

**ESKİŞEHİR**  
**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK**  
**ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

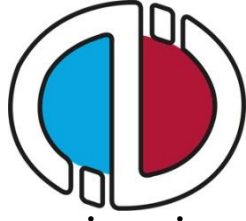
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN, İNŞAAT**  
**ENDÜSTRİSİNDE VE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE**  
**KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Muhammed GENÇ**  
**Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı**  
**Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

**BİLECİK 2019**  
**Ref. No. : 10306014**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

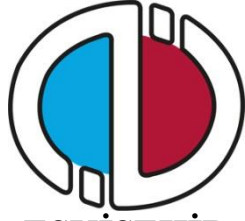
**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN, İNŞAAT  
ENDÜSTRİSİNDE VE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Muhammed GENÇ  
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

**BİLECİK, 2019**



**ESKİŞEHİR**  
**ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLECİK**

**ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences**  
**Department of Civil Engineering**

**USABILITY OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES**  
**IN CONSTRUCTION INDUSTRY AND CIVIL**  
**ENGINEERING**

**Muhammed GENÇ**  
**Master's Thesis**

**Thesis Advisor**  
**Assoc. Prof. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

**BİLECİK, 2019**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 16/09/2019 tarih ve 549 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/10/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Muhammed GENÇ' in "Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin İnşaat Endüstrisinde Ve İnşaat Mühendisliğinde Kullanılabilirliği" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ ~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Doç Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR

ÜYE

: Doç Dr. Özgür AVŞAR

ÜYE

: Doç Dr. Mustafa Özgür YAYLI

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışması süresince bana her konuda destek olan, bilgisi ve tecrübelerinden istifade ettiğim iyimser ve olumlu yaklaşımından ötürü; danışmanım, değerli hocam, Doç Dr. Süheyla Yerel KANDEMİR'e

Beni yetiştiren, büyüten, vaktiyle dualarını eksik etmeyen, sayısız fedakârlık yapan ve şu an cennetinde olan annem Saide GENÇ'e ve babam Saim GENÇ'e,

Her daim desteğini eksik etmeyen değerli eşim, Kevser GENÇ'e,

Bitmek tükenmek bilmez enerjisiyle hayat aşıl原因an Kızım Feyza'ya,

Kıymetli büyüğüm, tecrübelerini esirgemeyen Oğuz ATAY'a, ayrıca her kapısını çaldığımda geri çevirmeyen, çalışmamda büyük katkıları olan Turgut Selim HİKMET'e

Değerli dostlarıma ve aile bireylerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

## **BEYANNAME**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

.../.../ 2019

**Muhammed GENÇ**

# SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN, İNŞAAT ENDÜSTRİSİNDE VE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

## ÖZET

Dünyada birçok alanda kullanılmakta olan Sanal Gerçeklik teknolojilerinin inşaat sektöründe kullanımı yaygınlaşmaktadır. İnşaat sektöründe Sanal Gerçeklik teknolojileri ile gerçekleştirilen; tasarım, iletişim, şantiye yönetimi, eğitim, iş sağlığı ve güvenliği ve bakım-onarım süreçlerinde elde edilen sonuçlar, sanal gerçeklik sistemlerinin, geleneksel yöntemlere oranla önemli katkı sunduğunu ve üstünlükler sağladığını göstermektedir. Gerçekleştirilen birçok çalışmada Sanal Gerçeklik teknolojileri ile geliştirilen sistemlerinin geleneksel yöntemlerin yerini almaya başladığı görülmektedir. İnşaat sektöründe bir diğer yenilikçi teknoloji olan Yapı Bilgi Modelleme araçları ile üretilen çözümler inşaat sektörünün paydaşlarına yeni perspektifler sunmaktadır.

Sanal Gerçeklik teknolojilerinin simülatif araçları Yapı Bilgi Modelleme ile geliştirilen tasarımlarda; işbirliği, koordinasyon, sunum çalışmalarında etkili sonuçlar üretmektedir. Ayrıca Sanal Gerçeklik teknolojileri ile pazarlama, tasarım ve iş sağlığı ve güvenliği konularında üretilen simülatif temsil modellerin gerçekçilik, derinlik algısı üzerine sunduğu imkanlar dikkat çekmektedir. Bu çalışmada Sanal Gerçeklik teknoloji araçlarının inşaat sektöründe kullanım sıklığı ve etkinliğine göre; yazılım ve donanım örneklerini araştırılmıştır. Çalışma kapsamında; kaza, yaralanma, ölüm vb. risk faktörleri gibi dünyada inşaat sektöründe büyük bir endişe kaynağı olan İş Sağlığı ve Güvenliği süreçleri de irdelenmiştir. Sanal Gerçeklik teknolojileri ile desteklenen Yapı Bilgi Modelleme tabanlı iş sağlığı ve güvenliğine yönelik çalışmalar araştırılmış, Meta Analiz çalışması yapılarak çalışmalar değerlendirilmiştir. BIM tabanlı İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulama Planı (İSGUP) modeli önerisi geliştirilmiştir. Bu doğrultuda ulaşılan sonuçlar ile inşaat sektöründe sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir. İnşaat sektöründe Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşmaya başlanmasıyla olumlu kazanımlar elde edileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sanal Gerçeklik, İnşaat Sektörü, Simülatif Çözümler, Yapı Bilgi Modelleme

## USABILITY OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION INDUSTRY AND CIVIL ENGINEERING

### ABSTRACT

The use of Virtual Reality technologies used in many fields around the world is becoming widespread in the construction sector. Realized in the construction industry with Virtual Reality technologies; The results obtained in the design, communication, site management, training, occupational health and safety and maintenance-repair processes show that virtual reality systems make significant contributions and advantages compared to traditional methods. In many studies, it is seen that the systems developed with Virtual Reality Technologies have started to replace traditional methods. The solutions produced with Building Information Modeling tools, another innovative technology in the construction sector, offer new perspectives to the stakeholders of the construction sector.

Simulated tools of Virtual Reality technologies in the designs developed with Building Information Modeling; produces effective results in cooperation, coordination and presentation. In addition, the possibilities offered by simulated representation models produced in the areas of marketing, design and occupational health and safety with Virtual Reality technologies offer realism and depth perception. In this study, according to the frequency and effectiveness of use of Virtual Reality technology tools in construction sector; software and hardware samples were investigated. Scope of work; accident, injury, death etc. Occupational Health and Safety processes which are a major concern in the construction sector in the world, such as risk factors, have been examined. Works related to Occupational Health and Safety based on Building Information Modeling supported by Virtual Reality technologies were investigated, and Meta Analysis studies were conducted and evaluated. A BIM-based Occupational Health and Safety Implementation Plan (ISGUP) model proposal was developed. With the results achieved in this direction, solutions were proposed to expand the use of virtual reality technologies in the construction sector. It is considered that the positive gains will be achieved by the use of Virtual Reality Technologies in the construction sector.

**Keywords:** Virtual Reality, Construction Industry, Simulative Solutions, Building Information Modeling



## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>.....</b>
<b>BEYANNAME .....</b>	<b>.....</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>IX</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>X</b>
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.1 Tezin Kapsamı.....	2
<b>2. SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ .....</b>	<b>4</b>
2.1 Sanal Gerçeklik Nedir .....	4
2.2 Sanal Gerçeklik Tarihçesi .....	4
2.3 Sanal Gerçeklik Türleri .....	5
2.4 Sanal Gerçeklik Donanımsal Araçlar .....	6
2.5 Sanal Gerçeklik Kullanım Alanları .....	9
2.5.1 Mühendislikte Sanal Gerçeklik kullanımı .....	9
2.5.2 .Mimaride Sanal Gerçeklik kullanımı.....	10
2.5.3 Reklam ve pazarlama alanında Sanal Gerçeklik kullanımı .....	10
2.5.3 Medikal alanda Sanal Gerçeklik kullanımı.....	11
2.5.4 Askeri alanda Sanal Gerçeklik kullanımı .....	12
2.5.5 Oyun ve eğlence alanında Sanal Gerçeklik kullanımı.....	12
2.5.6 Turizmde Sanal Gerçeklik kullanımı .....	12
2.5.7 E-Ticarette Sanal Gerçeklik kullanımı .....	13
2.5.8 Eğitim uygulamalarında Sanal Gerçeklik kullanımı.....	13
<b>3. SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ ARAÇLARININ, İNŞAAT SEKTÖRÜNE YÖNELİK UYGULAMALARI.....</b>	<b>14</b>
3.1 Tasarım Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları .....	14

3.1.1	Tasarım görselleştirme ve ölçeklendirmede Sanal Gerçeklik araçları 1	15
3.1.2	Çakışma tespitine yönelik Sanal Gerçeklik araçları	19
3.1.3	Proje fiziki sunumu	20
3.1.4	Mimari unsurlara dayalı iletişim ve işbirliği	22
3.1.5	Sanal tasarım ve gerçek dünya eşgüdümlü diğer çalışmalar	25
3.2	Saha Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları	26
3.2.1	Şantiyede BIM verilerinin izlenmesine yönelik uygulamalar	27
3.2.2	Yapım işlerinde simülasyon süreçleri	29
3.2.3	İnşaat yapım süreci desteği	29
3.2.4	Saha denetimi ve yerinde destek uygulamaları	30
3.3	Yapım Sonrası Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları	30
3.3.1	Bakım ve onarım çalışmaları	30
3.3.2	Tesis yönetiminde Sanal Gerçeklik teknolojileri	31
3.4.	Eğitim ve oryantasyon çalışmalarında sanal gerçeklik uygulamaları	31
3.4.1	İşçi Eğitimi	32
3.4.2	İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarında sanal gerçeklik uygulamaları	34
3.5.	İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları	34
3.5.1	BIM Tabanlı İş Sağlığı ve Güvenliği uygulamalarında 4d teknikler ve Sanal Gerçeklik teknolojilerinin yeri	35
3.6	BIM Platformları ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri	37
3.6.1	BIM Platformları ve Sanal Gerçeklik teknolojileri arasındaki ilişki	38
3.6.2	BIM Bulut alanları	41
3.6.3	BIM platformları ile uyumlu Sanal Gerçeklik teknoloji yazılım araçları	41
3.6.4	Sanal Gerçeklik tabanlı çalışmaları BIM ve Bulut ile destekleyen araçlar, şirketler;	42
<b>4.</b>	<b>YAPI BİLGİ MODELLEME TABANLI İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ UYGULAMALARINDA SANAL GERÇEKLIK ve ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK UYGULAMALARININ YERİ</b>	<b>43</b>
4.1.	Meta Analiz Araştırması	43
4.2.	Analiz Yöntemi	45
4.3.	Meta Analiz Araştırma Sonuçları	49

<b>5. BIM TEKNOLOJİLERİN KARAKTERİSTİK BİLEŞENLERİ VE GETİRDİKLERİ .....</b>	<b>51</b>
5.1. BIM Platformlarının Tasarımsal Bileşenlerinin Özellikleri .....	51
5.1.1 Nesne tabanlı modelleme .....	51
5.1.2 IFC (industry foundation classes) tabanlı dosya transferi yapabilme.....	52
5.1.3 LOD - gelişim seviyesi tayin edebilme .....	52
5.1.4 Birlikte çalışabilirlik .....	53
5.1.5 Sürdürülebilirlik.....	53
5.1.6 Çakışma kontrolü .....	54
5.1.7 4D iş programı geliştirme .....	55
5.1.8 Tümüleşik proje yönetimi (Integrated project delivery IPD) .....	55
5.1.9 Otomatik metraj alabilme .....	55
5.1.10 İlerleme Takibi.....	55
5.2. BIM Platformlar Çalışma Şekli .....	56
5.2.1 BIM platformlarında parametrik tasarım .....	56
5.2.2 Model tabanlı tasarım .....	56
5.2.3 Akıllı nesnelere ile tasarım.....	56
5.3. BIM Platformlarının Faydaları .....	57
5.4. Ülkelere Göre BIM Standartları Ve Protokolleri .....	57
5.4.1 Amerika Birleşik Devletleri.....	58
5.4.2 İngiltere .....	58
5.4.3 İskandinav Ülkeleri.....	59
5.4.4 Singapur .....	60
5.4.5 Çin.....	60
5.4.6 Almanya.....	60
5.4.7 Hollanda.....	61
5.4.8 İspanya .....	61
5.4.9 İtalya .....	62
5.4.10 Avustralya.....	62
5.4.11 Japonya .....	62
5.4.12 Güney Kore.....	63
5.5. Standartlar ve Protokoller Değerlendirme .....	63

5.6. Türkiye ve Dünyada İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetimine Yönelik Mevzuat Çerçevesi .....	64
5.6.1 OHSAS 18001 .....	65
<b>6. İSGUP BIM TABANLI İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMA PLANI ÖNERİSİ.....</b>	<b>68</b>
6.1. İş Sağlığı ve Güvenliğine Yönelik BIM Uygulama Planı Oluşturulması .....	69
6.2. BIM Tabanlı İSGUP Uygulama Planı Süreci.....	71
6.3. Uygulama Planı Aşamaları ve Yürütme Süreci Başlıkları .....	71
6.4. İSGUP Uygulama Planı Model Analizleri .....	72
6.5. Önerilen Program Hedefleri; .....	73
6.6. Önerilen Modelin Değerlendirilmesi Ve Sonuçlar.....	81
<b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>83</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>	<b>.....</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 2.1.</b> HMD başlık kısımları.....	7
<b>Şekil 2.2.</b> Açısal farklılıklara görüş alanı örnekleri.....	8
<b>Şekil 2.3.</b> Arcdaily Sanal Gerçeklik uygulama örneği .....	10
<b>Şekil 2.4.</b> İkea markasının Sanal Gerçeklik reklamı .....	11
<b>Şekil 2.5.</b> Medikal alanda Sanal Gerçeklik kullanım örneği .....	11
<b>Şekil 2.6.</b> Manhattan'daki Henry Clay Frick Müzesi .....	13
<b>Şekil 3.1.</b> Visidraft Ag ile tasarım modeli.....	16
<b>Şekil 3.2.</b> Smartreality Artırılmış Gerçeklik uygulama örneği.....	17
<b>Şekil 3.3.</b> AR Sketchwalk Mimari uygulama örneği.....	18
<b>Şekil 3.4.</b> Sanal Gerçeklik tasarım örneği .....	19
<b>Şekil 3.5.</b> Şantiye ortamında Gamma AR kullanımı .....	20
<b>Şekil 3.6.</b> Cave Uygulama Görüntü örneği .....	21
<b>Şekil 3.7.</b> Açık alanada Arki uygulama örneği.....	22
<b>Şekil 3.8.</b> Enscape etkileşimli kullanım örneği .....	23
<b>Şekil 3.9.</b> InsiteVR ile Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik birarada kullanım örneği .....	24
<b>Şekil 3.10.</b> BIM ve InsiteVR ile Sanal Gerçeklik bir arada kullanım örneği.....	24
<b>Şekil 3.11.</b> Etkileşimli EON icube örneği.....	25
<b>Şekil 3.12.</b> Trimble yazılımı ve karma gerçeklik aracı Microsoft HoloLens ile şantiye uygulaması .....	26
<b>Şekil 3.13.</b> Şantiye ortamında Daqri aracı kullanımı .....	28
<b>Şekil 3.14.</b> Şantiye ortamında holografik görüntü örneği .....	28
<b>Şekil 3.15.</b> Airmeasure uygulamasından bir örnek .....	30
<b>Şekil 3.16.</b> Artırılmış Gerçeklik destekli Bakım onarım uygulama örneği.....	31
<b>Şekil 3.17.</b> Kule vinç Sanal Gerçeklik eğitim uygulmam örneği.....	32
<b>Şekil 3.18.</b> Worksite ile iş makinesi eğitim simülatörü.....	33
<b>Şekil 3.19.</b> Etkileşimli iş makinesi simülatörü örneği.....	34
<b>Şekil 3.20.</b> (a) Gerçek Yangın Vakası (b) BIM tabanlı Model (Yazılım:Revit) (c) Sanal Gerçeklik tabanlı eğitim uygulaması.....	36
<b>Şekil 3.21.</b> Vinç Planlama Modülü (a) Hatalı tasarım (b) Düzeltilen tasarım.....	36

<b>Şekil 3.22.</b> BIM ve Yapay zeka entegrasyonu raporu .....	37
<b>Şekil 3.23.</b> BIM 360 Platformu tasarım proje örneği .....	39
<b>Şekil 3.24.</b> BIM 4D model Tasarım geliştirimi.....	40
<b>Şekil 3.25.</b> GoogleCardboard Sanal Gerçeklik HMD kullanım örneği.....	41



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 4.1.</b> Yıllara Göre Yayın Sayısı Dağılımı .....	46
<b>Çizelge 4.2.</b> 4D teknikler ile BIM Modelleme Çalışmaları Alanları.....	46
<b>Çizelge 4.3.</b> İnceleme kapsamında incelenen veri türü .....	47
<b>Çizelge 4.4.</b> Meta Analiz Kapsamında İncelenen Yayınların Ükelere Göre Yayın Dağılımı.....	48
<b>Çizelge 5.5.</b> BIM Tabanlı İsg çalışmalarında Kullanılan 4d Modellemede kullanılan teknikler.....	49
<b>Çizelge 6.1.</b> İSG BIM Uygulama Planı Oluşturulması İçin Yapması Gerekenler Ve Gerekli Kaynaklar. ....	76
<b>Çizelge 6.2.</b> Önerilen İSGUP Program Analizleri.....	79
<b>Çizelge 6.3.</b> İsgup Program Kullanım ve Hedef Tablosu .....	80
<b>Çizelge 6.4.</b> Başlıca İsgup BIM Hedef - Kullanım İlişki Yönergeleri .....	81
<b>Çizelge 6.5.</b> İSGUP Tasarım Evrelerinde Uyulması Gereken BIM Kullanım Parametreleri.....	83
<b>Çizelge 6.6.</b> Örnek İsgup Toprak İşleri Detaylı Analiz Planı.....	84
<b>Çizelge 6.7.</b> Örnek İsgup Kaba İşler Detaylı Analiz Planı .....	85
<b>Çizelge 6.8.</b> Örnek İsgup Temiz Su Tesisat İşleri Detaylı Analiz Planı.....	85

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar Açıklamalar

SG	: Sanal GERÇEKLİK
AG	: Artırılmış Gerçeklik
SSG	: Sarmalayan Sanal Gerçeklik
AS	: Artırılmış Sanallık
CAD 3D	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAVE	: Computer Assisted Virtual Environment (Tam Katılımlı Ortamlar)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama Sistemleri)
GIS	: Geographical Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemi)
GPS	: Global Positioning System( Küresel Konumlama Sistemi)
CADD	: Computer Aided Design and Drafting(Bilgisayar Destekli Tasarım ve Çizim)
BIM	: Building Information Modelling (Yapı Bilgi Modelleme)
LOD	: Levels of Development (Detay Seviyesi)
DWG	: Drawing (Çizim dosyası uzantısı)
OSHA	: Occupational Safety And Health Administration (Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi)
2D	: 2 Boyutlu – (2 Dimensional)
3D	: 3 Boyutlu – (3 Dimensional)
4D	: 4 Boyutlu (4 Dimensional)
BIM	: Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi)
İMO	: İnşaat Mühendisleri Odası
IDC	: Uluslararası Veri Kurumu
AEC	: Architecture/Engineering/Construction
AIA	: American Institute of Architects (Amerika Mimarlar Odası)
ASCE	: American Society of Civil Engineers (Amerika İnşaat Müh. Odası)
BEP	: BIM Execution Plan (BIM Uygulama Planı)
BIM	: Yapı Bilgi Modelleme Building Information Modeling
BSI	: British Standards Institute (İngiliz standart Enstitüsü)
DXF	: Drawing Interchange file format



FM	: Facility Management (işletme yönetimi)
HA	: Hong Kong Housing Authority (Hong Kong konut dairesi)
IFC	: Industry Foundation Classes (Endüstri Temel Sınıfları)
ISO	: International Standart Organisation (Uluslararası Standartlar)



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Genel

Uzun vadede, Sanal Gerçeklik teknolojilerinin geleneksel yöntemlerin ve 3D görüntüleme sistemlerinin yerini alacağına dair kabuller bulunmaktadır. (Weir, 2019). Çalışmalar Sanal Gerçeklik teknolojileri ile inşaat sektöründe; planlama, çakışma tahlili, tasarım, proje yönetimi, veri simülasyon kabiliyeti, tasarım bilgi bütünleşmesi, maliyet analizleri ve öngörülere, eğitim ve iş sağlığı ve güvenliği gibi bir çok süreçlerde işlevsel olduğunu göstermektedir. (Park ve Kim, 2013)

Sanal Gerçeklik teknolojilerinin; güvenlik prosedürleri, tasarım etkinlikleri, eğitim programları ve pazarlama süreçlerindeki katkılarından inşaat sektörü de faydalanmıştır. Yazılım teknolojilerinin artan kapasitesi, BIM (Yapı Bilgi Modelleme) uygulamalarının mühendislik tasarımlarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır. BIM ile simülatif ve görsel teknolojiler kullanılarak iş sağlığı ve güvenliğinde yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir.

BIM çalışmalarının özellikle tasarım, güvenlik, eğitim, tesis planlaması-takibi-yönetimi gibi alanlarda simülatif çözümler üretmesi ve aynı konularda çözümler geliştiren 4d simülatif çalışmalarda en ileri teknolojinin Sanal Gerçeklik teknolojileri olması BIM ile Sanal Gerçeklik çözümlerini bir arada incelemeyi zorunlu kılmaktadır. Bu bakımdan birçok araştırmacı BIM platformlarını bu teknolojilerle birleştirerek incelemiştir. (Park ve Kim, 2013, Wang vd., 2006; Guo vd., 2013).

2000'li yılların başlarından itibaren BIM (Yapı Bilgi Modelleme) tabanlı uygulama platformları geleneksel yöntemlerin yerini almaya başlamış ve inşaat mühendisliğinde yenilikçi bir sistem olmuştur. Yakın dönemde inşaat endüstrisinde en çok ilerleme kaydeden teknoloji BIM Platformlarıdır. (Martinez vd., 2018). BIM ile; geleneksel tasarım, inşaat ve tesis yönetim yöntemleri terk edilirken; mevcut tasarım bilgileri değişerek BIM ile sanal gerçeklik araçları birlikte simülatif biçimde; çalışmaları kolay, pratik hale getirmede kullanılmaktadır. (Eastman vd., 2011).

Sanal Gerçeklik teknolojileri 21. Yy da önemli gelişmeler kaydetmiş, inşaat sektöründe de etkili biçimde kullanılan araç olmuştur. (Rahimian vd., 2014). Abd, Çin ve İngiltere başta olmak üzere dünyanın farklı bölgelerinde geleneksel yöntemler terk edilerek, birçok ülkede BIM standartları geliştirilmeye başlanmıştır. (Eastman vd., 2011). BSI (İngiliz standart Enstitüsü), AIA (Amerika Mimarlar Odası), HA (Hong Kong konut

dairesi) benzeri kurumlar ISO standartlar düzeyinde BIM tabanlı dönüşüm süreçlerini başlatmışlardır. (Zhang vd., 2013). Ülkemizde Akademik çalışmalar ve İMO (İnşaat Mühendisleri Odası) çatısı altında çalışmalar devam etmektedir.

## **1.2. Tezin Amacı**

Bu tezin amacı Dünyada hızlı bir şekilde gelişme kaydeden ancak ülkemiz inşaat sektöründe aynı gelişimi gösteremeyen Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanılabilirliğini ve uygulanabilirliğini saptamaktır.

Bu kapsamda Sanal Gerçeklik teknolojileri araştırılmış, Sanal Gerçeklik araçlarının donanımsal ve yazılımsal olarak genelinin; tasarımda, sahada ve çeşitli safhalarda kullanım şekilleri incelenmiştir. Elde edilen bilgiler çerçevesinde Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir.

## **1.3. Tezin Kapsamı**

Tez çalışmasının üst başlığı Sanal Gerçeklik teknolojileri olup konu üzerine kapsamlı literatür taraması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında inşaat sektöründe yararlanılan Sanal Gerçeklik araçları kapsamlı olarak fonksiyonlarına göre yazılımsal ve donanımsal olarak irdelenmiştir.

Bölüm 1’de Sanal Gerçeklik teknolojileri ile tezin yapılış amacı, Sanal Gerçeklik teknolojileri, Sanal Gerçeklik teknolojileri ile BIM Platformları arasındaki ilişkilere değinilmiştir. Bölüm 2’de Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin tarihçesi, Sanal Gerçeklik teknolojilerinin uygulama araçları ve Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanım alanları incelenmiştir. Bölüm 3’te İnşaat sektöründe Sanal Gerçeklik teknolojileri destekli kullanılmakta olan araçlar incelenmiş, özelliklerine göre Sanal Gerçeklik yaklaşımları kullanım alanlarına göre başlıklar halinde sunulmaktadır. Ayrıca BIM Platformlarına bağlı çalışan, simülatif modellemenin bir arada olduğu sanal Sanal Gerçeklik uygulamaları üzerine de çalışılmıştır. Sanal Gerçeklik Çözümlerinin; BIM, şantiye güvenlik yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği çözümleri amaçlarına yönelik yaygın dikkat çeken kullanımı nedeniyle, BIM Tabanlı İş sağlığı ve Güvenliği uygulamalarında Sanal Gerçeklik uygulamalarının yeri araştırılmıştır. Çalışmanın genelinde BIM teknolojisinin kapsayıcılığı nedeniyle BIM ve Sanal Gerçeklik teknolojilerinin bir arada olduğu çalışmalara da ağırlık verilmiştir. Çalışma kapsamında inşaat sektöründe akademik

çalışmalar, kamusal ve özel sektörde geliştirilen Sanal Gerçeklik çözümleri incelenmiştir. Sektörde kullanılan Sanal Gerçeklik teknoloji araçları; donanımsal, yazılımsal araçlar olarak ayrı ayrı irdelenmiştir. Kullanım amacı ve fonksiyonlarına göre kategorik olarak düzenlenmiştir. Tasarım, güvenlik prosedürleri, eğitim programları vb alanlara yönelik geliştirilen prototipler üzerinde özellikle durulmuştur. Donanımlarda standartlaşmanın olması nedeniyle ağırlıklı olarak yazılımsal çalışmalar incelenmiştir. Çalışma kapsamında inşaat sektöründe yararlanılan BIM tabanlı Sanal Gerçeklik teknolojilerinin büyük bir yoğunluğunun iş sağlığı güvenliğine yönelik uygulamaları kapsadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu noktadan hareketle Bölüm 4'te BIM tabanlı platformlarda iş sağlığı ve güvenliğine çalışmalarda Sanal Gerçeklik çözümleri üzerine Meta analiz çalışması yapılmış, inşaat sektöründe BIM tabanlı iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının yeri araştırılmıştır. BIM Tabanlı İş Sağlığı ve Güvenliğine Dönük Son Dönem Uygulamalar incelenmiş Sanal Gerçeklik destekli teknolojiler incelenmiştir. Bölüm 5'te BIM teknolojilerinin karakteristik bileşenleri ve özellikleri incelenmiştir. BIM platformlarının çalışma tarzı irdelenmiş ve BIM uygulamalarına yönelik dünyanın bir çok bölgesinde geliştirilmiş olan mevzuat çalışmaları detaylı biçimde ele alınmıştır. Bölüm 6 'da İSGUP adlı BIM tabanlı İSG Uygulama Planı Modeli önerisi geliştirilmiş ve Model değerlendirilmiştir. Bölüm 7'te ulaşılan sonuçlar sunulmuş BIM platformları, BIM tabanlı geliştirilen İSG uygulamaları ve SG teknolojileri üzerine önerilerde bulunulmuştur.

## 2. SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ

### 2.1. Sanal Gerçeklik Nedir?

Sanal gerçeklik tanımı çeşitli şekillerde ifade edilmektedir. Sanal Gerçeklik etkileşime imkan tanıyan geleneksel yöntemlere nazaran etkili deneyim ve tecrübelerin uygulanabildiği bir araçtır. (Sherman vd., 2018) Bilgi teknolojilerinde gelişimin seyriyle birlikte Sanal Gerçeklik teknolojileri de kullanışlı araçlar olarak gelişimini sürdürmüştür. Sanal gerçeklik, gerçek dünyanın yansıması olan ortamı bilgisayar tarafından tasarlanan dijital temsili içinde, çeşitli donanımlarla etkin olarak etkileşime geçilebildiği teknolojidir. (Kayabaşı, 2005). Sanal Gerçeklik teknolojileri farklı amaçlara yönelik kullanımı her geçen gün artmaktadır. Sanal gerçeklik beş duyuya çok yönlü hitap eder ve kullanılan özel ekipmanlar yardımıyla da geliştirilen simülasyonlarla kullanıcıyla etkileşime geçmelerini de sağlar. (Orhan vd., 2011).

Günümüzde iş makinesi operatör eğitimlerinden, bilimsel deney programlarına kadar birçok alanda uygulanmaktadır. (Sherman ve Craig, 2018). Sanal Gerçeklik teknolojileri maliyetlerini düşüren, zaman-mekan verimin artıran ve risklerini azaltan uygulamalardır. Nitelikli deneyimli personel teminindeki zorlukları aşmada etkilidir. Riskli çalışma alanlarında, eğitimin yüksek maliyetli olduğu ve teknik donanıma erişimin zor olduğu alanlarda için Sanal Gerçeklik simülatörler kullanımı gibi olumlu katkıları bulunmaktadır. Özellikle kaynak işleri, kule vinçler, ekskavatörler, paletli makineler, uçak simülatörü benzeri alanlarda kullanımı uzun zamandır yaygınlaşmıştır. (Li vd., 2012).

Sanal Gerçeklik, mühendislik çalışmalarında farklı zamanlarda ve mekanlarda kullanıcıların çalışmalarını bir araya getirerek günümüzde etkili kullanımlar sağlamaktadır.

### 2.2. Sanal Gerçeklik Tarihçesi

Sanal Gerçeklik üzerine İlk teorik çalışmalar 1965 yılında Ivan Sutherland tarafından geliştirildi. 1956 yılında Morton Heilin tarafından farklı duyu organları ile etkileşim halinde olunabilen Sensorama geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemle görüntüleme ile birlikte ses, koku, titreşim gibi duyuyla etkileşimli kullanım söz konusuydu. (Sherman ve Craig, 2003). 1960'larda ise başa takılan cihazlar (HMD: Head Mounted Display) geliştirilmiştir. 1970'lerde ve 1980'lerde yaşanan Optik üretimindeki ilerlemeler,

dokunsal aygıtlarda gelişmeler ile sanal uygulamalar için gelişmelere uygun ortam hazırlamıştır.

1990' lı yıllarda oyun sektörü Sanal Gerçeklik cihazlarına ivme kazandırdı.

2000'li yıllarda Sanal Gerçeklik teknolojileri devrimsel bir dönüşüm yaşadı. Sanal Gerçeklik uygulamalarının çok yönlü kullanımının yaygınlaşması da bu döneme tekabül etmektedir. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler bu yaygınlaşmada belirleyici rol almıştır. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri, artan işlemci kapasiteleri ve akıllı telefonların yaygınlaşması bir anda sanal gerçeklik araçlarının herkes tarafından erişebilir hale gelmesine zemin hazırlamıştır.

### 2.3. Sanal Gerçeklik Türleri;

Sanal gerçeklik uygulamaları çeşitli araştırmalarda farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

Kullanıcının etkileşim şekline göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır. (Whyte, 2007).

1. Kullanıcıyı tam çevreleyen (simülasyona tam dalma hissi veren sistemler),
2. Kullanıcıyı kısmen çevreleyen (yansıtma sistemler),
3. Kullanıcıyı çevrelemeyen (masaüstü sistemler),
4. Zenginleştirilmiş gerçeklik.

Donanım ve yazılım türlerini ise birarada inceleyen Brill sınıflandırmasına göre ise 10 çeşit Sanal Gerçeklik uygulaması bulunmaktadır. (Jonassen, 2008). Bunlar;

1. Çevreleyen birincil-kişî,
2. Artırılmış gerçeklik,
3. Pencereden İzleme,
4. Ayna dünya,
5. Waldo Dünyası,
6. Oda dünya,
7. Kabin benzetişim ortamı,
8. Siber uzay,
9. Görüntü Küresi,
10. Deneyimle Öğrenme Sistemi

Çalışma kapsamında Geliştirilen Sanal Gerçeklik yazılım ve donanım türlerini teknolojik olarak sınıflandırmak yerine kullanım amacı, kullanım türüne ve işlevselliğine uygun sınıflandırmaya gidilmiştir.

Artırılmış gerçeklik (augmented reality) kullanıcının; gerçek dünya ile bilgisayar tarafından üretilmiş dijital temsilin üst üste bindirilmesiyle oluşturulur. Gerçekliğin ihtiyaç duyulan hali ile birleştirilmiş bir türüdür. (Billinghurst vd., 2015). Sanal Gerçeklik ile bütünleşik alan içinde geliştirilen simülasyona tamamen dahil olunurken Artırılmış Gerçeklik ile, görsel ve mekansal unsurlar bir arada kullanılarak, kullanıcıyı bilgisayar tarafından oluşturulan sanal bir dünyaya girmek yerine gerçek dünya ile dijital tasarım ürününü bir arada sunar.

Karma gerçeklik sanal olan dijital görüntüleri gerçek nesnelere bir arada sunarak gerçekçi yeni bir temsil üretir. Karma gerçeklik ile dijital temsiller gerçek dünyada var olan gerçekçi nesnelere halini alır. (Milgram ve Kishino, 1994).

#### **2.4. Sanal Gerçeklik Donanımsal Araçlar**

Sanal gerçeklik teknolojilerinde yararlanılan ve kullanılan donanımsal başlıca donanımsal araçlar belirtilen sıralama listelenebilir. (Brown ve Green 2016; Earnshaw,2014).

1. Görüntüleme Başlığı
2. Mekanik Görüntüleme Başlığı
3. Görüntüleme Odası
4. Mobil Görüntüleme Araçları
5. Eğimli Görüntüleme Ekranları
6. Masaüstü Bilgisayar Sistemleri
7. Veri eldivenleri
8. Holografik araçlar
9. Hareket Platformları

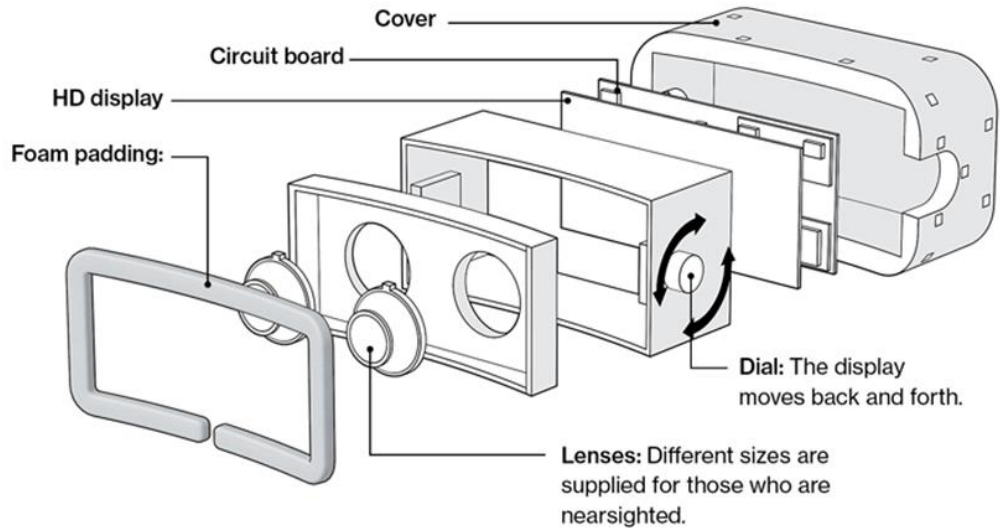
Görüntüleme Başlığı sistemler günümüzde kullanımı en yaygın olan sanal gerçeklik uygulamasıdır. Google, Oculus, HTC, Microsoft, Samsung gibi önde gelen teknoloji şirketleri arasındaki rekabet ile peşpeşe yeni HMD ürünler salınımına girmektedir. Bu şirketler ağırlıklı olarak yatırımlarını HMD cihazlar üzerine yapmaktadır. (Chang ve Chen, 2017).

Sanal Gerçeklik gözlüğü olarak kabul gören araçlar sanal gerçeklik uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. (Vince, 2004)

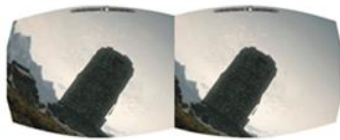
HMD'ler; oyun uygulamaları, Eğitim modülleri, askeri, tıbbi ve mühendislik ortamları gibi birçok alanda kullanımı yaygındır.

HMD; başa takılan ekran anlamına gelen "Head Mounted Display" kelimelerinin kısaltmasıdır. Sanal Gerçeklik gözlükleri bir ekran ile aktarılan simülasyon ortamının kullanıcıyı etkileşime sokar (Şekil 2.1). Sanal Gerçeklik uygulamaları kullanıcı hareket etmek istediği yönde HMD araçlar yönlendirilir.

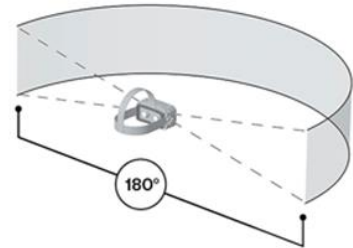
Sanal Gerçeklik cihazları son dönemde, her göz için iki ayrı ekrana gönderilen yayınlardan faydalanır. Göz ile HMD araç arasına yerleştirilen ilave lensler vardır. Lensler her göze gönderilen farklı görüntüyle etkileşime geçmeyi sağlar. Kullanıcıya dijital olarak görebileceği biçimde stereoskopik bir 3D görüntü sunar.



#### THE VIEW



Software turns a scene into two warped side-by-side views. Looking through the device's lenses, the wearer sees an expansive 3-D panorama (right).

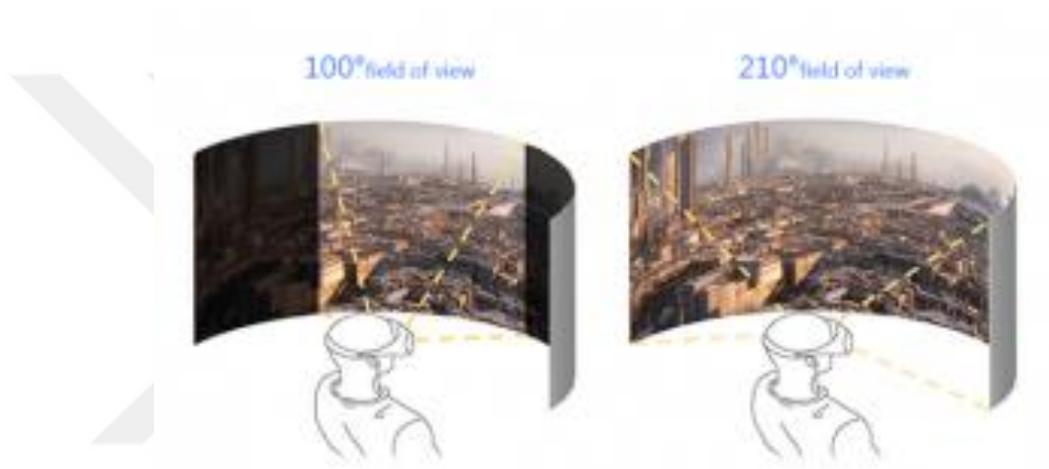


Şekil 2.1 HMD başlık kısımları (technologyreview, 2019).



Çözünürlük, ses kalitesinde artan iyileşmeler ve kare hızındaki teknolojik gelişmeler, HMD araçlara yönelik donanım sınırlarını zorlayan zengin yazılımsal içerikler bu araçların günden güne yayılmasına olumlu katkıda bulunuyor. Genelde bilgisayar ya da akıllı telefon ekranlarında kullanılan HDMI destekli LCD monitör ekranlı araçlardır. Başa takılan görüntüleme araçlarında; görüş alanı, kare hızı, Gecikme, Ses ve Sensör tabanlı takip gibi unsurlar sanal etkileşimin düzeyini belirler.

Görüş alanı; görüntülenen alanın genişlik miktarını tanımlar. Görüş alanı, görüntü derecesine göre de ölçülür (örn. 240 °). Görüntü kalitesini de tayin eder.(Şekil 2.2)



**Şekil 2.2** Açısal farklılıklara görüş alanı örnekleri (techtarget, 2019).

Sanal Gerçeklik araçlarda genel olarak saniyede minimum 60 kare hızına (fps) gereksinim vardır. Kare hızındaki artışa bağlı olarak deneyimin gerçekçiliği de artmaktadır. Günümüzde farklı kare hızlarına sahip cihazlar geçekçi deneyimi artırmaktadır.

HMD araçlarda Manyetometre, Akselerometre ve Jiroskop olmak üzere üç tip sensör kullanılmaktadır. Sensörler kullanıcının tüm hareket yönlerinde eylemine yönelik sanal görüntünün yönünü de tayin eder.

Gecikme görüntülenen görüntünün kullanıcı hareketine bağlı değişen konumlarına göre geçen zamanı belirtir. Gecikme milisaniye (ms) birim türünden ölçülür. İnsan beyninin Sanal Gerçeklik ortamının gerçekçiliğini kabul etmesini karşılamak için düşük gecikme süresi istenir. Gecikme ne kadar kısa zaman aralığında olursa gerçekçilik

kalitesi o kadar istenilen düzeyde olur. Gecikme, fark edilebilir yani gerçekçilik sağlamakta zorlayıcı olursa hastalıklara yol açabilir.

CAVE uygulaması ilk olarak 1992 yılında Illinois Üniversitesi Elektronik Görselleştirme Laboratuvarı'ndaki bir grup araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. (CruzNeira, vd., 1993 ).

## **2.5. Sanal Gerçeklik Kullanım Alanları**

Sanal Gerçeklik günden güne artan etkinliği ile inşaat sektörü, turizm sektörü, hizmet sektörü, sağlık sektörü, silah sanayi, eğlence sektörü ve eğitim sektöründe gibi alanlarda giderek yaygınlaşmaktadır. Kentsel Dönüşüm çalışmalarından altyapı hizmetlerine, nano teknoloji tasarımlardan sanayi bölgeleriyle ilgili tasarımlara kadar birçok alanda Sanal Gerçeklik ürünler sunulmaktadır

### **2.5.1. Mühendislikte sanal gerçeklik kullanımı**

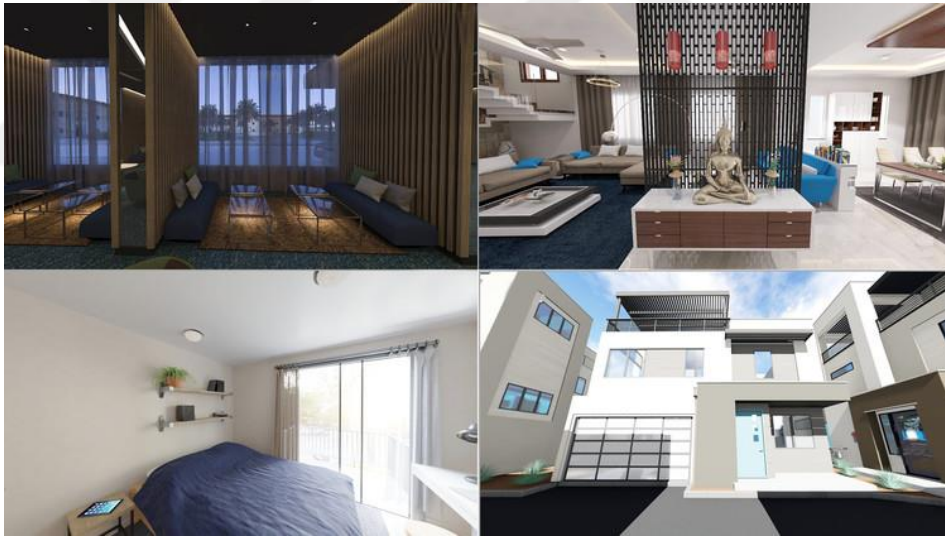
Sanal Gerçeklik teknolojik gelişmelere bağlı olarak, mühendislikte 21. YY' da gelişimini artırmıştır. 3D görüntüleme ve modelleme araçları özellikle proje aşamasında tasarım sürecinin standart bir parçası olarak kullanılmaktadır. Sanal Gerçeklik teknolojileri ile, projelerin tasarımdan güvenlik prosedürlerine kadar geniş bir alanda simülasyon olarak incelemeye ve daha iyi hale getirilmelerine katkı sağlar. Ayrıca, Sanal Gerçeklik araçları ile tasarım aşamasında herhangi bir sorun ya da olası riskler tespit edebilir. Sanal Gerçeklik ile risksiz koşullarda projeler deneyimlenir ve gözlemlenir. İhtiyaç duyulduğunda olumlu değişiklikler gerçekleştirilerek güvenli şartlar sağlanır. Bu hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlanmakta faydalıdır. (Bateman, vd., 2009).

Sanal Gerçeklik, Mühendislik destekli çalışmalarda ilk olarak tasarımda otomotiv ve havacılık sektörleri tarafından ürün örnek model üretiminde yararlanılmıştır. Sanal Gerçeklik ile tasarım sınırları risksiz olarak zorlanabilir. Geliştirilen olası modeller farklı tarzlarda görselleştirilebilir. Tasarım alt bölümlerine yönelik genellikle prototip üretimi yapılamaz. Fiziksel model tasarımının zorlukları Sanal Gerçeklik tasarımları ile kolaylıkla aşılabılır. Tasarım hızlıca değiştirilebilir ve özgün tasarıma tekrar çevrilebilir. (Bateman, vd., 2009).

### 2.5.2. Mimaride sanal gerçeklik kullanımı

Sanal Gerçeklik araçları mimari, peyzaj ve çevre düzenlemesi gibi alanlara yönelik de kullanılmaktadır.

Sanal Gerçeklik araçları ile mimari çalışmalarda tasarlanacak olan alanlarda mevcut olmayan tasarım unsurları ile planlanan ve niyetlenen gerçeklikler için simülasyonlar düzenlenir. (Portman vd., 2015). Sanal ortamda çeşitli olasılıklar tasarlanarak müşteri, işveren ya da yüklenici odaklı çeşitli sürümlerin üretiminde mimarlar tarafından çözümler gerçekleştirilmektedir. IrisVR, InsiteVR, Roomle, CubicVr, Around Media, Stambol Studios gibi firmalarca Sanal Gerçeklik uygulamaları Mimari çözümlerde kullanılmaktadır. Şekil 2.3’de SentioVR sanal gerçeklik yazılımı kullanılarak tasarlanan konut modeli görülmektedir. Müşteriler için geliştirilen simülasyonda; odalar arası geçişler, odaların ışık alma kapasitelerini inceleme türü işlemler yapılabilmektedir.



**Şekil 2.3.** SentioVR kullanılarak tasarlanan, Sanal Gerçeklik uygulama örneği (Archdaily,2018).

### 2.5.3 Reklam ve pazarlama alanında sanal gerçeklik kullanımı

Sanal Gerçeklik’den günümüzde çevrimiçi olarak ve dijital platformlarda etkili pazarlama araçları olarak kullanılmaktadır. Gıda, emlak, otomotiv ve turizm tanıtımı gibi bir çok alanda nitelikli reklam ve pazarlama çalışmaları yapılmaktadır. Şekil 2.4’ te İkea markasının geliştirdiği sanal gerçeklik uygulamasıyla, müşterilerin ürünlerin yerleşeceği

alanda ne kadar yer tutacağını gözlemleri mümkündür. Ayrıca ürünün estetik beklentileri karşılayıp karşılamadığı da gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2.4. İkea markasının Sanal Gerçeklik reklamı (informationstrategysm, 2019).

#### 2.5.4. Medikal alanda sanal gerçeklik kullanımı

Sanal Gerçeklik sistemlerinden tıp eğitiminde destekleyici, hastaların tedavisinde tedavinin bir parçası süresinde yararlanılmaktadır. Tıp öğrencilerinin ve doktorların riskli ve tehlikeli operasyonlar öncesinde deneyi kazanımı ve olumsuz sonuçlarla karşı karşıya kalmamaları amacıyla Sanal Gerçeklik'den yararlanılmaktadır.(Örnek Şekil2.5) Sanal Gerçeklik araçlar ile tıbbi çalışmalara yönelik, başta sanal cerrahi modelleme üzerine yoğun bir çalışmalar devam etmektedir. (Mario vd., 2008).



Şekil 2.5. Medikal alanda Sanal Gerçeklik kullanım örneği (magg4, 2018).

### **2.5.5. Askeri alanda sanal gerçeklik kullanımı**

Sanal Gerçeklik teknolojisi, askeri faaliyetleri güvenli noktaya taşıyan potansiyel uygulamalara sahiptir. Özel askeri eğitimlerde; uydu yönlendirmelerinde, özellikle pilotaj eğitimlerinde, paraşütçülük eğitimlerinde ve diğer maliyetli birçok araçlarda kullanılmaktadır.

Bu eğitim prosedürleri gerçek hayatta kullanımı halinde tehlike unsuruna sahip olup Sanal Gerçeklik kullanımında tehlikesizdir. Sanal Gerçeklik askeri teknolojiler başlangıç aşmasında pahalı olsa da, uzun vadede riskli faaliyetlerin yaratacağı etkilerden daha uygun maliyetlidir. (Bowman ve McMahan, 2007).

### **2.5.6. Oyun ve eğlence alanında sanal gerçeklik kullanımı**

Günümüzde, Sanal Gerçeklik video oyunları en yaygın bilinen Sanal Gerçeklik uygulama tipidir. Sanal Gerçeklik, hem geliştiricilere ve kullanıcılara yeni oyun olanakları sunuyor. Bazı cihazlar el yardımıyla simüle edilir, böylece oyuncular araçlar aracılığıyla etkileşime girebilir. Koşma, hedef olarak alma, tutma, atma gibi yönlendirmeler uygulanabilir. Sanal Gerçeklik ortamlarının sürükleyici doğası, etkileyici bütünlük oyunlar ve etkili simülatif oyunlar nedeniyle beğenilmektedir. (Avila ve Bailey, 2014)

### **2.5.7. Turizmde sanal gerçeklik kullanımı**

Sanal Gerçeklik mühendislik, tıp, askeri sektörlerdeki gibi turizm sektöründe de etkili ve mühim araçtır. Reklam, tanıtım etkinliklerinde kullanımının yaygınlaşmaktadır. (Arat ve Baltacıoğlu, 2016). Özel turistik destinasyonların fark yaratacak biçimde tanıtımında etkilidir. Turizm şirketleri tatil bölgeleri için, yer yer müzeler bütün müze alanlarına yönelik sanal turlar ile başarılı Sanal Gerçeklik uygulamalar geliştirmektedir.



Şekil 2.6. Manhattan'daki Henry Clay Frick Müzesi. (dunyhlleri, 2019).

### 2.5.8. E-ticarette sanal gerçeklik kullanımı

Sanal Gerçeklik çevrimiçi ağların gelişmesi, yeni bir alan olmasıyla dikkatleri de çekmesi nedeniyle başarılı içerik pazarlamalarına imkan tanır. Sanal Gerçeklik teknolojisini kullanan alışveriş siteleri de her geçen gün artmaktadır. (Pınar, 2005).

Sanal Gerçeklik ile Fiziksel ve fiziksel olmayan alışverişin bir arada sunum şekli artırılmış gerçeklik uygulamaları E-ticaret yöntemlerini de etkilemektedir. (Pachoulakis ve Kapetanakis, 2012).

### 2.5.9. Eğitim uygulamalarında sanal gerçeklik kullanımı

Geleneksel eğitim-öğretim metotları ve araçları günümüz ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kaldığı düşünülmektedir. (Somyürek, 2014). Bu nedenle, eğitim kurumlarında eğitim-öğretim programları geliştirilerek Sanal Gerçeklik araçlarla destekli olarak yeniden düzenlenmektedir. Ülkemizde Fatih Projesi ile Google Glass uyumlu eğitim uygulamalarına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. (Erbaş ve Demirer., 2014).

Bir Sanal Gerçeklik eğitim aracı ile gerçekçi deneyler elde edilmesinin yanında birçok yararı da bulunmaktadır. Örneğin bir Sanal Gerçeklik laboratuvarında çalışılan deney ile alternatif deneme sürümleri kolaylıkla elde edilebilmekte ve çıktılar ölçülebilir. (Bayraktar ve Kaleli, 2007).

Sanal gerçeklik araçları öğrencilerin deneyimleyerek öğrenmelerinde etkili araçlardır. Görme, duyma ve deneyerek yapma ile hata yapmanın zararsız olması nedeniyle kalıcı öğrenme gibi faydaları bulunmaktadır. (Bronack, 2011).

### 3. SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİ ARAÇLARININ, İNŞAAT SEKTÖRÜNE YÖNELİK UYGULAMALARI

İnşaat sektörü her dönem proje tasarım, yönetim ve müşteri arasında bilgi alışverişine ihtiyaç duymuştur. İnşaat sektörlerinde model, maket, proje çıktıları üzerinden gerçekleştirilen geleneksel sunum ve tasarım yöntemleri çağın ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Sanal Gerçeklik teknolojileri, gerek yeni bir ara yüz teknolojisi olması gerekse yapım süreçlerinin farklı evrelerinde fonksiyonelliği ile inşaat sektörüne yeni bir bakış açısı getirmektedir. Sanal Gerçeklik çözümleri ile geliştirilen simülasyonlar mühendislik bilimlerinde son dönemde yaygın olarak kullanımı devam etmektedir.

İnşaat Endüstrisinde kullanılan Sanal Gerçeklik sistemlerinin kullanımına yönelik alanlar, çalışmalar sonucunda elde edilen faydalar ve Sanal Gerçeklik sistemlerinin genel olarak üstünlükleri çalışma kapsamında araştırılıp amaca göre değerlendirilmelidir. (Huang vd., 2007).

#### 3.1. Tasarım çalışmalarında sanal gerçeklik uygulamaları

Her tasarım aşaması, geri bildirim sağlamak ve yanlışlıkları veya diğer çakışma türlerini kontrol etmek için proje bilgilerini paylaşmaya ve iletmeye hizmet eder. Proje bilgilerinin nasıl sunulacağı, üzerinde çalışılacak proje üzerinde geri bildirim sağlamada mühim etkiler ortaya çıkarmaktadır. Sanal Gerçeklik teknolojileri ile tasarım sürecinin her adımında geri bildirim almak mümkündür. İnşaat sektöründe tasarım süreçleri, paydaşların çeşitliliğine göre; çeşitli düzeylerde bilgi ile çeşitli seviyelerde temsil edilir. Görsel Temsiller, tavsiye edilen çözüm alternatifinin anlaşılmasını ve anlamlı bir eleştirinin yapılmasını sağlar. (Kalisperis vd., 2002). Tasarım incelemelerinde en yaygın yöntem; proje çıktıları üzerinden inceleme ya da bilgisayar destekli 2D tasarım analiz kullanımındır. Geleneksel olan bu yöntemlerin tasarım hatalarından kaynaklanan çakışma tespitinin olmaması, otonom alternatif modeller üretememesi nedeniyle işlevselliği de zayıflamıştır. 3D tasarım modeller, zaman içinde proje sürecinde daha kolay değişiklik yapılmasını sağlayan fiziksel modellerinin yerine geçmiştir. BIM platformları tasarım süreçlerinin simülatif değerini göstermiştir (Leicht vd, 2009).

Günümüzde tasarım ekipleri 3D modelleri tasarımda tahlil imkanı sağlayan simülasyon araçlarına dahil ederek, yapının aydınlatma, enerji sarfiyatı, verilerini proje kapsamında sunabilir. Sanal Gerçeklik araçların gerçek dünyayı simüle edebilme

kapasitesi, İnşaat sektöründe proje paydaşlarının tasarım sorunlarını, çözüm önerilerini kolektif biçimde tanımlamasını ve proje yapım gerçekleşmesinden önce çözüm geliştirmesini sağlayabilir. (Seichter, 2007). Sanal gerçeklik teknolojileri tasarım süreçlerinde gerek tasarımın ihtiyaç duyduğu konunun bir parçası olarak, gerekse ortaya çıkan problemlere göre birçok özgün çözüm geliştirmektedir.

### **3.1.1. Tasarım görselleştirme ve ölçeklendirme**

Visidraft, SketchUp, InSiteVR, tarzı uygulamalar tasarım görselleştirme uygulamalarıdır. (Thornton vd.,2012). BIM platformları ile güdümlü çalışabilen uygulamalarıdır. 2D tasarım çıktılarının istenilen anda 3D ve sanal gerçeklik modellemelerine dönüştürülmesi gibi amaçlarla kullanılırlar. Örneğin akıllı cihazların kameraları ile kullanıcı pratik işlemler gerçekleştirebilir. Uygulamalar ile sanal nesnelere tasarım alanına yerleştirilerek, alanda eşilebilen tüm öğelerin birbirlerine göre konumlamaları gözlenebilir. Hesaplamalar yapılabilir. (Sampaio, 2018). Visidraft; AutoCAD, Revit ve 3DS Max platformları ile uyumlu çalışırken SketchUp ise; Nemetschek Vectorworks ve ArchiCAD platformlarıyla uyumludur. Proje tasarımından yapı ömrü tamamlanmasına kadar kullanımları devam eder.

#### **3.1.1.1. Visidraft**

Visidraft yazılımı, 3D CAD modelinde bina ürünleri ve tefrişat gibi diğer unsurları görmesini sağlamak için kendi adını taşıyan uygulama geliştirmiştir. Uygulama, Autodesk'in AutoCAD, Revit ve 3DS Max platformlarının yanı sıra Trimble'in SketchUp, Nemetschek Vectorworks ve Graphisoft's ArchiCAD modelleriyle senkronize kullanılabilir. Ayrıca uygulama ile farklı veri çıktıları alınabilir. Farklı seviyelerde kişisel özelleştirme seçenekleri vardır. (Chandarana vd., 2013).

İnşaat Sektöründe kullanılan Sanal Gerçeklik araçları arasında en yaygın bilinenlerden bir uygulama aracıdır. Visidraft faydalanıcı etrafında 4D tasarım modelleri sunar. Şekil 3.1'de alana yerleştirilmesi gerçekleştirilen unsurların Visidraft ile modellenmesinin örneği görülmektedir. Kullanıcı sanal imgeleri konumlandığında, Visidraft hedef alanda bulunan bütün nesnelere arasındaki mesafelerini otonom olarak hesaplayıp kişinin mekan içinde Visidraft; Revit, ArchiCAD ve Nemetschek Vectorworks, Bentley yazılım eklentileri ile uyumlu çalışmaktadır. (Visidraft, 2018). Bu araçlardan Revit; parametrik modelleme yöntemiyle 3D-4D parametrik nesne tabanlı



tasarıma izin veren bir yazılımdır. Windows işletim sisteminde çalışan Revit benzeri platformlar ile Kat planlarını, yükseklikler, tasarım alt kısımları ve 3 boyutlu görünümüleri otomatik olarak güncellenebilir, revize edilebilir. Bu işlemler geleneksel yöntemlerdeki gib en baştan tasarımın bütününe yönelik değişimler gerektirmez.

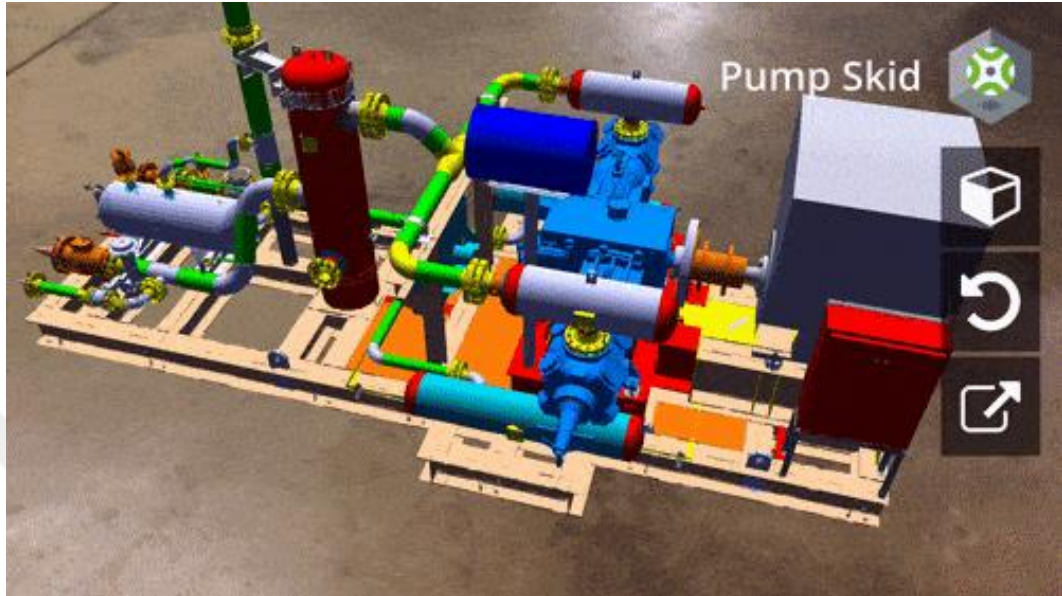


**Şekil 3.1** Visidraft Ag ile tasarım modeli (Visidraft, 2018).

### **3.1.1.2 SmartReality**

İnşaat sektörü için geliştirilen bir başka yazılımdır. Revit benzeri 4DBIM platformları ile uyumlu çalışmaktadır. Tasarımı istenilen 2D çalışmalar akıllı telefon veya tablet ile birlikte kullanılabilir. Oculus Rift, Epson, HTC türü HMD cihazlar ile Sanal Gerçeklik kulaklıklarla tasarımları simülasyona dönüştürmede kullanılmaktadır. Yazılım kısaca kâğıt ortamındaki proje çıktılarından akıllı mobil cihazlar ile simülasyon geliştirmede etkili çözümler üretir. SmartReality, Google Project tarama yazılımıyla uyumlu çalışır. Oculus Rift VR için Leap Motion uygulamasıyla kullanım sırasında kulaklık ve mikrofon ile ses yönergeleri ile etkileşime izin vermektedir. BIM platformlarında işlevsel olan uygulama, yalnız halindeki yapının incelenecek kısımlarının proje gereği yapılacak işleri yapım sırasına göre simülatif olarak izlemeye de izin verir. SmartReality gibi uygulamalar, kullanıcıların herhangi bir 2D planında 3D modeller oluşturulurken OrthoGraph, Pair 3D gibi uygulamalar, mühendis ve mimar tasarımcılar

tarafından kullanılabilir. görsel ve sunumu belirlemek tefrişattan diğer bileşenler üzerinde uygulamalara verir. (SmartReality, 2018).

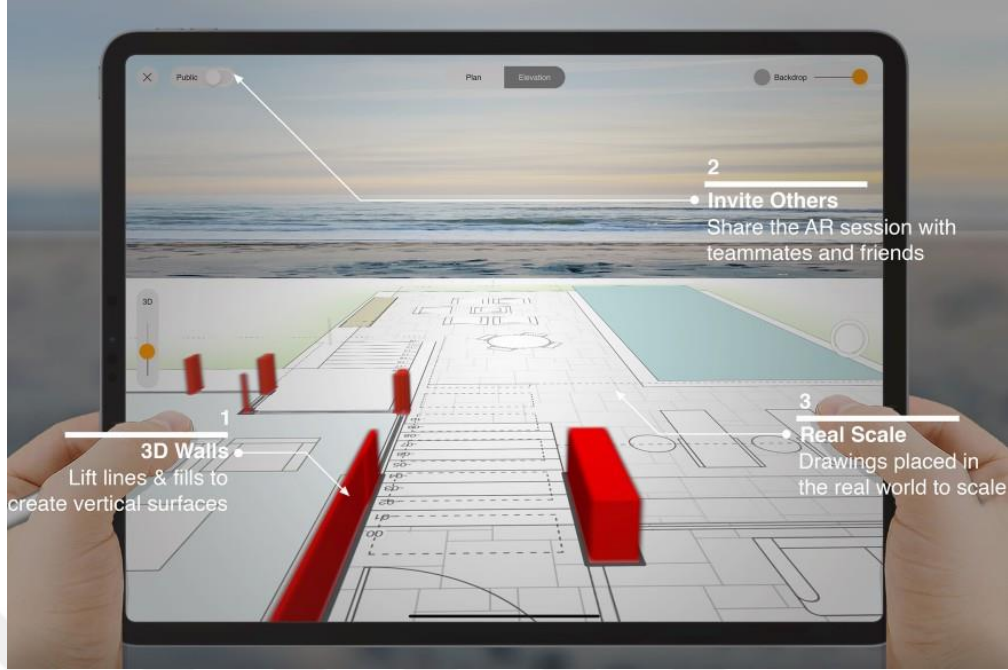


Şekil 3.2. Smartreality Artırılmış Gerçeklik uygulama örneği (SmartReality,2018).

### **3.1.1.3. AR Sketchwalk**

Üzerinde çalışılan bir tasarımın 2D çıktıları üzerinden Artırılmış Gerçeklik simülasyonu geliştiren uygulamadır. Proje üzerinde izlenim edinme, gelişim takibi benzeri fonksiyonel özelliklere sahiptir. Şekil 3.3'te görülen uygulama örneğinde, 2D proje çıktı verisi akıllı cihaz yardımıyla simüle edilmektedir. Uygulama örneğinde 2D veriler üzerine 3D görüntüler eklenerek tasarım detayları daha net incelenebilmektedir.

Mobil akıllı cihazlar proje karmaşık kısımlarını daha yoğun ölçeklerde, kısımlar arası yer değiştirmelere izin vererek takip imkânı tanır. Eğitimde, İş sağlığı ve güvenliğine yönelik adaptasyon çalışmalarında, pazarlama benzeri işlevlerde kullanımı mümkündür. (Barducco, 2019)



Şekil 3.3. AR Sketchwalk Mimari uygulama örneği (nbww,2019).

#### **3.1.1.4. Wakingapp**

Wakingapp ile Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik teknolojilerinin her ikisini de uygulanabilmektedir. Uygulama; artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve hologramlar ile içerik oluşturmakta faydalıdır. Şekil 3.4'te Wakingapp ile geliştirilmekte olan tasarım örneği bulunmaktadır Uygulamanın önemi; yazılım bilgisi tecrübesi olmayan herhangi bir işletmenin kısa süreler içerisinde içinde Sanal Gerçeklik- Artırılmış gerçeklik görüntüleri elde edebilmelerini sağlar. Yazılım yine bir eklenti yazılım olup 3D modellerini 30 dakika gibi kısa sürede için dönüştürebilmektedir.



Şekil 3.4. Sanal Gerçeklik tasarım örneği (Wakingapp, 2019).

### 3.1.2. Çakışma tespiti

Gerçekleştirilmesi planlanan projenin tasarım aşamasında çakışmaların tespit edilmesi beklenir. Bu şekilde büyük ölçekli projelerde zaman, maliyet, güvenlik kazanımları sağlanır. Proje teftişinden kaynaklanan zaman kayıplarının ve aksamaların engellenmesi amacıyla sanal gerçeklik araçları kullanılmaktadır. Zayıflıkların tespiti, çakışmaların ortaya çıkarılması BIM uygulamaları ile öncelikle hedeflenen amaçlar arasındadır. Çakışma Analizi BIM platformlarının karakteristik özelliklerinden biridir. (Eastman vd., 2011).

Tasarım hatası olan çakışmaları elemine ederek en aza indirmeye yönelik çeşitli BIM destekli Sanal Gerçeklik çözümleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. (Akıncı vd., 2002; Clayton vd., 2002; Waly ve Thabet, 2003)

Çakışma tespitinde dikkat çeken araçlardan biri de Gamma AR uygulamasıdır.

#### 3.1.2.1. GAMMA AR

GAMMA AR uygulaması şantiye denetimi ve incelenmesinde kullanılan işlevsel bir uygulamadır. GAMMA AR uygulaması ile şantiye ortamında gerçekleştirilen ilerlemeyi izlenirken, Artırılmış Gerçeklik tekniğiyle hataların elemine edilmesinde kullanılır. Uygulama ile daha hızlı proje simülasyonu elde edilerek proje denetlenmesinde zaman kazanımı sağlanır. Gama AR, tüm proje döngüsü boyunca kapsamlı tasarımlarda

hızlı biçimde çakışma tespitini yaparak tasarım revizyonuna yardım eder. (Gammaconst, 2019).

Gamma AR BIM uygulama projelerinde parametrik modelleme ile geliştirilen IFC tabanlı 3D model nesnelere bağlama sürecinin müsait şekilde yönetilmesi ile çalışır. Gamma AR uygulaması BIM platformlarına hizmet ederken, müşteri gözlem ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Şekil 3.'te yapımı sürmekte olan mekanik tesisat işlerinde bir çakışma olup olmadığının analizi yapılmaktadır. Çakışma Analizi yapan Gamma AR türü programlar ile Parametrik tasarım projelerde tasarımın çalışanın istediği yönde özelleştirilmesi ile kişisel seçenekleri uygulama imkânı vardır. (Gammaconst, 2019).



Şekil 3.5. Şantiye ortamında Gamma AR kullanımı. (Gamma AR, 2018).

### 3.1.3. Proje fiziki sunumu

Sanal Gerçeklik teknolojilerinin gelişimi ile pratik çözümler farklı ihtiyaçları karşılamaktadır. Sanal Gerçeklik teknolojileri, kullanıcılara bilgisayar destekli ya da ölçekli 2D tasarım modelli sunumdan farklı olarak, Sanal Gerçeklik ortamında dijital versiyonunu sunar. Sanal Gerçeklik, gerçek dünyanın dijital temsilini oluştururken, Karma Gerçeklik ise; gerçek dünya ile sanal simülasyonun, fiziksel ve dijital nesnelere bir arada görselleştirildiği ortamlar yaratır. (Burczyk, 2019).

#### 3.1.3.1. Cave sanal gerçeklik uygulaması

Cave İngilizce 'Computer Assisted Virtual Environment' açıklamasının kısaltması olup Türkçe karşılığı olarak Tam Katımlı Ortamlar, Sanal Gerçeklik Odası,

Bilgisayar Destekli Sanal Ortam gibi farklı biçimlerde ifade edilebilmektedir. Günümüzde BIM platformları ile entegre çalışan bir diğer Sanal Gerçeklik uygulaması CAVE'dir. Proje simüle etme, 3D model geçişleri, tasarım yapı analizleri, çakışma analizi ile eğitim programlarına yönelik çözümleri gelişmiştir. (Kang ve Kuncham, 2014). Proje sunumları, analizleri cave araçları ile yapılabilmektedir.

Cave ile bir duvar ya da duvarların tamamen dijital ekranlardan oluştuğu oda olarak geliştirildiği ortamda Sanal Gerçeklik çözümler üretir. Cave' in büyük ekranda HMD cihazlar olmadan da kullanımı HMD cihazlarının beraberinde getirdiği sağlık sorunlardan kullanıcıyı alıkoyar. Karmaşık tasarımları ve gelişmiş konsept tasarımları incelemeye faydalıdır. El ve baş hareketleri ile sensor teknolojileri ile simülasyon içinde hareket etmek mümkündür. Cave' in diğer uygulamalara farklarından bir diğeri tasarımın farklı ölçeklemelerle incelenebilmesidir. Şekil 3.6'da kullanıcı hareketleri ile Cave aracında simülatif olarak ilerleyerek tasarım incelemesi gerçekleştirir. CAVE uygulamalar GPS tabanlı sistemlerle senkronlu olarak aktif yapılabilir. Çalışanlar, iş makineleri ve tesis aktif olarak izlenebilir. (Muhanna, 2015).



Şekil 3.6. Cave Uygulama Görüntü örneği (Muhanna, 2015).

### **3.1.3.2 Arup Soundlab**

Sanal gerçeklik pratikleri genelde görsel alanla etkileşimli çalışmaktadır. Ancak ses koku tarzı unsurları da çalışmalara dahil uygulamalar bulunmaktadır. Arup Soundlab, inşaat sektörü tasarımcılarının projede gereksinim duyulan sesi karşılamakta faydalı bir araçtır. Trafik simülasyonu gerektiren otoyol projesi, eğlence merkezleri ya da doğası

gereği sessizlik isteyen kütüphane, okul tarzı projelerde ses faktörü önemli bir tasarım unsurudur. Yapılacak modifikasyonlar ses yoğunluğu azaltılabilir ya da artırılabilir. Yapımı planlanan inşaat projelerinde ses uygulamaları faydalı ve gereklidir. (Arup, 2019).

### **3.1.3.3 Arki sanal gerçeklik uygulaması**

Arki, inşaat tasarımcılarının yapımı planlanan proje alanı üzerine kurulacakları gerçek arazi üzerine bir mimari projeyi yerleştirmelerini sağlayan akıllı cihazlarla çalışabilir artırılmış gerçeklik uygulamasıdır. Bu çözüm özellikle müşterilerine gelecekteki evlerinin bir ön izlemesini gösterebilen konut yapımı alanında faydalı olacaktır. Şekil 3.7' de açık alanda yapımı planlanan yapının artırılmış gerçeklik ile herhangi bir işlem başlamadan önce tasarlanmış hali bulunmalıdır. Arki benzeri Artırılmış Gerçeklik teknolojileri inşaat mühendisliği olduğu kadar mimari tasarımlarda kullanılmaktadır. Tasarım revizyonlarını azaltırken maliyet, zaman kazanımında yararlı uygulamalardır. (Chandarana vd., 2013).



**Şekil 3.7.** Açık alanda Arki uygulama örneği (arpost, 2019).

### **3.1.4. Mimari unsurlara dayalı iletişim ve işbirliği;**

Sanal Gerçeklik teknolojileri faydalanıcısına gerçek dünyanın benzerini geliştirilen simülasyonla doğrudan etkileşime geçme ortamı sağlar. Günümüz Sanal Gerçeklik teknolojileri tasarlanan projenin yapısal özellikleri ile yapının güneş alma açısı, maruz kalınan rüzgar şiddeti gibi bir çok unsuru projelendirmek mümkündür. Bu amaçla kullanılan araçlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

### **3.1.4.1. Enscape**

Enscape uygulaması bu amaca hizmet etmek için geliştirilmiştir. İnşaat Endüstrisinde Sanal Gerçeklik teknolojilerinden en çok talep edilen ve en karmaşık sanal gerçeklik çözümlerinden biridir. 3D model yazılıma yüklendikten sonra, kullanıcı yapının bütün kısımlarında gezinebilir ve üzerinde ihtiyaç duyulan tasarım yeniliğini gerçekleştirebilir. Gerçekleştirilen her değişim Enscape ile zaman, konum bilgileri dahilinde kaydedilir. Bu şekilde projede paydaşları tasarımda kimin ve ne zaman hangi revizyonları yaptığını bilir. Şekil 3.8’de Kullanıcı tasarımcı tasarımın unsurları içinde farklı bölümleri incelemektedir. Enscape, tasarımın nihai halinin ne şekilde görüneceğine dair tam bütün unsurları (hava olayı, ağaç, su, sesler ve alternatif taslaklar vb.) içerecek şekilde sunum yapabilir. (Bouchlaghem vd., 2005).



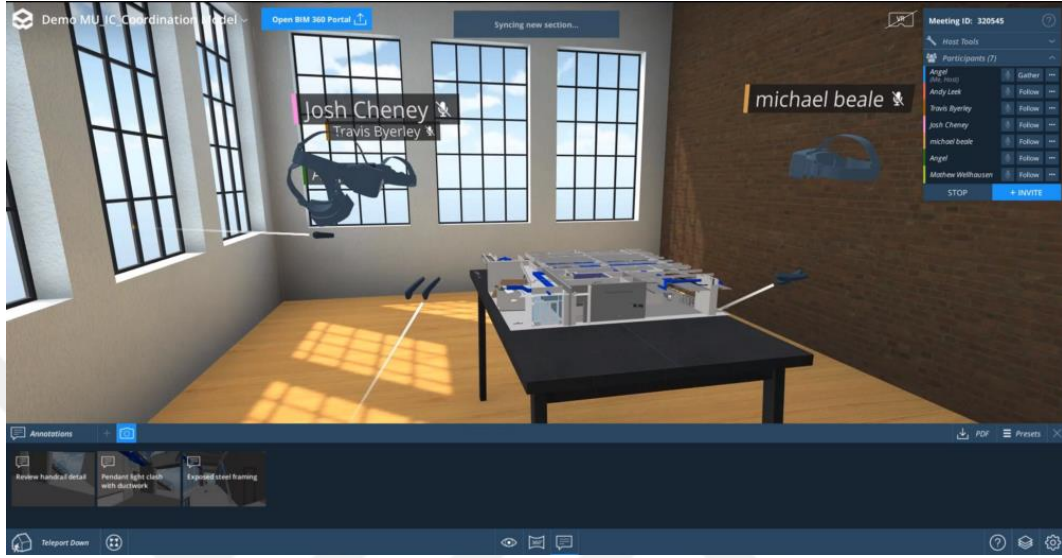
**Şekil 3.8.** Enscape etkileşimli kullanım örneği (Enscape, 2019).

### **3.1.4.2. InSiteVR**

Sanal Gerçeklik teknolojilerinde, tasarım paydaşları sanal bir ortamda bir arada bulunarak işbirliği içinde çalışabilirler. InSiteVR bu formatta çalışan uygulamadır. Mimar, Mühendis ve diğer paydaşlar 4D proje üzerinde eşgüdümlü çalışırken kolektif değişiklikler yapmaları sağlanır. Proje paydaşları herhangi bir çıktı almadan ya da tasarım verilerini çıktı olarak aktarmadan proje üzerinde beraber Sanal Gerçeklik ortamda InsiteVR üzerinde çalışabilir. InsiteVR BIM 360 platformu ile uyumlu çalışan bir araçtır. Şekil 3.9’ da sanal gerçeklik ortamında gerçekleştirilen bir tasarım toplantısı örneği verilmiştir. Kullanıcılar sanal alanı eş zamanlı gezerken, kişisel tespitler tasarıma not



olarak düşülmüştür. Şekil 3.10' da InsiteVR ile konuşma metinleri, geliştirilerek ek tasarım bilgileri hatta Sanal Gerçeklik ortamında ortak üretilen proje verileri senkronize biçimde kaydedilme örneği verilmiştir. (Du vd., 2018).



**Şekil 3.9.** InsiteVR ile Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik birarada kullanım örneği (BIM360, 2018).



**Şekil 3.10** BIM ve InsiteVR ile Sanal Gerçeklik birarada kullanım örneği (Pnewswire, 2019).

### **3.1.4.3. EON Icube**

Kullanıcının görüntü ve sesle çevrili, çok duvarlı Sanal Gerçeklik teknolojisidir. Şekil 3.11'de kullanıcı şantiye alanında yapı unsurlarını incelemektedir. Örneğin aynı anda Sensorlu cihazlar olan veri eldiveni, joystick ve hareket izleme tertibatı ile

senkronize çalışabilir. Yapının iç yüzeyine dair nitelikli çözümler sunar. (Kafhali ve Salah, 2018).



**Şekil 3.11.** Etkileşimli EON icube örneği (EON icube, 2017).

### **3.1.5. Sanal tasarım ve gerçek dünya eşgüdümlü diğer çalışmalar**

Günümüzde İnşaat Mühendisliğinde aktif olarak kullanılan Sanal Gerçeklik araçları 50'den fazla olup her geçen gün yenileri eklenmektedir. (Viatechnik, 2017). Gerçek dünya ile sanal simülasyonun üst üste getirilerek oluşturulan simülasyonlar genellikle Artırılmış Gerçeklik teknolojileri olarak da ifade edilmektedir.

Sanal Gerçeklik teknolojilerinde modern çözümler üreten Oculus Rift kulaklık, Leap Motion, HTC Vive, Oculus Rift GearVR Daydream, SteamVR ve PlayStation VR türü araçlara günümüzde peş peşe yenileri eklenmektedir. Bu araçların BIM platformlarına entegre çalışmasına yönelik çalışmalar sürmektedir. (Sampaio, 2018).

#### **3.1.5.1. Microsoft HoloLens**

3D nesnelere üzerinden geliştirilen hologramlar sanal temsiller dünyada mevcutmuş gibi etkileşime imkan tanır. Sofistike bir inşaat projesi incelenirken masa üstünde 3D modelmiş gibi görüntülenebilir, simüle edilen yapı 1/1 ölçekle izlenebilir. Bu amaçla geliştirilen araçlardan biri de Microsoft HoloLens karma gerçeklik aracıdır. Günümüzde tasarımcılar karma gerçeklik aracı HoloLens'i kullanarak Trimble, SketchUp ile dijital şemaları saha üzerine yerleştirilmiş hologramlar olarak geliştirmektedirler. Şekil 3.12'de görülen şantiye incelemesinde, tasarımcılar fiziki alan bağlamında tasarım alternatifleri üzerine çalışmaktadır. (Burczyk, 2019).

Trimble destekli Microsoft HoloLens benzeri karma gerçeklik araçlarının önemli ergonomik olması, gps fonksiyonlu çalışabilmesi ve BIM platformlarına entegre çalışabilmesidir. (Hockett, ve Ingleby, 2016).



**Şekil 3.12.** Trimble yazılımı ve karma gerçeklik aracı Microsoft HoloLens ile şantiye uygulaması (Burczyk, 2019 ).

### 3.2. Saha Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları

Yapı bilgisi modellemesi günümüzde çeşitli şantiye safhalarında saha çalışanlarına, yüklenici ve denetim firmaların ihtiyaçlarına cevap bir platformdur kullanmaktadır. Bir tasarımı görselleştirmek, paydaşların tamamlanmadan önce bir binanın içinden geçmesine izin vermek ya da tasarıma göre yapılan işi doğrulamak için modeller kullanmak olsun, BIM uygulamaları Sanal Gerçeklik teknolojileri desteklenmektedir. Artırılmış Gerçeklik, Karma Gerçeklik teknolojiler ile fiziksel ve dijital bileşenlerin eş zamanlı olarak etkileşimsel yeni araçlara yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Uluslararası Veri Kurumu (IDC) yürütmüş olduğu araştırmaya göre, BIM tabanlı Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik teknolojileriyle geliştirilen araçlar; üretim ve inşaat harcamaları, tasarım ve güvelik benzeri başlıklarda gelecek yıllarda sektörel dinamikleri değiştirmesi öngörülmektedir. (Grilo ve Goncalves, 2011). Şantiye incelemesinde ve denetiminde BIM platformlarında VR teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır.

### 3.2.1. Şantiyede BIM verilerinin izlenmesine yönelik uygulamalar

Şantiye ortamına BIM verilerini izlemek için çok sayıda araç Sanal Gerçeklik çözümleri kapsamında geliştirilmeye devam etmektedir. Mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, konstrüksiyon çalışmaları üzerine ağırlıklı olarak Artırılmış Gerçeklik çözümleri üretilmektedir. (Nical ve Wodyński, 2016)

#### 3.2.1.1. Daqri

Daqri ve Intellectsoft firmalar, BIM modellerinin sahada uygulanabilir olması için teknolojiler geliştirmektedir. Daqri geliştirmiş olduğu aracı, Worksense Artırılmış Gerçeklik uygulamaları ile çalıştırırken, Intellectsoft firması HoloLens ile uyumludur. Bir tür kask olan Daqri aracı, ikisi önde ikisi arkada olmak üzere tasarlanmış dört kameranın geliştirdiği görüntüleri senkronlayarak 360 derecelik bir dizi kayıt oluşturur.

Sanal Gerçeklik teknolojilerinde dikkat çeken araçlardan biridir. Kullanıcı şantiye ortamına görüntüleri ve verilere, farklı noktalarda izleyen paydaşlara canlı yayınlara iletebilir onlarla beraber değerlendirebilir, zaman içinde tekrar kullanmak üzere kaydedilebilir. Daqri ile donanım, teçhizat ve diğer malzemeler, doküman kullanılmaksızın pratik biçimde envanteri çıkarılabilir. 12 saatlik pil ömrü ile tasarlanan Daqri neredeyse gün içinde bütün mesai süreçlerinde kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Şekil 3.13'te petrol sahasında Daqri kullanım örneği verilmiştir. İhtiyaç halinde değiştirilebilir piller ile şantiye alanlarında aralıksız kullanımı mümkündür.

Özellikle BIM platformları ile uyumlu çalışması nedeniyle önemli bir uygulama olup, sezgisel çalışma yönergeleri sunabilir. Kullanıcılara öneriler sunarak, kullanıcıya hızlı kavrama, güvenlik risklerinden kaçınma ve çalışma sahasında hataları azaltarak zaman kazandırabilir. Daqri ile tasarımın bütün paydaşları, dijital olarak gerçek zamanlı bağlanabilirken, araç, teçhizat ve şantiye alanının bütününe BIM platformları ile çevrimiçi çalışabilmektedir. Sensor teknolojisi ile çalışma etkileşimli şekilde bulut veri tabanlarına bağlanarak tasarım depolanabilmektedir.



**Şekil 3.13.** Şantiye ortamında Daqri aracı kullanımı. (BIMplus,2018).

### **3.2.1.2. Fologram**

Fologram, HoloLens gibi Artırılmış Gerçeklik teknolojileri ile geliştirilmiş bir araçtır. Tasarım modellerinin dijital prototiplere dönüştüren araç ile yapım talimatlarının şantiye ortamında takibi mümkündür. Fologram ile iş akışı adım adım izlenebilir. Kişiselleştirilerek geliştirilen yönergeler ile ölçüm, konfirmasyon ve nitelikli bakım projelerin inşasını, inşaat sürecinde yapım sürecini kolaylaştıran bir araç olarak çalışır. (Hamzeh vd., 2019).



**Şekil 3.14.** Şantiye ortamında holografik görüntü örneği (Fologram, 2019).

### **3.2.2. Yapım işlerinde simülasyon süreçleri**

Sanal Gerçeklik çözümleri, şantiye planlama, lojistik konumlama ve yürütme faaliyetlerinde etkilidir. Kullanıcının projenin devam edişini denetlemesine ve etkili zaman yönetmesine izin verir. BIM platformları ile geliştirilen inşaat yapım işlerinde; yapı statik unsurları, mekanik ve elektrik tesisatı tasarım bilgilerini içeren parametrelere, proje bilgilerine erişim ve yeniden düzenlenme mümkündür. Proje evlendirme, proje gelişim sürecini takip etme günümüz zaman yönetimi gereklerindedir.

### **3.2.3. İnşaat yapım süreci desteği**

Sanal Gerçeklik teknoloji araçları BIM platformları imalat işleri başlamadan bütün yapı ömrü tamamlanmasına kadar bütün aşamalarda etkili çözümler üretmektedir. Tasarım ekibi şantiye alanında çalışanlarla kesintisiz çevrimiçi iletişim kurabilir, denetleyebilir. Sanal Gerçeklik yazılım ve donanım araçlarının büyük çoğunluğu yapım sürecinde etkin destek veren araçlardır. Bu araçlar; sahada ölçüm, denetim, güvenlik uyarı sistemleri olarak çalışmaktadır.

#### **3.2.3.1 Otomatik ölçüm uygulamaları**

İnşaat sahalarının ve çalışılan kısımlarının yüksekliği, genişliği ve derinliği Sanal Gerçeklik uygulamaları ile fiziksel özellikler belirlenebilir, ölçülebilir. Tasarım ekibi bu verileri projelerinde kullanabilir. Zaman kazandıran bu araçlarla çalışmanın görünümü konusunda nitelikli fikir edindirebilir. Verimlilik kazandıran araçlardır. AirMeasure, Measure, Topmeasure, MeasureKit bu tür uygulamalara örnektir. Nesnelere, belirlenen iki nokta arasındaki mesafeyi almada kullanılabilir. Alan, hacim hesaplarında yüksek oranda doğrulukla pratik çözümler üretilebilir. Şekil 3.15' te kapalı mekan sınırlarını ölçen uygulama örneğinde ölçüm oranlarının proje verileri ile tutarlı, kesin veriler olduğu görülmektedir. Uygulama türü ile geliştirilen Artırılmış Gerçeklik araçları kullanıcı yapıdaki herhangi bir tutarsızlığı ya da yanlış boyutlarda gerçekleştirilen imalatı tespit edilebilir. Geleneksel ölçüm yöntemlerine göre hızlı çözüm üreten uygulama türü ile insan hataları da elemine edilmiş olur. (Wang vd., 2014).



Şekil 3.15 Airmeasure uygulamasından bir örnek, (Sensortower, 2019).

### 3.2.4. Saha denetimi ve yerinde destek uygulamaları

Yoğunluk düzeyi yüksek, karmaşık olan; otoyollar, köprüler, viyadükler, havaalanları, demiryolu hatları gibi yapıların planlama, denetim ve işletim süreçlerinde GPS, GIS ve Sanal Gerçeklik araçları bir arada etkili kullanılabilir. (Autodesk,2017).

### 3.3. Yapım sonrası çalışmalarında sanal gerçeklik uygulamaları

Bir yapının yaşam döngüsündeki en uzun süre devam eden işlem tesis yönetimi ve bakım onarım aşamasıdır. Tesis yöneticileri potansiyel arızaları engellemek amacıyla teçhizat bakımı çalışma yürütmek durumundadır. Tüm yaşam döngüsü maliyetlerinin %80'den fazlası bir maliyet tesis yönetimine harcanmaktadır. (Teicholz 2004), Aşağıda uygulama türlerine örnekler verilmiştir.

#### 3.3.1. Bakım ve onarım çalışmaları

Sanal Gerçeklik teknolojileri; yapılarda proje sürecinde ve proje bitiminden sonra onarım, bakım işlerine çözümler üretebilmektedir. Bu şekilde deneyimsiz çalışanların dahi nitelikli onarım işleri gerçekleşmesi mümkün olabilir. Özellikle karmaşıklık

düzeşin yüksek olan yapısal projelerde bakım onarım faaliyetlerinde randımanlı çözümler alınabilir. (Koch vd., 2012)

Yerinde bakım onarım çalışmalarına ayrılan süresinin yaklaşık % 50'ye yakını denetim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere alana gitmek ve gerekli eğitimleri vermekte geçmektedir. (Lee ve Akin, 2011). Şekil 3.16'da bakım onarım çalışmalarına yönelik Sanal gerçeklik ile geliştirilen simülatif çözüm kullanıcıyı talimatlarla yönlendirerek, zaman ve beceri kazandırmaktadır. Diğer yandan geleneksel bakım yönergeleri genellikle zor anlaşılan, çok sayfalı metinlerdir. Sanal Gerçeklik araçlarla bakım onarım süreçleri hızlı, anlaşılır giderilebilir.



Şekil 3.16. Artırılmış Gerçeklik destekli Bakım onarım uygulama örneği (Koch vd., 2012).

### 3.3.2. Tesis yönetiminde sanal gerçeklik teknolojileri

Sanal gerçeklik kullanılarak, şantiye talimatlarının hızlı yerine getirilmesi, bilgilere hızlı erişim ve müdahaleleri bulunma verimlilik artırılmaktadır. Mevcut sanal gerçeklik uygulamaları yapım sahasında navigasyon destekli bakım onarım işlemlerinde kullanılmaktadır. (Lee ve Akin, 2011). GPS ile senkronlu çalışmalar tesislerin açık alanlarda fonksiyonel olarak kullanılabilir. (Lee ve Akin, 2011). Tesis yönetimine yönelik BIM destekli zengin veriler çalışmalara entegre kullanılabilir. (Lee ve Akin, 2011).

### 3.4. Eğitim ve Oryantasyon Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları

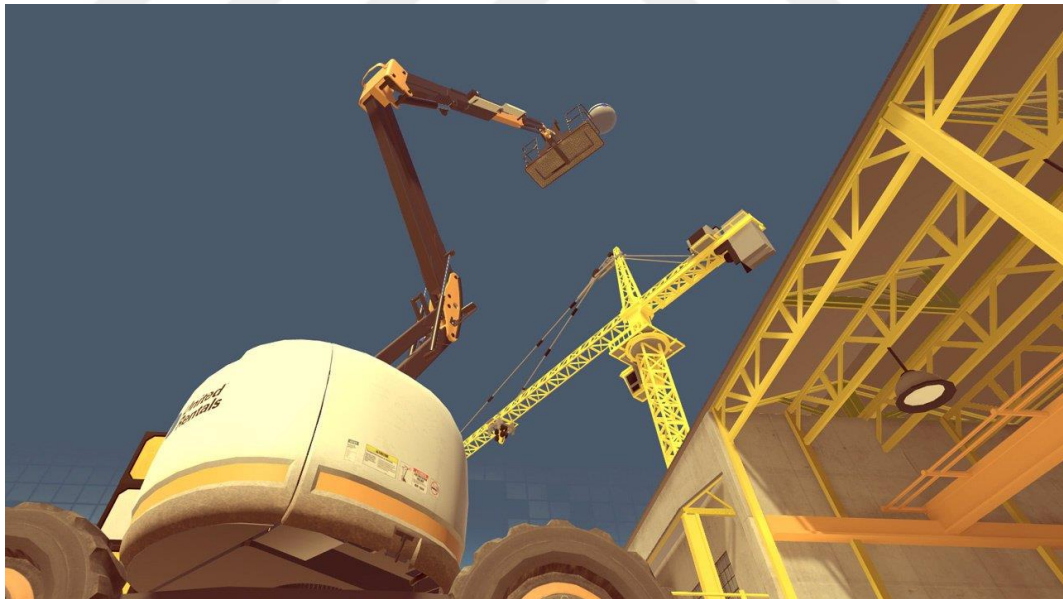
Günümüzde Sanal Gerçeklik teknolojilerine yönelik geliştirilen eğitim uygulamaları; pratik, güvenli ve oldukça uygun maliyetli çalışmalardır. (Park ve Kim, 2013). İnşaat mühendisliği eğitimi verilen üniversitelerde BIM kavramları ve kullanım



deneyimlerini geliştirilmek üzere lisans programlarına dahil edilmeye çalışılmaktadır. Üniversitelerin lisans ve lisansüstü inşaat mühendisliği bölümleri için simülasyon modelleme ve BIM içeriğinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. (Sacks ve Pikas, 2013).

### 3.4.1. İşçi eğitimi

İşçi ve diğer çalışanlar, sağlıklarını veya can güvenliğini tehlikeye atmadan Sanal Gerçeklik teknolojileri ile verilen eğitimlerle deneyim kazandırılabilir. Ayrıca afet, gelişen mücbir koşullara yönelik eğitim uygulamaları önemli kazanımlar sağlayacaktır. Sanal Gerçeklik araçları kullanıcıların, ekipmana, iş makinesi zarar vermeden ya da atacak koşullarla karşı karşıya kalmadan hata yapabilme serbestisiyle çalışmalarına izin verir. Şekil 3.17’de deneyimsiz operatörler tarafından kullanılması durumunda son derece riskli olabilen kule vinç iş makinesine yönelik geliştirilen Sanal Gerçeklik uygulmasının örneği verilmiştir. Risk seviyesi göz ardı edilerek tecrübe edinimi tam olarak kazanılana kadar istenilen miktarda deneyimleme imkanı vardır. (Sacks ve Pikas, 2013).



Şekil 3.17. Kule vinç Sanal Gerçeklik eğitim uygulmam örneği (İti, 2019).

#### 3.4.1.1. Worksite VR - KOMATSU

Şantiye alanlarında, hafriyat sahalarında kullanılan ekipmanlar hatalı kullanımı durumunda tehlikeli sonuçlara yol açabilir. İş makineleri üzerine deneyimi olmayan

çalışanın araç kullanması beraberinde potansiyel tehlikeleri de getirmektedir. (Sacks ve Pikas, 2013).

Sürükleyici bir eğitim süreci sağlamak için araç kullanılarak geliştirilen WorksiteVR Simülatörü, her seviyedeki iş makinesi kullanacak çalışana yeterli deneyim kazandırmak üzere geliştirilmiştir (Şekil 3.18). Kullanıcı risksiz, tehlikesiz alanda, simüle edilmiş bir çalışma ortamında öğrenme seviyesini yükseltir. Beceriler geliştikçe ekipman kullanımına hazır hale gelir. Worksite simülasyonu ile KOMATSU firması için, iş makinelerinin bütün kontrollerine yönelik deneyim kazandıran bir simülasyon sistem geliştirmiştir. (Şekil 3.19).

Üzerinde çalışılacak her iş makinesine yönelik türde eğitim modülleri geliştirilmiştir. Bu eğitim paketleri üç farklı seviyeye yönelik içeriğe sahiptir. Hazırlık, Uygulama ve Değerlendirme olarak geliştirilen modüller farklı deneyim seviyelerinde gerekli görülen ihtiyaca yönelik çalışmaktadır. Çalışanın gelişim seyrine göre otonom ilerleyen modül eğitimler, operatörlere kendi hızlarında öğrenme ve modüller arasında çalışma konusunda bağımsızlık sağlar.



Şekil 3.18. Worksite ile iş makinesi eğitim simülatörü (Worksite, 2019).



**Şekil 3.1.9.** Etkileşimli iş makinesi simülatörü örneği (Foregex, 2017).

### 3.4.2 Akademik eğitim;

Sanal Gerçeklik araçları ile eğitim kalitesi geleneksel yöntemlere göre daha etkili düzeydedir. Riskli deney ortamları, malzeme tanıma ve benimseme, tasarım geliştirme, denetim ve yönetim, yapı yıkım prosedürleri gibi bir çok alanda Sanal Gerçeklik teknolojilerinden günümüzde yararlanılmaktadır. (Sacks ve Pikas, 2013). Görerek, ve deneyimleyerek uygulanması nedeniyle Sanal gerçeklik uygulamaları ile eğitim de kalıcı olmaktadır. Sanal Gerçeklik araçlarda düşük maliyetlerle yeterlilik seviyesinin net olarak ölçülebildiği sonuçlar elde edilmektedir. (Bronack, 2011).

### 3.5. İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları

Sanal Gerçeklik Çözümleri, 4D CAD, BIM, şantiye güvenlik yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği çözümleri ve proje teslimi için amamlara yönelik yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou vd.2012).

BIM'in inşaat endüstrisindeki artan yoğunluğu; eğitimden tasarıma, iş sağlığı ve güvenliğinden pazarlamaya birçok konunun ele Erişim şeklini değiştirmektedir. İnşaat projelerin bütün aşamalarında potansiyel güvenlik tehlikeleri otomatik olarak tanımlanır ve otomatik önleme yöntemleri uygulanabilir (Sidani vd., 2017).

Büyük ölçekli alanlarda yürütülen inşaat çalışmalarında yaşanan kazalar, yaralanmalar ve ölümler, yapılan geliştirmelere rağmen hedeflenen noktaya gelinememiştir. Çalışmalar birçok ülkede inşaat endüstrisinin en yüksek kaza oranlarına sahip olduğunu göstermektedir. İnşaat sektöründe iş güvenliği tehlikelerini azaltmak,

tasarım aşamasında önlemek için BIM tabanlı güvenlik uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamalarla öncelikle kaza ve yaralanmalar gerçekleşmeden tehlikeleri belirlemek, ilişkilendirmek ve ortadan kaldırmak için öngörülen önlemleri hayata geçirmek amaç edinilir. (Ruppel vd., 2011)

İş sağlığı ve güvenliği yönetimi çok boyutlu bir alandır. Günümüzde inşaat projeleri daha büyük ve daha karmaşık yapıda olan projeler halini almıştır. İş sağlığı ve güvenliğine yönelik tasarım ve planlanma sağlayan araçlara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. BIM ve uygulama araçları inşaat işlerinde tehlikenin tespitinde yardımcıdır. BIM, inşaat alanlarında iş sağlığı ve güvenliğine yönelik; görselleştirme, risk değerlendirme, planlama, tasarım, eğitim ve güvenlik yönetimi gibi aşamalara dair çalışmalar sürmektedir (Lai ve Lin, 2015).

### **3.5.1. BIM tabanlı iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında 4d teknikler ve sanal gerçeklik teknolojilerinin yeri**

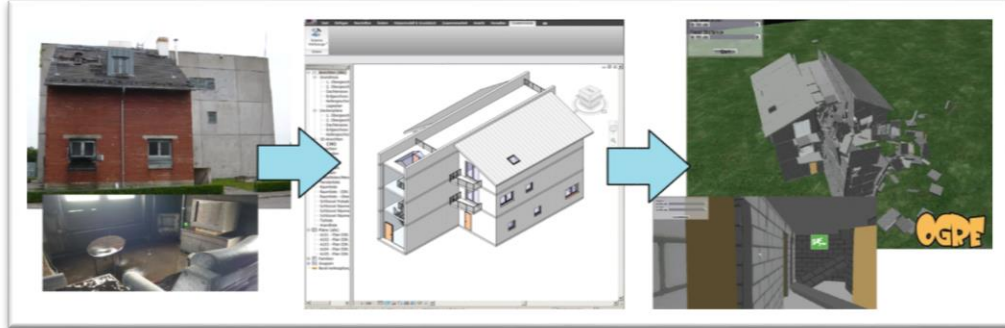
BIM tabanlı iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları şantiye koşullarını görsel olarak değerlendirme ve tehlikeleri tanıma imkanı sağlamaktadır (Azhar, 2011). Navisworks, Bentley Systems vb. yazılımlar çok sayıda farklı yazılım kaynağından ekipman ve şantiye verilerini tek modelde sunarak akıllı model geliştirimine devam etmektedir (Cleveland, 2014). Kural tabanlı uygulamalar belirlenen kurallara dayalı algoritmalarla çalışmaktadır. (Sacks ve Barak, 2008).

Genel olarak BIM tabanlı İş sağlığı ve güvenliğine dönük uygulama alanları 5 kategoride ele alınabilir: Bunlar, (1) Güvenlik için tasarım; (2) Güvenlik planlaması (iş tehlikesi analizi ve görev öncesi planlama); (3) İşçi güvenliği eğitimi; (4) Kaza soruşturması ve (5) Tesis ve bakım aşaması güvenliği. Şantiye faaliyetlerinde iş sağlığı ve güvenliğine dönük BIM tabanlı uygulamalar üzerine yapılan çalışmalar; BIM tabanlı Şantiye yönetimi uygulamaları mevcut durum taraması, şantiye bölümlerinin izlenmesi, iş emirlerinin takibi gibi şantiye yönetiminin yürütülmesine yardımcı olmak için kullanılabilir (Shalabi ve Turkan, 2016).

#### **3.5.1.2. Yangın - Afet Uygulamalarına Yönelik Çalışmalar**

2011 yılında yapılan bir çalışmada, tahliye sürecinde bina koşullarının insan davranışına etkisinin araştırılması için oyun modeli üzerinde çalışmışlardır. 4D modellemeli tasarım ile yangın simülasyonu geliştirilmiştir (Şekil 3.20). BIM tabanlı

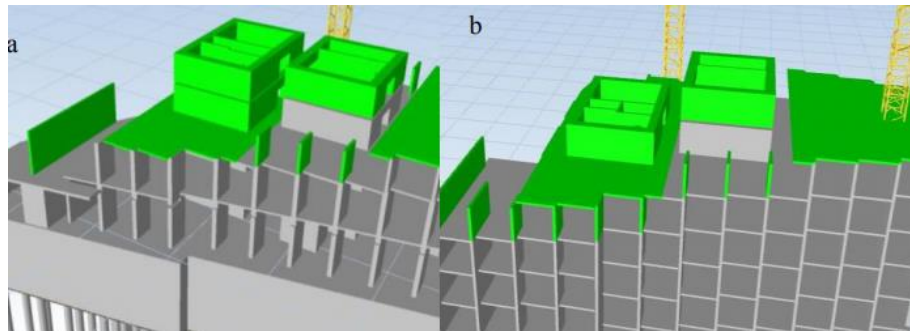
uygulama, Sanal Gerçeklik teknolojisi ile geliştirilmiş olup inşaat projelerinde farklı paydaşların bina ile ilgili rollerine dönük eğitimler geliştirilmiştir. (Ruppel vd., 2011)



**Şekil 3.20.** (a) Gerçek Yangın Vakası (b) BIM tabanlı Model (Yazılım:Revit) (c) Sanal Gerçeklik tabanlı eğitim uygulaması (Ruppel ve vd., 2011).

### **3.5.1.3. Ön Tasarım Güvenliğine Dönük Çalışmalar**

Güvenlik prosedürlerinin geleneksel planlama yöntemleriyle kontrolünün zorlayıcı inşaat planı oluşturmasını sağlayan 4D Sanal Gerçeklik modelleri geliştirilmektedir. (Balakina vd., 2018). Şekil 3.21’de 70 katlı bir binanın yapımında kullanılması planlanan, inşaat yapımına başlamadan önce mekansal ve zamansal hataları bulan prototip geliştirilen sistem simülasyon örneği verilmiştir. Yapım öncesi hatalarının belirlenerek, 4D modelleme ile yapıda hareket halinde bulunan vinçlerin çalışmaları en uygun hale getirildi.



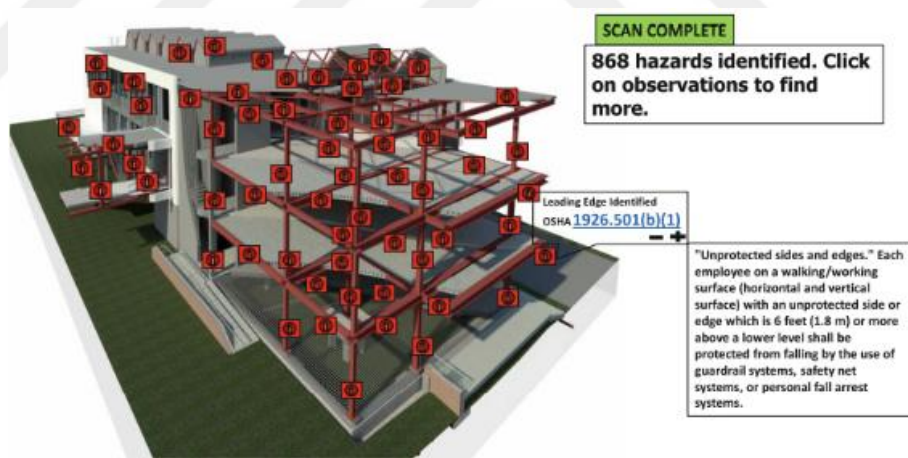
**Şekil 3.21.** Vinç Planlama Modülü (a) Hatalı tasarım (b) Düzeltilen tasarım (Balakina vd., 2018).

#### **3.5.1.4. Altyapı Çalışmaları**

Altyapı projelerinde tasarım çalışmaları, güvenlik performansını artırmaya yönelik bulut tabanlı güvenlik bilgi sistemi geliştirilmektedir. (Zou vd., 2017). MapSafe adını verdikleri çalışma ile yapının işlevini, yapım öncesi ve yapım sonuna dek güvenlik kayıtlarını, iş güvenliği analizlerini, güvenlik raporlarını sunmaktadır. Bulut tabanlı geliştirilen sistem yol yapım, kanalizasyon çalışmalarında başarılı uygulanmıştır. (Zou vd., 2017).

#### **3.5.1.5 Yapay Zeka Kullanımına Dönük Çalışmalar**

Yapay zeka kullanılarak geliştirilen bir çalışmada, inşaat sahalarını güvenli hale getirme amacıyla model geliştirilmiştir. Otomatik tanımlanan ve Amerikan OSHA güvenlik standartları ölçütleriyle geliştirilen uygulama tehlikeleri simülasyonla tespit eder (Şekil 3.22). Tehlikeleri elemine edecek şekilde, alternatif tehlikesiz tasarım öneren bir sistemdir. Düşme tehlikelerinin azaltılmasına yönelik; proje güvenliği değerlendirme, risk değerlendirme ve tehlike azaltma stratejileri tasarlar. (Bigham vd., 2018).



Şekil 3.22. BIM ve Yapay zeka entegrasyonu raporu (Bigham ve vd., 2018).

### **3.6. BIM Platformları ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri**

BIM; projelerde gerekli olacak güvenlik özelliklerini tanımlarken, planlama, tesis yönetimi, eğitim ve tasarım tarzı önemli süreçlerde etkili simülasyon aracı olarak alternatif yaklaşımlarla kullanılabilir. (Teizer, 2016). BIM uygulamaları tasarım alternatiflerinin güvenlik faktörlerini hızlı değerlendirir, çeşitli tasarım paydaşları arasındaki işbirliğini hızlandırır (Ku ve Mills, 2010). . BIM, yapı tasarımının süreçlerinin

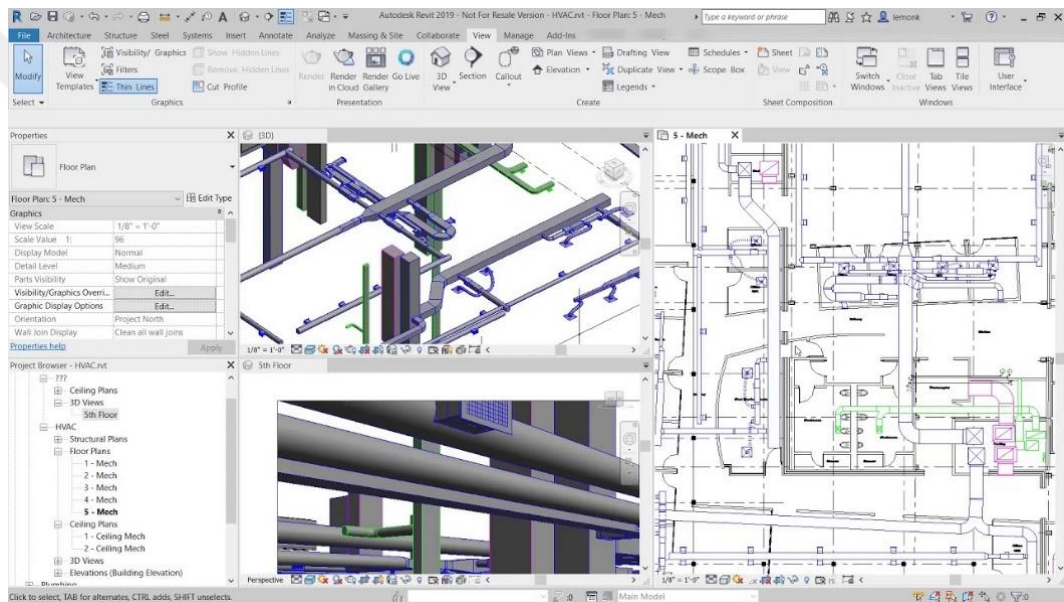
tüm disiplinleri de kapsayacak şekilde tasarım simülasyonu oluşturulması da olarak da ifade edilebilir. Bu yüzden BIM platformları salt simülasyon araçları olmayıp aynı zamanda proje veri deposu olarak da görev yapar. BIM platformu, bilgi, tasarım, güvenlik prosedürlerinin proje paydaşları tarafından yürütüldüğü bir yaklaşımdır. İnşaat Sektöründe Sanal Gerçeklik teknolojileri özellikle; tasarım, iş sağlığı ve güvenliği, işbirliği, pazarlama, zaman yönetimi ve eğitim ve oryantasyon benzeri konular üzerine çalışmalar yoğun devam etmektedir. İnşaat sektörü, tarihin en eski ve dinamik sektörlerinden biridir. Yeni araçlar, geliştirilen Yeni yöntemler sektöre hızlı biçimde angaje edilmektedir. İnşaat sektöründe devrimsel yeniliklerden biri de BIM platformları olmuştur. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yenilikçi bir yaklaşım olup geleneksel yöntemlere nazaran nitelikli işbirliği sağlamaktadır. (Teizer, 2016).

### **3.6.1. BIM Platformları ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri arasındaki ilişki**

Birçok sektörde olduğu üzere Sanal Gerçeklik teknolojileri kullanımı İnşaat sektöründe de artmaktadır. Günümüzde VR teknolojileri ile BIM platformları geniş ölçekte uyumlu çalışmaktadır. BIM platformları destekledikleri VR çözümler ile şantiye alanına gitmeden fizik kanunları ile örtüşen simüle çözümlerle mekansal kavrama, algılama imkanı sağlayabilmektedir. BIM platformları ile inşaat yöneticilerinin, yükleniciler tasarım koordinasyon bozukluklarını bulabilir ve yapım sürecini etkili yönetebilir. IFC, International Association for Interoperability (IAI) tarafından geliştirilmiştir. IFC, inşaat sektöründeki yazılımları arasında veri alışverişi yapabilen, yapı unsuru modellerinin dosya formatıdır. IFC ayrıca tasarım sürecindeki faaliyetleri, tahlil verilerini ve sonuç özelliklerini kapsar. (Steel vd., 2012). IFC verilerin bulut tabanlı sistemler üzerinden depolanabilmesi, farklı tasarımcılar tarafından edinebilmesi hem Sanal Gerçeklik türü simülatif araçların gelişmesine hem de BIM platformlarının gelişmesinde ve yaygınlaşmasında önemli etkileri olmuştur. Bu kapsamda BIM platformları tasarımı yürütücü araçlar olmakla birlikte farklı eklentilerle özelleştirilebilir, farklı ihtiyaçları karşılamak üzere modifikasyonlara izin vermesinin de etkisiyle birçok Sanal Gerçeklik yazılım teknolojisinin ilerlemesine zemin hazırlamış ve bağımsız birçok yazılımın geliştirilmesinin de önünü açmıştır. Autodesk BIM360, ArchiCAD, Allplan vb. önde gelen BIM platformlarıdır.

### **3.6.1.1 Autodesk BIM360**

BIM modelindeki her bir gelişimin paydaşların müşterek kullanımına yönelik zaman akışında gösterilerek tasarım ekibinin ortak projelere erişimine olanak tanır. Autodesk, BIM platformu olarak bir web içerikli çıktılar üretir. En yaygın bilinen kullanılan BIM Platformlarından biridir. Tasarım çalışanları proje alt bölümlerini alt sınıflara ayırarak her bir öğeyi ayrı ayrı simülasyonunu inceleyebilir. Dolayısıyla işbirliğine dayalı bir ortamda projeyi bütün çalışanlar revize edebilir, analiz edilebilir ve değiştirilebilir, (Guo vd., 2017). Şekil 3.23'te Cad verileri üzerinden parameterik modellere dönüştürülerek geliştirilen Simülasyon örneği verilmiştir.



Şekil 3.23. BIM 360 Platformu tasarım proje örneği (BIM360, 2019).

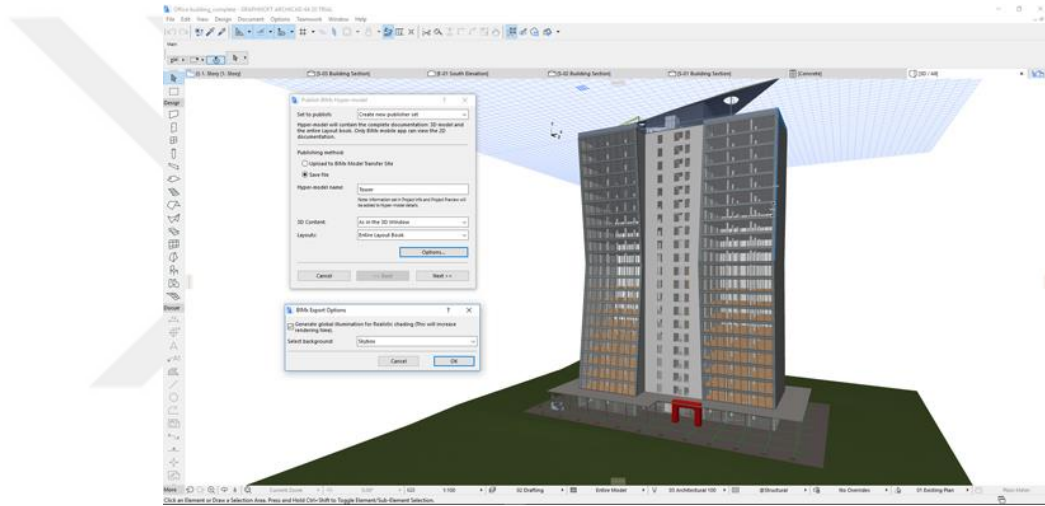
### **3.6.1.2 ArchiCAD**

ArchiCAD BIM platformu geniş ölçüde; müşteri, tasarım ekibi, saha çalışanları ve diğer inşaat sektörü paydaşları için geliştirmiştir. Platform tasarım sürecinde diğer paydaşlarla işbirliğinde fonksiyondur. Geliştirilen eklentiler ve yama yazılımlar ile özelleştirme seçenekleri sunar. RFID, GPS, GIS ve Sanal Gerçeklik teknolojileri ile uyumlu çalışabilen bir platformdur. (Arayıcı vd., 2011).

Tasarım ürünlerinin eş zamanlı ve verimli biçimde değerlendirilmesinde yardımcıdır. Paydaşlara alternatif çözüm üretebilir. ArchiCAD yazılımı ile herhangi bir müşteri tasarlanan bina içerisinde tanıtım amacıyla gezdirilebilir. Sistem sezgiye dayalı



sensor teknolojileri ve GPS navigasyon özellikleri ile yürüme hareket etme gereksinimi olmadan mekanlar arası geçiş seçenekleri sunmaktadır. Birçok VR yazılım ile uyumlu çalışan bir platformdur. (Graphisoft,2018). Bir BIM Modeli olarak çalışan ArchiCAD ile modelin var olduğu bir dünyayı, arzu edile her türlü etkileşim düzeyinin temelini sunarak sağlayabilir. CAD çalışmalarının Sanal Gerçeklik çalışmalarına BIM platformları ile pratik, hızlı aktarımı mevcuttur. BIM platformları ile üretilen Sanal Gerçeklik çözümler aktarılarak akıllı telefon, tablet tarzı araçla kullanılabilir. Şekil 3.25'te ekonomik, kullanışlı olan ve sanal gerçeklik tasarımlarının aktarımında kullanılabilen Google Cardboard verilmiştir.



Şekil 3.24. BIM 4D model Tasarım geliştirimi (Graphisoft,2018).



Şekil 3.25. GoogleCardboard Sanal Gerçeklik HMD kullanım örneği (aecmag, 2019).

### 3.6.2. BIM bulut alanları

Çeşitli bulut depolama alanları (BIMx Model Transfer, Dropbox, OneDrive veya iCloud ile basit yazılımlarla kullanımı mümkün olan yazılım ile Sanal Gerçeklik model geliştirme kullanma imkanı sağlamaktadır.

### 3.6.3. BIM platformları ile uyumlu sanal gerçeklik teknoloji yazılım araçları;

Augment, Sketchup, Revit, 3DS Max, SolidWorks Sanal Gerçeklik teknolojileri ile yazılı tasarım yazılımları sunan yaygın bilinen araçlardır. Bu araçlar tasarım modellerini uygulamaya yükledikten sonra, paydaşların kullanımına yönelik simülasyon gerçekleştiren araçlardır. Farklı amaçlara hizmet eden diğer araçlardan bazıları şu şekilde listelenebilir:

- BIMobject VR & AR: Sanal Gerçeklik- Artırılmış Gerçeklik ve 4D modellemelerden tasarım yapımında kullanılan yazılımdır.
- ALLVR: Sanal Gerçeklik modellemelerini BIM bilgisiyle görselleştirme ve paydaşlara tasarım imkanı veren yazılımdır.
- Dalux: Artırılmış Gerçeklik destekli modelleme BIM model görüntüleyicisidir.
- Raumdichter: Gayrimenkul tanıtım, pazarlama için Sanal Gerçeklik uygulamasıdır.
- Robotic eyes: Dijital 2d-3d modellerden hologram oluşturmada kullanılır..
- Tridify: BIM verilerini aktarmakta kullanılan yazılım firmasıdır.
- VUFRAME: Sanal Gerçeklik – Artırılmış Gerçeklik destekli tasarım sergileme, izleme desteği veren yazılım.

### 3.6.4. Sanal gerçeklik tabanlı çalışmalarını bım ve bulut ile destekleyen araçlar, şirketler;

Sanal Gerçeklik teknolojilerinde üretilen kaynak modellerin farklı proje ve tasarımlarda kullanılması gelişim kaydedilmesi açısından önemlidir. Dolayısıyla kaynak modellerin depolanması yeni tasarımcıların üretiminde yardımcıdır. Veri yönetimi, proje çözümleri, işbirliği platformlar benzeri yazılımlar Sanal Gerçeklik teknolojilerine katkısı faydalı çözümlerdir.

- BIMCollab : Sorun yönetimi platformu
- BIM.POINT: BIM veri yönetimi
- Bluebeam: İşbirliği yazılımı uygulaması

- Cobuilder: Veri yönetimi çözümü
- dRofus: Veri yönetimi ve BIM işbirliği aracı
- Elecosoft: Proje yönetimi çözümü
- Geniebelt: Gerçek zamanlı proje yönetimi ve işbirliği platformu
- Molteo: Projelere gerçek zamanlı genel bakış için inşaat yönetimi yazılımı
- Neanex: BIM işbirliği platformu
- Newforma: Proje e-postası ve dosya yönetimi yazılımı
- Place strategy: Yalın inşaat yazılımı
- PLANFRED: Belge paylaşım ve işbirliği platformu
- Revizto: BIM işbirliği sorunu izleme yazılımı
- Thinkproject: İnşaat ve mühendislik projeleri için ortak veri ortamı
- Mobile solutions for construction: İnşaat yönetim platformu
- Oracle Construction & engineering: Büyük inşaat projeleri için bilgi yönetimi

## 4. YAPI BİLGİ MODELLEME İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARINDA SANAL GERÇEKLİK VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARININ YERİ

### 4.1. Meta Analiz Araştırması

BIM tabanlı iş güvenliği uygulamaları üzerine yapılmış çalışmalar araştırma eğiliminin ne yönde geliştiği hangi yönlerde yoğunlaşıp hangi yönlerde zayıflığın bulunduğu belirlenmesi amaçlanmış ve bu yönde çalışmalar yapılmıştır.

Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modeling) inşaat sektöründe, projelerin tüm evrelerini kapsayan, bütün verilerin paydaşlar arasında paylaşım imkanını sağlayarak iletişimi ileri taşıyan, yenilikçi bir teknolojidir (Ofloğlu, 2017).

İnşaat sektörünün geleneksel eğilimleri nedeniyle güvenlik gereksinimleri göz ardı edilebilmektedir. Göz ardı edilen güvenlik prosedürleri kaza istatistiklerine temel olmaktadır. İyi bir güvenlik planlaması uygulanmadan inşaat imalatlarında hedeflenen zaman, maliyet ve kalite hedeflerine de ulaşılmaz. 4D BIM farklı zamanlarda gerekli olacak güvenlik özelliklerini tanımlamak için bir görselleştirme aracı olarak alternatif yaklaşımlarla kullanılabilir. Güvenlik açısından BIM, ekibin güvenlik bilincini yükseltmeye yardım eder (Benjaoran ve Bhokha, 2010). İş uygulamalarındaki değişiklikler nedeniyle oluşabilecek olası çakışmaları ve riskleri 4D modellemeler ile analiz eder (Guo vd., 2017).

Yapı Bilgi Modellemesi ile tasarlanmış model ile, bir yapı modeli otomatik olarak analiz edebilir ve inşaat başlamadan önce gerekli önleyici güvenlik önlemlerini önerebilir (Melzner vd., 2013). Yapı Bilgi Modelleme destekli uygulamalar, tasarımın güvenlik gereksinimlerini karşıladığından emin olmak için ilk aşamasında önerilen tasarımı değerlendirmelerini sağlar (Teo vd., 2016). 4D BIM ile simülatif ve görsel teknolojiler iş sağlığı ve güvenliğinde yeni modelleme teknikleri geliştirilmektedir Sanal gerçeklik kullanarak karmaşık tasarımlar ve planlamalar simüle edilebilir ve analiz edilebilir.

Tasarım için BIM ve VR-AR, tasarımcı için sanal olarak oluşturulmuş bir ortamda kullanıcı güvenliğini derinden tecrübe etmek için faydalı çalışmalar devam etmektedir. Simülasyon kullanımı ve sanal tasarım yöntemleri, BIM'in yaygınlaşmasından daha önce gelişim göstermiştir. İnşaat Sektöründe iş sağlığı ve güvenliğine yönelik dönük uygulanan yenilikçi teknolojiler olan; Sanal Gerçeklik-

Artırılmış Gerçeklik, 4D CAD, RFID, GIS vb. tarzı bu teknolojiler simülasyon ve modelleme araçlarıdır. Bu simülasyonlar ile potansiyel tehlikeleri önleme, Güvenliğe dönük eğitim vb uygulamalar gerçekleştirilebilir. Güvenli proje teslimi için analiz yöntemleri üzerine yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou vd., 2012). 1992 yılında Yamazaki daha sonra 1999 yılında Jung ve vd., “İnşaatta Bilgisayar Entegrasyonu” kavramını geliştirmiş, Güvenlik Prosedürlerinin Bilgisayar ortamında düzenlenmesi ve geliştirilmesine dönük kavramsal temelleri atmışlardır. Görselleştirme teknolojilerinin inşaat güvenliğine uygulanmasının güvenlik eğitiminde etkili olacağı, iş tehlikesi alanı tanımlamasını ve kaza önlenmesini görsel, etkileşimli ve işbirliğine dayalı bir şekilde kolaylaştırdığını tespit eder (Guo vd., 2012).

Sanal Gerçeklik - Artırılmış Gerçeklik ve oyun teknolojilerinde son yıllarda yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır (Park ve Kim, 2013). 4D görselleştirme 1990'ların sonlarından beri yaygın bir şekilde uygulanmakta ve giderek yaygın bir uygulama haline gelmektedir. İnşaat Mühendisliğinde maliyet yaklaşımları ile 5D, tesis-yaşam döngüsü yaklaşımları ile 6D adı altında yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bütün 4D-BIM araçları bu niteliklere sahip olsa da 4D BIM teknolojileri adıyla kullanımı artmaktadır. 4D BIM ile gerçekleştirilen simülatif uygulamaların; Sanal Prototiplendirme çalışmalarında kullanılmıştır (Guo vd., 2013). Sahada işçi sağlığına yönelik sensor bazlı uygulamalarla-RFID, GIS türü konum tabanlı çalışmalarda yararlanılmıştır (Hammad vd., 2009). BIM ve simülasyonları, İnşaat projelerinde tasarımsal hataları en aza indirecek riskleri tahmin edebilen bir aktif bir araç olarak kullanılacak şekilde birleştirilmiştir (Cheng ve Teizer, 2012).

#### **4.2. Meta Analiz Araştırma Yöntemi**

Etkili bir araştırma yöntemi olan meta analiz, özel bir konu hakkında yapılmış çalışmaları son dönem çalışmalara yönelik sentez elde etme amacı taşıyan bir araştırma yöntemidir (Üstün ve Eryılmaz, 2014). Meta analiz yöntemi tarihsel olarak Karl Pearson' un 20. Yy başındaki çalışmalarına dayanmaktadır. Meta-analiz yöntemi ile araştırma kapsamında incelenen çalışmaların, farklı alt- kategorilerde etki büyüklüklerinin karşılaştırılması ve aralarındaki değişkenliğin analiz edilmesi hedeflenmektedir (Huedo vd., 2006).

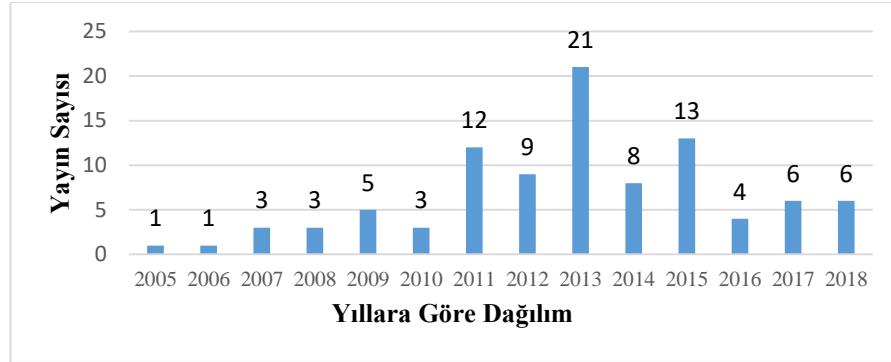
Bu çalışma kapsamında konu dahilinde mevcut çalışmalar irdelenerek elde edilen veriler analiz edilmiştir. BIM tabanlı İş Sağlığı ve güvenliğine yönelik görselleştirme ve

4D modelleme çalışmalarında Sanal ve Artırılmış Gerçeklik uygulamalarının yeri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışma, 2005-2018 yılları arasında BIM tabanlı BIM tabanlı İş Sağlığı ve güvenliğine yönelik görselleştirme ve 4D modelleme tekniklerinin etki düzeyi ve incelenme yoğunlukları araştırılmıştır. ilgili çalışmalar yayın türü, yöntem, veri tarama araçları ve araştırma konularına göre incelenmiştir. Bu teknikler; AR-VR sistemleri ile birlikte GIS- Coğrafi Bilgi Sistemi, GPS- Küresel Konumlama Sistemi, RFID-Radyo Frekansı ile Tanımlama Sistemleri, AR+VR- Karma Gerçeklik sistemleri ile diğer simülatif teknikler üzerine yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Kategorik olarak Veri, İçerik, Amaç ve Sonuç kategorileri şeklinde inceleme yapılmıştır. Kategoriler farklı alt kategorilerde de irdelenmiştir.

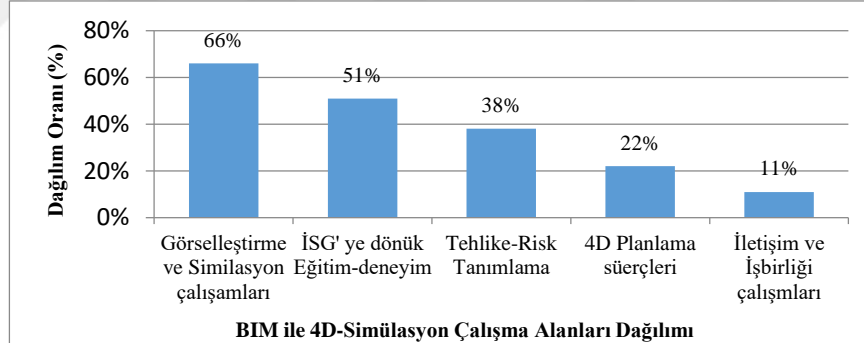
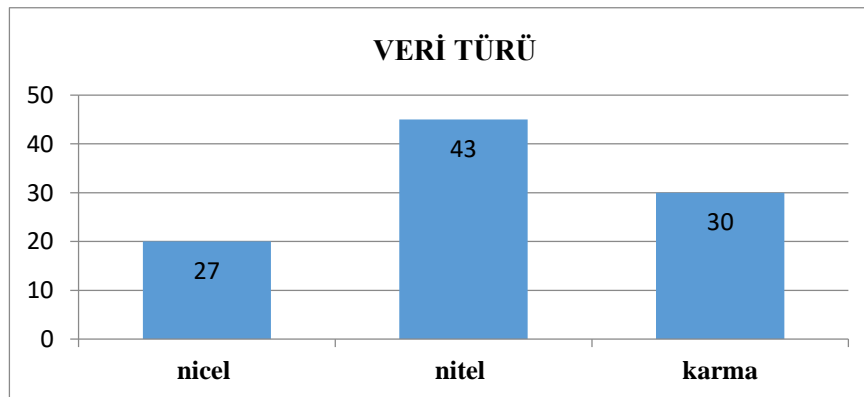
#### 4.2. Analiz Yöntemi

Araştırma için kullanılan ve yayınlara erişim sağlayan elektronik veri tabanları, “Veri Tabanı” alt-kategorisinde incelenmiştir. Google Scholar, ICONDA CIB Library, Academic Search Complete, Current Contents, Web of Science, SCOPUS, ScienceDirect, Oxford Journals, SciELO - Scientific Electronic Library Online, SpringerLink, Wiley Online Library, SAGE Journals, CE Database (ASCE), IEEE Xplore, Informaworld (Taylor and Francis), ScienceDirect, SIAM ve ITcon akademik veri tabanları kullanılmıştır. En çok yayına ASCE ve Science Direct veritabanlarından erişim sağlanmıştır.

Yayınlarda kullanılan anahtar kelimeler, “Anahtar Kelimeler” alt-kategorisinde listelenmiştir. En sık kullanılan anahtar kelimeler sırasıyla, Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi), Building Information Model (Yapı Bilgi Modeli), Safety & Health, Construction Safety, Construction Safety Knowledge, Construction Site Safety, Safety Desing, Visualition/ Simulaiton, 4D BIM, Virtual Reality, Augmented Reality, Visualization of Construction, Simulation of construction, Safety Monitoring, Virtual Modelling olarak çalışmalarda yer almıştır. Anahtar kelimeler incelendiğinde, yayınların mimarlık, inşaat, işletme, bilgisayar bilimi vb. gibi birçok profesyonel paydaşı kapsadığı görülmüştür. Yayınların seçiminde, ilgi düzeyi, çalışma alan ve yöntemi, sonuç ilişkileri gözetilmiştir. Çizelge 4.1’ de görüleceği üzere, BIM destekli İş Sağlığı ve güvenliğine yönelik yayınlarda 4D görselleştirme çalışmaları her ne kadar 2005 yılı itibariyle başlamış olsa da çalışmalarda 2011 yılı ve sonrasında belirgin bir artış söz konusudur (Zou vd., 2017 ).

**Çizelge 4.1.** Yıllara göre yayın sayısı dağılımı.

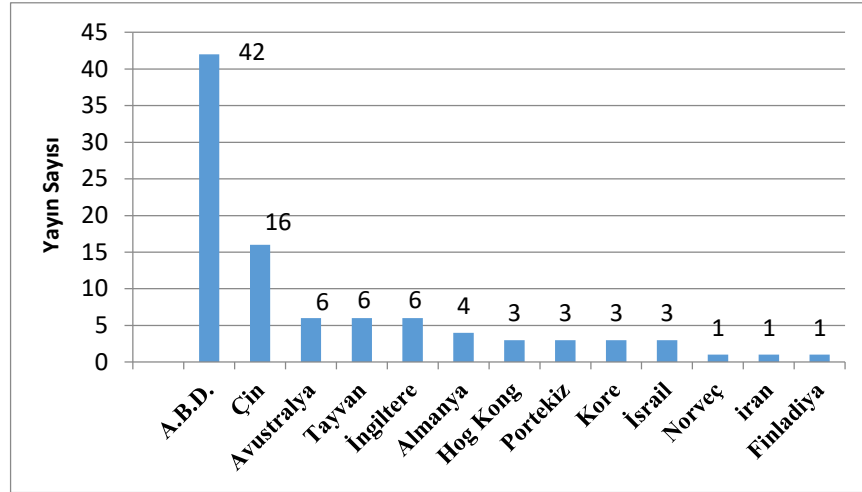
Çalışmaların çoğunlukla İSG yönelik Simülasyon ve Görselleştirme çalışmalarına dönüktür (%66), İSG’de eğitim-deneyimleme çalışmaları üzerine çalışmalar en yoğun diğer çalışma alanıdır (%51). Ayrıca; Tehlike-risk analiz çalışmalarında (%38), 4D planlama süreçleri (%22) ve iletişim işbirliği çalışmalarında (%8) olmak üzere bir dağılım olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** 4D teknikler ile BIM Modelleme çalışmaları alanları.**Çizelge 4.3.** İnceleme kapsamında incelenen veri türü.

Yayınların %27'sinde Nicel verilerin kullanıldığı görülmüştür. Yayınların %30'unda Nicel-Nitel veri türleri birlikte kullanılmış, %30'ünde ise sadece Nitel veri türünden yararlanılmıştır. Nitel veri türüne yönelik çalışmalarda ise; Kural tabanlı algoritmalara dayalı geliştirilen vaka çalışmaları ile şantiyede işçi güvenliğine dönük çalışmalar yer almıştır (Çizelge 4.3). Bu çalışmalar ayrıca, inşaat imalatları öncesi tasarım süreçlerini de içeren risk analiz yöntemi ve tehlike tanımlama uygulamalarını içeren çalışmaları içermektedir. Risk analizi ve tehlike tanıma ve önleme odaklı geliştirilen çalışmalar ağırlıklı olarak karma veri türünde ele alınmıştır. Bu tür yayınlarda çoğunlukla BIM tabanlı güvenlik modellerinin geliştirildiği prototipler üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca güvenlik tasarım kriterleri, bulut teknolojileri, BIM tabanlı otomatik kontrole dayalı bir bilgi modeli önerisi vb. gibi model oluşturma önerileri sunulmuştur. Model oluşturma çalışmalarında ağırlıklı olarak Revit ve Solibri BIM yazılım araçlarının kullanıldığı görülmüştür.

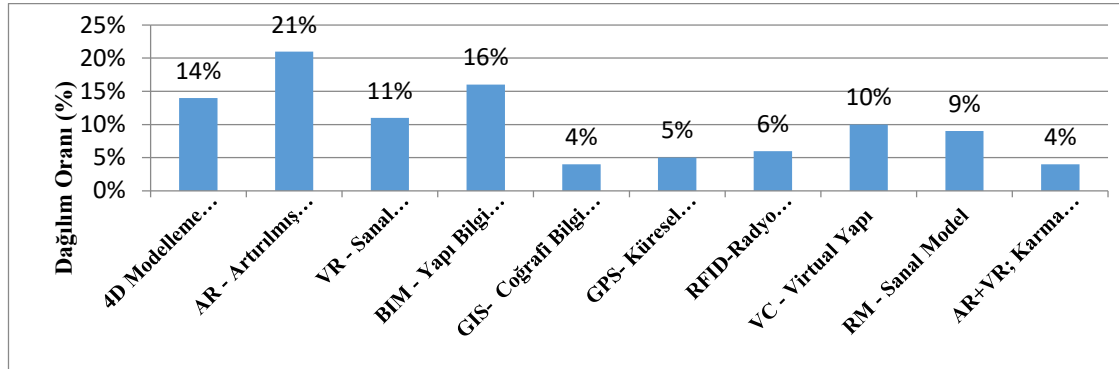


**Çizelge 4.4.** Meta Analiz kapsamında incelenen yayınların ülkelere göre yayın dağılımı.



Yapılan yayınların ülkelere göre dağılımına baktığımızda, en fazla yayının yapıldığı ABD, Çin ve ABD-Çin ortaklığında gerçekleştirilen çalışmalardır (Çizelge 4.4). İngiltere Avustralya, Almanya Tayvan gibi ülkelerde çalışmalara dönük ilgi düzeyi de artmaktadır. Yayınların %25'inde kullanılan Vaka Analizi yöntemidir. Yayınların %43'ü uygulamaya dönüktür. Kalan %16' sında Teorik, %11'inde Anket yöntemleri kullanılmıştır. İncelenen yayınlardaki Vaka Analizi yöntemi genel olarak BIM tabanlı güvenlik uygulamaları üzerine vaka yayınlarıdır. İncelenen yayınlardaki Vaka Analizi yöntemi genel olarak BIM tabanlı güvenlik uygulamaları üzerine vaka yayınlarıdır. BIM tabanlı kural algoritmalarına göre geliştirilen yayınlarının incelenmesi ve sınıflandırılması, inşaat sektöründe BIM tabanlı güvenli uygulamalarını sınırlayan faktörlerin belirlenmesi içeren türde yayınlara da tarama sürecinde yer verilmiştir. Anket yöntemi, BIM teknolojisine yönelik farkındalık, kabul edilme eğilimlerinin gözlenmesi geliştirilen iletişim ve planlama odaklı çalışmalarda yer almıştır. Yayınların %43' ünde görülen Sistem Geliştirme' yöneliktir. Yayınların %21'inde Genel Değerlendirme yapılmış, %36'sında model geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Model Oluşturma çalışmalarında BIM tabanlı güvenlik modelinin tasarımına yönelik; BIM modeline göre geliştirilen güvenlik yazılımların ile uygulamalarının ve yaygın modellerin geliştirilmesi yönünde olduğu görülmüştür. Proaktif tehlike önleyici sistem geliştirme uygulamalarına yönelik BIM tabanlı protokol geliştirilmesi yönünde çalışmalar bulunmaktadır.

**Çizelge 5.5.** BIM Tabanlı işg çalışmalarında kullanılan 4d modellemede kullanılan teknikler.



Kullanılan 4D modelleme tekniklerinden AR+VR uygulamalar bütün uygulamaların içinde % 36 oranında yoğunlukta bulunmaktadır (Çizelge 5.5). Son dönem modelleme çalışmalarında yoğun eğilimin AR- VR modelleme teknikleri olduğu görülürken, en az olan %5 ile GIS -Coğrafi bilgi sistemi ile geliştirilen çalışmalardır (Behzadan vd., 2015). BIM tabanlı uygulamalarda Rfid, Gis araçların kullanımı yaygınlaşmamıştır (Zhang ve vd., 2013). Sanal Gerçeklik ve Artırılmış gerçeklik uygulamaları 4D Güvenlik süreçlerinde kullanımı etkin şekilde artmaktadır (Bhoir ve Esmaceli, 2015). 2011 yılına kadar yayınlar Sanal Gerçeklik Tabanlı gerçekleştirilen uygulamalarda nispeten fazla olsa da 2011 yılı itibariyle gelişen yazılım ve teknolojilerin etkisiyle Artırılmış Gerçeklik tabanlı uygulamalara yönelik eğilim artmış, trendin yönü değişmiştir.

#### 4.3. Meta Analiz Araştırma Sonuçları:

Literatür taramasından elde edilen sonuçlar “Meta Analiz” yöntemi ile değerlendirilmiştir. Litaratür taraması 2005–2018 tarih aralığındaki yayınları kapsamaktadır. Sadece İngilizce yayınlar incelemeye dâhil edilmiştir. İngilizce yayınların değerlendirmeye alındığı çalışma kapsamında, Literatür taraması sonucu 95 yayın üzerinde inceleme yapılmış ve bu yayınlar referanslar kısmında verilmiştir. Çalışmaların genelinde VR ve AR ile beraber GPS, GIS, RFID tabanlı çalışmaları da yoğunlukta yer almaktadır. Sanal ve Artırılmış gerçeklik, simülasyon ve modelleme çalışmaları ise diğer çalışmalara göre daha fazladır. Çalışmaların geneli Similasyprn destekli Yapı Bilgi Modelleme tabanlı yeni bir model oluşturmaya yöneliktir. BIM tabanlı İSG yönelik VR-AR çalışmaları; yoğun olarak İşçi Güvenliği üzerine dönüktür. Literatürde BIM tabanlı

güvenlik kontrolü uygulanmasına dönük henüz çalışma bulunmamaktadır. BIM tabanlı çalışmaların ülkemizde geç başladığı görülmektedir. ABD, Çin, İngiltere, Finlandiya gibi ülkelerde 4D destekli simülatif olarak yapılmasına ilişkin çalışmalar erken tarihlerde başlamıştır. Standartlar ve protokoller geliştirilmiş ve konu alanındaki prototip geliştirme çalışmaları uzun süredir devam etmektedir. Sanal - Artırılmış Gerçeklik ile BIM'e inşaat endüstrisi için önemli bir yeniliktir. Büyük Konsept Projelerde daha yüksek verimlilik elde etmede faydalı olacağı öngörülmektedir.

BIM tabanlı çalışmaların ülkemizde geç başlanıldığı gibi henüz İş sağlığı ve güvenliğine yönelik AR-VR modelleri kullanılarak geliştirilen prototip uygulamalar henüz bulunmamaktadır. Ülkemizde BIM üzerine yoğun bir ilgi olmasa da çalışmalar sınırlıdır. BIM ve BIM tabanlı uygulamaların İş sağlığı ve güvenliği bilincinin yerleşmesine olumlu katkıların olacağı öngörülmektedir. Bu nedenlerle BIM çalışmalarına katkıda bulunacak; teknolojik, bilgi ve paydaşlar arası işbirliğine yönelik çalışmalara yönelimin teşvik edilmesi gerekmektedir.

## **5. BIM TEKNOLOJİLERİN KARAKTERİSTİK BİLEŞENLERİ VE GETİRDİKLERİ**

### **5.1.BIM Platformlarının Tasarımsal Bileşenlerinin Özellikleri**

İnşaat sektöründe gelişen ihtiyaçlara yönelik BIM mevzuatları ile birlikte tasarım yazılımları da gelişimlerini sürdürmektedir. Mevzuatlar genellikle kapsayıcı ve proje yeterlilik kriterlerine göre geliştirilirken tasarım unsurları uygulanacak proje özelinde özel gereksinimlere sahip olmaktadır. BIM platformlarında uygulama alanı, kullanım amacı gibi bir çok faktöre gibi bu gereksinimler değişkenlik göstermektedir (Guo vd., 2017).

#### **5.1.1 Nesne tabanlı modelleme**

BIM modellemelerde tasarım öğeleri olan nesnelere planlanan içeriğe yönelik kapsamlı bilgilere sahiptir. BIM, parametrik nesnelere tasarım amacını tasarlama, planlama ve paydaşlarla paylaşma amacına yönelik geliştirilen nesnelere davranışın gösterimi ve yöntemine odaklanır. BIM yazılımların CAD tabanlı programlara nazaran belirgin farkı tarzı nesne odaklı yaklaşıma sahip olmasıdır. Tasarımda kullanılan nesnelere; geliştirilebilme, değiştirilebilme gerekli olduğunda taşınabilme gereksinimini karşılar. Ayrıca geleneksel yaklaşımlarda bu tür olasılıkların yaşatacağı aksaklıklara BIM teknolojilerinde karşılaşılmaz. Nesne tabanlı modelleme bir parametrik unsurun değiştirilmesiyle birlikte ilişik parametrik model elemanın ihtiyaç duyulan montajının da otomatik olarak hazırlandığı, daha önceki parametrik bağların da sürdürüldüğü bir süreci kapsamaktadır.

Model odaklı tasarımda üzerinde çalışılan proje iki boyutlu da olsa üç boyutlu bir model çıktı olarak geliştiği için proje sürecinin birçok evresinde faydalar sağlar. BIM platformlarında parametrik modelleme ile tasarım bileşenlerinde yapılan değişikliklerin otomatik olarak sistemin diğer bileşenlerinde de düzenlenmesi beklenir. Parametrik modellemeler ile gerçekleştirilen tasarımlarda yapım süresinin kısaltılmasında ve giderlerin en aza indirilmesinde önemli ölçüde kazanımlar elde edilmektedir (Cheng ve Teizer, 2012).

### 5.1.2 IFC (industry foundation classes) tabanlı dosya transferi yapabilme

IFC, International Association for Interoperability kuruluğu tarafından geliştirilmiştir. IFC, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründeki yazılımları arasında veri alışverişine yönelik veri şemalarının tanımlanmasına yönelik dosyalama biçimidir.

IFC ile tasarlanan bileşenlere ait dosyalanan veri türünde üst düzey geometrik bilgi düzeyi bulunur. Bu bilgi düzeyi tasarımın farklı evrelerinde kullanım ve analiz amacıyla da dışa aktarılabilir (Steel vd, 2012). Yeni geliştirilen eklentiler ile modifikasyon, BIM tabanlı ya da odaklı yazılımlar yardımıyla bu yazılımlar üzerinde geliştirmeler sağlayan bazı küçük eklentiler yapılarak BIM yazılımları fonksiyonelliğini arttırılabilmektedir.

### 5.1.3 LOD – Gelişim Detay Seviyesi:

Detay Seviyesi (LOD); tasarımın üç boyutlu modellemesinin birbirinden farklı detay seviyelerinde bulunduğu yeterlilik düzeyini ifade eder. LOD ile BIM yazılımlarında uygulama projelerinde farklı seviyelerde içerik ve güvenilirlik seviyelerini temsil edilir. buildingSMART International'ın Amerika şubesi olan BIMforum, LOD düzeylerinin mevzuatlaşması amacıyla çalışmalar gerçekleştirmektedir. AIA' nın geliştirmiş olduğu LOD konseptine tasarımsal ve görsel ihtiyaçlar doğrultusunda farklı seviyeler de eklenmiştir. LOD seviyeleri ile BIM proje aşamalarının, teslimat süreçlerinin detaylı tanımını kolaylaştırır. Proje paydaşları arasında iletişim ve uygulamada tutarlılık sağlanır. (bim360, 2019)

Modeli oluşturan bileşenlerin istenilen işlevleri yerine getirebilmeleri amacıyla özel detay ve gelişim seviyelerine sahip olmaları beklenir. BIM uygulamalarında ve kapsam ve yüksek seviyede detay ilişkisinin net biçimde belirtmesini sağlar. Bu protokol formunda LOD seviyeleri LOD 100 den LOD 500' e kadar detaylandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar gelişen ihtiyaca göre özel modellemeler ile geliştirilmeye devam etmektedir. Bu sınıflandırmalar aşağıda listelenen amaçlara yönelik ifade edilir (Gigante-Barrera,2017);

LOD 100 Konsept Tasarımı,

LOD 200 Şematik Tasarım,

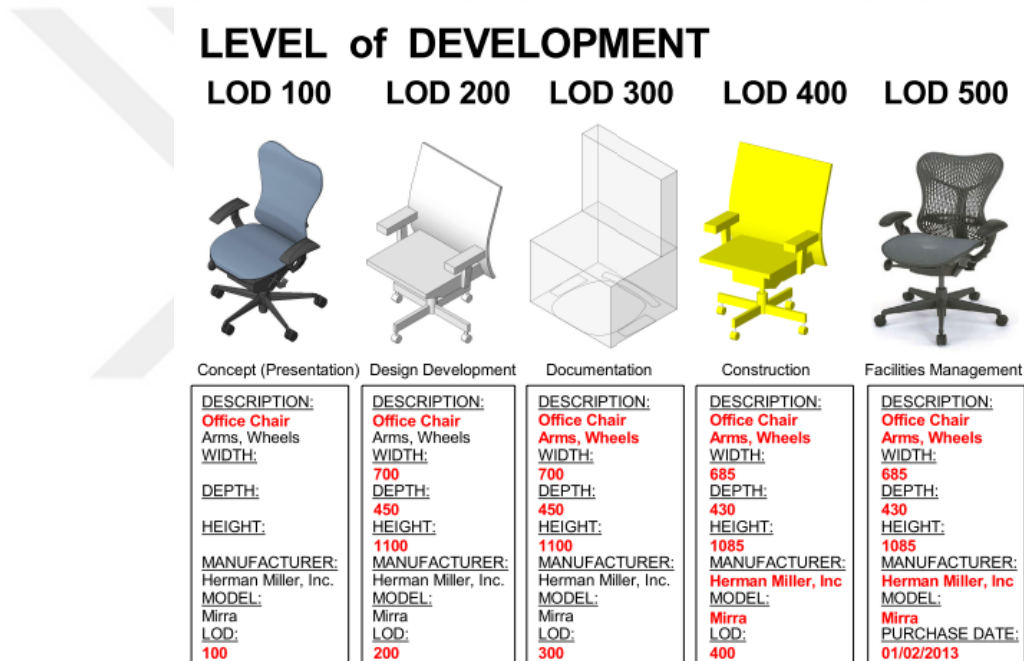
LOD 300 Detaylı Tasarım,

LOD 350 Yapı Dökümantasyonu,

LOD 400 İmalat ve Montaj Tasarım,

LOD 500 (As built) Uygulama- Yapım Modeli.

LOD tablosunun ön tasarım aşamasında BIM modelin neleri içerik kapsamını belirtmesi, modelin seviyelerinin proje çalışanlarının sorumluluğunun bilinmesi açısından önemlidir. Şekil 5.1’ de bir iskemlenin farklı Lod seviyelerinde sahip olduğu boyut, kalite, üretici firma ve üretim tarihi gibi farklı unsurları ifade edecek derinlikte Lod seviyelerinin çeşitliliğine göre şematize edilmiştir.



Şekil.5.1. Lod Modelleme Seviyeleri şematik örneği (Hayne , 2009).

#### 5.1.4. Birlikte çalışabilirlik:

BIM platformlarının en belirgin, karakteristik özelliklerinden biridir. Geleneksel tasarımlarda işbirliği geometrik veri alışverişi ile sınırlı iken, BIM teknolojileri çoklu geometri türlerinin paylaşımına, alternatif yaklaşımlar için senkronize ilişkilere ve proje karakteristiğine uygun özellikli veri alışverişi sürecine fırsat tanır.

#### 5.1.5. Sürdürülebilirlik:

Günümüz tasarım parametrelerinden biridir. Finlandiya gibi ülkelerde BIM uygulama süreçlerinin yürürlüğe girmesinde öncül rol almıştır. BIM projeleri ile proje ekiplerinin ihtiyaçlarının dikkate alınarak ekonomik ve çevresel etkiler odaklı sürdürülebilir tasarımların gerçekleştirilmesi beklenir. Geleneksel yöntemlerde yapılamayan sürdürülebilirlik analizleri BIM yaklaşımları karşılanabilmektedir. Sürdürülebilirlik BIM uygulama programlarının önemli parametrelerinden biridir.

#### **5.1.6. Çakışma Kontrolü:**

BIM tabanlı yaklaşımların temel hedeflerinden olup geliştirilen 4D tasarımlar 2D tasarımlara göre zor fark edilebilir hataları yazılımın türüne göre anında ya da erken zamanlı tespit edebilme işlevine sahiptir (Zhang vd., 2013). Tasarım ve üretim esnasında bireysel olarak tasarımcı odaklı hatalar olabildiği gibi paydaşlar arası uyumsuzlukları, hatalı tasarım unsurlarını hızlı tespit ile zaman, maliyet ve enerji kayıplarını önleyicidir (Eastman vd., 2011).

Çakışma tespiti, BIM sürecinin önemli bir bileşenidir, otomatik denetim yaklaşımıyla yapısal veya MEP sürecinde çakışmaların gerçekleştirilir. Çakışma tespiti günümüzde 4D modellerde ve SG teknolojileri gibi alternatif teknolojilerle de gerçekleştirilebilir. Bu şekilde yapılardaki çakışmaları belirleme tasarımcılar, mimarlar, inşaatçılar, mühendisler ve yükleniciler için önemli bir araçtır. Çakışmadan kaçınmayı sağlamak için BIM yazılımı içerisinde meydana gelen üç tür çakışma algılama vardır. (Bhoir ve Esmaeili, 2015). Bunlar; Sert çakışma, Yumuşak çakışma ve İş akışı veya 4d çakışma olarak tanımlanabilir. İki nesne birbiriyle kesiştiğinde ya da aynı alanı kapladığında sert bir çakışma durumu yaşanır. Sert bir çakışma, tasarım sürecinde kaçırılmaları durumunda giderilmesi maliyetli olabilir. Yumuşak bir çakışma, nesnelere geometrik veya mekansal toleransta çakışma veya erişimi, bakımı veya güvenliği etkileyen bir tampon bölgesinin yaşanmasıdır. BIM'de ortaya çıkan çakışmaları tanımak ve işaretlemek için, özellikle de bir kompozit modele dahil edilmiş olan birkaç modelle çalışırken önemlidir (Benjaoran ve Bhokha, 2010).

Otomatik bir çakışma algılama sürecinin işletilmesi, yalnızca modelleri kontrol etmek için gereken manuel süreyi azaltmakla kalmaz, aynı zamanda bir projenin toplam inşaat maliyetlerini de önemli ölçüde azaltır. Çakışma tespiti ayrıca imalattan önce gereksiz gecikmeler sağlayacaktır ve fiyat aşımalarını en aza indirir. Diğer yandan

geliştirilen standartlar ve mevzuatlar İSG kapsamında faydalı uygulamalar da geliştirilmektedir (Teo vd, 2016).

#### **5.1.7. 4D İş Programı geliştirme:**

Proje gerçekleştirme sürecinde tasarım ekibi BIM' e sayalı 4D planlarını geliştirerek simülatif programlar geliştirebilir. Bu iş programları; tasarım hatalarını giderme, alternatif tasarım simülasyonları üretme, eksik tasarım bilgilerini tespit edebilme şeklinde sıralanabilir (Guo vd., 2012).

#### **5.1.8. Entegre Proje Teslimi (Integrated project delivery)**

IPD; Proje çalışanlarını, çalışma aşamalarını, proje sonuçlarını idealize eden bir yaklaşımdır. Proje değerini artırmada, giderlerini azaltmada katkı sağlamak için tüm proje paydaşlarını işbirliği yapan bir sürece dahil eden bir yaklaşımdır. IPD ile tasarım, üretim ve yapımın süreçleri paydaşlar ile eş zamanlı ele alınır (Autodesk, 2017). IPD sözleşmeleri mal sahibi, tasarım ekibi ve yüklenici olmak üzere en az üç paydaşın katılımı ile gerçekleştirilir.

IPD kazanımları; Proje tasarımı ve imalat maliyetlerinin tutarlılığı, Proje imalatları ile yapım öncesi tasarımlarda büyük oranda uyumluluk, hızlı alternatif tasarım geliştirme olarak sıralanabilir.

#### **5.1.9. Otomatik metraj alabilme:**

BIM tabanlı tasarım süreçlerinde kullanılan yazılım ile proje dahilindeki işlem pozları ve pozlara ait metrajlar model tasarım sürecinde veri tabanında otomatik hazırlanır.

#### **5.1.10 İlerleme Takibi**

BIM yazılımları ile proje ilerleme takibi yapılmaktadır. Objeler tasnif edilen "ID" kimlikler ile takip edilerek, her objeye ilgili hak ediş numarası, ilerleme yüzdesi gibi bilgiler aktarılabilirdiği gibi bu bilgiler doğrultusunda renklendirilerek ilerleme takibi gerçekleştirilebilecektir. Tasarım ürünüde gerçekleştirilen değişiklikler ile otomatik olarak ilerleme süreçleri, metraj girdileri de otomatik olarak yenilecektir (Park ve Kim, 2013)



## 5.2. BIM Platformu Çalışma Şekli

Farklı yazılım firmaları tarafından geliştirilen BIM Platform yazılımları, geliştirilebilen ve kişiselleştirilebilen eklentiler ile bir arada çalışabilir. Bu yüzden çalışılan tasarımlarda ihtiyaç duyulan gereksinimler BIM platformlarına entegre edilerek ihtiyaçlar karşılanabilir. Günümüzde BIM platformları ile inşaat mühendislerine yönelik yazılımlarla kişiselleştirilebilen nitelikte özel yazılımlar geliştirilmiştir.

Hem fiziksel hem de işlevsel bir proje hakkında bilgi yönetimini temsil eder. Bina bilgileri modelleme unsurlarının dışında; ışık analizi, ses analizi, mekansal ilişkiler ve coğrafi detaylar ile tasarıma eklenen yapım bileşenleri de yer alır.

BIM, geleneksel yöntemlere göre çalışan ekibin daha küçük olmasına ve daha fazla iş yapmasını sağlar. İletişimsizlik sorunlarını giderir.

### 5.2.1. BIM platformlarında Parametrik Tasarım

Parametrik kavramı ile tasarımı gerçekleştirilen modeli oluşturan her nesnenin birbiriyle olan bağlantısını tanımlanmaktadır. Bu ilişkiler ya yazılım tarafından otomatik olarak, ya da kullanıcı tarafından çalışırken tanımlanır (Ding, 2014).

### 5.2.2. BIM Platformunda Model Tabanlı Tasarım

Model tabanlı tasarımlarda projeler 3D ve 4D tasarımlar üzerinden geliştirilir. BIM platformlarıyla birlikte daha çok öne çıkar akıllı nesnelere modelin derinlik seviyelerini daha çok bilgi içeren nitelikli hale getirir. Tasarım modelleri farklı perspektifler ile içerik düzeyi ile proje veri tabanında otomatik olarak geliştirilir.

### 5.2.3. Akıllı Nesnelere ile Tasarım

Yapımı planlanan tasarım geometrisi çeşitli model çizimleri yerine akıllı nesnelere ile oluşturulur. Akıllı nesnelere ile tasarımda kullanılan nesnenin biçim, fonksiyon, kullanım ömrü hatta garanti süreçleri gibi farklı bilgileri dijital olarak depolanır. İhtiyaç duyulduğu anda bu bilgilerden faydalanılır. BIM platformlarının yaygınlaşması ile birlikte akıllı nesne kütüphanelerine yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır (Arayıcı, 2011).

### 5.3. BIM Platformlarının Faydaları

Günümüzde BIM platformları tesis yöneticileri dahil bir çok paydaşı proje geneline ve inşayı etkileyebilecekleri çok daha erken bir aşamada tasarım süreçlerine dahil etmektedir. BIM'in simülatif niteliği, yapı tasarım aşamasında tüm paydaşların hatta kullanıcı kiracılar ve servis personelleri ile bakım personeli dahil olmak üzere önemli bilgiler almalarını dahi sağlamaktadır. BIM ile projeleri sanal olarak tasarlamak ve yönetmek için yenilikçi bir süreci de başlatmaktadır. BIM'in benimsenmesi ile bina performansının ve çalışmasının tahmin edilebilirliği de büyük ölçüde artırılmıştır. BIM'in kullanımı hızlandıkça, proje ekipleri arasındaki işbirliği artmakta beraberinde karlılık artarken maliyet girdileri de önemli ölçüde azalmaktadır.

BIM ile Proje değişikliklerinin seri ve hızlı bir şekilde karşılanabilmektedir. Proje vaar olan hata ve eksikliklerin ön tasarım aşamasında fark edilebilmektedir. Ayrıca tasarım ve inşaat aşamalarının paydaşlar arasında eşgüdümlü olarak inceleme, denetleme ve gerçekleştirme kazanımları da getirmektedir (Zhou vd., 2012).

### 5.4. Ülkelere Göre BIM Standartları Ve Protokolleri

Dünyanın birçok bölgesinde İnşaat Sektöründe söz sahibi olan özel ve kamu kuruluşları BIM araçlarına yönelik yoğun çalışmaktadır. BIM ile ilgili standartlar, protokoller ve uygulama yönetmelikleri peş peşe yürürlüğe girmeye devam etmektedir. Birçok ülkede BIM adaptasyon süreçleri kamu ihalelerinde ve belirli ölçeklerde çalışmalarda zorunlu hale getirilmiş ve kademeli olarak uygulama alanı genişletilerek yerleşik hale gelmesine yönelik mevzuat çalışmaları sürdürülmektedir. BIM ile ilgili uygulamalara yönelik süreçler belirlenen takvimle geçiş süreçleri gerçekleştirilmektedir.

İlgili prosedür yönergelerinin, rehberlerin hazırlanması amacıyla buildingSMART kuruluşunun çalışmaları belirleyici kazanımlar sağlamıştır. buildingSMART BIM ile ilgili organizasyonları tasnif eden BIM platformlarına yönelik yeterlilik seviyelerini düzenleyen, yayınlayan BIM tabanlı program çözüm üreten kuruluşların BIM çatı kuruluşudur. (buildingSMART,2018)

Çalışmada yer verilen mevzuat çalışmaları incelenen İngiltere, Finladiya, Norveç, Singapur, Çin gibi ülkelerin hepsinde kamu projeleri BIM platformları ile hayata geçirilmektedir. Finlandiya gibi BIM' e dönüşüm süreçlerini hızlı planlayan ülkelerde 5000 m<sup>2</sup> ve üzerinde tüm inşaat imalat süreçleri BIM platformları ile gerçekleştirilmektedir (Guo vd, 2017).

Hâlihazırda yürürlükte olan BIM kamusal yönergeleri ilgili protokoller incelendiğinde üç farklı bölgede önemli gelişmeler olduğu görülmektedir;

- Uzak Doğu’da Çin, Hong Kong, Singapur gibi ülkeler,
- Amerika Kıtasında Amerika ve Kanada,
- Avrupa’da ise başta Finlandiya, Norveç ve İsveç gibi İskandinav ülkeleri ile birlikte İngiltere’de,

Dünya genelinde BIM ile ilgili çalışmaların yapıldığı önemli mevzuat geliştirmelerinin devam ettiği görülmektedir. Geliştirilen mevzuat ve belirlenen takvimlere göre belirlenen uygulama süreçleri BIM kullanımının genelleşmesinde önemli kazanımlar getirmektedir (Cheng ve Teizer, 2012).

ABD, Kanada, İngiltere, Singapur, Hong Kong ve İskandinav ülkelerince hazırlanan BIM mevzuatları BIM adaptasyon sürecine dahil olma çalışmalarını sürdüren ülkelere izlenilmektedir.

#### **5.4.1. Amerika Birleşik Devletleri**

BIM’in uygulaması ve kullanımı dünya genelinde 1990’larda başlamasına rağmen, ABD inşaat sektöründe dijital modellemeler 1970’lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Birçok kamu kuruluşu kendi kriterlerini oluşturarak bunları Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü gibi forumlara yayınlamıştır. Bu standartlar ve uygulama yönetmelikleri birbirleriyle hiçbir ilişki olmadan bağımsız olarak oluşturulmaktadır. ABD Genel Hizmetler İdaresi (GSA), Ulusal 3D-4D-BIM Programını 2003’te uygulamaya almıştır. Bu program, Kamu Binaları Hizmet projelerinin tamamı için BIM’in benimsenmesini zorunlu kılan bir politika belirledi. Devam eden süreçte Amerika National BIM Standards yayınlanmıştır (Smith, 2014).

#### **5.4.2. İngiltere**

BIM’in benimsenmesini için İnşaat Endüstrisi Konseyi tarafından (CIC) uygulama rehberi geliştirilmiştir. Ayrıca İngiltere hükümeti, özellikle veri paylaşımında adaptasyon süreçlerini iyileştirmek için buildingSMART’tan yardım almaktadır. İngiltere hükümeti inşaat projelerinde BIM’in benimsenmesini tam olarak desteklese de, özel sektörler de BIM Endüstri Çalışma Grubu adlı bir grup aktif katkıda bulunmaktadır. Mart 2011’de Hükümet İnşaat Müşteri Grubu için bir Strateji Belgesi yayınlanmıştır. (Eadie vd, 2015)

British Standards Institute (BSI), AGI ve diğerleri gibi standart komitelerle resmi olarak irtibat halindedir. Nisan 2016 yılından bu yana, tedarik maliyetlerinde% 20 tasarruf sağlamayı hedefleyen Hükümet İnşaat Stratejisi belgesi yayınlanmıştır. İngiltere BIM adaptasyonu, BIM hizmet sunumu ve BIM standartlarının geliştirilmesinde önemli role sahiptir. 2016 yılı itibariyle tüm kamu projelerinde BIM platformlarının kullanımı zorunlu olmuştur. Bu zorunluluk ile İngiltere hükümeti, BIM'i Nisan 2016'da, merkezi hükümet tarafından finanse edilen tüm projelerin "tamamen işbirliğine dayalı 3D BIM" ile teslim edilmesini gerekli hale gelmiştir. Ulusal BIM Raporu 2018'e göre, İngiltere'de sanayinin %20'si 2016'dan itibaren BIM'i benimsemiştir. (Burgess, vd, 2018)

İnşaat sektöründe BIM kullanımını mecburi kılan bir mevzuat çerçevesi yayınlanmıştır. Government Construciton Strategy adlı yönerge ile, inşaat projelerinin BIM platformları ile geçiş sürecini 4 aşamalı bir konseptte belirlenmiştir. Diğer yandan BIM uygulanmasına yönelik önemli standartlar sırası ile yürürlüğe girmeye devam etmektedir. Bunlar sırası ile; PAS 1192-2, BS 192-4 BS 8541-1, BS 8541-2,BS 8541-3, BS 8541-3 uygulanmakta olan standartlardır.

Standartları sırasıyla yürürlüğe girmiş olup son olarak 2018 yılında PAS 1192-6:2018, İngiliz Standardı, Ortak paylaşım ve BIM kullanarak yapılandırılmış İSG bilgilerinin yönetimi, kullanımı ve geliştirilmesine yönelik standart yürürlüğe girmiştir.

### **5.4.3. İskandinav Ülkeleri**

Norveç, Danimarka, Finlandiya ve İsveç, BIM teknolojisinin ilk uygulayıcıları olmuştur. BIM platformları 2002'den itibaren bu yana Finlandiya'da uygulanmaktadır. 2007 yılı sonrasında tüm tasarım yazılımlarında (IFC) formatlı tasarım yönergeleri kabul edilmiştir.

Finlandiya BIM platformlarının adaptasyonunda en hızlı benimseme eğilimi gösteren ülke durumundadır. Finlandiya'da 2007 yılında BIM uygulama tatbik yönergesi yürürlüğe girmiştir. Ardından 2012 yılında BIM common BIM requirements, COBIM yönetmeliği geliştirilmiştir. BIM requirements, COBIM bugün geliştirilen BIM Uygulama planlarının hepsinde yer almaktadır. Finlandiya' da geliştirilen standartlar diğer ülkelere nazaran en kapsamlı çalışmalardır.

İsveç'te, BIM'in benimsenmesi, en iyi uygulama kılavuzlarının en üst sıralarında yer almaktadır. Ayrıca kamu kontrolü ve uygulama zorunluluğu olmadan özel sektörde

de öncü çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Sivil hükümet müşterisi STASBYGG ve Norveç Homebuilders Derneği, BIM'in kullanımını teşvik eden çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Tüm kamu projelerinin IFC formatı ile teslim edilmesi zorunlu kılınmıştır. SINTEF türü özel kuruluşlar BIM platformlarına yönelik inşaat faaliyetlerini geliştirmek için kapsamlı araştırmalar yapmaktadır.

#### **5.4.4. Singapur**

Singapur Adaptasyon sürecini hızlı gerçekleştirmede örnek ülkelerdendir. Singapur, Finlandiya gibi BIM konusunda önemli kazanımlar elde etmiş, takip ediken ülkelerden bir diğeridir.

Yapı ve İnşaat Kurumu (BCA) ve buildingSMART Singapur, inşaat sektöründe BIM kullanımını teşvik etmektedir. BCA, 2010 yılında, inşaat sektörünün en az % 80'inin 2015'e kadar BIM'i kullanmasını amaçlayan bir BIM Yol Haritası hazırlamıştır. İstenilen düzeyde başarıya ulaşmak için BIM elektronik sunumunu zorunlu tutulmuş ve uygulayıcıların BIM formatında mimari veya mühendislik planları sunmasını zorunlu kılınmıştır.

Ülkedeki tüm projelerin BIM platformları ile gerçekleştirilmesi aşama aşama geçilmiştir (Edirisinghe, 2015).

#### **5.4.5. Çin**

2001 yılında Çin'de BIM platformları; İnşaat Bakanlığı, Konut ve Kentsel-Kırsal Kalkınma Bakanlığı çatısı altında ele alınmıştır. Geliştirilen MOHURD isimli Beş Yıllık Plan ile inşaat sektöründe BIM çalışmalarının geliştirilmesine yönelik ayrı bir plan önerilmiştir. Pilot proje ve belirlenen ölçekte çalışmalarda zorunlu olarak BIM kullanım talimatları geliştirilmiştir. Ulusal standartların BIM uygulaması Çin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı tarafından başlatılmış ve onaylanmıştır. 2009'da Hong Kong Yapı Bilgi Modellemesi (MCI) kuruldu. Birçok devlet çalışanı bu kapsamda İngiltere'de kabul gören 4 aşamalı BIM adaptasyon süreçlerinden Seviye 2 standardına yönelik eğitimler almıştır.

#### **5.4.6. Almanya**

2014 McGraw Hill İnşaat Raporuna göre, Almanya'daki inşaat sektöründe proje sahiplerinin % 90'a yakını BIM'i talep etmektedir. 2015 yılında hükümet, ulusal bir BIM

stratejisi geliştirmek için çeşitli endüstri liderliğindeki kuruluşlar tarafından oluşturulan bir BIM görev grubu olan Dijital Bina Platformu'nun oluşumunu açıklanmıştır.

Ancak inşaat sektöründe kamusal idarede BIM kullanımının zorunlu hale getirilmesine yönelik bir direnç bulunmaktadır. 2015'te Devlet Dijital Platform Binası'nı geleneksel yöntemlere dayanarak geliştirmeyi planlayan doküman açıklamıştır.

#### **5.4.7. Hollanda**

BIM platformlarını hızlı benimsendiği ülkelerden bir diğeridir. BIM'in kullanılmasını önemli kamu kuruluşları tarafından gözetilmektedir. Merkezi Yönetim Emlak Ajansı gibi kuruluşlar tarafından bu çalışmalar desteklenmektedir. Hollanda, dünyadaki en yüksek BIM kabul oranlarından birine sahiptir. İşlemler, veri formatları ve / veya anlambilim için bir dizi açık protokol, standart ve yönergeler geliştirilmektedir. VISI, bu çalışmalara yönelik geliştirilen bir standarttır. COINS (Yapıcı Nesnelere ve Süreçlerin ve Sistemlerin Bütünleştirilmesi), dijital bilgi alışverişinde ve Sistem Mühendisliği desteği ile Hollandaca entegre, tamamlayıcı olan standarda da atıfta bulunur. BIM uygulamasında önemli bir kuruluş olan Rijkswaterstaat, Hollanda Bayındırlık ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Hollanda'daki ana altyapı tesislerinin tasarım, yapım, yönetim ve bakımından sorumludur. BIM'i 'Daha İyi Bilgi Yönetimi' olarak tanımlayan devlet kurumu, Avrupa'daki tüm altyapı projelerinde openBIM standartlarını kullanmayı ve yaygınlaştırmayı hedefleyen politikalar geliştirmektedir.

#### **5.4.8. İspanya**

BIM İspanya'da zorunlu değildir. Aynı zamanda, İspanya inşaat endüstrisi, 2014/24 / UE AB Direktifine de tabidir. 2014'ten bu yana, bu direktif uyarınca, üye devletler, 2016'dan itibaren AB kamu fonları tarafından finanse edilen inşaat projelerinde BIM'in kullanımını teşvik etmeye ve talep etmeye davet edilmektedir. 2015 yılında Ministerio de Fomento (Kalkınma Bakanlığı) İspanya'da BIM metodolojisi uygulaması için bir yol haritası oluşturma misyonuyla "BIM Komisyonunu" uygulamaya geçirmiştir. BIM uygulaması için stratejik bir takvim çizelgesi belirlenmiştir. BIM kullanımının Aralık 2018'den itibaren kamu inşaat projelerinde ve 2019 yılı sonuna kadar altyapı projelerinde zorunlu olması beklenmektedir.

#### 5.4.9. İtalya

İtalya Altyapı Bakanlığı, BIM'i 2019'dan zorunlu hale getirmek için uygulama planı geliştirmiştir. Başlangıçta 100 milyon Avro bedel ve üzerindeki projeler için geçerli olacaktır. Bu ilk planın ardından, ülkenin 2022 yılına kadar genele yayılan tam bir uygulama görmesi hedeflenmiştir. Bu tarih aynı zamanda BIM'in tüm kamu alım projeleri için zorunlu hale geleceği zaman olarak planlanmaktadır. Ancak, özel güvenlik gereksinimleri olmayan konut binaları gibi daha küçük projelerde geleneksel yöntemler kullanılarak uygulanmaya de devam edilecektir.

#### 5.4.10. Avustralya

Avustralya'daki BIM girişimi, 'dijital mühendislik' terimini kullanan ulaştırma ve altyapı organlarıyla birlikte genel olarak altyapı çalışmalarını hedeflemektedir. Buradaki BIM'in kabul seviyesi aynı anda çok çeşitli ve bölünmüş durumdadır. Kamu alımlarında PAS1192-2 gibi standartlar benimsemesi temel olarak kabul görmektedir. Birçok ülkede olduğu gibi Avustralya da kamu kuruluşları BIM adaptasyon süreçlerinde önemli rol almaktadır.

#### 5.4.11. Japonya

Japonya'nın ülke olarak depremlere karşı geliştirmiş olduğu katı standartlar BIM adaptasyon süreçlerinin kabul görmesinde olumsuz etkide bulunmuştur. Kara, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı (MLIT), Japon hükümeti bina ve inşaat ajansıdır. MLIT, 2010 yılında BIM pilot projelerini açıklamıştır. 2017 yılına kadar yalnızca ulusal BIM Protokolü olan Mart 2014'te BIM rehberini yayımlanmıştır. Bu MLIT BIM kılavuzu ile, yüklenici firmaların BIM'i kamu ihalelerinde ve yüklenici tarafına yükümlülükler getirmektedir. BIM kullanımı bu protokole göre zorunlu değildir. Japonya Mimarlar Enstitüsü (JIA) Temmuz 2012'de bir BIM kılavuzu yayınlamıştır. Bu protokol BIM kavramına ve potansiyel kullanımına odaklanmaktadır. JIA BIM kılavuzu, MLIT kılavuzundan çok daha kapsamlı bir kapsam sağlar. Diğer bir BIM Protokolü, Japonya Mimari Enstitüsü tarafından 2015 yılında yayınlanan BIM Projesi için Standart Süreç Haritasıdır. Japonya İnşaat Müteahhitleri Federasyonu (JFCC), BIM uygulaması konusundaki bilgileri yükleniciler ve inşaatçılar tarafından merkezileştirmek için çalışmalar yürütmektedir .

#### 5.4.12. Güney Kore

BIM süreçlerinin ilk uygulayıcılarından biri olan Güney Kore’de, 2010’dan itibaren BIM-zorunlu projelerin kapsamını arttırmak için sistematik olarak çalışmalar devam etmektedir. Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı; açık BIM tabanlı bina tasarım standartları ve bilgi teknolojisi oluşturmak için 2016’dan bu yana, Kamu İhale Servisi, tüm kamu sektörü projeleri için 50 milyon Doların üzerinde BIM’i zorunlu kılmıştır. BIM üzerinde McGraw Hill İnşaat raporu Güney Kore BIM kullanan yüklenicilerin % 78 oranda orta ve büyük ölçekli projelerde kullanım yaygınlığını saptamıştır.

#### 5.5. Standartlar ve Protokoller Değerlendirme

Günümüzde pek çok ülkede başlangıç aşamasında kamu projelerine yönelik olmak üzere BIM yönerge ve standart geliştirme çalışmaları hızla sürmektedir. Norveç ve Finlandiya’da BIM kullanımı zorunlu hale gelmiş olup, Japonya, Kore, Singapur, Avustralya ve bazı Avrupa ülkelerinde BIM kullanım özel sektör çalışmalarında artarak devam etmektedir. (Smith, 2014)

2010 yılı sonrası BIM platformlarına yönelik kullanımı belirgin bir artış gösterirken 2015 yılından itibaren birçok ülke hızlı geçiş süreçleri ile BIM tabanlı proje üretimini hayata geçirmeye başlamıştır. BIM mevzuatı standartları yürürlüğe sokan ülkeler karşılaştırmalı analiz edildiğinde; genelinde aracı müşavir kurumların çalışma alanlarının gelişmişliği göze çarpmaktadır. Bu ülkeler BIM mevzuatlarını ve uygulama planlarını, bu kuruluşlar aracılığı ile inşaat sektöründe yürürlüğe sokmaktadır. BIM yaklaşımlarının inşaat sektöründe benimsenmesinde en etkili süreç standart, protokol ve ilgili mevzuatların hayata geçirilmesiyle gerçekleşmektedir. Ülkemizde de ivedilikle mevzuat çalışmalarına sürdürülerek yerleşik hale gelmesine yönelik adımlar atılmalıdır.

BIM adaptasyonu ve geliştirilmesi konusunda en önemli kuruluş buildingSMART’tır. Birçok ülke BIM’in kabulü, mevzuat geliştirilmesi ve eğitim süreçlerini buildingSMART eşliğinde gerçekleştirmektedir. Yakın dönemde Finlandiya, Norveç, ABD, Singapur gibi ülkelere BIM’e adaptasyon süreçlerinde kılavuzluk etmiştir. (Akkoyunlu, 2015)

buildingSMART dünya genelinde İnşaat sektörünün kullanımına yönelik açık ve uluslararası veri standartları geliştiren uluslararası bir oluşumdur. buildingSMART International (bSI) ilk olarak 1995 yılında kurulmuştur. Oluşumun geliştirdiği Industry



Foundation Classes (IFC) standardı, Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) tarafından 2012 yılında onaylanarak, 2013 yılında ISO formatını almıştır (Behzadan vd., 2015).

BIM Platformlarında söz sahibi bir kuruluş olan buildingSMART'ın Türkiye Temsilciliği'nin kurulmasına yönelik çalışmalar hayata geçirilmiştir. 2018 yılı sonu itibariyle buildingSMART-International Yönetim Kurulu'na yapılan başvuru üzerine ve "buildingSMART Türkiye Chapter-in-formation" organizasyonel yapısı oluşturulmaktadır. (buildingSMART,2018).

## 5.6. Türkiye ve Dünyada İSG Yönetimine Yönelik Mevzuat Çerçevesi

İSG yönetim süreçlerinde geleneksel yaklaşımlarda iş ekipmanlarının üretim süreçlerinde insan sağlığına zarar vermeyecek olduğunun belgelendirmesi yapılmıyorken yeni standartlarda iş ekipmanlarının güvenli kullanımını denetleyen CE belgelendirme zorunlu hale getirilmiştir. (Yakut ve Akbıyıklı, 2013)

İSG yönetimde dünyada ortak kabul gören standart hale gelmiş yerleşik bir anlayış bulunmamaktadır. Genel olarak güvenli prosedürlerin yönetimine ilişkin unsurlar hakkında uluslararası mutabakatlar bulunmaktadır. (Bardan, 2006)

Birçok AB ülkesinde, kural koyucu tipte İSG mevzuatlardan, gereklilik sürecine bir geçiş gerçekleşmiştir. Bu geçiş sürecinin başlangıcı 1980'lere dayanmaktadır. BIM yazılımlarının Kod tabanlı, belirlenen algoritmaları dayalı İSG analiz ve yönetim süreçleri AB ülkelerinde hızla mevzuatlara girmektedir. Geliştirilen BIM mevzuatlarının İSO, ILO ile doğrudan ilişkili ve uyumlu olması çalışmalarda gözetilmektedir. (Zou vd., 2017).

Halen yürürlükte olan ve dünya genelinde uygulamasına devam edilen sistematik İSG yönetim sistemlerden en yaygın kabul gören mevzuatı, "Çalışanların İşyerindeki Güvenliklerini Ve Sağlıklarını İyileştirmeye Teşvik Eden Önlemler Hakkındaki" AB Çerçeve Direktifi'dir. Bu mevzuat ile İSG yönetimi için şart olan ve kamusal ve özel sektörde faaliyet gösteren kuruluşların faaliyetlerine de temel olacak şekilde geçerli kural ve aşamalar tasnif edilmiştir.

İSG yönetiminin, yönetim sistemine nasıl sistematik düzenleneceğine ve uygulanacağına yönelik İş Sağlığı ve Güvenliği üzerine yürürlüğe giren ilk standart 1996 yılında İngiliz Standart Kurumu (BSI) tarafından BS 8800 olarak yayımlanmıştır.

1995' li yıllar itibariyle çeşitli İSG yönetim sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla çeşitli mevzuatlar peş peşe yürürlüğe girmiştir. Bu mevzuat ve yönergelerin çoğu, BS

8800'den model olarak geliştirilerek uygulamaya konulmuştur. BS 8800 İSG kapsamına yönelik ulusal standart geliştiren ülkeler Hollanda, Norveç, İspanya olmuştur. Ancak BS 8800 ilerleyen yıllarda; PAS 1192-6:2018 gibi geliştirilen standartlar ile çağın ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde BIM platformlarıyla entegre ISG mevzuatları da yürürlüğe girmiştir. Bahsi geçen bu ülkelerin genelinde BIM benimsenme düzey yoğunluğu ile birlikte ihtiyaç duyulan mevzuatlar da uygulama konulmaya başlanmıştır.

Diğer AB ülkelerinde de, gönüllü uygulamaya yönelik benzer standartlar oluşturulmaktadır. Bu standartlar, ILO rehberlerinin uyarlamaları ile birlikte ISG yönergelerinin kapsam ve alanı da genişletilmektedir.

Kamusal mevzuatlarla birlikte İSG yönetim sistemlerinin denetiminde görev almakta olan birçok belgelendirme kurumu bulunmaktadır. İSG yönetim sistemlerinin geliştirilmesi maksadıyla standart belgelendirme kuruluşlarının bir araya gelmesiyle OHSAS 18001 olarak isimlendirilen İSG süreç sistemi modülü geliştirilmiştir. Bu uygulamalar ISO ile doğrudan ilişkili standartlar olmamakla birlikte, benzer standartlar geliştirmek amacıyla kimi ülkelerde çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizde de OHSAS 18001 sertifikasyon sisteminden yararlanılmaktadır. OHSAS 18001 belgelendirmesi yapan kuruluşlar sağlık ve güvenlik risklerini iyileştirmelerini sağlamaktadır.

### 5.6.1 OHSAS 18001

OHSAS 18001, İSG yönetimine dönük yapısal bir yaklaşım getirilmesi hususunda dünya çapında kabul gören standart mevzuatıdır. OHSAS 18001, BS 8800 referans alınarak daha önce geliştirilen standartların yerini almaya devam etmektedir. Aynı zamanda OHSAS 18001 özellikle Tehlike tanımlaması, risk değerlendirmesi ve kontrol süreçlerini tayin etme gibi konuları ele alır.

OHSAS 18001,İSG yönetiminin önemli bileşenlerini düzenleyen çerçeve ortaya koyar:

- İSG riskleri ile birlikte çalışma alanlarında iş sağlığı yönelik kapsamlı bir yaklaşım geliştirmesi,
- Tehlike arz eden riskli koşulların kontrol altına alınması,
- Proje yeterlilik ölçümleri ve performans göstergeleri,
- Yetkinlik, seminer programları ve farkındalık,
- Acil durumlarda hazırlık ve müdahale planlamaları,

- Yasal diğer gereksinimler.

BIM platformlarının İnşaat sektöründe yerleşik hale gelmesi, ilgili standartların, protokollerin mevzuatta yer almalarından hareketle yeni standartları OHSAS 18001 ile entegre olacak şekilde geliştirilmektedir.

Örneğin Singapur'da Akıllı Verimlilik ve Güvenlik Sistemi (IPASS) Güvenlik Protokolü çerçevesi, Singapur'da BIM formatında onay için sunulması gereken bina planlarının zorunlu şartlarından yararlanmaktadır. (Park ve Kim, 2013)

Bir başka örnek; PAS 1192-6:2018, İngiliz Standardı, Ortak paylaşım ve BIM kullanarak yapılandırılmış İSG bilgilerinin yönetimi, kullanımı ve geliştirilmesine yönelik standarttır. Bu standart BIM tabanlı platformlarda simülasyon odaklı güvenlik sistemlerine yönelik zorunlu düzenlemeler getirmiştir.

Bu düzenlemeler, OHSAS 18001 de yer alan Performans ölçümleri, Risklerin analizi-tespiti ve giderilmesi – çalışanların katılımı ve oryantasyon gibi süreçleri de içeren düzenlemelerdir.

Türkiye ise İnşaat Sektörü ve birçok sektör 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında düzenlemeler getirmiştir. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında Bakanlık, Çalışan, Çalışan Temsilcisi, Destek elemanı, Eğitim Kurumları, İş Güvenliği uzmanı, işveren, Mal sahibi İş yeri Hekimi ve ilgili diğer paydaşlar açısından yükümlükler bulunmaktadır. Paydaşların çeşitli yükümlülükleri bulunmakla birlikte mevzuatlardan ve donanımlı personel eksikliğinden kaynaklı iş kazaları engellenememektedir.

Ülkemizde yürürlükte olan 6331 sayılı kanun iş sağlığı ve güvenliğine dönük önemli düzenlemeler getirmiş, İSG yönetiminde önleyici bir yaklaşım sergilemektedir. Kanunu kamu veya özel sektör ayrımı yapılmaksızın tüm istihdam edilenler kapsam içine alınarak müeyyideler ve yükümlülükler getirilmiştir.

6331 sayılı Kanun kapsamında Acil durum planları, yangınla mücadele ve ilk yardım, tahliye, sağlık gözetimi, çalışanların bilgilendirilmesi, çalışanların eğitimi gibi süreçlere yönelik zorunluluklar bulundurulmaktadır.

Yönerge ve talimatlar bulunmakla birlikte; Ön tasarım evresinde risk-tehlike analizi yapan, özellikle simülasyon modelleme içeren çağın ihtiyaçlarını karşılayan yaklaşımlar bulunmamaktadır. BIM kapsamında geliştirilen İSG yönetim süreçlerine yönelik mevzuatlar ve yönergeler bu noktada oluşan boşluğu ortadan kaldırmaktadır.

Kamusal sorumlu ve yetkililerin proje öncesi yeterlilik kriterlerini ölçmesinde zaman kazandırmaktadır (Cheng ve Teizer, 2012).



## **6. İSGUP BIM TABANLI İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMA PLANI ÖNERİSİ**

İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinin genel hükümler barındırması ve mevcut hükümlerin inşaat sahalarında istenilen düzeyde ihtiyacı karşılamamasından ötürü; Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği gibi ilave yönetmelikler hala yürürlüktedir. Ülkemizde yürürlükte bulunan İnşaat İmalat süreçlerini kapsamlı biçimde ele alan Standart, Yönetmelik bulunmamaktadır. Bu noktada BIM platformlarına entegre çalışan Güvenlik Prosedürleri, Standartlar dünyada hızla mevzuatlara girmektedir. BIM platformlarının Tasarım ve Yapım süreci paydaşlar arası yoğun iletişimine izin vermesi, tasarım evresinde İSG yönetim ve denetimine zaman-maliyet kazanımları sağlaması nedeniyle İSG yönetiminde dönüşümler yaşanmaktadır.

Bu tez çalışmasının amaçlarından bir tanesi de; Simülasyon teknikleri ve İnşaat sektöründe simülatif modellemeler ile BIM tabanlı İSG planı oluşturulması olup bu bölümde İSGUP uygulama planı geliştirilmiştir. Ölümlü kazalar ve ağır yaralanmaların sık yaşandığı inşaat sektöründe, iş kazaların önüne geçilmesi yönünde atılacak her adım hem can kayıplarının önlenmesi açısından hem de işgücü ve maddi kayıpların ülke ekonomisine etkisi açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Yalnızca ülkemizde değil, birçok ülkede iş kazaları ve iş güvenliği sorunlarının bir türlü kontrol altına alınamamakta ve bu durum bu konunun ele alınması zorunluluğunu daha da ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda İSG yönetim süreçlerine yönelik BIM tabanlı uygulamalar hızla geliştirilmektedir.

İSG faaliyetlerinin sahada plansız olarak yürütülmesine ve dolayısıyla da problemlere ve iş kazalarına sebep olmaktadır. İSG ekibi ve teknik ekip arasındaki koordinasyon eksikliği entegre bir sisteme ihtiyacı doğurmaktadır. Bu problemin çözümüne ilişkin gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, işçi sağlığı ve iş güvenliği (İSİG) yönetim sistemi ile süresel planlama sistemi arasındaki koordinasyon eksikliğinin giderilmesi amacı ile inşaat yapım işleri iş programına entegre edilmiş bir işçi sağlığı ve iş güvenliği (İSİG) bilgi belge sistemi yaratmaktır. BIM tabanlı geliştirilen İSG protokolleri mevzuatlar ile uyumlu çalışabilmektedir.

Önerilen bu çalışma ile BIM tabanlı güvenlik analizleri yapılarak, sonuçların simülatif olarak izlenmesi ve tasarımda ortaya çıkan riskli ve tehlikeli tasarım unsurlarının iyileştirilmesi yönelik BIM uygulama planı önerilmiştir. Önerilen model ile

ön tasarım evresinde yapım sürecinde ortaya çıkma ihtimali olan; ölüm, yaralanmalar gibi olumsuz vakaların yaşanmadan engellenmesi hedeflenmektedir.

Ülkemizde BIM platformlarının kullanımı başlangıç evresinde olup, BIM platformlarının işleyişinin kavranmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Özellikle İstanbul Yeni Havalimanı, yine İstanbul'da raylı sistem projelerinde BIM sistemleri ile çalışılmıştır. BIM teknolojilerine yatırım yapan özel sektör firmaları bulunmaktadır. BIM Platformları için oldukça önemli olan akıllı nesne kütüphaneleri üzerine çalışmalar yazılım firmaları tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Akademik alanda sertifikasyon ve BIM mühendisliği üzerine eğitim programları düzenlenmeye başlamıştır. Ancak hali hazırda uygulanmakta olan ve kamusal denetime tabi genele yayılmış uygulama planları henüz bulunmaktadır.

Bu noktadan hareketle İnşaat İmalatlarında, BIM tabanlı İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulama Planı (İSGUP) modeli çalışma kapsamında ele alınmıştır. Önerilen Uygulama Planı kapsamında ön tasarım evresinde İSG yönetim ve denetimine yönelik analiz işlemleri ve ilgili yönergeler çalışma kapsamında hazırlanmıştır.

### **6.1. İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetimine Yönelik Bim Planı Uygulanması**

BIM benimsenme ve uygulama süreçleri birçok ülkede İmar ve Çevre odaklı çalışan kamu kurumları aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. BIM uygulama planlarının kamu kurumları vasıtasıyla denetim ve izleme süreçlerinde takibi uygulama süreçlerinin önemli bir parçasıdır. İSGUP uygulama planı ülkemizde inşaat imalatları açısından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İSG yönetimi açısından ise Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı eş güdümüyle geliştirilmelidir.

Uygulama planı geliştirilmesi ilgili bakanlıklar eşgüdümü ile birlikte bir komite çatısı altında kısa ve uzun vadeli olmak üzere geçiş süreci planlamalıdır. Komite uluslararası deneyimi olan BIM müşavirliği yapmış kuruluşlardan hâlihazırda uygulanmakta olan mevzuatlara yönelik destek alarak Akademisyen ve BIM uzmanlarınca eğitim, denetim ve uygulama süreçlerini gerçekleştirmelidir. Uygulanmış ve yürürlükte olan uygulama planları karşılaştırmalı analiz ile incelenerek uygulama takvim planı belirlenmelidir. 6331 sayılı gereği inşaat imalatlarında yapı denetim firmaları, mal sahibi, yüklenici ve şantiye şefi gibi paydaşların farklı yükümlülüğü bulunmaktadır. BIM planı uygulama sürecinde ilgili mevzuat çalışmaları hazırlanırken

bu paydaşların rolleri de dikkate alınarak çalışmalar düzenlenmeli ve farklı paydaşlar arasında işbirliğini sürdüreceğ BIM Yürütme birimleri hayata geçirilmelidir.

İSGUP uygulama planı kapsamında paydaşların rolleri göz önüne alınarak yükümlülükler tanımlanmalıdır.

**Çizelge. 6.1. İSGUP Uygulama planı geliştiriminde yükümlükler ve sorumlu paydaşlar**

	<b>Yükümlülükler</b>	<b>Sorumlu paydaşlar</b>
<b>Kamusal Organlar</b>	İSGUP' a yönelik kurul oluşturulması.	Akademisyen, BIM Mühendisi, mimar, mühendis
	İSGUP planı geliştirilmesi, uygulama takvimi belirlenmesi ve ilan edilmesi.	İlgili bakanlıklar görevlileri, akademisyen, BIM uzmanı, mimar, mühendis,
	İSG yönelik mevzuatların karşılaştırmalı analizi ve yürürlüğe konulmasına yönelik teknik standartların analizi.	Akademisyen, Building Smart, BIM uzmanı, mimar, mühendis
	Pilot bölgelere yönelik kamusal projelerin ve uygulama detaylarının belirlenmesi	İç denetim uzmanları ve yerel yönetim uzmanları
	İSGUP BIM Planı yeterlilik analizi	BIM uzmanı
	Paydaşlar arası BIM koordinasyon kontrolü	BIM koordinatörü, mimar, mühendis

İSGUP uygulama modeli denetim ve kontrol süreçlerini kapsayan bir yönerge çerçevesi olması ile birlikte dünyanın bir çok bölgesinde BIM benimsenme süreçlerinde kamu desteği ve denetimi ile gerçekleştirilmiştir. Yenilikçi bir model olan İSGUP modelinin geliştirilme sürecinde gerekli paydaşlar Çizelge 6.1'de kapsamlı olarak verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada yeni bir kadro olan BIM uzmanlığı ile birlikte Bakanlık yetkilileri, akademisyenler ve mühendis-mimar temsilcilerinin katılımı ile program geliştirmeye süreçlerinin tamamlanması beklenmektedir.

İSGUP yönetim sürecinin paydaşları belirtildiği şekilde sıralanabilir.

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve A. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
- Standart tayin eden kuruluşlar ve Özel İdareler, Belediyeler gibi yerinde yönetim organları
- Teknik Tasarım Ekibi
- Yükleniciler
- Mal Sahipleri

- Müşavir / Danışmanlar (resmi görevi olanlar dahil)
- Yapı Denetim Firmaları
- Özel danışmanlık şirketleri

Listelenen paydaşlar üzerine BIM modellerinden hangisinin gerçekleştirileceğine yönelik ilgili Bakanlıklarca tanımlanan görev ve sorumluluklar ilgililer tarafından faaliyete geçirilir.

## 6.2. BIM tabanlı İSGUP Uygulama Planı Süreci

BIM ile bütünleşik tasarımın, tayin edilen pilot bölgelerde denenmesi, kademeli olarak özel sektörde belirlenen ölçeklerde uygulama yükümlülükleri getirilerek öngörülen takvim süreci ile genele yayılması amaçlanmaktadır.

İSGUP modeli ile;

İlk aşamada İSG açısından risk düzeyi yüksek olan tehlikeli işlem pozlarına yönelik analizlere ağırlık verilmesi ve uygulaması planlanan analizlerin BIM platformlarında sınanması zorunluluğu getirilecektir. Uygulama süreci bir aylık ön tasarım sürecinde gerçekleşmesi öngörülmektedir.

Sonraki aşamada ise; iş programları, güvenlik analizleri, risk analizleri, çakışma analizlerinin yönetsel ve koordinasyona dayalı tutarlılığı ölçülecektir.

Son aşamada ise belirlenen analiz başlıklarında başarı düzeyine ne ölçüde ulaşıldığı, Zero Clash hedefinin sağlanıp sağlanmadığı sınanacaktır. İSG yönetimi açısından sıfır tasarım hatasına erişilmeye çalışılacaktır.

## 6.3. Uygulama Planı Aşamaları ve Yürütme Süreci Başlıkları

Şantiye alanında İş Sağlığı ve Güvenliğine yönelik önerilen modelde (İSGUP) Yönergeler aracılığı ile uygulanması istenen İSGUP modelinde zorunlu işlem basamakları aşağıdaki biçimde listelenmiştir.

- İnşaat İmalatları tesis çakışma analizi,
- Risk Analizi
- Simülasyon prosedürleri,
- Malzeme tanımları ve malzeme özellikleri,
- Paydaşlar arası tasarım koordinasyon yeterlilikleri,
- Çalışanlar arası iletişim yönergeleri,
- Çakışma analizleri yapılması,



Olarak listelenmiş ve bu değerlendirmelerin gerçekleştirilmesine yönelik gerekli olan temel modeller aşağıdaki şekilde verilmiştir:

- Topografik model
- Yapısal Model
- Mimari Model
- Altyapı-Tesisat Modeli
- Tümüleşik Model

Belirtilen modellerin akıllı nesnelere ile tasarlanması, belirtilen model bilgilerinin analiz yöntemlerince denetlenebilmesi gerekmektedir. Önerilen İSGUP modelinin yapısal analizleri içeren 5 farklı modül olarak uygulama kontrol sürecine geçilmesi beklenilmektedir.

Belirtilen modeller farklı paydaşların uzmanlık alanını içermesi nedeniyle İSG analiz süreçlerinde proje faaliyet kapsamında görev alan diğer disiplin temsilcilerinin İSG analizleri ile güvenli koşulların ne ölçüde gerçekleştiğinin denetimine yönelik sorumluluk verilmesi öngörülmektedir. Gerekli hazırlık süreçleri tamamlandıktan sonra model üretimlerinin analiz aşamasına gerçekleştirilebilir.

Tasarlanan sisteminin bütününe kapsayan İSGUP modelinde gerçekçi analizlerin yapılabilmesi amacıyla LOD 400 düzeyinde veri içerikli tasarım planlanmıştır.

İSG analizlerin yapılması ile trafik sirkülasyonunda yaşanması olası olan ve BIM platformlarında simülatif olarak gerçekleştirilebilen ancak geleneksel yaklaşımlarda olmayan analizler İSGUP modelinde yer alabilir.

#### **6.4. İSGUP Uygulama Planı Model Analizleri**

Önerilen modelde Mühendislik disiplinlerince geliştirilen tasarımsal unsurlar ile İSG yönetimine yönelik analizlerin öncesinde uygulama bölgesine ait uygulanabilirlik çalışmalarının tamamlanması gerekmektedir. Proje çalışma alanının topoğrafyası, proje çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, yaşanması olası olumsuz senaryolarda planlanan alternatiflerin üretilmesi gereklidir. Gerçekleştirilen ön analizler, proje taslak çalışmaları ile yasal mevzuatlara dayalı gerekliliklerin yapılması ile mühendislik ve İSG analiz süreçlerine geçilmesi gerekir.

Bu çalışmalardan sonra analiz süreçlerinde; Çizelge 6.2’de görülen mevcut İSG analizleri ile birlikte; Çakışma analizi, İş programı analizi, tesis analizi, iş makinesi

çalışma alanı ve güzergah güvenliği analizi, iskele- işçi yüksekten düşme analizi, elektrik araçları analizi ve kazı – dolgu alanı güvenlik analizi gibi İSG kapsamında yer alan tehlikeli koşulların BIM platformlarında analizlerin değerlendirilmeleri gereken önemli çözümlerdir.

**Çizelge.6.2. Önerilen İSGUP Program Analizleri.**

İSGUP		
SÜREÇLER	İŞLEMLER	PAYDAŞLAR
<b>Fizibilite</b>	İSGUP uygulama bölgesi mevcut yapısal durumu Proje alternatiflerinin üretilmesi Çevresel etkilerin hesaplanması	Mal sahibi Mimar Mühendis Yüklenici
<b>Modelleme</b>	Mevcut model Mimari model Yapısal model Mekanik elektrik model Uygulama modeli	Mal sahibi Mimar Mühendis Yüklenici
<b>Analiz</b>	Mevcut İSG analizleri Çakışma analizi İş programı analizi Görselleştirme Atık yönetimi ve atık değerlendirme Tesis Analizi İş Makinesi Çalışma Alanı ve Güzergah Güvenliği Analizi İskele- İşçi Yüksekten Düşme Analizi Çakışma Analizi Elektrik Araçları Analizi Kazı – Dolgu Alanı Güvenlik Analizi	Mal sahibi Mimar Mühendis Yüklenici
<b>Kontrol ve Onay</b>	Simülasyonlar (Trafik, silüet, enerji, atık) onayı Tüm analizlerin kontrolü onayı Çevre ve atık kontrolü onayı Tesisat ve bina enerji kontrolleri onayı Mevcut yapım-yıkım-denetim kontrol ve onayı	Kamu Kontrolü

### 6.5. Önerilen Program Hedefleri;

Yapılan analiz sonuçlarında tehlike tespiti halinde gerekli işlem anında BIM platformu tarafından otonom düzeltilir. Analizlerin her biri ayrı ayrı değerlendirilir ve İSG düzenlemeleri çalışma dinamiğine özel olarak yapılır ve kaydedilir. Zero Clash hedefi elde edilmeye çalışılır. Her analizde Zero Clash hedefinin yerine getirilip getirilmediği kontrol edilmelidir.

**Çizelge. 6.3. İSGUP Program Kullanım Ve Hedef Tablosu**

<b>BIM Kullanım Amaçları (Amaca Göre düzenlenecektir.)</b>	<b>Ölçülebilir Hedef</b>	<b>Gerçekleşmesi Halinde</b>	<b>Öngörülen Süre</b>
Şantiye alanlarında iş sağlığı ve güvenliği yönetimini geliştirmek, Proaktif önlemlerle tasarım evresinde güvenlik açıklarını gidermek	Gerçekleştirilmesi planlanan bütün inşaat imalatların iş sağlığı ve güvenliği yönetiminde as-built modelini elde etmek.	Model uygulanan projeler sonrasında güncellenecek	-
*			
*			

Çizelge 6.3'te İSGUP Program kullanım ve hedef tablosu örneği verilmiştir. İnşaat Sektörünün geniş çalışma alanı nedeniyle program hedefleri gerçekleştirilen proje niteliğine ve türüne göre değişiklik gösterdiğinden tasarımın niteliğine özgü olarak ön tasarım süreçlerinde titizlikle belirlenmelidir. Hedeflerin ölçülebilir olması, BIM platformlarının karakteristiğine özgü simülatif tasarım karşılığının bulunması gereklidir. Ayrıca proje sürecinde İSG yükümlülükleri ile çelişmesi halinde ya da belirlenen hedeflerin gerçekleşmemesi durumunda uygulamaya konulacak süreçlerin ve tayin edilecek hedeflerin ön tasarım aşamasında tespiti gereklidir.

**Çizelge. 6.4. Başlıca İSGUP BIM Hedef - Kullanım İlişki Yönergeleri**

<b>OPSİYONEL ÖNCELİK (YÜKSEK / ORTA / DÜŞÜK)</b>	<b>HEDEF TANIMI</b>	<b>OLASI BIM KULLANIMI</b>
YÜKSEK	İSG işlemlerini kolaylaştırmak ve otomatikleştirmek için bina sistemleri geometrisi ve verilerinin doğru dokümantasyonu.	KAYIT MODELLEME
YÜKSEK	Çakışma veya çakışmayı tespit etmek için bina sistemi geometrilerinin dijital olarak modellenmesi yoluyla bina sistemi yapım hatalarını azaltın ve ortadan kaldırılması.	4D SİMÜLASYON VE KOORDİNASYON
YÜKSEK	Analiz, yeniden düzenleme ve tadilatı kolaylaştıran standart 4D simülasyon inşaat doküman modellerinin sağlanması.	TASARIM YAZARLIĞI
ORTA	Mekanik, elektriksel ve yapısal gibi bina sistemleri için ideal güvenli tasarım çözümleri elde etmede akıllı modelleme yazılımının kullanımı.	MÜHENDİSLİK ANALİZİ
DÜŞÜK	LEED kredilerine ulaşmak ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için proje katılımcıları arasında gelişmiş iletişim ve işbirliği.	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK (LEED) DEĞERLENDİRMESİ
YÜKSEK	İSG parametreleri, düzen, görüş çizgileri, vb. Tasarım hedeflerini doğrulamak için sanal tasarımların görselleştirilmesi ve sunumu	TASARIM YORUMLARI
YÜKSEK	Mekansal gereksinimler açısından tasarım performans parametrelerinin verimli ve doğru değerlendirilmesi.	PROGRAMLAMA
YÜKSEK	Bir projenin yaşam döngüsü boyunca bina sistemleri maliyetlerinin ve alternatif planların kesin tahmini.	PROGRAMLAMA
YÜKSEK	Bilgi için sorgulanabilecek 4D modeller oluşturmak için mevcut yazılımın kullanılmasıyla mevcut koşulların belgelendirilmesinde verimlilik artışı ve doğruluğu	SİMÜLASYON KONTROL VE PLANLAMA
ORTA	Yapı bileşeni imalatı ve saha yapımını otomatikleştirmek için dijital bilgilerin kullanılması.	SİMÜLASYON KONTROL VE PLANLAMA
DÜŞÜK	Montaj imalatında ve saha yapımında ayrıntılı kontrol noktaları sağlamak için bilgi modelinin kullanılması.	DİJİTAL ÜRETİM
YÜKSEK	bina sistemi işletme rutinlerine, bakım kılavuzlarına, ekipman özelliklerine ve üretim belgelerine bağlantılı erişimi içerir.	YAPI PROGRAMLAMA BAKIM
DÜŞÜK	Önerilen ve mevcut alan ve tesis içindeki kaynakların kullanımını izlemek, analiz etmek ve raporlamak için bilgi modelinin kullanılması.	VARLIK YÖNETİMİ

Geliştirilen BIM Hedef - Kullanım İlişki Yönergeleri Düşük, Yüksek ve Orta düzeyli olmak üzere BIM kullanım evrelerine göre tasnif edilmelidir. Öncelikle Yüksek ve Orta öncelikli düzeye sahip hedeflenen çalışmaların yerine getirildiğinin tespiti gerçekleştirilmelidir. Analizler sonucunda İSG yönergeleri açısından risk teşkil eden tasarım hatalarının ya da çakışmaların bulunması durumunda ilgili hatanın giderilmesi beklenir. Giderilememesi halinde BIM yöneticisi ile tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve İSG mevzuatı ile çelişmeyen tasarım modelinin revize edilmesi

beklenir. Bu sayede mevcut yöntemlerle oldukça uzun süren denetim süreçleri saatler içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca olası tesisat unsurlarının çakışması gibi ölümcül sonuçlara yol açabilecek tasarım hataları ön tasarım evrelerinde tespit edilerek zaman, maliyet kazanımları sağlarken insan odaklı güvenli koşullar da tayin edilmiş olacaktır. Bu yönüyle bu tür analizlerin BIM araçları ile sağlanabilmesi şantiye alanı içinde ve dışında paydaşların dışında tehlikeli duruma düşecek dolaylı potansiyel risklerin de önüne geçilmesi mümkündür.



**Çizelge 6.5. İSGUP Tasarım Evrelerinde Uyulması Gereken BIM Kullanım Parametreleri**

PROGRAMLAMA		TASARIM		YAPIM		İŞLEMLER	
X	Mevcut Koşullar Modellemesi	X	Mevcut Koşullar Modellemesi	X	Mevcut Koşullar Modellemesi	X	Mevcut Koşullar Modellemesi
X	Maliyet Tahmini	X	Maliyet Tahmini	X	Maliyet Tahmini	X	Maliyet Tahmini
	Faz Planlama SG MODELLEME		Faz Planlama SG MODELLEME		Faz Planlama SG MODELLEME		
X	Programlama	X	Tasarım gerçekleştirme				
	Tesis Analizi		SG MODELLEME				
	İş Makinesi Çalışma Alanı ve Güzergah Güvenliği Analizi						
	İskele- İşçi Yüksekten Düşme Analizi						
	Çakışma Analizi						
	Elektrik Araçları Analizi						
	Kazı - Dolgu Alanı Güvenlik Analizi						
X	Sürdürülebilirlik (LEED) Değerlendirme	X	Sürdürülebilirlik (LEED) Değerlendirme				
		X	Enerji Modellemesi				
		X	Yapısal Analiz				
		X	Aydınlatma Analiz				
		X	Mekanik Analiz				
			Diğer Müh. analiz				
		X	4D Tasarım Koordinasyon	X	4D Tasarım Koordinasyon		
			SG MODELLEME	X	Şantiye Kullanımı Planlama		
				X	4D Kontrol ve Planlama		
				X	Kayıt Modelleme	X	Kayıt Modelleme
					SG MODELLEME	X	2B Kayıt Döküman
						X	Yapı Bakım Plan
						X	Varlık Yönetimi
						X	Uzay Yönetimi / Takibi
							Afet Planlaması

BIM platformlarının parametrik tasarımlar ile çalışması önemli karakteristik özelliklerindedir. Çizelge 6.5'te görüleceği üzere Programlama, Tasarım, Yapım ve İşlemleri gerçekleştirme süreçlerinde saptanan özelliklerde Mevcut koşullar modellenirken Programlama araçlarının İSG açısından yeterli analiz türlerine yönetim denetim süreçlerinin yerine getirilmesi beklenir. Yapım sürecinde ve öncesinde gelişim safhalarının 4D simülatif ve SG araçlarla kontrolünün karşılanabilmesi program gereği öncelikli olarak istenir.

**Çizelge 6.6. Örnek İSGUP Toprak İşleri Detaylı Analiz Planı**

Analiz	Analiz aracı	Model	Analizi yapan kuruluş	Proje aşaması/ aşamaları	Gerekli dosya formatı	Özel talimatlar
Kazı İşleri İSG Yeterlilik Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Makinalı Kazı Yapım Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Şantiye Araçları Güzergah Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Makine Ekipman Kullanım Yeterlilik Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Dolgu Nakliye Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.

Gerçekleştirilen Proje uygulama planı tasarım ekibince ve İSG yetkililerince Proje alt işlem basamaklarına yayılarak tek tek yapım süreçlerinin yeterli güvenli koşulları ne ölçüde sağladığı analiz edilir. Çizelge 6.6.'da Toprak İşleri süreçlerine yönelik örnek parametrik analiz süreçleri içeren bir alt analiz modeli sunulmuştur.

**Çizelge 6.7. Örnek İSGUP Kaba İşler Detaylı Analiz Planı**

Analiz	Analiz aracı	Model	Analizi yapan kuruluş	Proje aşaması/ aşamaları	Gerekli dosya formatı	Özel talimatlar
Beton İşleri İşçi Güvenliği Yeterlilik Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Mobil Beton Pompası İş Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Beton Kalıpcılığı İş Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Grobeton İmalat Süreci Güvenlik Yeterlilik Analizleri	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Demir Bükme Makinesi Güvenlik Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.

Çizelge 6.7.'de Kaba İşler süreçlerine yönelik örnek parametrik analiz süreçleri içeren bir alt analiz modeli sunulmuştur.



**Çizelge 6.8. Örnek İsgup Temiz Su Tesisat İşleri Detaylı Analiz Planı**

Analiz	Analiz aracı	Model	Analizi yapan kuruluş	Proje aşaması/ aşamaları	Gerekli dosya formatı	Özel talimatlar
Montaj İşleri Güvenlik Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Elektrik işleri Güvenlik Yeterliliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Taşınabilir Elektrikli El Aletleri Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Borulama İşleri Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.
Oksijen Kaynağı İşleri Güvenliği Analizi	Revit+ Enscape	Sg Simülasyon	Müşavir Firma Yapı Denetim Kuruluşları Kamu Denetçileri	Ön Tasarım	IFC	Zero Clash hedefine ulaşılmalı.

Çizelge 6.8.'de Temiz Su Tesisat İşleri süreçlerine yönelik örnek parametrik analiz süreçleri içeren bir alt analiz modeli sunulmuştur.

### 6.6. Önerilen Modelin Değerlendirilmesi Ve Sonuçlar

Önerilen uygulama planı inşaat imalatları ve şantiye güvenliğine yönelik İSG faaliyetleri için merkezi bir platform olan BIM araçlarıyla yürütülmektedir. BIM'e dayalı İSG yönetimi ve iletişim çalışmaları çalışma kapsamında temel alınmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, halihazırda mevcut olan BIM yazılımları kullanılarak simülatif güvenliği ile ilgili planlama faaliyetlerinin nasıl yapılabileceğine dair analiz işlemleri sırayla sunulmuştur. Düzenlenen analiz araçlarının, prosedürlerin yanı sıra, saptanan pilot proje ve bölgelerde test edilmesi ile İSG yönetiminde risk teşkil eden konular üzerine örnekler verilmiştir.

Günümüzde BIM teknolojisi inşaat sektöründe tasarım evreleri üzerine yoğun çalışmalar devam etmekte olup BIM ve İSG yaklaşımlarını ele alan çalışmalar sınırlı düzeydedir. Ülkemizde BIM platformlarını İSG yönetimi ile bir arada inceleyen ve model

üreten çalışma henüz bulunmamaktadır. Geliştirilen İSGUP modeli ile BIM platformlarının İSG yönetim, planlama ve iletişim çalışmalarına katkıda bulunması hedeflenmiştir. Simülasyon teknolojileri, SG araçlarının güvenlik konularını inşaat planlamasına önemli ölçüde bağlayarak, daha açıklayıcı güvenlik analizleri yönergeleri ve örnekleri verilmiştir. Benzer çalışmaların devam etmesi ile İSG yaklaşımlarının iyileştirilerek katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışma ile imalat sürecinde şantiye çalışanlarına yönelik güvenlik bilgilendirmeleri üzerine İSGUP modeli ile deneyim kazanması sağlanmaktadır. İSGUP uygulama modelinin temel amacı, proje tasarımının ve planlamasının önemli bir başlığı olarak, İSG yönetiminde; planlama, yönetim ve iletişim amacıyla BIM platformlarının mevzuata dayalı tasarım prosedürlerini ve kullanımını geliştirmektir. Devam etmekte olan inşaat imalatlarında BIM tabanlı prosedürlerin yönlendirilmesi ve geliştirilmesinde kullanımı için altlık olması hedeflenmiştir.

Geleneksel yöntemde proje üretimi ve kontrolü ile haftalar sürerken BIM tabanlı İSG yönetim ve denetim işlemleri saatler içerisinde gerçekleştirilmektedir.

Geleneksel metotlarda 4D yöntemlerle 'risk analizi, enerji analizi' vb analiz tekniklerine yönelik yürürlükte olan çalışmalar bulunmamaktadır. Şu an geleneksel metotla birlikte yürürlükte olan denetim ve kontrol mekanizmaları ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir.

Geleneksel yöntemlerle yapılan İSG değerlendirmeleri; özellikle büyük ölçekli yapım çağı ihtiyaçlarını karşılamayıp yetersiz kalmakta, zaman-maliyet kayıplarına yol açmaktadır. İSGUP modeli Ön tasarım aşamasında SG teknolojileri ile sunulan Simülasyonlar İnşaat imalat sürecinin tasarım kısmında yer almayan paydaşlarına yönelik bilinçlenme ve Oryantasyon süreçlerinin daha hızlı kazandırılması yönünde katkıları olacağı da öngörülmektedir.

Önerilen İSGUP modeli ile tasarımdan kaynaklanan İSG problemlerinin giderilmesi tasarımdan kaynaklanan sorunların ve güvenlik açıklarının giderilerek çalışmanın gerçekleştiği alanda İş sağlığı ve güvenliğine yönelik, teorik olarak %100 güvenli koşullara ulaşması hedeflenmektedir.

İSGUP uygulama modeli çalışmalar neticesinde literatüre, kamusal uygulamalara ve sektöre çeşitli katkıları bulunmaktadır.

Literatüre olan katkıları; BIM tabanlı İSG ile ilgili çalışmanın yapılması ‘BIM tabanlı İSG Uygulama Planı’ BIM konseptinin İSG süreçleri ilişkisinin önemine değinilmektedir. İSGUP’ un İnşaat Yapım sürecindeki etkinliğinden hareketle, BIM tabanlı İş Sağlığı ve güvenliğine yönelik diğer BIM’in mevzuatlaştırılma çalışmalarına örnek çerçeve olmasıdır.

İSGUP ile güvenliğe yönelik risk unsurlarının yapılan analizlerle tespit edilerek İSG gereksinimlerinin sağlanmasına katkı sunmaktadır. Bu simülasyonların sanal Gerçeklik Teknolojileri ile mobil olarak istenilen yerde istenildiği kadar incelenebilmesi erişim kolaylığı da sağlanmaktadır. Sonuç olarak İSGUP’un tanımlanan şekli ile İSG yaklaşımının ön tasarımda bütüncül olarak ele alınması imkanı bulunmaktadır.

Kamusal uygulamalara katkıları; İSG yönetim süreçlerinde kamu idaresinin denetim sorumluluklarını diğer paydaşlarla paylaşılması sağlanır. Analiz teknikleri İSGUP doğrultusunda oluşturulacak modellerle şantiye alanına gidilmeden her yerde sağlanabilir.

Sektörel katkıları; İSGUP uygulama modelinde geliştirilen işlem basamakları aracılığı ile ön tasarım aşamasında planlanan güvenli İSG yönetiminin sağlanması hedeflenmektedir. İSGUP ile inşaat imalatları başlamadan elektrik kazaları, çalışanların yüksekten düşmesi ya da şantiye alanında risk teşkil eden olumsuz durumların giderilmesi amacıyla neden, nerede, ne zaman ve hangi güvenlik önlemlerinin gerekli olduğu paydaşlara analizler ile bildirilir. Tasarımı planlanan projenin İSG yeterlilik kriterleri proje başlamadan tayin edilmiş olur. İnşaat İmalat sürecine başlanmadan projenin tasarımsal hataları giderilir ve proje gerçekleştirme sürecinde ortaya çıkabilecek riskli durumlar giderilir. İSGUP modeli ile interaktif deneyim imkanı veren SG destekli simülatif modeli de üretilmelidir. Bununla birlikte inşaatın belli başlı aşamaları da aktiviteler olarak aşamalandırılmalıdır.

İnşaat sektöründe İSG yönetiminde sürmekte yaygın başarısızlıklar analiz edilmelidir. BIM uygulamalarının çoğunluğu yönetsel iyileştirmeler içerdiği, bu yüzden BIM’i özel ve kamu ihalelerinde talep etmenin ve sözleşmeye dayalı süreçlerin uygulanmasının endüstrinin verimliliğini artıracığı öngörüsünde bulunmaktadır.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak; Sanal Gerçeklik teknolojilerinin eğitimde, iş sağlığı ve güvenliğinde ekonomik maliyetleri ve Sanal Gerçeklik donanım araçlarının yaygınlaşması ile dünyada Sanal Gerçeklik teknolojileri inşaat sektöründe etkili çözümler üretmektedir. Ayrıca ilerleyen rekabet koşulları, müşteri talepleri, sektörün Sanal Gerçeklik gibi yeni teknolojik araçları benimsemeye karşı refleks göstermeye zorlamaktadır. İnşaat endüstrisi birçok alanda çalışanı bir araya getirmektedir. Bu yoğunluğun bir arada olmasının yaratacağı karışıklığı gidererek, verimli hale getirmede Sanal Gerçeklik teknolojileri etkili araçlar geliştirmektedir.

Yeni nesil Sanal Gerçeklik araçlarının çoğunluğunun BIM platformları ile çalışması, ve paydaşlar arası işbirliğine katkıları ile İnşaat sektörünün tasarım safhasında yer alan çalışan için cazip araçlar olduğu görülmektedir. Sanal Gerçeklik teknolojilerinde yüksek maliyetler hala devam etmektedir. Ancak Sanal Gerçeklik çözümlerini kullanılabilir kapasiteli mobil teknolojilerdeki yaygınlaşma, teknoloji şirketleri arasında gelişen rekabet ortamı benimsenmesinde istekliliğe önemli katkılar sunmaktadır.

Tasarım sürekliliği, tesis yönetimi, bakım-onarım ve sürdürülebilirlik süreçler Sanal Gerçeklik teknolojilerinin yaygınlaşmasını tetikleyen başlıklardır. Sanal Gerçeklik inşaat sektöründe proje tasarımında ve yapım aşamasında günümüzde geleneksel araçlara nazaran devrimci bir araçtır. Bir başka devrimci teknoloji olan BIM senkronize çalışması Sanal Gerçeklik ve BIM teknolojilerinin birbirine gelişimine olumlu katkıda bulunmaktadır.

Sanal Gerçeklik teknolojileri erişebilirlik sayesinde iletişim problemleri ortadan kaldırırken zaman kayıplarını da engeller. İnşaat imalat sürecinde en çok önemsenen konuların başında İş sağlığı ve güvenliği gelirken, gereken önemin gösterilmediği durumlarda arzu edilmeyen sayısız ölüm vakası yaşanmıştır. Salt iş sağlığı ve güvenliğine yönelik katkıları nedeniyle Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması ve öncelikli olarak iş sağlığı ve güvenliğine bilinç oluşturma, saha güvenliğine yönelik süreçlerde yerleşik hale gelmesi kaçınılmazdır. BIM platformlarının tasarım hatalarını yapım süreci başlamadan tespit etmesi, riskleri elemine etmesi, denetim süreçlerinde zaman ve maliyet kazanımları nedeniyle BIM ve Sanal Gerçeklik teknolojilerinin beraber gelişim kaydedileceği tercih edileceği düşünülmektedir.

Sanal Gerçeklik tasarım aşamasında önemli avantajlarından biri, tasarım alternatif modellerini proje üzerinde gösterebilmesidir. İnşaat işleri projeye bağlı olarak aylar veya yıllar alabilir. Geleneksel yöntemlerle sunumu, aktarımı zorlayıcı olurken görme ihtiyacını karşılayan maket model vb görsel sunumlar çağın dinamiklerin gerisinde kalmıştır. Sanal Gerçeklik teknolojileri geleneksel tasarım çıktılarına göre daha iyi kavrama ve etkileşim seviyesi getirmektedir.

BIM'in artan uygulaması, İş sağlığı ve Güvenliğine dönük yaklaşım biçimlerini de değiştirmektedir. BIM tabanlı iş sağlığı ve güvenliğine dönük uygulamalar; saha işçi güvenliğinde, çakışma analizlerinde, güvenlik - tasarım eğitim modüllerinde, tehlikeli durum – afet tahliye planları gibi birçok alanda devam etmektedir. Bu uygulamalar inşaat imalatları başlangıç aşamasından proje ömrünün tamamlanmasına kadar olası tehlikeleri otomatik olarak tanımlamakta ve çözüm yöntemleri sunmaktadır. İnşaat başlama öncesi tespit etmeye ve önlemeye dönük birçok vaka çalışmasında uygulamalar başarıyla uygulanmıştır. BIM tabanlı iş sağlığı ve güvenliğine dönük uygulamalar; saha işçi güvenliğinde, çakışma analizleri, güvenlik -tasarım eğitim modülleri, tehlikeli durum – afet tahliye planları gibi birçok alanda devam etmektedir.

Ayrıca BIM –Sanal Gerçeklik çözümlerinin eğitim ve öğretimde etkili kullanımı mevcuttur. BIM tabanlı İş sağlığı ve güvenliğine dönük uygulamaların geleneksel yöntemlere nazaran farklılık yaratacağı sonuçlarına ulaşılmıştır. Yapılan çalışmaların geneli işbirlikçi güvenlik planlamalarına elverişlidir. İnşaat sektörü çalışanlarında güvenlik bilinci oluşturmaya yönelik de katkılar sağlamaktadır. Bu nedenlerle BIM tabanlı uygulamalara olan ilginin artarak devam edeceği düşünülmektedir.

Artırılmış Gerçeklik teknolojilerine erişim maliyetlerinin daha düşük olması, Sanal Gerçeklik teknolojilerine nazaran daha hızlı tasarım elde edilebilmesi, nedeniyle Artırılmış Gerçeklik çözümlerin daha hızlı büyüme sağlayacağı düşünülmektedir. Ülkemizde ise akademik düzeyde BIM teknolojileri ve 4D simülasyon çalışmaları sınırlı olup sınırlı sayıda olup akademik çalışmalardaki artışın aynı ölçüde simülatif çalışmaların benimsenmesinin de olumlu etkileri olacaktır.

İSG' de BIM ve Bulut Teknolojisinde etkin entegrasyon, tüm paydaşlara fayda sağlamaktadır.

Bulut Depolama alanları ve IFC model geometrileri üzerine yönelik yapılacak olan çalışmalar BIM Platformlarının SG teknolojileri ile birlikte yerleşik hale gelmesinde faydalı olacaktır.

BIM platformlarına yönelik builngSMART vb. kuruluşlar ile birlikte Akademik iş birliği içinde kamu kurumları ile işbirliğine dayalı standart, prosedür ve rehber niteliğinde çalışmalara ağırlık verilmesi BIM platformlarının benimsenme sürecini hızlandıracaktır. Bu noktada Kamu ihalelerinde ve belirli ölçeklerde pilot bölge ve pilot işlerde BIM platformlarının zorunlu kılınması süreci hızlandıracaktır.

Tasarımlarda Simülasyon niteliğinin artması amacıyla modellerde yapılan ve ergo-teknik bilgisi ile sağlanan bir BIM öğeleri envanteriyle desteklenmesi gerekir.

Geleneksel yöntemlerde ortaya çıkan hata ya da aksaklıklar olması halinde karşı karşıya kalınan baştan sona bir proje tasarlama, planlama, gibi aynı işi tekrarlamayı gereken çalışma ve aksaklıklara bağlı gelişen maliyetler BIM destekli Sanal Gerçeklik teknolojileri ile başlamadan engellenir. Kusursuz planlama ve tasarıma giden süreçte çok disiplinli yürüyen süreç proje paydaşlarına, müşteri ilişkilerine, olumlu katkılarda bulunacaktır. İnşaat Sektöründe Tasarım planlama aşamasından yapı ömrü tamamlanana kadar bir çok evrede BIM Platformları ile SG teknolojilerinin işlevsel çalışabilmektedir.

**EKLER;****EK1-META ANALİZ^ÇALIŞMASI KAYNAK LİSTESİ**

- ALBERT, A., HALLOWELL, M. R., KLEINER, B., CHEN, A., GOLPARVAR-FARD, M. (2014). Enhancing construction hazard recognition with high-fidelity augmented virtuality. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7), 04014024.
- AZHAR, S., NADEEM, A., MOK, J. Y., LEUNG, B. H. (2008). Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. *In Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries* (Vol. 1, pp. 435-46).
- BAE, H., GOLPARVAR-FARD, M., WHITE, J. (2014). Image-based localization and content authoring in structure-from-motion point cloud models for real-time field reporting applications. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(4), B4014008.
- BAHN, S. (2013). Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation. *Safety science*, 57, 129-137.
- BEHZADAN, A. H., KAMAT, V. R. (2013). Enabling discovery-based learning in construction using telepresent augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 3-10.
- BEHZADAN, A. H., DONG, S., KAMAT, V. R. (2015). Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 252-267.
- BENNETT, L., MAHDJOUBI, L. (2013). Construction health and safety, BIM and cloud technology: Proper integration can drive benefits for all stakeholders. In 2013 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (Vol. 2, pp. 215-218). IEEE.
- Bhide, S. (2017). *Fire Safety and Emergency Evacuation Training for Occupants of Building Using 3D Virtual Simulation* (Doctoral dissertation, University of Central Florida).
- BHOIR, S., ESMAEILI, B. (2015). State-of-the-art review of virtual reality environment applications *In Construction Safety*. AEI 2015, 24-27.
- BOSCHÉ, F., ABDEL-WAHAB, M., CAROZZA, L. (2015). Towards a mixed reality system for construction trade training. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(2), 04015016.
- CHEN, Y. C., CHI, H. L., KANG, S. C., HSIEH, S. H. (2015). Attention-based user interface design for a tele-operated crane. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(3), 04015030.

- CHENG, T., TEIZER, J. (2013). Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. *Automation in Construction*, 34, 3-15.
- CHENG, T., TEIZER, J. (2010). Real-time data collection and visualization technology in construction. In *Construction Research Congress 2010. Innovation for Reshaping Construction Practice* American Society of Civil Engineers.
- CHENG, T., TEIZER, J. (2012). Modeling tower crane operator visibility to minimize the risk of limited situational awareness. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(3), 04014004.
- CHI, H. L., KANG, S. C., WANG, X. (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. *Automation in Construction*, 33, 116-122.
- CHI, H. L., CHEN, Y. C., KANG, S. C., HSIEH, S. H. (2012). Development of user interface for tele-operated cranes. *Advanced Engineering Informatics*, 26(3), 641-652.
- CLEVENGER, C., LOPEZ DEL PUERTO, C., GLICK, S. (2015). Interactive BIM-enabled Safety Training Piloted in Construction Education. *Advances in Engineering Education*, 4(3), n3.
- DICKINSON, J. K., WOODARD, P., CANAS, R., AHAMED, S., LOCKSTON, D. (2011). Game-based trench safety education: development and lessons learned. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16(8), 119-134.
- DING, L., ZHOU, Y., AKINCI, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 82-93.
- DONG, S., FENG, C., KAMAT, V. R. (2013). Sensitivity analysis of augmented reality-assisted building damage reconnaissance using virtual prototyping. *Automation in Construction*, 33, 24-36.
- 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.
- GANAH, A. A., JOHN, G. A. (2017). BIM and project planning integration for on-site safety induction. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 15(03), 341-354.
- GE, L., KUESTER, F. (2014). Integrative simulation environment for conceptual structural analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(4), B4014004.
- GOLPARVAR-FARD, M., PEÑA-MORA, F., SAVARESE, S. (2011). Integrated sequential as-built and as-planned representation with D 4 AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(12), 1099-1116.



- GOULDING, J., NADIM, W., PETRIDIS, P., ALSHAWI, M. (2012). Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. *Advanced Engineering Informatics*, 26(1), 103-116.
- GUO, H., LI, H., CHAN, G., SKITMORE, M. (2012). Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. *Accident Analysis Prevention*, 48, 204-213.
- GUO, H. L., LI, H., LI, V. (2013). VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework. *Automation in Construction*, 34, 16-24.
- GUO, H., YU, Y., SKITMORE, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135-144.
- HAMMAD, A., WANG, H., MUDUR, S. P. (2009). Distributed augmented reality for visualizing collaborative construction tasks. *Journal of computing in civil engineering*, 23(6), 418-427.
- HAMMAD, A., SETAYESHGAR, S., ZHANG, C., ASEN, Y. (2012 ). Automatic generation of dynamic virtual fences as part of BIM-based prevention program for construction safety. In *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1-10). IEEE.
- HINZE, J. W., TEIZER, J. (2011). Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety science*, 49(5), 709-718.
- HOU, L., WANG, X., BERNOLD, L., LOVE, P. E. (2013). Using animated augmented reality to cognitively guide assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 439-451.
- HOU, L., WANG, X., TRUIJENS, M. (2013). Using augmented reality to facilitate piping assembly: an experiment-based evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(1), 05014007.
- HOU, L., CHI, H. L., TARNG, W., CHAI, J., PANUWATWANICH, K., WANG, X. (2017). A framework of innovative learning for skill development in complex operational tasks. *Automation in Construction*, 83, 29-40.
- HOU, L., WANG, X. (2013). A study on the benefits of augmented reality in retaining working memory in assembly tasks: A focus on differences in gender. *Automation in Construction*, 32, 38-45.
- HONGLING, G., YANTAO, Y., WEISHENG, Z., YAN, L. (2016). BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. *Procedia engineering*, 164, 467-472.
- HSIAO, H., SIMEONOV, P., DOTSON, B., AMMONS, D., KAU, T. Y., CHIOU, S. (2005). Human responses to augmented virtual scaffolding models. *Ergonomics*, 48(10), 1223-1242.

- HUANG, T., KONG, C. W., GUO, H., BALDWIN, A., LI, H. (2007). A virtual prototyping system for simulating construction processes. *Automation in Construction*, 16(5), 576-585.
- HU, Z., ZHANG, J. (2011). BIM-AND 4D-BASED INTEGRATED SOLUTION OF ANALYSIS AND MANAGEMENT FOR CONFLICTS and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. *Automation in Construction*, 20(2), 167-180.
- JUANG, J. R., HUNG, W. H., KANG, S. C. (2013). SimCrane 3D+: A crane simulator with kinesthetic and stereoscopic vision. *Advanced Engineering Informatics*, 27(4), 506-518.
- KAMAT, V. R., EL-TAWIL, S. (2007). Evaluation of augmented reality for rapid assessment of earthquake-induced building damage. *Journal of computing in civil engineering*, 21(5), 303-310.
- KASIROSSAFAR, M., & SHAHBODAGHLOU, F. (2013). Application of Visualization Technologies to the Design for Safety Concept. In *Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow* (pp. 370-377).
- KIM, B., KIM, C., KIM, H. (2011). Interactive modeler for construction equipment operation using augmented reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), 331-341.
- KIM, J. L. (2011). Use of BIM for effective visualization teaching approach in construction education. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 138(3), 214-223.
- 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, K., TEIZER, J. (2014). Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Advanced Engineering Informatics*, 28(1), 66-80.
- KIM, K., CHO, Y. (2015). BIM-based planning of temporary structures for construction safety. In *International Workshop on Computing in Civil Engineering Reston, VA* (pp. 436-444).
- KIM, K., CHO, Y., ZHANG, S. (2016). Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Automation in Construction*, 70, 128-142.
- LAKAEMPER, R., MALKAWI, A. M. (2009). Integrating robot mapping and augmented building simulation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(6), 384-390.

- Le, Q. T., PEDRO, A., PARK, C. S. (2015). A social virtual reality based construction safety education system for experiential learning. *Journal of Intelligent Robotic Systems*, 79(3-4), 487-506.,
- LI, H., CHAN, G., SKITMORE, M. (2012). Multiuser virtual safety training system for tower crane dismantlement. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(5), 638-647.
- LI, H., CHAN, G., SKITMORE, M. (2012). Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology. *Automation in Construction*, 22, 498-505.
- 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.
- LIN, K. Y., SON, J. W., ROJAS, E. M. (2011). A pilot study of a 3D game environment for construction safety education. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16(5), 69-
- LUCAS, J., THABET, W. (2008). Implementation and evaluation of a VR task-based training tool for conveyor belt safety training. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(40), 637-659.
- MELZNER, J., ZHANG, S., TEIZER, J., BARGSTÄDT, H. J. (2013). A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. *Construction Management and Economics*, 31(6), 661-674.
- MO, Y., ZHAO, D., DU, J., LIU, W., (2017) DHARA, A. Data-Driven Approach to Scenario Determination for VR-Based Construction Safety Training. *Automation in Construction*, 33, 95-103.
- Othman, I., Harahap, M. I. P., Mohamad, H., Shafiq, N., Napiah, M. (2018). Development of BIM-Based Safety Management Model Focusing on Safety Rule Violations. In *MATEC Web of Conferences (Vol. 203, p. 02007)*. EDP Sciences.
- PARK, C. S., KIM, H. J. (2013). A framework for construction safety management and visualization system. *Automation in Construction*, 33, 95-103.
- PARK, H., PANYA, D. S., GOO, H., KIM, T., SEO, J. (2018). BIM-based Virtual Reality and Human Behavior Simulation For Safety Design. *Automation in Construction*, 33, 95-103.
- PEDRO, A., LE, Q. T., PARK, C. S. (2015). Framework for integrating safety into construction methods education through interactive virtual reality. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 142(2), 04015011.
- REZAZADEH, I. M., WANG, X., FIROOZABADI, M., GOLPAYEGANI, M. R. H. (2011). Using affective human-machine interface to increase the operation performance in virtual construction crane training system: A novel approach. *Automation in Construction*, 20(3), 289-298.

- Rüppel, U., Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced engineering informatics*, 25(4), 600-611.
- SACKS, R., ROZENFELD, O., ROSENFELD, Y. (2009). SPatial and temporal exposure to safety hazards in construction. *Journal of construction engineering and management*, 135(8), 726-736.
- SACKS, R., PERLMAN, A., BARAK, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005-1017.
- Sacks, R., WHYTE, J., SWISSA, D., RAVIV, G., ZHOU, W., SHAPIRA, A. (2015). Safety by design: dialogues between designers and builders using virtual reality. *Construction Management and Economics*, 33(1), 55-72.
- 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.
- SHEN, X., MARKS, E. (2015). Near-miss information visualization tool in BIM for construction safety. *Journal of construction engineering and management*, 142(4), 04015100.
- Shi, J., Liu, P. (2014). An agent-based evacuation model to support fire safety design based on an integrated 3D GIS and BIM platform. *Computing in Civil and Building Engineering*, 2014, 1893-1900.
- SIDANI, A., DUARTE, J., BAPTISTA, J. S., MARTINS, J. P., SOEIRO, A. (2018). Improving construction safety using BIM-based sensor technologies. In *ptBIM-2° Congresso Nacional de Building Information Modeling*.
- SIMEONOV, P., HSIAO, H., POWERS, J., AMMONS, D., KAU, T., AMENDOLA, A. (2011). Postural stability effects of random vibration at the feet of construction workers in simulated elevation. *Applied ergonomics*, 42(5), 672-681.
- SULANKIVI, K., MAKELA, T., KIVINIEMI, M. (2009). BIM-based site layout and safety planning. In *Proceedings of the First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions* (pp. 125-140).
- SULANKIVI, K., KÄHKÖNEN, K., MÄKELÄ, T., KIVINIEMI, M. (2010). 4D-BIM for construction safety planning. In *Proceedings of W099-Special Track 18th CIB World Building Congress* (pp. 117-128).
- SULANKIVI, K., ZHANG, S., TEIZER, J., EASTMAN, C. M., KIVINIEMI, M., ROMO, I., GRANHOLM, L. (2013, May). Utilization of BIM-based automated safety checking in construction planning. In *Proceedings of the 19th International CIB World Building Congress, Brisbane Australia* (pp. 5-9).
- TANG, C. H., WU, W. T., LIN, C. Y. (2009). Using virtual reality to determine how emergency signs facilitate way-finding. *Applied ergonomics*, 40(4), 722-730.

- TEIZER, J., CHENG, T., FANG, Y. (2013). Location tracking and data visualization technology to advance construction ironworkers' education and training in safety and productivity. *Automation in Construction*, 35, 53-68.
- TEO, A. L. E., OFORI, G., TJANDRA, I. K., KIM, H. (2016). Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. *Construction Economics and Building*, 16(4), 1-1.
- WANG, X., LOVE, P. E., KIM, M. J., PARK, C. S., SING, C. P., HOU, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*, 34, 37-44.
- 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. (2011). A user-centered taxonomy for specifying mixed reality systems for aec industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16(29), 493-508.
- WANG, X., KIM, M. J., LOVE, P. E., KANG, S. C. (2013). Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32, 1-13.
- Wang, X., TRUIJENS, M., HOU, L., WANG, Y., ZHOU, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96-105.
- WANG, S. H., WANG, W. C., WANG, K. C., SHIH, S. Y. (2015). Applying building information modeling to support fire safety management. *Automation in Construction*, 59, 158-167.
- WANG, J., ZHANG, S., TEIZER, J. (2015). Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. *Automation in Construction*, 49, 250-261.
- WONG, J. K. W., LI, H., CHAN, G., WANG, H., HUANG, T., LUO, E., LI, V. (2014). Virtual prototyping for construction site Co2 emissions and hazard detection. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(8), 130.
- YEH, K. C., TSAI, M. H., KANG, S. C. (2012). On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), 342-355.
- ZHANG, S., LEE, J. K., VENUGOPAL, M., TEIZER, J., EASTMAN, C. (2011). Integrating BIM and safety: An automated rule-based checking system for safety planning and simulation. Proceedings of CIB W099, 99, 24-26. *Automation in Construction*, 331, 105-98.

- ZHANG, J. P., HU, Z. Z. (2011). BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction*, 20(2), 155-166.
- ZHANG, C., HAMMAD, A., CHEN, J., YANG, Y. (2013). Experimental investigation of using RFID integrated BIM model for safety and facility management. *In Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*.
- ZHANG, S., SULANKIVI, K., KIVINIEMI, M., ROMO, I., EASTMAN, C. M., TEIZER, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety science*, 72, 31-45.
- ZHAO, D., LUCAS, J. (2015). Virtual reality simulation for construction safety promotion. *International journal of injury control and safety promotion*, 22(1), 57-67.
- ZHOU, W., WHYTE, J., SACKS, R. (2012). Construction safety and digital design: A review. *Automation in Construction*, 22, 102-111.
- ZHOU, Y., DING, L. Y., CHEN, L. J. (2013). Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction. *Automation in Construction*, 34, 25-36.
- ZHOU, Z., IRIZARRY, J., LI, Q. (2013). Applying advanced technology to improve safety management in the construction industry: a literature review. *Construction management and economics*, 31(6), 606-622.
- ZOU, Y., KIVINIEMI, A., JONES, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety science*, 97, 88-98.

## KAYNAKLAR

- Akar, E. (2010). Sanal toplulukların bir türü olarak sosyal ağ siteleri-bir pazarlama iletişimi kanalı olarak işleyişi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*
- Akinci, B., Fischer, M., & Kunz, J. (2002). Automated generation of work spaces required by construction activities. *Journal of construction engineering and management*, 128(4), 306-315.
- Akkoyunlu, T. (2015). Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arayıcı, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in construction*, 20(2), 189-195.
- Avila, L., & Bailey, M. (2014). Virtual reality for the masses. *IEEE computer graphics and applications*, 34(5), 103-104.
- Arki, Arpost, 2019, <https://arpost.co/2019/05/08/how-augmented-reality-is-transforming-the-construction-industry/>
- Architectmagazine, 2019, [https://www.architectmagazine.com/technology/products/three-augmented-and-virtual-reality-apps-for-design-and-construction\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/products/three-augmented-and-virtual-reality-apps-for-design-and-construction_o)
- Autodesk, 2017, <https://www.autodesk.com/redshift/gis-and-BIM-integration/>
- Aecmag, 2019 <https://www.aecmag.com/technology-mainmenu-35/1261-review-graphisoft-BIMx-for-vr>
- Arat, T., & Baltacıoğlu, S. (2016). Sanal Gerçeklik ve Turizm. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 19(1), 103-118.
- Azhar, S. (2011). Building information modelling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *J. Leadersh. Manag. Eng.* 1, 11, 241–252.
- A. Webster, S. Feiner, B. Macintyre, W. Massie and T. Krueger, (1996) “Augmented Reality in architectural Construction, Inspection and Renovation” *Proceedings of the 3rd Congress in Computing in Civil Engineering, ASCE*, 913-919,
- Bayraktar, E., & Kaleli, F. (2007). Sanal gerçeklik ve uygulama alanları. *Akademik Bilişim Konferansı*, 1-6.
- Balakina, A., Sımankina, T., & Lukinov, V. (2018). 4D modeling in high-rise construction. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 33, p. 03044). EDP Sciences.
- Bateman, I. J., Day, B. H., Jones, A. P., & Jude, S. (2009). Reducing gain–loss asymmetry: a virtual reality choice experiment valuing land use change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(1), 106-118.
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough?. *Computer*, 40(7), 36-43.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Burgess, G., Jones, M., & Muir, K. (2018). BIM in the UK house building industry: Opportunities and barriers to adoption. Cambridge: University of Cambridge.
- Behzadan, A. H., Dong, S., Kamat, V. R. (2015). Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 252-267.
- Benjaoran V., S. BHOKHA,(2010) An integrated safety management with construction management using 4D CAD model, *Construction management and economics* 48 (3)
- Bigham, G. F., Adamtey, S., Onsarigo, L., & Jha, N. (2018), Artificial Intelligence for Construction Safety: Mitigation of the Risk of Fall. In *Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference* (pp. 1024-1037). Springer, Cham.
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73- 272.
- Bhoir, S., Esmaili, B. (2015). State-of-the-art review of virtual reality environment applications in construction safety. *AEI 2015*, 24-27.
- bim360, 2019, <https://integrations.BIM360.autodesk.com/InsiteVR/InsiteVR/>
- bimplus, 2019 <http://www.BIMplus.co.uk/technology/daqris-ar-sma6rt-helm7et-will-be-indu2strys/>
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005). Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in construction*, 14(3), 287-295.
- Burczyk, David 2019, <https://www.pobonline.com/articles/101548-mixed-reality-boosts-BIM-in-construction>
- Brown, A., & Green, T. (2016). Virtual reality: Low-cost tools and resources for the classroom. *TechTrends*, 60(5), 517-519.
- Bronack, S. C. (2011). The role of immersive media in online education. *Journal of Continuing Higher Education*, 59(2), 113–117.
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough. *Computer*, 40(7), 36-43
- Carson, E. 2018 Microsoft's HoloLens brings you inside a gigantic jet engine, <https://www.cnet.com/news/microsofts-hololens-brings-you-inside-a-gigantic-jet-engine/>.Erişim tarihi:01.04.2018
- Chandarana, S., Shirke, O., & Desai, T. Review of Augmented Reality Applications: *Opportunity Areas & Obstacles in Construction Industry*. (2013)



### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- <https://www.architectureanddesign.com.au/features/list/six-augmented-reality-ar-products-that-could-chang>
- Cnet, 2018, <https://www.cnet.com/news/microsofts-hololens-brings-you-inside-a-gigantic-jet-engine/> Erişim tarihi 30.04.2018
- Cheung, W. F., Lin, T. H., & LiN, Y. C. (2018), A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building information modeling technologies. *Sensors*, 18(2), 436.
- Cheng, Jack CP, and Qiqi Lu. "A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide." *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* 20.27 (2015): 442-478.
- Cleveland, A. B. (2014). Handover Everywhere. *In Proc., Associated Schools of Construction 50th Annual Conference*.125-126
- Carvalho, B., Soares, M. M., Neves, A., Soares, G., & Lins, A. (2016). 9 Virtual Reality Devices Applied to Digital Games. *Ergonomics in Design: Methods and Techniques*, 125.
- Cheng, T., Teizer, J. (2012). Modeling tower crane operator visibility to minimize the risk of limited situational awareness. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(3).
- Chang, S. N., & Chen, W. L. (2017, May). Does visualize industries matter? A technology foresight of global Virtual Reality and Augmented Reality Industry. In *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)* (pp. 382-385). IEEE.
- Arup, 2019 <https://www.arup.com/perspectives/soundlab> Erişim tarihi:12.01.2019
- Clayton, M. J., Warden, R. B., & Parker, T. W. (2002). Virtual construction of architecture using 3D CAD and simulation. *Automation in Construction*, 11(2), 227-235.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & DeFanti, T. A. (1993). Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. *In Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 135-142). ACM.
- Dickinson, j. K., Woodard, p., Canas, r., Ahamed, s., & Lockston, d. (2011). Game-based trench safety education: development and lessons learned. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16(8), 119-134.
- Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 46, 82-93.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Du, J., Zou, Z., Shi, Y., & Zhao, D. (2018). Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *A in C*, 85, 51-64.
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2015). A survey of current status of and perceived changes required for BIM adoption in the UK. *Built Environment Project and Asset Management*, 5(1), 4-21.
- Earnshaw, R. A. (Ed.). (2014). *Virtual reality systems*. Academic press.
- Edirisinghe, R., & London, K. (2015). Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. *In 32nd CIB W78 Conference*.
- Enscape, 2019, <https://enscape3d.com/export-options-in-enscape/>
- El Kafhali, S., & Salah, K. (2018). Modeling and analysis of performance and energy consumption in cloud data centers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(12), 7789-7802.
- Erbaş, Ç., & Demirer, V. (2014). Eğitimde artırılmış gerçeklik uygulamaları: Google Glass örneği. *Journal of Instructional Technologies & Teacher Education*, 3(2).
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Eon icube. 2017. <https://www.eonreality.com/eon-icube/> Erişim tarihi:09.12.2018
- Fologram, 2019, [www.fologram.com](http://www.fologram.com) Erişim tarihi:01.03.2019
- Ferhat, S. (2016). Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik. *Trt Akademi*, 1(2), 724-746.
- <http://forgefx.com/access-equipment-aerial-work-platform-training-simulator/>
- Lee, S., & Akin, Ö. (2011). Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. *Automation in Construction*, 20(4), 338-352.
- Furht, B. (Ed.). (2011). *Handbook of augmented reality*. Springer Science & Business Media.
- Gigante-Barrera, A., Ruikar, D., Crunden, M., & Ruikar, K. (2017). LOD object content specification for manufacturers within the UK using the IDM standard.
- Gamma AR, 2018, <https://gamma-ar.com/> Erişim tarihi:01.06.2018
- Gammaconst, 2019 [https://www.gammaconst.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=33&Itemid=65](https://www.gammaconst.com/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=65) Erişim tarihi:11.03.2019
- Gutierrez, M., Vexo, F., & Thalmann, D. (2008). *Stepping into virtual reality*. Springer Science & Business Media.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Guo, H., LI, H., Chan, G., Skitmore, M. (2012). Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. *Accident Analysis Prevention*, 48, 204-213.
- Guo, H. L., Li, H., Li, V. (2013). VP-based safety management in large-scale construction projects: *A conceptual framework*. *Automation in Construction*, 34, 16-24.
- Guo, H., YU, Y., Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: *A review*. *Automation in Construction*, 73, 135-144.
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2011). Challenging electronic procurement in the AEC sector: A BIM-based integrated perspective. *Automation in Construction*, 20(2), 107-114.
- Graphisoft,2018 [https://www.graphisoft.com/archicad/partner\\_solutions/enscape/](https://www.graphisoft.com/archicad/partner_solutions/enscape/) Erişim tarihi:01.04.2019
- Iti, 2019 <https://www.iti.com/vr/aerial-work-platform-simulator> Erişim tarihi:19.05.2019
- Hammad, A., Wang, H., Mudur, S. P. (2009). Distributed augmented reality for visualizing collaborative construction tasks. *Journal of computing in civil engineering*, 23(6), 418-427.
- Hamzeh, F., Abou-Ibrahim, H., Daou, A., Faloughi, M., & Kawwa, N. (2019). 3D visualization techniques in the AEC industry: the possible uses of holography. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 24(13), 239-255.
- Huedo-Medina, T. B., Sánchez-Meca, J., Marín-Martínez, F., & BOTELLA, J. (2006). *Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I<sup>2</sup> index?*. *Psychological methods*, 11(2), 193.
- HUANG, X., & HINZE, J. (2003). *Analysis of construction worker fall accidents*. *Journal of construction engineering and management*, 129(3), 262-271.
- HUANG, T., KONG, C. W., GUO, H., BALDWIN, A., LI, H. (2007). A virtual prototyping system for simulating construction processes. *Automation in Construction*, 16(5), 576-585.
- Hockett, P., & Ingleby, T. (2016). Augmented reality with HoloLens: *Experiential architectures embedded in the real world*. arXiv preprint arXiv:1610.04281.
- Jonassen, D., Spector, M. J., Driscoll, M., Merrill, M. D., van Merriënboer, J., & Driscoll, M. P. (2008). *Handbook of research on educational communications and technology: a project of the association for educational communications and technology*. *Routledge*.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Kalisperis, L. N., Otto, G., Muramoto, K., Gundrum, J. S., Masters, R., & Orland, B. (2002). Virtual reality/space visualization in design education: the VR-desktop initiative. *Connecting the Real and the Virtual - design e-ducation [20th eCAADe Conference Proceedings]*. ISBN 0-9541183-0-8] Warsaw (Poland) 18-20 September 2002, pp. 64-71
- Kang, J., & Kuncham, K. (2014). BIM CAVE for 4D immersive virtual reality. *In Proceeding of the Creative Construction Conference 2014 (CCC 2014)* (pp. 568-574).
- Koch, C., Neges, M., König, M., & Abramovici, M. (2012). BIM-based augmented reality for facility maintenance using natural markers. *In Proceedings of the EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering*.
- Kim, H., & Ahn, H. (2011). Temporary Facility Planning of a Construction Project Using BIM (Building Information Modeling). *In Computing in Civil Engineering* (2011) (pp. 627-634).  
*Asceproceedings of the 2011 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*.
- Ku, K., & Mills, T. (2010). Research Needs For Building Information Modeling For Construction Safety. *In International Proceedings of Associated Schools of Construction 45nd Annual Conference*,
- Kempka, M., Wydmuch, M., Runc, G., Toczek, J., & Jaśkowski, W. (2016, September). Vizdoom: A doom-based ai research platform for visual reinforcement learning. *In 2016 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)* (pp. 1-8). IEEE.
- informationstrategysm,2019,https://informationstrategysm.wordpress.com/2015/10/16/future-of- ikea-augmented-reality/ Erişim tarihi:31.03.2019
- Leigh, J., Johnson, A., Renambot, L., Peterka, T., Jeong, B., Sandin, D. J., ... & Sun, Y. (2012). *Scalable resolution display walls*. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 115-129.
- Li, H., Chan, G., & Skitmore, M. (2012). Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology. *Automation in construction*, 22, 498-505.
- Jayaram, S., Connacher, H. I., & Lyons, K. W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *Computer-aided design*, 29(8), 575-584.
- Kayabaşı, Y. (2005). Sanal gerçeklik ve eğitim amaçlı kullanılması. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 4, 151-158.
- Orhan Ö., Sevil K., M. Kemal (2011). "Eğitimde Gerçekliğe Yeni Bir Bakış: Harmanlanmış ve Genişletilmiş Gerçeklik". <http://inet-tr.org.tr/inetconf16/bildiri/76.pdf>

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Ofluoğlu, S. (2017), BIM-enabled Sustainable Architectural Design Education. *A+ Arch Design International Journal of Architecture and Design*, 3.1.
- Pırnar, İ. (2005). Turizm Endüstrisinde E-Ticaret. *Ekonomik ve sosyal araştırmalar dergisi*.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Moran, D., Turner, J., & Jewkes, Y. (2016). Becoming big things: Building events and the architectural geographies of incarceration in England and Wales. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 41(4), 416-428.
- Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 27(3), 344-361.
- Park, C. S., KIM, H. J. (2013). *A framework for construction safety management and visualization system. Automation in Construction*, 33, 95-103.
- Rahimian, F. P., Arciszewski, T., & Goulding, J. S. (2014). Successful education for AEC professionals: case study of applying immersive game-like virtual reality interfaces. *Visualization in Engineering*, 2(1), 4.
- Ruppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced engineering informatics*, 25(4), 600-611.
- Sacks, R., & Barak, R. (2008). Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*, 17(4), 439-449.
- Sacks, R., & Pikas, E. (2013). Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11), 04013016.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). Understanding virtual reality. *San Francisco, CA: Morgan Kauffman*.
- Smith, P. (2014). BIM implementation–global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482-492.
- Somyürek, S(2014). Öğretim Sürecinde Z Kuşaağının Dikkatini Çekme: Artırılmış Gerçeklik Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 4 (1), 63-80.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2018). Understanding virtual reality: *Interface application, and design*.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. In Proceedings of the December 9-11, 1968, *fall joint computer conference, part I* (pp.757-764). ACM.
- Pachoulakis, I., & Kapetanakis, K. (2012). Augmented reality platforms for virtual fitting rooms. *The International Journal of Multimedia & Its Applications*, 4(4), 35.
- Pham, H. C., Pedro, A., Le, Q. T., Lee, D. Y., & Park, C. S. (2017). Interactive safety education using building anatomy modelling. *Universal Access in the Information Society*, 1-17.
- Sampaio, A. Z. (2018). Enhancing BIM Methodology with VR Technology. *State of the Art Virtual Reality and Augmented Reality Knowhow*, 59-7.
- Sıdanı, Adeeb, And João Santos Baptista(2017). "Relationship between the effectiveness of BIM methods and construction safety and health (Systematic Review)." *Doctoral Congress 2017*.
- Shalabi, F., & Turkan, Y. (2016). IFC BIM-based facility management approach to optimize data collection for corrective maintenance. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(1), 04016081.
- Teizer, J. (2016). Right-time vs real-time pro-active construction safety and health system architecture. *Construction Innovation*, 16(3), 253-280.
- Türkyılmaz, E. (2016). An Example Of BIM integrated into architectural curriculum. Teicholz, P. (2013). *Bim For Facility Managers*. John Wiley & Sons.
- Magg4, 2019, <https://magg4.com/sanal-gerceklik/> Erişim Tarihi:21.04.2019
- Martinez-Aires, M. D., Lopez-Alonso, M., & Martinez-Rojas, M. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety science*, 101, 11-18.
- Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J., Bargstädt, H. J. (2013). A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. *Construction Management and Economics*, 31(6), 661-674
- Nicał, A. K., & Wodyński, W. (2016). Enhancing facility management through BIM 6D. *Procedia engineering*, 164, 299-306.
- Nbww, 2019, <http://nbww.com/morpholio-ar-sketchwalk-brings-floor-plans-into-the-real-world/> Erişim tarihi:01.04.2019
- <https://www.prnewswire.com/news-releases/insitevr-announces-vr-meeting-integration-for-BIM-360-300824419.html>
- Sensortower, 2019, <https://sensortower.com/ios/us/laan-labs/app/airmeasure-ar-tape-ruler/1251282152/overview>

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

31. Steel, J. Drogemuller, R. Toth, B. Model interoperability in building information modeling. *Journal Software and Systems Modeling*. 2012
- SmartReality, 2018, <https://smartreality.co/>
- Teo, A. L. E., Ofori, G., Tjandra, I. K., Kim, H. (2016). *Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. Construction Economics and Building*, 16(4), 1-1.
- Teicholz, E. (2004). Bridging the AEC technology gap. *Ifma Facility Management Journal*, 587, 588.
- Thornton, T., Ernst, J. V., & Clark, A. C. (2012). Augmented reality as a visual and spatial learning tool in technology education. *Technology and Engineering Teacher*, 71(8), 18-21.
- technologyreview, 2019 <https://www.technologyreview.com/s/526531/oculus-rift/trimble>, 2019, Erişim Tarihi: 01.02.2019
- Mixedreality, 2019, <https://mixedreality.trimble.com/> Erişim tarihi: 11.05.2019
- Üstün, U., & Eryılmaz, A. (2014). Etkili araştırma sentezleri yapabilmek için bir araştırma yöntemi: Meta-analiz. *Eğitim ve Bilim*, 39(174).
- Visidraft. Visidraft: Augmented Reality for Visualizing CAD Designs. 2017. <http://www.architectmagazine.com/videos/visidraft-augmented-reality-for-visualizing-cad-designs> Erişim tarihi: 03.09.2019
- Vince, J. (2004). Introduction to virtual reality. *Springer Science & Business Media*.
- Viatechnik. 50 Virtual Reality Technologies in Architecture and Engineering. 2017, <https://www.viatechnik.com/resources/50-virtual-reality-technologies-in-architecture-engineering-and-construction/> Erişim tarihi: 16.10.2017
- Wakingapp, 2019, <https://www.wakingapp.com> Erişim tarihi: 15.03.2019
- Virtualrealityreviewer, 2019, <http://www.virtualrealityreviewer.com/toshiba-head-dome-projector/> Erişim tarihi: 21.04.2018-9
- Worksite, 2019, <https://www.worksitevr.com/Komatsu/index.shtml> Erişim tarihi: 11.01.2019
- Waly, A. F., & Thabet, W. Y. (2003). A virtual construction environment for preconstruction planning. *Automation in Construction*, 12(2), 139-154.
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., & Xu, B. (2014). Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. *Construction Innovation*, 14(4), 453-476.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Wang, X., TRUIJENS, M., HOU, L., WANG, Y., ZHOU, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96-105.
- Whyte, J. (2007). *Virtual reality and the built environment*. Routledge. Weir Katherine, 2019.,<https://www.khl.com/international.construction/future-equipment-construction-2029/137112.article>) Erişim tarihi: 03.09.2019
- Yakut, A., & Akbıyıklı, R. (2013). İşçi sağlığı ve güvenliği yönetimi ile toplam kalite yönetimi sistemleri veri analizi incelemesi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(1), 97-103.
- Zhang, c., Hammad, a., Chen, j., yang, y. (2013). Experimental investigation of using RFID integrated BIM model for safety and facility management. *In Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*.
- 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-
- Zhou, W., Whyte, J., Sacks, R. (2012). *Construction safety and digital design: A review*. *Automation in Construction*, 22, 102-111.
- Zou, Y., Kiviniemi, A., Jones, S. W. (2017). *A review of risk management through BIM and BIM-related technologies*. *Construction management and economics*, 97, 88-98.
- Zou, P. X., Lun, P., Cipolla, D., & Mohamed, S. (2017). Cloud-based safety information and communication system in infrastructure construction. *Construction management and economics*, 98, 50-69.



## ÖZ GEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammed GENÇ  
Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA / 31.03.1984

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gazi Üniversitesi  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilimsel Faaliyetleri :

- Genç, M., Kandemir SY (2019 Mayıs) 4D Bim Tabanlı İş Sağlığı Ve Güvenliği Uygulamalarında Sanal Gerçeklik Ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Yeri. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON),Cilt II, 1754-1760
- Genç, M., Kandemir SY (2019 Mayıs) Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı İş Sağlığı Ve Güvenliğine Dönük Son Dönem Uygulamalar. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON),Cilt II,1713-1717

### İş Deneyimi

Stajlar : 2008-2009 Utku Yapı Denetim Ltd şti. (Ankara)  
Projeler :  
Çalıştığı Kurumlar : 2009-2012 İl Özel İdaresi/Plan Pro. Yat. Servisi (Kars),  
2012-2019 İçişleri Bakanlığı, (Eskişehir, Bilecik)

### İletişim

Adres :Dumlupınar Mah. 5. Sokak Özel İdare Yerleşkesi,  
Merkez/BİLECİK  
E-Posta Adresi : muhammed.genc@bilecik.edu.tr

**Tarih:** 04/10/2019