimli çözümler, hem inşaat aşamasında hem de yapıların kullanım süresince enerji tüketimini ve karbon ayak izini azaltmaya yöneliktir. İnşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin ve karbon salınımının önemli bir kısmından sorumludur. Bu durum, sürdürülebilirlik ve yeşil inşaat pratiklerinin enerji verimliliğine odaklanmasının altında yatan ana nedenlerden biridir. Enerji verimli çözümler,

- Yüksek Verimli Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri (HVAC): Gelişmiş HVAC sistemleri, enerji tüketimini azaltırken yapıların konfor seviyelerini korur (Silvero et al., 2019).
- Yenilenebilir Enerji Kullanımı: Yapılara entegre edilen güneş panelleri, rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanır.
- Enerji Verimli Aydınlatma: LED ve diğer enerji verimli aydınlatma çözümlerini içerir.
- Yalıtım ve Bina Kabuğu Tasarımı: Yenilikçi izolasyon malzemeleri, enerji tüketimini azaltmak için yapıların termal performansını artırır. Akıllı camlar ve otomatik gölgelendirme sistemleri, doğal ışığı optimize ederek yapılarda enerji tasarrufu sağlar.



Şekil 2.21: The Edge – Amsterdam (URL-1).



Şekil 2.22: Shanghai Tower -Çin (URL-2).

Enerji verimli yapı örneklerine baktığımızda; dünyanın en yeşil binalarından biri olarak kabul edilen The Edge (Amsterdam) , geniş çapta güneş panelleri kullanımı ve yüksek derecede enerji verimliliğine sahiptir (Kaganova& Amolis, 2020). Platin sertifikasına sahip Shanghai Tower (Çin), çift cidarlı cam cephesi ve rüzgar türbinleri ile dikkat çekmektedir.

Enerji verimli çözümler, uzun vadede enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlar. Karbon emisyonlarını ve diğer çevresel etkileri azaltır. Daha düşük işletme ve bakım maliyetleri sunar. Sürdürülebilirlik standartlarının gelecek beklentileri, yeşil bina sertifikaları ve düzenlemeler ile enerji verimli çözümlerin uygulanmasını teşvik etmek ve akıllı bina teknolojileri ve IoT çözümleri ile enerji yönetimini daha da optimize edecek şekilde geliştirmektir. Enerji verimli çözümler, İnşaat 4.0'ın getirdiği teknolojik yeniliklerle daha da ileriye taşınabilir ve binaların enerji tüketimini en aza indirerek sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunabilirler.

2.4.6.2 Sürdürülebilir Malzeme ve Kaynak Kullanımı

Sürdürülebilir malzeme, çevresel etkiyi en aza indiren, kaynakların yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü destekleyen, uzun ömürlü ve çevre dostu üretim süreçlerine sahip malzemeleri ifade eder. İnşaat sektöründe sürdürülebilir malzemelerin kullanımı, binaların çevresel ayak izini azaltmayı ve genel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı amaçlar.

Sürdürülebilir malzemeler, genellikle düşük enerji tüketimiyle üretilen, uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir özelliklere sahip malzemelerdir. Bu malzemelerin kullanılması, inşaat projelerinin genel enerji tüketimini, atık miktarını ve karbon ayak izini azaltır (Ding, 2008).

Sürdürülebilir malzemelere örnek olarak, hızlı yenilenen bir kaynak olan bambu, dayanıklılığı ve esnekliği ile bilinir ve ahşap alternatifi olarak kullanılır (Lobovikov et al., 2007). Geri dönüştürülmüş plastik, cam ve metal, yeni inşaat malzemelerinin üretiminde kullanılabilir. Düşük VOC (Uçucu Organik Bileşik) içeren boyalar ve yapıştırıcılar, iç mekan hava kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir (Milani, 2005).

Sürdürülebilir malzemenin kullanımı ile yüksek yalıtım özelliklerine sahip malzemeler enerji tüketimini azaltır. Düşük VOC içerikli malzemeler, bina içi hava kalitesini artırır ve

sağlık risklerini azaltır. Geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir malzemeler, atık miktarını azaltır ve kaynak verimliliğini artırır.

Sürdürülebilir malzeme ile yapılan yapılara örnek olan, sıfır karbon emisyonlu bir yapı olan **BedZED (Birleşik Krallık)**, de sürdürülebilir malzemeler ve enerji verimli tasarım prensiplerini kullanmaktadır (Smith, 2012). Dünyanın en yeşil ticari binası' olarak bilinen **Bullitt Center (ABD)**, yenilenebilir malzemeler ve enerji verimli teknolojiler kullanılmaktadır.



Şekil 2.23: BedZED (Birleşik Krallık) (URL-3).



Şekil 2.24: Bullitt Center (ABD).

Sürdürülebilir malzemeler, inşaat sektöründe giderek daha fazla önem kazanmakta ve yeşil binaların temel bileşenleri haline gelmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir malzemenin geleceğe yönelik kullanımını arttırmak için, yeşil bina sertifikaları ve çevresel düzenlemeler, sürdürülebilir malzeme kullanımını teşvik etmektedir. Nanoteknoloji ve biyomimetik gibi yeni teknolojiler, daha verimli ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

2.4.7 Akıllı İnşaat Malzemeleri ve Çözümleri

Akıllı inşaat malzemeleri, teknolojik yenilikler ve malzeme bilimi araştırmalarının bir ürünü olarak geliştirilen, geleneksel inşaat malzemelerine göre daha üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Bu malzemeler, enerji verimliliğini artırmak, yapısal dayanıklılığı iyileştirmek, ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek gibi amaçlarla tasarlanmıştır.

Akıllı inşaat malzemeleri ve özelliklerine baktığımızda;

- Kendini onaran beton, mikroorganizmalar veya özel kimyasal katkı maddeleri içeren beton türüdür. Bu beton, çatlak oluştuğunda kendiliğinden onarılabilir, bakım maliyetlerini azaltır ve yapı ömrünü uzatır (Van & Belie, 2013).
- Termokromik camlar, sıcaklık değişimlerine tepki vererek rengini değiştiren camlar, enerji verimliliğini artırarak ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürür (Baetens et al., 2010).
- Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren paneller, binaların çatılarına veya cephelerine entegre edilerek, yenilenebilir enerji kaynağı sağlar (Radziemska, 2003). şeklindedir.

Akıllı malzemelerin kullanımının sağladığı avantajlar, binaların enerji kullanımını azaltarak enerji verimliliğini artırır. Sürdürülebilir kaynak kullanımını teşvik eder ve çevresel etkinin azaltılmasına katkı sağlar. Yapıların dayanıklılığını artırır ve bakım ihtiyacını azaltır. İç mekan hava kalitesini ve genel konforu iyileştirir. Bu avantajları barındıran yapılara ve bu yapıların özelliklerine örnek olarak,

The Edge, Amsterdam, akıllı aydınlatma sistemleri ve enerji yönetimine entegre edilmiş fotovoltaik paneller kullanılarak enerji verimliliği artırılmıştır (O'Donnell et al., 2014). One Central Park, Sydney, yeşil duvarlar ve yenilenebilir enerji sistemleri ile donatılmış, sürdürülebilirlik odaklı bir yapıdır (Poirier et al., 2014).



Şekil 2.25: One Central Park, Sydney (URL-4).

Akıllı inşaat çözümleri, inşaat sektöründeki iş süreçlerini ve yapıların işlevselliğini iyileştirmek için teknolojinin kullanımını ifade eder. BIM, Akıllı sensörler ve IoT, Yapay zeka ve makine öğrenimi, robotik ve otonom araçlar, yeşil bina teknolojileri ve sürdürülebilir malzemeler, akıllı inşaat yönetimi yazılımları akıllı inşaat çözümleridir.

2.4.7.1 Kendini Onaran Malzemeler

Kendini onaran malzeme, hasar gördüğünde kendi kendine onarım yapabilme kabiliyetine sahip olan malzemelerdir. Bu tür malzemeler, genellikle mikro çatlaklar veya hasarlar meydana geldiğinde aktive olan içsel bir mekanizmaya sahiptir. Bu mekanizma, malzemenin yapısındaki hasarı algılar ve otomatik olarak onarım sürecini başlatır (Dry,2000).

Bu özellik, genellikle malzemenin içine yerleştirilen mikrokapsüller veya özel kimyasal bileşikler aracılığıyla sağlanır. Mikrokapsüller hasar gördüğünde, onarım maddelerini serbest bırakırlar ve çatlak veya hasarlı bölgeyi doldururlar. (White et al., 2001). Bu süreç, malzemenin ömrünü uzatabilir, bakım maliyetlerini azaltabilir ve yapısal bütünlüğü sürekli koruyabilir.

Kendini onaran malzemeler, beton, polimerler, metaller ve kompozitler gibi çeşitli malzemelerde geliştirilmiştir ve özellikle inşaat, havacılık, otomotiv ve diğer mühendislik uygulamalarında potansiyel kullanım alanları bulmaktadır.

Kendini onaran malzemeler mikroskopik düzeyde oluşan hasarları tespit eder ve kendi kendine onarır. Yapıların ömrünü uzatır ve sürekli bakım ihtiyacını azaltır. Bu da bakım maliyetlerini düşürür. Kendini onaran malzeme ile, kaynak kullanımının azaltılması, çevresel etkiyi minimize etmesi ve malzemenin çeşitli çevresel koşullara uyum sağlayabilmesi sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Kendini onaran malzemeler,

- Kendini onaran beton; mikroorganizmalar veya özel kimyasal katkı maddeleri içerir. Çatlaklar oluştuğunda, bu maddeler etkinleşir ve çatlakları kapatır (Tittelboom & Belie, 2013). Bakteri tabanlı kendini onaran betonlarda, beton karışımına spordan üretilen bakteriler eklenir. Bu bakteriler, betonun içerisinde uzun süre canlı kalabilir ve çatlak oluştuğunda kalsiyum karbonat üreterek çatlağı doldurabilirler. (Jonkers, 2007). Köprüler, binalar ve altyapı projelerinde kullanılır. Yapıların ömrünü uzatır ve bakım maliyetlerini düşürür.
- Polimer tabanlı malzemeler; hasar gördüğünde moleküler düzeyde kendi kendini onaran polimerler içerir. Otomotiv ve havacılık endüstrisinde, ayrıca hafif yapı malzemesi olarak kullanılır.
- Kendini onaran kaplamalar; yüzey çiziklerini ve aşınmalarını kendi kendine onarabilen kaplamalardır. Binaların dış cephesinde ve çeşitli amaçlarla yapılmış koruyucu kaplamalarda kullanılır.

Kendini onaran malzemelerin kullanımı, daha az kaynak kullanımı ve daha az atık üretimi ile çevre dostu yapılar yapılmasına olanak verir. Yapısal hasarın erken tespiti ve onarımı, güvenliği artırır.

Henderson Waves Köprüsü, Singapur, yapı malzemelerinde kendini onaran teknolojiler kullanılarak inşa edilen yapılara örnek olarak verilebilir.

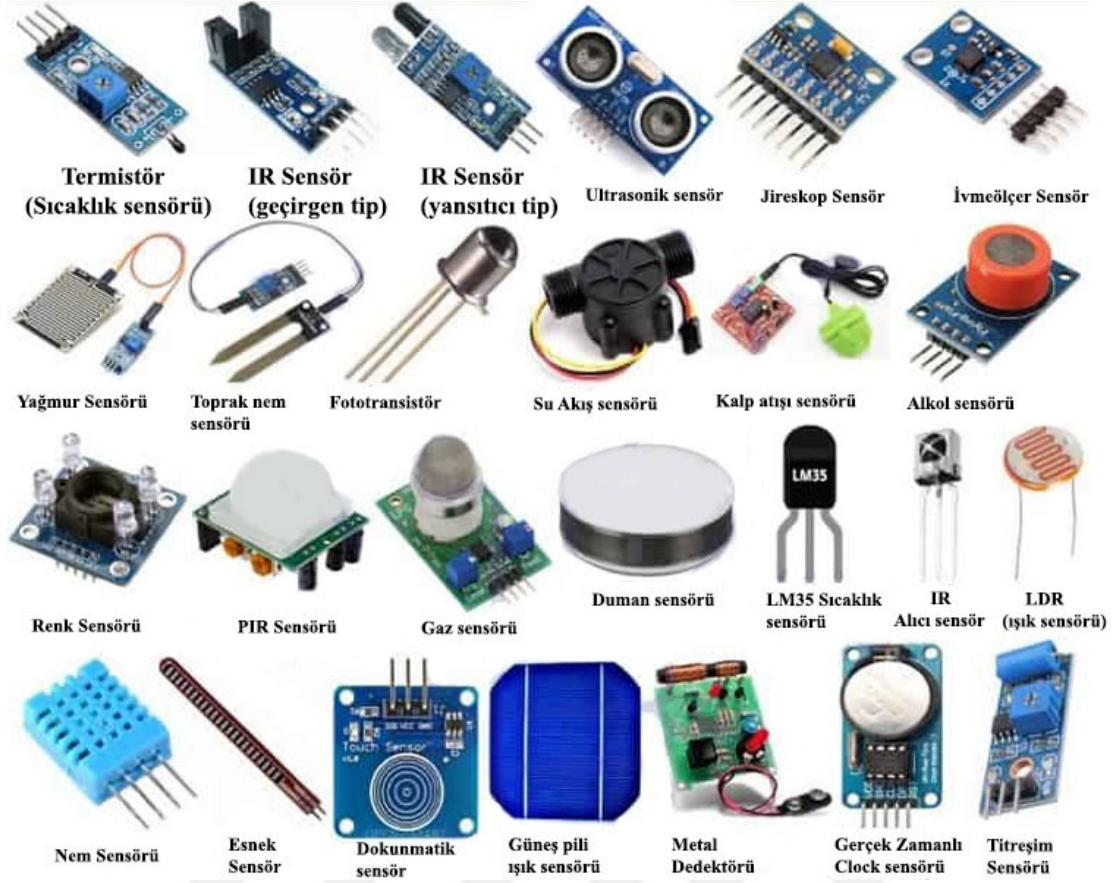


Şekil 2.26: Henderson Waves Köprüsü, Singapur (URL-5).

Kendini onaran malzemelerin kullanımında sektöre katkılarının yanında bazı zorlukları da vardır. Bu malzemelerin geliştirilmesi ve üretimi maliyetlidir. Malzemelerin geniş çaplı uygulama için uygunluğunu sağlamak zordur. Ancak gelecekte daha verimli ve ekonomik kendini onaran malzemelerin geliştirilmesi beklenmektedir. Böylelikle bu tür malzemelerin kullanımı yaygınlaşacak ve sektöre olan olumlu etkileri artacaktır.

2.4.7.2 Akıllı Çözümler için Sensör Kullanımı

Sensörler, çevresel değişiklikleri veya belirli bir fiziksel durumu algılayan ve bu bilgiyi genellikle elektronik sinyallere dönüştüren cihazlardır. Sensörler, basınç, ışık, sıcaklık, ses ve hareket gibi birçok farklı fiziksel durumu algılayabilir ve bu bilgileri dijital veriye dönüştürerek işlenebilir hale getirir. Bu teknoloji, otomasyon, robotik, tıp, çevre izleme vb. birçok alanda geniş uygulamalar sunar.



Şekil 2.27: Sensör çeşitleri.

Sensörler, belirli bir fiziksel değişkeni (örneğin sıcaklık, basınç, nem) algılar. Algılanan fiziksel değişkeni elektriksel sinyallere dönüştürür. Sensörlerin algılama kapasitesi, hassasiyet ve doğruluk derecesine bağlıdır.

Sensörlerin kullanım alanları oldukça geniştir; Fabrikalarda makine ve işlemlerin otomatik kontrolü için kullanılır (Siciliano & Khatib, 2016). Hava kalitesi, su kalitesi gibi çevresel faktörlerin izlenmesinde kullanılır (Artiola, 2004). Hastaların sağlık durumunu izlemek ve tıbbi teşhislerde kullanılır (Webster, 2009). Işık, sıcaklık ve güvenlik sistemlerinin otomatik kontrolünde kullanılır (Swan, 2012).

İnşaat sektöründe sensörlerin kullanımını incelediğimizde, akıllı çözümler sağlamak için çeşitli şekillerde kullanıldığını görürüz. Bu sensörler, inşaat alanlarının verimliliğini ve güvenliğini artırmak, proje yönetimini iyileştirmek ve yapıların uzun vadeli performansını takip etmek için etkili araçlar olarak hizmet eder. İnşaat sektöründe sensör kullanımının sağladığı avantajlar şunlardır.

- Sensörler, binaların ve diğer yapıların yapısal bütünlüğünü izlemek için kullanılır. Örneğin, gerilme ve titreşim sensörlerinden, potansiyel yapısal sorunların erken tespit edilmesinde faydalanılır.
- Sıcaklık, nem ve hava kalitesi sensörleri, inşaat alanlarının ve tamamlanmış yapıların çevresel koşullarını izler. Bu, enerji verimliliğini artırmak ve iç mekan hava kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir.
- Hareket, yakınlık ve diğer güvenlik sensörleri, işçilerin güvenliğini artırmak için inşaat alanlarında kullanılır. Bu sensörler, tehlikeli alanlara yaklaşan işçileri uyarabilir veya ekipmanların güvenli kullanımını izleyebilir.
- RFID (Radyo Frekansı Tanımlama) ve GPS sensörleri, inşaat ekipmanlarının ve malzemelerinin takibi için kullanılır. Bu, kayıpları azaltmak ve tedarik zinciri yönetimini iyileştirmek için etkilidir.
- Enerji kullanımını izleyen sensörler, inşaat alanlarında ve tamamlanmış binalarda enerji verimliliğini artırmak için kullanılır. Bu sensörler, enerji tüketimini izleyerek, enerji tasarrufu sağlayacak alanları belirlemeye yardımcı olur.

Sensör teknolojisinin gelişimi, özellikle IoT (Nesnelerin İnterneti) ve akıllı cihazların yaygınlaşmasıyla, modern dünyada giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Akıllı çözümler için sensör kullanımının yanı sıra, bu sensörlerden gelen verilerin toplanması, analizi ve raporlanması için yazılım çözümlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Sensörler, inşaat profesyonellerinin bilinçli kararlar almasına yardımcı olur ve yapıların sürdürülebilirliğini, dayanıklılığını ve güvenliğini artırır.

2.4.8 Sanal ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

Sanal Gerçeklik (VR), kullanıcıları tamamen sanal bir ortama yerleştiren, bilgisayar teknolojisiyle oluşturulmuş bir simülasyondur. Bu teknoloji, kullanıcıların gerçek dünya dışında bir ortamda etkileşimde bulunmalarını sağlar ve genellikle başa takılan gözlükler, özel eldivenler veya diğer cihazlar aracılığıyla deneyimlenir. Sanal gerçeklik, kullanıcıya üç boyutlu, 360 derecelik bir görüntü ve ses ortamı sunarak gerçekçi bir deneyim sağlamayı amaçlar (Burdea & Coiffet, 2003).

Sanal gerçeklik uygulamaları;

- VR, tıp, mühendislik ve askeri eğitimde kullanılır. Örneğin, cerrahi simülasyonlar, tıp öğrencilerine gerçek ameliyatlara öncesi pratik yapma imkanı sunar (Ruthenbeck & Reynolds, 2015).
- VR, binaların ve şehir planlarının 3D modellenmesinde kullanılır. Bu teknoloji, projelerin görselleştirilmesini ve tasarım aşamasında daha iyi karar verilmesini sağlar (Whyte, 2007).
- Video oyunları ve eğlence sektörü, VR teknolojisini geniş ölçüde kullanmaktadır. Kullanıcılar, tamamen sanal bir dünyada oyun oynayabilir veya etkileşimde bulunabilir (Sherman & Craig, 2003).
- VR, fobilerin ve PTSD'nin tedavisinde kullanılmaktadır. Sanal ortamlar, kontrol edilebilir ve güvenli bir şekilde terapi seansları için kullanılır (Rizzo & Koenig, 2017).
- VR, ürün tasarımı ve prototipleme süreçlerinde kullanılır. Bu sayede, gerçek dünyada üretim yapmadan önce ürünlerin sanal modelleri test edilebilir (Choi, et al., 2015).

Sanal gerçeklik, çok çeşitli sektörlerde uygulamalar sunarak, gerçek dünya deneyimlerini taklit etme veya tamamen yeni deneyimler yaratma konusunda benzersiz fırsatlar sağlar. Bu teknoloji, kullanıcıların gerçeğe yakın deneyimler yaşamalarını sağlayarak eğitimden tedaviye, tasarımdan eğlenceye kadar geniş bir yelpazede kullanılır.

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality, AR), gerçek dünya ortamına dijital bilgilerin veya nesnelerin eklenmesi teknolojisidir. Bu teknoloji, gerçek dünyanın üzerine sanal bilgileri veya görüntüleri bindirerek kullanıcıların gerçek ve sanal dünyaları bir arada deneyimlemelerini sağlar. AR, bilgiyi gerçek zamanlı olarak görselleştirir ve çeşitli alanlarda kullanıcı deneyimini zenginleştirmek için kullanılır (Azuma, 1997).

Artırılmış gerçeklik uygulamaları;

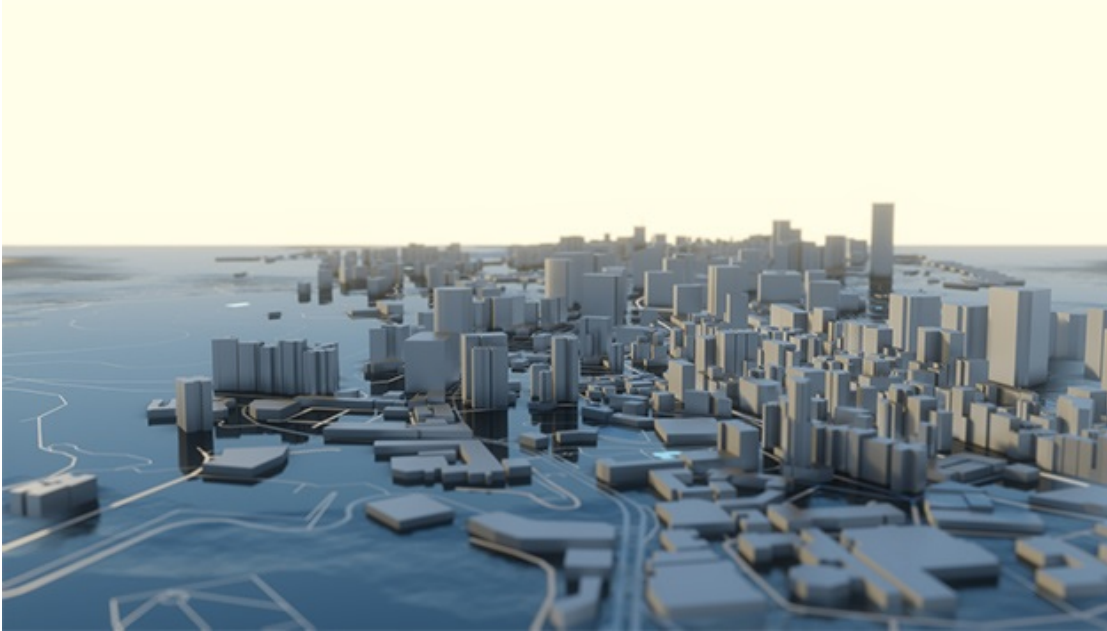
- AR, öğrencilere interaktif ve görsel olarak zengin öğrenme deneyimleri sunar. Tarih, biyoloji ve coğrafya gibi derslerde kullanılarak, konuları daha anlaşılır hale getirir (Billinghurst, 2002).

- Mimari tasarımların ve inşaat projelerinin 3D modellemesinde kullanılır. AR, tasarımcıların ve müşterilerin projeleri daha iyi anlamasını ve değişiklikleri gerçek zamanlı olarak görmesini sağlar (Shin & Dunston, 2008).
- Tıbbi eğitim, cerrahi simülasyon ve hasta bakımında kullanılır. Örneğin, cerrahlar AR sayesinde karmaşık ameliyatlara daha iyi planlayabilir ve gerçekleştirebilir (Kamphuis et al., 2014).
- AR, müşterilere ürünleri sanal olarak deneme imkanı sunar. Mobilya satın alımında, ürünlerin evdeki yerleşimi sanal olarak gösterilebilir (Javornik, 2016).
- AR, oyun ve eğlence dünyasında yeni deneyimler sunar. Örneğin, Pokémon Go oyunu, oyuncuların gerçek dünyada sanal karakterleri yakalamasını sağlar (Paavilainen et al., 2017).

Artırılmış gerçeklik teknolojisi, kullanıcılara gerçek dünyayla etkileşimli ve zenginleştirilmiş deneyimler yaşatır.

2.4.8.1 3D Modelleme ve Simülasyonlar

3D modelleme ve simülasyon, gerçek veya hayali nesnelere ve ortamları üç boyutlu dijital ortamda tasarlamak ve bu modeller üzerinde çeşitli testler ve analizler yapmak için kullanılan teknolojilerdir.



Şekil 2.28: 3D model örneği.

3D modelleme, nesnelere veya ortamları üç boyutlu dijital formatta oluşturmaya imkan verir. Bu süreç, bilgisayar yazılımları kullanılarak gerçekleştirilir ve modelin şekli, boyutu ve doku özellikleri gibi parametrelerin tanımlanmasını içerir (Döllner & Hagedorn, 2007).

3D simülasyon ise, oluşturulan 3D modeller üzerinde gerçek dünya koşullarını taklit eden testler ve analizler yapılmasını sağlar. Simülasyonlar, modellerin fiziksel tepkilerini, hareketlerini ve diğer etkileşimlerini gerçek zamanlı olarak gösterir (Law & Kelton, 2007). Bu teknikler, birçok farklı alanda, özellikle mimarlık, mühendislik, oyun tasarımı ve film yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Mimarlık ve inşaat uygulamalarında, yapıların ve şehir planlarının tasarımı, ışıklandırma, havalandırma ve enerji analizleri için kullanılır (Eastman et al., 2011).
- Mühendislik ve üretim uygulamalarında, ürün tasarımı, prototipleme ve test süreçlerinde önemli bir rol oynar (Narayan et al., 2008).
- Oyun ve eğlence endüstrisi ile ilgili uygulamalarda, video oyunları ve animasyon filmlerin oluşturulmasında kullanılır (Urbain, 2010).
- Tıbbi simülasyon ve eğitimlerde, cerrahi simülasyonlar ve tıbbi eğitimde, gerçekçi ve risk içermeyen ortamlar sağlar (Satava, 2008).

3D modelleme ve simülasyonların farklı sektörlerde kullanımının sağladıklarına örnek verilebilir. 3D modelleme ve simülasyonlar, tasarım ve analiz süreçlerini dijitalleştirerek, daha hızlı ve etkili karar verme, riskleri azaltma ve maliyetleri düşürme gibi avantajlar sağlar. Bu teknolojiler, gerçek dünyadaki karmaşık problemleri anlamak ve çözmek için değerli araçlardır.

İnşaat sektöründe, 3D modelleme ve simülasyonların önemi, projelerin tasarım, planlama ve uygulama aşamalarında giderek artmaktadır. Özellikle Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojilerinin geliştirilmesi, inşaat projelerinin daha etkileşimli ve gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesine imkan tanımıştır. Kısacası, 3D modelleme ve simülasyonların, VR ve AR teknolojileriyle birleşerek inşaat sektörüne kattığı değer, projelerin hem maliyet etkinliğini hem de başarı oranını artırır.

2.4.8.2 İnteraktif Sanal Tur ve Sunumlar

İnteraktif sanal tur, kullanıcılara sanal bir ortamda gezinme imkanı tanıyan, genellikle 360 derece fotoğraf veya video kullanılarak oluşturulan bir dijital deneyimdir. Bu turlar, kullanıcıların sanal ortamda serbestçe hareket etmelerine, belirli nesnelere veya alanlara odaklanmalarına ve çeşitli etkileşimlerde bulunmalarına olanak tanır. İnteraktif sanal sunumlar ise, bilgi ve içeriklerin interaktif ve görsel olarak zengin bir biçimde sunulduğu dijital sunumlardır (Yung & Khoo-Lattimore, 2019).



Şekil 2.29: 3D sanal tur videolarının hazırlanması.

İnteraktif sanal turların özellikleri;

- Fotoğraflar veya videolar, bir mekanın veya alanın tamamını göstermek üzere 360 derece açıyla çekilir.
- Kullanıcılar, tur esnasında farklı noktalara tıklayarak veya sanal ortamda hareket ederek bilgi edinebilirler.
- Ses, metin, fotoğraf veya videolar gibi çeşitli medya türleri entegre edilebilir (Guttentag, 2010).

İnteraktif sanal sunumların özellikleri;

- Sunumlar, katılımcıların etkileşime geçebilecekleri dinamik içerikler içerir.
- Grafikler, videolar, animasyonlar ve hiperlinkler gibi farklı medya biçimleri kullanılır.
- Katılımcılar, sunum sırasında anketlere katılım, yorum yapma veya soru sorma gibi etkileşimlerde bulunabilirler (Huang & Liao, 2010).

şeklinde detaylandırılabilir.

Bu teknolojiler, eğitimden pazarlamaya kadar geniş bir yelpazede uygulama bulur ve kullanıcıların ilgisini çekerek daha derin bir anlayış ve katılım sağlar.

İnteraktif sanal tur ve sunumların uygulama alanlarını incelediğimizde;

- Emlak ve gayrimenkul sektöründe, potansiyel alıcılar veya kiracılar, fiziksel ziyaret yapmadan önce gayrimenkulü sanal olarak gezebilirler.
- Turizm ve otelcilik sektöründe, oteller ve turistik yerler, ziyaretçilere mekanları sanal olarak deneyimleme imkanı sunar.
- Eğitim ve öğretimde, öğrencilere sanal geziler aracılığıyla eğitici deneyimler sunulabilir.
- Kurumsal sunumlarda, işletmeler, ürünlerini veya hizmetlerini interaktif ve görsel olarak zengin sunumlarla tanıtabilir.

İnşaat sektöründe interaktif sanal turlar ve sunumlar, projelerin planlama ve geliştirme aşamalarında etkili bir iletişim ve görselleştirme aracı olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, müşterilere, yatırımcılara ve proje ekiplerine, inşaat projelerinin daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlar ve gerçekleştirilmeden önce projelerin detaylarını gözden geçirme imkanı sunar.

İnteraktif sanal turlar ve sunumlar, kullanıcılara zengin ve etkileşimli bir dijital deneyim sunarak, bilgi edinmeyi ve keşfetmeyi daha çekici ve etkili hale getirir. Bu teknolojiler, eğitimden pazarlamaya kadar geniş bir yelpazede uygulama bulur ve kullanıcıların ilgisini çekerek daha derin bir anlayış ve katılım sağlar.

3. SANAL VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI

Bu bölümde VR ve AR uygulamalarının teknolojik gelişimini, kullanılan teknolojileri ve çeşitli uygulama alanlarını detaylandırmaktadır. Bu iki teknolojinin entegrasyonunu ile ortaya çıkan Karma Gerçeklik (MR) ve bu teknolojinin kullanıldığı alanlara olan etkisini sunmaktadır.

3.1 Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - VR)

VR, kullanıcıları tamamen sanal bir dünyaya yerleştiren, gerçek dünya deneyimlerini taklit eden veya tamamen yeni deneyimler yaratan bir bilgisayar teknolojisidir. Bu teknoloji, kullanıcıların gerçek dünya dışında bir ortamda etkileşimde bulunmalarını sağlar ve genellikle başa takılan gözlükler (VR headset), özel eldivenler veya diğer cihazlar aracılığıyla deneyimlenir. VR, kullanıcıya üç boyutlu, 360 derecelik bir görüntü ve ses ortamı sunarak gerçekçi bir deneyim sağlamayı amaçlar (Sherman & Craig, 2003).

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin tarihçesi, 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanır ve zaman içinde çeşitli teknolojik ve konseptüel gelişmelerle şekillenmiştir. İlk başlarda bilimkurgu fikirleri ve askeri simülasyonlar olarak ortaya çıkan VR, zamanla tüketici elektroniği ve eğitim gibi çeşitli alanlarda kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir.

Sanal gerçekliğin gelişim sürecine daha yakından baktığımızda; ilk dönemlerde, ‘‘Sensorama’’ cihazı (1962) Morton Heilig’in tasarladığı, kullanıcılara tam bir duyuşal deneyim sunan erken bir VR sistemi olarak ortaya çıkmıştır. Bu cihaz, filmler, ses, titreşim ve hatta koku gibi çeşitli duyuşal uyarınları bir araya getirmiştir (Heilig, 1962). Başa takılan gözlüklerin (HMD) gelişimi; Sword of Damocles (1968) Ivan Sutherland ve öğrencileri tarafından geliştirilen, başa takılan ilk VR gözlüğü ile başlamıştır. Bu sistem, kullanıcılara basit tel kafes modellemeleri sunmuştur (Sutherland, 1968). 1980'ler ve 1990'lara geldiğimizde ticarileşmenin etkileriyle VPL Research (1985) Jaron Lanier tarafından kuruldu. DataGlove ve EyePhone gibi VR donanımlarını gelişimine öncülük etti. Bu dönemde VR, özellikle oyun ve eğlence sektöründe popülerlik kazanmıştır (Lanier & Biocca, 1992). 2000'li yıllarda gelişen teknoloji ve genişleyen uygulamalar ile Google Street View (2007) kullanıcılara 360 derece sanal dünya turu sunarak VR teknolojisini daha geniş bir kitleye ulaştırmıştır (Anguelov et al., 2010). Oculus Rift (2012) VR tarafından geliştirilmiş, modern VR teknolojisinin öncüsüdür. Oyun ve eğitim dünyasında

kendine geniş kullanım alanları bulmuştur (Oculus VR, 2012). Günümüze gelindiğinde, VR teknolojisi, sürekli gelişmekte olup, tıp, eğitim, mimarlık ve sanat gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Mazuryk & Gervautz, 1996).

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin inşaat sektöründe kullanımı, özellikle 21. yüzyılın başlarından itibaren hız kazanmıştır. Başlangıçta tasarım ve görselleştirme amaçlı kullanılan VR, zamanla inşaat sektörünün çeşitli alanlarında etkili bir araç haline gelmiştir. VR teknolojisinin inşaat sektöründe ilk kullanımı, temelde mimari görselleştirme ve müşteri sunumları ile sınırlıydı. Mimarlar ve mühendisler, bina tasarımlarını daha etkili bir şekilde sunmak ve müşteri geri bildirimlerini almak için VR'yi kullanıyorlardı (Whyte, 2007). 2000'lerin ortalarından itibaren VR, tasarım ve planlama süreçlerinde daha etkin olarak kullanılmaya başlandı. Bu dönemde, BIM teknolojileri ile entegrasyonu, VR'yi daha işlevsel hale getirdi (Eastman, 2011) VR teknolojisinin inşaat sektöründeki kullanımı, planlama, tasarım ve eğitim süreçlerini iyileştirerek sektördeki dijital dönüşümü hızlandırdı.

3.1.1 Sanal Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi, kullanıcılara daldırıcı bir deneyim sunmak için çeşitli bileşenleri ve teknolojileri bir arada kullanır. Bu teknolojiler, kullanıcıların sanal ortama etkili bir şekilde daldırılmasını ve gerçekçi bir deneyim elde etmelerini sağlar. Sanal gerçeklikte kullanılan temel teknolojiler;

- Başa takılan gözlükler (HMD - Head-Mounted Display)
- Hareket takibi (Motion Tracking) Sistemleri
- Kontrol cihazları (Controllers)
- Ses sistemleri
- Grafik renderlama yazılımlarıdır.

Bu teknolojileri ve bunların işlevlerini detaylı incelersek;

HMD: VR deneyiminde en önemli bileşenlerden biridir. HMD kullanıcıların VR ortamına daldırılmasını sağlayan cihazlardır. Bu gözlükler, kullanıcının baş hareketlerini takip eder ve buna uygun olarak iki ayrı göz için üretilen görüntüleri gösterir. Kullanıcının gözlerine doğrudan iki ayrı görüntü göndererek derinlik hissi yaratır (Sherman & Craig, 2003). Bu sayede, kullanıcılar üç boyutlu, etkileşimli bir sanal ortamda kendilerini bulur. HMD'ler

genellikle yüksek çözünürlüklü ekranlar, hareket takibi sensörleri ve bazen de entegre ses sistemleri içerir (Sherman & Craig, 2003). Gelişmiş HMD'ler, geniş görüş alanı ve yüksek çözünürlük sunarak daha gerçekçi bir deneyim sağlar (Burdea & Coiffet, 2003).

Hareket Takibi Sistemleri: Kullanıcıların fiziksel hareketlerini algılayan ve bu hareketleri dijital veriye dönüştüren teknolojilerdir. Kullanıcı hareketlerini algılar ve bu hareketleri sanal ortamda gerçek zamanlı olarak yansıtırlar. (Bowman & McMahan, 2007). Hareket takibi, baş ve el hareketlerinin yanı sıra, vücudun diğer bölümlerinin hareketlerini de algılayabilir. Bu sistemler, genellikle sensörler, kamera sistemleri ve yazılımlar kullanarak çalışır. Hareket takibi sistemleri, sensör tabanlı takip sistemleri, optik takip sistemleri, hibrit takip sistemleri olarak özelliklerine göre ayrılırlar.

Sensör tabanlı takip sistemlerinde, giyilebilir sensörler veya eldivenler, kullanıcının el ve vücut hareketlerini algılar ve bu verileri sanal veya artırılmış gerçeklik ortamına aktarır (Bowman & McMahan, 2007). Optik takip sistemleri, kamera bazlı sistemlerdir. Kullanıcının hareketlerini 3D olarak algılar ve bu verileri gerçek zamanlı olarak işler. Optik sistemler, genellikle yüksek doğruluk ve zamandan tasarruf sunar (Azuma et al., 2001). Hibrit takip sistemleriyse bu iki takip sisteminin birleşimi ile ortaya çıkan takip sistemleridir. Daha kapsamlı ve doğru hareket takibi sağlar. Bu sistemler, karmaşık hareketleri daha etkin bir şekilde takip edebilir (Zhou et al., 2008).

Kontrol Cihazları: VR ve AR ortamlarında kullanıcı etkileşimini sağlayan araçlardır. Bu cihazlar, kullanıcıların sanal veya artırılmış gerçeklik ortamlarında nesnelere etkileşimde bulunmalarını, ortamı keşfetmelerini ve çeşitli görevleri gerçekleştirmelerini mümkün kılar. Eldivenler ve el kontrol cihazları, joystickler ve gamepadler, hareket algılama cihazları, yaygın kullanılan cihazlara örnek verilebilir.

Ses Sistemleri: VR ve AR ortamlarında kullanıcı deneyimini zenginleştiren önemli bileşenlerdendir. Bu sistemler, mekansal ses efektleri ve 3D ses teknolojisi kullanarak, kullanıcılara gerçekçi ve sürükleyici bir ses deneyimi sunar. İnşaat sektöründe, ses sistemleri VR ve AR uygulamalarında kullanılarak, eğitim, tasarım görselleştirme ve işbirliği süreçlerini iyileştirebilir. 3D ses teknolojisi, sesleri kullanıcının bulunduğu konuma ve yöne göre ayarlayarak, gerçekçi bir ses deneyimi sağlar (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Mekansal ses efektleri, kullanıcının sanal ortamdaki konumuna göre değişir

ve daha gerçekçi bir ortam algısı oluşturur. VR başlıklarında ve AR gözlüklerinde bulunan entegre ses sistemleri, kullanıcılara kablosuz ve pratik bir ses deneyimi sunar (Sherman & Craig, 2003). Eğitim ve rehberlik uygulamalarında kullanılan sesli yönlendirmeler, kullanıcılara adım adım talimatlar sunar ve etkileşimi artırır (Bowman & McMahan, 2007).

Grafik Renderlama Yazılımları: 3D modelleri ve sahneleri görsel olarak gerçekçi görüntülere dönüştüren programlardır. Bu yazılımlar, karmaşık matematiksel algoritmalar ve bilgisayar grafikleri tekniklerini kullanarak, ışıklandırma, gölgeleme, dokular ve diğer görsel efektlerle zenginleştirilmiş detaylı görseller oluşturur. Renderlama yazılımları, gerçekçi ışıklandırma, malzeme dokuları ve çevresel efektler sağlayarak, 3D modellerin fotogerçekçi görsellerini üretir (Wang et al., 2018). Ray tracing, global aydınlatma ve HDR (High Dynamic Range) renderlama gibi teknikler, görsellerin daha gerçekçi ve detaylı olmasını sağlar (Kerlow, 2009). Bazı modern renderlama yazılımları, gerçek zamanlı renderlama yeteneğine sahiptir, bu da tasarım süreçlerinde hızlı ve etkileşimli değişikliklere olanak tanır (Akenine-Möller et al., 2008).



Şekil 3.1: VR teknolojik bileşenleri.

Bu teknolojik bileşenlerin kombine edilmesi, kullanıcılara unutulmaz VR deneyimleri sunar, kullanıcıların sanal ortamda gerçekçi deneyimler yaşamasına olanak sağlar. Ancak sanal gerçeklik teknolojisi sürekli olarak evrilmekte olup, bu bileşenlerin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

VR teknolojilerinin kullanım alanlarını ve faydalarını incelersek;

- Eğitim ve öğretimde VR, öğrencilere interaktif ve daldırıcı öğrenme deneyimleri sunar. Özellikle tıp eğitiminde, cerrahi simülasyonlar ve anatomik eğitim için sıkça kullanılır (Ruthenbeck & Reynolds, 2015).
- Sağlık ve tıpta, fizik tedavi ve rehabilitasyonda, hastaların motor becerilerini ve koordinasyonlarını geliştirmek için VR teknolojileri kullanılır. Ayrıca, psikolojik bozuklukların tedavisinde de kullanılır, örneğin, fobilerin ve PTSD'nin tedavisinde (Rizzo & Koenig, 2017).
- Oyun ve eğlence sektöründe, VR teknolojisi, büyük popülerlik kazanmıştır. Özellikle, Oculus Rift, HTC Vive ve Sony PlayStation VR gibi cihazlar, kullanıcılara sürükleyici bir oyun deneyimi sunar (Slater & Sanchez-Vives, 2016).
- Mimari tasarım ve inşaat planlamada, VR teknolojisi proje görselleştirmesi ve tasarım değerlendirme süreçlerinde etkili bir araç olarak kullanılır. Bu, müşteriler ve proje ekipleri için interaktif ve gerçekçi bir tasarım incelemesi sunar (Wang et al., 2018).
- Endüstriyel tasarım ve üretimde, VR, mühendislere ve tasarımcılara gerçek bir prototip üretmeden önce ürünlerini görselleştirme ve test etme imkanı sunar (Ritchie et al., 1999).

Ancak, VR teknolojilerinin kullanımının önünde bazı zorluklar vardır. Bu zorluklar, hem teknik hem de kullanıcı kabulü ile ilgili çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Söz konusu zorluklar, VR teknolojisinin yaygınlaşmasını ve farklı sektörlerde etkin bir şekilde kullanılmasını sınırlayabilir. VR donanımı ve yazılımının yüksek maliyeti, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için bir engel oluşturabilir. Bu, VR teknolojisinin yaygın olarak benimsenmesini sınırlar (Sampaio et al., 2010). Mevcut VR teknolojileri, sınırlı çözünürlük, kısıtlı alan algılama ve gecikme süreleri gibi teknik sınırlamalara sahiptir. Bu durum, kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyebilir (Wang et al., 2018). Kullanıcıların yeni teknolojilere uyum sağlaması ve VR'yi etkin bir şekilde kullanması zaman alabilir. Ayrıca, bazı kullanıcılar VR teknolojisini kullanırken rahatsızlık veya denge sorunları yaşayabilir (Ganbat et al., 2016). VR teknolojisini etkin bir şekilde kullanabilmek için gerekli olan beceri ve eğitimin eksikliği, teknolojinin kullanımını sınırlayabilir (Fang et al., 2014). Uzun süreli VR kullanımı baş dönmesi, bulantı ve göz yorgunluğu gibi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu durum, bazı kullanıcıların VR'yi tercih etmemesine neden olabilir (Sherman & Craig, 2003).

Buna rağmen, VR teknolojisinin gelişimi, son yıllarda hız kazanmış olup, başlangıçta basit simülasyonlardan günümüzdeki son derece gelişmiş ve daldırıcı deneyimlere kadar uzanan bir yol kat etmiştir. Bu gelişim, hem donanım hem de yazılım alanlarında önemli ilerlemeleri içermektedir.

3.1.2 İnşaat Sektöründe Sanal Gerçekliğin Kullanım Alanları

İnşaat sektöründe sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin kullanım alanları, proje planlamasından eğitime, müşteri etkileşimlerinden güvenlik uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. VR teknolojisi, inşaat projelerinin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur. İnşaat sektöründe VR'ın başlıca kullanım alanları;

- Proje görselleştirme ve sunumu
- Tasarım değerlendirme ve karar alma süreçleri
- Eğitim ve güvenlik eğitimleri
- İnşaat yönetimi ve iş akışı optimizasyonu
- Müşteri etkileşimi ve satış süreçleri

Proje Görselleştirme ve Sunumu: Proje görselleştirme ve sunumlarında sanal gerçeklik (VR) teknolojilerinin kullanımı, mimarlık ve inşaat sektörlerinde giderek yaygınlaşmaktadır. VR, projelerin daha etkileşimli ve gerçekçi bir şekilde sunulmasını sağlayarak, tasarım süreçlerini iyileştirmekte ve müşteri katılımını artırmaktadır. VR, 3D modellemeleri ve mimari tasarımları, kullanıcılara gerçekçi bir ortamda sunar. Bu teknoloji, binaların ve yapıların detaylı iç ve dış görünüşlerini, gerçek boyut ve ölçeklerle görselleştirmeye olanak tanır, böylece müşterilere ve yatırımcılara projeler hakkında detaylı ve gerçekçi bir sunum yapılabilir (Dukyil et al., 2018). Kullanıcılar, VR ortamında projeleri keşfedebilir ve çeşitli tasarım seçeneklerini gerçek zamanlı olarak görebilirler. Bu, proje üzerindeki değişikliklerin etkilerini anında gözlemlemeye ve daha bilinçli kararlar almaya yardımcı olur (Sampaio et al., 2010). Müşteriler, VR aracılığıyla tasarlanan alanları deneyimleyerek, projeler hakkında daha derin bir anlayış kazanabilir ve geri bildirimlerini doğrudan sunabilirler. Bu, müşteri memnuniyetini artırır ve tasarım sürecine değerli katkılarda bulunur (Fidan et al., 2019). Bu teknoloji, etkileyici sunumlar ile projelerin pazarlanmasında ve satış süreçlerinde önemli bir rol oynar (Gouda et al., 2017).

Tasarım Değerlendirme ve Karar Alma Süreçleri: Tasarım değerlendirme ve karar alma süreçlerinde sanal gerçeklik (VR) teknolojileri, tasarım görselleştirme ve değerlendirme, kullanıcı deneyimi testleri, karar alma sürecinin hızlandırılması, uzaktan işbirliği ve toplantılar, maliyet ve zaman tasarrufu gibi alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır. VR, tasarımcıların ve paydaşların 3D modelleri gerçek zamanlı olarak incelemesine olanak tanır, bu da daha etkili değerlendirmelere yol açar (Greenfield & Brown, 2021). Kullanıcı deneyimi testleri, VR aracılığıyla tasarlanan mekan veya ürünlerin gerçek kullanım senaryolarında nasıl performans göstereceğini önceden görmeyi sağlar (Liu, 2022). Ayrıca, VR, tasarım değişikliklerinin hızlı bir şekilde uygulanmasını ve değerlendirilmesini sağlayarak karar alma sürecini hızlandırır (Elboudali et al., 2020). Farklı coğrafi konumlardaki ekipler, VR sayesinde aynı sanal ortamda bir araya gelerek etkileşimde bulunabilir. Son olarak, fiziksel prototiplerin yerine VR prototipleri kullanmak, maliyet ve zaman açısından büyük tasarruflar sağlar.

Eğitim ve Güvenlik Eğitimleri: Eğitim ve güvenlik eğitimlerinde sanal gerçeklik (VR) teknolojilerinin kullanımı;

- Eğitimde immersif öğrenme deneyimleri; VR, öğrencilere gerçek dünyayı taklit eden, ancak fiziksel riskleri olmayan bir öğrenme ortamı sunar. Bu, öğrencilerin karmaşık kavramları ve işlemleri uygulamalı olarak deneyimlemelerini sağlar, böylece öğrenme etkinliğini artırır (Johnson & Thompson, 2022).
- Güvenlik eğitimi için simüle edilmiş senaryolar; VR, acil durumlar, yangın tahliye prosedürleri ve diğer güvenlik protokollerini güvenli bir şekilde simüle etme imkanı sunar. Bu simülasyonlar, pratik yapma ve becerileri geliştirme fırsatı sağlar (Martinez & Gupta, 2023). İnşaat işçileri için gerçekleştirilen güvenlik eğitimleri ve mesleki beceri geliştirme programları, VR ortamlarında daha etkili ve etkileşimli hale getirilebilir (Fidan et al., 2019).
- Tıbbi ve ilk yardım eğitimi; Tıbbi prosedürler ve ilk yardım teknikleri, VR aracılığıyla risk almadan öğrenilebilir. Bu teknoloji, öğrencilere gerçekçi cerrahi simülasyonlar ve acil durum senaryoları sunar.
- Mesleki ve teknik eğitim; VR, öğrencilere mühendislik, mimarlık ve diğer teknik alanlarda pratik ve uygulamalı deneyimler sağlar. Bu, öğrencilerin karmaşık makineleri ve sistemleri anlamalarına yardımcı olur (Greenfield & Brown, 2021).

- Dil Öğreniminde Sanal İmmersiyon: VR, öğrencilere yeni bir dil öğrenirken kültürel immersiyon ve gerçekçi dil pratikleri sunar. Bu, dil öğrenimini daha etkili ve eğlenceli hale getirir.

Eğitim ve güvenlik eğitimlerinde VR teknolojilerinin kullanımı, öğrenme süreçlerini dönüştürme potansiyeline sahip birçok fayda sunmaktadır.

İnşaat Yönetimi ve İş Akışı Optimizasyonu: İnşaat yönetimi ve iş akışı optimizasyonu, inşaat projelerinin daha etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi ve gerçekleştirilmesi için kritik öneme sahip konulardır.

İnşaat yönetimi; inşaat projelerinin planlama, koordinasyon ve kontrol süreçlerini kapsar. Bu, proje başlangıcından tamamlanmasına kadar olan tüm aşamaları içerir (Walker, 2015). Projenin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanması, kalite standartlarına uygunluğu ve güvenlik yönetimi gibi konular inşaat yönetiminin temel unsurlarıdır (Kerzner, 2017).

İş akışı optimizasyonu; inşaat projelerindeki iş süreçlerinin verimliliğini artırmayı hedefler. Bu, kaynakların en iyi şekilde kullanılması, süreçlerin akıcı ve etkili olması için gerekli düzenlemelerin yapılmasını içerir (Schwalbe, 2018). İş akışı optimizasyonu, proje yönetimi yazılımları, otomasyon araçları ve iş süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi yoluyla gerçekleştirilebilir (Burke, 2013).

VR teknolojileri, inşaat yönetiminde yeni ve etkili yöntemler sunarak, projelerin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır. VR, inşaat projelerinin yönetiminde ve iş akışı planlamasında proje ekipleri arasında daha iyi koordinasyon ve işbirliği sağlar (Gouda et al., 2017).

Müşteri Etkileşimi ve Satış Süreçleri: Müşteri etkileşimi ve satış süreçlerinde sanal gerçeklik (VR) teknolojilerinin kullanımı, müşterilerle daha etkili bir şekilde bağlantı kurulmasını ve satış deneyimlerinin iyileştirilmesini sağlar.

VR, müşterilere ürünleri ve hizmetleri üç boyutlu bir ortamda deneyimleme imkanı sunar. Bu, özellikle karmaşık veya özelleştirilebilir ürünler için etkilidir. VR, coğrafi sınırlamaları aşarak müşterilere uzaktan etkileşim ve ürün tanıtımı imkanı sunarak, geniş bir müşteri kitlesine ulaşmayı ve uzaktan satış yapmayı kolaylaştırır. Müşterilere kişiselleştirilmiş

alışveriş deneyimleri sunarak, müşteri memnuniyetini ve sadakatini artırır (Elboudali et al., 2020). Satış personelinin eğitimi ve ürün tanıtımları için etkili bir araçtır. Satış ekipleri, VR aracılığıyla ürünlerin özelliklerini ve avantajlarını daha etkili bir şekilde öğrenebilir ve sunabilirler. Marka imajını güçlendirmek ve müşteriler arasında uzun vadeli bağlılık oluşturmak için kullanılabilir. Müşteriler, VR deneyimleri aracılığıyla markalarla daha derin bir bağ kurabilir (Hur et al., 2011). Potansiyel alıcılar, henüz inşa edilmemiş yapıları VR aracılığıyla ziyaret edebilir ve böylece satın alma kararlarını daha bilinçli bir şekilde verebilirler (Whyte, 2007).

Sonuç olarak, VR teknolojisinin sağladığı avantajlar, inşaat sektörünün geleceğinde VR'nin önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. Bu bağlamda, VR teknolojilerinin inşaat sektöründe daha yaygın ve stratejik bir şekilde kullanılması, sektörün verimliliğini, güvenliğini ve genel başarısını önemli ölçüde iyileştirecektir.

3.2 Arttırılmış Gerçeklik (Augmented Reality - AR)

Arttırılmış gerçeklik (Augmented Reality - AR), gerçek dünya ortamına dijital bilgilerin veya nesnelerin eklenmesi yoluyla kullanıcıların çevresini zenginleştiren bir teknolojidir. AR, kamera ve sensörler, işlemci gücü, görselleştirme yazılımları ve ekran teknolojileri gibi bileşenler kullanarak, gerçek dünya görüntülerinin üzerine sanal bilgiler yerleştirir (Azuma, 1997). Böylece kullanıcıların etkileşimde buldukları çevreyi geliştirir. Kullanıcının çevresine ilişkin algısını değiştirir, genişletir veya zenginleştirir (Azuma, 1997). AR, mobil cihazlar, tabletler, başa takılan gözlükler ve diğer cihazlar aracılığıyla kullanılabilir. AR teknolojilerinin gelişimi, daha etkileşimli ve gerçekçi kullanıcı deneyimleri yaratma potansiyeline sahiptir. Bu, özellikle 5G ve yapay zeka gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile mümkün olacaktır (Lee et al., 2018).

AR teknolojisinin tarihçesi, 20. yüzyılın ortalarına dayanır ve bu alanda birçok önemli gelişme yaşanmıştır. AR teknolojisinin temelleri, 1960'larda Ivan Sutherland tarafından atıldı. Sutherland, "The Sword of Damocles" adlı cihazı geliştirerek, dünyanın ilk başa takılan ekranını (head-mounted display - HMD) yarattı (Sutherland, 1968). 1990'ların başında, Boeing şirketi, uçak kablolarının montajında AR teknolojisini kullanarak işçilere montaj talimatlarını görsel olarak sağlamaya başladı (Thomas & David, 1992). 2000'li yılların başından itibaren, AR teknolojisi ticari ve eğlence alanlarında daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. Özellikle reklamcılık ve perakende sektörlerinde, AR,

kullanıcı deneyimini zenginleştirmek için kullanıldı (Azuma et al., 2001). 2010'lu yıllarda, akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla birlikte mobil AR uygulamaları popüler hale geldi. Bu dönemde, ARKit (Apple) ve ARCore (Google) gibi geliştirme platformları sayesinde, geliştiriciler çeşitli AR uygulamaları oluşturabildi (Schmalstieg & Hollerer, 2016). Son yıllara gelindiğinde ise, Microsoft HoloLens ve Magic Leap gibi gelişmiş AR gözlükleri piyasaya sürüldü. Bu cihazlar, gelişmiş görüntü işleme ve 3D algılama teknolojileri kullanarak, daha etkileşimli ve gerçekçi AR deneyimleri sunmaya başladı (Bimber & Raskar, 2005).

AR, teknolojilerinin genel özellikleri;

AR gerçek ve sanal dünyayı birleştirerek, gerçek dünya görüntülerini dijital görsellerle birleştirir. Kullanıcının etrafındaki ortamı zenginleştirir. Böylece, kullanıcının hem gerçek dünyayı hem de sanal nesnelere aynı anda deneyimlemesini sağlar (Milgram & Kishino, 1994).

Gerçek zamanlı etkileşim, kullanıcıların veya sistemlerin, olaylar gerçekleştikçe anında tepki verme ve iletişimde bulunma yeteneğidir. Bu tür etkileşimler, özellikle dijital teknolojiler ve iletişim ağları sayesinde giderek daha yaygın hale gelmiştir. Gerçek zamanlı etkileşimin sağlanması, çeşitli teknolojik altyapılar ve yazılım çözümleri gerektirir. Gerçek zamanlı etkileşim, anlık mesajlaşma, canlı video konferanslar ve çevrimiçi oyunlar gibi çeşitli platformlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu platformlar, hızlı veri aktarımı ve düşük gecikme süreleri için optimize edilmiş ağ altyapılarına dayanır (Tanenbaum & Wetherall, 2011). Gerçek zamanlı etkileşimin sağlanması için yazılım ve algoritmalarda, veri işleme ve iletim hızını artıracak şekilde optimizasyonlar yapılır. Bu, kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve iletişim gecikmelerini en aza indirmek için önemlidir (Stallings, 2011). 5G gibi yeni nesil kablosuz ağ teknolojileri, bu alanda önemli gelişmeler sunmaktadır (Sauter, 2017). Gerçek zamanlı etkileşim, kullanıcı arayüzü tasarımında da dikkate alınır. Kullanıcıların hızlı ve etkili bir şekilde etkileşimde bulunabilmeleri için sezgisel ve yanıt veren arayüzler geliştirilir (Carroll & Rosson, 2014).

3D algısı, üç boyutlu uzaydaki nesnelere konumunu, derinliğini ve ilişkilerini algılama yeteneğidir. Bu algı, insan gözünün ve beyninin birlikte çalışmasıyla gerçekleşir ve teknolojiye de çeşitli uygulamalar bulur. Teknolojik açıdan, 3D algısı genellikle kamera sistemleri, sensörler ve yazılım algoritmaları kullanılarak sağlanır. 3D algısı, VR ve AR

uygulamalarında kullanılır. Bu, kullanıcıların sanal ortamlarda veya gerçek dünyanın üzerine yerleştirilen sanal nesnelere etkileşimde bulunmalarını sağlar. AR, genellikle 3 boyutlu nesnelere gerçek dünya ortamında gösterme kabiliyetine sahiptir. Bu, kullanıcının derinlik algısı oluşturmaya ve sanal nesnelere daha doğal bir etkileşim kurmasına olanak tanır (Huang & Liao, 2010).

3D algısı, otomotiv endüstrisinde ve robotikte, 3D algı, LiDAR ve radar gibi sensörler kullanılarak sağlanır. Bu, otonom araçların ve robotların çevrelerini algılamasını ve güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlar (Thrun, 2006). Tıbbi görüntüleme teknolojileri, 3D algıyı kullanarak, doktorların insan vücudu içerisindeki yapıları daha detaylı görmelerini sağlar. Bu, özellikle MRI ve tomografi gibi görüntüleme tekniklerinde kullanılır (Huang & Liao, 2010). 3D algısı, bu teknolojilerin ve uygulamaların temelini oluşturur ve geliştirmekte olan birçok alanda yenilikçi çözümler sunar. Bu algının sağladığı derinlik ve uzamsal farkındalık, insan deneyimini ve teknolojik etkileşimleri önemli ölçüde geliştirir.

AR teknolojisi tüm bu özellikleriyle eğitim, sağlık, perakende, alışveriş, oyun, mimari ve inşaat gibi birçok alanda kullanılır. Eğitimde, öğrencilere karmaşık konseptleri veya süreçleri görselleştirme ve deneyimleme imkanı sunarak öğrenme deneyimini zenginleştirir (Wu et al., 2013). Sağlık uygulamalarında, cerrahi simülasyonlar, hasta bilgilendirme veya anatomik görselleştirme gibi tıbbi uygulamalarda doktorlara ve hastalara destek olur (Vaughan et al., 2016). Perakende ve alışverişlerde, müşterilere ürünleri 3D olarak görüntüleme, deneme veya özelleştirme imkanı sunarak alışveriş deneyimini geliştirir (Olsson et al., 2013). Oyun sektöründe AR, oyunları gerçek dünya ortamına taşıyarak interaktif ve daldırıcı bir deneyim sunar (Schmalstieg & Hollerer, 2016). Mimari ve inşaat projelerinin hazırlanmasında binaların veya yapıların 3D modellenmesi, planlama ve görselleştirilmesi aşamalarında profesyonellere yardımcı olur (Eastman, 2011).

Son yıllarda, akıllı telefonlar ve tabletlerin yaygınlaşmasıyla birlikte arttırılmış gerçeklik uygulamaları büyük bir popülerlik kazanmıştır. Bu cihazlar, entegre kameraları ve sensörleri sayesinde AR deneyimleri için mükemmel araçlar haline gelmiştir (Billinghurst et al., 2015). Ayrıca, arttırılmış gerçeklik gözlükleri gibi özel donanımlar da AR deneyimini daha daldırıcı ve etkileyici hale getirir. AR teknolojisinin kullanımı, birçok

fayda sunmasına rağmen, hâlâ bazı zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar, teknolojik sınırlamalardan kullanıcı deneyimine ve gizlilik sorunlarına kadar uzanır.

AR teknolojisi, yüksek işlem gücü gerektirir ve bu, özellikle mobil cihazlarda batarya ömrü ve işlem kapasitesi gibi sorunlara yol açabilir (Zhou et al., 2008). AR uygulamalarının kullanıcı deneyimi, bazen zorlayıcı olabilir. Kullanıcılar için sezgisel ve rahat bir etkileşim sağlamak, tasarım ve ergonomi açısından zorluklar içerir (Billinghurst & Dünser, 2012). AR sistemlerinin sağladığı sanal görsellerin kalitesi ve gerçek dünya ile uyumu, kullanıcıların deneyimini doğrudan etkiler. Yeterli görsel kalitenin sağlanamaması kullanıcıya etkinin doğru verilememesine neden olur. Gelişmiş görüntüleme teknolojileri ve gerçekçilik, önemli bir araştırma ve geliştirme alanıdır (Azuma et al., 2001). AR sistemlerinin farklı platformlarla ve cihazlarla entegrasyonu, ölçeklenebilirlik açısından zorluklar içerir. Bu, özellikle büyük ölçekli ve karmaşık uygulamalar için geçerlidir (Carmigniani et al., 2011). AR teknolojilerinin kullanımı, gizlilik ve güvenlikle ilgili endişeleri de beraberinde getirir. Kullanıcı verilerinin korunması ve etik kullanım, önemli bir konudur (Wagner & Schmalstieg, 2007).

Tüm bunlara rağmen VR teknolojilerinin kullanıldıkları faaliyet alanlarına ve kullanıcı algısına kattığı zenginlik, gelişen teknolojilerle her geçen gün artmaktadır.

3.2.1 Arttırılmış Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler

AR teknolojisi, gerçek dünya ortamına dijital bilgilerin veya görsellerin eklenmesini sağlayarak, kullanıcıların çevrelerini zenginleştirir. AR'ın kullanımı, çeşitli teknolojik bileşenleri ve sistemleri içerir.

Görüntü Yakalama ve İşleme: AR sistemleri, gerçek dünya görüntülerini yakalamak için kameralar kullanır. Görüntü işleme algoritmaları, bu görüntülerdeki nesnelere ve yüzeyleri tanımlar ve sanal bilgileri bu nesnelere üzerine yerleştirir (Kipper & Rampolla, 2012).

Sensör Teknolojileri: AR cihazları, konum, yönlendirme ve hareketi algılamak için çeşitli sensörler kullanır. Bu sensörler arasında GPS, jiroskoplar, ivmeölçerler ve pusulalar bulunur (Craig, 2013).

GPS, dünya yörüngesinde dönen uydu ağına dayanan bir konumlandırma ve navigasyon sistemidir. Bu sistem, yeryüzündeki herhangi bir noktadaki bir alıcının konumunu, hızını ve zamanını yüksek doğrulukla belirlemesini sağlar. Bu, araç navigasyon sistemleri, cep telefonları, hava trafik kontrolü, arama ve kurtarma operasyonları gibi alanlarda kullanılır (Tsui, 2000).GPS teknolojisi sürekli gelişmekte olup, daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik için yeni uydu sinyalleri ve gelişmiş alıcı tasarımları üzerinde çalışılmaktadır. Ayrıca, diğer küresel navigasyon uydu sistemleriyle (örneğin, GLONASS, Galileo) entegrasyon, sistemin güvenilirliğini artırmaktadır (Enge, 1994).

Ekran Teknolojileri: Artırılmış Gerçeklik (AR) uygulamalarında ekran teknolojisi, sanal görsellerin gerçek dünya ortamı üzerine yerleştirilmesinde temel bir rol oynar. Bu, kullanıcılara gerçek ve sanal dünyanın birleştiği bir deneyim sunar. AR bilgilerini kullanıcıya sunmak için başa takılan ekranlar (HMD), akıllı gözlükler, akıllı telefonlar ve tabletler gibi çeşitli ekran türleri kullanılır (Azuma et al., 2001). Bu cihazların kameraları, gerçek dünya ortamını yakalar ve cihazın ekranı üzerinde, bu gerçek dünya görüntüsüne sanal nesnelere veya bilgiler eklenir. Örneğin, bir tasarım uygulaması, alanın gerçek zamanlı görüntüsüne, sanal yapı tasarımını yerleştirebilir, böylece sektör profesyonelleri ve müşteriler yapının inşaa edileceği çevrede nasıl görüneceğini görebilir.



Şekil 3.2: Gerçek ve sanal dünyanın birleştiği ekran teknolojileri.

Araçlarda kullanılan Head-Up Display (HUD) sistemleri, sürücünün ön camına yol bilgileri, navigasyon talimatları ve diğer önemli verileri yansıtarak, sürücünün gözünü

yoldan ayırmadan bu bilgilere erişmesini sağlar. Bu teknoloji, özellikle otonom olmayan araçlarda güvenliği ve kullanım kolaylığını artırmak için kullanılır.

Bazı AR uygulamaları, gerçek dünya yüzeylerine doğrudan görselleri yansıtan projeksiyon teknolojisini kullanır. Bu, özellikle eğitim, perakende veya sergi alanlarında etkileşimli deneyimler yaratmak için kullanılır. Örneğin, bir müzede, ziyaretçilerin önünde yere yansıtılan bilgiler ve görseller, sergilenen eserler hakkında ekstra bilgi sağlayabilir.

AR uygulamalarında ekran teknolojisinin kullanımı, kullanıcılara zengin ve etkileşimli deneyimler sunar ve çeşitli alanlarda uygulama potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve daha etkileşimli ve bilgilendirici içerikler sunmak için sürekli olarak geliştirilmektedir. AR deneyimlerini oluşturmak için özel yazılım geliştirme kiti (SDK) ve uygulama geliştirme platformları kullanılır. Bunlar arasında ARKit (Apple) ve ARCore (Google) gibi platformlar bulunur (Schmalstieg & Hollerer, 2016). Artırılmış Gerçeklik (AR) uygulamalarının yazılım ve uygulama geliştirilmesi, özel araçlar, platformlar ve programlama dilleri kullanılarak yapılır. AR uygulamaları, gerçek dünya ortamına sanal görselleri veya bilgileri yerleştiren interaktif deneyimler yaratmayı amaçlar. AR uygulama geliştirilmesinin temel adımları;

- AR uygulamaları geliştirmek için çeşitli yazılım geliştirme kiti (SDK'lar) kullanılır. Popüler AR geliştirme platformları arasında Apple'ın ARKit ve Google'ın ARCore'u bulunur. Bu SDK'lar, cihazın kamerası ve sensörleriyle entegre çalışarak, sanal nesnelerin gerçek dünya ortamına yerleştirilmesini sağlar (Billinghurst, et al., 2001).
- AR uygulamalarının geliştirilmesinde yaygın olarak C#, C++ ve Java gibi programlama dilleri kullanılır. Unity gibi oyun motorları, özellikle interaktif ve görsel açıdan zengin AR uygulamaları için tercih edilir (Azuma, 1997).
- AR uygulama geliştirmede kullanıcı arayüzü (UI) ve kullanıcı deneyimi (UX) tasarımı önemlidir. Etkileşimli ve kullanıcı dostu arayüzler, kullanıcının sanal ve gerçek dünya arasında sorunsuz bir şekilde gezinmesini sağlar (Dunleavy, et al., 2009).
- AR uygulamaları, genellikle farklı cihazlarda ve koşullarda test edilir. Performans optimizasyonu, hedeflenen platformların donanım sınırlamalarına uygun hale

getirilmesini içerir. Bu, uygulamanın daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlar (Höllerer & Feiner, 2004)

- AR sistemleri, genellikle veri depolama ve işleme için bulut bilişim altyapılarından yararlanır. Bu, AR uygulamalarının daha geniş veri setlerini kullanmasını ve güçlü işleme kapasitesine erişmesini sağlar (Furlan, 2016). AR uygulamalarında bulut bilişim ve veri depolamanın kullanımı, veri işleme, depolama kapasitesi ve ölçeklenebilirlik gibi birçok avantaj sağlar. Bulut bilişim, AR uygulamalarının geniş veri setlerini işlemesine ve karmaşık işlemleri yürütmesine olanak tanır. Kullanıcıların veriye her yerden erişmesini sağlar ve uygulamaların ölçeklenmesi için gerekli esnekliği sunar. Ayrıca, bulut bilişim, AR uygulamaları için gelişmiş analitik ve yapay zeka entegrasyonunu kolaylaştırır. Bu entegrasyon, kişiselleştirilmiş deneyimler sunarak kullanıcı etkileşimlerini iyileştirir (Hashem et al., 2015). Güvenlik ve veri koruma açısından, bulut bilişim sağlayıcıları genellikle veri şifrelemesi, erişim kontrolleri ve düzenli güvenlik güncellemeleri sunar, böylece AR uygulamalarında kullanıcı verilerinin güvenliğini sağlar (Subashini & Kavitha, 2011).

Bu bilgiler VR teknolojilerinin, temel bileşenlerini, bu teknolojilerin nasıl kullanıldığını ve sağladığı avantajları açıklamaktadır.

3.2.2 İnşaat Sektöründe Arttırılmış Gerçekliğin Kullanım Alanları

İnşaat endüstrisi, hızla gelişen teknolojik ilerlemelerle birlikte sürekli evrilmektedir. AR bu değişimde önemli bir rol oynamaktadır. AR teknolojilerinin inşaat sektöründe kullanım alanları;

Proje Görselleştirme ve Planlama: İnşaat sektöründe proje görselleştirme ve AR teknolojisinin kullanımı, tasarım sürecini önemli ölçüde iyileştirebilir. AR, gerçek dünya ortamı üzerine 3D inşaat modellerini yerleştirerek, tasarımcılara ve müşterilere projenin gerçekçi bir görsel sunumunu sağlar. Bu, bina tasarımlarının, yapı elemanlarının ve diğer yapısal özelliklerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur (Azuma et al., 2001). 3D modellerin gerçek ortam üzerinde görselleştirilmesi tasarımcıların ve müşterilerin projelerin son halini daha iyi anlamalarına ve değişiklikleri kolayca yapmalarına olanak tanır (Wang et al., 2007). AR, tasarım değişikliklerinin hızlı ve etkili bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Tasarımcılar ve inşaat mühendisleri, farklı tasarım

alternatiflerini gerçek zamanlı olarak gözlemleyebilir ve müşteri geri bildirimlerini hızlıca uygulayabilir (Wang et al., 2007). AR, projenin tüm paydaşları arasında işbirliğini ve etkileşimi teşvik eder. Farklı disiplinlerden gelen profesyoneller, ortak bir AR platformu üzerinde bir araya gelerek tasarım fikirlerini paylaşabilir ve karar alma sürecini hızlandırabilir (Schnabel, 2009). Müşteriler, AR aracılığıyla planlanan yapıyı sanal olarak deneyimleyebilir ve proje hakkında daha bilinçli kararlar verebilir. Bu, müşteri memnuniyetini artırır ve projenin başarı şansını yükseltir (Billinghurst & Kato, 2002).

İnşaat Sürecinde Etkileşim ve İşbirliği: İnşaat sürecinde etkileşim ve işbirliği için artırılmış gerçeklik AR teknolojilerinin kullanımı, projelerin daha etkin yönetilmesini ve ekipler arası koordinasyonun artırılmasını sağlar. AR teknolojisi, inşaat sahasında çalışan ekipler arasındaki koordinasyonu artırarak, proje bilgilerinin ve güncellemelerinin gerçek zamanlı olarak paylaşılmasına olanak verir. Bu, hataları azaltır ve verimliliği artırır (Shin & Dunston, 2008). AR, inşaat sahasında çalışan ekipler arasında etkileşimi ve işbirliğini artırır. Çalışanlar, AR cihazları aracılığıyla projenin dijital bilgilerine erişebilir ve sahadaki gerçek koşullarla uyumlu olarak çalışabilirler (Behzadan & Kamat, 2005). AR, çalışanlara görsel talimatlar ve yerinde eğitim sağlayarak, karmaşık inşaat süreçlerinin daha kolay anlaşılmasını ve uygulanmasını mümkün kılar. Bu, özellikle yeni veya karmaşık tekniklerin uygulanmasında yarar sağlar (Behzadan & Kamat, 2005). AR, tasarım değişikliklerinin sahada hızlı bir şekilde görselleştirilmesini sağlar, bu sayede projenin tüm paydaşları değişiklikleri anında görebilir ve değerlendirebilir (Wang et al., 2007). AR, inşaat alanlarında potansiyel tehlikeleri ve riskleri görselleştirerek, güvenlik planlamasını ve risk değerlendirmesini iyileştirebilir (Peterson et al., 2011).

Hata Tespiti ve Kalite Kontrolü: AR teknolojisinin hata tespiti ve kalite kontrolünde kullanımı, inşaat sektöründe verimliliği ve doğruluğu artırma potansiyeline sahiptir. AR teknolojisi, inşaat sahasındaki gerçek yapıları ve yapısal elemanları, tasarım modeli veya teknik çizimlerle karşılaştırarak hata tespitini kolaylaştırır. Bu, inşaat sırasında meydana gelebilecek hataların ve uyumsuzlukların gerçek zamanlı olarak belirlenmesini sağlar (Wang et al., 2007). AR, inşaat mühendislerine ve denetçilere, yapılan işlerin kalitesini detaylı bir şekilde inceleme fırsatı sunar. Örneğin, tesisatın doğru yerleştirilip yerleştirilmediği veya yapısal elemanların doğru monte edilip edilmediği gibi detaylar, AR yardımıyla kolayca kontrol edilebilir (Shin & Dunston, 2008). AR, inşaat alanında çalışanların eğitimini ve farkındalığını artırarak hata yapma olasılığını azaltır. Eğitim ve

talimatlar, AR aracılığıyla daha anlaşılır ve etkileşimli bir şekilde sunulabilir (Peterson et al., 2011). AR, yapısal bütünlüğün ve tasarımın doğruluğunun korunmasında önemli bir rol oynar. Yapının tasarım aşamasında belirlenen özelliklerin, inşaat sırasında doğru şekilde uygulanıp uygulanmadığını değerlendirmek için kullanılabilir (Behzadan & Kamat, 2005). AR, inşaat sürecinde, yapılan işlerin proje planlarıyla karşılaştırılmasını sağlayarak, hataların ve uyumsuzlukların hızlı bir şekilde tespit edilmesini sağlar (Shin & Dunston, 2008).

Eğitim ve Güvenlik: AR teknolojisinin eğitim ve güvenlik alanlarında kullanımı, etkileşimli öğrenme deneyimleri ve güvenlik eğitimlerinin iyileştirilmesi açısından büyük potansiyele sahiptir. AR, eğitim alanında, öğrencilere karmaşık konseptleri ve süreçleri görsel ve etkileşimli bir şekilde öğrenme fırsatı sunar. Örneğin, tıp eğitiminde, öğrenciler insan anatomisini AR yardımıyla 3D olarak inceleyebilir (Billinghurst, et al., 2001). AR, iş güvenliği eğitimlerinde, gerçek dünya koşullarını taklit eden ama risk taşımayan senaryolar yaratmak için kullanılabilir. Bu, özellikle inşaat, madencilik ve imalat gibi yüksek riskli sektörlerde önemlidir (Santos et al., 2014). Yeni çalışanlara yönelik oryantasyon ve güvenlik eğitimleri, AR aracılığıyla daha etkileşimli ve anlaşılır hale getirilebilir (Peterson et al., 2011). İş yerinde eğitim ve talimatların sunulmasını kolaylaştırarak, çalışanların karmaşık makine ve ekipmanları kullanmayı daha etkili bir şekilde öğrenmelerini sağlar. AR gözlükleri veya mobil cihazlar üzerinden sunulan görsel rehberlik, yapılacak işlemleri adım adım gösterir (Peterson et al., 2011). AR, acil durum yanıtı ve tahliye eğitimleri için simülasyonlar sağlar. Kullanıcılar, yangın, deprem veya diğer acil durum senaryolarını gerçekçi bir şekilde deneyimleyerek, acil durumlarda nasıl hareket edileceğini öğrenir (Gavish et al., 2015).

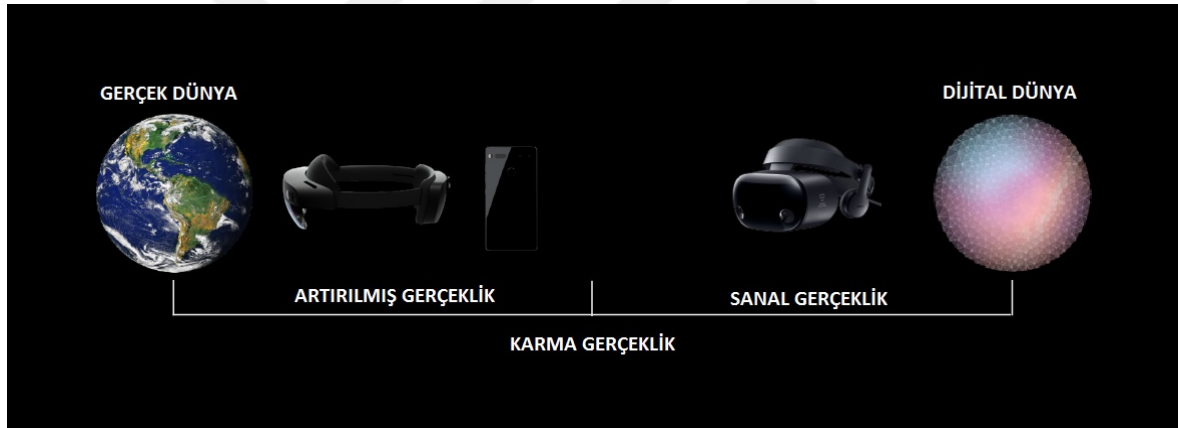
Bakım ve Onarım: AR teknolojisi, bakım ve onarım işlemlerinde verimliliği ve doğruluğu artırarak önemli avantajlar sağlamaktadır. AR, karmaşık makinelerin ve ekipmanların bakımı sırasında, teknisyenlere görsel rehberlik ve adım adım talimatlar sunar. Bu, hataları azaltır ve bakım süreçlerinin daha verimli olmasını sağlar (Henderson & Feiner, 2010). Tesis yönetiminde AR, bakım personeline tesisin yapısal bilgilerini ve geçmiş bakım kayıtlarını sağlar. Bu, hızlı sorun tespiti ve etkili müdahale için önemlidir (Chi et al., 2013). AR' nin uzaktan destek ve eğitim olanakları ile uzmanlar, uzaktan bağlanarak saha teknisyenlerine rehberlik edebilir ve karmaşık onarım işlemlerinde yardımcı olabilir (Palmarini et al., 2018). AR, bakım ve onarım işlemleri sırasında güvenlik ve risk

değerlendirmesi yapılmasını sağlar. Teknisyenler, potansiyel tehlikeleri ve riskleri AR aracılığıyla önceden görebilir ve önlemlerini alabilir (Mourtzis et al., 2016). AR, inşaat sonrası bakım ve onarım çalışmalarında da kullanılabilir. Tesis yöneticileri ve bakım ekipleri, AR cihazlarıyla tesisin yapısal bilgilerine ve geçmiş bakım kayıtlarına kolayca erişebilir (Chi et al., 2013).

İnşaat projelerinin planlanmasından uygulanmasına kadar AR, süreci daha verimli, doğru ve etkileyici kılarak sektöre önemli katkılarda bulunmaktadır.

3.3 Karma Gerçeklik (Mixed Reality – MR)

MR, gerçek ve sanal ortamların birleşimini ifade eden bir teknolojidir. Bu teknoloji, gerçek dünyadaki nesnelere sanal nesnelerin ve bilgilerin bir arada bulunması ve etkileşim içinde olmasını sağlar. AR ve VR teknolojilerinin bir sentezidir ve kullanıcıların hem gerçek hem de sanal öğeleri içeren bir ortamda etkileşimde bulunmasına olanak tanır.



Şekil 3.3: Karma gerçeklik teknolojisi (MR).

Karma Gerçeklik, kullanıcıların hem gerçek hem de sanal çevrelerle etkileşimde bulunabildikleri bir deneyim sunar. Bu kavram, Paul Milgram ve Fumio Kishino tarafından 1994 yılında "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays" adlı çalışmalarında tanımlanmıştır (Milgram & Kishino, 1994).

MR, eğitimden sağlık hizmetlerine, inşaattan oyunlara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu teknoloji, kullanıcıların gerçek zamanlı bilgi ve görsel içerikle etkileşime girmelerini sağlar ve öğrenme, eğitim, tasarım ve bakım gibi alanlarda uygulama alanı bulur (Billinghurst, et al., 2015).

MR deneyimleri genellikle, başa takılan ekranlar (HMD'ler) gibi gelişmiş cihazlar kullanılarak sağlanır. Bu cihazlar, yüksek kaliteli görsel ve ses çıktıları sunarak, kullanıcıların sanal ve gerçek dünya arasında sorunsuz bir geçiş yapmalarını sağlar (Lanier & Biocca, 1992). Hem gerçek hem de sanal unsurlarla etkileşim kurmalarını sağlayarak, işbirliği ve ekip çalışmasını yeni düzeylere taşır. Özellikle uzaktan çalışma ve eğitimde, MR kullanıcıların daha etkileşimli ve verimli bir şekilde çalışmalarını mümkün kılar (Sutherland, 1968).

3.3.1 Karma Gerçeklikte Kullanılan Teknolojiler

MR uygulamalarında kullanılan teknolojiler, gerçek ve sanal dünyalar arasında sorunsuz bir etkileşim sağlamak için tasarlanmıştır. Bu teknolojileri incelersek;



Şekil 3.4: Ivan Sutherland "The Sword of Damocles".

HMD, kullanıcıların gözlerinin önüne doğrudan görsel bilgi sunan cihazlardır. Bu cihazlar, kullanıcının baş hareketlerine uyum sağlayarak sanal veya artırılmış gerçeklik deneyimleri sunar. HMD'lerin tarihi, 1960'lara, özellikle Ivan Sutherland'ın "The Sword of Damocles" adlı sistemine dayanır. Bu sistem, kullanıcıya üç boyutlu (3D) grafikler sunan ilk HMD olarak kabul edilir (Sutherland, 1968). HMD teknolojisi, zaman içinde önemli gelişmeler gösterdi. 1990'lar ve 2000'ler boyunca, hem VR hem de AR uygulamaları için daha hafif, daha yüksek çözünürlüklü ve daha etkileşimli HMD'ler geliştirildi (Milgram & Kishino, 1994). HMD'ler, özellikle VR uygulamalarında popülerdir. Eğitimde, öğrencilere karmaşık kavramları veya işlemleri öğretmek için kullanılır, örneğin tıp eğitiminde cerrahi

simülasyonlar ile öğrenciye gerçek deneyime yakın uygulama imkanları sunulur (Billinghurst et al., 2015). HMD'ler, endüstriyel tasarım ve mühendislikte de kullanılır. Örneğin, karmaşık makine parçalarının tasarımı veya montaj süreçlerinin simülasyonunda kullanılırlar (Azuma et al., 2001).

Gelişmiş sensörler ve izleme teknolojisi, fiziksel dünyadaki değişiklikleri algılayan ve bu bilgileri dijital verilere dönüştüren cihazlardır. MR sistemleri, kullanıcıların hareketlerini, baş hareketlerini ve bakış yönlerini takip etmek için gelişmiş sensörler ve izleme teknolojilerini kullanır. Bu, kullanıcıların sanal ortamla etkileşimini gerçekçi bir şekilde yansıtır (Milgram & Kishino, 1994).

Bu teknolojiler, başlangıçta askeri ve bilimsel amaçlar için geliştirilmiş olup, zaman içinde çok çeşitli sivil uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Sensör teknolojisinin tarihi, 20. yüzyılın başlarına, özellikle askeri ve havacılık uygulamaları için geliştirilen ilk sensörlerin ortaya çıkışına dayanır. Bu teknolojiler, zamanla endüstriyel otomasyon, tıp ve tüketici elektroniği gibi alanlara yayılmıştır (Siciliano & Khatib, 2016). Örneğin, İzleme teknolojileri, başlangıçta özellikle uçuş ve denizaltı navigasyonu için kullanılmışken, günümüzde, bu teknolojiler, konum belirleme, hareket izleme ve çevresel değişikliklerin algılanmasında geniş bir kullanım alanına sahiptir (Milgram & Kishino, 1994).

Tıbbi alanda, gelişmiş sensörler, hastaların vücut işlevlerini izlemek ve hastalıkları teşhis etmek için kullanılır. Örneğin, MRI ve CT taramaları, vücudun iç yapısını detaylı bir şekilde görüntülemek için karmaşık sensör sistemlerinden yararlanır (Webster, 2009). Endüstriyel otomasyon ve robotikte, sensörler ve izleme teknolojileri, makine performansını izlemek, üretim süreçlerini otomatikleştirmek ve güvenli çalışma ortamları sağlamak için kullanılır (Siciliano & Khatib, 2016).

Gelişmiş sensörler ve izleme teknolojileri, VR ve MR cihazlarında kullanıcı hareketlerini takip etmek için yaygın olarak kullanılır. Bu, kullanıcının sanal ortamla etkileşimini gerçekçi ve doğal hale getirir (Azuma et al., 2001).

İnteraktif kullanıcı arayüzleri (Interactive User Interfaces) UI, kullanıcıların bilgisayar sistemleriyle veya dijital cihazlarla doğrudan etkileşime girebilmelerini sağlayan

arayüzlerdir. Bu arayüzler, kullanıcıların girdilerine gerçek zamanlı olarak yanıt verir ve daha sezgisel, etkileşimli bir kullanıcı deneyimi sunar.

Grafik kullanıcı arayüzleri, kullanıcıların görsel simgeler ve menüler aracılığıyla sistemle etkileşimde bulunmalarını sağlar. GUI'ler, kullanıcı dostu ve kolay anlaşılır arayüzler sunarak, karmaşık komut tabanlı sistemlerin yerini almıştır (Shneiderman & Plaisant, 2010).

Dokunmatik ekranlar, kullanıcıların doğrudan parmaklarıyla veya bir stylus ile ekran üzerinde etkileşime girmelerini sağlar. Bu teknoloji, akıllı telefonlar, tabletler ve bazı bilgisayarlar gibi çok sayıda cihazda yaygın olarak kullanılır (Buxton, 2007).

Sesli kullanıcı arayüzleri (VUI), kullanıcıların sesli komutlar ve konuşma ile sistemle etkileşimde bulunmalarını sağlar. Bu arayüzler, akıllı asistanlar, sesli kontrol sistemleri ve telefon tabanlı müşteri hizmetleri sistemlerinde kullanılır (Cohen et al., 2004).

Hareket tabanlı arayüzler, kullanıcıların hareketlerini algılayarak, bu hareketleri sistem komutlarına dönüştürür. Bu teknoloji, özellikle oyun konsolları ve VR/AR sistemlerinde popülerdir (Jacob et al., 2008).

Sanal ve gerçek dünya objelerinin entegrasyonu, VR, AR ve MR gibi teknolojilerde, gerçek dünya nesneleriyle sanal nesnelerin bir arada var olduğu ve etkileşimde bulunduğu bir süreçtir. Bu entegrasyon, kullanıcıların hem gerçek hem de sanal unsurlarla etkileşim kurmasına olanak tanıyarak, daha zengin ve etkileşimli bir deneyim sunar. Sanal ve gerçek dünya nesnelere entegrasyonu, AR ve MR teknolojilerinin temel bir özelliğidir. Bu teknolojiler, gerçek dünyayı sanal bilgi veya nesnelere zenginleştirerek kullanıcıların gerçekçi bir şekilde etkileşime girmesini sağlar (Azuma, 1997).

Bu entegrasyon, gelişmiş görüntü işleme, sensör teknolojileri ve 3D modelleme gibi çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu teknikler, sanal nesnelerin gerçek dünya ortamına doğru bir şekilde yerleştirilmesini ve gerçek dünya nesnelere etkileşimini sağlar (Milgram & Kishino, 1994). Böylece, kullanıcılar, daha gerçekçi bir deneyim yaşayabilir (Kipper & Rampolla, 2012).

Eğitim, sağlık hizmetleri, endüstriyel tasarım ve eğence gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Örneğin, tıbbi eğitimde, gerçek insan anatomisi üzerine sanal bilgilerin yerleştirilmesi, öğrencilerin karmaşık kavramları daha iyi anlamasına yardımcı olur (Billinghurst et al., 2015).

MR sistemleri, gerçek dünya nesnelere ile sanal nesnelere arasında etkileşim sağlamak için karmaşık algoritmalar ve yazılım çözümleri kullanır. Bu, sanal ve gerçek dünya arasındaki sınırı belirsizleştirir (Azuma et al., 2001). Bulut bilişim, kullanıcıların büyük veri setlerine ve güçlü işlem kaynaklarına erişimini sağlar (Hashem et al., 2015). Sanal ve Gerçek Dünya Objelerinin Entegrasyonu, sanal VR, AR ve MR gibi teknolojilerde, gerçek dünya nesnelere ile sanal nesnelere bir arada var olduğu ve etkileşimde bulunduğu bir süreçtir. Bu entegrasyon, kullanıcıların hem gerçek hem de sanal unsurlarla etkileşim kurmasına olanak tanıyarak, daha zengin ve etkileşimli bir deneyim sunar. Bulut bilişim, kullanıcıların büyük veri setlerine ve güçlü işlem kaynaklarına erişimini sağlar (Hashem et al., 2015).

MR teknolojilerinin entegrasyonu, kullanıcı deneyimini ve etkileşimini geliştirir. Kullanıcılar, gerçek dünya ortamında sanal nesnelere ile etkileşim kurabilir ve daha gerçekçi bir deneyim yaşayabilir.

3.3.2 İnşaat Sektöründe MR Kullanım Alanları

İNşaat sektöründe MR teknolojisinin kullanımı, proje tasarımından uygulamaya, eğitimden bakım ve onarıma kadar geniş bir yelpazede etkili olabilir.

Proje tasarımı ve görselleştirmede; MR teknolojisinin kullanımı, tasarım sürecini dönüştürmekte ve tasarımcılara, müşteriilere ve proje paydaşlarına yenilikçi yollar sunmaktadır. 3D modelleme ve gerçek zamanlı görselleştirmeler MR teknolojisi ile sağlanır. Bu, tasarımcılara ve mühendislere, inşaat projelerinin sanal modellerini gerçek dünya ortamı üzerinde görmelerini ve bu modeller üzerinde interaktif değişiklikler yapmalarını sağlar (Wang et al., 2007).

MR, müşteriilerin ve diğer paydaşların projenin erken aşamalarına daha etkili bir şekilde katılımını ve geri bildirimde bulunmasını sağlar. Kullanıcılar, planlanan yapıyı sanal olarak deneyimleyebilir ve projenin farklı yönleri hakkında değerli geri bildirimlerde bulunabilir

(Schnabel, 2009). Tasarımcılara ve proje yöneticilerine, farklı tasarım alternatiflerini kolayca değerlendirebilme imkanı sunar. Örneğin, MR teknolojileri sayesinde farklı malzeme seçeneklerini veya yapısal düzenlemeleri sanal olarak test etmek mümkündür (Azuma, 1997). MR, mevcut yapılara veya çevreye yeni yapıların entegrasyonunu ve uyumunu görselleştirmede de kullanılabilir. Bu, özellikle tarihi veya duyarlı çevrelerde yeni inşaat projelerinin etkisini değerlendirmek için önemlidir (Billinghurst et al., 2015).

İnşaat sürecinde etkileşim ve işbirliği için MR teknolojilerinin kullanımı, proje yönetimi, saha koordinasyonu ve ekip işbirliğini önemli ölçüde iyileştirebilir. MR, proje yöneticilerinin ve ekiplerin tasarımları gerçek dünya ortamında görselleştirmelerine olanak tanır, böylece planlama sürecinde daha etkili kararlar alınabilir. Bu, projenin tüm aşamalarında daha iyi koordinasyon ve işbirliğini teşvik eder (Shin & Dunston, 2008). MR teknolojisi, inşaat sahasındaki ekipler arasındaki iletişimi güçlendirir. Ekipler, gerçek zamanlı olarak projenin sanal modelini inceleyebilir ve sahada hızlı ayarlamalar yapabilir (Wang et al., 2003). MR, inşaat çalışanlarına yönelik eğitim ve güvenlik talimatlarını daha etkileşimli ve anlaşılır hale getirebilir. Bu, özellikle karmaşık inşaat tekniklerinin ve güvenlik protokollerinin öğrenilmesinde etkilidir (Peterson et al., 2001).

Eğitim ve güvenlik alanlarında MR teknolojisinin kullanımı, öğrenme deneyimlerini ve güvenlik eğitimlerini dönüştürmektedir. MR, etkileşimli ve gerçekçi senaryolar sunarak, öğrenme süreçlerini daha etkin ve hatırlanabilir hale getirir. MR, öğrencilere karmaşık kavramları veya süreçleri görsel ve etkileşimli bir şekilde öğrenme imkanı sunar. Örneğin, tıp eğitiminde, öğrenciler insan anatomisini MR yardımıyla 3D olarak inceleyebilir ve cerrahi prosedürleri simüle edebilirler (Billinghurst, et al., 2015).

MR, inşaat sürecindeki riskleri görselleştirmek ve değerlendirmek için kullanılabilir. Bu, olası sorunların erken aşamada tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar (Chi et al., 2013). İş güvenliği eğitimlerinde, gerçek dünya koşullarını taklit eden ancak risk içermeyen senaryolar sunarak çalışanların güvenlik protokollerini ve acil durum prosedürlerini daha iyi anlamalarını sağlar. Örneğin, inşaat alanındaki tehlikeli durumların simülasyonları, gerçekçi eğitim ortamları yaratır (Peterson et al., 2001). MR, acil durum yanıtı ve tahliye eğitimleri için gerçekçi simülasyonlar sağlar. Bu teknoloji, yangın, deprem veya diğer acil durum senaryolarını simüle ederek, acil durumlarda nasıl hareket edileceği konusunda etkili eğitimler sunar (Gavish et al., 2015).

Bakım ve onarımlarda, MR teknolojisinin kullanımı, işlemleri daha verimli, etkili ve güvenli hale getirir. MR, teknisyenlere karmaşık ekipmanlar üzerinde görsel rehberlik sağlar ve onarım süreçlerini iyileştirir. Bakım ve onarım teknisyenlerine, ekipmanların iç yapısını ve onarım adımlarını 3D görsellerle gösterir. Bu, karmaşık ekipmanların doğru bir şekilde bakımını ve onarımını sağlamak için etkili bir yöntemdir (Henderson & Feiner, 2010). İnşaat sonrası bakım ve onarım işlemlerinde kullanılabilir. Teknisyenler, MR cihazlarıyla tesisin yapısal bilgilerine ve geçmiş bakım kayıtlarına erişebilir, böylece hızlı ve etkili bakım ve onarım işlemleri gerçekleştirebilir (Chi et al., 2013). MR, uzaktan uzman desteği sağlar, böylece teknisyenler, uzmanlarla gerçek zamanlı olarak iletişim kurabilir ve zorlu onarım görevlerinde rehberlik alabilir (Gavish et al., 2015). MR teknolojisi, ekipmanlarda ve tesislerde hataları tespit etmek için kullanılır. Teknisyenler, gerçek ekipman üzerinde sanal göstergeleri görebilir ve potansiyel sorunları daha hızlı teşhis edebilir (Palmarini et al., 2018). Yeni teknisyenlerin eğitimi ve beceri gelişiminde kullanılır. Gerçekçi simülasyonlar ve interaktif eğitimler, teknisyenlerin karmaşık sistemler hakkında bilgi ve deneyim kazanmalarını sağlar (Peterson et al., 2001).

4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE SANAL GERÇEKLIK UYGULAMALARININ KULLANIMININ DETAYLI İNCELENMESİ

VR teknolojisinin kullanım alanları, proje planlamasından eğitime, müşteri etkileşimlerinden güvenlik uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. VR teknolojisi, inşaat projelerinin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur. İnşaat sektöründe VR'ın başlıca kullanım alanları,

- Proje görselleştirmede
- Tasarım süreçlerinde
- Eğitim ve güvenlikte
- Müşteri sunumlarında
- Bakım ve onarım faaliyetlerinde

bu kullanım alanlarını ve VR ın kullanıldığı faaliyetlere katkılarını daha detaylı inceleyelim.

4.1 Proje Görselleştirmede Sanal Gerçeklik

Proje görselleştirmesi, bir projenin fikrinsel veya kavramsal aşamasından uygulama aşamasına kadar olan süreçte kullanılan görsel araçları ifade eder. Bu süreç, projenin daha iyi anlaşılmasını, paydaşların beklentilerinin doğru şekilde yönetilmesini ve proje hakkında açık bir iletişim sağlanmasını hedefler. Özellikle inşaat, mühendislik, mimarlık ve şehir planlaması gibi alanlarda, projelerin daha iyi anlaşılmasını, tasarlanmasını ve iletişimini sağlamak için kullanılır.



Şekil 4.1: Proje görselleştirme.

VR, müşterilere ve yatırımcılara projeleri görsel olarak sunarak, müşterilerin projeyi daha iyi anlamalarını ve gerekli onayları hızlıca vermelerini sağlar (Kvan, 2000). Görselleştirme, planlama aşamasında tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesine, hataların ve potansiyel risklerin önceden görülmesine olanak tanır.

3D modelleme yazılımları, projelerin sanal ortamda detaylı bir şekilde modellenmesi ve simüle edilmesi inşaat ve mühendislik projelerinde projenin çeşitli yönlerinin (örneğin, güneş ışığının etkileri, havalandırma sistemlerinin performansı) analiz edilmesine yardımcı olur. Mimarlıkta, görselleştirme, binaların ve yapıların tasarımının yanı sıra, aydınlatma, doku ve malzeme seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Şehir planlamasında, kentsel projelerin ve altyapı gelişimlerinin etkileri, topluluklar ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri görsel olarak sunulur. Ürün prototipleri ve tasarımları görselleştirilerek, ürünün pazarlama ve müşteri geri bildirim aşamaları desteklenir. Proje görselleştirmesi sürekli gelişen bir alandır ve yeni teknolojilerle birlikte bu gelişim hızla artmaktadır.

VR teknolojisinin proje görselleştirmede kullanımı, 1980'lerin sonlarına ve 1990'ların başlarına dayanır. Bu dönemde, VR teknolojisi hızla gelişmekteydi ve özellikle simülasyon, eğitim ve tasarım alanlarında potansiyeli fark edilmeye başlamıştı. 1990'ların başında, VR teknolojisi mimarlık ve mühendislik alanlarına yayılmaya başladı. Mimarlar ve mühendisler, binaların ve yapıların 3D modellerini oluşturmak ve görselleştirmek için VR teknolojisini kullanmaya başladılar. Bilgisayar grafiklerindeki ilerlemeler, VR teknolojisinin daha gerçekçi ve detaylı proje görselleştirmeleri yapmasını sağladı. Bu dönemde, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları ile VR arasındaki entegrasyon arttı. Mimarlar, iç mekan ve dış mekan tasarımlarını, ışıklandırma ve malzeme efektleri ile birlikte VR ortamlarında inceleyebilmeye ve müşterilere sunabilmeye başladılar. 2000'lerde, VR teknolojisi daha erişilebilir ve kullanıcı dostu hale geldi. Bu, mimarlık, inşaat, şehir planlaması ve iç mekan tasarımı gibi alanlarda VR'ın daha geniş çapta kullanılmasını sağladı. Gelişmiş VR yazılımları ve daha uygun maliyetli HMD'ler sayesinde, proje görselleştirmeleri daha interaktif ve etkileşimli bir hale geldi. Son yıllarda, AR ve MR gibi teknolojilerle birlikte VR, proje görselleştirmesinde daha da gelişmiş uygulamalara imkan tanımaktadır.

Bu teknolojiler, proje görselleştirmesini sadece profesyonellerin kullanımından çıkarıp, müşterilerin ve genel kullanıcıların da etkileşimde bulunabileceği bir alana

dönüştürmektedir. VR, mimarlar ve mühendisler için tasarım sürecinde etkileşimli bir 3D modelleme aracı olarak kullanılır. Bu, kullanıcılara tasarımları gerçek boyutlarda ve 360 derece bir perspektiften görme imkanı tanır (Schnabel, 2009). VR, proje görselleştirmesinde devrim yaratmış ve bu alanda yeni olanaklar açmıştır. VR'nin sağladığı ayrıntılı görselleştirme, projenin fiziksel prototiplerinin yapılmasını azaltır, bu da hem maliyet hem de zaman tasarrufu sağlar. Projelerin incelemesinde hata tespiti ve risk değerlendirmesi yapılmasını kolaylaştırır. Bu, olası tasarım hatalarının veya yapısal sorunların erkenden tespit edilmesine ve düzeltilmesine olanak tanır. Önümüzdeki yıllarda, bu teknolojinin daha da gelişerek daha geniş kullanım alanlarına yayılması bekenmektedir.

VR, proje görselleştirmede projelerin tasarımından sunumuna, incelemesinden onay süreçlerine kadar pek çok aşamayı dönüştürmüştür. VR teknolojisi paydaşlar arasında iletişimi ve işbirliği mümkün kılarak özellikle inşaat ve mimarlık alanlarında, projelerin daha başarılı ve etkili bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunmaktadır.

4.2 Tasarım Süreçlerinde Sanal Gerçeklik

İnşaat sektöründe tasarım süreci, bir yapının kavramsal tasarımından başlayarak detaylandırılmasına ve nihai inşaat planlarının oluşturulmasına kadar uzanan bir süreci ifade eder. İnşaat sektöründe tasarım süreçleri genellikle aşağıdaki aşamaları içerir:

İhtiyaç analizi ve kavramsal tasarım, inşaat projelerindeki ilk ve temel aşamalardandır. İhtiyaç analizi, projenin gereksinimlerini belirlemeyi içerir. Müşterilerin veya kullanıcıların ihtiyaçları, projenin amaçları ve beklentileri detaylı bir şekilde incelenir. Bu analiz, proje hedeflerinin netleştirilmesi ve gerekli fonksiyonların belirlenmesine yardımcı olur. Kavramsal tasarım, ihtiyaç analizinin ardından gelen bu aşama, projenin genel yapısını ve tasarım yaklaşımını oluşturur. Bu, genellikle genel düzen, estetik yönler ve büyük ölçekli fonksiyonel düzenlemeleri içerir. Kavramsal tasarım, projenin vizyonunu ve yönünü belirler ve ilerleyen tasarım aşamalarının temelini oluşturur.

İnşaat sektöründe, ihtiyaç analizi ve kavramsal tasarım aşamalarında VR teknolojilerinden yararlanmak, projelerin daha etkili ve verimli bir şekilde geliştirilmesine olanak tanır. Özellikle, ihtiyaç analizi sürecinde, VR müşterilerin ve paydaşların ihtiyaçlarını daha iyi anlamak için kullanılır. VR, gerçek zamanlı deneyimler aracılığıyla müşterilerin tasarım seçeneklerini görmelerini ve gerçekçi geri bildirimler sağlamalarını mümkün kılar.

Kavramsal tasarım aşamasında ise, VR tasarımcıların ve mühendislerin fikirlerini sanal ortamda keşfetmelerine ve test etmelerine imkan tanır. Bu, daha yenilikçi ve işlevsel tasarımların ortaya çıkmasına yardımcı olur. Örneğin, yapısal elemanların yerleşimi ve malzeme seçenekleri VR ile simüle edilebilir, bu da tasarımın pratikliğini ve güvenliğini erken aşamada test etmeyi sağlar.

Ön tasarım sürecinde, genel bina düzeni, mekan organizasyonu, yapısal sistemler, malzeme seçenekleri ve genel estetik konseptler üzerinde çalışılır. Bu süreç, proje konseptinin daha somut bir şekle bürünmesini sağlar ve müşteri veya proje paydaşlarıyla detaylı fikir alışverişleri için bir temel oluşturur. Ön tasarım, projenin detaylı tasarım aşamasına geçiş yapmadan önce genel tasarım yaklaşımını ve parametrelerini belirler.

İnşaat sektöründe, ön tasarım aşamasında VR teknolojilerinden yararlanma, projenin başarısını artıran önemli bir unsurdur. VR, müşterilerin ve tasarımcıların, henüz inşa edilmemiş yapıları sanal olarak deneyimlemelerine olanak tanır. Bu, müşteri ve tasarımcı arasında daha etkili bir iletişim kurulmasını sağlar ve müşterinin beklentilerinin daha net anlaşılmasına yardımcı olur. VR, farklı tasarım alternatiflerinin kolayca oluşturulmasına ve değerlendirilmesine imkan vererek projenin daha erken aşamalarında maliyet etkin ve işlevsel tasarımların geliştirilmesine katkıda bulunur. VR, tasarımcılara mekânsal ilişkileri ve boyutları daha iyi anlama fırsatı sunar. Bu, özellikle karmaşık geometrilere sahip projelerde önemlidir ve tasarımın genel kalitesini artırır. Müşterilerin tasarım sürecine daha aktif katılımını teşvik eder. Müşterilerin sanal ortamda yapılan değişikliklere anında geri bildirim vermeleri, tasarımın müşteri ihtiyaçlarına daha uygun hale gelmesini sağlar.



Şekil 4.2: Tasarım sürecinde VR.

Detaylı tasarım aşaması, projenin tüm detaylarının ve teknik özelliklerinin belirlenmesini içerir. Detaylı tasarımda, bina sistemleri, yapısal bileşenler, malzemeler, mekanik ve elektrik sistemleri, iç ve dış mekan düzenlemeleri gibi konular üzerinde çalışılır. Bu aşama, projenin gerçekleştirilmesi için gerekli olan teknik çizimlerin ve belgelerin hazırlanmasına temel oluşturur ve inşaat sürecinin başarılı bir şekilde yürütülmesi için hayati öneme sahiptir. Detaylı tasarım, projenin fonksiyonel ve estetik hedeflerini gerçekleştirmek için gerekli olan tüm teknik ve tasarım kararlarını içerir.

İnşaat sektöründe detaylı tasarım aşamasında VR, tasarımın en ince detaylarını görselleştirmek için kullanılır. Bu, tasarımın tüm yönlerinin, özellikle karmaşık bileşenlerin ve bağlantı noktalarının, detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Mühendislik detaylarının ve yapısal elemanların tasarıma entegre edilmesinde önemli bir rol oynar. Bu sayede, yapısal ve mekanik sistemlerin sanal ortamda test edilmesi ve optimize edilmesi mümkün olur. Proje aşamaları arasında ortaya çıkabilecek hataların ve risklerin tespit edilmesinde yardımcı olur. Sanal ortamda yapılan simülasyonlar sayesinde, potansiyel sorunlar erken aşamada belirlenerek, maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçilir. Projenin çeşitli disiplinler arasında koordinasyonunu kolaylaştırır. Tasarım ekibi, mühendisler ve müşteriler arasında etkili bir iletişim ve işbirliği ortamı sağlar, bu da projenin daha hızlı ve hatasız ilerlemesine katkıda bulunur.

Teknik çizimler ve belgeleme aşaması, projenin inşaatı için gerekli olan tüm teknik çizimleri ve belgeleri içerir. Bu belgeler, bina planları, kesitler, cephe görünüşleri, yapısal planlar, elektrik ve mekanik sistem planları gibi detayları kapsar. Ayrıca, malzeme listeleri, teknik özellikler ve inşaat yöntemleri hakkında bilgiler de bu aşamada belirlenir. Teknik çizimler ve belgeleme, inşaat sürecinin doğru ve verimli bir şekilde yürütülmesi için temel bir rehber görevi görür ve projenin başarıyla tamamlanmasını sağlayan temel bir bileşendir.

İnşaat sektöründe teknik çizimler ve belgeleme aşamalarında VR teknolojilerinin kullanımı, bu süreçlerin etkinliğini ve verimliliğini artırır. VR, teknik çizimlerdeki karmaşık yapısal detayların ve mekanik sistemlerin detaylı bir şekilde görselleştirilmesini sağlar. Bu, mühendislerin ve tasarımcıların daha doğru ve etkili kararlar almasına yardımcı olur. VR teknolojisi, proje ekiplerinin farklı lokasyonlardan bir araya gelerek teknik çizimler üzerinde eş zamanlı çalışmalar yapmalarını mümkün kılar. Bu, projenin farklı

aşamalarında işbirliğini ve verimliliği artırır. VR, inşaat mühendisleri ve tasarımcıları için eğitici simülasyonlar sunarak, yeni teknik çizim tekniklerinin ve standartlarının öğrenilmesini kolaylaştırır.

İnşaatın planlanması ve hazırlık aşaması, projenin inşa edilmesi için gerekli tüm planlamalar yapılır ve hazırlıklar gerçekleştirilir. Bu süreç, inşaat alanının hazırlanmasını, gerekli malzeme ve ekipmanların teminini, iş gücü düzenlemelerini ve inşaat takviminin oluşturulmasını içerir. Ayrıca, bu evrede, inşaat izinleri, yasal gereklilikler ve güvenlik protokolleri gibi önemli yasal ve düzenleyici hususlar da göz önünde bulundurulur. İnşaatın planlanması ve hazırlığı, projenin başarılı ve verimli bir şekilde yürütülmesi için hayati öneme sahiptir.

VR, inşaat sürecinin sanal ortamda simülasyonunu sağlar, bu da projenin fiziksel inşasına başlamadan önce planların ve yöntemlerin test edilmesine olanak tanır. VR, inşaat alanının güvenlik yönlerini simüle ederek risk yönetimini ve güvenlik planlamasını iyileştirir. Müşteriler, inşaatın ilerleme durumunu sanal olarak görebilir ve gerekirse değişiklik talebinde bulunabilirler. İnşaat alanının lojistik ve yerleşim planlamasında kullanılır. Bu, inşaat malzemelerinin, ekipmanların ve iş gücünün daha verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar.

VR, tasarım süreçlerinde giderek daha fazla kullanılan bir teknolojidir. VR teknolojisi, tasarım süreçlerinin çeşitli aşamalarında kullanılarak, daha etkili ve interaktif tasarım deneyimleri sunar Tasarımcılara ve mühendislere, projelerini üç boyutlu bir ortamda tasarlamak ve görselleştirmek için benzersiz fırsatlar sağlar. VR'nin kullanımı, müşteri sunumlarından eğitime ve işbirliğine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilir. Her aşamada VR, daha derinlemesine bir anlayış ve etkileşim sağlayarak projelerin daha başarılı ve verimli bir şekilde geliştirilmesine katkıda bulunur.

4.3 Eğitim ve Güvenlikte Sanal Gerçeklik

İnşaat sektöründe eğitim, bu alanda çalışacak profesyonellerin gerekli teknik bilgi, beceri ve anlayışı kazanmalarını sağlamak üzere tasarlanmış bir süreçtir. Öğrenciler, sanal gerçeklik ortamında, özellikle STEAM (Bilim, Teknoloji, Mühendislik, Sanat ve Matematik) alanlarında, gerçek dünya uygulamalarını simüle edebilirler. Bu eğitimler, inşaat sektöründe yapısal mühendislik, proje yönetimi, inşaat malzemeleri, maliyet

hesaplama, iş güvenliği, inşaat hukuku ve çevresel etkiler gibi geniş bir konu yelpazesini kapsar. Eğitim programları, hem teorik bilgileri hem de pratik uygulama deneyimlerini içerebilir, bu sayede öğrenciler inşaat projelerini etkin bir şekilde planlama, yönetme ve uygulama yetenekleri kazanır. Bu eğitim genellikle üniversitelerin mühendislik bölümleri, teknik okullar ve mesleki eğitim kurumları tarafından verilir.

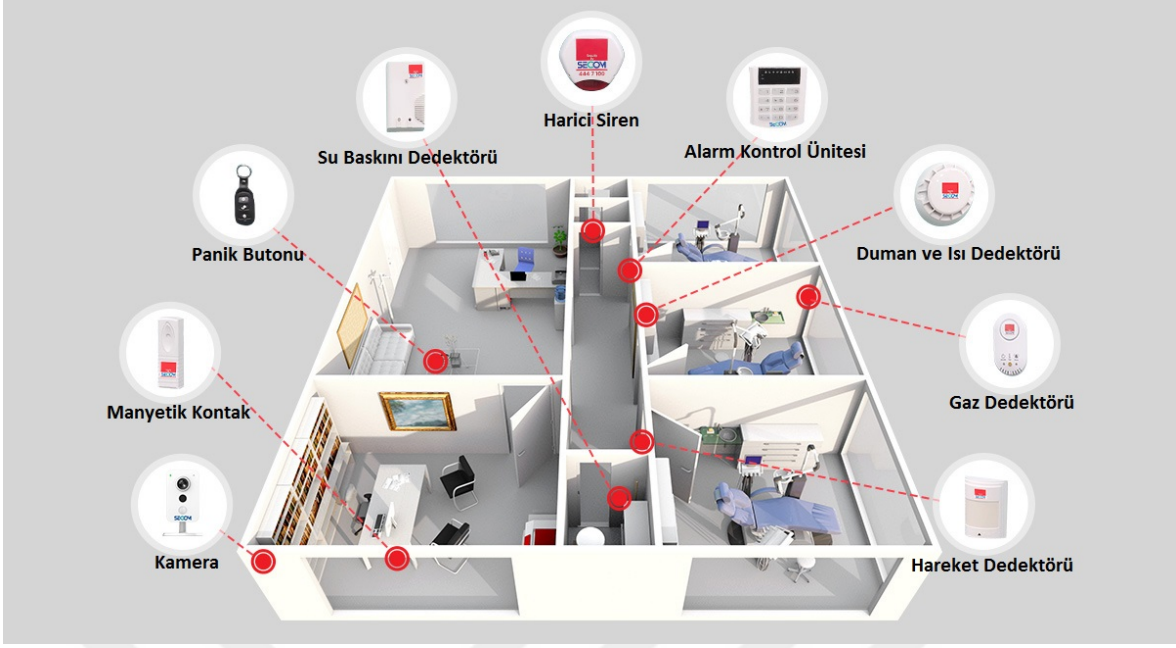
Teknolojinin inşaat sektöründeki eğitimlere entegrasyonu, özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde bilgisayar ve internet teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla başladı. 1990'lar ve 2000'ler boyunca, CAD programları, eğitim araçları olarak kullanılırken daha sonraki yıllarda, VR, AR ve çeşitli simülasyon yazılımları inşaat eğitimlerine dahil edildi. Bu teknolojiler, gerçekçi ve interaktif eğitim deneyimleri sunarak, öğrenme süreçlerini daha etkili ve uygulamalı hale getirdi. Bu araçlar, öğrencilere ve profesyonellere, gerçek dünya koşullarını taklit eden bir ortamda pratik yapma imkanı sunar, bu da öğrenme deneyimini zenginleştirir ve iş güvenliği bilincini artırır. Günümüzde, inşaat sektöründeki eğitimler, teknolojinin sunduğu bu yenilikçi araçlarla birlikte gelişmektedir. Bu teknolojik gelişmeler, inşaat sektöründeki eğitim metodolojilerini ve uygulamalarını sürekli olarak dönüştürmektedir.

İnşaat sektöründe güvenlik; işçilerin sağlık ve güvenliğini korumaya yönelik önlemler, politikalar ve prosedürleri kapsar. Yapısal mühendislikten inşaat yönetimine, güvenlik standartlarından sürdürülebilir inşaat tekniklerine kadar çeşitli alanlarda kullanılır. Bu, tehlikeli kazaları önlemek, işyeri yaralanmalarını azaltmak ve inşaat alanlarının güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli olan standartları ve uygulamaları içerir. İnşaat güvenliği, doğru ekipman kullanımı, tehlikeli maddelerin güvenli şekilde yönetilmesi, yüksekten düşme riskine karşı koruma ve acil durum prosedürleri gibi önemli konuları kapsar. Bu alanda, düzenli eğitimler ve sıkı güvenlik standartları uygulanarak riskler minimize edilmeye çalışılır. Eğitim programları, teorik bilgilerin yanı sıra pratik becerilerin ve iş dünyası tecrübelerinin kazandırılmasına da önem verir.



Şekil 4.3: Sanal gerçeklikle güvenlik eğitimi.

Teknolojinin inşaat sektöründeki güvenlik çalışmalarına katılımı özellikle 1980'ler ve 1990'lar boyunca bilgisayar ve dijital teknolojilerin gelişimiyle başladı. 19. yüzyılda artan endüstriyel faaliyetler ve büyüyen şehirleşme, işçi sağlığı ve güvenliği konularını gündeme getirdi. İlk olarak, CAD programları ve veri yönetim sistemleri, risk değerlendirmeleri ve güvenlik planlamasında kullanılmaya başlandı. 20. yüzyılın başlarında, özellikle Batı ülkelerinde, iş güvenliği yasaları ve düzenlemeleri oluşturulmaya başlandı. İnşaat sektöründe de bu dönemde iş kazalarını önlemek ve çalışma koşullarını iyileştirmek için çeşitli güvenlik standartları ve yönetmelikler geliştirildi. 2000'lerin başından itibaren, daha gelişmiş teknolojiler, özellikle VR ve AR, eğitim ve simülasyonlar için etkili araçlar olarak devreye girdi. VR sayesinde, inşaat çalışanları güvenli bir şekilde tehlikeli senaryoları deneyimleyebildi ve çeşitli güvenlik prosedürleri, acil durum yanıtları ve tehlikeli ekipman kullanımı gibi konularda pratik yapabildiler. Böylelikle VR işçilerin güvenlik bilincini ve becerilerini artırmada büyük rol oynadı. Gerçek dünya koşullarını taklit ederek eğitimi daha etkili hale getirdi. Günümüzde, inşaat sektöründe güvenlik, sıkı düzenlemeler ve sürekli eğitimlerle desteklenen temel bir önceliktir.



Şekil 4.4: Akıllı sensör teknolojileri.

İleri sensör teknolojileri, işçilerin çalışma ortamında karşılaşılabilecekleri tehlikeleri önceden algılamalarına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, giyilebilir teknolojiler ve IoT cihazları, işçilerin sağlık durumlarını izleyerek, olası tehlikelere karşı uyarılarda bulunmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, inşaat sektöründeki güvenlik uygulamalarını geliştirmekte ve işçi sağlığını korumaya yönelik önlemleri artırmaktadır.

İnşaat sektöründe eğitim ve güvenlik uygulamalarının gelişimi, endüstriyel devrim ve daha sonraki dönemlerde gelişen çalışma koşullarının iyileştirilmesi çabaları ile yakından ilişkilidir. Bu alandaki tarihsel gelişmeler, sektörün güvenlik standartlarını ve eğitim metodolojilerini şekillendirmiştir.

4.4 Müşteri Sunumlarında Sanal Gerçeklik

İnşaat sektöründe müşteri sunumları, özellikle dijitalleşmenin artan etkisi ve pandeminin getirdiği yeni zorluklarla birlikte evrilmekte ve dönüşmektedir. Pandemi, alışveriş önceliklerinde ve çalışma modellerinde değişikliklere yol açmış, bu da inşaat sektöründe müşteri yaklaşımlarını ve sunum stratejilerini etkilemiştir. Müşteri sunumlarında odaklanılması gereken temel alanlar, büyüme stratejilerinin yeniden şekillendirilmesi, dijital pazara giriş stratejileri ve çok kanallı pazarlama stratejileridir (URL-6, 2023).

İnşaat sektöründe dijital pazarlamanın geleceği ise sanal ve artırılmış gerçeklik, otomasyon, yapay zeka ve veri analitiği gibi trendlerle şekillenmektedir. Bu teknolojiler, müşteri deneyimlerini zenginleştirmek ve daha etkili pazarlama stratejileri geliştirmek için kullanılabilir. Örneğin, sanal gerçeklik, müşterilere sürükleyici deneyimler sunarak projeleri ve hizmetleri daha etkili bir şekilde sergileyebilir. Ayrıca, SEO ve sosyal medya kullanımı, inşaat şirketlerinin çevrimiçi görünürlüklerini ve müşteri etkileşimlerini artırmada önemli rol oynamaktadır. İnşaat sektörü için içerik pazarlaması da müşterileri çekme ve elde tutma açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda, inşaat sektöründe müşteri sunumları ve pazarlama faaliyetleri, geleneksel yaklaşımlardan daha dinamik ve teknoloji odaklı hale gelmektedir. Müşteri ihtiyaçlarına ve pazar trendlerine uyum sağlayarak, dijitalleşme ve teknolojik yenilikleri entegre eden şirketler, rekabette önemli bir avantaj elde edebilir ve sektördeki değişen dinamiklere daha etkin bir şekilde yanıt verebilir.



Şekil 4.5: Sanal gerçeklik ile müşteri sunumu.

Müşteri sunumlarında VR, geleneksel sunum tekniklerine göre birçok avantaj sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır. VR, sunumları daha etkileşimli, ilgi çekici ve unutulmaz hale getirebilir, bu da özellikle satış, pazarlama ve iç iletişim gibi alanlarda faydalıdır.

Sanal Gerçeklikle Hazırlanan Müşteri Sunumlarının Avantajları

- Etkileşimli ve Duyusal Deneyimler: VR, kullanıcıları bir markanın dünyasına adeta "davet eder" ve onlara, geleneksel PowerPoint sunumları veya basılı materyallerin sunamayacağı bir deneyim sağlar. Örneğin, bir dairenin VR içindeki sunumu,

kullanıcıların daireyi tüm detaylarıyla keşfetmelerine ve ürün hakkında daha derin bir anlayış kazanmalarına olanak tanır (URL-7, 2023).

- Unutulmaz Sunumlar: VR sunumları, kullanıcılara sadece bilgi sunmakla kalmaz, aynı zamanda onları etkileşime geçmeye ve sunum sürecine katılmaya teşvik eder. Bu, bilginin daha iyi hatırlanmasını sağlar ve sunumun genel etkisini artırır.
- Çeşitli Uygulama Alanları: VR, şirket tesislerinin sanal turlarından ürün ve hizmetlerin gösterimine kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. İç iletişim sunumları, ürün tasarımı ve eğitimler gibi alanlarda da etkili bir araçtır.
- Geniş Erişilebilirlik: VR sunumları, çeşitli cihazlarda görüntülenebilir, bu da onları daha geniş bir kitleye ulaştırabilir. Örneğin, Meta'nın Quest 2 gibi uygun fiyatlı ve bağımsız VR başlıkları, daha büyük ölçekte dağıtım için uygun olabilir.

VR sunumları tasarlarırken, birkaç önemli noktayı göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bunlar;

- Hedef ve İçerik Uyumu: Sunumun amacı ve içeriğiyle uyumlu olmalı ve sadece bir gösteriş aracı olarak değil, gerçek değer sunan bir araç olarak kullanılmalıdır.
- Etkileşim ve Katılım: Kullanıcıların etkileşime geçmelerini ve sunuma katılmalarını sağlayacak özellikler eklemek önemlidir. Örneğin, kullanıcıların sunum sırasında belirli noktalara tıklamalarını veya etkileşimli quizler yapmalarını sağlayarak, deneyim daha çekici hale getirilebilir.
- Sunum Süresi ve Konfor: VR başlıklarının uzun süreli kullanımı rahatsız edici olabilir, bu nedenle sunumların kısa ve etkili olmasına dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak, VR teknolojisi, müşteri sunumlarını daha etkileşimli, ilgi çekici ve akılda kalıcı hale getirerek, geleneksel sunum tekniklerinin ötesine geçme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiyi etkili bir şekilde kullanmak, şirketlerin hedef kitleleriyle daha derin bir bağlantı kurmalarını ve mesajlarını daha etkili bir şekilde iletmelerini sağlayabilir.

4.5 Bakım ve Onarım Faaliyetlerinde Sanal Gerçeklik

İnşaat sektöründe bakım ve onarım faaliyetleri, yapıların, altyapıların ve inşaatla ilgili diğer varlıkların işlevselliğini, güvenliğini ve estetik değerini korumak ve iyileştirmek için gerçekleştirilen çeşitli işlemleri kapsar. Bu faaliyetler, yapıların uzun ömürlü olmasını sağlamak, potansiyel sorunları önlemek ve var olan sorunları düzeltmek amacıyla yapılır.

İnşaat sektöründe bakım ve onarım faaliyetleri;

Yapısal Bakım: Binaların temel yapısını ve bütünlüğünü korumak için gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Bu, temel onarımlar, çatı tamirleri ve yapısal hasarların düzeltilmesi gibi onarımları içerir.

Elektrik ve Mekanik Sistemlerin Bakımı: Elektrik sistemleri, ısıtma ve soğutma sistemleri, su tesisatı ve diğer mekanik sistemlerin düzenli olarak kontrol edilmesi, bakımı ve gerektiğinde onarılmasıdır.

Estetik Onarımlar ve Yenilemeler: Boya, duvar kağıdı, zemin kaplamaları ve diğer iç dekorasyon unsurlarının bakımı ve yenilenmesidir.

Çevre Düzenlemesi ve Dış Mekan Bakımı: Peyzaj düzenlemesi, bahçe bakımı ve dış mekan yapılarının (örneğin, korkuluklar, teraslar) bakımındır.

Güvenlik ve Acil Durum Sistemlerinin Bakımı: Yangın alarmı ve söndürme sistemleri, güvenlik kameraları ve acil çıkış işaretlerinin düzenli olarak test edilmesi ve bakımı çalışmalarıdır.

Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik İyileştirmeleri: Enerji verimli aydınlatma ve cihazlar, yalıtım iyileştirmeleri ve yeşil bina uygulamalarının entegrasyonunu içerir.

Düzenli Denetim ve Değerlendirme: Yapıların ve tesislerin düzenli olarak denetlenmesi ve potansiyel sorunların erken tespitidir.

Yasal Uyumluluk ve Güncellemeler: Bina kodlarına, güvenlik standartlarına ve yasal düzenlemelere uyum sağlamak için yapılan güncellemelerdir.

Bu faaliyetler, yapıların ve tesislerin güvenli, işlevsel ve cazip kalmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bakım ve onarım çalışmaları, uzun vadede maliyetleri düşürmeye ve büyük onarımların ihtiyacını azaltmaya yardımcı olur. Teknolojinin bakım onarım faaliyetlerine dahil olması bu adımların uygulanmasında başarıyı ve verimi beraberinde getirdi.

Bakım ve onarım faaliyetlerinde teknolojinin kullanımına başlanması, özellikle son on yılda, dijitalleşme ve endüstriyel teknolojilerdeki ilerlemelerle hız kazandı. Bu teknolojik gelişmeler, bakım ve onarım süreçlerini daha verimli, etkili ve öngörülebilir hale getirdi. Bakım ve onarım faaliyetlerinde teknolojinin kullanımını incelersek;



Şekil 4.6: Bakım ve onarımda robotik sistemler.

Otomasyon ve robotik sistemler, zorlu veya tehlikeli bakım görevlerinde robotların ve otomatik sistemlerin kullanımı, insan işçilerin güvenliğini artırır ve daha yüksek hassasiyet ve verimlilik sağlar (Guizzo & Deyle, 2012). IoT cihazları, yapılarıdaki ve tesislerdeki ekipmanların durumunu gerçek zamanlı olarak izler. Bu cihazlar, potansiyel sorunları erkenden tespit etmeye ve önleyici bakım stratejilerine olanak tanır (Perera et al., 2015) Büyük veri ve veri analitiği, bakım faaliyetlerinden toplanan büyük verilerin analizi, ekipman arızalarının nedenlerini daha iyi anlamayı ve daha etkili bakım planları geliştirmeyi sağlar (Hashemian & Bean 2011). Mobil ve bulut teknolojileri, bakım ekipleri, mobil cihazlar ve bulut tabanlı sistemler aracılığıyla kritik verilere her yerden erişebilir. Bu, saha ekiplerinin hızlı ve bilgilendirilmiş kararlar almasını sağlar (Wang & Dunston, 2005). AR, teknisyenlere bakım sırasında etkileşimli rehberlik ve destek sağlar. VR ise eğitim ve simülasyonlarda kullanılarak, teknisyenlerin karmaşık görevlere hazırlanmasına yardımcı olur (Gavish et al., 2015).

Bu teknoloji kullanımı bakım ve onarım çalışmalarına birçok katkıda bulunur. Gelişmiş araçlar ve teknolojiler sayesinde bakım ve onarım işlemleri daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilir. Bu, iş akışını hızlandırır ve personelin daha verimli çalışmasını sağlar (Hashemian & Bean 2011).

Önleyici bakım stratejileri ve erken arıza tespiti, büyük onarımların ve beklenmedik arızaların maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Bu, uzun vadede işletme maliyetlerini düşürür (Perera et al., 2015). Tehlikeli bakım görevlerinde insan işçilerin yerine robotik sistemler ve otomatik izleme sistemlerinin kullanımı, iş kazalarını ve yaralanmaları azaltır. Büyük veri analitiği ve makine öğrenimi ML, bakım gereksinimlerini daha doğru tahmin ederek, karar verme süreçlerini destekler ve optimize eder (Wang&Dunston, 2005). AR ve VR, eğitim ve rehberlik için kullanılır, bu da teknisyenlerin karmaşık bakım işlemlerini daha etkili bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlar (Gavish et al., 2015). Teknoloji, bakım ve onarım süreçlerini şeffaf bir şekilde müşterilere raporlamayı kolaylaştırır, böylece müşteri memnuniyeti ve güveni artar. Enerji verimliliği ve atık azaltma gibi çevresel faktörler, teknoloji destekli bakım ve onarım stratejileriyle daha iyi yönetilir.

VR teknolojisinin bakım ve onarım faaliyetlerinde kullanımını biraz daha genişletirsek; VR, teknisyenlere gerçekçi ve risk içermeyen bir ortamda eğitim ve pratik yapma imkanı sunar. Örneğin, yüksek gerilim hatlarının bakımı veya tehlikeli kimyasallarla çalışma gibi riskli durumlar VR ortamında simüle edilebilir, böylece teknisyenler gerçek durum öncesi gerekli beceri ve deneyimi kazanabilir (Gavish et al., 2015). VR, uzmanların uzaktan rehberlik yapmasını sağlayarak, saha teknisyenlerine karmaşık bakım görevlerinde yardımcı olabilir. Bu, özellikle uzman desteğinin sınırlı olduğu veya tehlikeli alanlarda çalışılması gereken durumlarda faydalıdır (Guizzo & Deyle, 2012). VR, bakım ve onarım prosedürlerinin adım adım görselleştirilmesine olanak tanır. Bu, karmaşık ekipmanların bakımında veya yeni ve karmaşık teknolojilerin uygulanmasında özellikle yararlıdır (Dashti et al., 2021). Enerji santralleri, özellikle nükleer santraller, VR teknolojisi kullanarak santral içerisindeki bakım ve onarım işlemleri için simülasyonlar oluşturabilirler. Bu simülasyonlar, santral çalışanlarının gerçek ortamda karşılaşacakları riskleri ve zorlukları daha iyi anlamalarını sağlar ve olası acil durumlar için pratik yapma imkanı sunar (Perera et al., 2015).

Bakım ve onarım faaliyetlerinde VR teknolojisinin kullanımı, bu alanda devrim niteliğinde değişiklikler getirmiştir. VR, özellikle karmaşık veya tehlikeli ortamlarda bakım ve onarım işlemlerinin daha güvenli ve verimli bir şekilde yapılmasına olanak tanırken, eğitim ve operasyonel verimliliği de önemli ölçüde iyileştirmektedir.

5. SANAL GERÇEKLİKTE GÜNCEL UYGULAMALAR VE ÖRNEK İNCELEMELERİ

5.1 VR ile Gerçekleştirilmiş Başarılı Projeler

İnşaat sektöründe sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin kullanımı, projelerin planlama, tasarım ve inşa süreçlerini önemli ölçüde iyileştirmekte ve yenilikçi çözümler sunmaktadır. VR, inşaat projelerini daha gerçekçi ve etkileşimli bir şekilde görselleştirmeyi sağlayarak, tasarım kararlarının daha bilinçli alınmasına yardımcı olur. Ayrıca, inşaat mühendisleri ve diğer profesyoneller arasında işbirliğini ve iletişimi iyileştirir. İnşaat sektöründe VR ile gerçekleştirilmiş bazı başarılı projeler:

Skanska'nın VR Kullanımı: Skanska, uluslararası tanınan İsveç merkezli bir inşaat şirkettir. İş operasyonlarının çeşitli yönlerine VR teknolojisini etkin bir şekilde entegre etmiştir. Skanska İsveç, değişim hedefi kapsamında organizasyonel iki yeni program başlattı. Bunlar, DigiHub ve Dijital İnşaat Platformu (DCP) dir. Şirket DigiHub sayesinde bünyesine almak istediği hizmet ve malzemeleri daha öncesinde daha küçük bir ölçekte test edebilmektedir. VR'yi kullanarak, tasarımlarını daha gerçekçi bir şekilde görselleştirir. Bu teknoloji, proje paydaşlarının, tasarımları daha ayrıntılı bir şekilde incelemesine ve projenin daha erken aşamalarında değişiklik yapılmasına olanak tanır. Ayrıca maliyet tasarrufu ve verimlilik artışı sağlar.

Skanska inşaat şirketinin VR teknolojisini kullandığı dikkate değer uygulamalar şunlardır: Skanska, çalışanlarının güvenlik eğitim programı için OutHere adlı yaratıcı bir stüdyo ile işbirliği yaparak oldukça gerçekçi VR senaryoları geliştirmiştir. Bu girişim, kazaları azaltmak ve daha güvenli inşaat alanları oluşturmak amacıyla yapılmıştır. VR senaryoları, işçileri potansiyel riskli durumlara maruz bırakarak, bu tehlikelere kontrollü bir sanal ortamda tepki vermelerini sağlamıştır. Bu yaklaşım, gerçek risk olmadan simüle edilmiş ortamda tehlikelere maruz kalarak, işçilerin davranışlarını değiştirmeyi ve güvenlik farkındalığını artırmayı hedeflemiştir. (URL-8)

Birleşik Krallık'ta Skanska, şantiye denetçilerine, inşaat alanlarında bulunan geçici yapıları, örneğin hendekler ve kalıp işlerini nasıl denetleyeceklerini öğretmek için VR eğitimi geliştirmiştir. Bu eğitim, geleneksel yöntemlerden farklı olarak, VR başlıkları kullanılarak dijital bir dünyada gerçekleştirilmiştir. Eğitim alanlar, sanal yapılarla etkileşim

kurarak, ölçümler yapabilir. Simüle edilmiş, gerçekçi bir ortamda hataları tespit edebilirler. Bu eğitim yöntemi, özellikle tehlikelerin güvenli bir şekilde tanımlanmasını sağlayarak faydalı olmuştur. VR tabanlı program, Skanska'nın Güvenlik Haftası için Planla-Yap-Kontrol Et-Eylem temasıyla uyumlu olarak hazırlanan eğitim sürecinin, verimliliğini, güvenliğini ve esnekliğini artırmıştır. (URL-9)

Skanska, geçici işlerinde denetçileri ve koordinatörleri eğitmek için "oda ölçekli" VR kullanmıştır. Bu yenilikçi program, büyük bir kazı alanı ve ıslak betonu desteklemek için tasarlanmış yanlış iş iskeleleri dahil olmak üzere altı farklı geçici iş kurulumunu simüle etmiştir. Eğitim alanlar, HTC Vive başlıkları takarak 1:1 ölçekli sanal ortama dalmış ve elde tutulan kontrolörleri kullanarak sanal yapılarla etkileşim kurmuşlardır. VR sistemi, fiziksel eğitim alanlarında mümkün olmayan tehlikeli senaryoları simüle edebilmiştir. Bu yaklaşım, eğitim alanlarını güvenli ve kontrollü bir şekilde risklere maruz bırakarak öğrenme potansiyelini artırmıştır. Bu yöntem, eğitimi çeşitli yerlerde daha uygun ve esnek bir şekilde sunmanın yanı sıra, ihtiyaçlara göre özelleştirilmiş eğitim senaryoları oluşturabilme imkanı sağlamıştır. (URL-10)

AECOM ve VR: AECOM, küresel ölçekte bir altyapı firması olarak, sanal gerçeklik (VR) teknolojisini çeşitli projelerde başarıyla kullanmıştır. Bu projeler, VR teknolojisinin tasarım süreçlerinde nasıl etkili bir iletişim ve görselleştirme aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. İşte AECOM'un VR teknolojisini kullandığı bazı örnek projeler:

AECOM, Waterloo İstasyonu için bir uçuş simülasyonu ve sanal gerçeklik deneyimi geliştirdi. Bu proje, ikonik istasyonun 3D- dijital olarak yeniden tasarlanmasını ve eski uluslararası terminalin yeniden yolcu trenlerine açıldığında nasıl görüneceğinin sanal olarak gösterilmesini içeriyordu. Bu, yolculara ve diğer paydaşlara istasyonun gelecekteki halini etkili bir şekilde göstermek için kullanılan yenilikçi bir çözümdü. (URL-11) (URL-12)

AECOM'un görselleştirme uzmanları, bir dizi sektörde fotoğercerçi 3D görselleştirmeler, uçuş animasyonları, sanal gerçeklik deneyimleri, fotomontajlar ve diğer grafik çözümleri üretmektedir. Bunlar arasında ulaşım, enerji, su, çevre, inovasyon ve güvenlik projeleri

bulunmaktadır. AECOM, bu teknolojiyi, projelerde tasarım deneyimini artırmak ve daha büyük bir etki ve varlık hissi yaratmak için kullanmaktadır. (URL-13)

AECOM, Highways England, Network Rail, Transport for London, Rolls-Royce ve Heathrow Havalimanı gibi müşteriler için çalışmalar yapmıştır. Bu projeler, VR teknolojisinin geniş bir müşteri yelpazesine nasıl uyarlanabileceğini göstermektedir. Özellikle, karmaşık altyapı projelerinin görselleştirilmesinde ve tasarım süreçlerinin daha etkileşimli hale getirilmesinde VR teknolojisinin önemi vurgulanmaktadır. (URL-14) (URL-15).

Bu projeler, VR teknolojisinin inşaat ve altyapı sektörlerinde nasıl yenilikçi bir şekilde kullanılabilceğinin örnekleridir. AECOM, VR teknolojisini etkili bir şekilde kullanarak, tasarım süreçlerini daha anlaşılır, etkileşimli ve gerçekçi hale getirmekte ve böylece projelerin başarısına katkıda bulunmaktadır.

Mortenson Construction'ın VR Kullanımı: Mortenson Construction, VR'yi, özellikle sağlık hizmetleri ve spor tesisleri gibi karmaşık yapı projelerinde kullanmıştır. VR, tasarımcıların ve inşaatçıların, proje üzerinde daha etkili işbirliği yapmalarını sağlayarak, tasarım hatalarını azaltmış ve inşaat sürecini hızlandırmıştır. Mortenson Construction'ın VR teknolojisini kullandığı bazı projeler:

Buell Public Media Center: Rocky Mountain Public Media için Colorado, Denver'da yer alan Buell Public Media Center projesi, AR teknolojisi kullanılarak hayata geçirildi. Bu proje, potansiyel bağışçıların gelecekteki binanın çeşitli iç mekanlarını sanal bir ortamda keşfetmelerine olanak tanıdı. AR başlıkları, bağışçıların kendilerini projenin bir parçası olarak görmelerini sağlayarak, projeye daha fazla sahiplenme hissi verdi ve yatırımcı toplama hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynadı (URL-16).

ASU Mullett Arena: Arizona State University (ASU) için 197,000 metrekarelik yeni bir hokey, güreş ve etkinlik merkezinin inşasında VR teknolojisi kullanıldı. VR modeli, Üniversite, Mortenson ve tasarımcı arasında iletişimi kolaylaştırmak ve etkili karar alma süreçlerini desteklemek için tasarlandı. Ayrıca, bu VR ortamı, potansiyel yatırımcıları çekmek ve öğrencileri cezbetmek için kullanıldı. (URL-17)

Çeşitli İnşaat Projeleri: Mortenson, yılda yaklaşık 20 Unity tabanlı VR projesi gerçekleştirerek, ABD'nin en büyük mülk geliştiricileri, otel zincirleri ve üniversiteleri için birçok üst düzey müşteriye VR ve 360 video deneyimi sağlamıştır. Bu projeler arasında, Seattle'daki bir Marriott otelinin yeni koridoru, bir lüks dairenin üst katındaki olanaklar ve AMLI tarafından geliştirilen bir dairenin tamamı için immersive VR simülasyonları ve 360 video çalışmaları bulunmaktadır. Bu projelerde, VR, tasarımın fiziksel olarak inşa edilmeden önce paydaşların yeni mekanlarının tasarımları üzerinde işbirliği yapmalarını ve etkileşimde bulunmalarını sağladı. (URL-18)

Sağlık Tesisleri Tasarımı: Mortenson, sağlık tesisleri tasarımında VR'yi etkili bir şekilde kullanmıştır. Cerrahlar, hemşireler ve ekipman operatörleri, inşaat başlamadan önce sanal ameliyathanelerde bir araya gelerek, tasarımda etkinliği artırmak ve gelecekteki pahalı tadilatları önlemek için potansiyel verimsizlikleri ve çakışmaları tespit edebilirler. (URL-19)

Mortenson Construction'ın bu projeleri, VR ve AR teknolojilerinin inşaat ve mühendislik sektörlerinde nasıl yenilikçi ve etkili bir şekilde kullanılabileceğinin güçlü örnekleridir. Bu teknolojiler, proje iletişimini ve işbirliğini artırmanın yanı sıra, karmaşık ve tartışmalı projelerin toplum tarafından daha iyi anlaşılmasına ve desteklenmesine yardımcı olmuştur.

Bechtel ve VR: Bechtel, sanal gerçeklik teknolojisini, inşaat projelerinin planlanması ve tasarım aşamasında kullanarak, iş güvenliği ve verimliliği artırmıştır. VR, saha çalışanlarının proje alanını sanal ortamda deneyimlemelerini sağlayarak, risklerin azaltılmasına ve daha güvenli çalışma koşullarının oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Bechtel'in VR ve AR teknolojilerini kullandığı bazı projeler;

Bechtel, Industrial Training International (ITI) ile iş birliği yaparak, vinç operatörleri için VR tabanlı eğitim modülleri geliştirmiştir. Bu eğitim, gerçekçi senaryolar ve video oyunu benzeri kontroller aracılığıyla, operatörlerin becerilerini artırmayı ve sahadaki güvenliği iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu eğitim, operatörlerin seçim ve değerlendirme süreçlerini geliştirmeye yardımcı olmakta ve aynı zamanda ekipman koruması ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. (URL-20)

Bechtel, AR teknolojisini, saha eğitim faaliyetlerini desteklemek ve güvenlik prosedürlerinin kalitesini artırmak için kullanmaktadır. Örneğin, bir valfin veya elektrik ekipmanının izolasyonu sırasında, teknisyenler mevcut kaynaklardan çekilen metni ekipman üzerinde görüntüleyebilir veya dışarıdan, uzmanlardan canlı kamera açıklamaları alabilirler.(URL-21)

AR ve VR, güvenlik profesyonellerine, proje ekibinin üyelerine, buldukları konumdan bağımsız olarak, inşaat alanındaki güvenlik koşullarını görsel olarak iletebilme imkanı sunar. Bechtel, kullanıcıların inşaat alanındaki güvenlikle ilgili noktaları etiketleyip vurgulayabilecekleri 360° küresel modelleri kullanarak canlı bir çevre görünümü oluşturur. (URL-22)

Bechtel'in bu projeleri, VR ve AR teknolojilerinin inşaat sektöründe güvenlik ve eğitim alanlarında nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu teknolojiler, inşaat alanlarında iş güvenliğini artırmak, eğitim süreçlerini iyileştirmek ve proje ekipleri arasında daha etkili işbirliği ve iletişim kurmak için kullanılmaktadır. Bechtel, teknolojiyi, kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve gerçek dünya problemlerini çözmek için uygulamaya devam etmeyi hedeflemektedir.

Bu örnekler, inşaat sektöründe VR teknolojisinin nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini ve bu teknolojinin tasarım, planlama, işbirliği ve güvenlik gibi alanlarda sunduğu avantajları göstermektedir. VR, inşaat projelerinin daha verimli, güvenli ve maliyet etkin bir şekilde yönetilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

5.2 Türkiye ve Dünya'dan Uygulama Örnekleri

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi inşaat sektöründe gerçekleştirilmiş belirli projelerde etkili bir şekilde kullanılmıştır. İşte bu projelere özgü bazı örnekler;

Los Angeles Uluslararası Havalimanı (LAX) Otomasyonlu İnsan Taşıma Sistemi:

Bechtel, LAX 'te otomasyonlu insan taşıma sisteminin inşaatında VR teknolojisini kullandı. Bu proje, havaalanı terminalleri arasında yolcu taşımayı hızlandırmayı amaçlıyor. VR, proje tasarımını ve planlamasını görselleştirmek ve inşaat öncesi potansiyel sorunları belirlemek için kullanıldı.

Los Angeles Uluslararası Havalimanı'ndaki LAX, havalimanının geniş çaplı modernizasyon programının bir parçası olarak dikkat çekiyor. Bu program, yolcu deneyimini iyileştirmeyi, terminal erişiminde zamanın garanti edilmesini ve bölgesel ulaşım sistemiyle uzun zamandır beklenen bir bağlantının kurulmasını amaçlamaktadır. (URL- 22)

Projenin Nisan 2018'de başlaması ve 2023'te tamamlanması planlanmıştır. (URL-23)



Şekil 5.1: Los Angeles Uluslararası Havalimanı'ndaki (LAX) Otomatik insan taşıma sistemi (Automated people mover - APM) (URL-22).

APM, toplamda 2.25 mil uzunluğunda olup, havalimanı terminal döngüsünün içinde ve dışında yer alan altı istasyondan oluşan yükseltilmiş ve sürücüsüz bir transit sistemidir. Bu sistem, yolcuları ve çalışanları yeni Araç Transfer Tesislerine, yeni Konsolide Kiralık Araç Tesisi'ne ve Havaalanı Metro Bağlantı İstasyonu'ndaki LA Metro transit ağına bağlayacaktır. (URL- 23)

Her biri dört vagonlu olan dokuz tren, yoğun saatlerde (sabah 9'dan akşam 11'e kadar) hat boyunca sefer yapacak ve her biri 50 yolcu ve bagajlarını taşıyabilecek kapasitede olacaktır. Trenler, zirve saatlerde her iki dakikada bir istasyona uğrayacak ve toplam seyahat süresi yaklaşık 10 dakika olacaktır. (URL-22)

APM projesi, sürdürülebilirlik uygulamalarını benimseyerek, havalimanı bölgesinin karbon ayak izini azaltmayı hedeflemektedir. Sistemin filosu tamamen elektrikli olacak,

%98 oranında geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşacak ve rejeneratif frenleme yoluyla kendi enerjisinin bir kısmını üretecektir.(URL-22)

Bu proje, havalimanındaki trafik sıkışıklığını azaltmayı ve ziyaretçileri daha modern ve verimli bir şekilde ağırlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, Los Angeles World Airports (LAWA) tarafından yönetilen diğer projelerle de entegre bir şekilde çalışacak ve havalimanının genel verimliliğini ve erişilebilirliğini artıracaktır. Bütün bu otomasyonların sağlanabilmesi için yapının inşaatında VR teknolojisi kullanılmıştır.

Sahlgrenska Üniversite Hastanesi Göteborg/ İsveç: Sahlgrenska Üniversite Hastanesi, İsveç'in Göteborg kentinde bulunan ve ülkenin en büyük hastanelerinden biri olan önemli bir tıbbi kurumdur. Bu proje, eski binaların tıbbi gelişmelerin günümüz gereksinimlerini karşılayamaması üzerine geliştirildi.



Şekil 5.2: Sahlgrenska Üniversite Hastanesi (URL- 24).

Skanska, İsveç'in Göteborg kentinde bulunan Sahlgrenska Üniversite Hastanesi için bir görüntüleme ve müdahale merkezi inşa etme projesine liderlik etti. Yeni görüntüleme ve müdahale merkezi, daha önce mümkün olmayan görüntüleme tanı ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlandı. Proje, iyi planlama ve müşteri ile günlük olarak yakın temas sağlanarak karakterize edildi.

Tesis, iki blok ve birleştirici bir bölümden oluşmaktadır. Merkezi konumda yer alan bu yapı, bina tasarımı ve çevre düzenlemesi açısından büyük taleplerle karşı karşıya kalmıştır. İnşaat çalışmaları karmaşık, şantiye alanı dar ve yoğun. Ayrıca yeni binada biri yeraltı

su seviyesinin altında iki bodrum katı bulunuyordu. İnşaa süresince yakındaki faaliyetleri gürültü ve titreşimlerle etkilememek için, temel işleriyle ilgili ekstra dikkatli olunması gerekti. Temel imalatlarında kullanılan, gelişmiş teknikler sayesinde, çevredeki faaliyetler inşaat süresi boyunca devam edebildi. Yapı Skanska'nın işbirliği çerçevesinde gerçekleştirilen önemli bir tıbbi altyapı projesinin detaylarını sunmaktadır.

Skanska, Sahlgrenska Üniversite Hastanesi projesinde tüm bu ihtiyaçlara doğru yanıtlar verebilmek için, VR den faydalandı. Bu teknoloji, hastane tasarımını ve yapısal düzenlemeleri görselleştirmek, ayrıca proje paydaşlarına tasarımın son halini sunmak için kullanıldı.

Sthlm New Creative Business Spaces: Sthlm New Creative Business Spaces projesi, İsveç'in Stockholm kentinde, yaratıcı endüstrilere yönelik eski bir endüstriyel alanı modern ve esnek ofis bölgesine dönüştüren bir Skanska projesidir. Projenin amacı, Stockholm'ün ofis ve işyerlerinin çeşitlendirilmesine yardımcı olmak ve şehrin büyümesine katkı sağlamaktır.



Şekil 5.3: Sthlm New Creative Business Spaces. Stokholm/ İsveç (URL-25).

Geliştirilen iki ofis binası, oyun geliştirme, bilgi teknolojisi ve endüstriyel tasarım gibi alanlarda faaliyet gösteren şirketlere ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca, bölgeye beş yeni ofis binası daha eklenmesi planlanmaktadır, bunlardan biri 27 katlı ve şehrin yeni simgelerinden biri olacak Sthlm 01 binasıdır.

İnşaat Sektörü Devi Skanska İsveç 2023'e kadar tamamen dijitale geçmeyi planlamaktadır. Skanska İsveç 2023 için hedeflediği değişimi gerçekleştirmek amacıyla DigiHub ve Dijital İnşaat Platformu (DCP) olmak üzere iki yeni organizasyonel program başlattı.

DigiHub, Kuzey Avrupa ve Baltık bölgesindeki başarılı projeleri dijital gelişim ve entegrasyon alanında ele alır. Platform, paydaşlar arasında dijital çözümler konusunda işbirliği yapmayı, etkileşimi ve paylaşımı arttırmayı amaçlamaktadır. DigiHub'ın üzerinde durduğu konular, gelişen ve değişen dijital teknolojiler, insan, çevre kaynaklı etkiler ve zorluklar ve toplumsal ihtiyaçlara uyum sağlamaktır. DigiHub'un hedefi Kuzey Avrupa ve Baltık ülkelerinde yeşil, sürdürülebilir bir dijital dönüşümü desteklemeyi hedeflemektedir (URL-26)

Şirketin dijitalleşme çalışmalarından bir diğeri de DCP'dir. DCP, teknolojileri sayesinde, paydaşlar, çalışanlar, müşteriler arasında iletişimi güçlendirir ve yapı projelerinde kullanılan verilerin koordinasyonunu sağlar. Skanska DCP platformunda; ML, IoT sensörleri, karbon ayak izini ve şantiye ekipmanlarını gerçek zamanlı olarak takip sistemleri oluşturmayı hedefler. Uygulanmış projelere ait elde edilen veriler yeni projelerde performansı arttırmak için kullanılacak platform DCP'dir.

DigiHub teknolojisi, şirketin Stockholm'deki karma kullanımlı kompleksi Sthlm New Creative Business Spaces'in tasarımı için kullanılmaktadır. Şirketin dijitalleşme çabalarının büyük bir kısmı DCP'de gerçekleşmektedir.

ASU Mullett Arena: Arizona State University'nin (ASU) Mullett Arena projesi, Tempe, Arizona'da yer almakta ve 185,000 metrekarelik bir alana yayılmaktadır. Bu çok amaçlı arena, ASU'nun erkek hokeyi ve güreş takımları ile kadın jimnastiği takımlarına ev sahipliği yapacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, üniversite ve toplum etkinliklerini de barındıracak olan arena, Novus İnovasyon Koridoru içerisinde konumlandırılmıştır. Lüks sütler, premium oturma alanları, 942 koltuklu bir öğrenci bölümü, bir toplum pisti ve ASU'nun modern soyunma odaları, ağırlık odası, dinlenme salonu ve koç ofislerini içeren 9,000 metrekarelik bir alanı da içermektedir. Proje, Mortenson tarafından geliştirilip tasarlanmıştır ve Kasım 2022'de tamamlanmıştır.



Şekil 5.4: ASU Mullett Arena. Arizona State University (URL-27).

Arizona State University için yeni bir spor arenası olan ASU Mullett Arena'nın inşaatında Mortenson Construction, VR teknolojisini kullandı. Projede VR teknolojisinden hem tasarım sürecinde hem de potansiyel iş ortakları ve üniversite yöneticileri ile etkileşim sağlamak için yararlanıldı. Yeni işe alımlarda işe alınanların seçilmesinde VR kullanıldı. Potansiyel kullanıcılar ve kulüp üyeleri de kulüpleri ve sütünleri sanal olarak deneyimleme fırsatı buldu. Ek olarak VR, ASU'nun maliyet tasarrufu seçeneklerini görselleştirmesine ve seçeneklerin uygulanması durumunda bitmiş projenin nasıl görüneceğine dair net bir anlayış kazanmasına yardımcı oldu. (URL-28)

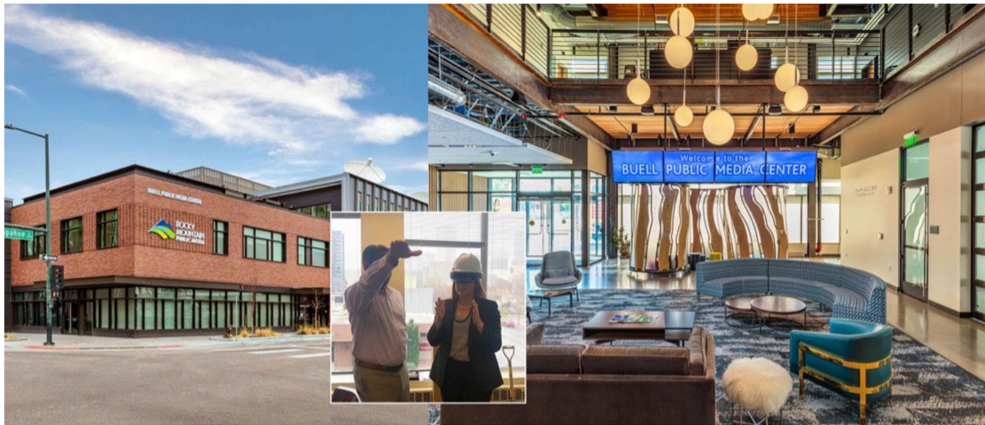
Waterloo İstasyonu Projesi: Londra'daki Waterloo İstasyonu'nun yükseltme projesi, Waterloo Uluslararası terminalinin yeniden yapılandırılmasını, 20-24 numaralı platformların yeniden düzenlenmesini ve 1-4 numaralı platformların daha uzun trenler için genişletilmesini içeriyordu. Proje, istasyonun erişilebilirliğini artırmak ve daha modern hizmetler sunmak amacıyla gerçekleştirildi. Projenin yönetimi Network Rail tarafından yapıldı ve Skanska, Colas Rail, Aecom ve Mott MacDonald gibi firmalar tarafından yürütüldü.



Şekil 5.5: Waterloo İstasyonu London. (URL-29).

AECOM, Londra'daki Waterloo İstasyonu'nun yenilenmesinde VR teknolojisini kullandı. Bu proje, istasyonun genişletilmesi ve modernize edilmesini içeriyordu ve VR, yenilenmiş alanın nasıl görüneceğini göstermek için kullanıldı.

Buell Public Media Center: Buell Public Media Center, Rocky Mountain Public Media (RMPM) için Colorado, Denver'da inşa edilen yeni bir merkezdir. Bu proje, RMPM'nin çeşitli medya kuruluşlarını tek bir çatı altında birleştirerek, daha verimli ve etkileşimli bir medya üretim ortamı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu merkez, RMPM'nin televizyon, radyo, dijital ve eğitim hizmetlerini destekleyen state-of-the-art teknolojiler ve tesislerle donatılmıştır.



Şekil 5.6: Buell Public Media Center (URL-17).

Buell Public Media Center, Denver, Colorado'da bulunan ve Rocky Mountain Public Media tarafından kullanılan yeni bir tesis olarak önem taşımaktadır. Bu projenin finansmanı için VR ve AR teknolojileri hayati bir rol oynamıştır. Potansiyel iş ortaklarına tesisin çeşitli iç mekanlarını keşfetme imkanı sunmak için AR başlıkları kullanılmıştır. Bu teknoloji, ortakların projeye daha fazla dahil olmalarını ve daha büyük paylara ortak olma olasılıklarını artırmıştır. Proje ekibi, yatırımcı toplama etkinliklerinde bu teknolojiyi kullanarak, daha geniş bir kitleye Rocky Mountain PBS'nin misyonunu tanıtmış ve tesisle doğrudan etkileşim fırsatı sunmuştur. Bu yaklaşım, projenin finansmanı için kritik öneme sahip olmuş ve yüksek miktarda yatırım toplanmasında doğrudan etkili olmuştur.

Truist Park: Truist Park, Atlanta Braves'in ev sahipliği yaptığı bir beyzbol stadyumudur ve Georgia, Atlanta'nın Cumberland bölgesinde yer alır. 2017 yılında açılan bu stadyum, daha önce Turner Field olarak bilinen eski stadyumun yerine geçmiştir. Truist Park, Atlanta Braves ve Major League Baseball (MLB) için modern bir mekan sunma amacıyla inşa edildi. Yaklaşık 41,000 seyirci kapasitesine sahiptir. Stadyumun tasarımı, seyircilere yakın ve samimi bir beyzbol deneyimi sunacak şekilde yapılmıştır. Stadyum kompleksi, The Battery Atlanta adı verilen bir eğlence bölgesi içerir. Bu bölge, restoranlar, alışveriş mağazaları, konser alanları ve konut birimlerini kapsar.



Şekil 5.7: Truist Park (URL-30).

Atlanta Braves, Truist Park'ı inşa etmeye başladığında tesis hedefleri arasında en iyi taraftar deneyimini yaratmak ve stadyumun ilerlemesini sağlamak için gerekli finansmanı sağlamak vardı. Tasarım aşamasında proje ekibi sanal ortam araçları sayesinde sezonluk bilet satışlarını, sponsorluk taleplerini ve gelir yaratmayı destekleyecek fırsatları ölçeklendirdi. Her teklifin oluşturulmasında ekip, ilgili yatırımcıların ürünü nasıl kullanacağını ve hangi hedeflere ulaşmak istediklerini değerlendirdi; çeşitli seviyelerde etkileşim ve grafik yoğunluğuna sahip özel araçlar üretti. Bu araçlar, biletleme ofisinin, sezonluk biletlerin erken satışlarını ve hatta kurumsal sponsorlukları toplamasını kolaylaştırdı. (URL-16)

Climate Pledge Arena: Climate Pledge Arena, ABD'nin Seattle şehrinde bulunan, çok amaçlı bir spor ve eğlence kompleksidir. Tesis, Seattle Center kompleksinin bir parçasıdır ve Seattle Kraken adındaki National Hockey League (NHL) takımına ve konserler, gösteriler ve diğer büyük ölçekli etkinliklere ev sahipliği yapmaktadır.



Şekil 5.8: Climate Pledge Arena. ABD (URL-31).

Arena, dünyanın ilk karbon-nötr ve sıfır atık üreten arenası olma iddiası taşımaktadır. Bu hedefe ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmakta, su tasarrufu sağlayan sistemler kullanmaktadır. Sürdürülebilir malzemelerle inşa edilmiştir.

Climate Pledge Arena 'da Oak View Group, özelleştirilmiş bir VR aracı kullandı. Kullanılan bu VR teknolojisi sayesinde "çok oyunculu" turnavalara ev sahipliği yapma yeteneği ile ince ayrıntılara sahip olan kompleksi kulüp üyeliklerine satmayı mümkün kıldı. VR teknolojilerinin kullanımı, satış temsilcilerinin potansiyel ortaklarla yan yana olduğu ve onlara sanal dünyada tesis boyunca rehberlik ettiği bir ortam sundu. Çoklu oyuncu işlevi ile yatırımcıları ve satış personelini her zamankinden daha yakın hale getirebildi.(URL-32)

İstanbul Havalimanı: Türkiye'de VR teknolojisi kullanılarak hayata geçirilen örnek projelerden biri, İstanbul Havalimanı'nın inşaat sürecidir. İstanbul Havalimanı, dünyanın en büyük havalimanlarından biridir. İnşaat sürecinde VR teknolojisi etkin bir şekilde kullanılmıştır.



Şekil 5.9: İstanbul Havalimanı (URL-33).

Proje kapsamında, havalimanının tasarımı ve planlaması etaplarında VR teknolojisi kullanılarak, mühendisler ve proje yöneticilerine kompleksin çeşitli bölümlerini ve yapısal özelliklerini sanal ortamda inceleyebilme olanağı sunuldu. Bu teknoloji, proje ekibinin tasarımı daha iyi anlamasını, potansiyel sorunları önceden tespit etmesini ve daha etkili çözümler geliştirmesini sağladı.

Ayrıca, İstanbul Havalimanı'nın tanıtımı ve pazarlaması aşamasında da VR teknolojisi kullanıldı. Böylece ziyaretçilere ve potansiyel iş ortaklarına havalimanının olanaklarını ve hizmetlerini interaktif bir şekilde göstermek, havalimanının sunduğu deneyimi sanal bir tur aracılığıyla keşfetme imkanı sunmak mümkün oldu.

Emlak Konut GYO: Türkiye'de VR teknolojisinin kullanıldığı bir diğer örnek, Emlak Konut GYO tarafından hayata geçirilen konut ve gayrimenkul projeleridir. Emlak Konut GYO, potansiyel alıcılar ve yatırımcılara projelerini daha etkileşimli ve gerçekçi bir şekilde sunmak için VR teknolojisini kullanmaktadır.

Bu projelerde, VR teknolojisi sayesinde, müşteriler konutların içini ve dışını sanal olarak gezebilmekte, farklı dekorasyon seçeneklerini deneyimleyebilmekte ve projenin tamamlanmış halini görme şansı elde etmektedirler. Bu teknoloji, özellikle henüz inşaat aşamasında olan projeler için faydalı olmaktadır, çünkü müşterilere tamamlanmış projenin nasıl görüneceği konusunda somut bir fikir sunmaktadır.

Emlak Konut GYO'nun bu yaklaşımı, gayrimenkul sektöründe müşteri deneyimini zenginleştirmekte ve satış süreçlerini daha etkili hale getirmektedir. VR, müşterilerin karar verme sürecini desteklerken, aynı zamanda onlara daha interaktif ve eğlenceli bir alışveriş deneyimi sunmaktadır.



Şekil 5.10: Emlak Konut GYO Balıkesir (URL-34).

Bu örnekler, VR teknolojisinin inşaat sektöründe, tasarım, eğitim, proje sunumu ve müşteri katılımı vb. farklı aşamalarda nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. VR, projelerin daha etkili bir şekilde planlanmasına, risklerin azaltılmasına ve paydaşların projeye daha fazla dahil olmasına yardımcı olmaktadır.

5.3 Başarısız Uygulamalar

İnşaat sektöründe VR teknolojisinin kullanıldığı ancak başarısızlıkla sonuçlanan projelere örnekler vermek biraz zordur. Çünkü genellikle başarısız projeler hakkında kamuoyuna açık bilgi verilmez veya bu tür projeler hakkında detaylı bilgiler yayınlanmaz. Ancak, VR teknolojisini etkin bir şekilde kullanmada başarısız olan inşaat projeleri genellikle şu tür sorunlarla karşılaşabilir:

Teknik ve Donanım Sorunları: VR teknolojisini destekleyen donanım ve yazılımların uyumsuzluğu veya yetersizliği, projenin başarısız olmasına neden olabilir. Örneğin, düşük kaliteli VR gözlükleri veya yetersiz bilgisayar donanımı, gerçekçi bir sanal gerçeklik deneyimi sunmada yetersiz kalabilir. Müşterilerin projeleri görselleştirmeleri ve geri bildirimde bulunmaları için VR teknolojisinden yararlanılmaması, müşteri memnuniyetinde düşüşe neden olabilir. Bu durum, projenin başarısını ve şirketin itibarını olumsuz etkileyebilir (Sampaio et al. 2010).

Kullanıcı Deneyimi ve Arayüz Sorunları: Kullanıcılar için karmaşık veya anlaşılması zor VR arayüzleri, teknolojinin kabulünü ve etkin kullanımını zorlaştırabilir. Kullanıcı dostu olmayan arayüzler, çalışanların VR teknolojisini benimsemesini ve kullanmasını engelleyebilir. VR teknolojisinin etkin kullanılmaması, tasarım ve planlama aşamalarında hatalara yol açabilir. Bu, projenin nihai sonucunu olumsuz etkileyebilir ve gereksiz maliyet artışlarına neden olabilir (Wang & Dunston, 2005).

İşbirliği ve Koordinasyon Eksikliği: VR teknolojisinin etkin kullanımının eksikliği, projede çalışan farklı disiplinler arasında işbirliği ve koordinasyon sorunlarına yol açabilir. Bu, projenin genel akışında aksamalara neden olabilir (Whyte, 2007).

Donanım ve Yazılım Uyumsuzlukları: VR gözlükleri, sensörler ve yazılım arasındaki teknik uyumsuzluklar, verimli bir VR deneyimi sağlamada engel oluşturabilir. Bu,

özellikle güncel olmayan veya düşük performanslı donanım ve yazılımlar kullanıldığında sorun teşkil edebilir.

Gerçekçilik ve İçerik Kalitesi Sorunları: VR içeriğinin gerçek dünya koşullarını yeterince yansıtmaması veya düşük kalitede olması, projenin etkililiğini azaltabilir. Gerçekçilikten yoksun veya eksik içerik, projenin amaçlarına ulaşmasını engelleyebilir.

Maliyet ve Bütçe Yönetimi Sorunları: VR teknolojisinin yüksek başlangıç maliyetleri, projenin bütçesini aşabilir ve beklenen getiriye sağlayamayabilir. VR teknolojisini etkin bir şekilde kullanamamak, projenin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasını engelleyebilir. Bu, projenin genel maliyetinin artmasına ve zaman çizelgesinin aksamasına neden olabilir (Eastman, 2011) Ek olarak, sürekli güncellemeler ve bakım için gereken ek maliyetler, projenin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilir.

Eğitim ve Destek Eksikliği: Proje ekibine yeterli VR eğitimi ve teknik destek sağlanmaması, teknolojinin doğru ve etkin bir şekilde kullanılmasını engelleyebilir. Eğitim ve destek eksikliği, çalışanların teknolojiye karşı güvensizlik duymasına ve kullanım hatalarına yol açabilir.

Bu tür durumlar, VR teknolojisinin inşaat projelerinde başarıyla uygulanmasının karmaşık ve dikkatli bir planlama gerektirdiğini göstermektedir. Başarılı bir uygulama için, teknolojik entegrasyon, kullanıcı eğitimi ve kabulü, maliyet ve zaman yönetimi gibi faktörlerin dikkatlice ele alınması gerekmektedir.

5.4 Gelecek Perspektifi

İnşaat sektöründe VR uygulamalarının geleceği, teknolojinin hızla gelişmesi ve sektörün ihtiyaçlarının artmasıyla oldukça umut verici görünmektedir. VR ile inşaat sektörünün gelecek perspektifine baktığımızda;

Tasarım ve planlama süreçlerinin gelişiminde, daha iyi görselleştirme olanakları ile mimar ve mühendisler, projelerin daha detaylı ve gerçekçi 3D görselleştirmelerini sunarak, tasarım aşamalarında daha etkili kararlar almalarını sağlayacaktır. Müşteriler, inşaat projelerinin sanal turlarını deneyimleyerek, tasarımlara erken aşamalarda geri bildirimde bulunabilecek, bu da müşteri memnuniyetini artıracaktır.

İş Güvenliği açısından VR, inşaat alanlarının potansiyel tehlikelerini simüle ederek, çalışanlara güvenli çalışma teknikleri konusunda pratik eğitimler sunacaktır. İnşaat alanlarının risk değerlendirmesini yapmak için kullanılacak, böylece tehlikeleri azaltarak iş güvenliğini artıracaktır.

İşbirliği ve koordinasyonun sağlanmasında, farklı lokasyonlarda bulunan proje ekipleri VR aracılığıyla etkileşime girebilecek, bu da zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Proje üzerinde gerçek zamanlı değişiklikler yapmayı ve bunların hemen görselleştirilmesini mümkün kılarak, daha hızlı ve esnek karar alma süreçlerini oluşturacaktır.

Müşteri deneyimi ve pazarlama için potansiyel alıcılar ve kiracılar, henüz inşa edilmemiş yapıları sanal turlar aracılığıyla deneyimleyebilecek, bu da pazarlama ve satış süreçlerini geliştirecektir. Müşteriler, VR aracılığıyla yapılarda istedikleri değişiklikleri önceden görebilecek ve özelleştirebileceklerdir.

Sürdürülebilirlik ve verimliliğin sağlanması için, inşaat projelerinde malzeme ve kaynak kullanımını optimize etmeye yardımcı olacak, böylece atık azaltılacak ve sürdürülebilirlik artırılacaktır. İnşaat süreçlerinin simülasyonu, proje zaman çizelgelerinin daha verimli yönetilmesini sağlayacak ve inşaat süreçlerinin hızlanmasına katkıda bulunacaktır.

VR teknolojisi, inşaat sektöründe tasarım, planlama, güvenlik, işbirliği, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik açısından önemli faydalar sunmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve sektörün ihtiyaçları doğrultusunda, VR uygulamalarının giderek daha yaygın ve sofistike hale gelmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, inşaat sektörünün daha güvenli, verimli ve yenilikçi hale gelmesine katkıda bulunacaktır.

6. SONUÇ

Bu araştırmada, inşaat sektöründe VR teknolojilerinin kullanımının yanında, AR ve MR uygulamalarının da kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerçekleştirilmiştir. İnşaat 4.0 çerçevesinde, dijitalleşme, akıllı şantiyeler, yapay zeka uygulamaları ve sürdürülebilirlik gibi ana konulara değinilerek, bu teknolojilerin sektöre nasıl entegre edildiği ve farklı kullanım alanları detaylıca ele alınmıştır.

VR ve AR teknolojilerinin inşaat sektörüne olan etkileri, proje görselleştirmeden tasarım süreçlerine, eğitim ve güvenlik uygulamalarından müşteri sunumlarına kadar geniş bir yelpazede incelenmiştir. Bu teknolojilerin, proje yönetimi, maliyet azaltma, risk yönetimi ve müşteri memnuniyeti gibi alanlarda sağladığı katkılar göz önünde bulundurulduğunda, inşaat sektöründeki dijital dönüşümün önemli bir parçası olduğu açıkça görölmektedir.

Araştırma, VR teknolojisinin başarılı uygulama örnekleriyle birlikte, etkin kullanılmadığında karşılaşılan zorlukları ve başarısızlık örneklerini de içermektedir. Bu durumlar, teknolojinin doğru ve etkin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Özellikle, teknolojik entegrasyon sürecindeki zorluklar, eğitim eksiklikleri ve uygun altyapı olmaması gibi sorunlar, başarısızlık örneklerinde sıkça karşılaşılan konular arasındadır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin geleceği, sürekli gelişen bir yapıya sahiptir. İnşaat sektöründe bu teknolojinin kullanımının artması, daha verimli ve etkili proje yönetimi pratiklerine yol açacak ve sektörün geleceğini şekillendirecektir. Özellikle, MR gibi yeni teknolojilerin entegrasyonu, inşaat sektörünü daha da dijitalleştirerek, sürdürülebilir ve verimli çözümlere olanak sağlayacaktır.

İNşaat sektöründe sanal gerçeklik uygulamalarının kullanımı, sektörün geleceği için hayati öneme sahiptir. Bu teknolojilerin etkin kullanımı, daha güvenli şantiyeler, maliyet ve zaman tasarrufu, artan müşteri memnuniyeti ve daha sürdürülebilir inşaat pratikleri gibi bir dizi fayda sunmaktadır. Ancak, bu faydalara ulaşmak için, sektörün bu teknolojilere adaptasyon sürecini hızlandırması ve gerekli eğitim ve altyapı yatırımlarını yapması gerekmektedir.

Bu araştırma, inşaat sektörünün dijital dönüşüm sürecinde önemli bir adım olarak sanal gerçeklik teknolojilerinin etkin kullanımının altını çizmektedir. Gelecek çalışmalar, bu teknolojilerin daha geniş kapsamlı entegrasyonunu ve inşaat sektöründeki diğer yenilikçi uygulamaları ele alabilir.



7. KAYNAKLAR

- Abbas, I., Ahmad, M., Sarfraz, H. S., Nadeem, M., & Subhan, R. (2020). Efficient and robust security implementation in a smart home using the internet of things. *Indian Journal of Science and Technology*, 13(15), 1563-1569.
- Radhi, A. A. (2016). Design and Implementation of a Smart Fire Alarm System Based of Wi-Fi over Long Distance (WiLD). *Al-Ma'mon Coll. J.*, (27), 374-389.
- Akenine-Moller, T., Haines, E., & Hoffman, N. (2019). *Real-time rendering*. AK Peters/crc Press
- Angelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., ... & Weaver, J. (2010). *Google street view: Capturing the world at street level*. *Computer*, 43(6), 32-38.
- Arslan, V. & Ulubeyli, S. (2022). Application of IoT Technology on Health and Safety in Construction. *International Project and Construction Management Conference*. İstanbul.
- Aukstakalnis, S. (2016). *Practical augmented reality: A guide to the technologies, applications, and human factors for AR and VR*. Addison-Wesley Professional.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4), 355-385.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6), 34-47.
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S., Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., ... & Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440.
- Tsui, J. B. Y. (2000). *Fundamentals of Global Positioning System Receivers*. Wiley & Sons.
- Behzadan, A. H., & Kamat, V. R. (2005, December). Visualization of construction graphics in outdoor augmented reality. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. (pp. 7-pp). IEEE.

- Berardi, U. (2012). Sustainability assessment in the construction sector: rating systems and rated buildings. *Sustainable development*, 20(6), 411-424.
- Billinghamurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New horizons for learning*, 12(5), 1-5.
- Billinghamurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.
- Billinghamurst, M., & Kato, H. (2002). *Collaborative Augmented Reality*. Communications of the ACM, 45(7), 64-70.
- Billinghamurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272.
- Billinghamurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001). The MagicBook: a transitional AR interface. *Computers & Graphics*, 25(5), 745-753.
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*. CRC press.
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in construction*, 59, 113-121.
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough?. *Computer*, 40(7), 36-43.
- Brown, Z., Cole, R. J., Robinson, J., & Dowlatabadi, H. (2010). Evaluating user experience in green buildings in relation to workplace culture and context. *Facilities*, 28(3/4), 225-238.
- Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons.
- Burke, R. (2013). *Project management: planning and control techniques*. John Wiley & Sons.
- Buxton, B. (2007). Multi-touch systems that I have known and loved. *Microsoft Research*, 56, 1-11.
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia tools and applications*, 51, 341-377.
- Carroll, J. M., & Rosson, M. B. (2014). Usability Engineering.
- Carter, G., & Smith, S. D. (2006). Safety hazard identification on construction projects. *Journal of construction engineering and management*, 132(2), 197-205.
- Choi, H. W., Kim, H. J., Kim, S. K., & Na, W. S. (2023). An overview of drone applications in the construction industry. *Drones*, 7(8), 515.

- Choi, S., Jung, K., & Noh, S. D. (2015). Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. *Concurrent Engineering*, 23(1), 40-63.
- Choudhry, R. M., & Fang, D. (2008). Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. *Safety science*, 46(4), 566-584.
- Christin, D., Reinhardt, A., Mogre, P. S., & Steinmetz, R. (2009). Wireless sensor networks and the internet of things: selected challenges. *Proceedings of the 8th GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose sensornetze*, 31-34.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2023). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & Sons.
- Cohen, M. H., Giangola, J. P., & Balogh, J. (2004). *Voice user interface design*. Addison-Wesley Professional.
- Costin, A., Pradhananga, N., & Teizer, J. (2012). Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. *Automation in Construction*, 24, 1-15.
- Cox, S. J., & Cheyne, A. J. (2000). Assessing safety culture in offshore environments. *Safety science*, 34(1-3), 111-129.
- Craig, A. B. (2013). Understanding augmented reality: Concepts and applications.
- Dashti, M. S., RezaZadeh, M., Khanzadi, M., & Taghaddos, H. (2021). Integrated BIM-based simulation for automated time-space conflict management in construction projects. *Automation in Construction*, 132, 103957.
- Ding, G. K. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of environmental management*, 86(3), 451-464.
- Dortek. (2018). *The Top 10 Benefits of Using YBM*. <https://dortek.com>.
- Döllner, J., & Hagedorn, B. (2007). Integrating urban GIS, CAD, and BIM data by service-based virtual 3D city models. In *Urban and regional data management* (pp. 157-170). CRC Press.
- Dry, C. M. (2000). Three designs for the internal release of sealants, adhesives, and waterproofing chemicals into concrete to reduce permeability. *Cement and Concrete Research*, 30(12), 1969-1977.
- Dukyil, A., Mohammed, A., & Darwish, M. (2018). Design and optimization of an RFID-enabled passport tracking system. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(1), 94-103.

- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of science Education and Technology*, 18, 7-22.
- Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Elboudali, A., Aoussat, A., Mantelet, F., Bethomier, J., & Leray, F. (2020). A customised virtual reality shopping experience framework based on consumer behaviour: 3DR3CO. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14, 551-563.
- Elias, R., Issa, R. R., & Wu, W. (2023). Progress on Building Information Modeling Education and Talent Acquisition. *International Journal of Construction Education and Research*, 19(4), 363-382.
- Enge, P. K. (1994). The global positioning system: Signals, measurements, and performance. *International Journal of Wireless Information Networks*, 1, 83-105.
- Fang, D. P., Huang, X. Y., & Hinze, J. (2004). Benchmarking studies on construction safety management in China. *Journal of construction engineering and management*, 130(3), 424-432.
- Few, S. (2009). *Now you see it: simple visualization techniques for quantitative analysis*. Analytics Press.
- Fidan, M., & Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. *Computers & Education*, 142, 103635.
- Furlan, R. (2016). The future of augmented reality: Hololens-Microsoft's AR headset shines despite rough edges [Resources_Tools and Toys]. *IEEE spectrum*, 53(6), 21-21.
- Garcia, M. (2013). Emerging technologies and drawings: The futures of images in architectural design. *Architectural Design*, 83(5), 28-35.
- Gouda, A., Hosny, O., & Nassar, K. (2017). Optimal crew routing for linear repetitive projects using graph theory. *Automation in construction*, 81, 411-421.
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798.

- Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual review of ecology and systematics*, 26(1), 1-24.
- Greenfield, D., & Brown, R. (2021). VR in Design: Seeing the Future. DesignTech Press.
- Grieves, M. W. (2005). Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises. *International Journal of Product Development*, 2(1-2), 71-84.
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. *White paper*, 1(2014), 1-7.
- Guizzo, E., & Deyle, T. (2012). Robotics trends for 2012. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(1), 119-123.
- Hallowell, M. R., & Gambatese, J. A. (2009). Construction safety risk mitigation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1316-1323.
- Han, J., Kamber, M., & Mining, D. (2006). Concepts and techniques. *Morgan kaufmann*, 340, 94104-3205.
- Harper, C. M., Tran, D., & Jaselskis, E. (2019). Emerging Technologies for Construction Delivery. National Academies of Science, Engineering and Medicine.
- Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information systems*, 47, 98-115.
- Hashemian, H. M. (2010). State-of-the-art predictive maintenance techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement*, 60(1), 226-236.
- Heilig, M. L. (1962). Sensorama simulator, us patent no. 3050870. *US Patent and Trademark Office*. <https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>.
- Henderson, S., & Feiner, S. (2010). Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17(10), 1355-1368.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A. R., Jaitly, N., ... & Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal processing magazine*, 29(6), 82-97.
- Holt, E. A., Benham, J. M., & Bigelow, B. F. (2015, June). Emerging technology in the construction industry: Perceptions from construction industry professionals. In *2015 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 26-595).
- Howard, R., Restrepo, L., & Chang, C. Y. (2017). Addressing individual perceptions: An application of the unified theory of acceptance and use of technology to building

- information modelling. *International Journal of Project Management*, 35(2), 107-120.
- Howarth, T., & Watson, P. (2008). *Construction safety management*. John Wiley & Sons.
- Höllerer, T., & Feiner, S. (2004). Mobile augmented reality. *Telegeoinformatics: Location-based computing and services*, 21, 221-260.
- Huang, H. K. (2011). *PACS and imaging informatics: basic principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Hughes, P., & Ferrett, E. (2011). *Introduction to health and safety at work*. Routledge.
- Hur, W. M., Ahn, K. H., & Kim, M. (2011). Building brand loyalty through managing brand community commitment. *Management Decision*, 49(7), 1194-1213.
- Jacob, R. J., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008, April). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 201-210).
- Javornik, A. (2016). 'It's an illusion, but it looks real!' Consumer affective, cognitive and behavioural responses to augmented reality applications. *Journal of Marketing Management*, 32(9-10), 987-1011.
- Jiang, H., Lin, P., Qiang, M., & Fan, Q. (2015). A labor consumption measurement system based on real-time tracking technology for dam construction site. *Automation in Construction*, 52, 1-15.
- Jonkers, H. M. (2007). Self healing concrete: a biological approach. In *Self healing materials: an alternative approach to 20 centuries of materials science* (pp. 195-204). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Kaganova, O., & Amoils, J. M. (2020). Central government property asset management: a review of international changes. *Journal of Corporate Real Estate*, 22(3), 239-260.
- Kamphuis, C., Barsom, E., Schijven, M., & Christoph, N. (2014). Augmented reality in medical education?. *Perspectives on medical education*, 3, 300-311.
- Kerlow, I. V. (2009). *The art of 3D computer animation and effects*. John Wiley & Sons.
- Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.
- Khazode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large

- healthcare project. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(22), 324-342.
- Kılıç, A., & Kapucu, S. (2016). Modüler Yeniden Yapılandırılabilir Robot Modülü Omnimo'nun Tasarımı ve Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3).
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Kim, M., Wang, X., Love, P., Li, H., & Kang, S. C. (2013). Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances. *Journal of Information Technology in Construction*, 18(2013), 279-305.
- Kim, Y., & Choi, H. (2021). *VR in Safety Training: Bridging the Gap Between Theory and Practice*. Seoul: SafetyTech Academic.
- Kipper, G. & Rampolla, J., (2012). *Augmented reality: An emerging technologies guide to AR*. Elsevier
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016-1022.
- Kruger, A., & Seville, C. (2012). *Green building: principles and practices in residential construction*. Cengage Learning.
- Kvan, T. (2000). Collaborative design: what is it?. *Automation in construction*, 9(4), 409-415.
- Lanier, J. & Biocca, F., (1992). An insider's view of the future of virtual reality. *Journal of communication*, 42(4), 150-172.
- Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2007). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 3). New York: Mcgraw-hill.
- Lee, C., & Chang, H. (2021). *Remote Sales and Customer Engagement with VR*. London: DigitalSales Press.
- Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150-162.
- Lobovikov, M., Ball, L., & Guardia, M. (2007). *World bamboo resources: a thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005* (No. 18). Food & Agriculture Org..

- Lu, H., Li, J., & Guizani, M. (2013). Secure and efficient data transmission for cluster-based wireless sensor networks. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, 25(3), 750-761.
- Ma, L., Sacks, R., Kattel, U., & Bloch, T. (2018). 3D object classification using geometric features and pairwise relationships. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33(2), 152-164.
- Manuele, F. A. (2020). *Advanced Safety Management: Focusing on Z10. 0, 45001, and Serious Injury Prevention*. John Wiley & Sons.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., & David, O. O. (2019). Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. *Economies*, 7(3), 68.
- Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1996). History, applications, technology and future. *Virtual Reality*, 72(4), 486-497.
- Milani, B. (2005). Building Materials in a Green Economy: Community-based Strategies for. *University of Toronto*, 26-41.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in construction*, 29, 173-182.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. J. P. C. (2016). Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia cirp*, 55, 290-295.
- Narayan, K. L., Rao, K. M., & Sarcar, M. M. M., (2008). *Computer aided design and manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Oculus, V. R. (2012). Oculus Rift: Step Into the Game. Kickstarter.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in industry*, 83, 121-139.
- Olsson, T., Lagerstam, E., Kärkkäinen, T., & Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2013). Expected user experience of mobile augmented reality services: a user study in the context of shopping centres. *Personal and ubiquitous computing*, 17, 287-304.
- Paavilainen, J., Korhonen, H., Alha, K., Stenros, J., Koskinen, E., & Mayra, F. (2017, May). The Pokémon GO experience: A location-based augmented reality mobile

- game goes mainstream. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 2493-2498).
- Pajares, G. (2015). Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281-330.
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.
- Perera, C., Liu, C. H., & Jayawardena, S. (2015). The emerging internet of things marketplace from an industrial perspective: A survey. *IEEE transactions on emerging topics in computing*, 3(4), 585-598.
- Peterson, F., Hartmann, T., Fruchter, R., & Fischer, M. (2011). Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned. *Automation in construction*, 20(2), 115-125.
- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking*. " O'Reilly Media, Inc."
- Pyle, D. (1999). *Data preparation for data mining*. morgan kaufmann.
- Ritchie, J. M., Dewar, R. G., & Simmons, J. E. (1999). The generation and practical use of plans for manual assembly using immersive virtual reality. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 213(5), 461-474.
- Rizzo, A., & Koenig, S. T. (2017). Is clinical virtual reality ready for primetime?. *Neuropsychology*, 31(8), 877.
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *Ifac-papersonline*, 48(3), 567-572.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence a modern approach*. London.
- Ruthenbeck, G. S., & Reynolds, K. J. (2015). Virtual reality for medical training: the state-of-the-art. *Journal of Simulation*, 9, 16-26.
- Sacks, R., Kedar, A., Borrmann, A., Ma, L., Brilakis, I., Hüthwohl, P., ... & Muhic, S. (2018). SeeBridge as next generation bridge inspection: Overview, information delivery manual and model view definition. *Automation in Construction*, 90, 134-145.

- Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of human factors and ergonomics*. John Wiley & Sons.
- Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P., & Martins, O. P. (2010). 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in construction*, 19(7), 819-828.
- Santos, M. E. C., Luebke, A. I. W., Rodrigo, M. M. T., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C., & Hirokazu, K. A. T. O. (2014, November). Authoring augmented reality as situated multimedia. In *22nd International Conference on Computers in Education (ICCE 2014)* (pp. 554-556). Asia-Pacific Society for Computers in Education.
- Satava, R. M. (2008). Historical review of surgical simulation—a personal perspective. *World journal of surgery*, 32, 141-148.
- Sauter, M. (2017). *From GSM to LTE-advanced Pro and 5G: An introduction to mobile networks and mobile broadband*. John Wiley & Sons.
- Sawacha, E., Naoum, S., & Fong, D. (1999). Factors affecting safety performance on construction sites. *International journal of project management*, 17(5), 309-315.
- Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented reality: principles and practice*. United States, America: Addison-Wesley Professional.
- Schnabel, M. A. (2009). Framing mixed realities. *Mixed Reality In Architecture, Design And Construction*, 3-11.
- Schwalbe, K. (2018). Information Technology Project Management, Loose-leaf Version.
- Sen, A. (2014). Development as freedom (1999). *The globalization and development reader: Perspectives on development and global change*, 525.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). Understanding virtual reality. *San Francisco, CA: Morgan Kaufman*.
- Shin, D. H., Dunston, P. S. (2008). Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*, 17(7), 882-894.
- Shirazi, A., & Behzadan, A. H. (2015). Design and assessment of a mobile augmented reality-based information delivery tool for construction and civil engineering curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3), 04014012.
- Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2010). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction*. Pearson Education India.

- Siciliano, B. & Khatib, O., (Eds.). (2016). *Springer handbook of robotics*. Springer International Publishing.
- Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in construction*, 41, 1-14.
- Silvero, F., Lops, C., Montelpare, S., & Rodrigues, F. (2019). Generation and assessment of local climatic data from numerical meteorological codes for calibration of building energy models. *Energy and Buildings*, 188, 25-45.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74.
- Smith, N. J. (2014). *Engineering Project Management* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Smith, P. (2012). *Architecture in a Climate of Change*. Routledge.
- Stallings, W. (2011). *Operating systems: internals and design principles*. Prentice Hall Press.
- Subashini, S., & Kavitha, V. (2011). A survey on security issues in service delivery models of cloud computing. *Journal of network and computer applications*, 34(1), 1-11.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, 18(3), 357-375.
- Sucu, M. (2021). "Karar Destek Sistemleri ve İş Zekâsı Uygulamalarının İşletmeler Açısından Önemi: Bir Literatür Araştırması" *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (44), 261-283
- Sutherland, I. E. (1968, December). A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I* (pp. 757-764).
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). The application layer in Computer Networks. *USA: Pearson Education, Inc*, 623-646.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563-3576.
- Thomas, P. C., & David, W. M. (1992, January). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Hawaii international conference on system sciences* (Vol. 2). ACM SIGCHI Bulletin.

- Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., ... & Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. *Journal of field Robotics*, 23(9), 661-692.
- Türkmen, H., & Sevda, A. K. A. R. (2021). Dijital ekonomi çerçevesinde Türkiye’de uygulanan bütçe politikaları. *Journal of Life Economics*, 8(4), 499-512.
- Urbain, J. (2010). Introduction to game development. *Cell*, 414, 745-5102.
- URL-1. <https://edge.tech/developments/the-edge>
- URL-2. <https://www.skyscrapercenter.com/building/shanghai-tower/56>
- URL-3. <https://www.bioregional.com/projects-and-services/case-studies/bedzed-the-uks-first-large-scale-eco-village>
- URL-5. <https://archello.com/de/story/25879/attachments/photos-videos/1>
- URL-6. (2023). <https://www.ekoyapidergisi.org/mimaride-vr-kullanmaniz-icin-4-neden>
- URL-7. (2023). <https://www.futurevisual.com/vr-training-solutions/>
- URL-8. <https://unity.com/case-study/outhere-and-skanska>
- URL-9. <https://group.skanska.com/media/articles/virtual-training-real-benefits/>
- URL-10. <https://www.bimplus.co.uk/skan6ska-uses-sc7ale-vir9tual-reality-onsite-train/>
- URL-11. <https://aecom.com/us/services/visualization-and-virtual-reality/>
- URL-12. <https://aecom.com/uk/services/property-solutions/visualisation-and-virtual-reality/>
- URL-13. <https://www.aecomvizstudio.com/immersive>
- URL-14. <https://aecom.com/us/services/visualization-and-virtual-reality/>
- URL-15. <https://aecom.com/uk/services/property-solutions/visualisation-and-virtual-reality/>
- URL-16. <https://www.mortenson.com/newsroom/virtual-reality-funds-construction>
- URL-17. <https://unity.com/case-study/mortenson-building-designs>
- URL-18. <https://www.mortenson.com/newsroom/next-gen-uses-in-ar-vr-technology>
- URL-19. <https://www.bechtel.com/newsroom/press-releases/bechtel-collaborates-with-iti-to-broaden-workforce-development-opportunities/>
- URL-20. <https://www.bechtel.com/newsroom/blog/innovation/using-extended-reality-to-improve-safety-on-construction-sites/>
- URL-21: <https://www.bechtel.com/newsroom/blog/innovation/using-extended-reality-to-improve-safety-on-construction-sites/>
- URL-22. <https://www.lawa.org/transforminglax/projects/underway/apm>

- URL-23. <https://www.flatironcorp.com/project/los-angeles-international-airport-automated-people-mover/>
- URL-24 <https://group.skanska.com/projects/57882/Sahlgrenska-image-and-intervention-center>
- URL-25. <https://group.skanska.com/media/articles/establishing-stockholm-s-new-hub-for-creative-companies/>
- URL-26. <https://nordregio.org/launch-of-the-nordic-baltic-digihub-for-a-connected-and-digitally-inclusive-region/>
- URL-27. <https://www.mortenson.com/projects/arizona-state-university-multipurpose-arena>
- URL-28. <https://www.mortenson.com/newsroom/power-of-virtual-design-and-construction-in-sports-projects>
- URL-29. <https://www.railway-technology.com/projects/waterloo-station-upgrade-london/?cf-view>
- URL-17. <https://www.mortenson.com/newsroom/virtual-reality-funds-construction>
- URL-31. <https://climatepledgearena.com/arena-info/>
- URL-32. <https://blog.unity.com/industry/mortenson-releases-climate-pledge-arena-vr-walkthrough>
- URL-33. <https://www.santiye.com.tr/limitlerin-zorlandigi-istanbul-havalimani-737.html>
- URL-34. <https://www.emlakkonut.com.tr/tr-tr/balikesir-emlakkonutlari>
- Van Tittelboom, K., & De Belie, N. (2013). Self-healing in cementitious materials—A review. *Materials*, 6(6), 2182-2217.
- Vaughan, N., Gabrys, B., & Dubey, V. N. (2016). An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training. *Computer Science Review*, 22, 65-87.
- Velastin, S. A., & Remagnino, P. (Eds.). (2006). *Intelligent distributed video surveillance systems* (Vol. 5). IET.
- Wagner, D., & Schmalstieg, D. (2007). Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices.
- Walker, A. (2015). *Project management in construction*. John Wiley & Sons.
- Wang, H., Pan, Y., & Luo, X. (2019). Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. *Automation in construction*, 103, 41-52.
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1204.

- Wang, Q., Gao, B., Li, T., Wu, H., Kan, J., & Hu, B. (2018). A triangular mesh generator over free-form surfaces for architectural design. *Automation in Construction*, 93, 280-292.
- Wang, X., & Dunston, P. S. (2007). Design, strategies, and issues towards an augmented reality-based construction training platform. *Journal of information technology in construction (ITcon)*, 12(25), 363-380.
- Wang, X. & Dunston, P. S., (2005). Mixed reality-based visualization interfaces for architecture, engineering, and construction industry. *Journal of construction engineering and management*, 131(12), 1301-1309.
- Webster, J. G. (Ed.). (2009). *Medical instrumentation: application and design*. John Wiley & Sons.
- White, S. R., Sottos, N. R., Geubelle, P. H., Moore, J. S., Kessler, M. R., Sriram, S. R., ... & Viswanathan, S. (2001). Autonomic healing of polymer composites. *Nature*, 409(6822), 794-797.
- Whyte, J. (2007). *Virtual reality and the built environment*. Routledge.
- Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., Pal, C. J., & Data, M. (2005, June). Practical machine learning tools and techniques. In *Data mining* (Vol. 2, No. 4, pp. 403-413). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Wong, J., Wang, X., Li, H., & Chan, G. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of information technology in construction*, 19, 281-291.
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, 62, 41-49.
- Xu, G., Li, M., Chen, C. H., & Wei, Y. (2018). Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. *Automation in Construction*, 93, 123-134.
- Xu, M., Nie, X., Li, H., Cheng, J. C., & Mei, Z. (2022). Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*, 49, 104007.
- Zainudin, A. Z. (2015). Application of drone in visual inspection for construction project. *Perpustakaan UMP, Universiti Malaysia Pahang, UMP*.

- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in construction*, 29, 183-195.
- Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P. J., & Rosenfeld, A. (2003). Face recognition: A literature survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(4), 399-458.
- Zhou, F., Duh, H. B. L., & Billinghurst, M. (2008, September). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 193-202). IEEE.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum Tarihi ve Yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık	2024
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık	2006
Lise	Balıkesir Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2002