

**İNŞAAT PROJELERİNDE DÜŞME RİSKİNE KARŞI BİR BIM VE
ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK(AG) UYGULAMASI ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve AKSU

Enformatik Anabilim Dalı

Mimari ve Kentsel Enformatik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU

HAZİRAN 2020

Merve AKSU tarafından hazırlanan İNŞAAT PROJELERİNDE DÜŞME RİSKİNE KARŞI BİR BIM VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK(AG) UYGULAMASI ÖNERİSİ adlı bu tezin tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Anabilim Dalında tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili esere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

ÖNSÖZ

Araştırmam boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, sabır ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Salih Ofluoğlu'na, bu süreçte beni motive ederek yanımda olan Doç. Cem Kara'ya, tez kapsamında üretilen mobil uygulamanın yazılım aşamasında bana destek olan sevgili arkadaşım Ramin Rasulzade'ye, herşeyden önce yüksek lisans eğitimime başlama sebebim olan babam Fahrettin Aksu ve her daim bana moral veren annem Gülşen Aksu'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Merve AKSU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı Ve Önemi.....	3
1.2 Hipotez	5
1.3 Varolan Çalışmalar	5
1.4 Araştırma Metodu.....	9
1.5 Tez Özeti	9
2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE İŞ GÜVENLİĞİ	11
2.1 İş Güvenliği Kavramı	12
2.1.1 Dünya’da İş Sağlığı Ve Güvenliği	13
2.1.2 Türkiye’de İş Sağlığı Ve Güvenliği	15
2.2 İş Kazası Kavramı	16
2.2.1 İnşaat Sektöründe İş Kazaları Ve Sınıflandırılması	17
2.2.2 İnşaat Sektöründe İş Kazaları Ve Nedenleri	20
2.2.3 İnşaat Sektöründe İş Kazalarından Doğan Masraf Ve Kayıplar	21
2.2.4 İnşaat Sektöründe İş Kazalarını Önlemeye Yönelik Çalışmalar Ve Teknolojiler	22
3. BİNA BİLGİ MODELLEME (BIM) VE İŞ GÜVENLİĞİ AMAÇLI KULLANIMI	27
3.1 BIM (Building Information Modeling)	29
3.1.1 BIM Uygulama Alanları	34
3.2 BIM- İş Güvenliği Entegrasyonunda Mevcut Çalışmalar	37
4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK (AG) VE İŞ GÜVENLİĞİ AMAÇLI KULLANIMI	52
4.1 Artırılmış Gerçeklik(AG) Teknolojisi	53
4.1.1 Artırılmış Gerçeklik(AG) – Bina Bilgi Modelleme(BIM) Entegrasyonu	54
4.1.2 Artırılmış Gerçeklik(AG) Teknolojisi Bileşenleri.....	58
4.1.2.1 Donanımlar.....	70
4.1.2.2 Yazılımlar.....	72
4.2 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik (AG)	75
4.2.1 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik (AG) Uygulamaları.....	76
4.2.2 İş Güvenliği Artırılmış Gerçeklik (AG) Uygulamaları.....	78
5. İNŞAAT PROJELERİNDE DÜŞME RİSKİNE KARŞI BİR BIM VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK (AG) ÖNERİSİ.....	83
5.1 Uygulamanın Hedefi ve Kapsamı	84
5.2 Uygulamanın Yazılımsal ve Donanımsal Altyapısı	86

5.3 Uygulamanın Çalışma Sistemi	90
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ.....	115



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Sık Rastlanan İş Kazası Tiplerinin Dağılımı. (Kazaz ve ark, 2016).....	18
Şekil 2.2 İş Kazalarının Nedenleri.(Gök, 2018).....	20
Şekil 2.3 İş Kazalarında Dolaylı Nedenlerden Örnekler.(Aslan ve ark, 2012).....	21
Şekil 3.1 Bina Bilgi Modelleme (BIM) , URL-2	30
Şekil 3.2 BIM Duvar Family, MuuM Mimarlık	31
Şekil 3.3 İş Birliğindeki Temel Disiplinler	32
Şekil 3.4 BIM Boyutları, URL-3	34
Şekil 3.5 BIM Kullanım Alanları.....	35
Şekil 3.6 BIM Konsept Model, MuuM Mimarlık.....	36
Şekil 3.7 BIM Tabanlı Güvenlik Tasarımı (Kamardeen, 2010)	42
Şekil 3.8 Otomatik Kural Tabanlı Güvenlik Sistemi (Zhang ve ark, 2011)	44
Şekil 3.9 Otomatik Kural Tabanlı Güvenlik Sistemi (Zhang ve ark, 2011)	45
Şekil 3.10 Otomatik Döşeme Kenarı Koruması (Zhang ve ark, 2015).....	46
Şekil 3.11 Korkuluklara Ait Sanal Ve Gerçek Görünüşler (Zhang ve ark, 2015)	47
Şekil 3.12 Güvenlik Tasarımı İçin Kodlama Sistemi (Hongling ve ark, 2016).....	48
Şekil 3.13 Otomatik Kural Bazlı, Güvenlik Sistemi (Hongling ve ark, 2016)	49
Şekil 3.14 Güvenlik Önlemlerinin Görselleştirilmesi (Hongling ve ark, 2016)	49
Şekil 3.15 AFSR Aracı (Tekbaş & Güven).....	50
Şekil 3.16 Autodesk Revit Güvenlik Önlemleri (Tekbaş & Güven)	50
Şekil 3.17 Güvenlik Önlemleri Ve Uyarılar (Brownrigg, 2012)	51
Şekil 3.18 Risk Seviyelerinin 4B Simülasyonu (Collins ve ark, 2014)	52
Şekil 3.19 Sanal Gerçeklik Eğitim Modülü, URL-6.....	53
Şekil 4.1 Gerçeklik Uygulamalarının Gruplandırılması, İçten ve ark, 2017)	55
Şekil 4.2 Karma Gerçeklik (Milgram & Kishino, 1994)	55
Şekil 4.3 Sensorama Makinası Ve Teknik Çizimleri , URL-7.....	56
Şekil 4.4 BIM, Karma Gerçeklik, Yalın İnşaat (Alizadehsalehi ve ark, 2019)	60
Şekil 4.5 Multi Disipliner Yalın Tasarım Süreci (Tokat, 2005)	61
Şekil 4.6 BIM, Yalın İnşaat, Karma Gerçeklik (Alizadehsalehi ve ark, 2019)	62
Şekil 4.7 BIM Sunucusu için AG arayüzü (Wang ve ark, 2019).....	63
Şekil 4.8 BIM- AG Çalışma Sistemi (Williams ve ark, 2015)	64
Şekil 4.9 AG Kullanıcı Arayüzü (Williams ve ark, 2015).....	64
Şekil 4.10 D ⁴ AR Çalışma Sistemi (Mani ve ark, 2009).....	65
Şekil 4.11 BIM-U AG Uygulaması (Zaher ve ark, 2018).....	66
Şekil 4.12 AR4C Mobil Uygulaması (Ratajczak ve ark, 2019).....	67
Şekil 4.13 İşaretçi Algoritması (İçten ve ark, 2017)	69
Şekil 4.14 İşaretçisiz AG, URL-8	70
Şekil 4.15 HMD Örnekleri URL-9 ve URL-10	71
Şekil 4.16 Dijital Gözlük ve Biyonomik Lens (Gülel, 2018)	71
Şekil 4.17 AG Yazılım Geliştirme Araçları (Kurtuluş, 2019 & Köymen, 2014)	74
Şekil 4.18 Sketchand+ Çalışması (Seichter H., 2002)	76
Şekil 4.19 Parametrik modellere ait AG uygulaması (Köymen, 2014)	77
Şekil 4.20 IKEA Artırılmış Gerçeklik Uygulaması , URL-12.....	78
Şekil 4.21 AG/SG ve İnşaat Güvenliği (CS) (Li ve ark, 2018)	79
Şekil 4.22 AG/SG ile İş Güvenliği Eğitimi (Le ve ark, 2015).....	80
Şekil 4.23 Pro-Vis AR Mobil Uygulaması (Ahmed, 2019).....	81
Şekil 4.24 ARTS Çalışma Sistemi (Wang ve ark, 2007).....	81

Şekil 5.1 Uygulamanın Oluşum Şeması	86
Şekil 5.2 Model Kontrol Şeması	92
Şekil 5.3 Manifold Geometri Gösterimleri	92
Şekil 5.4 Autodesk Revit Modeli ve Güvenlik Önlemleri	93
Şekil 5.5 Kullanıcı Arayüzü	94
Şekil 5.6 Kullanıcı Arayüzü (Şekil 5.5 devamı)	95
Şekil 5.7 Uygulamaya Ait Arayüz Şeması	96
Şekil 5.8 Örnek Uygulama	97
Şekil 5.9 Örnek Uygulama (Şekil 5.8 devamı)	98



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Risk Oranlarına Göre Kaza Tipleri., (Müngen, 2011).....	19
Çizelge 2.2 : ‘İnsan Düşmesi’ Kaza Tipi Alt Grupları Dağılımı., (Müngen, 2011)	19
Çizelge 2.3 : Teknolojinin Güvenlikteki Potansiyel Kullanımları., (Karakhan ve ark, 2019)	25



KISALTMALAR

BIM	: Building Information Modeling
AR	: Augmented Reality
AG	: Artırılmış Gerçeklik
VR	: Virtual Reality
SG	: Sanal Gerçeklik
ICT	: Information And Communication Technologies
İSG	: İş Sağlığı Ve Güvenliği
İSİG	: İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği
NBS	: National Building Specification
RIBA	: Royal Institute Of British Architects
HSE	: Health, Safety, Environment
ILO	: International Labour Organization
WHO	: World Health Organization
CIS	: The International Occupational Safety and Health Information Centre
ISSA	: The International Social Security Association
OSHA	: Occupational Safety And Health Administration
OHSAS	: Occupational Health And Safety Assessment Systems
NIOSH	: National Institute of Occupational Safety and Health
HSC	: Health And Safety Commission
BOHS	: British Occupational Hygiene Society
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
4B	: Dört Boyutlu
H&S	: Health And Safety
JHA	: Job Hazard Analysis
IFC	: Industry Foundation Classes
GIS	: Geographic Information System
RIBA	: Royal Institute of British Architects
NBS	: National Building Specification
CDM	: Construction Design Management
CPM	: Construction Project Management
BSI	: British Standards Institution
APS	: Association for Project Safety
DfS	: Design for Safety
PtD	: Prevention through Design
WBS	: Work Breakdown Structure
RFID	: Radio Frequency Devices
LADAR	: Laser Detection And Ranging
RADAR	: Radio Detection And Ranging
UWB	: Ultra Wide Band
IMU	: Inertial Measurement Unit
GPS	: Global Positioning System
GNSS	: Global Navigation Satellite System
VC	: Vision Cameras
QR	: Quick Response

ECG/EKG	: Electrocardiogram
EMG	: Electromyography
GSR	: Galvanic Skin Response
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
PHA	: Preliminary Hazard Analysis
HMD	: Head Mounted Display
GUID	: Globally Unique Identifier
IoT	: Internet of Things
API	: Application Programming Interfaces
Nurbs	: Non- uniform rational basis spline



İNŞAAT PROJELERİNDE DÜŞME RİSKİNE KARŞI BİR BIM VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK (AG) UYGULAMASI ÖNERİSİ

ÖZET

Günümüzde inşaat sektörü incelendiğinde, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BIT) kullanımı açısından diğer sektörlerle göre yetersiz kaldığı görülmektedir (Dehlin & Olofsson, 2008). İnşaat sektörünün gelişen teknoloji ile entegre olamaması durumunda proje tasarımı, yapımı ve yönetiminde birçok problem ortaya çıkabilmektedir. Bu noktada inşaat proje süreçlerinin otomasyonu ve maliyet kayıplarının önlenmesi için bu alandaki çalışmaların geliştirilmesi gerekmektedir.

İnşaat sektörü iş güvenliği açısından incelendiğinde ise diğer sektörlerle göre daha fazla riskli durum barındırmaktadır. İnşaat sektöründe, iş güvenliği risk analizleri, gelişen teknolojiye karşın genel olarak 2B çizimler üzerinden yapılmaktadır. Büyük ölçekli projelerde ise riskleri 2B çizimler üzerinden kontrol etmek, risklerin görünürlüğünü azaltmaktadır. Son dönemlerde bu sorunları çözmek için iş güvenliği önlemlerinin otomasyonu BIM (Building Information Modeling) ile entegre bir şekilde planlanmaya başlamıştır.

BIM çalışma biçimi ile proje tasarım, yapım ve bakım süreci planlanabilir ve kontrol edilebilir bir seviyeye gelmiştir. Bir projenin BIM modeli projeye ait çizimleri, 3B grafikleri, malzeme ve detay bilgilerini, metraj listelerini içermektedir. BIM tasarım evresinden başlayarak yapım, tesis ve bakım aşamasına kadar birçok disiplinin bir arada çalışmasına da olanak veren ortak bir paylaşım platformu oluşturmaktadır.

BIM çalışma biçimi ile iş güvenliği entegrasyonu incelediğinde; inşaat proje alanlarının, proje çalışanları için tehlikeli koşullar oluşturduğu görülmektedir. Projenin başından itibaren sahadaki olası tehlikeler belirlendiğinde ise, alınacak olan önlemler ile risklerin azaltılması söz konusudur. BIM çalışma ortamında, projenin başında üretilecek olan güvenlik bilgileri ile birlikte güvenli bir inşaat sahası oluşturulabilmektedir.

Son dönemlerde BIM çalışma biçimi, görselleştirme teknolojileri kapsamına giren Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) uygulamaları ile birlikte inşaat projelerinin tasarım ve yapım süreçlerine dahil edilmektedir. AG ve SG uygulamaları ile birlikte proje yapım aşamasında kontrol süreçleri iyileştirilebilmekte ve projeye ait bilgilere gerçek zamanlı erişim sağlanabilmektedir.

BIM çalışma biçimi aynı zamanda, bir projenin tasarımından yapımına kadar, projenin performansını arttırmaya yönelik planlama ve kontrol etme yöntemi olan Yalın İnşaat (Lean Construction) prensibini de desteklemektedir. BIM çalışma biçimi ile birlikte kullanılan Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik gibi görselleştirme teknolojileri zamandan kazanç sağlarken; iş kazalarını önlemeye yönelik olarak kullanıldığında projeye ait kayıpları engellediği için Yalın İnşaat uygulamaları açısından da önemlidir.

Bu tez çalışması, inşaat projelerinde en sık rastlanan iş kazalarından biri olan düşme riskine karşı BIM tabanlı bir mobil uygulama önermektedir. Geleneksel iş güvenliği önlemlerinin yerine proje paydaşlarının dahil olabildiği bir süreç planlanmaktadır.

BIM tabanlı bir proje modeli üzerinde risk taşıyan bölgeler ve önlemler belirlenerek Artırılmış Gerçeklik (AG) ile görselleştirilerek risklerin algılanabilirlik seviyesini arttırmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler :

Bina Bilgi Modellemesi (BIM), İş Güvenliği, Düşme Riski, Artırılmış Gerçeklik (AG), Artırılmış Gerçeklik (AG) Mobil Uygulamaları, BIM / AG Entegrasyonu



THE PROPOSAL OF BIM AND AUGMENTED REALITY (AR) APPLICATION FOR THE FALL RISK IN CONSTRUCTION PROJECTS

ABSTRACT

Nowadays, when the construction sector is analyzed it is seen that utilization of Information and Communication Technologies (ICT) is inadequate compared to other sectors (Dehlin & Olofsson, 2008). In case the construction industry cannot integrate with developing technology, many problems may arise in project design, construction and management. At this point, studies in this field should be developed for automation of construction project processes and prevention of cost losses.

When the construction sector is examined in terms of work safety, it has more dangerous situations compared to other sectors. Work safety risk analyzes in the construction sector, are typically generated through 2D drawings, despite developing technology. In the case of large-scale projects, controlling risks through 2D drawings reduces the visibility of risks. Recently, in order to solve these problems, BIM (Building Information Modeling) has started to be planned in an integrated way with the automation of work safety measures.

The project design, construction and maintenance processes have reached a planned and controllable level with the BIM working model. The BIM model of a project includes technical drawings, 3D graphics, material and detail information, and bill of quantities of the project. Starting from the design phase, BIM creates a common sharing platform that allows many disciplines to work together, including construction, installation and maintenance.

When BIM working model and work safety integration examines, it is seen that construction project areas create dangerous conditions for project workers. When possible hazards are identified in the field from the beginning of the project, it is possible to reduce the risks with the measures taken. In BIM working environment, a safe construction site can be created with safety information to be produced at the beginning of the project.

Recently, the BIM working model has been included in the design and construction processes of projects with Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) applications, which are within the scope of visualization technologies. With the AR and VR applications, control processes can be improved during the project construction phase and real-time access to the project information can be provided.

BIM working model also supports the Lean Construction principle, which is the method of planning and controlling to improve the performance of a project, from the design phase to the construction process. Visualization technologies such as Augmented Reality and Virtual Reality, used in collaboration with BIM working model, save time; they are also important in terms of Lean Construction applications since they prevent the losses of the project when used to avoid work accidents.

This thesis study proposes a BIM-based mobile application against the risk of falling, which is one of the most common work accidents in construction projects. A process involving project stakeholders is planned with this mobile application instead of traditional work safety measures. It is aimed to increase the perceptibility level of the risks to be visualized with Augmented Reality (AR) by determining the regions and measures that carry the risk on a BIM based project model.

Keywords :

Building Information Modeling (BIM), Occupational Safety, Fall Risk, Augmented Reality (AR), Augmented Reality (AR) Mobile Applications, BIM / AR Integration



1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, diğer sektörler ve ülke ekonomileri ile olan bağlantısı ile giderek büyüyen ve en çok istihdam sağlayan sektörlerden biri durumuna gelmektedir. Bu büyümeyle birlikte, inşaat sektöründe yenilikçi çalışma biçimleri ve güvenlik konuları gündeme gelmektedir.

Bilişim teknolojilerinin kullanıldığı çalışmaların sayısının, her alanda giderek arttığı günümüzde, inşaat sektörü de, bu alanlar arasında yerini almaya başlamaktadır. İnşaat sektöründe artan proje sayısı ve buna bağlı olarak artan çalışan sayısı ile birlikte, planlama ve kontrol çalışmalarının yetersiz kalması, bilişim teknolojilerinin kullanımını gerekli duruma getirmektedir.

Diğer sektörlerle kıyasla inşaat sektörü, 3B sanal ortamların ve mobil uygulamaların kullanımını içeren çalışmalar açısından henüz yetersiz kalmaktadır. Yakın geçmişte işverenler ve inşaat şirketleri açısından yüksek bütçe ve zaman gerektirdiği düşünüldüğü için, bu alandaki çalışmalara, yeteri kadar önem verilmemekteydi, fakat günümüzde yapılan çalışmalar, bu durumun tersi olarak, teknolojinin zaman ve maliyet kazancı sağladığını göstermeye başlamaktadır.

İnşaat sektöründe, kullanımını giderek artan BIM (Building Information Modeling) çalışma sistemi ile birlikte, bir projeye ait bilgiler, tasarımdan, yapım ve tesis yönetimi aşamasına kadar tüm aşamalarda, tek bir çalışma ortamında bulunmaktadır. BIM, proje performansını artırması, zaman ve maliyet kayıplarının da önüne geçmesi sebebiyle günümüzde en umut verici yeni teknoloji sistemidir (NBSP Komitesi, 2007).

Bir projenin tüm aşamalarının sorunsuz bir şekilde sürdürülebilmesi için, mimarlık, mühendislik gibi proje disiplinleri arasındaki iletişimin kesintisiz ve anlaşılabilir olması önem taşımaktadır. Geleneksel proje süreçlerinde, sadece iki boyutlu (2B) çizimlerin kullanılmasının sonucu olarak, zaman, maliyet kaybı ve proje hataları meydana gelmektedir. BIM çalışma sisteminde ise, oluşturulan 3B bilgi modeli ile, projenin tüm bileşenlerine ait bilgi ortak bir modelde yer almaktadır.

Bilişim teknolojilerinin kullanımının artmasıyla birlikte, BIM ve yalın inşaat giderek daha yaygın olarak kullanılmakta ve birbirleriyle olan etkileşimleri artmaktadır. İki kavram da maliyeti minimuma indirme, verimliliği artırma ve değer üretimini maksimize etme gibi temel prensiplere sahiptir. Bu nedenle, iki kavramın birlikte kullanılmasının daha etkin olacağı düşünülmektedir (Yongge & Cheng, 2014).

BIM çalışma biçimi, bilgi toplama, depolama, analiz etme ve yönetme gibi proje performansını arttıran ve kayıpların önüne geçen uygulamaları içermekte olduğu için Yalın İnşaat prensipleri içerisinde yer alan proje süreçleri sunmaktadır (Alizadehsalehi ve ark, 2019).

Büyümekte olan inşaat sektörünün en önemli problemlerinden biri iş güvenliğidir ve inşaat sektörü diğer sektörler gibi yüksek risk faktörleri içermektedir. Bunun sebebi iş güvenliğinin, proje tasarım sürecine dahil edilmemesi ve proje evrelerinden bağımsız olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, teknolojik çalışmaların yetersiz kullanımı da yer almaktadır (Karakhan ve ark, 2019). İş güvenliği eğitimi konu alan araştırmalar incelendiğinde, proje sürecinde, 2B çizimler üzerinden verilen yazılı ve sözlü eğitimlerin yetersiz olduğu ve kalıcılık oranının düşük olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Bostan, 2012).

Geleneksel iş güvenliği yöntemlerinin yetersiz olmasından dolayı, inşaat sektöründeki iş güvenliği önlemlerine dair çalışmalar giderek artmaktadır. BIM çalışma sistemi ile iş güvenliğinin entegrasyonu son dönemlerdeki çalışmalar arasındadır. Projenin tasarım aşamasında, projeye ait riskli durumların belirlenmesinin, ilerleyen süreçlerdeki kaza ve maliyet kayıplarının önüne geçeceği düşünülmektedir.

BIM çalışma biçimi, farklı uygulamalar ile birlikte çalışabilmekte ve birçok görselleştirme teknolojisine entegre olabilmektedir. Günümüzde farklı alanlarda kullanılmakta olan Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisi de, BIM modelinin gerçek ortamda, gerçek zamanlı olarak görselleştirilmesini sağlayan uygulamalardan birisidir.

AG teknolojisinin, inşaat ve mimarlık sektöründe, görselleştirme, eğitim, sunum gibi amaçlarla kullanılmasının yanı sıra, iş güvenliğinde de risklerin simülasyonu ve iş güvenliği eğitimlerindeki kullanımları yer almaktadır. İş güvenliği ve bilişim teknolojilerini içeren çalışmalar, AG teknolojisinin, iş güvenliği alanında, risklerin azaltılmasında etkili olduğu yönündedir (Li ve ark, 2018).

İnşaat sektöründe iş kazalarına ait analizler incelendiğinde ise, proje sahalarında en sık rastlanan kaza tipi olarak, tez çalışmasının da konusu olan düşme tehlikesi yer almaktadır. İş güvenliği önlemlerinde, alınması gereken birçok önlem yazılı olarak bulunmaktadır fakat uygulama aşamasına geçildiğinde bu önlemler ikinci planda kalmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, BIM, Artırılmış Gerçeklik (AG) ve iş güvenliği başlıklarına dair literatür taramasında gözlemlenen, inşaat projelerinde büyük kayıplara sebep olan ve en sık rastlanma oranına sahip olan düşme riskine karşı, BIM tabanlı bir çalışma çerçevesi önerilmektedir. BIM tabanlı çalışma çerçevesinde, düşme riski taşıyan bölgeler için alınacak olan önlemler belirlenip, sonrasında AG görselleştirme teknolojisi kullanılarak, gerçek zamanlı bir proje deneyimi sunulurken, bu konudaki farkındalığın artması amaçlanmaktadır.

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ

İnşaat endüstrisi günümüzde birçok sektörü bir araya getirmekte ve büyük oranda istihdam sağlamaktadır. Sektör olarak çalışan yoğunluğunun fazla olmasıyla birlikte ölümcül iş kazaları yüksek oranda görülmektedir.

İnşaat projelerinde, inşaat şirketlerinin ve işverenlerin, inşaat çalışanları için, iş yerindeki çevresel koşulları optimize etmesi ve mesleki riskleri ortadan kaldırması gerekmektedir. Bu durumda, risk yönetimi ve iş güvenliği kavramları gündeme gelmektedir.

Türkiye’de ve Dünya’da iş güvenliği kavramı incelendiğinde sağlık ve güvenlik açısından belirli standart ve önlemleri içeren çalışma koşullarının proje sürecini olumlu yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Bilişim teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, tüm yapı bileşenlerini ve bu yapı bileşenlerine ait bilgileri içeren çalışma sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu çalışma sistemlerinden biri olan BIM çalışma sistemi projenin tasarımı ve saha güvenliğine kadar birçok parametreyi belirlemek için kullanılmaktadır.

Yapı sektörünün en büyük problemlerinden biri olan iş güvenliği planlaması, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, inşaat sektöründeki iş kazaları için alınan mevcut önlemler incelenmiş ve iş güvenliği önlemlerinin gelişmekte olan

teknolojiyle paralel olarak ilerlemediği ve hayati önem taşıyan bir alan olduğu için geliştirilmesi gereken bir alan olduğu düşünülmektedir.

İnşaat çalışanlarının, bedensel, psikolojik ve sosyal güvenlik koşullarının iyi bir seviyede bulunması açısından, diğer iş güvenliği çalışmaları gibi, bu çalışma da katkıda bulunmaktadır. Tez çalışmasında, proje tasarımından, yapım aşamasına kadar, inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılmakta olan BIM çalışma biçimi ile projenin yapım aşamasında en sık rastlanan kaza tipi olan düşme riskine karşı, iş güvenliği bilgisi içeren BIM tabanlı bir çerçeve oluşturulmaktadır. Bu sayede iş güvenliği önlemleri bina yaşam döngüsüne dahil edilebilmekte ve Yalın İnşaat ilkelerine uygun proje süreçleri oluşarak, proje sürecindeki kayıpların önüne geçilmektedir.

Bu çalışmadaki güvenlik bilgileri, ilerleyen süreçlerde başka projelerde de uygulanmak üzere, BIM uygulama planına eklenen iş güvenliği alt başlığı içerisinde yer alarak proje sürecine dahil edilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Proje mimarları tarafından belirlenen düşme riski taşıyan bölgeler, yönetmeliklere göre alınacak olan önlemler ile uygulama planına eklenebilmektedir.

Gelişmekte olan uygulamalar, mimari modellerin görselleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu tez çalışmasında, bu uygulamalardan son zamanlarda inşaat sahalarında yaygın olarak kullanılan Artırılmış Gerçeklik (AG) mobil uygulaması ile BIM görselleştirmesi yapılmaktadır. AG kullanımı, BIM modelinden bilgi alma sürecini kısaltmak, bilgi erişimini ve kullanımını kolaylaştırmak için kullanılabilecek bir teknoloji olarak önerilmektedir (Alizadehsalehi ve ark, 2019).

Tez çalışmasında, bir mobil AG uygulaması geliştirilmiş ve inşaat sahalarında BIM modeli üzerinde belirlenen düşme riski önlemleri, bu mobil uygulama sayesinde görselleştirilip, bilgiye erişim arttırılmaktadır.

İnşaat projelerinde yapım aşamasında en sık rastlanan kaza tipi olan düşme riskinin görünürlüğünün artması ve önlemlerin otomatikleştirilerek kaza risklerinin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Bu çerçeve diğer risk faktörlerine odaklanan çalışmalarda da kullanılabilir.

Tez çalışması kapsamında, BIM çalışma sistemi ile oluşturulmuş bir 3B model üzerinden, günümüzde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmakta olan Artırılmış Gerçeklik (AG) görselleştirme uygulaması ile yapı sektöründe en sık rastlanan iş kazalarından biri olan düşme riskine karşı farkındalığın arttırılması amaçlanmıştır. Bu

araştırmada farkındalığın yanı sıra farklı ölçeklerdeki mimari projelerde düşme riskine karşı güvenlik önlemlerinin alınması ve risklerin görünürlüğünün artırılması amaçlanmıştır.

1.2 HİPOTEZ

Bu tez çalışması, bir yapıya dair planlanan tüm süreçle birlikte sahadaki iş güvenliğinin de tasarlanabilir olduğunu göstermeyi amaçlamıştır. Klasik iş güvenliği önlemlerinde sadece iş güvenliği uzmanları tarafından planlanan sürece, bu çalışma çerçevesinde olduğu gibi, tüm proje paydaşlarının katılımının daha verimli bir proje süreci oluşturacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma çerçevesinde ele alınan düşme riski dışında sahada birçok iş kazası riski oluşmaktadır. Bu çalışma ile yapı sektöründe meydana gelen diğer iş kazaları için de gelecekte benzer çalışmalar yapılabileceği vurgulanmak istenmiştir. Bu araştırma, BIM-AG entegrasyonunun projelerde risklerin gerçekliğini artırarak farkındalık oluşturacağını ve iş güvenliği süreçlerinin BIM süreçlerine entegre edilebileceğini öne sürmektedir. Aynı zamanda projenin tasarım aşamasında, proje ekibi, risk bölgelerinin belirlenmesi ve alınacak olan önlemlerin 3B modelleme süreçlerine dahil olacağı için, proje ekibi açısından bu sürecin bilgilendirme sağlayacağı düşünülmektedir. İkinci olarak ise, mobil cihazlarda yer alan uygulamanın tüm proje ekibi tarafından kullanılması aracılığıyla, projeye ait interaktif bir AG deneyimi amaçlanmaktadır.

1.3 VAROLAN ÇALIşMALAR

Genel olarak bakıldığında geçmişte ve günümüzde iş güvenliği ve BIM destekli AG çalışmalarına ait bilimsel kaynakların az sayıda olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, BIM tabanlı proje risk analizleri ve AG/SG görselleştirme uygulamaları ile entegre proje modeline ait bilgilerin görselleştirildiği ya da iş güvenliği eğitimlerini çalışmalar yer almaktadır.

BIM-AG entegrasyonu genellikle mimari projelerde sunum aşamasında ya da proje yapım aşamasında modele ait bilgileri edinmede kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişmekte olan Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik uygulamaları ile birlikte mimari alanda birçok çalışma yapılmıştır. Bu uygulamalar ilk dönemlerinde mimari

proje sunumlarında kullanılmasına karşın son dönemlerde proje yapım aşamasında ve tesis yönetiminde de kullanılır duruma gelmiştir.

BIM ve iş güvenliği entegrasyonu, genel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi, PtD (Prevention through Design) olarak tanımlanan, tasarım aşamasında iş güvenliği önlemlerinin alınması veya tasarımın bu yönde şekillendirilmesi, ikincisi ise sahada, inşaat işleri sırasında kontrol ve izlemeye dayalı önlemlerdir. Yukarıda yer alan örnekler genellikle PtD olarak tanımlanmaktadır. İş güvenliği için , hem tasarımla önleme hem de proje yapım sırasında kontrol gerekmektedir.

Bununla birlikte, bağımsız bir araç olarak BIM tek başına, şantiyeden gerçek zamanlı veriler elde edemez, tehlikeli bölgeleri belirleyemez, çalışanları izleyemez, denetleyemez, eğitemez ve teftişe yardımcı olamaz. Gerçek zamanlı verilerin elde edilmesine yardımcı olmak için, sensörler ve izleme cihazları gibi bazı teknolojiler yerinde kullanılmaktadır (Sidani ve ark, 2018). Bu teknolojiler sensör bazlı teknolojiler olarak adlandırılmaktadır. Bu teknolojiler; Radyo Frekanslı Tanımlama Cihazları (RFID), manyetik alan, Lazer Algılama ve Aralığı (LADAR), Radyo Algılama ve Aralığı (RADAR), ultra geniş bant (UWB), ultrasonik, kızılötesi ısı ve manyetik sensörler, sonar, Atalet Ölçüm Birimi (IMU), Bluetooth, Global Pozitifleme Sistemi (GPS), Global Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), lazer, video ve görüş kamerası (VC) dahil statik kamera, elektrokardiyogram (EKG / EKG), trafik yönetimi, ses teknoloji ve elektromiyografi (EMG), galvanik deri tepkisi (GSR) , ivmeölçerler, jiroskoplar, manyetometreler ve ışık sensörleridir (Sidani ve ark, 2018).

Yukarıda yer alan sensör bazlı teknolojiler genellikle projenin ilerleyişi ve inşaat çalışanları hakkında sahadan gerçek zamanlı bilgi elde etmek için kullanılmaktadır. Sonrasında ise bu bilgiler bina bilgi sistemlerine entegre edilerek çoğu zaman günlük olarak raporlanmaktadır.

Bu gelişmeler ile birlikte inşaat sektöründeki temel sorunlardan biri olan iş güvenliği konusunda da bu uygulamaların sağladığı imkanlar gündeme gelmektedir. İş güvenliği önlemlerinin proje yapım safhasından önce planlanması, proje tasarım sürecine dahil edilmesi düşüncesine ait çalışmalar ve BIM, Artırılmış Gerçeklik (AG) içerikli bilimsel çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2018 yılında Merve SEVİM, G.Emre GÜRCANLI'ya ait 'İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği (İsig) Sisteminin İnşaat Uygulama İş Programına Entegrasyonu' çalışmasında,

Primavera programında CPM tekniği kullanılarak hazırlanmış ve İSİG yönetim sistemi belgeler ve prosedürler; iş güvenliği uzmanları desteği ile uygulama inşaat iş programa entegre edilmiştir. Bu çalışma ile saha ekipleri ile İSG kontrol denetim ekipleri arasındaki koordinasyon eksikliği probleminin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Bilimsel araştırmalar incelendiğinde, iş güvenliği önlemlerini inşaat iş programlarına dahil eden birçok çalışma mevcuttur. Fakat bu çalışma, inşaat çalışanlarına yönelik farkındalık yaratmaktan ziyade proje akışını planlamak için yapılmıştır ve risklere karşı planlanan önlemler 2B çizimler ve yazılı metinlerden oluşmaktadır.

Bu çalışmaya benzer BIM modeli üzerinden planlanan iş güvenliği önlemleri incelendiğinde; 2012 yılında RIBA (Royal Institute Of British Architects) ve HSE (Health, Safety, Environment) uygulama aşamasında BIM çalışma sistemi ile iş güvenliği entegrasyonu için mimarlara örnek olabilecek bir dizi çalışma sunmuşlardır. Bu çalışmalarda oluşturulan BIM modeli üzerinde risk taşıyan bölgeler tasarım aşamasında belirlenmiş ve risk bölgeleri planlar üzerinde standart uyarı sembolleri eklenerek işaretlenmiştir. Bu çalışmada da ilk örnek ile benzer şekilde riskler önceden belirlenmektedir fakat yine 2B çizimler üzerinde yer almaktadır.

2015 yılındaki Zhang ve arkadaşlarına ait çalışmada, potansiyel düşme tehlikelerinin nasıl belirlenebileceği araştırılmıştır. BIM için otomatik emniyet kural kontrolü algoritmaları içeren bir çerçeve geliştirilmiştir. Bu çalışma problem düşme riski olduğu için tez araştırması ile benzer bir sorunu ele almaktadır. Geliştirilen yazılım kontrol ve uyarı amacıyla kullanılarak 4B modele iş güvenliği entegrasyonu sağlanmıştır.

Güncel çalışmalardan biri Gökhan Tekbaş ve Gürsans Güven'e ait AFSR (Automatic Fall Safety Review) çalışmasıdır. Bu çalışmada, BIM için açık kaynaklı görsel programlama eklentisi olan Dynamo kullanılarak "Otomatik Düşme Güvenliği İnceleme (AFSR)" kural kontrol aracı geliştirilmiştir. Bu araç, Revit'teki bir 3B bina modelini analiz etmekte, binadaki tehlikeli alanları otomatik olarak tanımlamakta ve düşmeyi önlemek için ilgili güvenlik önlemlerini göstermektedir. Bu çalışma da araştırma problemi olarak tez çalışmasına benzer bir problem üzerinde durmaktadır. Yukarıda yer alan örneklerde görüldüğu üzere BIM tabanlı iş güvenliği sistemlerine ait birçok çalışma bulunmaktadır.

Günümüzdeki mevcut Artırılmış Gerçeklik(AG) ile entegre iş güvenliği çalışmaları incelenirse, mobil uygulama olarak planlanmış ve 2015 yılında hayata geçirilmiş bir çalışma olarak Pro-Visual Publishing şirketine ait, Pro-Vis AR uygulaması yer almaktadır. Bu çalışma inşaat çalışanları için şantiyede kullanabilecekleri güvenlik önlemlerinin yazılı ve işitsel olarak yer aldığı, iş güvenliği önlemlerini içermektedir. Bu uygulama, mobil bir uygulama olması ve aynı zamanda şantiyelerde en sık rastlanan üç risk türüne ait animasyonlar sunması açısından iş güvenliği için yenilikçi çalışmalar arasında yer almaktadır.

Başka bir çalışma ise 2007 yılında yapılmış olan Wang ve Dunston'a ait ARTS (AR-based real world Training System) çalışmasıdır. Bu çalışma, proje yapım aşamasında inşaat ekipmanları ve operatör kaynaklı iş güvenliği kazalarını önlemek için AG sistemi ile proje yapım öncesi inşaat çalışanlarına eğitim vermektedir.

Tez çalışmasına benzer bir çalışmada ise, BIM ve AG entegrasyonunun proje yapım aşamasında bilgi edinme sürecini kolaylaştırarak proje verimliliğini artırdığını savunmaktadır (Chu, Matthews & Love, 2018). Bu çalışmada mimari proje yapım aşamasında kullanılacak olan BIM objelerine QR kod verilerek AG görselleştirmesi aracılığıyla inşaat çalışanları tarafından obje bilgilerinin anlaşılabilirliği artırılmıştır.

Yukarıda yer alan çalışmalar arasında İSG çalışmaları, BIM ve İSG entegrasyonu, AG çalışmaları, BIM ve AG entegrasyonu yer almaktadır. İnşaat projelerinde güvenlik problemleri incelendiğinde, inşaat çalışanlarının gerçek proje koşullarına ait tehlikeler hakkında tamamen net bir bilgiye sahip olmaları gerekmektedir ve AG teknolojisi bu bilgiyi net bir şekilde iletebilmektedir (Sticker, Klinker & Reiners, 2001). İnşaat sektöründe güvenlik yönetimi için BIM çalışma biçimi ile AG teknolojisi bütünleşebilmektedir (Wang ve ark, 2013).

Genel olarak yukarıda yer alan çalışmalar incelendiğinde, iş güvenliğini otomatikleştirmeye çalışan sistemler mevcuttur. Ek olarak inşaat çalışanları için iş güvenliği eğitimi veren AG mobil uygulaması olan, Pro-Vis AR yer almaktadır. Fakat BIM çalışma modeli üzerinde en sık rastlanan kaza tipi olan düşme riskini yönelik bir AG çalışması bulunmamaktadır. Yukarıda yer alan çalışmalardan Pro-Vis mobil uygulaması tez çalışmasına benzer bir çalışma olup, tez çalışmasından farkı, BIM entegrasyonu olmaması ve önlemlerin klasik bir yöntem olarak proje yapım aşamasında çalışanların karşısına çıkmasıdır. Tez çalışmasında ise şantiye ortamını

canlandıran bir BIM modeli ve düşme risklerini , önlemlerini görselleştiren bir AG mobil uygulaması yer alacaktır.

1.4 ARAŞTIRMA METODU

Bu tez çalışmasında literatür taraması ve mevcut teknolojik çalışmalar incelenerek, yeni bir çalışma çerçevesi sunulmaktadır. Spesifik olarak seçilen düşme riskine karşı iş güvenliği ve BIM tabanlı AG uygulaması için mobil uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama, sadece düşme riskine karşı iş güvenliği önlemleri hakkında bilgilendirme ve model içerecek şekilde tasarlanmış olup başka projelere de adapte edilebilir bir uygulamadır. Geliştirilen mobil uygulama, mimarlar ve inşaat alanında çalışan kişiler tarafından denenmiş ve ilerleyen zamanlarda gerçekleştirilecek çalışmalar hakkında bilgi alışverişinde bulunulmuştur. Tez çalışmasında, niteliksel bir araştırma yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin sonucunda, bir mobil uygulama çerçevesi sunulmaktadır.

1.5 TEZ ÖZETİ

Bu tez çalışması genel olarak altı bölümden oluşmaktadır;

- İlk bölüm olan giriş bölümünde çalışmanın amacı, hipotez, tez çalışmasının önemi, varolan çalışmalardan farkı, çalışmaya ait metot ve son olarak da kapsam anlatılmıştır.
- İkinci bölümde, çalışmanın temelini oluşturan iş güvenliği kavramı ile başlamaktadır. Bu bölümde iş güvenliğinin yapı sektöründe çalışan kişiler ve işverenler açısından önemi ve iş güvenliğinin genel durumunu incelemek için Türkiye’de ve Dünya’da iş güvenliği konuları araştırılmıştır. Çalışmada iş kazalarının çeşitlerine göre sınıflandırılması ve kaza nedenleri çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda yüksek oranda risk taşıyan kaza sınıfı çalışmaya dahil edilmiştir. Son olarak iş kazalarını önlemeye yönelik yapılan çalışmalar incelenerek tez çalışmasına yön verilmiştir.
- Üçüncü bölümde, BIM çalışma sisteminin gerekliliği ve uygulama alanları özetle anlatılmıştır. BIM’in iş güvenliği alanında yer alan entegrasyon çalışmalarına bu bölümde yer verilmiştir.

- Dördüncü bölümde, BIM görselleştirme aracı olarak seçilen Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisine ait gerekli teknolojik yazılım ve donanımlar incelenmiştir. Son olarak mimari alandaki AG çalışmaları ile iş güvenliği alanındaki yeni çalışmalar araştırılmıştır.
- Beşinci bölümde, tez çalışması için oluşturulan BIM modelleme süreçleri, AG için kullanılacak olan mobil uygulamanın geliştirilmesi ve iş güvenliğine entegrasyonu araştırılmıştır.
- Altıncı bölümde ise çalışmanın sonuçları, yapılan çalışmanın avantajları ve bu konuda geliştirilmesi gereken noktalar yer almaktadır.



2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE İŞ GÜVENLİĞİ

İş güvenliği, inşaat sektöründe önem taşıyan konulardan biridir. Bu bölümde, tez çalışmasının temel çıkış noktalarından biri olan iş güvenliği kavramı ve bu alandaki çeşitli kuruluşlar tarafından yapılan iş güvenliği tanımları yer almaktadır. İş güvenliğine ait yasalar, ülkelere göre farklılık göstermekte olduğu için, Türkiye’de ve Dünya’da iş güvenliğine dair oluşumlar ve kanunlar kısaca ele alınmaktadır.

İş güvenliği gereksiniminin temelinde bulunan, iş kazaları, sınıflandırılması ve iş kazalarının görülme oranları tez çalışması için önem taşımakta olup, bu bölümde incelenmekte ve iş kazalarının neden olduğu büyük sorunlardan biri olan maliyet kayıplarından da kısaca bahsedilmektedir. Son olarak, iş kazalarını önlemeye yönelik teknolojik çalışmalara da, bu bölümde yer verilmektedir.

Her sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de yaşanan teknolojik gelişmeler, uygulamadan maliyete kadar birçok başlıkta avantajlar sağlamaktadır. Ancak teknolojiyle birlikte elde edilen bu ilerlemeye karşı özellikle bilgi ediniminde eksik kalınması insan sağlığına zarar verebilecek bazı riskleri de beraberinde getirebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında çalışanın olası kazalar ve meslek hastalıkları açısından bilgilendirilmesi ile olumsuz koşulların ortadan kaldırılması veya engel olunması için gerekli davranışların anlatılması büyük önem taşımaktadır. Bunlar sağlanmadığı takdirde oluşacak riskler, iş kazaları ve meslek hastalıkları ile sonuçlanıp işçilere zarar vereceği gibi, verimlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratacaktır (Yılmaz, 2007).

İş kazaları ve meslek hastalıkları sebebiyle her yıl 2 milyon insan öldüğü belirtilmiştir (Sofuoğlu, 2012). Bu araştırmadan da anlaşılacağı üzere ‘İş Sağlığı ve Güvenliği’ (İSG) konusunun belirli standartları olan bir çerçeveye sahip olması ve hatta çeşitli yasalarla da desteklenmesi bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu tür düzenlemeler 19. yy başlarından itibaren yapılamaya başlanmış olsa dahi (Türkiye’de ilgili kanunun kabul tarihi; 20.06.2012 www.mevzuat.gov.tr) günümüzde hala iş kazalarında yaşanan kayıplar veya çeşitli yaralanmalar ile sonuçlanan olayların sayısı artmakta, İSG gündemde en hassas konulardan biri olma özelliğini korumaktadır.

Gerçekleşen yüksek kaza sayılarında İSG’nin temelini oluşturan eğitim başlığındaki yetersizlik ve eksiklikler ilk olarak dikkat çekmektedir. Bu tez çalışması eğitim

unsuruna destek olmak amacı ile teknolojiyi kullanarak olası risklerin görünürlüğünü arttırmayı hedeflemektedir.

2.1 İş Güvenliği Kavramı

İSG konusunda belirli standart ve düzenlemeleri belirleyen iki adet uluslararası kuruluş bulunmaktadır. Bunlardan biri Uluslararası Çalışma Örgütü'dür (International Labour Organization - ILO) ki; faaliyetleri arasında en ağırlıklı konu olarak İSG yer alır. Diğer kurum ise Uluslararası Sağlık Örgütü'dür (World Health Organization - WHO). Birleşmiş Milletlere bağlı bu iki uluslararası kurumun oluşturduğu ve meslek hastalıkları ile ilgili olan ortak komite ile birlikte bu alandaki faaliyetleri yürütmektedirler.

ILO faaliyetlerinin bir kısmını üye ülkelerin mevzuatını oluşturacak sözleşmeler ve tavsiye kararları alarak, bir kısmını Birleşmiş Milletlere bağlı diğer örgüt ve bölgesel kuruluşlarla iş birliğine girerek, bir kısmını da kendine bağlı kuruluşlar ile gerçekleştirmektedir (Alper, 1992). Bu alanda ILO'ya bağlı olarak çalışan iki kuruluştan biri Uluslararası Sağlık ve Mesleki Güvenlik Bilgi Merkezi (The International Occupational Safety and Health Information Centre - CIS), diğeri ise Uluslararası Sosyal Güvenlik Birliği'dir (The International Social Security Association - ISSA). CIS, İSG ile ilgili her türlü bilgiyi kısa zamanda toplayıp derleyerek, bu bilgiyi çeşitli istatistik, bibliyografya, fotokopi ve mikrofilmlerle etkin bir şekilde dağıtma görevini üstlenmiştir. Ayrıca belirli konularda uluslararası sempozyumlar düzenlemektedir. Diğer kurum ISSA'nın temel görevi ise kazalar meydana geldikten sonraki oluşacak zararları telafi etmekle ilgilidir. Ancak tehlikeyi önlemenin, onun sonuçlarını karşılamaktan daha kolay olduğu, ISSA'nın amaçları ile iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi arasında yakın bir ilişki olduğu da ayrıca vurgulanmıştır.

Faaliyetlerinin büyük kısmını İSG ile ilgili konular oluşturan ILO, 'İş Güvenliği'; bütün meslek gruplarında çalışanların bedensel, ruhsal, sosyal durumlarını en yüksek seviyeye ulaştırmak, bu şekilde sürdürmek ve çalışanların çalışma koşullarının sebep olabileceği hastalıklardan korumak ve bu durumlarına en uygun mesleki ortamlara yerleştirmek, çalışma sırasında sağlığa aykırı etmenlerden oluşan tehlikeleri önlemek, kısaca işin çalışana ve çalışanın kendi işine uyumunu sağlamaktır, şeklinde tanımlanmıştır (Tümerden, 2015). Bu tanımlamadan da anlaşılacağı üzere 'İş

Güvenliği' kavramı çalışan eksen alınarak risk etkenlerinin oluşmasının engellenmesi ve çalışan için koşulların uygun hale getirilmesi üzerine kuruludur. Bu amaçla bilimsel yöntemler kullanılarak olası tehlikelerin araştırılması ve bu araştırmaların sonuçlarına göre önleyici yöntemlerinin geliştirilmesi temel amaçlar arasında bulunur. Bununla birlikte İş Güvenliği kavramı içinde dolaylı etkilere sahip güvenlik başlıkları da ayrıca yer almaktadır. Çalışan eksen alınarak yapılacak düzenlemeler sayesinde aynı zamanda 'İş Gücü' ve dolayısıyla 'Üretim' de korunarak verimliliğe artı katkı sağlanmış olunacaktır. Bir diğer artı değer ise çalışma ortamı için önceden belirlenen koruma amaçlı düzenlemelerin işletme güvenliğini tehlikeye atacak herhangi olumsuz koşulu ortadan kaldırmaktır.

2.1.1 Dünya'da İş Sağlığı Ve Güvenliği

İSG ile ilgili uygulamalar üçlü bir mekanizmanın bir bütün olarak işlemesi üzerine kuruludur. Bu mekanizmanın ilk ayağını Devlet oluşturur. Devletin mekanizma içindeki görevi ilgili mevzuatı oluşturan yasaları belirlemek ve bu yasaların doğru bir şekilde uygulanıp uygulanmadığını denetlemektir. Bu denetleme aşamasında elbetteki mekanizmanın ikinci önemli figürü olarak işverene de görevler düşmektedir. İşveren mevzuatta belirlenen önlemleri almakla yükümlüdür. Mekanizmada son ve en önemli figür çalışandır ki; çalışan öncelikle kendi güvenliği ve sağlığı, dolaylı olarak da işyeri ve üretimle ilgili riskleri ortadan kaldırmak için devlet tarafından oluşturulan yasalara uymak zorundadır.

Devletler İSG ile ilgili mevzuatları oluştururken, ülkesinin kendi koşullarına da dikkat etmek kaydıyla uluslararası sözleşme ve/veya tavsiye kararlarına bağlı kalarak adım atarlar. Bu bakımdan devletler 20 yy başı itibariyle sanayileşmenin artmasıyla birlikte biraraya gelerek çalışma hayatının düzenlenmesi ilgili ortak kararlar almaya başlamışlardır. İkinci Dünya savaşı sonrasında konu ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmış, bu dönemde, daha önceki bölümde de belirtildiği üzere çalışma ve güvenlik ile ilgili yoğun faaliyetleri bulunan ve Birleşmiş Milletlere Bağlı bir kurum olan ILO'nun çalışma prensipleri daha net bir şekilde belirlenmiştir.

ABD'de İSG ile ilgili ilk düzenlemeler 19. yüzyılın son çeyreğinde alınmaya başlamış, 1970'e kadar ülke içinde farklı eyaletlerde farklı uygulamalar devam etmiş ve bu tarihte Federal devleti kapsayan bir kanun yürürlüğe girmiştir. Bu kanun çerçevesinde tüm çalışma hayatı ile ilgili düzenlemeleri gerçekleştiren, Çalışma Bakanlığı'na bağlı

'İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi' (OSHA), Sağlık ve Eğitim Bakanlığına bağlı 'İş Sağlığı ve Güvenliği Ulusal Enstitüsü' (NIOSH) kurulmuştur. ABD'de kurumların koordinasyonu ile çalışma hayatını ilgilendiren standartlar belirlenmekte, ilgili eğitim faaliyetleri ve ceza sistemi yürütülmektedir (Alper, 1992).

Pek çok Asya-Pasifik ülkesi ILO'nun 187 Nolu Sözleşmesi ve 197 Nolu tavsiye kararı doğrultusunda, kendi ulusal İSG profillerini düzenlemişlerdir. Çin, Singapur ve Kore'de İSG sisteminin genel görünümü ve bu sistem içinde eğitime verilen önem dikkat çekmektedir. Sanayileşmenin hızlı gelişimi sonucunda İSG konusunda ciddi yetersizlikler içinde kalan Çin, 2006 yılında iş sağlığı hizmetlerinin düzeyini geliştirmek amacıyla pilot bölgelerde temel iş sağlığı hizmeti sistemi'ni (BOHS) kurmuştur. Eğitimin içeriğinde, meslek hastalıklarının kontrolü ve önlenmesi ile ilgili kanun ve yönetmelikler, meslek hastalığının tanısı, mesleki sağlık gözetimi gibi konular bulunmaktadır. İşletmeler taşıdıkları mesleki risklere göre sınıflandırılmış ve taşıdıkları riske bağlı olarak denetimler arttırılmıştır. Bazı sorunlar hala devam etmekle birlikte son üç yıldır bu alandaki çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir (Tao, 2011).

Diğer taraftan Avrupa Birliği gibi birlikler de İSG ile ilgili önemli ve bağlayıcı düzenlemeleri hayata geçiren oluşumlar arasındadır. İngiltere'de mevcut sistem, 1974 tarihli 'İşyerinde Sağlık ve Güvenlik Kanunu'nun kabulü sonrası yeni enstitülerin kurulması ve eski durumun geliştirilip revize edilmesi ile oluşturulmuştur. İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu (HSC) ve İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (HSE) hükümet tarafından işyerlerinde çalışan insanların iş etkilerinden korunması amacıyla kurulmuşlardır. HSC İngiltere'de İSG ile ilgili mevzuatın çıkarılması, dağıtılması ve uygulanmasından sorumlu olan temel kurumdur. İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) İngiliz Standartlarının geliştirilmesinden sorumlu ulusal kuruluştur. Sağlık ve güvenlik ile ilgili standartların oluşturulmasında BSI, HSE ile birlikte görev yapar (Görücü, 2004).

Ülkelerin kendi İSG yönetim sistemi uygulamalarının yanında uluslararası alanda da geçerli olan sertifikasyonlar geliştirilmiştir. BSI tarafından yayınlanan ve OHSAS 18001 olarak adlandırılan standardizasyon sistemi de uluslararası bir İSG yönetim sistemi sertifikasyonudur. OHSAS 18001 bir yandan kuruluşların yasal standartlarla olan uyumunu gösterirken öte yandan iş ortamının sürekli iyileştirilmesi sayesinde iş yerindeki üretkenliği ve verimi arttırmaktadır. Kuruluşların ürün ve hizmetlerinin

güvenliğinden çok çalışanın sağlığına ve işin güvenliğine yönelik bir standarttır (Baradan, 2006).

2.1.2 Türkiye’de İş Sağlığı Ve Güvenliği

Türkiye’de Cumhuriyetin ilanından sonra çeşitli kanunlar ile iş hukuk ve iş güvenliğine yönelik ihtiyaç duyulan düzenlemeler yapılmaya çalışılmıştır. 30 Haziran 2012 tarihinde yürürlüğe giren 6331 sayılı ‘İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’ ile de sadece bu alanı içeren bir yasa kabul edilmiş ve daha geniş düzenlemelere yer verilmiştir.

Diğer taraftan Türkiye bir önceki bölümde anlatılmış olan uluslararası standart OHSAS 18001 sertifikasyonunu kullanmaktadır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Avrupa Birliği’ne katılma faaliyetlerinden biri olarak OHSAS 18001’i Türkçe’ye çevirmiş “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartlar” adı ve ‘TS 18001’ numarası ile standartlar listesine 9 Nisan 2002’de eklemiştir. OHSAS 18001 ve TS 18001 iş güvenliği denetim serisi standartları, organizasyonun işçi sağlığı ve iş güvenliği risklerini kontrol etmesi ve performansını geliştirmesini sağlamak için; işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi şartlarını verir. Bu standartlar iş güvenliği performans kriterleri veya bir yönetim sisteminin tasarlanması için gerekli ayrıntılı maddeleri kapsamaz (Güranlı & Müngen, 2005).

ABD’de OSHA kurumunun görevini Türkiye’de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı’nın altında yer alan ‘İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğü’ üstlenmektedir. ABD’de OSHA, sıkı denetim ve ağır para cezaları nedeniyle işverenlerce dikkat edilen bir kurumdur. Ancak ülkemizde İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğü’nün de böyle bir konuma gelmesi için yetkilerinin artırılması beklenmektedir. Bununla birlikte ülkemizde iş hukuk sistemi içinde işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda bazı eksiklikler yer almaktadır. Yeteri kadar hakim ve mahkeme salonunun bulunmaması, dava açmanın zorluğu ve verilen cezaların yeteri kadar caydırıcı görülmemesi bu eksikliklerin arasında bulunmaktadır. Örneğin ABD’de yüksekten düşen bir işçi sakat kaldığında müteahhit bu işçiye sadece yüksek meblağda tazminat ödemekle kalmaz, aynı zamanda işçiye maaş bağlayabilir ve çocuklarının eğitim giderlerini karşılayabilir. Sonuçta ABD mahkemelerinden çıkan kararlar müteahhitlerin iflas etmesine yol açacak kadar ağır olabilmektedir (Baradan, 2006).

2.2 İş Kazası Kavramı

Başlangıçtan bu yana İnsanoğlu için barınma ve güvenlik konuları öncelik olmak kaydıyla diğer benzer yaşamsal ihtiyaçlarının karşılanmasında bayındırlık ve dolayısıyla inşaat faaliyetleri önemini daima korumuş ve korumaktadır. Teknolojik olanakların ve sosyal koşulların gün geçtikçe değişmesi ve gelişmesiyle inşaat sektörü de sürekli büyüyen sektörlerin başında gelmektedir. Bu koşul geliştirmekte olan Türkiye ekonomisi için de geçerli olup, inşaat sektörü birçok sektör içinde sürekli baş rol üstlenmiş ve dinamizmini korumuştur. Bireysel ve toplumsal ihtiyaçların çeşitlenmesi ve beraberinde teknolojinin bu beklentilere yeni cevaplar aramasıyla üretim faaliyetleri de detaylanmış, beraberinde bir çok avantaj ile birlikte çeşitli risk faktörlerini doğal olarak ortaya çıkarmıştır. Çoğunlukla göz ardı etme ve dikkatsizlik sebeplerin yanında özellikle eğitimsizlik nedeniyle yaşanan olaylar da büyüyen sektörlerin başlıca sorunları arasındadır. Bu açıdan bakıldığında inşaat sektörü içinde iş kazalarının öncelikle bir yeri bulunmaktadır. İş kazalarının öncelikle insan sağlığı üzerinde risk oluşturması, ölüm veya yaralanmalar sonucunda ortaya çıkabilecek iş gücü kaybı, hem çalışan ve hem de işveren açısından psikolojik ve maddi zorlukları olan sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle inşaat sektörü içinde fazlasıyla hassas bir noktada duran iş kazalarının önlenmesine yönelik yapılacak her türlü güvenlik tedbiri ve faaliyeti zorunluluk olarak nitelendirilmelidir.

İş kazasının tanımını yapmadan önce kazanın genel olarak bir tanımı yapılacak olursa ‘sonucunda maddi ve/veya fiziksel ile ruhsal zararlara neden olabilen ve beklenmedik bir anda gerçekleşen olay’ olarak ifade edilebilir. İş kazası tanımında ise; işçi, işveren, sigorta kurumları ve diğer bazı kuruluşları ilgilendiren hukuksal sorunlara neden olması ve bu arada, işçinin korunması ana kuralı, iş kazası kapsamının genişlemesine neden olmuş ve tanımını güçlendirmiştir (Naycı, 2010). Bu açıdan bakıldığında iş kazası tanımı teknik ve hukuksal açıdan iki ayrı başlıkta değerlendirilmelidir. Teknik açıdan iş kazası kavramı; çalışanın zarar görmesinin yanında işyerindeki teçhizat veya çevre koşullarının bozulmasına sebep olarak üretimin aksaması veya tamamen durmasına neden olan olayları da içine almaktadır. İş kazası kavramına hukuksal açıdan bakıldığında ise ülkemizde 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu madde 13 bağlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. İlgili maddeye göre iş kazası; ‘sigortalının iş yerinde bulunduğu sırada, işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa

yürütmekte olduğu iş nedeniyle, bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda, bu kanunun 4. maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen özüre uğratan olaydır.’ şeklinde tanımlanmaktadır.

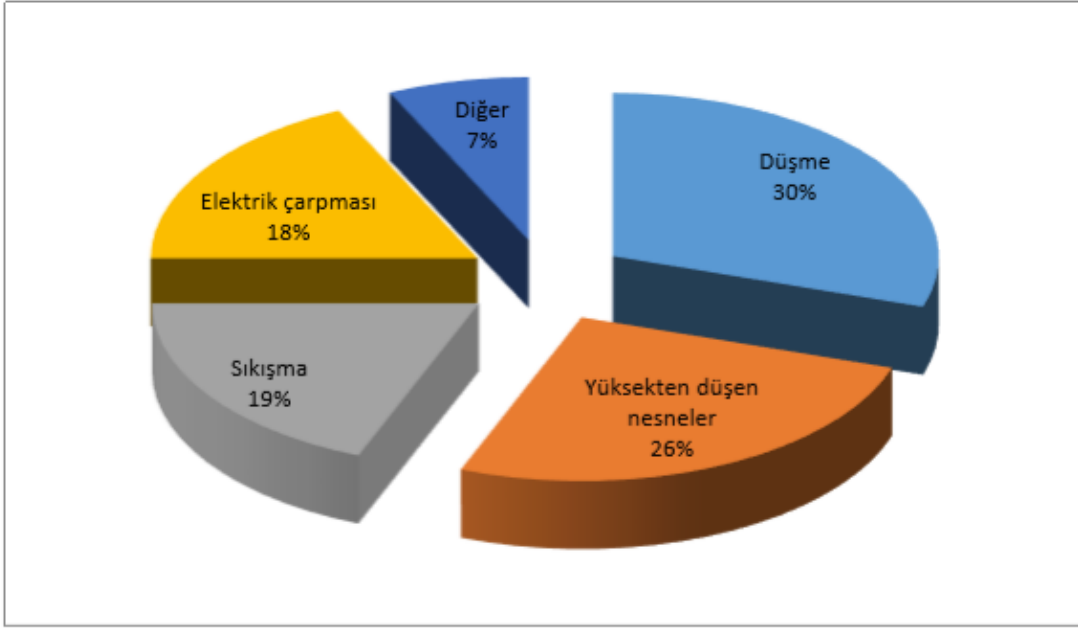
2.2.1 İnşaat Sektöründe İş Kazaları Ve Sınıflandırılması

ILO verilerine; her 15 saniyede 160 işçi, iş kazası geçirmektedir. Her gün yaklaşık 6 bin 400 kişi iş kazası veya meslek hastalıkları nedeniyle yaşamını kaybetmektedir. Her yıl yaklaşık olarak 350 bin kişi iş kazası, 2 milyon kişi meslek hastalıklarından dolayı yaşamını yitirmektedir (TMMOB, 2018). Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda iş güvenliği ile ilgili önlemlerin yetersiz olduğu ve geliştirilmesi gereken bir alan olduğu görülebilmektedir.

İş kazaları konusunda detaylı bir inceleme yapabilmek için kazanın meydana gelme şekli, kaza sonucunun niteliği ve sonuçları olmak üzere farklı başlıklar altında sınıflandırmalar yapılabilir. Tez çalışmasının konusu olan ‘İnşaat Sektörü’nde ise en çok karşılaşılan kaza tipleri şu şekilde sıralanmaktadır (Müngen, 1993):

- 1- İnsan Düşmesi,
- 2- Malzeme Düşmesi,
- 3- Malzeme Sıçraması,
- 4- Kazı Kenarının Göçmesi,
- 5- Yapı Kısmının Çökmesi,
- 6- Elektrik Çarpması,
- 7- Patlayıcı Madde Kazaları,
- 8- Yapı Makinesindeki Kazalar,
- 9- Tezgahlara ve Makine Elemanlarına Uzuv Kaptırma,
- 10- Malzeme Altına – Arasına Uzuv Sıkıştırma,
- 11- El Aleti İle Ele Vurma,
- 12- Sivri Uçlu Keskin Kenarlı Cisimle Yaralanma,
- 13- Şantiye İçi Trafik Kazaları.

Şekil 2.1’de bu kaza tiplerinden hangilerinin daha sık meydana geldiği ile ilgili bir grafik yer almaktadır. Grafikte Türkiye’deki inşaat sektöründe rastlanan iş kazalarının bir istatistiği verilmiş, meydana gelen yaşam kayıplarının yüzdelerini gösterilmiştir. Şekle göre; Türkiye inşaat sektöründe görülen iş kazası sonucu ölümlerin; %30’luk bir kısmı yüksekte düşmelerden, %26’sı taşıma (yüksekte düşen nesnelere) sırasındaki kazalardan, %19’u makinaların arasına sıkışma - çarpmalardan ve %18’i ise elektrik çarpması gibi tehlikelere maruz kalmaktan kaynaklandığı anlaşılmaktadır (Kazaz ve ark, 2016).



Şekil 2.1 : Sık Rastlanan İş Kazası Tiplerinin Dağılımı.

(Kazaz ve ark, 2016)

Bir diğer çalışma olan ve Müngen’in 2011 yılında yaptığı bir araştırmaya göre de ‘incelenen 5239 iş kazasının, kaza tiplerine göre dağılımı, Çizelge 2.1’de görülmektedir. Bu tabloya göre karşımıza çıkan ve en sık karşılaşılan kaza tipi ‘İnsan Düşmesi’nin alt grupları ise Çizelge 2.2’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 : Risk Oranlarına Göre Kaza Tipleri.

(Müngen, 2011)

No.	Ana Gruplar	Ölüm		Yaralanma		Toplam	
	Kaza Tipi	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
1	İnsan Düşmesi	1028	42,9	934	32,9	1962	37,4
2	Malzeme Düşmesi	251	10,5	278	9,8	529	10,1
3	Malzeme Sıçraması	10	0,4	211	7,4	221	4,2
4	Kazı Kenarının Göçmesi	138	5,8	53	1,9	191	3,6
5	Yapı Kısımının Çökmesi	167	7,0	73	2,6	240	4,6
6	Elektrik Çarpması	293	12,2	80	2,8	373	7,1
7	Patlayıcı Madde Kazaları	50	0,2	82	2,9	132	2,5
8	Yapı Makinası Kazaları	206	8,6	97	3,4	303	5,8
9	Uzun Kaptırma	1	0,0	604	21,3	605	11,5
10	Uzun Sıkışması	1	0,0	200	7,0	201	3,8
11	El Aleti ile Ele Vurma	0	0,0	42	1,5	42	0,8
12	Sivri Uçlu Keskin Ken Cis. Yara.	0	0,0	75	2,6	75	1,4
13	Şantiye içi Trafik Kazaları	168	7,0	38	1,3	206	3,9
14	Diğer Tip kazalar	85	3,5	74	2,6	159	3,0
	Toplam	2398	100,0	2841	100,0	5239	100,0

Çizelge 2.2 : ‘İnsan Düşmesi’ Kaza Tipi Alt Grupları Dağılımı.

(Müngen, 2011)

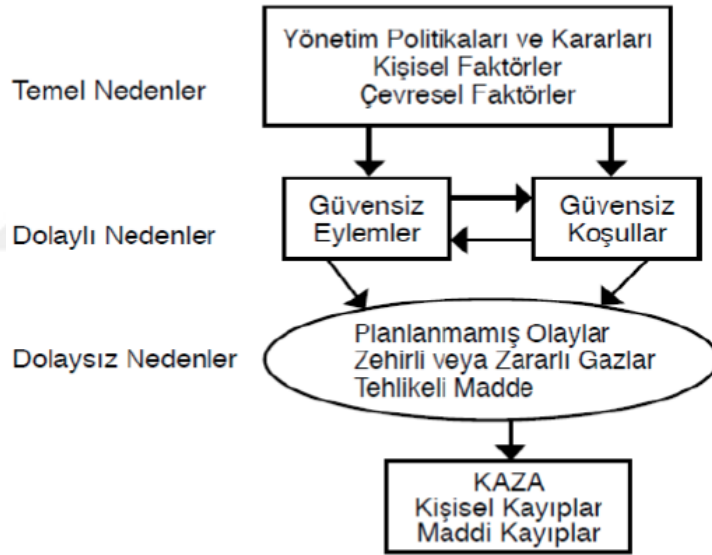
No.	İnsan Düşmesi - Alt Gruplar	Ölüm		Yaralanma		Toplam	
	Kaza Tipi	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
1	Döşeme-Platform Kenarından	248	35,7	190	24,1	438	29,6
2	İskeleden	139	20,0	236	30,0	375	25,3
3	Yapıdaki Boşluklara	99	14,3	71	9,0	170	11,5
4	Çatılardan	76	11,0	71	9,0	147	9,9
5	Hemzemin Düşmeler	11	1,6	61	7,8	72	4,9
6	El Merdivenlerinden	21	3,0	40	5,1	61	4,1
7	Elek. – Telefon Direklerinden	19	2,7	38	4,8	57	3,8
8	Sabit İnşaat Merdivenlerinden	14	2,0	22	2,8	36	2,4
9	Yük Asansörlerinden	11	1,6	4	0,5	15	1,0
10	Zemindeki Boşluklara, Çukurlara	9	1,3	6	0,8	15	1,0
11	Diğer Tip Düşmeler	47	6,8	48	6,1	95	6,4
	Toplam	694	100,0	787	100,0	1481	100,0

Bu araştırmanın istatistiklerinden de anlaşıldığı üzere, Türkiye İnşaat Sektörü’nde neredeyse toplam sayının yarıya yakını ‘İnsan Düşmesi’ şeklinde meydana gelen kaza

tiplerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla ‘İnsan Düşmesi’, iş güvenliği alanında ilgili önlemlerin artırılması ve eğitim çeşitliliğinin geliştirilmesi gereken kaza tiplerinin başında geldiği söylenebilmektedir.

2.2.2 İnşaat Sektöründe İş Kazaları Ve Nedenleri

Kullanılan ekipmanın sağlıklı işlememesinden, teknolojinin yetersiz kullanımına, çevre koşullarından, psikolojik, toplumsal ya da fiziksel durum gibi birçok faktör iş kazasının oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu sebepler arasında işverenin uygun çalışma koşullarını sağlamaması ve/veya çalışanın dikkatsiz davranması ya da yetersiz eğitime sahip olması öne çıkmaktadır. Bu noktada iş güvenliğinin sağlanması için başlıca şart iş kazalarının nedenlerini iyi tahlil etmekten geçmektedir. ‘İş kazalarının nedenleri temel, dolaylı ve dolaysız nedenler olmak üzere üç ana gruba ayrılır’ (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : İş Kazalarının Nedenleri.

(Gök, 2018)

Temel nedenler; yönetsel güvenlik politikaları ve kararları, kişisel etkenler, çevresel etkenlerdir. Temel nedenler iş kazalarının oluşmasında başta gelmektedir (Yıldırım, 2010). İş kazaların oluşmasına sebep olan temel etmenler kapsamında ilgili yasal düzenlemelerin yapılması ile çalışanın eğitimi öne çıkmaktadır. Diğer taraftan çalışanın fiziki ve ruhsal durumunun kontrolü ile çalışma ortamının uygun koşullara taşınması da önemli tedbirler arasındadır.

İkinci ana grup ‘Dolaylı Nedenler’ içinde güvensiz eylemler ve güvensiz koşullar yer alır. Güvensiz eylemler çalışanın hatalı ya da dikkatsiz davranışlarından meydana gelir ki bu durum genellikle eğitim, psikolojik durum ya da deneyim ile ilişkilendirilir. Güvensiz eylemler, iş kazalarına %80 oranında neden olmaktadır (Yıldırım, 2010). Güvensiz koşullar ise çalışanın elinde olmayan nedenleri, diğer bir ifadeyle çevre, ekipman ya da malzemelerden kaynaklı nedenleri içerir (Şekil 2.3).

<u>Güvensiz Davranışlar</u>	<u>Güvensiz Durumlar</u>
<ul style="list-style-type: none"> • İş bilincisiz yapmak • Dalgınlık ve dikkatsizlik • Makine koruyucularını çıkarmak • Tehlikeli hızla çalışmak • Görevi dışında iş yapmak • İş disiplinine uymamak • İşe uygun makine kullanmamak • Yetkisiz ve izinsiz olarak tehlikeli bölgede bulunmak • Kişisel koruyucuları kullanmamak • Tehlikeli hızda araç kullanmak 	<ul style="list-style-type: none"> • Güvensiz çalışma yöntemi • Güvensiz ve sağlıksız çevre koşulları • Topraklanmamış elektrik makineleri • İşe uygun olmayan el aletleri • Kontrol ve testleri yapılmamış basınçlı kaplar • Tehlikeli yükseklikte istifleme • Kapatılmamış boşluklar • İş yeri düzensizliği • Koruyucusuz makine ve tezgâhlar • Parlayıcı patlayıcı maddeler

Şekil 2.3 : İş Kazalarında Dolaylı Nedenlerden Örnekler.

(Aslan ve ark, 2012)

Planlanmamış olaylar, zehirli veya zararlı gazlar ile diğer tehlikeli maddeler üçüncü iş kazalarında ana grup ‘Dolaysız Nedenler’i oluşturur. Dolaysız nedenler, ilgili ekipmanın güncellenmesi ya da çalışma ortamının yeniden düzenlenmesi, çalışanın tehlikeli durumlar hakkında uyarılması ve gerekli koruma önlemlerinin alınması ile ortadan kaldırılabılır.

2.2.3 İnşaat Sektöründe İş Kazalarından Doğan Masraf Ve Kayıplar

Tedbirsiz davranışlar, eğitim eksikliği, uygun çalışma koşullarının sağlanmamış olması veya ekipman kaynaklı hatalar her ne olursa olsun meydana gelecek olan bir iş kazasının çalışan, işveren ve ülke ekonomisi açısından ayrı ayrı maddi sonuçlarının olacağı açıktır. Çalışanın yaşamını kaybetmesi ödenecek en büyük bedel olup bununla birlikte potansiyel iş gücünü kaybedecek olması hem psikolojik hem de gelir açısından olumsuz koşulları doğuracaktır.

İş kazaları diğer taraftan işveren için de çeşitli masraf ve kayıplara neden olur. Üretimin duraklaması veya üretim malzemesindeki kayıplar sonucu sektör içinde gerileme olasılığı, kaza ile ilgili çeşitli yaptırım, tazminat veya yeniden düzenleme

giderlerinin oluşması bu konuda öne çıkan görünür ve görünmez kalemler arasında yer almaktadır. Son olarak iş kazalarının istatistiki olarak fazlalığı ülke ekonomisinde sigorta sistemine olumsuz dönüş sağlayacağı gibi, iş günü kayıpları ile gayri safi milli hasılda da düşüş göstergeleri yaratacağı ortadadır.

Türkiye İstatistik Kurumu Ulusal Hesaplar Daire Başkanlığından alınan 2009 yılı verilerine göre, gayrisafi yurt içi hasıla 953.974 milyar TL'dir. Bu rakama göre ülkemizde ILO kriterlerine göre iş kazaları ve meslek hastalıklarında katlanılacak maliyet; %4 üzerinden yaklaşık yılda 38 milyar TL tahmin edilebilir. Türkiye'de bir yılda meydana gelen iş kazalarının sebep olduğu ortalama 1000 civarındaki ölüm vakalarının dışında milyarlarca dolarla ifade edilebilen bir maddi boyutu da vardır (Ceylan, 2011). Genel olarak kaza maliyetlerinin; inşaat yapan bir firmanın proje bedelinin %8'i (Tan, 2008), İSG maliyetlerinin toplam inşaat maliyetlerine oranı %3,73 olarak karşımıza çıkmaktadır (Korkutan, 2010). Bu durumda iş kazaları için alınacak önlemler ortalama bir proje bedelinin yaklaşık %3'ü ile karşılanabilecek durumdayken, iş kazaları proje bedelinin %8'ini oluşturmaktadır. Şantiyelerde meydana gelen iş kazaları ve ölüm oranı açısından Türkiye, diğer ülkeler ile kıyaslandığında iş kazaları konusunda önde gelen ülkelere göre daha yüksektir.

2.3 İnşaat Sektöründe İş Kazalarını Önlemeye Yönelik Çalışmalar Ve Teknolojiler

İnşaat sektörü, iş kazası oranları açısından önde gelen sektörlerden biridir. Yukarıda yer alan başlıklarda inşaat sektöründe meydana gelen iş kazaları ve nedenleri incelenmiştir. Bunun sonucunda iş güvenliği eğitiminin ve önlemlerinin geliştirilmesi gereken bir alan olduğu ortaya çıkmaktadır. İnşaat endüstrisindeki teknolojinin sınırlı benimsenmesi, inşaat sektöründeki güvenlik performansının zayıflığına neden olan potansiyel risklerden biridir (Nnaji, Gambatese ve ark, 2018).

Bir inşaat projesinde meydana gelebilecek iş kazaları, işveren ve çalışanlar açısından sosyal ve ekonomik birçok hasara neden olmaktadır. Bu durumda, projenin genel maliyetinin bir bölümü, inşaat sürecinin simülasyonu ve gerekli tedbirlerin alınması için hazırlanacak teknolojik altyapı için kullanılmalıdır.

Mevcut güvenlik önlemleri incelendiğinde en ileri seviyedeki önlemler olarak, kişisel koruyucu donanımlar (KKD) gelmektedir. Fakat teknolojinin, güvenlik planlaması yapılırken, güvensiz davranışları azaltmada daha önemli bir rol oynayacağına inanılmaktadır (Teizer ve ark, 2011).

İncelenen çalışmalardan bazıları güvenlik planlamasına yoğunlaşırken, bazı çalışmalar teknolojik gelişmelere yoğunlaşmaktadır. Güvenlik planlamasına odaklanan çalışmalar genel olarak, iş programına iş güvenliği eğitiminin entegrasyonundan oluşmaktadır.

Projelerde risk analizine yönelik çalışmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır;

- 2007 yılında, Saurin ve Formoso'ya ait çalışma, SPC (Safety Planning And Control) adında bir güvenlik planlama ve kontrol modeli sunmakta, ön tehlike analizi (PHA) ile projeden riskleri tanımlayan bir çerçeveden oluşmaktadır. Bu çalışmada inşaat işçilerine çalışmaya başlamadan önce, güvenlik planına uygun olarak eğitim verilmektedir.
- Diğer çalışma ise Rozenfeld ve arkadaşlarına ait 2010 yılında yapılan çalışma, CJSA (Construction Job Safety Analysis) adlı inşaat iş güvenliği analizidir. Bu çalışmada, inşaat çalışanlarına sorulan sorular ile iş türlerinin güvenlik seviyeleri tanımlanmaktadır.
- Türkiye'de yer alan örnekler incelendiğinde, Sevim ve Gürcanlı'ya ait 2018 yılındaki İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği (İSİG) Sisteminin İnşaat İş Programına Entegrasyonu adlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma, işçi sağlığı ve iş güvenliği sistemlerini, proje planına entegre etmektedir. Uygulama projesine ait iş planı Primavera programında CPM tekniği ile oluşturulmuş ve iş güvenliği önlemleri bu sisteme adapte edilmiştir.

Bu bölümde incelenen çalışmalarda, projeye ait Risk Analizleri (PHA) ve sonrasında proje yapım sürecine bu risklere karşı alınan önlemlerin adaptasyonunu konu alan teknolojik çalışmalar anlatılmıştır. Risk analizi olarak adlandırılan çalışmalara aynı zamanda kritik yol faaliyetleri de denilmektedir.

Yukarıda yer alan çalışmalarda, öncelikli olarak, risklerin belirlenmesi ve risklerin önem seviyesine yönelik analiz çalışmaları yer almaktadır. Bu çalışmalara benzer birçok çalışma yer almaktadır ve bu çalışmalar teknolojik çalışmaların ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bir projede iş güvenliği önlemlerinin alınabilmesi için öncelikle o

projedeki riskleri öğrenmek, gerekli önlem ve eğitimleri iş planına entegre etmek gerekmektedir. Kritik yol faaliyetlerinin yapılması işyeri güvenlik koşullarını iyileştirebilir ve inşaat sırasında gerekli değişiklikleri azaltabilir. Etkili bir iş planlaması sürdürürken inşaat sırasındaki değişikliklerin en aza indirilmesi, proje güvenliği sonuçlarını olumlu yönde etkiler (Hallowell ve ark, 2017).

Mimarlık, mühendislik ve İnşaat sektöründe, iş güvenliği risklerini azaltan uygulamalar incelendiğinde; *BIM*, *Artırılmış Gerçeklik (AG)*, *Sanal Gerçeklik (SG)*, ve *Coğrafi Bilgi sistemleri (GIS)* gibi temel araçlar bulunmaktadır.

Bu araçlar, projenin tüm süreçlerinde riskleri azaltarak, verimliliği arttırmaktadır. Bunlara ek olarak aşağıdaki tabloda yer alan diğer teknolojiler; 3B/4B bilgisayar destekli tasarım, lazer tarama, QR kod, RFID, robotik ve otomasyon, UAVs, WSDs, sensörler ve alarm sistemleri, sahadaki üretim ve kontrol için en sık kullanılan teknolojilerdir.

Bu teknolojilere ek olarak kullanılan diğer teknolojiler, *Lazer Algılama ve Aralığı (LADAR)*, *Radyo Algılama ve Aralığı (RADAR)*, *ultra geniş bant (UWB)*, *Atalet Ölçüm Birimi (IMU)*, *Bluetooth*, *Global Pozitifleme Sistemi (GPS)* *Global Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)*, *lazer*, *video ve görüş kamerası (VC)* dahil statik kamera, *elektrokardiyogram (EKG)*, *trafik yönetimi*, *ses teknoloji ve elektromiyografi (EMG)*, *galvanik deri tepkisi (GSR)*, *ivmeölçerler*, *jiroskoplar*, *manyetometreler* ve *ışık sensörleri* (Sidani ve ark, 2018).

Bu teknolojilerden bazıları sahadaki kontrolü kolaylaştırmakta, projedeki bazı yapım süreçlerini otomatikleştirmekte ya da güvenlik eğitim ve önlemlerinde kullanılmaktadır. *Robotik ve otomasyon sistemleri*, inşaat işçileri için ağır malzeme kaldırma gibi zor olan işlemleri gerçekleştirmeye yardımcı olmaktadır.

Lazer tarama sistemleri, erişimi zor olan bilgiler için kolaylık sağlamak ve doğru bilgi sunmaktadır. *Giyilebilir teknolojiler* genellikle GPS, güvenlik yeleği ve kasktan oluşan sistemlerdir. Bu sistemler, çalışan kişinin hareketsiz kalması ya da dış koşullarda oluşan hava,ısı gibi değişkenler için uyarılarda bulunmakta ve önlem alınmasını sağlamaktadır. *QR kod*, birçok aşamada kullanılabilir. Bir montaj sırasında ya da güvenlik koşulları ve önlemleri hakkında bilgi edinmede kullanılmaktadır.

RFID teknolojisi, proje yönetimi, ekipman ve araç yönetimi gibi farklı amaçlarda kullanılmaktadır. İş güvenliğinde RFID teknolojisi, güvenlik ekipmanlarının uzaktan izlenmesi ve kontrolü için tercih edilmektedir.

Çizelge 2.3 : Teknolojinin Güvenlikteki Potansiyel Kullanımları.

(Karakhan ve ark, 2019)

Teknoloji	Güvenlik İçin Avantajları	Örnek
3B/4B BilgisayarDestekli Tasarım	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik için tasarım Tehlikenin giderilmesini veya tanınması sağlanabilmektedir. 	<ul style="list-style-type: none"> Çalışanların işyeri tehlikeleri hakkındaki algılarını iyileştirmek için üç boyutlu model kullanılarak güvenlik eğitimi verilmesi
BIM (Bina Bilgi Modelleme)	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik için Tasarım Tehlikeyi tanımak Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. Güvenlik denetimlerini geliştirmek. 	<ul style="list-style-type: none"> Proje başlamadan önce olası tehlikelerin tanımlanması Önlemler için otomatik güvenlik kuralı kontrol platformu Çalışanların tasarım sürecine entegrasyonu Sahadaki personelin raporu ile yöneticilerin olası işyeri tehlikelerini tespit etmesi
Lazer Tarama	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik planlamasını, farkındalığını geliştirmek İşyeri koşullarının iyileştirilmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> 3-B lazer tarayıcı tarafından etkinleştirilen resimsel gösterimleri kullanarak iş sahasında ağır bir inşaat ekipmanının kör noktalarını tespit edilmesi Ekipmanın çalışma operasyonları sırasında güvenli bir şekilde manevra yapabilmesi için çalışma alanına başlamadan önce ağır inşaat ekipmanı ve çevresindeki ortamın doğru ölçümlerinin yapılması.
QR Kod	<ul style="list-style-type: none"> Tehlike tanımayı ve tanımlamayı geliştirmek Güvenlik planlamasını, farkındalığını ve iletişimini geliştirmek. 	<ul style="list-style-type: none"> Şantiyedeki bir makinenin veya ekipmanın güvenlik bilgilerine kolayca erişilmesini sağlaması Belirli bir görev için gerekli güvenlik önlemleri ve operasyonel prosedürler hakkında bilgi sağlaması
RFID (Radyo Frekans Tanımlama)	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. Yerinde güvenlik uyumluluğunu iyileştirmek 	İş operasyonu sırasında sürücünün iş alanına girmesinden kaynaklanan potansiyel tehlikelere karşı çalışanları uyarmak için tehlike alarmı verilmesi
Robotik Ve Otomasyon	<ul style="list-style-type: none"> Tehlikeyi önleme Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. 	<ul style="list-style-type: none"> Mafsallı robotlar kullanarak yüksek riskli durumlarda kaynak işleri yapılması. Sıcak iklim koşullarında bir tuğla duvar inşa etmek için bir tuğla makinesi kullanılması Beton boru döşemesi için bir boru manipülatörü kullanılması
UAVs (İnsansız Hava Araçları)	<ul style="list-style-type: none"> Tehlikeyi önleme Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek rakımlarda çelik montajı için kalite ve güvenlik denetimleri yapılması Yüksek riskli durumlarda veya köprütün altı gibi ulaşılması zor alanlarda doğru ölçümler yapılması
WSDs (Giyilebilir Algılama Cihazları)	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. Yerinde güvenlik uyumluluğunu iyileştirmek 	<ul style="list-style-type: none"> Çalışanların fiziksel özelliklerine (örneğin vücut sıcaklığı, tekrarlı hareket) göre biyometrik tarama gerçekleştirilmesi ve kontrol için sahadaki güvenlik amirlerinin gerçek zamanlı verilere ulaşması
Sensörler	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. Yerinde güvenlik uyumluluğunu iyileştirmek 	<ul style="list-style-type: none"> Sahada kapalı alanların izlenmesini kolaylaştırmak ve acil durumlarda uyarı sinyalleri göndermek için oksijen ve sıcaklık sensörlerinden yararlanılması
Alarm Sistemleri	<ul style="list-style-type: none"> Güvenlik planlamasını, farkındalığını veya iletişimini geliştirmek. Yerinde güvenlik uyumluluğunu iyileştirmek 	İş operasyonu sırasında sürücünün iş alanına girmesinden kaynaklanan potansiyel tehlikelere karşı çalışanları uyarmak için kullanılması

Yukarıda yer alan bölümler incelendiğinde; ilk olarak bu alanda yapılan teknoloji bazlı çalışmalara yer verilmekte ve sonrasında, Çizelge 2.3'te de yer alan teknolojiler kısaca açıklanmaktadır.

Teknolojik çalışma biçimleri ve sanal görselleştirme uygulamaları incelendiğinde ise; iş güvenliğinde sağladığı potansiyeller açısından BIM, Sanal Gerçeklik (SG) ve Artırılmış Gerçeklik (AG) üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır.

BIM çalışma sistemi, projenin başından itibaren sağladığı işbirliği, koordinasyon, inşaat öncesi simülasyonlar ve çakışma tespiti ile proje güvenliğinde etkin rol oynamaktadır. BIM, mobil uygulamalar ile entegre bir şekilde çalıştığı için, proje sahasında da güvenlik önlemlerini görselleştirme için 2B çizim ve belgeler olmadan çalışma imkanı sunmaktadır.

İnşaat sektöründeki iş güvenliği uygulamalarında, *Sanal Gerçeklik*, sahadaki güvensiz koşulların önceden deneyimlenmesi gibi iş güvenliği eğitimlerinde kullanılmaktadır. İş güvenliğinde daha çok kullanılan diğer teknoloji *Artırılmış Gerçeklik*'tir.

Bu teknoloji, inşaat operasyonları sırasında şantiyedeki bağlamsal bilgileri birleştirebilmekte ve bunun da birçok güvenlik faydası olabilmektedir. Artırılmış Gerçeklik, iş güvenliği eğitimlerinde kullanılabilceği gibi sahadaki riskler hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayabilmektedir.

Bu teknolojiler birbiriyle entegre bir şekilde kullanıldığında daha etkin bir güvenlik sistemi sunabilmektedir. Yapılan araştırmalar, iş güvenliğinde yukarıda yer alan teknolojilerin, aktif bir şekilde kullanıldığında, kaza oranlarında azalma olduğunu, daha güvenli saha koşullarının oluştuğunu ve verimin arttığını göstermektedir.

Özellikle sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının, sahadaki gerçek koşullarını yansıtmakta olması, iş güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Tez çalışmasında da, proje sahalarında meydana gelen risklerin artırılması ve gerekli önlemlerin alınması amaçlandığı için artırılmış gerçeklik kavramı incelenecektir.

3. BİNA BİLGİ MODELLEME (BIM) VE İŞ GÜVENLİĞİ AMAÇLI KULLANIMI

İnşaat sektöründe yapılan son dönem çalışmaları incelendiğinde, BIM çalışma biçiminin kullanıldığı çalışmaların sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu bölümde, BIM çalışma biçimi incelenip, BIM boyutları ve BIM uygulama alanları gibi temel bilgilere yer verilmektedir.

BIM tabanlı iş güvenliği çalışmaları, inşaat projeleri için yeni bir kavramdır. Bu alanda yapılan farklı uygulamalar ve bu uygulamalara ait çalışma biçimlerinden bazıları, bu bölümde yer almaktadır.

İnşaat sektörü genel olarak diğer sektörlerden daha fazla risk faktörüne sahiptir. Bu durumun sebepleri incelendiğinde inşaat sektöründeki güvensiz koşullar ve inşaat çalışanlarına ait güvensiz davranışlar dikkat çekmektedir.

İnşaat sektöründeki risk faktörleri, projenin planlanan süreden uzun sürmesine ve hesaplanan maliyetin aşılmasına neden olmaktadır. HSE (Health & Safety Executive) 'nin raporu, inşaat endüstrisinin, inşaat endüstrisindeki güvenlik eksikliğinden kaynaklanan, her yıl diğer endüstrilerden daha fazla ölümcül yaralanmaya yol açtığını ve işçilerin yaralanmasından kaynaklı maliyetin milyarlarca olduğunu göstermiştir (Huang & Hinze, 2006; Melzner ve ark, 2013). İnşaat projelerindeki değişken koşullar ve karmaşık iş akışı, güvenlik yönetiminin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu sektördeki risk oranının fazla olmasının nedenlerinden birkaçı güvenlik tasarımının, proje tasarım sürecine dahil edilmemesidir. Bu noktada güvenlik tasarımı ve güvenlik önlemleri devreye girmektedir.

DfS (Design For Safety), günümüzde yer alan yeni kavramlardan biridir. DfS kavramı, proje tasarım aşamasında, projeye ait risk oluşturabilecek güvenlik bölgelerinin belirlenerek, gerekli güvenlik önlemlerinin alınmasını ifade etmektedir (Behm ve ark, 2014).

Proje tasarımında, projenin konsept aşamasından, yapım aşamasına kadar tek bir platformda bulunması ve projenin tüm süreçlerinin güvenli bir şekilde planlanması BIM çalışma biçimi ile mümkün olmaktadır. İnşaat işleri ilgili ölümleri, yaralanmaları azaltmak ve projelerin güvenliğini arttırmak için Bina Bilgi modeli (BIM) gibi yeni teknolojilerin kullanılması gerekmektedir (Riaz ve ark, 2014; Taiebat, 2011; Lopez del

Puerto & Clevenger, 2010). BIM çalışma biçimi ile iş güvenliği sürecinin entegrasyonuna dair yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, BIM'in geliştirilmesi ve projenin tek bir bütünsel ortamda yaşam döngüsü gerçekleştirilmesi ile, H&S bilgilerinin çoğu doğrudan bu ortamda yaratılabilir (Ganah & John, 2015).

Genel olarak sahadaki güvenlik önlemleri incelendiğinde, iş güvenliği eğitimi alan kişiler tarafından risk bölgeleri belirlenmekte ve alınan önlemler, proje alanına yerleştirilen uyarı levhaları, yazılı metinler ve sözlü uyarılardan oluşmaktadır. Fakat çoğu zaman inşaat çalışanları, tehlike uyarıları ile proje sahasında ilk defa karşılaşmaktadır. Bunun sonucunda riskler net olarak algılanmamakta ve iş kazaları oranı artmaktadır. Bu noktada BIM, inşaat projelerine ait güvenlik önlemlerinin tasarım ve yapım aşamasında planlanması ve görselleştirilmesi için bir altlık olarak kullanılabilir. BIM görselleştirme uygulamaları incelendiğinde birçok platform karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan günümüzde kullanımı artan Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) kavramları gerçekliği yansıtmaya oranı yüksek olan teknolojiler arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında ise amaç, proje alanındaki önlemlerin interaktif olarak, tüm proje ekibi tarafından gerçek zamanlı olarak görselleştirilmesini sağlamak olduğu için, AG teknolojisi ele alınmaktadır. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi ilgili teknolojilerin, inşaatı desteklemek için kullanımı yaklaşık 25 yıldır devam etmektedir (Cleveland, 2010). AG kullanımı mimari projelerin 3B modellerinin oluşturduğu sanal dünya ile inşaat sahası olan gerçek dünya arasındaki bağlantıyı kurmaya yardımcı olmakta ve projenin gerçek zamanlı görselleştirilmesini sağlamaktadır. Ek olarak iş güvenliği uygulamalarında, BIM ve AG entegrasyonu, projeye ait risklerin görünümünü arttırmakta ve mobil uygulamalar aracılığı ile BIM modeline erişimi kolaylaştırmaktadır. AG gibi görselleştirme teknolojilerinin kullanımı, güvenlik eğitimi, JHA (Job Hazard Analysis-İş Tehlikesi Analizi), şantiyedeki güvenlik şartlarını izleme ve güvenlik uyarılarına eş zamanlı yanıt verilmesi gibi çalışma biçimleri sunarak güvenlik yönetiminin iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Tez çalışmasındaki temel çıkış noktalarından birini Lin ve arkadaşlarına ait Artırılmış Gerçeklik tanımı oluşturmaktadır. Bu tanıma göre, Artırılmış Gerçeklik, bir projede fiziksel olarak var olmadan önce maruz kalmayı sağlayarak, bir projenin kusurlarını, güvenli ve risksiz bir ortamda - tamamen gerçek bir şekilde bulma ve düzeltme imkanı sunarak deneyimsiz ve inşaat ile ilgilenen bireyler için benzersiz bir öğrenme fırsatı

yaratır (Lin ve ark, 2013). Bu tanımda yer alan AG kavramı, fiziksel olarak var olmayan bir duruma maruz kalmaya neden olduğu için şantiyede gerçekleşme oranı yüksek olan riskler için, BIM tabanlı ve gerçek zamanlı deneyim sağlamaktadır. Ek olarak AG teknolojisi, mobil olarak kullanılabilirdiği için şantiyede bilginin yayılmasını hızlandırmaktadır.

Bu başlık altında, BIM çalışma biçimi, BIM uygulama alanları, iş güvenliği alanında yer alan BIM tabanlı çalışmalar ve ek olarak AG teknolojisi ile bu teknolojinin iş güvenliği entegrasyonundaki uygulamaları incelenecektir.

3.1 BIM (Building Information Modeling)

Bina Bilgi Modelleme (BIM) kavramının temeli geçmişe dayansa da son zamanlarda inşaat sektöründe sunmuş olduğu imkanlardan dolayı oldukça önem kazanmıştır. 1970'lerin ortalarında, mimari ve diğer bilgisayar destekli tasarım çalışmalarına dahil olan bir çok insan, bilgisayar destekli çizimlerin temelde sınırlı olduğunu kabul etmiştir. Kütleli modellemenin gelişimi için ise, bir tasarımda kullanılan tüm geometrik bilgilerin tek bir entegre gösterimde tanımlanabileceğini öne sürmüşlerdir (Baer ve ark, 1979). Araştırmacılar geometrik bilgilerin tek bir modelde entegre edilebilmesi durumunda, yapıya ait diğer bilgilerin de bu platforma entegre edilmesinin mümkün olduğunu öne sürmektedir. Bu modelde yapıya ait 2B, 3B çizim ve modeller, malzeme bilgileri ve detay bilgileri yer almaktadır. Yapıya ait tüm çizimlerin ve bilgilerin tek bir platformda bulunduğu bu yaklaşım biçimi, bina bilgi modellemesi kavramını oluşturmaktadır.

BIM'in birçok avantajı öne sürülmektedir (Eastman, 1976):

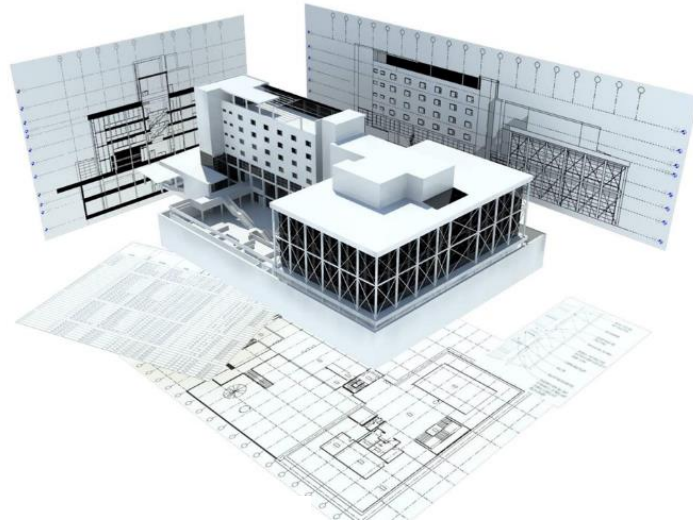
- Projede bir değişiklik yapıldığında , revize edilen bileşenin tüm çizimleri otomatik olarak revize edileceği için, süre olarak tasarıma daha fazla zaman kalacaktır.
- İhtiyaç duyulan tüm veriler, analizler ve dökümantasyon otomatik olarak elde edileceği için daha kaliteli tasarımlar ortaya çıkacaktır.
- İnşaat sürecinin planlanması ve insan simülasyonu ile yeni kullanım biçimlerini destekler.

Yukarıda yer alan avantajların yanında Bina Bilgi Modellemesi'nin en büyük artlarından biri, tasarım ve yapım döngüsü boyunca edinilen tüm bilgilerin modelde birikerek, projeye ait bir bellek oluşturmasıdır. Bu bilgi deposundan tüm proje çalışanları gerekli bilgiyi pratik bir şekilde edinebilmektedir.

BIM'in vaat ettiği en büyük potansiyel, tasarım sürecini görme, düşünme ve yapma yollarını önceliklendiren tasarım süreçleri ve metodolojileri geliştirerek ve ortaya çıkararak, mimarlığı keşfetme yollarında çağdaş uygulamaları ve eğitimi aynı anda yeniden canlandırma ve yeniden merkeze çıkarma fırsatıdır (Ambrose, 2006).

Yukarıdaki tanımlarda da yer aldığı gibi bina bilgi modellemesi, sayısal bir veritabanından oluşmaktadır ve genel olarak bu sistemde süreç, objeden binaya doğru devam eden bir yaşam döngüsünden oluşmakta ve birçok avantaj sunmaktadır.

BIM, bina ile ilgili grafik (geometri/biçim vb.) ve alfasayısal (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb.) veriden oluşan üç boyutlu bir model meydana getirerek, bu modelin proje paydaşları tarafından ortak kullanımını sağlamaktadır. Bu üç boyutlu model, planlama, tasarım, projelendirme, yapım ve işletim gibi projenin tüm yaşam döngüsünü içeren süreçlerde kullanılabilir (Ofloğlu, 2016). Bu tanımda yer alan önemli noktalardan birisi de, paydaşlar arasındaki proje paylaşımının tek bir platformda ve formatta gerçekleştirilmesidir.



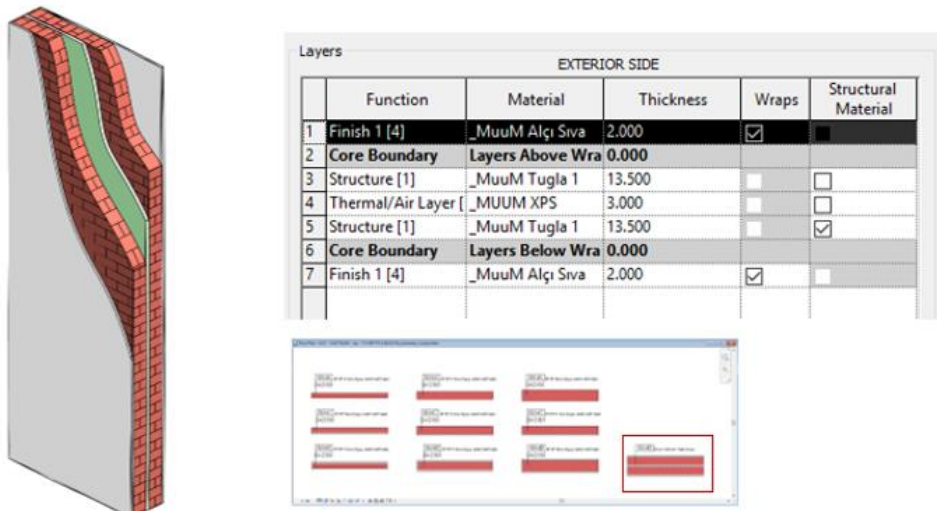
Şekil 3.1 : Bina Bilgi Modelleme (BIM).

(URL-2)

Bu durumda proje koordinasyonu sırasında zaman ve maliyet açısından büyük kazançlar elde edilebilmektedir. Genel olarak inşaat projelerinde kullanım oranları incelendiğinde, son on yılda bu alandaki uygulamaların oranının arttığı görülmektedir. 2012 yılında gerçekleştirilen bir araştırmaya göre 2007 yılında Amerika’da inşaat sektörünün %28’i BIM araçlarını kullanmakta iken, 2012 yılında bu oran %71’e yükselmiştir (Bozoğlu ve ark, 2014).

Bu oranın artmasında, bilgi modelinin IFC (Industry Foundation Classes) veri standartına sahip olması büyük oranda etkilidir. Bina bilgi modeli veri formatı incelendiğinde, 1997 yılında kurulan IFC, Archicad, Revit gibi bina bilgi modelleme yazılımları için ortak bir veri standartıdır. Bina bilgi yazılımları incelendiğinde Autodesk, Graphisoft, Allplan, Bentley gibi uygulama firmaları karşımıza çıkmaktadır. Bu firmalar IFC veri standartını destekleyen bina bilgi sistemi yazılımları üretmektedir. IFC standartının en önemli özelliklerinden biri, bina bilgi modelinde yer alacak olan bir bileşenin, birden fazla parametrik özellik ile tanımlanmasına izin vermesidir.

IFC standartı işbirliği açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır ve bu standarttaki bir modelde, gerçekte varolan elemanlar bir binaya ait fiyat, malzeme gibi farklı parametreleri taşırlar. Böylelikle mimari, statik ve mekanik projelere ait metraj listelerinin projenin içinde hazır olarak bulunduğu varsayılabilir. Ek olarak, projeye ait plan, kesit ve görünüş gibi çizimlerin bina bilgi modelinden otomatik olarak elde edilmesi, bina bilgi modelinin sağladığı en büyük kolaylıklardandır.



Şekil 3.2 : BIM Duvar Family.

(MuuM Mimarlık)

Modellere fiziksel ve termal özellikleri, yangın dayanımı, uluslararası konstrüksiyon kodu, bayındırlık poz numarası ve fiyat bilgisi gibi çok sayıda içerik yüklenmektedir. Bir bina bilgi modellemesi yapılırken, duvar, kapı, pencere, döşeme gibi mimari yapı elemanları BIM yazılımlarında gerçekteki özellikleri ile yer aldığı gibi doğrudan yapı firmalarının obje kütüphanesinden indirilerek modele entegre edilebilmektedir. Böylelikle projede kullanılacak yapı elemanlarının proje tasarımına uygunluğu kontrol edilmektedir.



Şekil 3.3 : İş Birliğindeki Temel Disiplinler.

Son dönemlerde, iş birliğindeki kişiler arasında iletişim önemli bir hâl almaya başlamıştır. Bununla birlikte anlatım teknikleri ve kullanılan uygulamalar da önem kazanmaya başlamaktadır. BIM, iş birliği içindeki proje disiplinleri arasında bilgi paylaşımını sağladığı için, dökümantasyon ve görselleştirme noktalarında oldukça fazla seçenek sunmaktadır. Farklı disiplinlerin bir arada çalıştığı projelerde 4B simülasyonlarla çakışma tespiti yapılabilmektedir ve bununla birlikte, proje yapım sürecinde önceden farkedilmeyen bir sorunla karşılaşma ihtimali düşmekte ve maliyet kayıplarının önüne geçilmektedir.

BIM çalışma ortamı proje bazında içinde bilgiyi barındıran ve koordinasyonu kolaylaştırıp, ortak bir bulut sunan sistemdir. Bu ortak paylaşım platformunun içinde projeye ait çizimler(2B), model(3B), zaman planı(4B), maliyet(5B), analizler(6B) ve tesis yönetimi uygulamaları(7B) bulunmaktadır. Elde edilecek verilerin bu şekilde derecelendirilmesi, iş kalemlerinin net olarak algılanmasını sağlamaktadır.

Bu kavramlar incelendiğinde;

- **3B**, BIM çalışma sisteminde bulunan projeye ait detayları içeren modeldir. 3B model projeye ait çoğu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Projeye ait bilgiler ve parametreler, bu modelin içinde bulunmaktadır.

- **4B**, BIM modeline sahip olan projenin zaman planıdır. Bu aşamada sahadaki proje işleyişine rehberlik etmesi için, projeye ait iş programı, Autodesk Navisworks gibi simülasyon programlarına entegre edilmektedir. BIM, tipik bir 3B bina gösteriminden proje sürecindeki çatışmaları azaltabilecek 4B tasarım olarak adlandırılan dördüncü bir boyuta (zamana) kadar genişletilebilir (Kraus ve ark, 2007).
- **5B**, 4B BIM modeline, projeye ait maliyet verilerinin girilmesiyle elde edilmektedir. 5B BIM model verilerinin maliyetini çıkarttığı için büyük avantaj sağlamaktadır ve bu durum da proje verimliliğini arttırmaktadır (Mitchell, 2012). Bu sayede projede herhangi bir yapı elemanı değişirse ya da proje süresinde bir gecikme olursa, proje genelindeki maliyet farkı elde edilmektedir.
- **6B**, sürdürülebilirliktir. Bu noktada BIM çalışma sisteminde sürdürülebilirlik analizleri yapılabilmektedir. Genel olarak son zamanlarda Dünya’da, inşaat sektörünün de etkilemiş olduğu hava kirliliği, enerji kaynakları tüketimi gibi konularda, 6B BIM ile inşaat sektörünün kendi içerisinde çözüm arayışları devam etmektedir.
- **7B**, tamamlanmış bir projeye ait BIM modeli üzerinden tesis yönetimi yapılmasıdır. Burada proje bittikten sonra da projenin genel bakım, kontrol ve işletmesi yapılabilmektedir.
- **8B**, BIM çalışma biçiminde işçi sağlığı ve iş güvenliği yeni konulardan biridir ve henüz gelişmektedir. Tehlikeyi profilelemek, güvenli tasarım önerileri sağlamak ve saha riskini kontrol etmek için BIM ile tasarım yoluyla önleme (PtD) yapmak mümkündür (Kamardeen, 2010).

İnşaat projelerinde, tasarım ve yapım aşamalarında kullanılan 8B BIM kavramı, inşaat sektöründe en büyük sorunlardan biri olan iş güvenliği önlemlerinin, BIM süreçlerine adapte edilmesine dair çalışmaları içermektedir. Bu konuda birçok akademik çalışma yer almaktadır fakat uygulamalar açısından gelişmeye devam etmektedir.



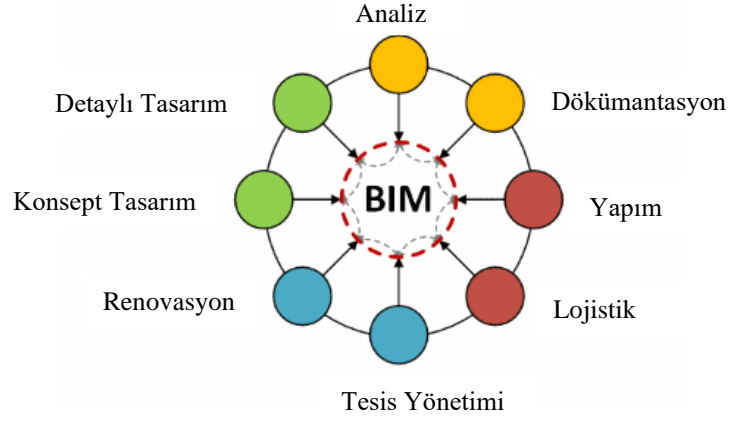
Şekil 3.4 : BIM Boyutları.

(URL-3)

BIM çalışma biçimi ile iş güvenliği entegrasyonu incelediğinde; RIBA'nın bir ürünü olan NBS (National Building Specification)'nin veri hizmetleri şirketi için çalışan Mimar Stefan Mordue, "Sahada çalışmak hâlâ tehlikelidir ve bir projedeki inşaat ilerledikçe riski azaltma imkânı da azalır. Tasarımcılar, modelleme aşamasında, BIM'de güvenlik açısından kritik bilgiler üretiyor olmalı." düşüncesini savunmaktadır (Cousins, 2016). Bu ifade, 8B BIM boyutunu desteklemektedir. İş güvenliği bilgilerinin eklendiği, 8B BIM modellerinin, proje kayıplarını azaltacağı düşünülmekte ve bu alandaki çalışmalar artmaktadır.

3.1.1 BIM Uygulama Alanları

Bina bilgi modelleri günümüzde projelerin birçok aşamasında yer almaktadır ve bu kullanım alanları sınıflandırıldığında, temel olarak; tasarım aşamasında, yapısal ve çevresel analizlerde, projelendirme ve yapım aşamasında kullanım, son olarak da tesis yönetiminde kullanım mevcuttur (Ofloğlu, 2014). Aşağıda, projeye ait bu aşamalar ve BIM kullanımları özetlenmektedir.



Şekil 3.5 : BIM Kullanım Alanları.

Tasarım Aşamasında BIM

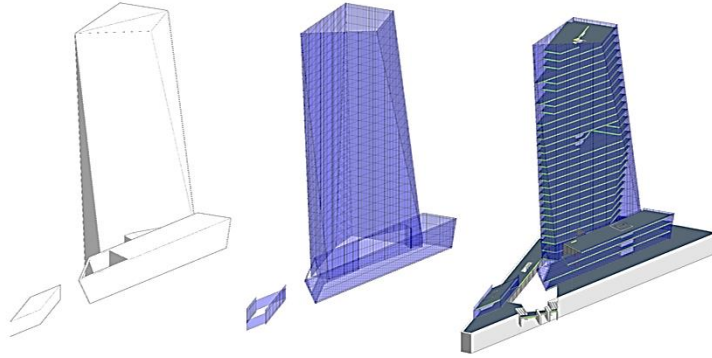
Tasarım aşaması, projeye ait bütün süreçleri etkileyen kararların alındığı ilk evre olduğu için önem taşımaktadır. Bu aşama projeye ait eskizlerin ve proje alternatiflerinin çoğaltıldığı bir çalışma sistemini içermektedir.

Bina bilgi modelinin oluşturulması sürecinde, mass model (kütlesel model) ile başlayan süreç, devamında projeye ait kütlesel analizler ile devam etmektedir. Bu noktada bilgi modelinin içerisinde projeye ait tüm veriler saklanarak projenin ilerleyen süreçlerinde bilgi modelini oluşturmaktadır. Ek olarak projenin tasarımından yapımına kadar tüm süreç aynı çalışma ortamında gerçekleşmekte ve dolayısıyla tek bir dosya formatında ilerlemektedir. Bu sayede format sebebiyle oluşan dökümantasyon karışıklıklarının önüne geçilebilmektedir.

Bir projeye ait tasarım yapılırken öncelikle proje alanına ait genel bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Sonrasında yapının yerleşimi için uygun alan seçilmektedir. Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) kullanılmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve BIM entegrasyonu ile gerekli bilgiler elde edilebilmektedir. Projeye ait uygun alan seçiminden sonra kütlesel model için gereken net ve brüt alan hesapları, hesap çizimleri, maliyet hesapları, bilgi modelinin içerisinde yapılmaktadır. Tasarım aşamasında bilgi modeli kullanımının sağladığı avantajlardan birisi de, 3B model sayesinde tasarım hatalarının önüne geçilmesi ve işveren ile proje paydaşları arasındaki koordinasyonu kolaylaştırmasıdır.

Aşağıda BIM yazılımlarından biri olan Revit kullanılarak oluşturulan kütleli model ve konsept proje modelleri yer almaktadır.



Şekil 3.6 : BIM Konsept Model.

(MuuM Mimarlık)

BIM karmaşık yapıdaki yapıların daha kısa sürede üretilmesini sağlar ve tekrar eden yapı kısımları formüller ve parametreler ile yaratılabilir (Eastman ve ark, 2011). Bina bilgi modellerinin parametrik tasarımı desteklemesi ile, doğru tasarım kriterlerine sahip parametrik binalar tasarlanabilmektedir.

Günümüzde tasarım aşamasında iş güvenliği risk ve önlemleri de, diğer parametreler gibi modelde yer almaya başlamaktadır.

Yapısal Ve Çevresel Analizlerde BIM

Günümüzde enerji kaynaklarının hızlı tüketimi sonrasında, sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmaktadır. BIM çalışma biçimi ile bir binanın yapımında ve binanın yaşam döngüsünde kullanılan enerji miktarı, projenin tasarım aşamasında hesaplanabilmektedir. Yapılan analizler ile projenin yapımı sonrasındaki birçok maliyet kaybının önüne geçilmektedir. Analizler, binanın kütleli analizleri ile başlamaktadır. Kütleli analiz, binanın hesaplara uygun olarak çekme mesafelerinin ve kat yüksekliklerinin oluşturulmasını ifade etmektedir. Kütleli oluşumu etkileyen diğer parametreler ise güneş, rüzgar yönü ve şiddetidir. IFC standartında bulunan bina bilgi modeline, coğrafi bilgiler girildiğinde ve bu analiz için gerekli eklentiler eklendiğinde analizler kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Bir binanın ısınma durumu, akustik açıdan gerekli önlemlerin alınmış olması ve havalandırması, kullanıcı açısından önem taşımaktadır. Bina bilgi modeli, kapı,

pencere, cephe elemanları gibi objelerden oluştuğu için, bu objelere verilen parametreler ile enerji analizleri yapılmaktadır.

Yapım Aşamasında BIM

Bina bilgi modelinde, bir projeye ait uygulama detay çizimleri ve detaylı bir model yer aldığına, proje yapımı sırasında oluşacak maliyet kayıplarının ve hataların önüne geçilmektedir. Yapım aşamasında şantiye koordinasyonu ve hızlı dökümantasyon önem taşımaktadır. BIM ile yapılan 4B zaman simülasyonları, projenin yapım süresi hakkında bilgi vermekte ve yapım sırasında iş akışını kontrol etmeyi sağlamaktadır. Önemli noktalardan biri ise farklı disiplinlere ait projeler arasında çakışma kontrolü ile hataları minimuma indirdiği için yapım aşamasında beklenmeyen durumların önüne geçilmektedir. Bina bilgi sistemi sayesinde kalite ve verim artışı olmaktadır. Kontrol edilebilir olması nedeniyle de güvenilir inşaat süreçleri oluşmaktadır (Dave ve ark, 2013).

Proje yapım aşamasında Artırılmış Gerçeklik(AG) ve Sanal Gerçeklik(SG) kavramları da projenin birçok aşamasında bina bilgi modeli ile entegre olarak, imalat ve montaj gibi konularda bilgi vermek için kullanılmaktadır.

Tesis Yönetiminde BIM

Yapı sahipleri ve yükleniciler yapı ile ilgili operasyonlarda ve bakım işlemlerinde BIM sistemlerinden yararlanabilmektedirler. Yapıya ileride ihtiyaca göre yapılabilecek ekler ve müdahalelerde veri tabanında saklanmakta olan bilgilerden faydalanılabilmektedir. Taşıyıcı ve kaplayıcı malzemenin geçtiği yerleri bilmek, mekanik ve elektrik tesisat ile ilgili müdahalelerde bulunurken bu tesisatların geçtikleri yerleri belirlemek açısından 3B modelden faydalanılmaktadır (Ofloğlu, 2009) . Bir binanın yapımı kadar, işletmesi de maliyet açısından önem taşımaktadır. Tesis yönetimi ile binanın işletme ve onarım işlerinde, gereksiz iş gücü kullanımı azalmakta ve zamandan kazanç sağlanmaktadır.

3.2 BIM – İş Güvenliği Entegrasyonunda Mevcut Çalışmalar

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte inşaat endüstrisi de, projelerin yaşam döngüsüne teknolojik uygulamaları dahil etmeye başlamıştır. İnşaat projelerinin, inşa süreci boyunca riskleri daha iyi anlamak ve yönetebilmek için BIM çalışma biçimi ile

3B modelleri kullanmak ve teknolojik gelişmeleri takip etmek gerekmektedir. Bir projeye ait iş güvenliği önlemlerini, proje yapım aşamasından önce planlamak gerekmektedir.

BIM, en başından itibaren sağlık ve güvenlik risklerini tespit etme ve tasarlama imkânı sağlamaktadır. Ancak, bunu yapabilmek için tasarımcıların bilgi, belge ve modellerin yaratılmasında sağlık ve güvenlikle ilgili hususların yanı sıra proje uygulamasının diğer aşamalarında nasıl ihtiyaç duyulacaklarının farkında olmaları gerekmektedir. Açıklanan durumda BIM modelinde bilgi, belirli bir konunun etrafında düzenlenebilir ve daha sonra farklı bir uygulamada bulup anlaşılabilmesi için koordine edilebilir ve dağıtılabilir.

İnşaat ve proje yönetimi şirketi Mace'deki tasarım direktörü David Hammond'e göre projenin baş tasarımcısının, süreci daha güvenli bir şekilde tasarlamak ve sürecin başında riski azaltmak veya tasarlamak için tasarım ekibine sorumluluk yüklemesi gerektiğini ve BIM'in bunun ayrılmaz bir parçası olduğunu söylemektedir (Cousins, 2016).

Bina bilgi modelleri sayesinde, bir projedeki şaft gibi düşme riski taşıyan bölgeler, elektrik panosunun olduğu yer gibi birçok detay üç boyutlu olarak modellendiği için, 2B çizimlere göre risklerin görünürlüğü daha fazladır ve bu sayede risklerin önceden belirlenmesi mümkündür. İnşaat sırasında yapılacak olan malzeme stokları, araçların hareket rotaları, inşaat iskelelerinin kurulumu gibi iş kategorileri son dönemlerde bina bilgi modellerine entegre bir şekilde tasarlanmaya başlamaktadır.

Bu alandaki teknolojik çalışmaların artmasının en büyük avantajı işçi sağlığının korunması ve güvenli bir çalışma ortamının oluşturulmasıdır. RIBA(Royal Institute of British Architects)'nın veri hizmetleri şirketi NBS(National Building Specification) için çalışan mimar Stefan Mordue, "Sahada çalışmak tehlikelidir, bu yüzden bakmamız gereken temel bir alandır. Bir projedeki inşaat ilerledikçe riski azaltma yeteneği de azalır. Tasarımcılar, BIM'de modelleme aşamasında güvenlik açısından kritik bilgiler üretmeli, böylece ilerleyen süreçlerdeki kişilerin bundan yararlanabilmesi sağlanır" (Mordue, 2017).

Geleneksel iş güvenliği uygulamalarında, sahada iş güvenliği uygulamaları, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının hazırladığı 2B izimler ve eğitimler ile sağlanmaktadır.

Stefan Mordue, iş güvenliği planlamasına tasarımcıların da dahil olması ve bina yapımından önce bu alanların planlanması gerektiğinden bahsetmektedir.

HSE (Health And Safety Executive)'nin BIM alanındaki çalışmaları ve yönetmelikleri incelendiğinde;

HSE'nin **BIM4 Health and Safety** çalışma grubu bu alandaki işveren faaliyetleri sürdürmektedir. BIM4 Health And Safety çalışma grubu inşaat alanında sağlık ve güvenlik koşullarının artırılması için gereklilikleri araştırmak, bir proje sahasındaki tehlike ve risk bölgeleri için bilgilendirme sağlamak için kurulmuştur. Bu grup BIM ile işçi sağlığı ve güvenliği entegrasyonu için gerekli çalışmalar için temel oluşturmaktadır.

BIM4 Health And Safety çalışma grubunun başkanı olan Gordon Crick'e göre, BIM ve inşaat güvenliği birbiriyle bağlantılı alanlardır. İnşaat yönetimi için tasarımcıların riskleri öngörmesi gerekmektedir. BIM' in bu noktada sağladığı avantajlardan biri, riskleri anlayabilmek için görsel bir dil kullanarak, riskleri canlandırmasıdır (Cousins, 2016).

İngiltere'de planlanan ve HSE'nin desteklediği **CDM (Construction Design Management) 2015 yönetmeliği**, Nisan 2015'de yürürlüğe girmiştir. Yayımlanan bu son yönetmelik, inşaat sektöründeki sağlık ve güvenlik önlemlerini arttırmayı amaçlamaktadır (URL-4). CDM, bir projenin tasarımından yapımına kadar geçen tüm sürecin yönetimini ifade etmektedir. İş güvenliği tasarımı ve sahada iş güvenliği gibi iş kalemleri de CDM kapsamına girmektedir.

CDM 2015'in bu alandaki prensipleri aşağıda yer almaktadır;

- Proje ile ilgili risklerin baştan sona yönetilmesi için planlanması gerekliliği,
- İşlerin zamanında yapılabilmesi için doğru çalışana sahip olmak,
- Çalışmalar gerçekleşirken farklı disiplinlerle iş birliği yapılması ve koordinasyon gerekliliği,
- Risklerin yönetimi hakkında gerekli bilgiye ve donanıma sahip olmak,
- Riskler hakkında bilgi sahibi olması gereken kişileri bilgilendirmek,
- Riskler ve risk yönetimi için çalışanlarla iletişime geçmek,

BIM ile entegre olması planlanan iş güvenliği yönetmeliği **ISO 19650**'dir. ISO 19650, BSI (British Standards Institution)'nin belirlediği standartlar, özelleştirmeler, uygulama kodları ve kılavuzları içermektedir (URL-5). 2017 yılında BSI tarafından yayınlanan bu yönetmelik, HSE(Health And Safety Executive) ve APS(Association for Project Safety) tarafından finanse edilerek, BIM4 Health and Safety çalışma grubu tarafından geliştirilmektedir (Cousins, 2016).

HSE, teknolojik gelişmeler ile sağlık ve güvenliği korumak için, BIM standartlarına benzer bir standart geliştirmenin gerekliliğini belirtmektedir. Bu yönetmelik, inşaat sektöründeki tehlike ve risk bilgilerinin işbirliğindeki paylaşımı ve kullanımı için oluşturulan bir yönetmelik olup, İngiltere'de kullanımı zorunlu olan Level-2 bina bilgi modellemesinin kullanımını oluşturan standartlar arasında yer almaktadır.

Proje Güvenliği Derneği başkanı Bobby Chakravarthy, yönetmeliğin BIM'de sağlık ve güvenlik için bir temel olduğunu düşünmektedir: "Sağlık ve güvenliğin projelerin başından itibaren BIM sürecine nasıl entegre edilebileceğini incelemeye başladık ve bütünsel bir süreç yapmanın tek yolunun, iş güvenliğinin, mevcut standartlara uyarlanması olduğunu farkettilik. Temel gereklilikler, tüm proje yaşam döngüsü boyunca tehlikeleri ve riskleri azaltmak, sağlık ve güvenlik bilgilerinin içeriği hakkında net olmaktır, böylece sorunların çözümü için doğru zamanda doğru kişilere ulaşır" (Cousins, 2016).

İş sağlığı ve güvenliği için geliştirilen **ISO 19650**, tehlikeli ve riskli bölgelerin iş birliği içerisindeki kişiler arasındaki paylaşımı ifade eden bir yönetmeliktir.

Bu yönetmeliğin temel prensiplerinden bazıları aşağıda yer almaktadır (URL-5) :

- Tüm proje sürecinde yapılandırılmış sağlık ve güvenlik bilgilerinin paylaşılması gerekliliğini vurgulamaktadır.
- Projenin başından itibaren sağlık ve güvenlik önlemlerinin geliştirilmesinin önemini belirtmektedir.
- Sağlık ve güvenlik ile ilgili verilerin kullanımı ve elde edilme süreci hakkında rehberlik etmektedir.
- Sağlık ve güvenlik verilerinin, BIM süreç ve uygulamalarında yer alabilmesi için bir bina bilgi modeli oluşturulmasının gerektiğini belirtmektedir.

Yukarıda yer alan yönetmelikler ve çalışmalar incelendiğinde; DfS (Design For Safety-Güvenlik için Tasarım) ve PtD (Prevention through Design-Tasarım Yoluyla Önleme), kavramları bulunmaktadır ve BIM çalışma sistemi ile iş güvenliği entegrasyonuna yönelik yapılmakta olan çalışmalar ve yönetmelikler tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Yönetmelikler, iş güvenliği bilgilerini içeren BIM modellerinin planlanmasını ve bu alanda gerekli standartların belirlenmesini vurgulamaktadır. Tez çalışmasında geliştirilen mobil uygulama, projenin başında güvenlik bilgilerinin paylaşılması ve güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi maddelerini desteklemektedir.

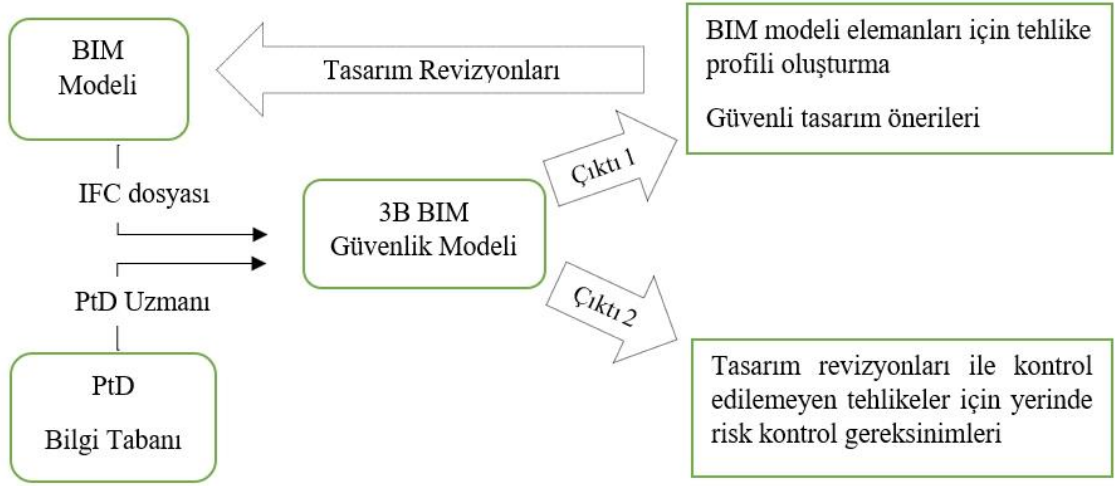
BIM ve İş güvenliği alanında yapılan çalışmalar ve araştırmalar incelendiğinde;

Bina bilgi sistemleri incelendiğinde en yaygın olarak kullanılan güvenlik önlemleri olarak 'çakışma tespiti(clash detection)' gibi araçlar yer almaktadır. Yazılımlar incelendiğinde Solibri ve Navisworks gibi yazılımlar bulunmaktadır. Ancak bu yazılımlar güvenlik için kısıtlı özelliklere sahiptir. Aşağıda yer alan özellikler bu yazılımlarda bulunmamaktadır (Zhang ve ark, 2011):

- 4B güvenlik simülasyonunda yer alan güvenlik kurallarının okunabilir ve kontrol edilebilir olması,
- Farklı riskler için, farklı iş güvenliği risklerinin kontrolünü sağlayabilmek için güvenlik bilgilerinin tanımlanması (Ör ; Düşme riski taşıyan bölgeler için düşme koruması oluşturulması,
- Bir binada yer alan tüm güvenli ve güvensiz şartları tespit edebilen bir yapı ve standart bir raporlama ve görselleştirme çerçevesi, bulunmamaktadır.

Yukarıda yer alan özellikleri barındıran yazılım ve uygulamalar son zamanlarda yapılan akademik çalışmalar ile planlanmaya başlamaktadır. BIM ve iş güvenliği entegrasyonunda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir;

- *2010 yılında Kamardeen*, BIM ile Prevention through Design (PtD- Tasarım Yoluyla Önleme) entegrasyonuna dair aşağıda yer alan şemayı önermektedir. BIM modeli oluşturulan bir proje ile iş güvenliği tasarımı birleştirilerek tehlikeleri önlemeye yönelik bir şema sunulmuştur. Bu şemada BIM modeli ile güvenlik önlemlerinin oluşturulmasına dair örnek bir çalışma sistemi yer almaktadır.



Şekil 3.7 : BIM Tabanlı Güvenlik Tasarımı.

(Kamardeen, 2010)

- 2011 yılında Taiebat, BIM sisteminin içerisinde bulunan bir güvenlik tasarımı çerçevesi önermektedir.
- 2014 yılında Kasirossafer ve arkadaşları, şantiye güvenliği ve emniyet planlamasını güçlendirmek için BIM uygulamalarının kullanılmasını önermiştir.
- 2015 yılında Guo ve arkadaşları, proje sahalarında güvenli olmayan etkenleri otomatik olarak algılamak için güvenlik önlemlerini BIM'e entegre eden bir çalışma sunmaktadır.
- 2017 yılında, Xiong Gao ve Yonghong Chen 'e ait olan araştırma, Çin ve diğer ülkelerde BIM ve iş güvenliği durumunu incelemekte ve inşaat projelerindeki güvenlik önlemleri ile inşaat sahalarında gerçekleşen acil durumlarda BIM tabanlı bir güvenlik ve acil durum paylaşım platformu önermektedir.

Yukarıda yer alan araştırmalarda, BIM modeli aracılığıyla yapılan simülasyonlar ile iş güvenliği kazaları tanımlanmakta ve önlemler standartize edilmektedir. Bina bilgi modeli ile bağlantılı güvenlik ve acil durum planı bilgileri, inşaat personeline verilecek olan güvenlik eğitimi, acil tahliye simülasyonları görselleştirilebilmektedir.

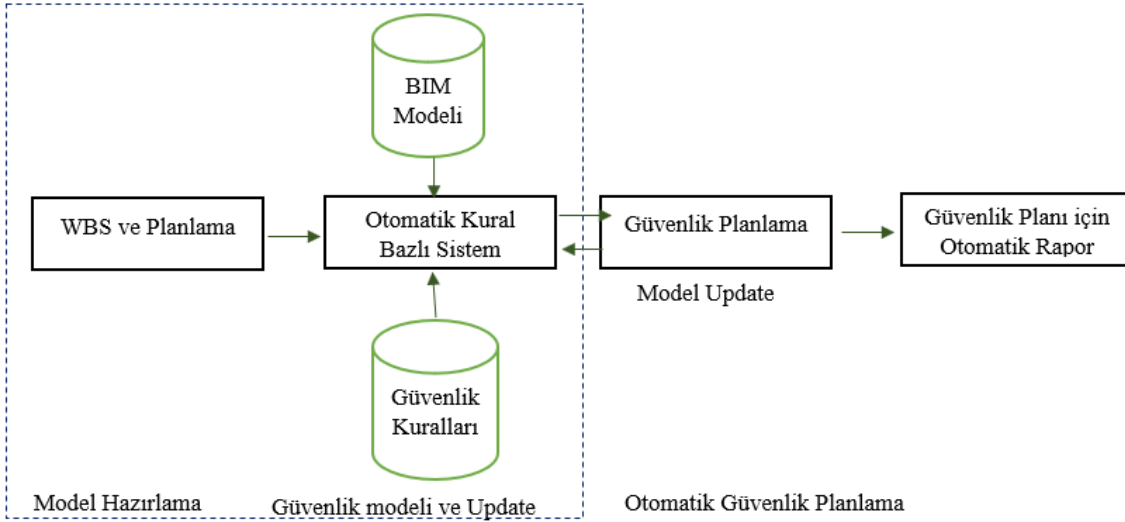
BIM ve İş güvenliği alanında düşme riskine odaklanan çalışmalar ve araştırmalar incelendiğinde;

- 2011 yılında, Zhang ve arkadaşlarına ait çalışmada, diğer çalışmalar gibi iş güvenliği planlaması ile proje yönetimi planlamasının birbirinden ayrı olarak yapılmaması gerektiği ifade edilmektedir. Ek olarak bu süreçlere iş güvenliği gibi planlamalarının dahil edilmemesinin sebeplerinden birisi olarak zaman kısıtlamalarından bahsedilmektedir. Bu araştırmada, BIM ile entegre olan bir iş planı yapısı oluşturularak, proje sürecine iş güvenliği kriterlerini dahil eden kontrol sisteminin oluşturulması önerilmiştir ve bu şekilde iş kazalarının olasılığını azaltmak amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasına benzer olarak düşme riskine odaklanan çalışmada, bina bilgi modeli üzerinden, inşaat projelerinde düşme riskine karşı otomatik önlem çerçevesi önerilmektedir. Bu çalışmanın amaçları aşağıda yer almaktadır;

- BIM çalışma biçimi ile iş güvenliği kurallarını birleştiren bir çerçeve oluşturulması,
- Güvenlik koşullarının değerlendirilebilmesi için nesne odaklı bir kural çerçevesi oluşturulması,
- Oluşturulan kural çerçevesinin kurgulanan bir olay üzerinde denenmesi,

Yukarıda yer alan Zhang ve arkadaşlarına ait araştırma, düşme riskine odaklanmaktadır. Bunun sebebi olarak da zemin ve çatılarda yer alan boşluklardan düşmenin ölümcül kazalara ve ciddi yaralanmalarına sebep olması belirtilmektedir. Bu araştırmada yer alan bilgiye göre, 2005 yılındaki ölümlerin %33'ü düşme kaynaklıdır. OSHA güvenlik kitabına göre rampalar, pistler, korumasız kenarlar, duvar açıklıkları gibi riskli bölgelerde düşme koruması gerekmektedir. Bu çalışmada da güvenlik kuralları OSHA'dan alınmıştır ve çalışmada yer alan güvenlik denetlemesi için oluşturulan iş akışı Şekil 3.8'de yer almaktadır;

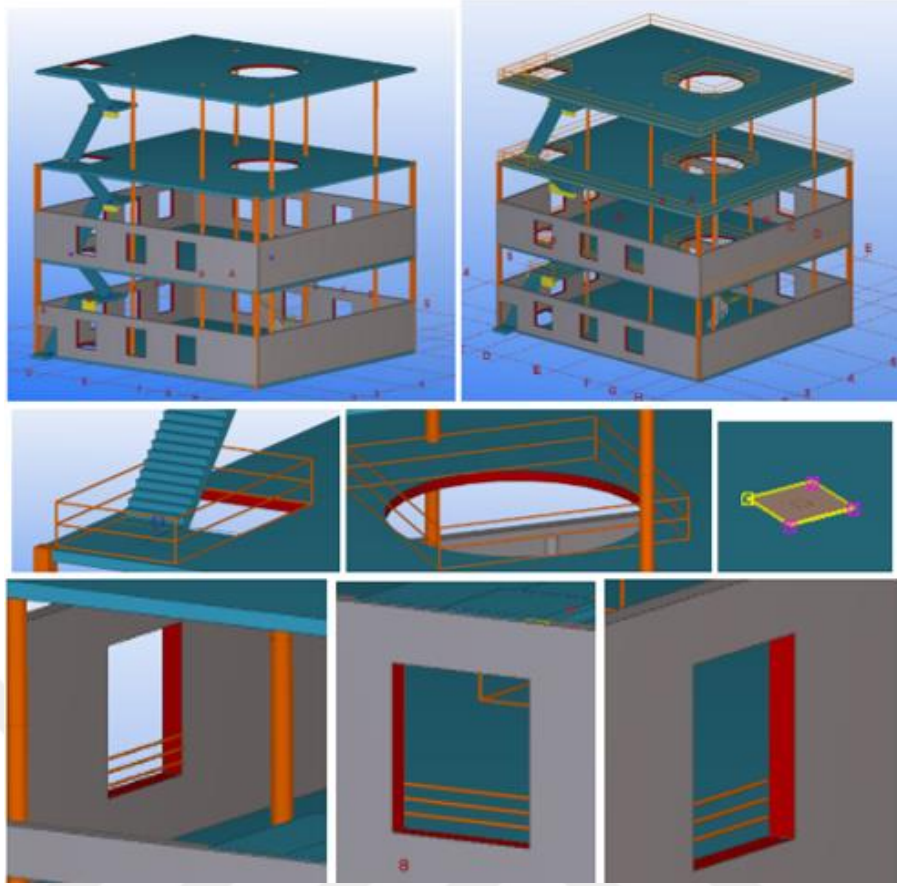


Şekil 3.8 : Otomatik Kural Tabanlı Güvenlik Sistemi.

(Zhang ve ark, 2011)

2011 yılında yapılan bu çalışmada WBS (Work Breakdown Structure)’de iş programı için, inşaat verilerini toplanarak analiz edilmiştir. Sonrasında BIM modeli ve güvenlik kuralları entegre edilerek ortak bir sistem oluşturulmuştur. Bu çalışmada Tekla’da inşaatı devam eden bir şantiyeyi gösteren 3B model oluşturulmuştur. Bina bilgi modeli ise düşme riski olan farklı boşlukları içermektedir. Boşluk tipleri tanımlandıktan sonraki kural kontrol adımları aşağıdaki gibidir;

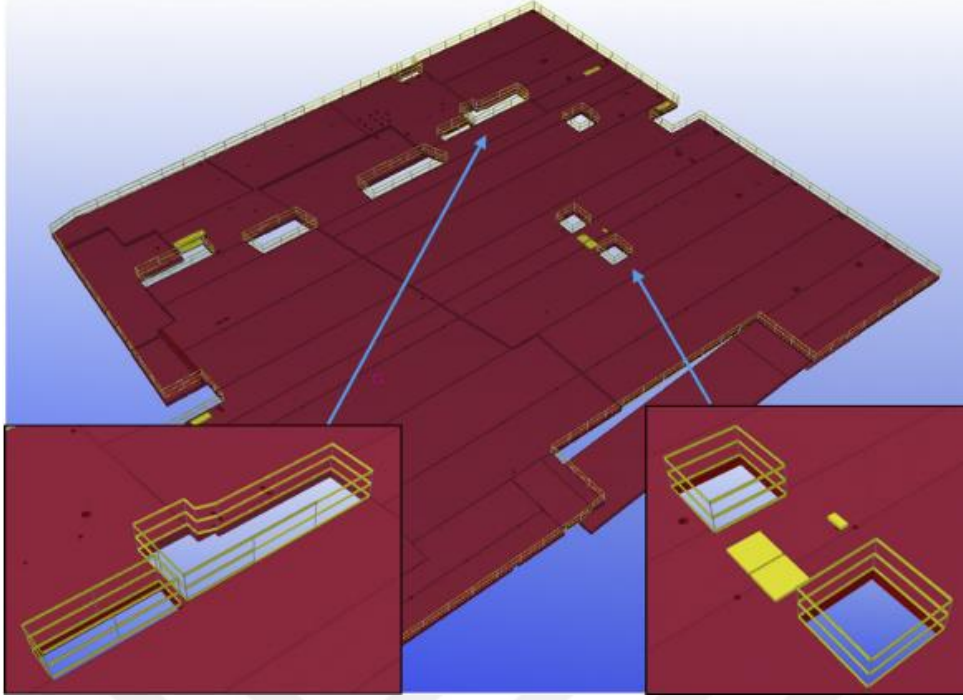
- Modelin otomatik olarak kontrol edilmesi, duvardaki boşlukların ve döşeme kenarlarının bulunması,
- Döşemedeki açıklıkların, duvar açıklıklarından ayrılması,
- Döşeme kenarlarına ve duvar boşluklarının korkuluk ile kapatılması,
- Güvenlik önlemlerinin tipi ve ne zaman kurulması gerektiği,
- Son olarak önlemleri görselleştirmek için 4B görselleştirme sağlanır.



Şekil 3.9 : Otomatik Kural Tabanlı Güvenlik Sistemi.

(Zhang ve ark, 2011)

- 2015 yılında yapılan başka bir çalışma ise, Zhang ve arkadaşlarına ait BIM tabanlı, düşme riskini önlemeyi amaçlayan çalışmadır. Bu çalışmanın amacı, şantiyede iş güvenliği önlemleri için 4B BIM kullanımı incelemek ve 4B inşaat simülasyonlarına iş güvenliği önlemlerini adapte etmektir. Ofis ve konut projeleri altlık olarak seçilmiştir. İnşaat projelerinde sık rastlanan kaza tipi olan düşme riskine karşı tehlikelerin tespiti ve önlemlerin alınmasını içeren bir otomatik sistem önerilmektedir. OSHA kurallarına göre geliştirilen bu çerçevede Tekla Structure ve Solibri Model Checker kullanılmıştır.



Şekil 3.10 : Otomatik Döşeme Kenarı Koruması.

(Zhang ve ark, 2015)

Yukarıda yer alan şekilde, güvenlik standartlarına göre korkulukla kapatılması gereken alanlar, otomatik korkuluk sistemi ile kapatılmıştır.

Çalışmadaki, güvenlik kural kontrol aşamaları aşağıda yer almaktadır;

- Yazılı güvenlik kuralların yorumlanması; kuralların bilgisayar formatına dönüştürülmesi,
- Projeye ait modelin hazırlanması; modelde korkulukların yer alması ve Tekla Structures'da 4B araçların incelenmesi, iş planını içeren 4B model oluşumu,
- Güvenlik koşullarının incelenmesi; modelin otomatik kontrol edilmesi ve çözüm önerilerinin belirlenmesi,
- Güvenlik kontrolü sonrası raporlama; alınan güvenlik önlemlerinin görselleştirilmesi, excel tabanlı rapor oluşturulması, önlemlerin miktarının belirlenmesi,
- Güvenlik lojistiği; Güvenlik ekipmanlarının kurulumu ve sökülmesi için BIM tabanlı iş programı,



Şekil 3.11 : Korkuluklara Ait Sanal Ve Gerçek Görünüşler.

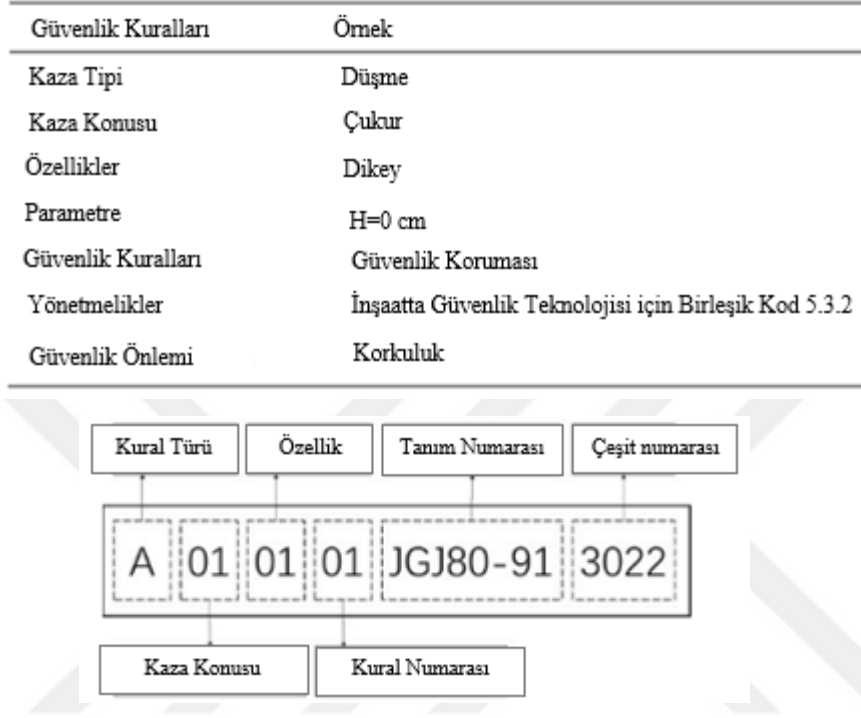
(Zhang ve ark, 2015)

Yukarıda yer alan görselde, 4B simülasyonları yapılmış olan korkulukların, proje yapım sürecinde, sahadaki gerçek konumları görülmektedir. Bu çalışma, proje yapım aşamasına, iş güvenliği önlemlerini adapte eden bir çalışma olduğu için önem taşımaktadır. Ek olarak 4B modele entegre edilen, düşme riskine karşı montajı yapılacak olan korkuluklarda, yapım tarihi gelen korkuluklar kırmızı renkli olarak gösterilirken, diğerlerinin farklı renklerde gösterilmekte olması ile iş programı açısından kolaylık sağlamaktadır ve sahada kaza risk oranları azaltmaktadır.

- 2016 yılında Hongling ve arkadaşları tarafından yapılmış olan, BIM ve güvenlik tabanlı çalışmada, inşaatta güvenli olmayan tasarım alanlarının otomatik olarak tanımlanması amaçlanmaktadır. BIM tabanlı DfS (Güvenlik Tasarımı) yaklaşımı ile projenin tasarım aşamasında, güvenlik sorununun da parametre olarak kullanılmasını benimseyen bir çerçeve geliştirilmiştir. BIM tabanlı DfS yaklaşımı otomatiktir, böylece güvenlik kontrolüne harcanan zaman ve işçilik maliyetini azaltır ve inşaat güvenliği yönetiminin performansını artırır (Hongling ve ark, 2016). Bu çalışmada prensip olarak, güvenlik önlemleri için bir kod sistemi önerilmiştir ve bu kod sistemi BIM bileşenleri ile eşleştirmiştir. Yazılım olarak BIM yazılımlarından Autodesk Revit ve Unity 3B kullanılmıştır. Kullanılan yazılımlar ve düşme riskine odaklanması açısından, tez çalışmasına altlık olabilecek çalışmalardan biridir. Güvenlik kod sistemi oluşturulurken izlenen aşamalar;
 - İş güvenliği bilgilerinin sınıflandırılması,
 - İş güvenliği kurallarına ait bir sistem oluşturulması,

- Güvenlik kuralı sisteminin bilgisayar ortamında algılanabilir bile dile çevrilmesi,

Güvenlik kurallarının aynı formatta ve sistemde olması sağlanarak, karışıklıkların önüne geçilmektedir.



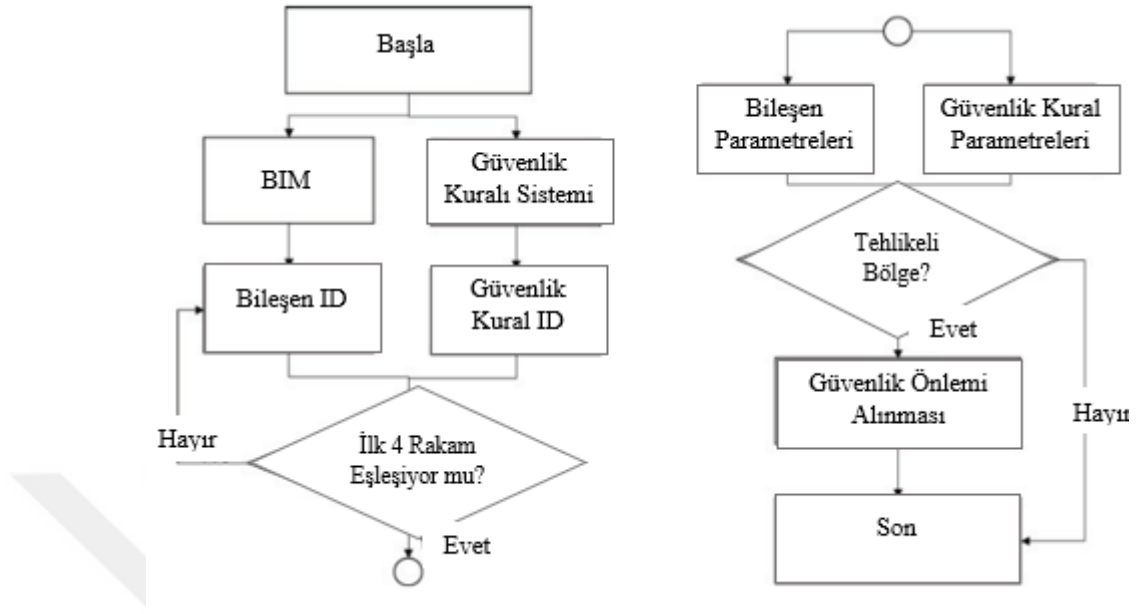
Şekil 3.12 : Güvenlik Tasarımı İçin Kodlama Sistemi.

(Hongling ve ark, 2016)

Bu sistem, kaza türüne göre alınması gereken önlemleri, BIM modeliyle eşleştirmektedir. Çalışmaya göre, BIM çalışma biçimi kullanılmasının sağladığı avantajlar aşağıda yer almaktadır;

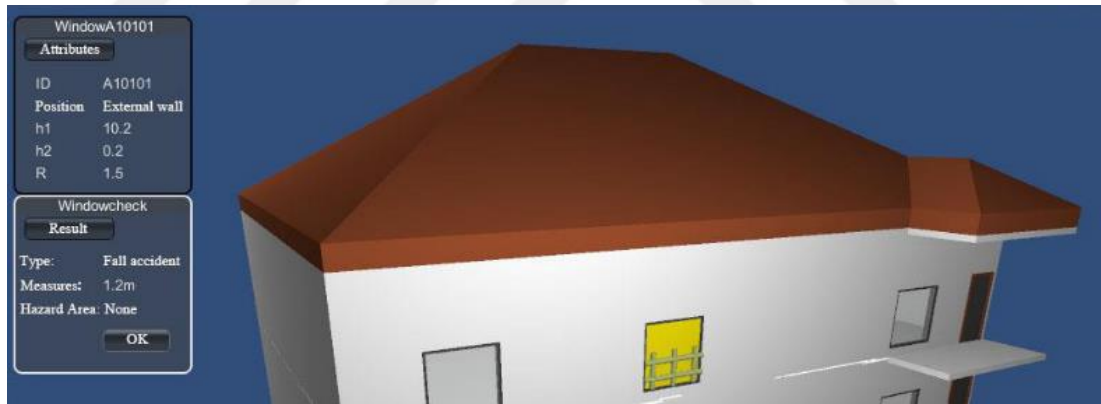
- BIM, projede yer alan bileşenlerin bilgilerini içermektedir ve format uyumu sayesinde, bu bilgiler kolaylıkla çıkarılabilmektedir.
- İnşaat bilgileri, BIM çalışma biçiminde kategorilere ayrılmış bir şekilde depolanabildiği için, tekrar düzenleme yapmayı gerektirmemektedir.
- BIM'in parametrik bir çalışma biçimi olması, güvenli olmayan bileşenlerin parametresi değiştirildiğinde, diğer bileşenlerin de otomatik olarak revize edilmesini sağlamaktadır.
- Görselleştirme olarak sunduğu birçok alternatif bina bilgi modelinde güvenli olmayan durumların bulunmasını kolaylaştırmaktadır. Görselleştirmenin

sağladığı avantajlardan biri de, inşaat sahasının güvenli duruma getirilmesi için yapılacak olan önlemlerin yöneticilerle paylaşımını kolaylaştırmasıdır.



Şekil 3.13 : Otomatik Kural Bazlı Güvenlik Sistemi.

(Hongling ve ark, 2016)

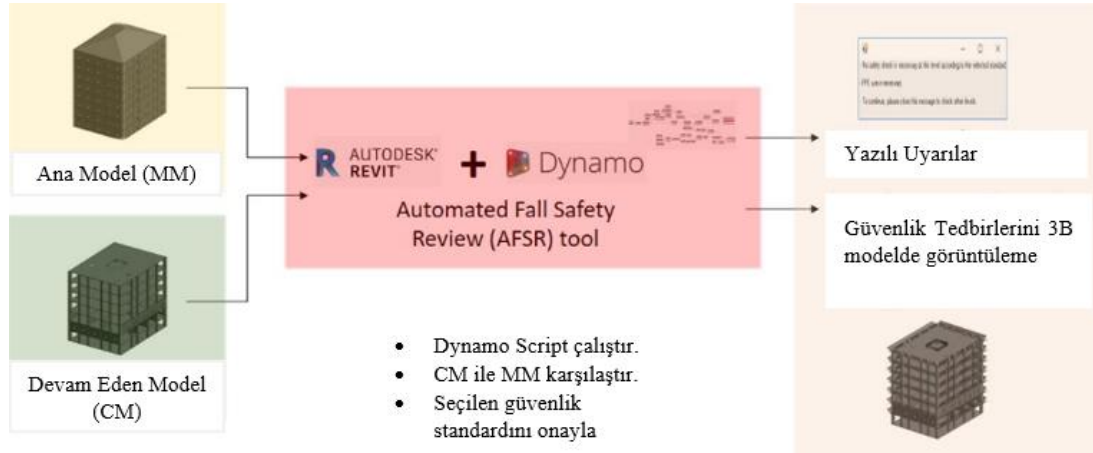


Şekil 3.14 : Güvenlik Önlemlerinin Görselleştirilmesi.

(Hongling ve ark, 2016)

- Benzer çalışmaların Türkiye'deki örneklerine bakıldığında, *Gökhan Tekbaş ve Gürsans Güven'e ait*, Düşme tehlikesini otomatik olarak önlemeyi amaçlayan bir çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada, yazılım olarak Autodesk Revit ve Dynamo kullanılarak 'Otomatik Düşme Güvenliği Kontrolü' (AFSR) geliştirilmiştir. AFSR aracı, Revit'te yer alan 3B modeli analiz etmektedir ve binada yer alan riskli bölgeleri tanımlamaktadır. Düşme riskini önlemek için gerekli önlemleri otomatikleştirmektedir.

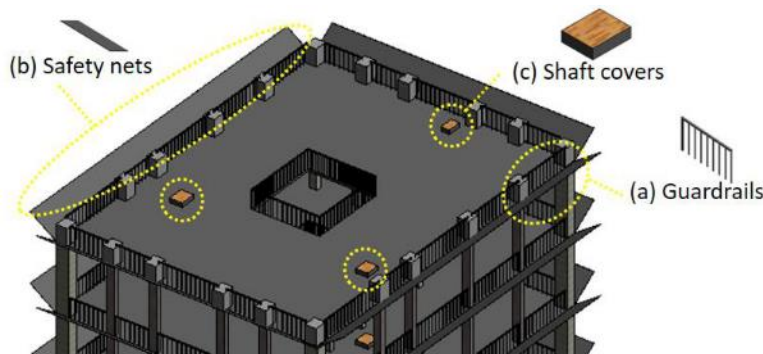
3B model olarak 8 katlı bir konut projesi seçilmiştir. AFSR aracı Dynamo komut dosyalarından oluşmaktadır. BIM modelinde düşme riski olan bölgeleri kontrol etmekte ve önlemleri otomatik olarak modele yerleştirmektedir.



Şekil 3.15 : AFSR Aracı.

(Güven & Tekbaş)

Bu çalışmada düşme önleminin alınabilmesi için, yükseklik sınırı belirlenmiştir. Kullanıcı, önlemlerin türünü Dynamo Player arayüzünden değiştirebilmektedir. Bu çalışmada as-built model ile projenin yapım aşamasındaki herhangi bir model karşılaştırılarak duvar ile çevrili olmayan boşluklar risk bölgeleri olarak algılanmaktadır.



Şekil 3.16 : Autodesk Revit Güvenlik Önlemleri.

(Güven & Tekbaş)

Şaft boşlukları, cephenin tamamlanmadığı döşeme kenarları, asansör ve merdiven boşlukları korkuluklarla ve şaft kapaklarıyla kapatılmaktadır. Bu çalışma alınan önlemler bakımından tez çalışmasına benzer bir çalışma olduğu için önem taşımaktadır.

- 2012 yılında RIBA ve HSE, uygulama aşamasında BIM çalışma sistemi ile iş güvenliği entegrasyonu için bir dizi uygulama sunmaktadır.



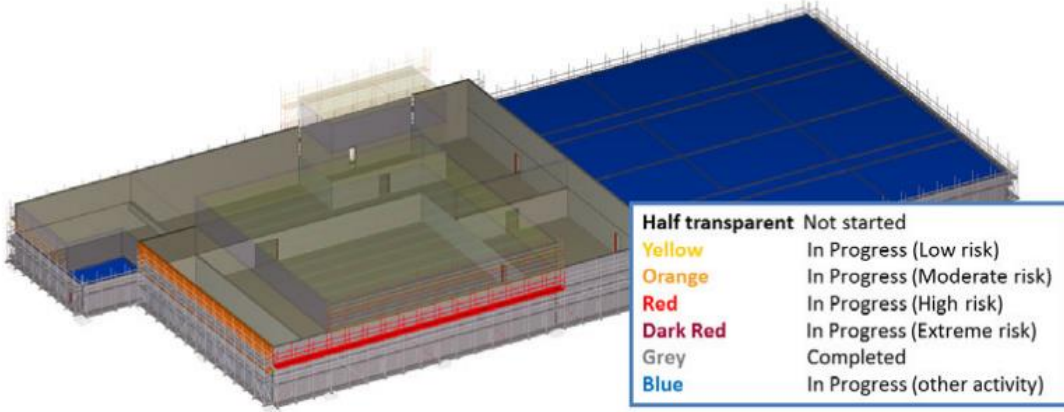
Şekil 3.17 : Güvenlik Önlemleri ve Uyarılar.

(Brownrigg, 2012)

İncelenmiş olan diğer çalışmalarda güvenlik önlemleri 3B ya da 4B olarak yer almaktaydı. Bu örnek ise , tüm çalışmaların çıkış noktası olarak nitelendirilebilecek bir gösterim sunmaktadır. Bu çalışma, bina bilgi modelinden elde edilen 2B çizimlere güvenlik uyarılarının ve görsel olarak önlemlerin eklenmesiyle oluşturulmuştur.

Yukarıda yer alan çalışmalarda, tez çalışmasında seçilmiş olan düşme riski için yapılmış olan çalışmalar yer almaktadır. Proje yapım aşamasında kurulan iskeleler de iş kazalarının sık rastlandığı bölgelerden biri durumundadır.

- 2014 yılında Collins, Zhang ve arkadaşları, *İskele İnşaatındaki Risk Faktörleri İçin BIM Kullanımı* (Integration of Safety Risk Factors in BIM for Scaffolding Construction) çalışmasında, iskele kurulumu ve iskelede çalışma durumlarındaki risk faktörlerini BIM çalışma sistemine entegre etmektedir. Bu çalışmada 4B BIM kullanılmaktadır. Bu çalışmada izlenen aşamalar aşağıda yer almaktadır;
 - İskele üzerinde gerçekleşen çalışma faaliyetlerinin incelenmesi,
 - İskelenin yapımı ve kaldırılması işlemleri sırasındaki olasılık ve riskler hakkında profesyonel kişilerden veri toplanması,
 - Toplanan verilere göre, güvenlik risklerinin belirlenmesi,
 - Güvenlik risklerinin BIM'e adapte edilmesi ve önlemler,



Şekil 3.18 : Risk Seviyelerinin 4B Simülasyonu.

(Collins ve ark, 2014)

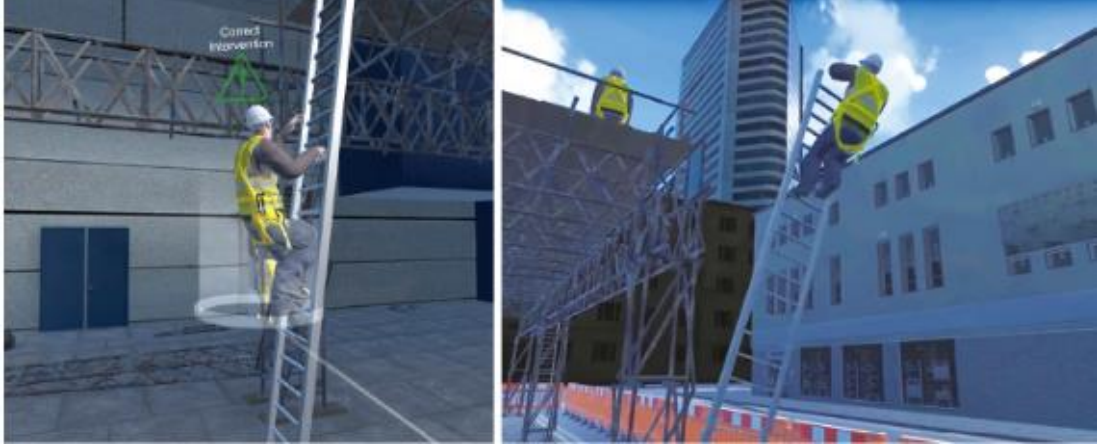
Yukarıda yer alan görselde, projede kurulumu tamamlanmış olan, devam eden ve yapılacak olan iskeleler ve risk seviyeleri 4B model üzerinde belirtilmiştir. İskele üzerinde çalışmak, iş kazaları açısından yüksek oranda risk taşımakta olduğu için, bu alandaki çalışmalar önem taşımaktadır.

Genel olarak BIM ve iş güvenliği entegrasyonu incelendiğinde, yukarıda yer alan düşme riskine karşı yapılan çalışmalardan farklı olarak, kule vinçlerin çalışmasına yönelik iş güvenliği uygulamaları, tesis yönetimi sırasında acil durumlarda yangın kaçıışı, elektrik çarpması, kaynak işleri yapımı, proje sahasına araç erişimi ya da proje yapımında çalışanlara yönelik iş güvenliği eğitimlerinde kullanılmaktadır.

İki farklı şekilde gerçekleşen BIM ve iş güvenliği entegrasyonunda, ilk olarak PtD olarak tanımlanan tasarım aşamasında güvenlik önlemlerinin alınması, ikinci olarak ise inşaat yapım sırasındaki kontrol ve izlemeye dayalı olarak gerçekleşen iş güvenliği önlemlerinden söz etmek mümkündür. BIM çalışma sistemi ya da Solibri gibi yazılımlarla yapılan çalışmalar, tasarım yoluyla önleme çalışmaları arasındadır. Fakat gerçek zamanlı verilerin elde edilmesi için kullanılan sensörler ve izleme cihazlarının kullanımı kontrol ve izlemeye dayalı alınan iş güvenliği önlemleridir.

BIM tabanlı güvenlik yönetimi ve uygulamaları incelendiğinde, sektörde birçok teknoloji ve donanım yer almaktadır. Genel olarak teknolojiler incelendiğinde, Bilgi İletişim teknolojisi (ICT), sensör tabanlı teknolojiler, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), küresel konumlandırma sistemi (GPS) / uzaktan algılama (RFID), sanal gerçeklik

(VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) gibi teknolojiler, bina bilgi modelleri ile entegre bir şekilde, iş güvenliği uygulamalarında kullanılmaktadır (Mordue, 2017).



Şekil 3.19 : Sanal Gerçeklik Eğitim Modülü.

(URL-6)

Yukarıda yer alan görselde, BIM modeli üzerinden sanal gerçeklik ile iş güvenliği eğitimi verilmektedir. Bu çalışmada kullanıcı, inşaat sahasında yer alan riskli uygulamaları sanal ortamda deneyimleyerek, alınması gereken önlemleri belirleyebilmektedir. BIM ve iş güvenliği entegrasyonunda yer alan çalışmalar incelendiğinde; 4B zaman planına eklenen güvenlik planı, Dynamo yazılımı ile eklenen önlemler, Unity arayüzünde oluşturulan güvenlik önlemleri bulunmaktadır. Son örnekte ise; Sanal Gerçeklik uygulaması yer almaktadır.

Yukarıda yer alan örneklerde, iş güvenliği önlemlerini görselleştirebilmek için, kullanıcı yazılım bilgisine sahip olmalıdır fakat inşaat proje çalışanlarının hepsinin aynı düzeyde yazılım bilgisine sahip olması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında, Artırılmış Gerçeklik teknolojisi seçilmiştir. Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, gerçek bir ortam üzerine eklenen sanal bilgiler aracılığıyla kullanıcılara yeni bir arayüz sunmaktadır. BIM modeline ait bilgilerin, ikinci bir ortama aktarılması ile, tüm proje ekibi tarafından kullanılabilir düzeyde bir arayüz oluşturulabilmektedir. Artırılmış Gerçeklik teknolojisi ve iş güvenliği entegrasyonu çalışmaları, dördüncü bölümde detaylı olarak incelenmektedir.

4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK (AG) TEKNOLOJİSİ VE İŞ GÜVENLİĞİ AMAÇLI KULLANIMI

Artırılmış Gerçeklik, sanal görüntülerin ve animasyonların, gerçek dünya ortamında görüntülenmesini sağlamaktadır. Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, günümüzde birçok alanda olduğu gibi inşaat sektöründe ve mimari tasarım alanlarında da kullanılmaktadır.

İnşaat sektöründeki AG, genel olarak, gerçek durumların simülasyonu veya görselleştirme amaçlarıyla kullanılmakta ve son dönemlerde iş güvenliği alanındaki çalışmalardan dolayı daha çok önem kazanmaktadır. İş güvenliğinde AG, proje sahasında gerçekleşebilecek riskli durumların simülasyonunda kullanılarak çalışanların bilinç ve farkındalık seviyesinin artırılması amacıyla kullanılabilir.

4.1 Artırılmış Gerçeklik (AG) Teknolojisi

Artırılmış Gerçeklik (AG) kavramının temelinde, gelişen teknoloji ile birlikte yıllardır farklı alanlarda uygulanmakta olan Sanal Gerçeklik (SG) kavramı yer almaktadır ve Artırılmış gerçeklik, Sanal Gerçekliğin farklılaşmasından oluşmaktadır.

Sanal Gerçeklik teknolojileri kullanıcıyı sanal bir ortama tamamen adapte etmekte ve kullanıcının gerçek dünyadan uzaklaşmasına olanak sağlamaktadır. Artırılmış Gerçeklik ise kullanıcının gerçek dünyada bulunarak, sanal dünyayı deneyimlemesini sağlamaktadır ve bu nedenle sanal dünya ile gerçek dünyayı birleştirmektedir. AG teknolojisi, gerçekte içinde bulunan ortama, bilgisayar ortamında bulunan sanal objelerin ve seçeneklerin yerleştirilmesi ile gerçeği değiştirmek yerine, gerçeği tamamlamaktadır (Azuma, 1997).

Artırılmış Gerçeklik, gerçek bir ortama sanal nesnelere eklemenin yanı sıra bu nesnelere kaldırmak için de kullanılmaktadır. Gizlenmek istenen bölümlere eklenecek olan grafik ve görüntüler ile gerçekliği değiştirmek de mümkün olmaktadır ve Artırılmış Gerçeklik, görme duyusuna ek olarak, ses ve dokunma gibi duyuyla da gerçek dünyanın deneyimlenmesini sağlamaktadır.

AG kavramına ait başka bir tanım ; Artırılmış Gerçeklik, gerçek dünyaya ait nesnelere yerine, dijital ortamda bulunan nesnelere kullanıldığı gerçeklik ortamıdır. (Milgram

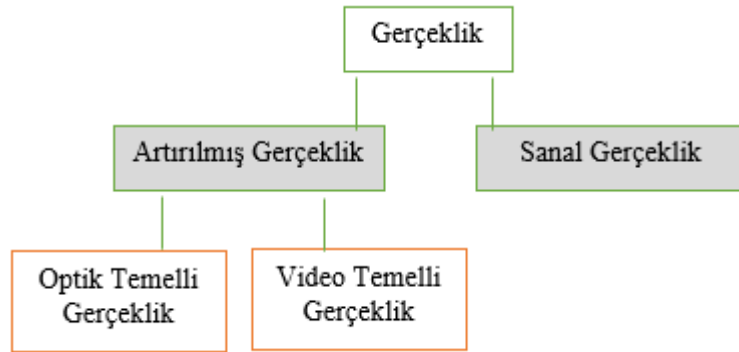
ve ark, 1994). Bu tanıma göre Artırılmış Gerçeklik, sanal dünya ile gerçek dünyanın ortasında yer almaktadır.

Artırılmış gerçeklik teknolojisinde, gerçek ortama eklenmek istenen, bir obje olabileceği gibi bir video da olabilmektedir ve bu objeler gerçek dünyaya eklendiğinde, bir durum simüle (benzetme) edilmektedir. Bu durumda AG, simülasyon kavramı ile birlikte düşünülebilmektedir.

AG teknolojisi, güvenlik ve maliyet gibi nedenlerle gerçek dünyada deneyimlenmesi mümkün olmayan koşulların simüle edilerek deneyimlenmesini sağlamaktadır. Azuma, AG teknolojisini aşağıda yer alan üç özelliğe tanımlamaktadır (Azuma, 1997);

- Gerçek ve sanal ortamları birleştirme,
- Gerçek zamanlı ve etkileşimli,
- 3B ortamda kayıtlı olan,

Artırılmış Gerçeklik teknolojisinin **Optik Temelli** ve **Video temelli** olmak üzere farklı uygulamaları yer almaktadır. Bu uygulamalarda kullanıcı, gerçek zamanlı bir deneyim yaşamaktadır ve kullanıcı bu etkileşime dahil olmaktadır.



Şekil 4.1 : Gerçeklik Uygulamalarının Gruplandırılması.

(İçten ve ark, 2017)

Yukarıdaki görselde Artırılmış Gerçeklik görüntüleme sistemleri yer almaktadır ve Sanal Gerçeklik’de aktif olarak kamera kullanımı söz konusu olmamaktadır. Sanal gerçeklikte kullanılan veriler, önceden hazırlanmış ve model ile birleştirilmektedir. Bu durumda gerçek zamanlı bir durumdan bahsetmek mümkün olmamaktadır.

Artırılmış Gerçeklikte ise temel olarak kamera kullanımına dayanan ve senkronize (eş zamanlı) çalışan bir sistem bulunmaktadır. Bu işlemlerin yapılabilmesi için bir takım yazılım, donanım ve nesnelere ihtiyaç olmaktadır.



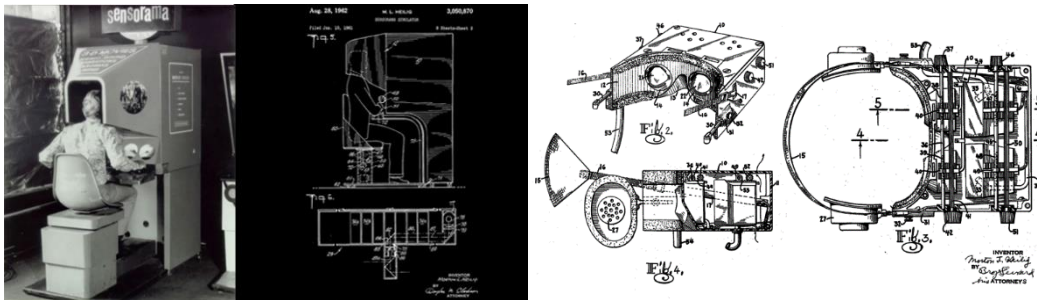
Şekil 4.2 : Karma Gerçeklik.

(Milgram & Kishino, 1994)

'Paul Milgram' ve 'Fumio Kishino' tarafından oluşturulan yukarıdaki grafikte Karma Gerçeklik kavramı ortaya çıkmaktadır. Bu grafiğe göre Artırılmış Gerçeklik, sanal ve gerçek ortamın arasında bulunan bir alan olarak yer almaktadır. Grafikte sanal ortama yaklaştıkça bilgisayar ortamında üretilen ve gerçeklikten uzaklaşan bir ortam yer alırken, gerçek ortama yaklaşırsa fiziksel mekanın gerçekliğine yaklaşma durumu söz konusudur.

Artırılmış Gerçekliğin Tarihsel Gelişimi İncelendiğinde;

1957 yılında, Morton Heilig'e ait *Sensorama* adındaki makina ile motosiklet sürüşünün simüle edilmesi ile AG uygulamaları başlamaktadır. Sensorama, rüzgar, ses gibi efektler ile simülasyonu desteklemektedir.



Şekil 4.3 : Sensorama Makinası ve Teknik Çizimleri.

(URL-7)

1962 yılında Ivan Sutherland, *Sketchpad* isimli ilk grafiksel arayüzü geliştirmiş ve sonrasında 1966 yılında, günümüzde de önem taşımakta olan ilk *HMD* (Head Mounted Display) cihazı, *The Sword Of Damocles* isimli cihazı icat etmiştir. HMD

cihazı, başa takılan ve görselleştirme sağlayan bir cihazdır. Krueger kullanıcı ile etkileşim içinde olan ilk sanal gerçeklik arayüzü olan *Videoplace*'i geliştirmiştir. 1989 yılında Jaron Lainer ilk defa *Sanal Gerçeklik* (Virtual Reality) kavramını kullanmıştır.

Caudell ve Mizel 1990 yılında ilk kez Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality) terimini kullanmıştır. İlk Artırılmış Gerçeklik Uygulaması ise 1992 yılında yapılmış olan, Louis Rosenberg'e ait *Virtual Fixtures* adlı çalışmadır. Bu çalışmada kullanıcı tarafından giyilen iki adet robotik kol iskeleti ile kullanıcı performansını arttırmaya yönelik bir çalışma sunulmaktadır.

1996 yılında AG uygulamalarında sıkça kullanılmakta olan, ilk *QR kod* ve *2B işaretçi* geliştirilmiştir. Feiner 1997 yılında dış mekanlarda kullanılabilen AG sistemi olan *Touring Machine*'i geliştirmiştir. AG uygulama yazılımı geliştirme araçları incelendiğinde 1999 yılında Hirokazu Kato *ARToolKit*'i geliştirmiştir. ARToolKit, internet bağlantısı ile web tarayıcılarında çalışabilmektedir ve erişim imkanı sağladığı için, diğer AG uygulamalarına temel oluşturmuştur.

Mobil AG uygulamaları incelendiğinde, ilk mobil AG oyunu *ARQuake*, 2000 yılında Bruce Thomas tarafından tasarlanmıştır. Wagner ve Schmalstieg 2003 yılında ilk taşınabilir AG sistemini geliştirmişlerdir.

AG Donanımları İncelendiğinde;

2014 yılında *Google Glass* kullanılmaya başlamıştır ve aynı yıl ilk AG kulaklığı olan *ORA-X* piyasada yerini almıştır. 2016 yılında ise *Microsoft Hololens* geliştirilmiştir. Son yıllardaki AG yazılım geliştiricileri incelendiğinde ise 2017 yılında, Apple işletim sistemlerinde kullanılmak üzere *Arkit* ve 2018 yılında Google, *ArCore*'u geliştirmiştir (Kurtuluş, 2019).

Günümüzde kullanılmakta olan diğer AG yazılım ve donanımları Artırılmış Gerçeklik Teknolojileri başlığı altında incelenecektir.

Artırılmış Gerçeklik, yukarıda da bahsedildiği gibi sanal verilerin gerçek ortam üzerinde düşürülmesi yöntemiyle, GPS bilgileri, 2B/3B dökümanlar, video ve ses gibi birçok verinin aktarılabilceği karma bir ortamdan oluşmaktadır (Köymen, 2014).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte AG, içerisinde barındırmakta olduğu bilgi ve teknoloji ile günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle AG, askeri, endüstriyel, medikal, mimari gibi, anlatım tekniklerinin ve eğitimin önem taşıdığı alanlarda kullanılmaktadır.

Artırılmış Gerçeklik Uygulama Alanları İncelendiğinde;

Arkeoloji alanında AG, arkeolojik sit alanlarında gezebilmeyi sağlayan örnekler taşımaktadır. Bu çalışma örneklerinden biri, Ritsos ve arkadaşlarına ait giyilebilir teknoloji ile HMD kullanılarak planlanan mobil uygulamadır. Başka bir çalışma ise *Archeoguide* isimli Dahne ve arkadaşlarına ait hasar görmüş eski yapıları ve tarihi çevreyi gezmek için planlanan mobil dış mekan uygulamasıdır.

Sanat alanında AG, birçok şekilde kullanılmaktadır. Modern sanatlarda teknolojinin kullanımı giderek artmaktadır ve AG de bu teknolojilerden biri durumundadır. *Augment* şirketine ait bir yazılım, duvarda yer alan bir işaretçi üzerine tutulan mobil araçlar ile bir sergi alanı oluşturmaktadır. *Konstruct* adındaki Apple uygulaması, ses dalgalarının AG ortamında sanal heykeller oluşturmasını sağlamaktadır (Köymen, 2014).

Ticaret alanında AG, ürünler hakkında bilgi alma, ürünün simülasyonu gibi birçok şekilde kullanılmaktadır. Tissot saat firması, sanal ortamda veya mağazada bulunan saatlerin kamera aracılığıyla kullanıcının kolunda simüle edilmesini sağlayan *Virtual Watch* uygulamasını geliştirmiştir. Mimari alana da örnek olan bir çalışma ise, IKEA'ya ait, mobilya ve ev eşyalarının, kullanıcının ev ortamında görüntülenmesini sağlayan uygulamadır (İçten ve ark, 2017).

Eğitim alanında AG, birçok alanda kullanılmaya devam etmektedir. Kitap tasarımında son yıllarda kullanılmakta olan AG, Türkiye'de de *Canlı Kitap* ve *Sesli Kitap* gibi örnek projelerde yer almaktadır. Bunun dışında 3B algılamaya yönelik, geometri ve biyoloji gibi alanlarda da farklı şekilde kullanımlar mevcuttur (Köymen, 2014).

Medikal alanda AG, cerrahi operasyonları kolaylaştırmak amacıyla hastanın anatomisiyle, sanal anatomiyi birleştiren çalışmalarda, birtakım psikolojik korkuları yenme çalışmalarında kullanılmakta ve bu çalışmalara benzer başka çalışmalarda kullanılmaktadır.

Askeri uygulamalarda ise, gece görüş gözlükleri üzerine yansıtılan birtakım konum, yön bilgileri yer almaktadır ve askeri uçaklarda meydana gelebilecek tehlikeli durumları simüle eden AG uygulamaları mevcuttur.

Son olarak, mimari alanda da birçok AG uygulaması mevcuttur, inşaat sektöründeki ve mimari alandaki çalışmalar, Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik bölümünde incelenecektir.

4.1.1 Artırılmış Gerçeklik (AG) – Bina Bilgi Modelleme (BIM) Entegrasyonu

İnşaat sektöründe, mimarlık, mühendislik gibi disiplinlerin proje yaşam döngüsü boyunca tek bir platformda sürdürülmesini ve uygulanmasını Bina Bilgi Modellemesi (BIM) sağlamaktadır. Diğer bölümlerde de bahsedildiği gibi BIM, veri paylaşımı, dökümantasyon ve proje sürecindeki hataların minimuma indirilmesi açısından önem taşımaktadır.

BIM, format bilgisi sayesinde farklı yazılımlarla uyum içinde çalışabilmektedir ve bu nedenle çevresel verileri diğer uygulamalardan kolaylıkla edinebilmektedir. Fakat değişen çevresel koşullarla birlikte gerçek zamanlı bilgiye erişebilen bir BIM modelinin, projenin tüm safhalarında daha doğru bilgi sunması mümkün olmaktadır.

BIM çalışma sisteminin en önemli özelliklerinden biri ise görselleştirilmiş dijital bir inşaat sistemi sunmasıdır. Teknolojideki son gelişmeler ile birlikte proje paydaşları, BIM içeriğindeki bilgileri görüntülemek için Karma Gerçeklik kullanmaya başlamıştır ve bu gelişmeler daha sürükleyici bir çalışma ortamı sunmaktadır (Alizadehsalehi ve ark, 2019).

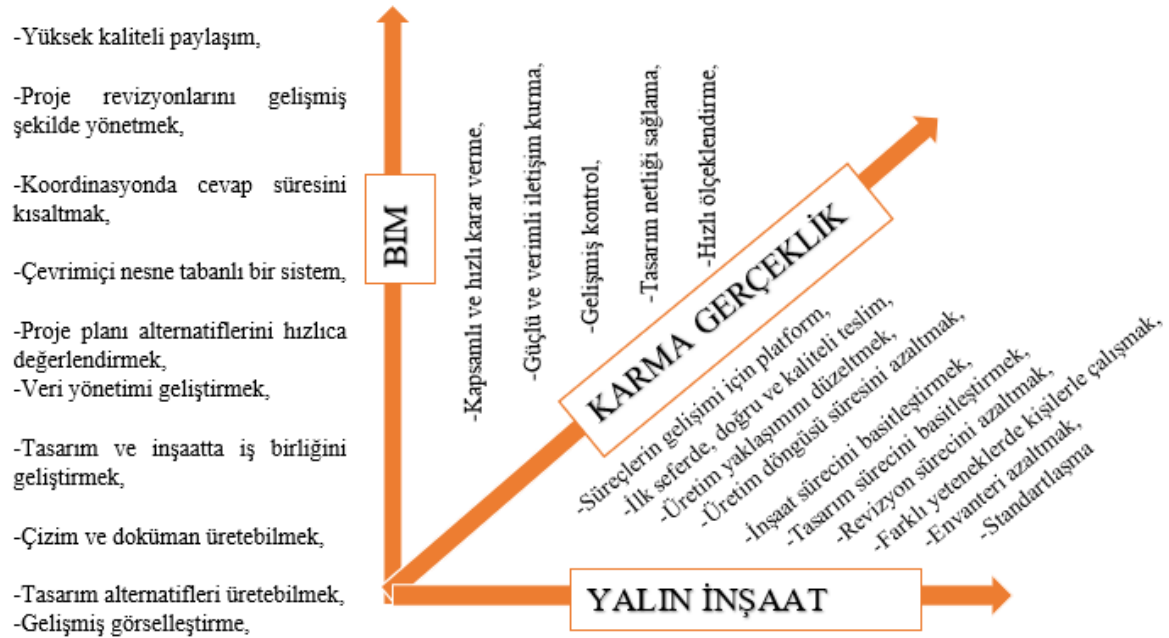
Karma Gerçeklik kavramını oluşturan bileşenlerden biri olan AG, sanal ortam ile gerçek ortamı birleştiren bir teknolojidir. AG'nin, mimari uygulamadaki işbirliği çalışmalarını etkin bir şekilde desteklediği görülmektedir (Wang ve ark, 2008). Bu nedenle, bu teknoloji aracılığıyla gelen gerçek zamanlı bina bilgileri, BIM tarafından sağlanan yapısal ve mimari verilerle birleştirildiğinde çok daha verimli bir proje döngüsü ortaya çıkmaktadır.

BIM, Artırılmış Gerçeklik (AG), Sanal Gerçeklik (SG) ve Radyo Frekans Tanımlama (RFID) gibi teknolojilerin tasarım ve inşaat alanında kullanılmasıyla birlikte birçok yazılım ve mobil uygulama, inşaat sektörüne entegre olmaktadır. BIM tabanlı AG

uygulamaları incelendiğinde ise; Autodesk BIM360 gibi birçok AG görselleştirme uygulaması mevcuttur.

BIM-AG entegrasyonu kullanımları incelendiğinde; bir projeye ait bilgilerin paylaşılmasında, zaman planının kontrolünde, tesis yönetiminde, projeye ait yapım ve montaj işleri hakkında eğitim verilmesinde, gerçek zamanlı bina bilgi modeli oluşturulmasında, iş güvenliğinde ve diğer görselleştirme aşamalarında kullanılmaktadır. Bu aşamalarda BIM ve AG kullanımı, 3B model aracılığıyla, en güncel proje bilgisine erişimi sağlamakta ve sahadaki kontrol süreçlerinin otomasyonunu sağlayarak, karar sürecini kolaylaştırıp, sorunların raporlanmasına imkan vermektedir (Ratajczak ve ark, 2019).

BIM ve Artırılmış Gerçeklik entegrasyonunun avantajlarından birisi de proje hatalarını, gecikmeleri, gereksiz üretim, ve işlem, gereğinden fazla malzeme, ekipman ve iş gücü kullanılmasına karşı bir sistem olan *Yalın İnşaat* (Lean Construction) kavramını da desteklediği için önem taşımaktadır. BIM ve AG entegrasyonu, proje anlatım teknikleri açısından gerçekçi bir ifade oluşturduğu için hataların önüne geçmekte, gerçek zamanlı bir çalışma sunduğu için zaman kaybının da önüne geçmektedir.

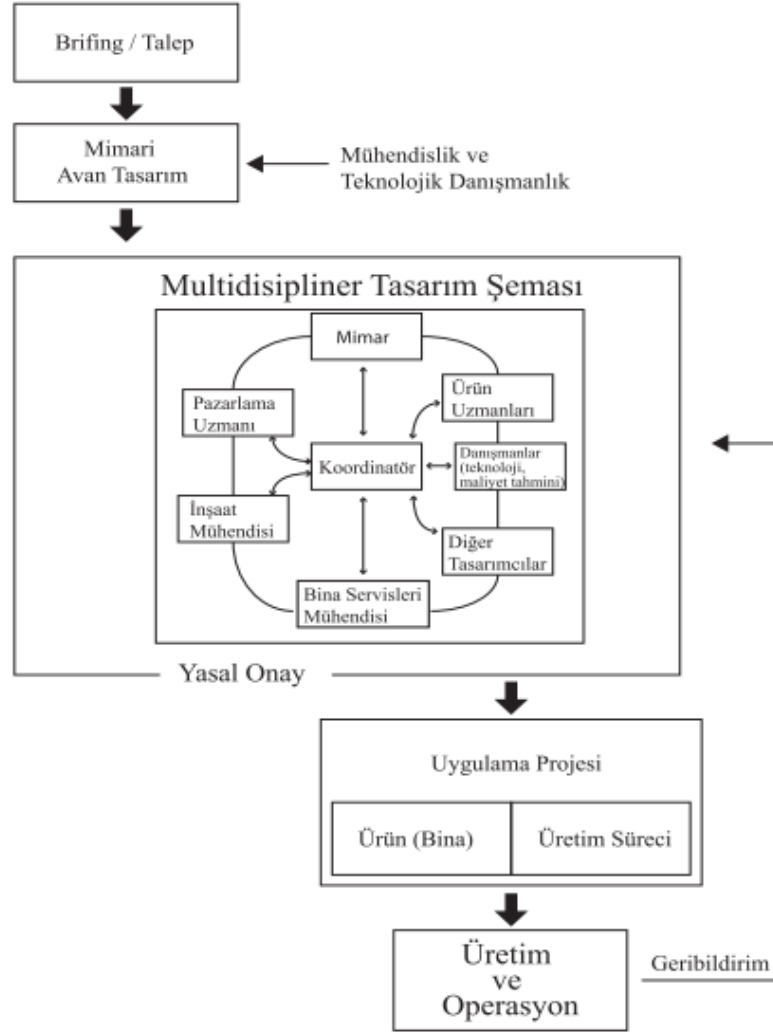


Şekil 4.4 : BIM, Karma Gerçeklik, Yalın İnşaat.

(Alizadehsalehi ve ark, 2019)

BIM-Yalın İnşaat entegrasyonunun sonucunda, her proje bileşenini doğru bir şekilde açıklayan, detaylı bir sanal model meydana gelmektedir. Bu yüzden BIM içeriğini görüntülemek için AG veya SG gibi teknolojilerin kullanımı başlamaktadır.

BIM-AG entegrasyonunda yer alan veri akışı ve bu akışta bulunan disiplinler ile Yalın İnşaat sürecindeki disiplinler benzerlik taşımaktadır. Yalın Tasarım Sürecindeki temel disiplinler ve veri paylaşımı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.



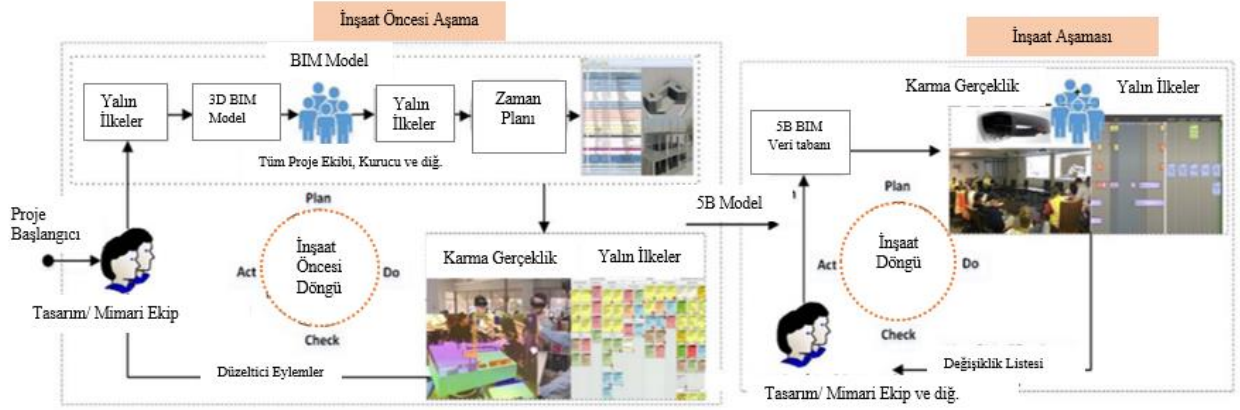
Şekil 4.5 : Multi-Disipliner Yalın Tasarım.

(Melhado & Agopyan, 1996)

Yukarıdaki grafikte yalın tasarım ilkelerine göre, bir inşaat projesinde, disiplinler arasındaki veri akışları ile projelerin farklı aşamalarındaki görevleri yer almaktadır.

BIM ve Artırılmış Gerçeklik (AG) Entegrasyonunda Veri Paylaşımı Ve İş birliği Çalışmaları İncelendiğinde ;

- İlk olarak, 2019 yılında yapılan en güncel çalışma, Alizadehsalehi ve arkadaşlarına ait, BIM, Karma Gerçeklik ve Yalın İnşaat sürecindeki paylaşımları inceleyen çalışma bulunmaktadır.



Şekil 4.6 : BIM, Yalın İnşaat, Karma Gerçeklik.

(Alizadehsalehi ve ark, 2019)

Bu çalışmada, BIM ve Karma Gerçeklik alt başlıklarından AG teknolojisi kullanılarak, zaman ve maliyet bilgilerinin de eklendiği 5B BIM modeli oluşturulmakta ve görselleştirilmektedir. İnşaat öncesi ve inşaat sonrası aşamalarda BIM ve AG kullanımına yönelik örnek çalışma çerçevesi olması açısından önem taşımaktadır.

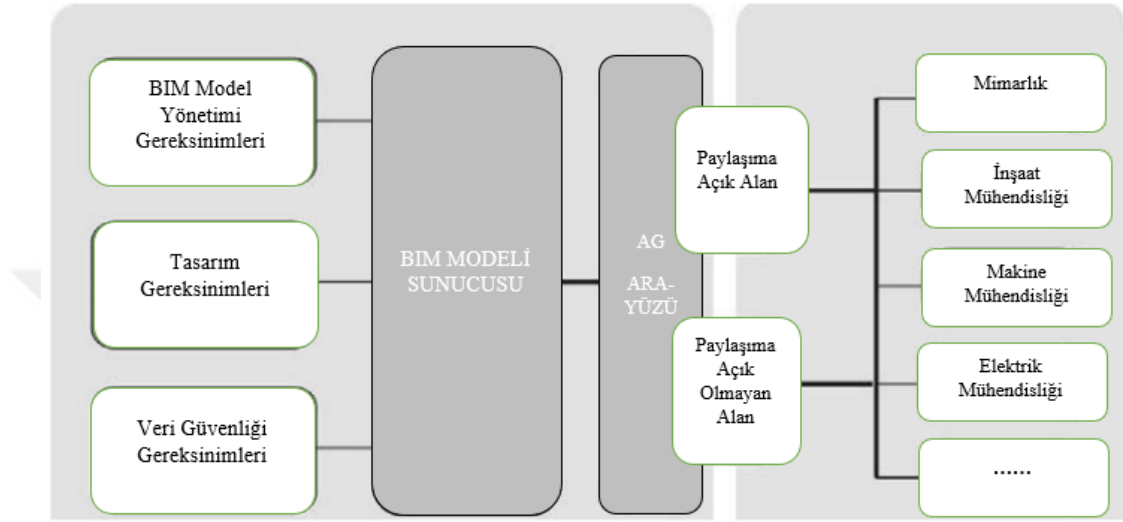
- İkinci olarak, Wang ve arkadaşlarına ait 2010 yılında yapılan bir çalışmada, BIM ve AG entegrasyonu için model yönetimi, organizasyonu ve kullanıcı arayüzü ile ilgili bir rehber çalışma yer almaktadır;

Bu çalışmaya göre model yönetimi ve organizasyonu için gereklilikler ;

- BIM modellerinin yer aldığı bir veri havuzu,
- Esnek bir hiyerarşiye göre düzenlenmiş BIM modeli,
- Farklı düzeylerde ayrıntılara sahip nesnelere,
- Nesne ve Model geçmişinin saklandığı veri havuzu,
- Model paylaşımında erişim kuralları,

- Nesnelerin benzersiz tanımlanmasına olanak veren GUID (Globally Unique Identifier),

Yukarıda belirtilmekte olan özellikler genel olarak BIM çalışma sistemini özetlemektedir. Bu çalışma, BIM sunucusunda yer alan AG arayüzü için bir öneride bulunmaktadır.



Şekil 4.7 : BIM Sunucusu İçin AG Arayüzü.

(Wang ve ark, 2010)

Kullanıcı arayüzü için gereklilikler incelendiğinde;

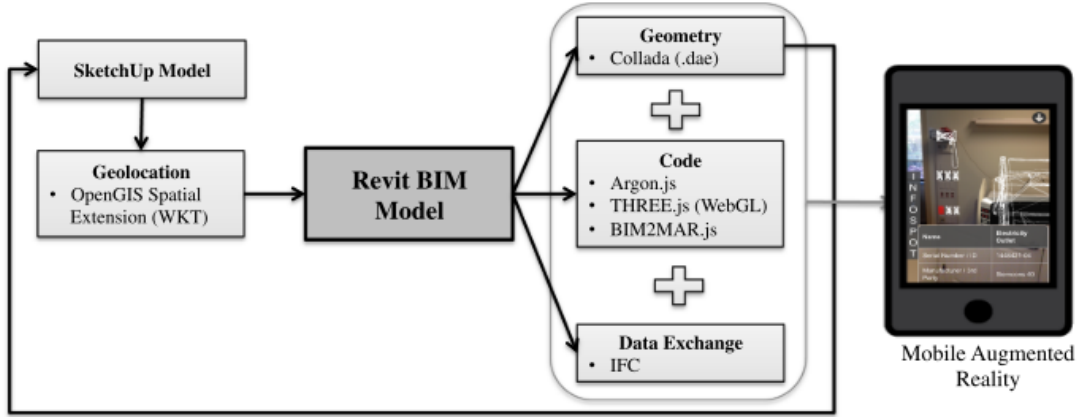
- Modelin hareketi için 3B görüntüleyici butonu,
- Gerçek zamanlı (AG) çevrimiçi görüntüleme ve yazdırma
- Bir nesneye tıklandığında bilgi edinebilme,

Bu çalışmada BIM modeline ait gerekliliklerden bazıları ve bu entegrasyonda, kullanıcı arayüzünde bulunması gereken bazı özellikler paylaşılmaktadır.

BIM ve Artırılmış Gerçeklik (AG) Entegrasyonunda Tesis Yönetimi Çalışmaları İncelendiğinde;

- İlk olarak, Williams ve Arkadaşlarına ait 2015 yılında yapılan, BIM2MAR çalışması; BIM'den alınan çıktılar ve 3B model bilgisi, Artırılmış Gerçeklik ile birlikte tesis yöneticisinin, iş kalemlerini tek bir arayüzde toplamasını ve gerçek zamanlı görüntüler elde etmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, bir

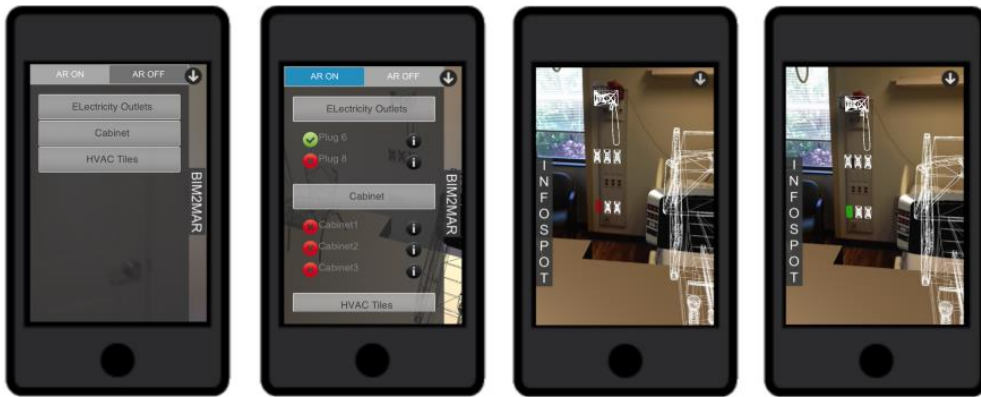
sağlık tesisinde, Revit programı ile, bir odaya ait model oluşturulmuştur. Sonrasında yapıya ait tüm fotoğraflar ve mühendislik projeleri modele eklenerek BIM modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.8 : BIM -AG Çalışma Sistemi.

(Williams ve ark, 2015)

Bu çalışma, mobil uygulamada BIM ve AG arayüzü entegrasyonu için örnek bir çalışma çerçevesi sunmaktadır. İlk olarak projeye ait Sketch Up modeli olduğu için, bu modele coğrafi bilgiler, tüm disiplinlere ait proje bilgileri eklendikten sonra BIM modeli oluşturulmuştur. BIM modeli, AG yazılım geliştiricileri ve mobil uygulamalarda kullanılmak üzere basitleştirilmiş bir modele dönüştürülmektedir.



Şekil 4.9 : AG Kullanıcı Arayüzü.

(Williams ve ark, 2015)

Çalışmada, Tesis yönetimi esas alındığı için, konum bilgileri kullanılmaktadır. Kullanıcı arayüzünde, mobil uygulamada yer alan havalandırma, elektrik panoları gibi

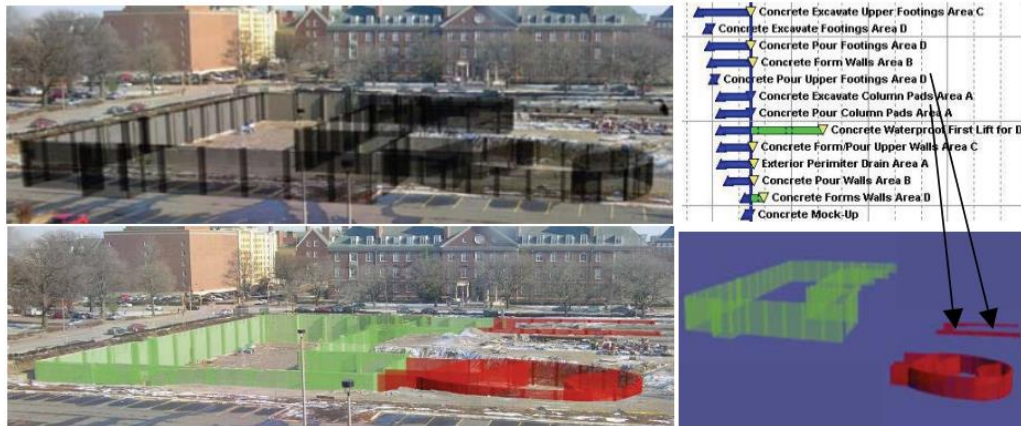
gerçek ortamda bulunan veriler ile, projeye ait sanal verilerin eşleştirilmesi işlemi yer almaktadır.

- *İkinci olarak, Natephra ve Arkadaşlarına ait 2019 yılında yapılan çalışmada;* Tesis yönetiminde BIM, AG ve sensör bazlı olup nesnelerin interneti (IoT) aracılığıyla verilerin toplanması ile birlikte iç mekânlarda güvenlik ve konfor koşullarının iyileştirilmesine yönelik bir çalışmadır. Çalışmanın amacı, BIM tabanlı AG ortamında, IoT aracılığıyla toplanan verilerin görselleştirilmesidir.

İç mekândaki hava sıcaklığı, ışık derecesi, nem gibi çevresel veriler sensörler aracılığıyla toplanmakta ve BIM modeline eklenerek, AG uygulamasında görselleştirilmektedir. Bu alanda yapılan farklı uygulamalar günümüzde giderek artmaktadır.

BIM ve Artırılmış Gerçeklik (AG) Entegrasyonunda Zaman Yönetimi (4B) Çalışmaları İncelendiğinde;

- *İlk olarak, Gani ve Arkadaşlarına ait 2009 yılında yapılmış olan D⁴AR çalışmasında;* proje sahasında gerçekleşmekte olan işlemler ve planlanan işlemler arasındaki zaman tutarsızlıklarını belirlemek ve izlemek için bir çerçeve sunulmaktadır. İnşa edilen bölümlerin fotoğrafları ile planlanan 4B modellerin karşılaştırılması ile çalışma gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.10 : D⁴AR Çalışma Sistemi.

(Mani ve ark, 2009)

D⁴AR sisteminin amacı, aynı konumdaki mekansal olarak inşa edilmiş ve planlanan modelleri coğrafi olarak kaydeden ve aynı şekilde inşaat ilerlemesinin ölçülmesini,

analiz edilmesini ve iletilmesini sağlayan bir sistem oluşturmaktır. Bu çalışmada, yukarıda yer alan görselde olduğu gibi, gerçekte inşa edilmiş olan inşaat elemanları yeşil, tamamlanmamış olanlar ise kırmızı renkte işaretlenmektedir. Bu çalışma inşaat aşamasında zaman planı için yapılan BIM ve AG çalışmaları arasında önem taşımaktadır.

- *İkinci olarak, Zaher ve Arkadaşlarına ait 2018 yılında yapılmış olan BIM-U çalışmasında;* inşaat projelerindeki ilerlemenin takip edilmesi ve verilerin toplanması için, BIM ve AG kullanılmasına olanak veren bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Bu çalışma, mobil cihazların, uygulama aracılığıyla, inşaat süresini ve maliyet performansını takip etmesini, güncellemesini ve görselleştirmesini sağlayan bir çerçeve önermektedir.



Şekil 4.11 : BIM-U AG Uygulaması.

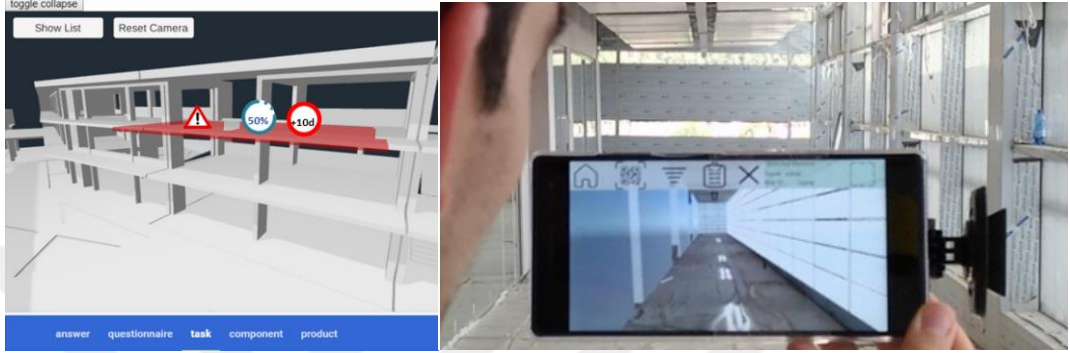
(Zaher ve ark, 2018)

BIM-U uygulaması, bir Android uygulaması olup, 4B ve 5B BIM çalışmaları içeren, AG uygulaması sunmaktadır. Bu çalışmada, zaman planlaması için Primavera programı, bina bilgi modeli için Revit ve 4B model için Navisworks yazılımı kullanılmaktadır. Ek olarak, mobil uygulama için uygulama geliştiricisi ve AG görselleştirmesi için QR kod sistemi kullanılmaktadır. Çalışma çerçevesi olarak, mobil uygulamalar için, güncel örnek çalışmalardan biridir.

- *Üçüncü olarak, Ratajczak ve Arkadaşlarına ait 2019 yılında yapılmış olan AR4C çalışmasında;* BIM tabanlı AG uygulaması önerilmektedir. Çalışmada, konum tabanlı yönetim sistemi ile BIM entegrasyonu birleştirilerek, inşaat projelerindeki ilerleme ve performans bilgileri AG aracılığıyla

görselleştirilmektedir. Bu çalışmanın amaçları arasında, Yalın İnşaat yönetimini desteklemek ve BIM, AG ve Yalın İnşaat tabanlı bir mobil uygulama oluşturmak yer almaktadır.

Bu çalışmada BIM, her yapı elemanına ait malzeme ve konum ile ilgili parametreler eklenip, geometrik ve teknik bilgi sağlayan bir model oluşturmak için kullanılmaktadır.



Şekil 4.12 : AR4C Mobil Uygulaması.

(Ratajczak, 2019)

Bu çalışmada, proje bileşenlerine verilen parametreler ile yapı elemanlarının yapım durumuna göre kırmızı, yeşil gibi farklı renklerde olması, performans değerlendirmesi açısından projenin gecikmesi gibi durumlar hakkında bilgi vermektedir.

BIM ve Artırılmış Gerçeklik Entegrasyonunda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, Tesis Yönetimi (7B BIM) çalışmaları, proje zaman planlaması (4B BIM) kontrolü çalışmaları, şantiyedeki işlemler için eğitim amaçlı çalışmalar ve iş güvenliği için yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

BIM ve Artırılmış Gerçeklik (AG) Entegrasyonunda farklı kullanımlar incelendiğinde;

- 2016 yılında Gheisari ve Arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; BIM modeli ile, panoramik şantiye fotoğrafları birleştirilerek, inşaat çalışanlarının ihtiyaç duydukları bilgiye AG deneyimi ile ulaşması amaçlanmaktadır.
- 2018 yılında Chu ve Arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada; BIM ve AG entegrasyonunun inşaat aşamasındaki bilgi edinme sürecini kolaylaştırarak, verimliliği artırması için bir yaklaşım benimsenmektedir. BIM modelleri olan kapı, pencere gibi proje elemanlarının, inşaat çalışanları

tarafından kullanılmakta olan 2B çizimlere eklenen QR kodlar ve AG aracılığıyla, 3B olarak görselleştirildiği bir çalışmadan oluşmaktadır.

Yukarıda yer alan çalışmalar incelendiğinde, BIM ve AG entegrasyonuna ait farklı uygulamalara sahip çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalara ek olarak, BIM ve AG entegrasyonu, iş güvenliği alanında da kullanılmaya başlamıştır. Fakat bu alanda henüz yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Varolan çalışmalardan bazıları, İş Güvenliği ve Artırılmış Gerçeklik başlığı altında incelenecektir.

4.1.2 Artırılmış Gerçeklik (AG) Teknolojisi Bileşenleri

Artırılmış Gerçeklik, gerçek ortam ile bilgisayar ortamında tasarlanan sanal nesnelerin birleştirilmesi ile, gerçekliğin arttırılmasını sağlayan teknolojidir. AG teknolojisi, sanal gerçeklikten farklı olarak gerçek dünyayı değiştirmede için, genellikle Karma Gerçeklik gibi değerlendirilmektedir (Bottani ve ark, 2019).

2010 yılından sonra yer alan AG çalışmalarında, tablet, akıllı telefon ve bilgisayarlar kullanılmaya başlamaktadır. AG çalışmalarında geçmiş yıllarda kullanım oranı daha yüksek olan HMD (Head Mounted Display) cihazının kullanımı, günümüzde geçmişe oranla azalmaktadır. Bunun sebebi, tablet, akıllı telefon gibi cihazların kolay erişilebilir olması ve günlük hayatta taşınabilir olmasıdır. Bunun sonucu olarak da, bu alandaki mobil uygulamalar artmakta ve geliştirilmektedir.

Artırılmış gerçeklik uygulamalarındaki teknolojik altyapı kullanımına göre, *Konum Tabanlı* (Location Based AR) ve *Görüntüleme Tabanlı* (Vision Based) olmak üzere ayırmak mümkündür (Cheng & Tsai, 2013). *Görüntüleme Tabanlı AG*, *işaretçi tabanlı* (marker based) ve *işaretçi tabanlı olmayan* (markerless) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Konum Tabanlı Artırılmış Gerçeklik

Konum Tabanlı Artırılmış Gerçeklik, kullanıcının konumunu, *Küresel Konum Bilgileri* (GPS), *Kablosuz Ağ* (WLAN) ve *Radio Frekanslı Tanımlama* (RFID) gibi sensörlerle belirleyerek, o ortama ait gerçek görüntüler üzerine sanal bilgiler eklemektedir (İçten ve ark, 2017).

Konum Tabanlı AG teknolojisinin, konum ve hız bilgisi veren donanımlar aracılığıyla gerçekleşmesi, düşük maliyetli ve mobil olması, dış ortamlardaki kullanım kolaylığı

nedeniyle tercih edilmektedir. Geliştirilen uygulamalardan *Wikitude AR*, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Görüntüleme Tabanlı Artırılmış Gerçeklik

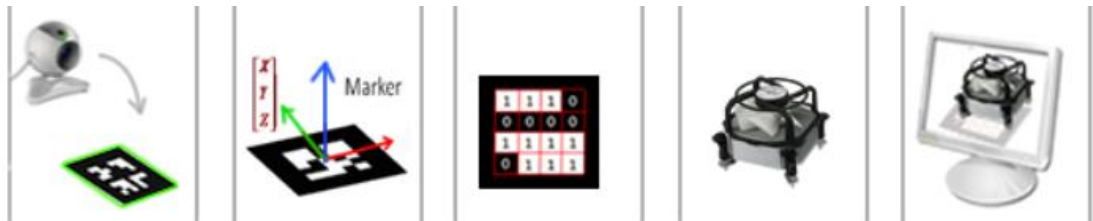
Görüntüleme Tabanlı Artırılmış Gerçeklik sistemlerinde; resim, fotoğraf veya ses gibi herhangi bir obje *işaretçi (marker)* olarak kullanılmaktadır. İşaretçinin kamera açısına girmesi ile birlikte 2B veya 3B sanal veriler gerçek ortama eklenmektedir.

AG uygulamaları ve geliştirilen yazılımlar incelendiğinde, en çok görüntü tabanlı uygulamaların yer aldığı görülmektedir (İçten ve ark, 2017). Bu uygulamalarda, önemli olan, kullanıcının bakış açısı ve kamera lokasyonunun doğru olarak tanıtılmasıdır. Teknik olarak *İzleme (Tracking)* işlemi olarak adlandırılan bu işlemde, kameranın lokasyonu ve açısı hesaplanmaktadır.

İzleme metotları araştırıldığında, robotik ve bilgisayar görüntüleme işlemlerinde de kullanılmak üzere, *sensör izleme*, *optik izleme* ve *hibrit izleme* gibi başlıklara ayrılmıştır (Köymen, 2014).

İşaretçi Tabanlı (Marker-Based) AG

İşaretçi Tabanlı AG teknolojisinde, gerçek ortama yansıtılacak olan veriler ile, kullanılacak olan işaretçi önceden eşleştirilmektedir. Seçilen işaretçi bir QR kod olabileceği gibi, özel olarak tasarlanmış bir barkod da olabilmektedir. İşaretçiler farklı uygulamalara göre değişiklik göstermektedir. QR kod kullanılan uygulamalarda konum bilgisi önem taşımamaktadır.



Şekil 4.13 : İşaretçi Algoritması.

(İçten ve ark, 2017)

Yukarıda yer alan çalışma çerçevesinde olduğu gibi, işaretçi tabanlı uygulamalarda, işaretçi ile kamera eşleştirildikten sonra, işaretçi analiz edilmekte ve sonrasında bilgisayar ekranında, gerçek dünya ortamına yerleştirilmiş sanal veri

görselleştirilmektedir. İşaretçi Tabanlı AG uygulamalarında, işaretçiler, kamera açısına girdikten sonra çalışmaya başlamaktadır. Bu nedenle işaretçilerin, kamera tarafından algılanabilmesi için en az dört noktasının net olması gerekmektedir (Kato ve ark, 2000).

İşaretçisiz (Markerless) AG

İşaret bazlı AG uygulamalarında, QR kod veya özel olarak tasarlanmış ve doğal ortama eklenen işaretçiler yer almaktadır. İşaretçisiz Artırılmış Gerçeklik uygulamalarında ise gerçek ortamda bulunan herhangi bir nesne işaretçi olarak kullanılmaktadır (Gülel, 2018).



Şekil 4.14 : İşaretçisiz AG.

(URL-8)

İşaretçisiz artırılmış gerçeklik teknolojilerinde, *doğal özellik* (natural features) olarak adlandırılan ve gerçek ortamın bir bölümünü işaretçi olarak kullanma yaklaşımı, gelişmekte olan mobil teknolojiler ve donanımlar ile birlikte mümkün olmaktadır. Ek olarak işaretçisiz AG uygulamalarında, kameranın takip edeceği görsel, tasarlanmış olabileceği gibi, bir nesne, konum bilgisi veya bir insan da olabilmektedir (Köymen, 2014).

4.1.2.1. Donanımlar

Artırılmış Gerçeklik teknolojisinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, yazılım ve donanım gibi tüm bileşenler önem taşımaktadır. Günümüzde AG uygulamaları incelendiğinde, mobil uygulamaların kullanıcılar tarafından tercih edilmesinden

dolayı, bu alandaki çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. AG uygulamaları *masaüstü* ve *mobil* olmak üzere iki alanda incelenebilmektedir (Köymen, 2014).

AG donanımları incelendiğinde, *Ekran*, *İşlemci*, *Girdi Aygıtları* ve *Sensörler* olarak dört ana başlık yer almaktadır. Bu donanımların yanı sıra, *akıllı telefonlar* ve *tabletlerde* bulunan, *ivmeölçer*, *GPS*, *dijital pusula* gibi sistemler ile entegre *kameralar*, AG donanımlarını destekleyen yan teknolojilerdir (Metz, 2012).

Ekranlar, bilgi ve verilerin paylaşılmasını sağlayan donanımlardır. AG görüntüleme sistemleri incelendiğinde, *Monitörler*, *HMD'ler*, *dijital gözlükler* ya da *biyonik kontak lensler*, bu grup altında toplanmaktadır (Gülel, 2018). Akıllı telefonlar, tabletler ve bilgisayarlara ait ekranlar, maliyet ve erişim kolaylığından dolayı en çok tercih edilen ekran çeşitleridir.



Şekil 4.15 : HMD Örnekleri.

(URL-9 ve URL-10)

HMD (Head Mounted Display), kasklı ekran olarak tanımlanmakta olan, kullanıcının hareketlerini algılayarak, ekrandaki görüntüyü yenileyen tek ya da iki göz için görüş sağlayan donanımlardır. Yukarıda yer alan görsellerden solda yer alan görsel *HTC Vive* ve sağda *Microsoft HoloLens*, son zamanlarda kullanılmakta olan donanımlardır.



Şekil 4.16 : Dijital Gözlük ve Biyonik Kontak Lens.

(Gülel, 2018)

Google Glass gibi dijital gözlükler de artırılmış gerçeklik donanımları arasında yer alan giyilebilen ekranlara örnek oluşturmaktadır. Son dönemlerde, *Biyonik Kontak Lens* ve *Sanal Retina Ekran* gibi araştırılmakta olan donanımlar mevcuttur (Köymen, 2014). Kask mantığında üretilen ve sanal retina ekran olarak kullanılmakta olan, *Magic Leap* donanımı, AG uygulamaları için kullanılmaktadır.

Teknoloji kullanımlarında görüntülerin birleştirilmesi ve analiz edilmesi açısından *İşlemciler* de önem taşıyan donanımlar arasında bulunmaktadır.

AG genel olarak, dış mekandan alınan veriyi kullanıcıya yansıtarak işlem yaptığı için, *Kameralar* büyük önem taşımaktadır. Webcam, dijital ve video kameralar bu teknolojiye kullanılmaktadır. Kameralar, girdi aygıtları olarak tanımlanmaktadır.

Son olarak, AG donanımları arasında sensörler yer almaktadır. AG teknolojisinde, gerçek ortamdaki verilerin alınması ve izlenmesi, önem taşımakta ve bunu sensörler aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Sensör teknolojileri arasında; GPS, RFID, ivmeölçer gibi mobil cihazlarda yer alan sensörler ile kullanıcının giyebildiği, ısı ve konum takibi sağlayan donanımlar da bulunmaktadır.

4.1.2.2. Yazılımlar

Çevrede doğal veya yapay işaretçinin olup olmadığını, kullanıcının güncellenen konumunu, modellerin renderlarının oluşturulmasını, sahnelerin üretilmesi için gerekli ışık, doku ya da donanımların organize edilmesi gibi tüm işlemler, yazılımların verdiği komutlar ile gerçekleşmektedir (Kılıç, 2016). Artırılmış Gerçeklik yazılımları, çalışma sistemini oluşturan bileşenlere komut veren bir sistem oluşturmaktadır.

Artırılmış Gerçeklik uygulamaları incelendiğinde, yazılım teknolojilerinin entegre olabildiği birçok farklı yazılım geliştirme platformunda, farklı yazılım dillerinde, farklı yöntemlerle geliştirilen uygulamalar yer almaktadır. Yazılım dilleri, *doğal (native)* olabileceği gibi *sanal makine dilleri* de mevcuttur. Doğal yazılım dili olarak; C,C++ , sanal makine dili olarak; JAVA, C# ve Flash gibi diller örnek verilmektedir (Köymen, 2014).

AG yazılım geliştirme araçları, birçok donanımda kullanılabildiği için, teknolojinin kullanımını desteklemektedir. Donanım değişikliği durumunda da, yazılım geliştiricileri aracılığıyla geçiş sağlanabilmektedir.

AG uygulamaları, kullanım amacı ve yazılım mimarisine göre *IOS, Android, Windows, Linux* gibi platformlarda kullanılmaktadır. Mobil cihazlar, günümüzde en çok tercih edilen donanımlardır ve bu nedenle mobil cihaz seçiminde, Android ya da IOS olması yazılım mimarisi açısından önem taşımaktadır. Ek olarak AG uygulaması için seçilecek olan donanımda bulunan kamera sayısı önem taşımaktadır.

Günümüzde AG için yapılmakta olan akademik çalışmalar incelendiğinde, *Android* mobil işletim sistemi, diğer işletim sistemlerine oranla tercih edilmektedir. Bunun sebebi, açık kaynak kodlu olması ve yazılım dili olarak daha pratik olması söylenebilmektedir.

AG uygulamalarının geliştirilmesinde, gerçek dünyanın simülasyonunu temel alan çalışmalar da yer aldığı için, bazı çalışmalarda *oyun motorları* tercih edilmektedir. Bu çalışmalarda oyun motorları kullanılmadan da, karmaşık bir yazılım diliyle uygulama geliştirilebilmekte olup, oyun motorları aracılığıyla bu süreç daha pratik bir duruma gelmektedir (Kurtuluş, 2019).

En çok kullanılmakta olan, *Unity ve Unreal Engine* gibi oyun motorları, yazılım geliştirme araçları tarafından desteklenmektedir. Oyun motorları, AG uygulamalarında, gerçek dünyada yer alan hareket barındıran durumların simülasyonunu sağlamak ve bilgisayar, akıllı telefon gibi donanımlar tarafından da desteklenmektedir.

Unreal Engine kaliteli grafikler sunması, yüksek donanım ve işlem gücüne sahip platform ve cihazları desteklemesinden dolayı, profesyonel koşullarda tercih edilen bir oyun motorudur. Unity ise daha az işlem gücü gerektiren oyun konsolları ve akıllı telefonlar gibi cihazlarda daha kullanışlıdır (Papuççıyan, 2019). Bu platformlar genellikle C# yazılım dilini desteklemektedir.

Yukarıda yer alan bilgiler ve araştırmalar doğrultusunda, tez çalışması kapsamında yapılacak olan AG çalışmasında, mobil uygulamalar tercih edilecek olup, Android işletim sistemi ve Unity oyun motoru ile çalışılacaktır.

Araç	İzleme Sistemi	Donanım	Platform
Vuforia	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme ,GPS	Bilgisayar,Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity
ARCore	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme ,GPS	Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity,Unreal Engine
ARToolkit	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme ,GPS	Bilgisayar,Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity
Arkit	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar,Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity,Unreal Engine
Wikitude	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme ,GPS	Bilgisayar,Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity
D'Fusion	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme ,GPS	Mobil	Android,İOS
Mobil SDK	Doğal Özellik İzleme	Mobil	Android,İOS
VisionLib	İşaretçi Tabanlı,Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar,Mobil,Gözlük	Android,İOS,Unity

Şekil 4.17 : AG Yazılım Geliştirme Araçları.

(Kurtuluş, 2019 & Köymen, 2014)

Yukarıda artırılmış gerçeklik teknolojisinde kullanılmakta olan bazı yazılım geliştirme araçları yer almaktadır. Bu araçlardan Vuforia, açık kaynaklı yazılım kodlarının olması ve eğitim videolarının diğer kaynaklara oranla fazla olmasından dolayı, daha çok tercih edilmektedir. Aynı zamanda, izleme sistemlerinden işaretçi bazlı ve işaretçisiz izleme sistemlerinde kullanılması, İOS ve Android platformları tarafından desteklenmesi de tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında da Vuforia tercih edilmektedir.

İnşaat ve mimarlık sektöründeki AG yazılımları incelendiğinde, farklı kullanım alanları için geliştirilen birçok ticari uygulama yer almaktadır. Bunlardan bazıları; Morpholio AR Sketchwalk, DAQRI Smart Helmet, Augment, Follogram, WakingApp, ARki, Dalux, SmartReality, Gamma AR, Pair gibi uygulamalardır (Souza, 2019). Bunların dışında, farklı sektörlerde kullanılmak üzere planlanan birçok uygulama mevcuttur.

4.2 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik (AG)

Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, mimari alanda, tasarım, görselleştirme, inşaat süreci, eğitim, iş güvenliği, tesis yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Mimari ve tasarım süreçleri, çok fazla sayıda disiplinin birlikte çalışması ve farklı konumlardan, ortak bir bilgiye erişim imkanı gerektirdiği için, sektördeki kişilerin AG ortamına dahil edilmesiyle umut veren koşullar yaratılmaktadır (Wang, 2009).

Gelişmekte olan uygulamalar, mimari, tasarım ve yapım süreçlerini de etkilemekte olup, bu alanlar için tasarlanan birçok uygulama yer almaktadır. BIM ve Artırılmış Gerçeklik entegrasyonu başlığı altında, inşaat sektöründe kullanılmakta olan AG uygulamalarının bazıları özetlenmekte olup, proje zaman planı, tesis yönetimi, maliyet gibi inşaat yönetimi ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmaların dışında, tasarım, sunum, mimari eğitim gibi mimarinin diğer alanlarında da AG örnekleri yer almaktadır.

Mimari alanda kullanılmakta olan, 3Ds Max , Maya gibi modelleme programları, Vray gibi render motorları ile birlikte çalışarak gerçekçi render almayı sağlayıp, AG simülasyonlarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Mimari tasarım süreçlerinde AG kullanımı, mimarların ve tasarım süreçlerinde yer almakta olan kişilerin arasında, ortak bir anlatım dili oluşturarak, tasarım süreçlerinin kısalmasını sağlamak ve tasarım alternatifleri için daha fazla zaman kalmasını sağlamaktadır.

Sunum aşamasında ise, 3B modellerin gerçek ortama yansıtılması, bazı seçeneklerin modele eklenmesiyle oluşturulmakta olan interaktif görsel ile, gerçek ortamda, sanal modelin deneyimlenmesini sağlamaktadır (Kurtuluş, 2019).

Diğer kullanımlar incelendiğinde, projeye ait güneş, rüzgar, gölge, ısı gibi çevresel durumların simülasyonu ile, tasarım aşamasında kullanılmaktadır.

Mimari alanda, projeye ait bazı detaylar ve katmanlar yapım sonrasında görünürlüğünü kaybetmektedir. Bu durumlarda AG teknolojisi ile, gerçek ortama yansıtılan modeller ile birlikte, projeye ait bilgiye ulaşmak mümkün olmaktadır.

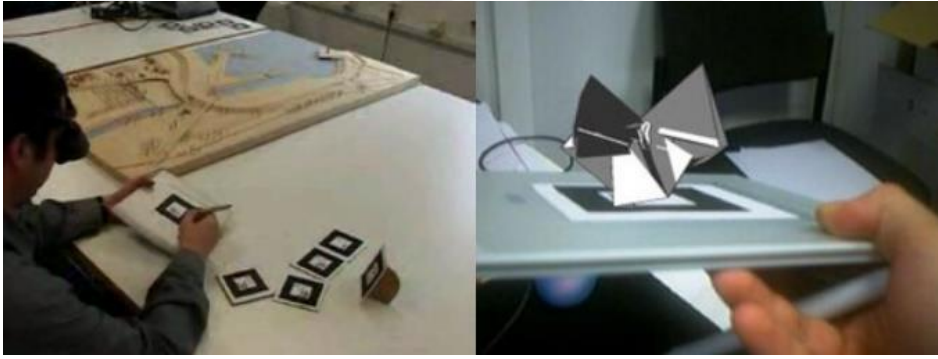
AG teknolojisinin mimari alandaki kullanımları, mobil uygulamaların gelişmesiyle birlikte sahada ve dış mekanlarda, tarihi yapılar hakkında bilgi edinmek gibi birçok farklı işlevde kullanılmaktadır.

4.2.1 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik (AG) Uygulamaları

Artırılmış Gerçeklik mimarlık sektörünün farklı alanlarında kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe yer alan çalışmalar, BIM ve artırılmış gerçeklik entegrasyonu başlığı altında incelenmiştir. Bunun yanı sıra mimari alanda, *görselleştirme ve sunum, mimari yapı hakkında bilgi edinme, mimari tasarım* ve mimari *eğitim* alanlarında da artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılmaktadır.

Mimari Tasarım çalışmaları incelendiğinde;

Bauhaus Mimarlık Fakültesinde bir diploma projesi olarak hazırlanan, *Sketchand+* (*Sketchandplus*) araştırması, projenin tasarımında yer alan eskiz çalışmalarını, AG teknolojisi ile entegre ederek, proje sürecine dahil etmektedir (Seichter, 2002).



Şekil 4.18 : Sketchand+ Çalışması.

(Seichter, 2002)

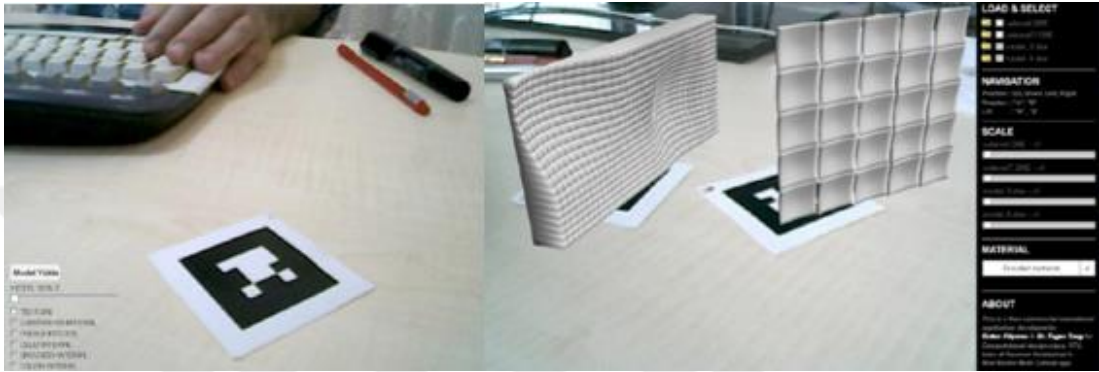
Mimari tasarım alanında, eskiz çalışmaları ile AG teknolojisini birleştiren başka bir çalışma ise, 2014 yılında yapılan, Erdem Köymen'e ait *Sketchar* çalışmasıdır. Bu çalışmada, projeye ait eskiz çizimleri, kamera tarafından algılanarak, AG ortamında 3B modele dönüşmekte ve modelin içerisine gerçek zamanlı olarak tefriş elemanları eklenmektedir.

Mimarlık öğrencilerine yönelik planlanan bir çalışma ise, 2012 yılında yapılan *U-AR* çalışmasıdır. Bu çalışmada, öğrencilerin mimari tasarımlarına ait 3B modeller, gerçek ortamdaki objeleri işaretçi olarak algılayarak, gerçek ortam üzerinde görüntülenmektedir. Bu sayede, tasarlanan mimari projelerin, çevre ile kurduğu ilişkiler ve ölçek durumu, gerçek zamanlı olarak görüntülenmekte ve proje revize edilmektedir (Riera ve ark, 2012).

Mimari alanda yukarıda yer alan çalışmalar gibi birçok çalışma yer almakta ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Mimari Eğitim çalışmaları incelendiğinde;

Erdem Köymen ve arkadaşları, *Artırılmış Gerçeklik Destekli bir Mimarlık Eğitim Modeli* çalışmasında, parametrik tasarımdaki yatay ve düşey bileşen ilişkilerinin QR kod ile görüntülediği ve karşılaştırıldığı bir uygulama sunmaktadır.



Şekil 4.19 : Parametrik Modellere Ait AG Uygulaması.

(Köymen, 2014)

2016 yılında yapılan *AR-Scope mobil uygulaması*, öğrencilerin, gerçek ortamda yer alan mimari yapı hakkında bilgi edinmesini sağlamaktadır. Bina bilgi modeli ve AG entegrasyonu ile gerçekleşmekte olan çalışmada, GPS ile konum belirlenerek, yapıya ait mimari, strüktür gibi birçok detay çizimi gerçek ortam üzerinde görüntülenmektedir (Vassign ve ark, 2016).

Yukarıda yer alan çalışmaların benzeri olarak, mimari yapılar hakkında bilgi edinme, projeye ait detay bilgilerinin görüntülenmesi, iş güvenliği eğitimleri gibi bilgilendirme ve eğitim amaçlı mimari AG çalışmaları yer almaktadır. Konum bazlı mimari artırılmış gerçeklik uygulamaları arasında, *Junaio* ve *Layar mobil uygulamaları* da yer almaktadır.

Mimari Sunum ve Görselleştirme çalışmaları incelendiğinde;

Augment şirketinin geliştirmiş olduğu, IOS ve Android işletim sistemine uyumlu olan artırılmış gerçeklik uygulaması, ürün, mobilya veya mimari projelere ait 3B modellerin, gerçek ortamda görüntülenmesini sağlamaktadır (URL-11).

Bu alandaki başka bir uygulama ise *IKEA* firmasına aittir. Bu uygulamada, firmanın ürünlerine ait katalog ürünlerinin yerleştirildiği örnek alanlar incelenmekte ve kullanıcı bu ürünleri kendi kullanım alanı içerisinde gerçek zamanlı olarak görüntülemektedir.



Şekil 4.20 : *IKEA* Artırılmış Gerçeklik Uygulaması.

(URL-12)

Mimari görselleştirme uygulamalarından diğeri de *ARki uygulamasıdır*. Mobil cihazlarda artırılmış gerçeklik deneyimi sağlayan bu uygulama, 2B çizimler üzerinde 3B modellerin görüntülenmesini sağlamakta ve ışık, gölge, malzeme gibi faktörlerin seçimini sağlayarak etkileşimli bir ortam sunmaktadır (Günel, 2018).

Yukarıda yer alan AG görselleştirme uygulamalarının dışında, *ARMedia*, *ARworks* gibi birçok uygulama piyasada yer almaktadır. Mimari proje sunumları, çevresel faktörlerin gösterimi, mimari alana ürün yerleştirilmesi gibi birçok amaçla, mimari alanda AG uygulamaları kullanılmaktadır.

4.2.2 İş Güvenliği Artırılmış Gerçeklik (AG) Uygulamaları

Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, mimarlıktaki sunum, görselleştirme ve eğitim amaçlı kullanımının yanı sıra, inşaat sektöründe, sahadaki denetimlerde, iş güvenliği ve tesis yönetiminde de kullanılmaktadır. İnşaat sektörü risk oranı yüksek olan sektörlerin başında geldiği için, risk faktörlerini azaltmak için AG gibi teknolojileri içeren çalışmaların sayısı da giderek artmaktadır.

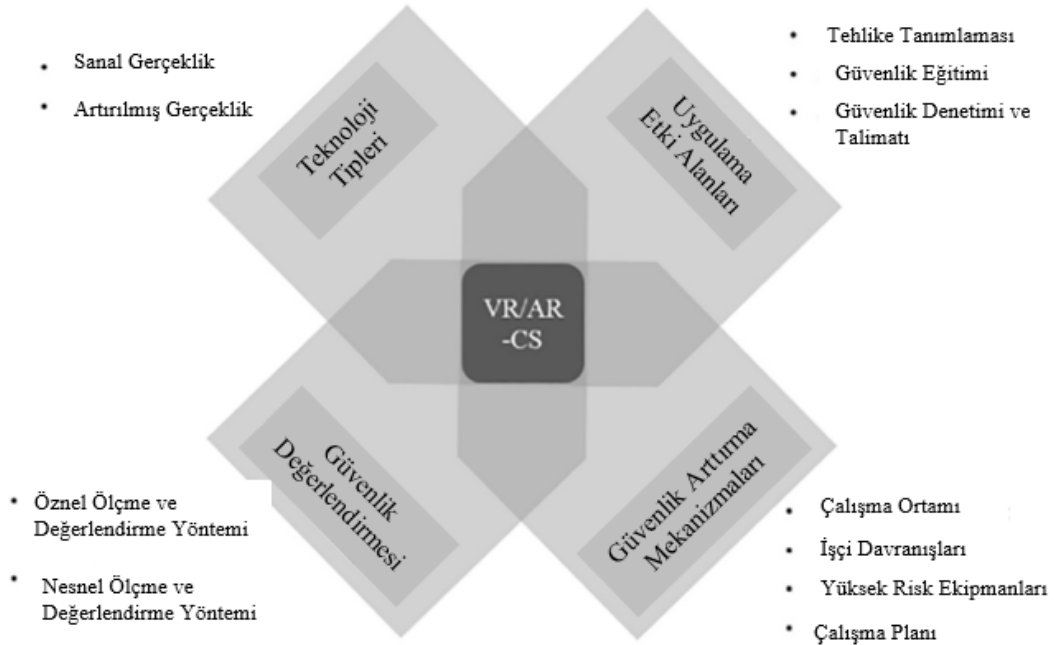
AG, inşaat sektöründe, kullanıcının 3B modeller ile, gerçek ortamda etkileşime girmesini sağlayarak, proje fiziksel olarak var olmadan önce sorunlarla başa çıkmasını

sağlamakta ve projenin hatalarını güvenli bir ortamda deneyimleyerek düzeltme imkanı sunmaktadır (Behzadi, 2017).

Güvenlik programlarına ve eğitimlere harcanmakta olan yüksek miktardaki bütçe yerine, maliyeti daha uygun olan Artırılmış Gerçeklik teknolojisi kullanarak, güvenlik konusunda kazandırılması gereken bilgilerin toplam maliyeti, önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Agrawal ve ark, 2016). Bunun sebebi olarak AG teknolojisinin akıllı telefon gibi maliyeti düşük mobil cihazlarda kullanılması ve erişim kolaylığı gösterilmektedir.

İş güvenliğinde AG kullanımında, iş kazalarına ait senaryolar canlandırılmakta veya bu alanda eğitimler verilmektedir. Heinrich'in güvenlik teorisine göre, kazaların nedenleri; güvensiz nesnelere ve işçi davranışlarından kaynaklanmaktadır ve bu nedenle, inşaat öncesi tehlikeli alanların tanımlanması ve yönetimi ile inşaat süresince çalışanların ve ekipmanların kontrolü gerekmektedir (Guo ve ark, 2017). AG teknolojisi, tanımlanan tehlikeli durumları görselleştirmektedir ve AG ile verilen eğitimin kısa sürede kalıcılık sağladığını gösteren araştırmalar yer almaktadır

(Behzadi, 2017).



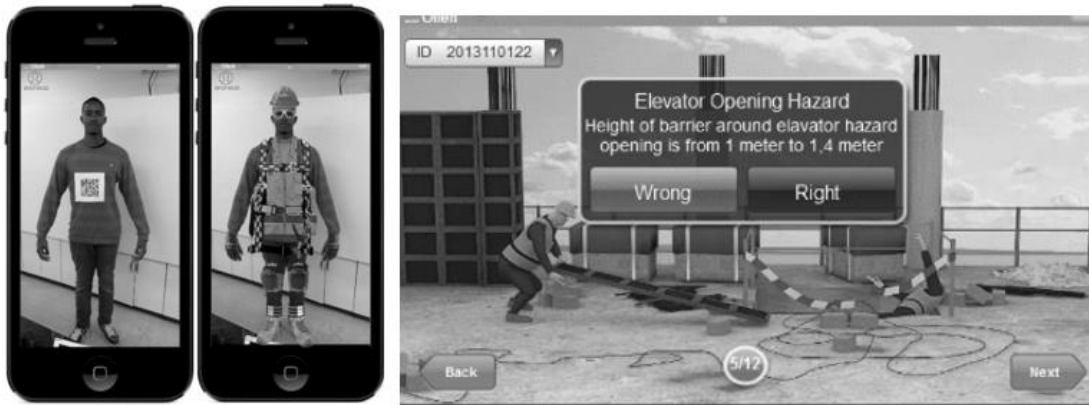
Şekil 4.21 : AG /SG ve İnşaat Güvenliği (CS).

(Li ve ark, 2018)

Li ve arkadaşlarına ait yukarıda yer alan grafikte, inşaat sektöründe, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojisinin dahil edildiği inşaat güvenliği (CS) yönetimi yer almaktadır. Tez çalışma konusu kapsamına giren AG teknolojisi incelendiğinde, sahadaki uygulama alanları arasında, tehlike tanımlama, güvenlik eğitimi, güvenlik denetimi ve talimatı gibi farklı kullanım şekilleri yer almaktadır. Tez kapsamında yapılan uygulama, bu alandaki *Tehlike Tanımlama* başlığı altında yer almaktadır.

Artırılmış Gerçeklik ve İş Güvenliği entegrasyonuna ait mevcut çalışmalar incelendiğinde;

- *Le ve arkadaşlarına ait, 2015 yılında yapılan çalışmada, mobil tabanlı Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) deneyimi içeren, inşaat güvenliği eğitime ait bir çalışma çerçevesi sunulmaktadır. Üç aşamadan oluşan bu çalışma, ilk olarak güvenlik bilgilerinin yayılması, ikinci olarak tehlikelerin tanımlanması ve son olarak önlemlerin alınması şeklindedir.*



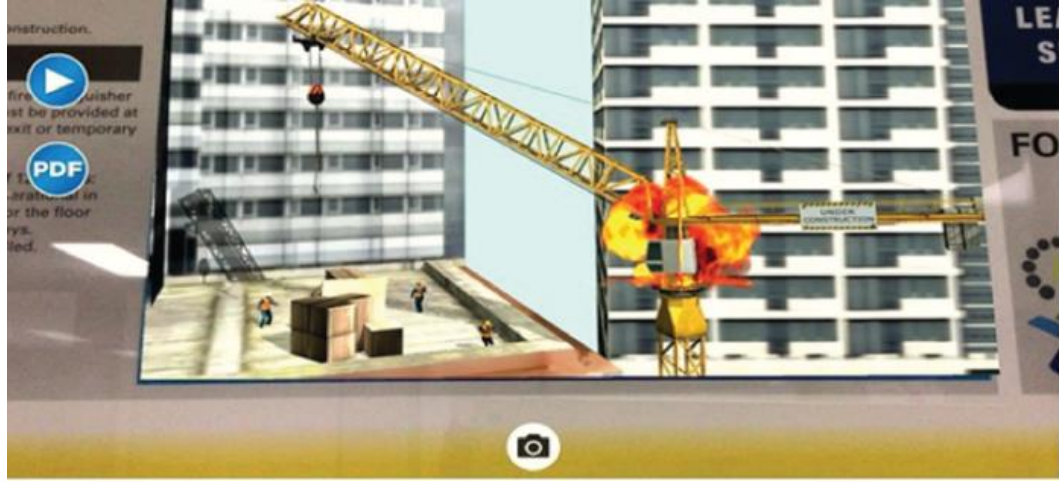
Şekil 4.22 : AG/SG İle İş Güvenliği Eğitimi.

(Le ve ark, 2015)

Bu çalışmada, sahada alınması gereken güvenlik önlemleri yönetmeliklere bağlı olarak kullanıcıya aktarıldıktan sonra, yukarıdaki görsellerde yer alan örneklerdeki gibi, AG aracılığıyla, kişisel koruyucu donanım eğitimi veya SG aracılığıyla, inşaat sahasının oyun motorları ile simülasyonu yapılarak, şantiye sahası deneyimlenmektedir.

- *Başka bir çalışma ise, Pro-Visual Publishing şirketine ait Pro-Vis AR mobil uygulamasıdır. Bu uygulama, farklı sektörlerde kullanıldığı gibi, iş güvenliğine ait uygulamalar da sunmaktadır. Mobil uygulama olan Pro-Vis AR, iş*

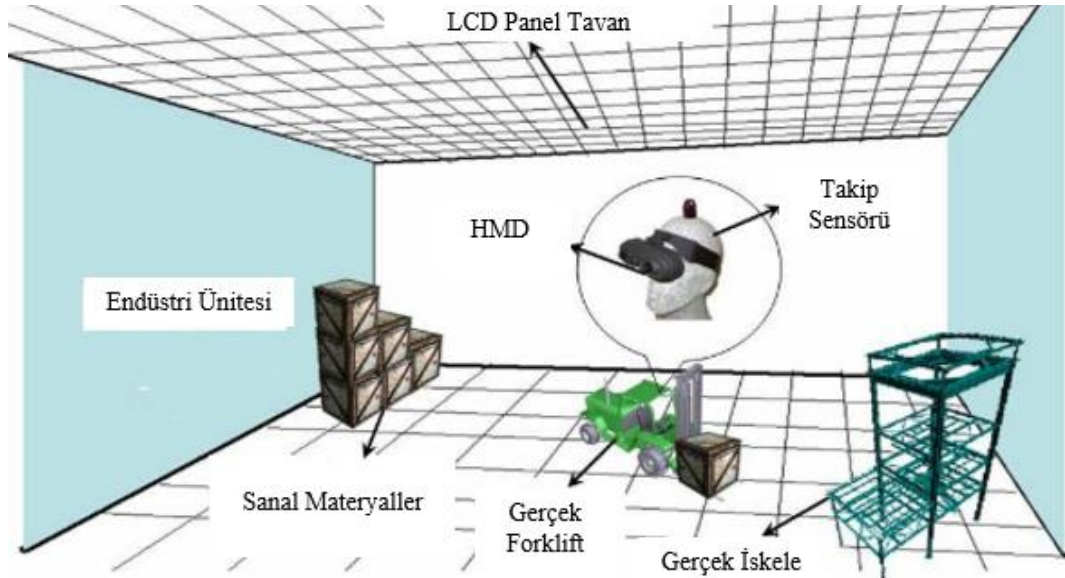
güvenliği eğitimini desteklemekte ve vinç güvenliği gibi eğitimlerde kullanılmaktadır.



Şekil 4.23 : Pro-Vis AR Mobil Uygulaması.

(Ahmed, 2019)

- Wang ve arkadaşlarına ait 2007 yılındaki ARTS isimli çalışmada, AG teknolojisinin iş güvenliği alanındaki kullanımlarından biri olarak, ağır inşaat ekipmanı yönetimi ve operatör eğitimi incelenmektedir. Bu çalışmada, sanal malzemelerin ve talimatların bulunduğu bir şantiye ortamı oluşturularak, artırılmış gerçeklik ortamında operatör eğitimi sağlanmaktadır.



Şekil 4.24 : ARTS Çalışma Sistemi.

(Wang ve ark, 2007)

İş güvenliği ve AG entegrasyonuna ait teorik çalışmalar mevcut olmasına rağmen, uygulama açısından yeteri kadar çalışma yer almamaktadır. Yukarıda yer alan çalışmalarda, kişisel koruyucu ekipman kullanımı, kule vinç ve operatör eğitimine ait örnek çalışmalar yer almaktadır.

Fakat en sık rastlanan kaza tipi olan düşme riskine yönelik, AG kullanımına dair araştırmalar yetersiz kalmaktadır. İnşaat sektöründeki diğer risk türleri için de, AG teknolojisinin potansiyellerinden faydalanmanın sonucu olarak, bu alandaki iş kazalarının azalacağı düşünülmektedir.



5. İNŞAAT PROJELERİNDE DÜŞME RİSKİNE KARŞI BİR BIM VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AG) UYGULAMASI ÖNERİSİ

İnşaat sektörü, iş kazalarının görülme oranı açısından oldukça yüksek orana sahip olduğu için, inşaat sektöründe iş güvenliği, geliştirilmesi gereken bir alan olarak görülmektedir. Bir inşaat projesinin doğal süreçleri incelendiğinde, proje tasarım aşamasında, projeye ait birçok detay ve uygulamaya karar verilmektedir. Ancak proje süreçleri içerisinde yer alan, yapım aşamasında karşılaşılan iş güvenliği kavramı, proje süreçlerinden ayrı olarak değerlendirilmektedir. Bunun sonucunda ise iş güvenliği, yapım aşamasında, 2B belgeler ve yazılı kurallar ile çalışanlara iletilen güvenlik bilgilerinden oluşmakta ve bunun sonucunda riskler artmaktadır.

İnşaat çalışanlarına ait, sağlık ve güvenlik koşullarının etik açıdan iyileştirilmesi ve yalın inşaat prensiplerine uygun proje süreçleri oluşturulması için, bu alandaki kayıpların önüne geçilmelidir. Bu kayıpları önlemek için, öncelikle kaza nedenleri tespit edilmelidir.

İncelenen iş kazası analizleri sonucunda, inşaat sektöründe yüksek oranda, yüksekte düşme sonrası yaralanma ve ölüm vakaları mevcuttur. Bu durumda, çalışmalar ve eğitimlerin, düşme riski üzerinde yoğunlaşması gerektiği ve sonrasında diğer vakaların değerlendirilmesi gerektiği düşünülmekte ve tez uygulamasında düşme riskine karşı farkındalığın arttırılması amaçlanmaktadır.

Günümüzde inşaat sektöründeki kayıpları büyük ölçüde azaltan BIM çalışma sistemi, bir projenin neredeyse her alanında benimsenmektedir. İnşaat sahalarındaki güncel güvenlik çalışmaları incelendiğinde, BIM ve görselleştirme uygulamalarını içeren çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

BIM çalışma sisteminin birçok uygulama ile entegre bir şekilde çalışabilirliği, inşaat sektöründeki yaygın kullanımı ve farklı proje disiplinleri için ortak bir platform oluşturması, uygulamanın geliştirilmesine olanak vermektedir. BIM yazılımlarına ait piyasada bir çok hazır mobil uygulama mevcuttur. Ancak bu yazılımların birçoğu görselleştirme, proje koordinasyonu veya tesis yönetimi için geliştirilen yazılımlardır.

5.1 Uygulamanın Hedefi ve Kapsamı

İş güvenliği planlaması veya risklerin tespit edilmesine yönelik geliştirilen uygulamalar ve akademik çalışmaların sayısı giderek yoğunlaşmaktadır. Fakat mevcut uygulamalar incelendiğinde, bu uygulamaların deneyimlenme sürecine inşaat çalışanlarının dahil olabilmesi için, yazılım bilgisine ihtiyaç duyduğu gözlemlenmektedir. Planlanan BIM tabanlı mobil uygulamada Artırılmış Gerçeklik kullanılarak, model üzerinde yer alan güvenlik bilgilerinin yazılım ortamından ikinci bir ortama aktarılması ile bu sorunun ortadan kalkması amaçlanmaktadır.

Günümüzde proje süreçlerinde kullanılan mobil uygulamalar, bilgiye erişimi kolaylaştırmakta ve mobil cihazlar birçok kişi tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında yapılan uygulamada, projelerin mobil cihazlarda kullanılabilen bir uygulama olması ve tüm proje çalışanları tarafından erişilebilmesi amaçlanmaktadır.

Artırılmış Gerçeklik (AG), sanal ortamda yer alan verileri gerçek ortamda görüntüleme imkanı vermekte ve kullanıcının gerçek ortamdaki deneyimlerine en yakın deneyimi yaşamasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda kullanıcı, etkin bir deneyim yaşadığı için, bilginin kalıcılık oranı da yükselmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında AG teknolojisi kullanılarak, erişilebilir ve kullanım açısından pratik bir iş güvenliği kaynağı oluşturularak, projelerdeki risklerin azaltılması amaçlanmaktadır.

Çalışmada, BIM yazılımı ile oluşturulan bir model üzerinden düşme riski taşıyan bölgeler belirlenerek, diğer projeler için de altlık oluşturulabilecek bir çalışma sistemi oluşturulması amaçlanmaktadır. İnşaat projelerinde düşme riski, hareket belirten bir durumdur ve bu durumu kullanıcının gözlemlemesi için gerçekliği yansıtan bir planlama gerekmektedir. Bu nedenle, mobil uygulamada, BIM yazılımlarının sahip olmadığı, fizik kurallarını barındıran oyun motorları kullanılmaktadır, oyun motorları kullanılarak, güvenlik önlemlerinin simüle edilmesi amaçlanmaktadır.

Gerçek bir şantiye ortamı incelendiğinde, statik durumlardan çok, hareketli durumların varlığı dikkat çekmektedir. Bu durumda, objelerin birbiriyle ve kullanıcı ile etkileşimi önem taşımaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında, etkileşimli bir Artırılmış Gerçeklik ortamı planlanmıştır. Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik teknolojilerinin kullanım alanları incelendiğinde de oyun motorlarıyla her zaman etkileşim içerisinde

oldukları ve sonrasında, diğer alanlar gibi mimari alanda da kullanılmaya başladıkları görülmektedir.

AG uygulamaları, internet ortamında birçok uygulama geliştiricisi olması nedeniyle artmaktadır. Tez çalışmasında yer alan mobil uygulamada, bazı mimari özellikler ve önlemlere ait butonların yer aldığı bir arayüz olduğu için, uygulama geliştiricilerine ek olarak bazı kodlar uygulama içerisine eklenmiştir.

Mobil uygulamada, bir mimari projede düşme riski taşıyan bölgeler 3B model üzerinden gösterilmekte ve kullanıcının interaktif olarak katılımıyla, önlemler model üzerinde 3B model olarak oluşturulmaktadır. Çalışma, tüm proje çalışanlarının mimari modelleme programı kullanmadan, 3B model üzerine iş güvenliği önlemlerini yerleştirmesini sağlamaktadır. İnteraktif bir arayüz sunan mobil uygulamada, kullanıcılara artırılmış gerçeklik ile gerçek zamanlı bir deneyim yaşatarak bilgilerinin kalıcılığının artırılması amaçlanmaktadır.

Projenin tasarım ve yapım aşamasında kullanılacak olan mobil uygulama için gerekli güvenlik önlemleri, projenin mimarı ya da diğer proje disiplinleri tarafından belirlenerek, uygulama formatına uyumlu 3B BIM modeli oluşturulacak olup, mobil uygulamaya herkes tarafından kullanılmak üzere erişilebilecektir. Mobil uygulama, iş güvenliği yönetmelikleri kapsamına giren tüm yapı sınıflarında kullanılabilir.

Örnek projelerde uygulamanın daha kolay anlaşılmasını sağlayabilmek için beş katlı ve tek katlı iki konut projesinde uygulama anlatımı yapılmaktadır fakat farklı proje tiplerinde, çok katlı ve büyük ölçekteki projelerde, güvenlik önlemlerinin anlatımı ve modellenmesi daha fazla zaman kaybına yol açtığı için, bu tip projelerde uygulamanın kullanımının daha büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

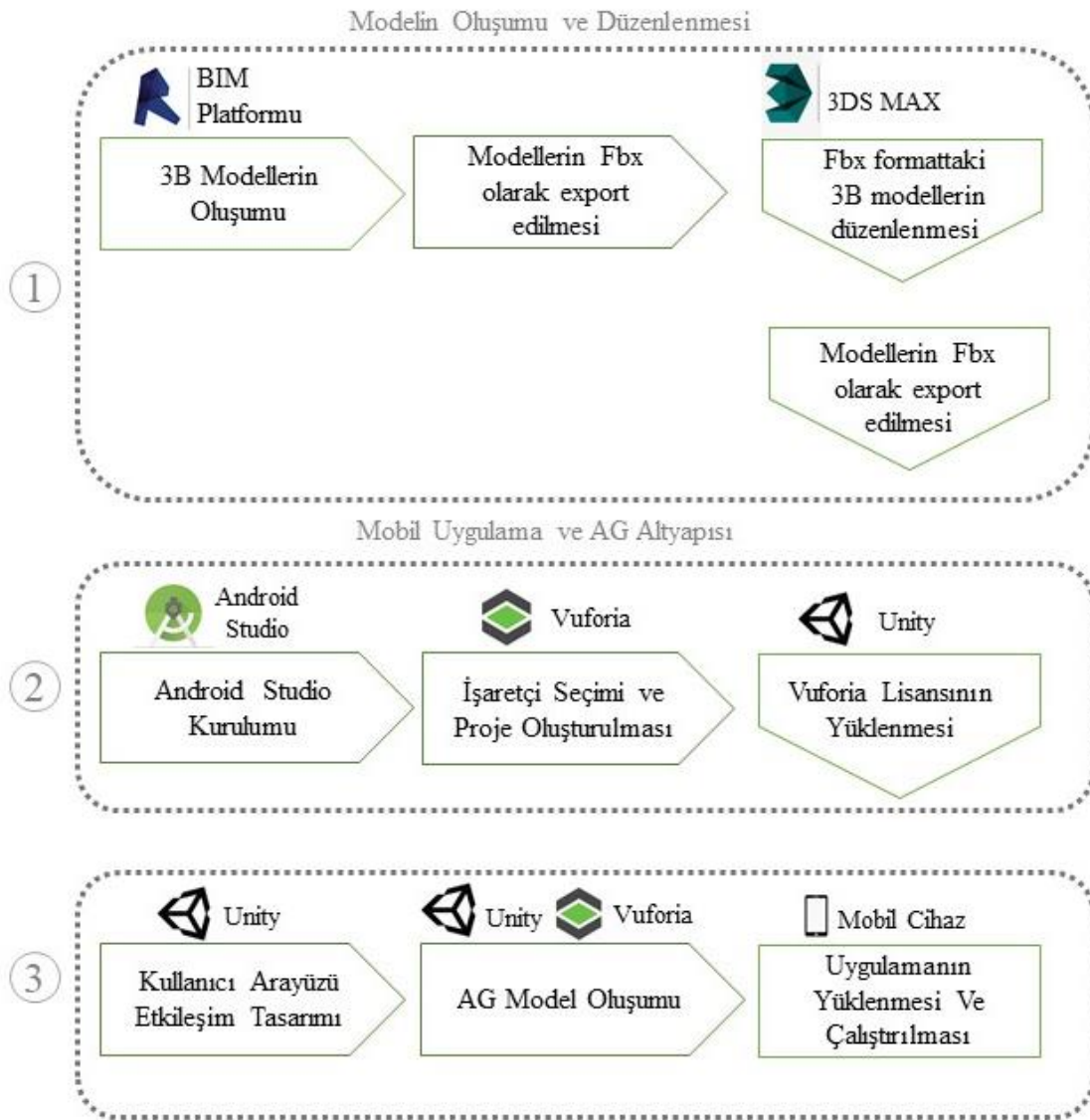
Kompleks projelerde, shaft, merdiven ve asansör gibi mahallerin sayısı arttığı için, risklerin kontrol edilmesi zorlaşmakta ve hata oranı artmaktadır. Mobil Artırılmış Gerçeklik uygulaması, büyük ölçekteki projelerde kullanılarak, iş güvenliği eksikliğinden dolayı oluşacak olan hataları azaltmayı amaçlamaktadır.

Mobil uygulamada, farklı projelerin yüklenebileceği bir arayüz bulunmakta ve bu projeler için güvenlik önlemleri önceden belirlenerek modellenmektedir. Belirlenen risk mahalleri, oyun motorlarında hareketli sembollerle ifade edilmekte ve böylelikle görünürlük artarak hatalar azalmaktadır.

Bu çalışmanın hedefinde risk oranı en yüksek olan düşme riski yer almaktadır. Ancak, çalışma, BIM tabanlı mobil uygulamalar arasında iş güvenliği farkındalığının ve diğer riskler için de benzer çalışmaların gelecekte yapılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

5.2 Uygulamanın Yazılımsal ve Donanımsal Altyapısı

BIM platformunda üretilen projeler için önerilen mobil uygulamanın oluşturulmasında birçok farklı platform bir arada kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Uygulamanın Oluşum Şeması.

Şekil 5.1'de yer alan oluşum şemasına göre, projenin oluşturulma aşamaları incelendiğinde;

- İlk olarak Revit yazılımında, projenin 3B olarak oluşturulması ve düşme riskine karşı alınacak olan önlemler modellenmektedir. Veri tabanında bulunan hazır bir proje de uygulamada kullanılabilir. Bu durumda varolan projeye ait güvenlik önlemlerinin modellenmesi ve kontrolü yapılmalıdır.
- Modellenen projenin FBX formatta exportu alınarak, 3DS Max yazılımında açılmaktadır, açılan modelde birkaç basit komut ile model kontrolü yapılmakta ve tekrar FBX export alınmaktadır.
- Vuforia uygulama geliştiricisine ait web sayfası üzerinden AG proje başlığı oluşturularak lisans anahtarı alınmakta ve veritabanından işaretçi seçilmektedir.
- FBX olarak kaydedilen proje Unity'de açıldıktan sonra, Vuforia'dan alınan lisans anahtarı, Unity içerisine eklenmektedir.
- Unity'de model ile işaretçi eşleştirmesi yapıldıktan sonra, kullanıcı arayüzü tasarımı yapılmaktadır. Ek olarak, güvenlik önlemlerinin risk bölgelerine yerleşimi, yazılı güvenlik kurallarının eklenmesi ve butonlar ile açılıp kapatılması için kullanılan kodların eklenmesi gerekmektedir.
- Bu işlemler yapılırken aynı zamanda Android Studio'nun kurulumu tamamlanmaktadır.
- Uygulama tamamlandığında, Unity'de, mobil uygulamaya ait Android işletim sistemine ait olan proje dosyası alınarak, mobil cihazlarda açılmaktadır.

Uygulamada yer alan modelin Revit'te oluşturulmasının sebepleri arasında, BIM çalışma biçiminin inşaat sektöründeki yaygın kullanımından dolayı, pek çok uygulamanın BIM'e entegre olacak şekilde geliştirilmesi ve BIM çalışma biçiminin sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojiler ile ilişkili olması bulunmaktadır.

İkinci aşamada Revit'te oluşturulan modelin **FBX** formatta exportu alınarak, **3DS Max** yazılımında açılmaktadır. Bir projeye ait Artırılmış Gerçeklik uygulaması yapılırken, modelde sadece gerekli olan bilgilerin bulunması yeterli olmaktadır.

Kullanılmayan diğer tüm bilgiler, uygulamanın yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle FBX formatta export alınarak, projeye ait metadatalar azaltılmaktadır. Metadata olarak bahsedilmekte olan veriler, bir BIM projesine ait ; paftalar, maliyet ve metraj listeleri, kotlar, template dosyaları gibi projeye ait bilgilerdir.

BIM modeli olan bir projenin yalnızca model bilgileri kullanıldığı için, mobil uygulamanın bu aşamasında, projeye ait dökümanların olmadığı, sadece model bilgilerini içeren FBX formattaki proje 3DS Max'te açılarak düzenlenmektedir.

Projelerin görselleştirilmesinde kullanılan, Revit gibi yazılımlara ait render motorları çevrimdışı (offline) render olarak tanımlanmaktadır ve bu yazılımlarda alınan renderlarda süre ile ilgili herhangi bir problem olmadığı için, çok sayıda veri içermesine rağmen render alınabilmektedir.

AG teknolojisi gerçek zamanlı (real time) bir işlem olduğu için izlenen 1920 * 1080 çözünürlükteki her bir ekran için 25 kare fotoğraf çekilmektedir. Bu nedenle modelin basitleştirilmesi, uygulamanın hızı açısından önem taşımaktadır.

Başka bir açıdan ele alındığında ise; Unity gibi oyun motorlarında kullanılacak olan modellerin **Nurbs** (Non-uniform rational basis spline) modellerden **Mesh** (Polygon Mesh) modellere çevrilmesi gerekmektedir. Nurbs modelleme, matematiksel formüllere dayalı olarak oluşturulan yüzeylerden oluşan, kompleks modelleme olarak değerlendirilmektedir. Mesh modelleme, nokta ve koordinatlara bağlı olarak yapılan çokgen kafes sistemi ya da katı modellemede bir nesnenin hacmini tanımlayan köşeler, kenarlar ve yüzeyler topluluğu olarak tanımlanmaktadır.

Revit, Rhino, 3ds Max gibi yazılımlardan alınan FBX export işlemi aslında Nurbs modelleri, Mesh modellere çevirme işlemidir. Bu sayede modelin erişilebilirliği artmakta ve model sadeleşmektedir.

Artırılmış Gerçeklik, sanal verileri gerçek dünya üzerinde sunmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için sistemde, kullanıcının nerede olduğunu ve nereye baktığı bilmek gerekmektedir. Bunun sağlanması için kameranın lokasyon ve oryantasyonunun bilinmesi gerekmektedir. Çünkü sistem ancak bu bilgileri kullanarak, sanal objeleri doğru konumları üzerinde görselleştirebilmektedir (Köymen, 2014).

İkinci aşamada kullanılan 3DS Max, Unity oyun motoru için modelin düzenlenmesi ve Unity'de model ile ilgili oluşabilecek sorunların çözülmesi amacıyla

kullanılmaktadır. 3DS Max'te modele ait yüzey normalleri, materyal kontrolleri ve modeldeki boşlukların kontrol edilmesi gibi işlemler yapılmaktadır. Modeldeki herhangi bir yüzeyin açık kalması ya da kullanıcının bakış açısının belirli olmaması durumunda modelde bu alanlar görüntülenemeyeceği için 3DS Max yazılımında bu özelliklerin kontrol edilerek Unity'de açılması gerekmektedir.

Üçüncü olarak oyun motorlarından biri olan **Unity** yazılımı kullanılmaktadır. Unity yazılımı diğer yazılımlara kıyasla daha çok kaynak ve proje içerdiği için uygulamanın oluşturulmasında tercih edilmektedir. BIM süreçlerinin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasından dolayı, birçok araç BIM yazılımlarıyla entegre olacak şekilde güncellenmektedir ve Unity de bu araçlardan biridir. Unity, BIM çalışma biçimine ait formatlarından sadece FBX formattaki dosyalar ile çalışabilmektedir ve 3DS Max'ten modele ait bilgilerden sadece, hacim ve materyal bilgilerini almaktadır.

Unity oyun motoru, **Unity Reflect** ile gerçek zamanlı bir BIM işbirliği çalışmasını önermektedir. Unity Reflect, Revit yazılımı içerisine eklenen bir Unity aracı ile, modelin gerçek zamanlı görüntülenmesi ve tasarımda yer alan kapı, pencere gibi objelerin değişikliği gerçekleştirilebilmektedir. Unity yazılımının BIM çalışma sistemi ile entegre çalışmalar geliştirmesi ve mimari alandaki çalışmalarını desteklemesi de Unity oyun motorunun kullanılma sebepleri arasındadır. Ek olarak Unity, diğer oyun motorlarına göre daha az işlem gücü gerektirmekte ve mobil uygulamalar için daha kullanışlı bulunmaktadır.

Mobil uygulamanın hazırlanmasında kullanılan Unity yazılımı, uygulamada, kullanıcı ile etkileşim içerisinde olan güvenlik önlemlerinin açılıp kapatılması gibi kullanıcının seçeceği güvenlik önlemlerine ait butonların planlanmasında ve AG teknolojisinin gerçekleştirilebilmesi için kullanılmaktadır.

Unity'de Artırılmış Gerçeklik uygulaması yapılırken kullanılacak birçok hazır uygulama geliştiricisi internet platformunda yer almaktadır. Bu sayede uygulama geliştirilirken, daha önce yapılan uygulamalar için yazılan kodlara ulaşmak mümkün olmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı arayüzü, diğer uygulamalara göre daha kolay kavranabilmektedir.

Unity için kullanılan platformlar genellikle **C#** yazılım dilini desteklemektedir ve C# Unity'nin entegre programlama dilidir. Mobil uygulama geliştirilirken, kullanıcı

arayüzünde bulunan butonların ve butonlara ait özelliklerin eklenmesinde C# yazılım dili kullanılmıştır.

Tez çalışmasında uygulama geliştiricisi olarak ise, **Vuforia** kullanılmaktadır. Vuforia, Artırılmış Gerçeklik uygulamalarının oluşturulmasını sağlayan mobil cihazlar için bir yazılım geliştirme aracıdır ve Unity oyun motoru aracılığıyla, Uygulama Programlama Arabirimlerini (API) sağlamaktadır. Uygulama geliştiricileri incelendiğinde, en yaygın kullanıma ve en çok kaynağa sahip olan araç olduğu için tercih edilmektedir. Uygulamada Vuforia, AG uygulamasının geliştirilmesi, işaretçi seçimi ve model tanımlama gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

Geliştirilen mobil uygulama için , işletim sistemi olarak **Android** işletim sistemi seçilmiştir. Android ve İOS işletim sistemlerinin her ikisi de mobil uygulama geliştirmek için tercih edilmektedir. Android açık kaynaklı (open source) bir işletim sistemine sahiptir, İOS ise kapalı bir sistem sunmaktadır. Android telefonlara APK uzantılı uygulama dosyaları dışarıdan yüklenebilmektir ve bu nedenle akademik çalışmalar için Android işletim sistemi daha çok tercih edilmektedir.

Unity programından Vuforia eklentisiyle bir mobil uygulama çıktısı almak için, **Android Studio** kullanımı gerekmektedir. Android Studio, Android işletim sistemi için uygulama geliştirme ortamı sunmaktadır ve bu nedenle mobil uygulama geliştirilirken, uygulamanın geliştirildiği donanımda yüklü olması gerekmektedir.

Yukarıda yer alan işlemler, bir Artırılmış Gerçeklik projesi ve bir mobil uygulama yapılırken genel olarak izlenmesi gereken adımlardır. Çalışma kapsamında eklenen özelleştirilen adımlar ise, 3B mimari model ile güvenlik önlemlerinin modellenerek kontrol edilmesi, kullanıcının güvenlik önlemlerine ait bilgilendirilmesi için eklenen yazılı güvenlik kuralları, önlemlerin modelde gösterilmesi için gerekli butonların eklenmesi ve kullanıcı arayüzü tasarımıdır.

5.3 Uygulamanın Çalışma Sistemi

Mobil cihazlar için geliştirilen Artırılmış Gerçeklik uygulaması, iki çeşit yöntemle çalışabilmektedir. İlk olarak uygulamaya ait dosyaların yüklü olduğu bir bilgisayarda **Unity Hub** gibi görüntüleme yazılımları ile mobil uygulama kullanılabilir. İkinci olarak ise Android işletim sistemine ait uygulamaları içeren mağaza üzerinden

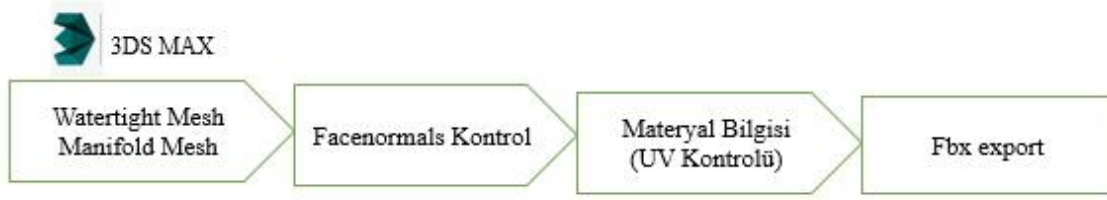
uygulama indirilerek çalıştırılabilmektedir. Bu aşamada ilk yöntem için, her bir kullanıcıya dosyaların iletilmesi ve kurulumu gerekeceği için ikinci kullanım erişim açısından daha çok tercih edilmektedir.

Android yazılımı, mobil cihazlara indirilip çalıştırıldığında, kullanıcının karşısına, ilk olarak ekranda işaretçi seçimi çıkmaktadır. Uygulama geliştirilirken, kullanımın daha pratik bir duruma gelmesi için işaretçisiz olarak tanımlanan, herhangi bir QR kod kullanmadan, gerçek ortamda bulunan bir objenin işaretçi olarak seçilebileceği şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda kullanıcı, mobil cihazın veritabanından imaj seçerek ya da mevcut ortamda bulunan bir objenin fotoğrafını çekerek işaretçi tanımlaması yapmalıdır.

Kullanıcı işaretçi seçimini tamamladıktan sonra, işaretçi ile eşleştirilecek olan BIM modelini, uygulama arayüzünde bulunan model seçme butonu aracılığıyla seçmelidir. Uygulamada kullanılacak olan modellerin, mobil cihazda ya da web üzerinde Fbx formatta bulunması gerekmektedir. Model seçildikten sonra, mobil cihaza ait ekranda gerçek ortam üzerinde, işaretçi ile eşleştirilen model görüntülenmektedir.

Mobil uygulamanın amacı, düşme riskine karşı alınması gereken önlemlerin AG ortamında gösterimi ve bunların interaktif olarak modellenmesidir. Tamamlanmış olan mimari bir projede shaft, cephe boşlukları ve merdiven boşluklarına ait korkuluklar inşa edilmektedir, fakat mimari proje tamamlanana kadar bu alanlarda düşme riski devam etmektedir ve statik proje aşamasında bu alanlara gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle uygulama için seçilen modelde bu boşlukları çevreleyen mimari proje unsurlarının olmaması gerekmektedir. İnşaat süreci devam eden bir projeye ait model ya da proje yapımı başlamayan bir projeye ait statik model uygulama için yeterli olmaktadır.

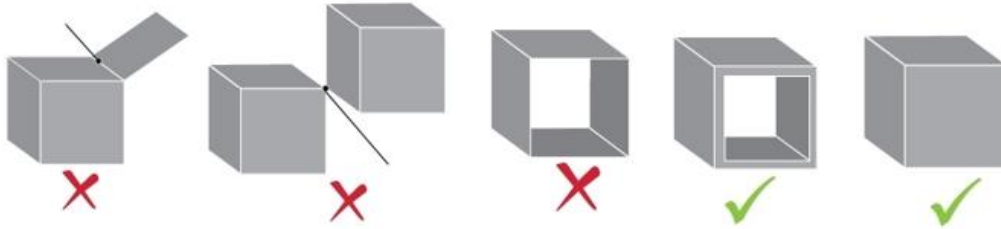
Mobil uygulamada kullanılacak olan BIM modeli ile ilgili, AG ortamında bir görüntü kaybı gibi herhangi bir sorun yaşanmaması için, modelin aşağıda yer alan özellikleri sağlanması gerekmektedir;



Şekil 5.2 : Model Kontrol Şeması.

Yukarıda yer alan işlemler özetlendiğinde;

İlk olarak kullanılan modelin **Watertight** (su geçirmez) ve **Manifold** olması gerekmektedir. Manifold geometri, tüm yüzey normalleri (facenormals) aynı yöne bakacak şekilde 2B bir yüzeye açılabilen geometridir. Manifold modelde, modelde yer alan her bir objenin tüm yüzeylerinin kapalı olması yani Watertight obje olması gerekmektedir (Lian ve ark, 2015). Bu şartın sağlanması için modeldeki yüzeyler kontrol edilmelidir. Revit'te yer alan bir proje genellikle bu özellikleri taşımaktadır fakat projenin belirli bir bölümü için yapılacak olan uygulamalarda, selection box (seçim kutusu) gibi projenin belirli bir bölgesini seçmeyi sağlayan komutlar kullanıldığında, projenin watertight ve manifold özellikleri kaybolduğu için 3DS Max'te düzenlenmesi gerekmektedir.



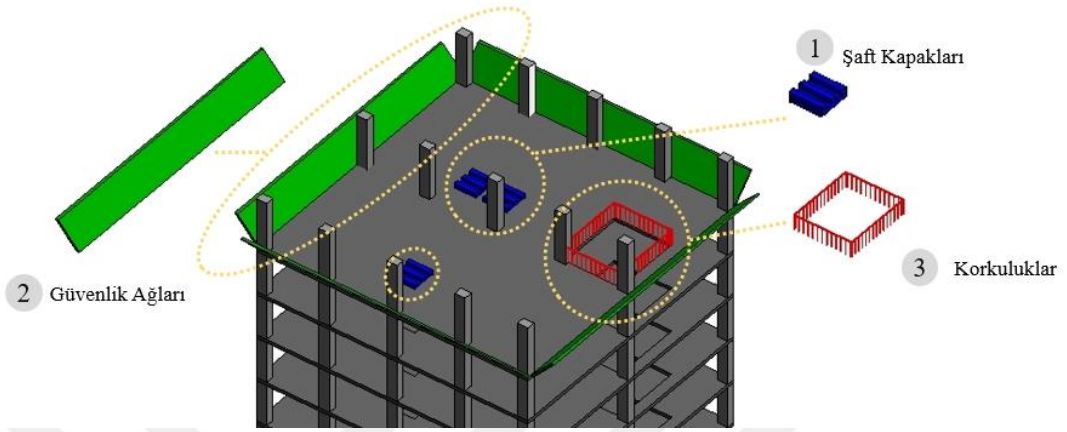
Şekil 5.3 : Manifold Geometri Gösterimleri.

(URL-20)

İkinci olarak Facenormals yani yüzey normalleri kontrol edilmektedir. Yüzey normalleri bir nesnenin yüzeyine dik olan vektörlerdir. AG uygulaması hazırlanırken, model ile kullanıcının baktığı yönün aynı doğrultuda olması gerektiği için yüzey normalleri kontrol edilmelidir.

Son olarak UV doku eşleme (haritalama) olarak da kullanılan, modelin materyal bilgisi yani malzemeye ait taramaların yönleri de kontrol edilerek, kontrol aşaması tamamlanmaktadır.

Yukarıda yer alan aşamalar kontrol amaçlı olup uygulama sürecini kolaylaştıran adımlardır. Kullanıcı tarafından hazırlanan model yukarıda yer alan şartları sağlıyorsa, 3DS Max yazılımındaki işlemlerin, uygulama aşamaları arasında yer almadığı durumlar oluşabilmektedir.



Şekil 5.4 : Autodesk Revit Modeli ve Güvenlik Önlemleri.

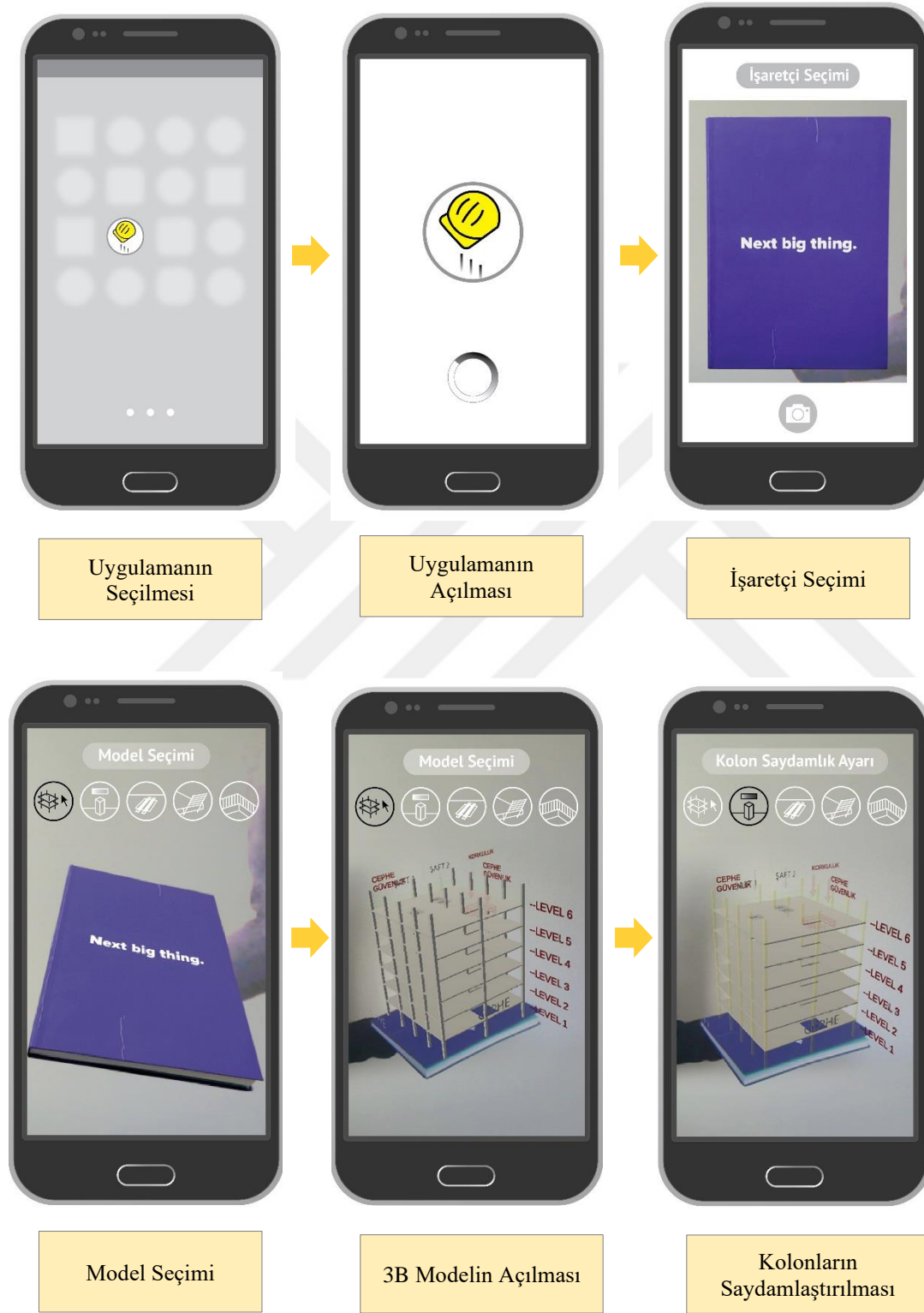
Yukarıda yer alan Revit modeli üzerinde, düşme riskine karşı uygulanan güvenlik önlemleri yer almaktadır. Bunlar; şaft boşlukları için şaft kapakları, cephe açıklıkları için kullanılan güvenlik ağları, ve merdiven boşlukları için kullanılan korkuluklardan oluşmaktadır. Oluşturulan Revit modeli, standart bir konut projesinde yer alan, merdiven boşluğu, şaft boşlukları ve cephe açıklıklarından oluşmaktadır. Uygulama, farklı metrekaRELERE sahip, farklı proje tiplerinde uygulanabilmektedir.

Geliştirilen mobil uygulamada, işaretçi ile seçilen model eşleştirildikten sonra, kullanıcı arayüzünde bulunan butonlar aracılığıyla güvenlik önlemleri otomatik olarak modellenmekte ve yazılı güvenlik önlemleri kullanıcının ekranında yer almaktadır.

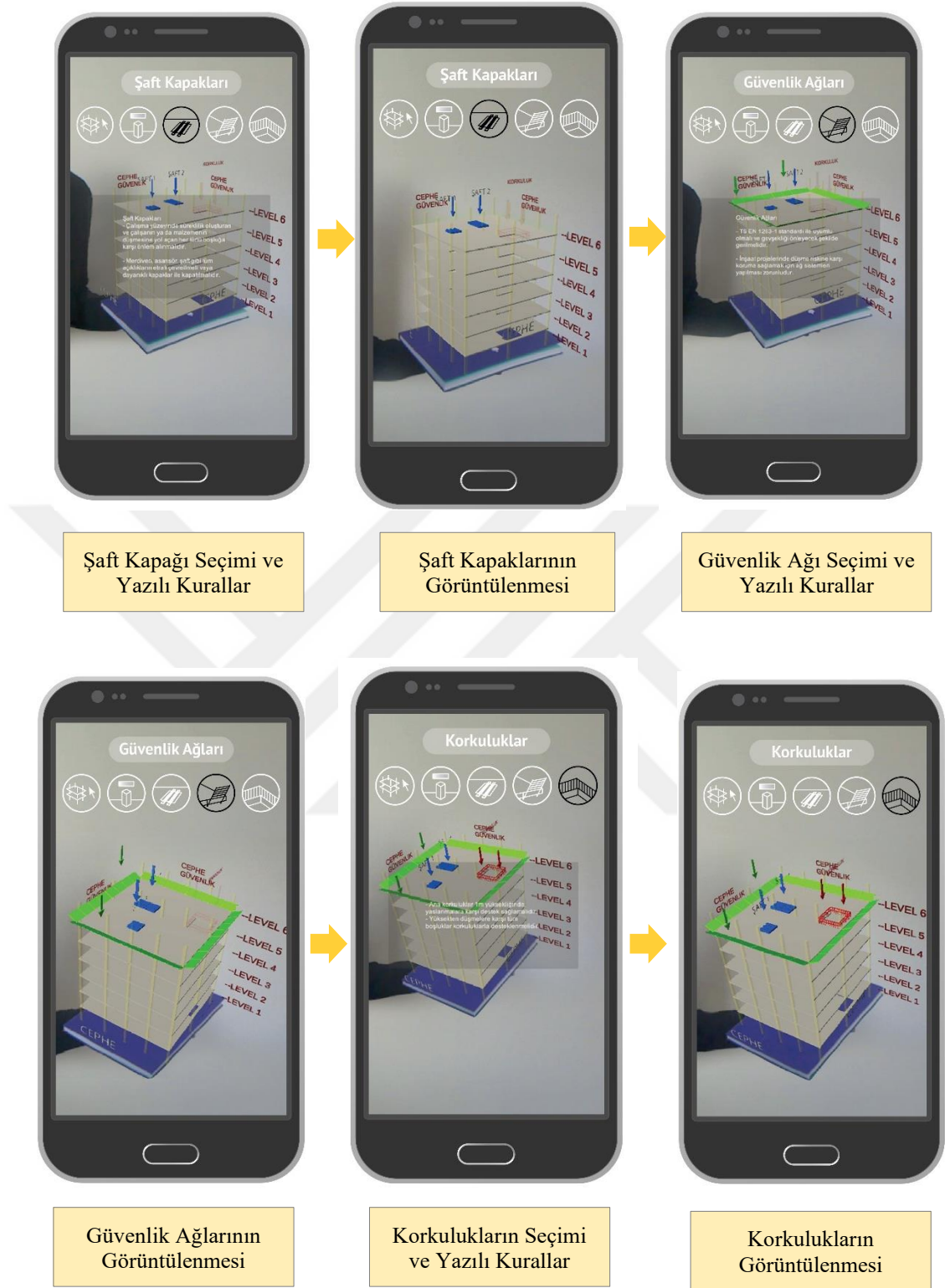
Kullanıcı, herhangi bir güvenlik önlemini seçtikten sonra, o güvenlik önlemine ait yazılı kurallar belirli bir süre boyunca kullanıcının ekranında görüntülenmekte ve sonrasında yazılı kuralda yer alan standarda göre 3B güvenlik önlemleri modellenmektedir. Yazılı güvenlik kurallarının 3B önlemler ile birlikte ekranda yer alması, kullanıcının güvenlik kurallarını yazılı ve model olarak kavramasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Güvenlik önlemleri için bulunan komutlar dışında, kullanıcı arayüzünde iki komut yer almaktadır. Bu komutlardan birincisi, uygulamada birden fazla proje için AG

uygulamasının oluşturulmasını sağlayan model seçme butonudur. Diğeri ise kolonlara ait saydamlık ayarını sağlayan butondur. Kolonların opaklığının azaltılmasının nedeni, kolon hizasına denk gelen riskli bölgelerin görünürlüğünü arttırmaktır.



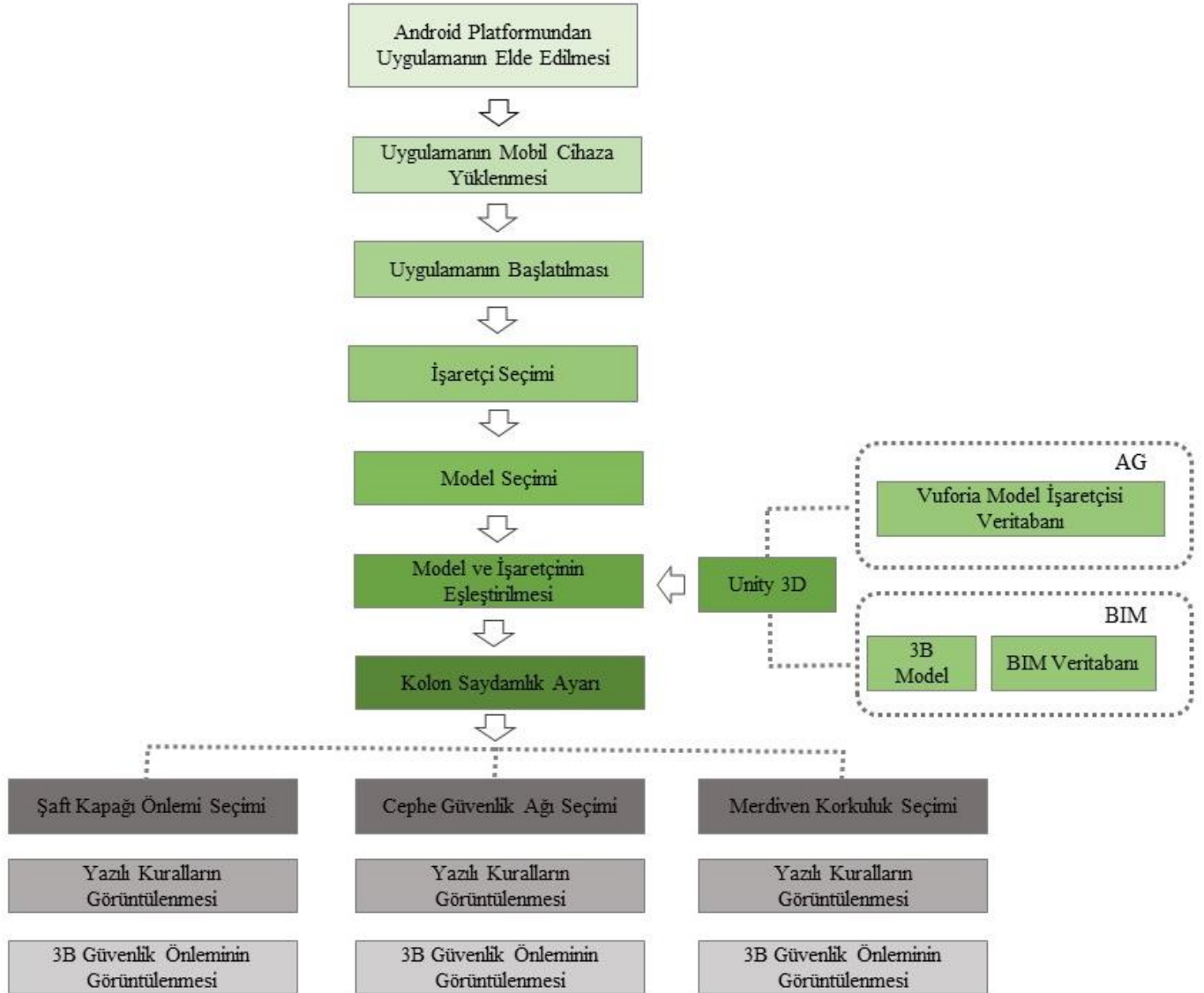
Şekil 5.5 : Kullanıcı Arayüzü.



Şekil 5.6 : Kullanıcı Arayüzü (Şekil 5.5 devamı).

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da, mobil uygulamaya ait kullanıcı arayüzü tasarımı, Şekil 5.7’de ise mobil uygulamada izlenen aşamalar yer almaktadır. Kullanıcı Android

platformdan uygulamayı indirdikten sonra aşağıda yer alan aşamaları takip ederek uygulamayı kullanabilmektedir. Mobil uygulama, bir projede yer alan, düşme riski taşıyan şaft boşluğu, cephe açıklığı ve merdiven boşluğu gibi alanlarda güvenlik önlemlerinin otomatik olarak modellenmesini sağlamak ve hata riskini azaltmayı amaçlamaktadır.



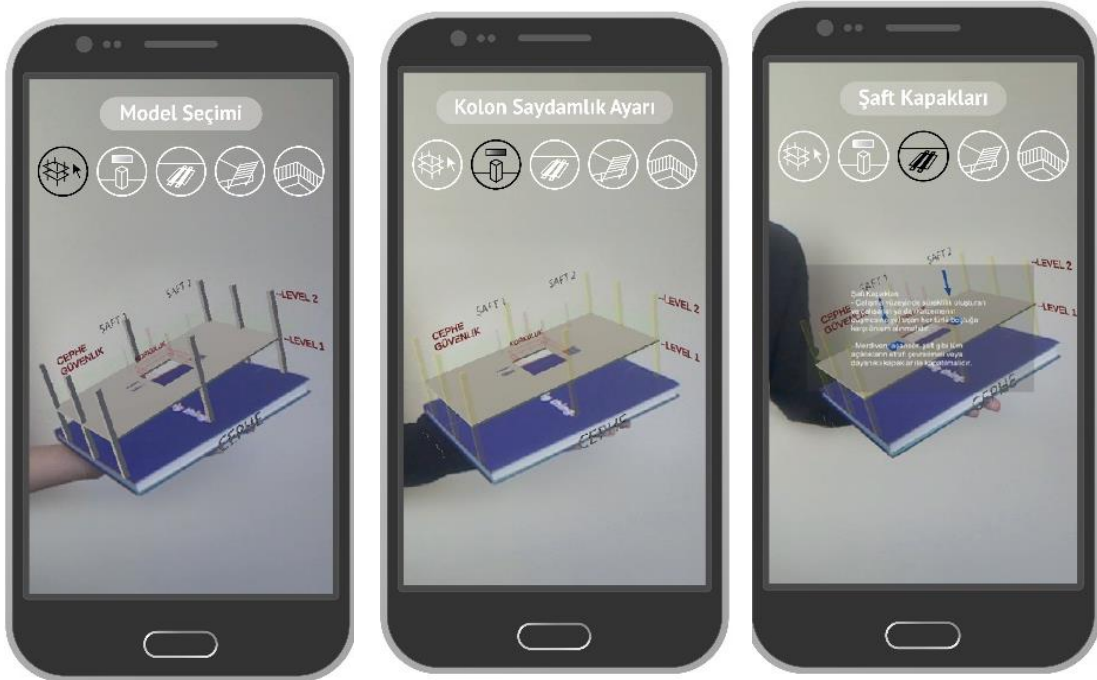
Şekil 5.7 : Uygulamaya Ait Arayüz Şeması.

Uygulamada kullanıcının izlemesi gereken adımlar incelendiğinde; ilk olarak, işaretçi seçimi ekranda çıkmaktadır. İşaretçi seçimi bir klasörden veya kamera ile gerçek ortamdan seçilebilmektedir. İkinci olarak, uygulamanın gerçekleşeceği Revit modelini model seçimi butonuyla seçmelidir. Üçüncü olarak, projede kolonların arkasında kalan

şaft boşluklarını görüntüleyebilmek için kolon saydamlık ayarı butonuna tıklayarak kolonları saydamlaştırılmalıdır.

Dördüncü aşamada ise, güvenlik önlemlerinin seçilmesi gerekmektedir. İlk olarak şaftlara ait güvenlik önlemlerini görüntülemek için, şaft kapağına ait butona tıklamalıdır. Şaft kapağı butonuna tıklağında, projede yer alan şaftları gösteren hareketli işaret okları ekranda yer almakta ve şaftlar için alınması gereken yazılı önlemler ekranda çıkmaktadır. Yazılı önlemler okunduktan sonra otomatik olarak kapanmakta ve şaft kapağı modeli, şaftların üzerine yerleşmektedir. İkinci olarak, cephe açıklıkları için, kullanıcı arayüzünde bulunan, güvenlik ağı butonu seçilmelidir. Güvenlik ağı butonu seçildikten sonra, kullanıcı arayüzünde, cephe boşluklarını gösteren hareketli işaret okları çıkmakta ve kullanıcı yazılı güvenlik önlemlerini okuduktan sonra, güvenlik ağlarına ait model, otomatik olarak cephelere yerleşmektedir. Son olarak, kullanıcı, merdiven boşluklarına ait korkuluk butonunu seçmeli ve yazılı güvenlik kuralları ile korkuluk modeli ekranda çıkmaktadır.

Kullanıcı tüm aşamaları tamamladığında, düşme riskine karşı alınması gereken önlemleri yazılı olarak görüntülemiş ve model üzerine yerleştirmiş olacaktır. Önlemlerin yer aldığı model, ekran görüntüsü alınarak, kaydedilebilmekte ve paylaşılabilir.



Şekil 5.8 : Örnek Uygulama.



Şekil 5.9 : Örnek Uygulama (Şekil 5.8 devamı).

Yukarıda yer alan şekilde, farklı bir proje için gerçekleştirilen AG uygulaması yer almaktadır. Mobil uygulama, veritabanında bulunan birden fazla BIM modelinin seçilmesine imkan vermektedir. Alınan güvenlik önlemleri, uygulamanın bu aşamasında her proje için aynı standarttır. Kullanıcının projenin riskli bölgelerini

algılamasını sağlamak amacıyla şaft, cephe ve merdiven boşluğunu gösteren işaretler kullanıcı arayüzüne yerleştirilmiştir.

Uygulamada kullanılan mobil cihaz, işaretiye yaklaştırıldığında model ve yazılar büyümektedir. Geliştirilen AG uygulaması, BIM modeli üzerine, düşme riskine karşı alınması gereken önlemleri pratik bir şekilde yerleştirerek, modelleme sürecini azaltmakta ve farklı disiplinlerden kullanıcılar için ortak bir arayüz sunmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artırılmış Gerçeklik Teknolojisini iş güvenliği kavramı ve BIM çalışma sistemi ile birlikte inceleyen tez çalışmasında, öncelikle iş kazası kavramı ve iş güvenliği kavramları ile birlikte Türkiye’de ve Dünya’da, bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci olarak BIM kavramı ve BIM çalışma sistemi ile birlikte planlanan iş güvenliği çalışmaları incelenmiştir. Üçüncü olarak AG kavramı ve iş güvenliği için yapılan çalışmalar incelenerek literatür çalışması tamamlanmıştır. Son olarak araştırmalar doğrultusunda, BIM ve iş güvenliği entegrasyonunu içeren bir AG mobil uygulaması tasarlanmıştır.

İncelenen çalışmaların doğrultusunda, iş güvenliği önlemlerinin projenin tasarım aşamasında planlanmasını ve bu konuda tüm proje ekibinin sürece dahil olabilesini sağlayan BIM tabanlı bir AG mobil uygulaması geliştirilmiştir.

Mimari alanda yapılan AG çalışmaları incelendiğinde, genellikle görselleştirme amacıyla kullanılan AG teknolojisi için, tez çalışması kapsamında yeni bir kullanım şekli önerilmektedir. BIM platformunda 3B modeli devam eden veya statik modeli tamamlanan projeye ait güvenlik önlemlerinin modelleme yapılmadan, uygulamanın içerisinden seçilmesi ve yerleşimi ile, büyük ölçekli projelerde iş güvenliği için planlanan sürenin kısalması amaçlanmaktadır. Büyük ölçekli projelerde iş kazası oluşturan risk faktörlerinin sayısı arttığı için, bu işlemlerin manuel olarak planlanmasının, iş kazalarını engellemede yetersiz olduğu görülmüş ve tez çalışmasında bu önlemlerin standartlaşmasının önemi vurgulanmıştır.

Geleneksel iş güvenliği önlemlerinde yer alan yazılı kurallar ve 2B görsellerin proje çalışanlarının bilinçlenmesi açısından yeterli olmadığı ve hafızadaki kalıcılık oranının kısa olduğuna dair araştırmalar incelenmiş ve AG teknolojisi ile görselleştirilen 3B güvenlik önlemlerinin proje çalışanları için kalıcı bilgi sağlaması planlanmaktadır.

Proje süreçlerinde kullanımı yaygınlaşan mobil cihazların, dökümantasyon sürecini kısaltarak, doğru bilgiye kısa sürede erişim sağladığına dair veriler içeren araştırmalar doğrultusunda, geliştirilen mobil uygulama üzerinden devam eden iş güvenliği süreçlerinin, projeye ait güvenlik önlemlerinin erişilebilirliği açısından proje süreçlerine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, en sık rastlanan risk türü olan düşme riski baz alınarak geliştirilen uygulamanın, diğer iş kazası tipleri için gerçekleştirilebileceğini ve iş güvenliği süreçlerinin de proje sürecine dahil edilerek tasarlanabileceğini göstermektedir.

AG uygulama geliştiricileri, farklı alanlarda birçok AG uygulaması yapımına olanak tanıdığı için, karmaşık yazılım aşamaları olmadan, gereken uygulamalar geliştirilebilmektedir. Bu nedenle diğer alanlarda olduğu gibi inşaat alanında da AG çalışmalarının sayısının giderek artacağı sonucu çıkarılmaktadır.

Geliştirilen mobil uygulama, mobil cihaz dışında ek bir donanım kullanmadan çalıştırılabilmekte olduğu için, düşük maliyetler ile iş kazalarına karşı gerekli çalışmaların yapılabilmesini göstermektedir. Aynı zamanda kullanıcı açısından da, Android mağazalarından erişebilmekte olup, farklı projelerde, tek bir donanım ile kullanılabilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, mimari alanda kullanımı yaygınlaşan Unity gibi oyun motorları ve AG uygulamaları ile gerçek zamanlı simülasyon sağlayan gelişmelerin, inşaat sektöründeki olası durumlarını simüle etmesinin, bu konudaki farkındalığı arttıracığı sonucuna varılmaktadır.

8B BIM kavramı günümüzde yeni bir kavram olarak yer almakta ve iş güvenliğinin BIM süreçlerine entegrasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. İnşaat sektöründe BIM çalışma biçimini destekleyen yalın inşaat prensiplerine uyumlu olarak maliyet ve zaman kayıplarını önlemeyi amaçlayan iş güvenliği uygulamalarının, ilerleyen dönemlerde BIM uygulama planında yer alması gerektiği düşünülmektedir.

İnşaat projelerinin BIM uygulama planında yer alan proje aşamalarında, tez çalışmasında geliştirilen mobil uygulama gibi uygulamaların yer almasıyla birlikte iş kazalarından dolayı oluşan zaman ve maliyet kayıplarının azaltılması amaçlanmaktadır.

Geliştirilen AG mobil uygulaması incelendiğinde, öncelikle 3B BIM modeli oluşturulmaktadır. İkinci aşamada Fbx formatta export alınmaktadır. Unity firmasının geliştirdiği Unity Reflect BIM eklentisi gibi bir uygulama eklentisi, projeden export almadan projede bir takım objeleri değiştirebilmeyi sağlamaktadır. Bu çalışma doğrultusunda, mobil uygulama geliştirildiğinde, Unity ile eş zamanlı bir BIM yazılımında modellenmekte olan projeye ait AG ve iş güvenliği uygulaması

gerçekleşmesi ihtimal durumlar arasında yer almaktadır. Bu duruma ek olarak web üzerindeki ortak paylaşım klasörlerinden 3B BIM modellerine erişim sağlanarak AG uygulamasınının gerçekleşmesi de düşünülmektedir.

Mobil uygulamanın kompleks ve birden fazla projede uygulanması durumunda, şaft, merdiven boşluğu ve cephelere tanımlanacak olan mahallere verilecek olan farklı ID bilgileri ile uygulama riskli bölgeleri otomatik olarak tanımlayarak güvenlik önlemlerini yerleştirebilecektir.

Geliştirilen projede, kullanılan güvenlik önlemleri bu aşamada, BIM modeli oluşumunda deneyimli kişiler tarafından gerçekleştirilmektedir. İlerleyen süreçlerde güvenlik önlemlerine ait, yönetmeliklere uygun olarak güncellenen bir BIM kütüphanesi oluşturularak, hazır objeler olarak indirilmesi planlanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, küçük ölçekli bir konut projesi üzerine düşme riskine karşı alınması gereken yazılı güvenlik önlemlerinin ve 3B güvenlik önlemlerinin projeye eklenmesi aşamalarını içeren mobil uygulama, belirli bir aşamaya kadar geliştirilmiştir.

3B model üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın, gerçek bir şantiye ortamında yer alan şaft, merdiven boşluğu ve cephe gibi alanlara gerekli önlemlerin getirilmesinde de kullanılabilmesi mümkündür. Fakat gerçek önlemlerin yerleştirilmediği bir sahada bu uygulamanın yapılması tehlike barındırdığı için, proje sahasından bağımsız olarak yapılan kullanım tercih edilmelidir.

Mobil uygulamanın kullanıcı kitlesi incelendiğinde; 3B BIM modelinin ve güvenlik önlemlerinin standartlara uygun bir şekilde, mimar veya diğer disiplinler tarafından modellenmesi gerekmektedir. Devamında ise, kullanıcıların mobil cihazlarına yükledikleri uygulamanın arayüzü üzerinden, model yükleme butonu ile model yüklenerek önlemler görselleştirilebilmektedir. Tez çalışmasının sınırlılığı olarak, geliştirilen mobil uygulama test edilememiştir. Araştırmanın ilerleyen aşamalarında, mobil uygulamanın, uygulama platformlarına yüklenmesi ile birlikte kullanıcı testi yapılması planlanmaktadır.

Bu çalışmanın genel olarak, inşaat sektöründe BIM ve AG teknoloji kullanımlarının, proje süreçlerine olumlu etkilerinin olduğu ve iş güvenliğinin, proje süreçleri ile birlikte tasarlanabilen bir süreç olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Düşme riski

dışındaki birçok inşaat riskinin, farklı platformların entegrasyonu ile önlenileceği öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

Agrawal A., Acharya G., Balasubramanian K., Agrawal N., & Chaturvedi, R. (2016). A Review on the use of Augmented Reality to Generate Safety Awareness and Enhance Emergency Response.

Ahmed, S. (2019). A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 11(1), 1839–1852. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2018-0012>

Ahmed, S., Hossain, M., & Hoque, I. (2017). A Brief Discussion on Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Industry. *Journal of System and Management Sciences*, 7(3), 1–33.

Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Huang, J. C. (2019). BIM/MR-Lean Construction Project Delivery Management System. 2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON) BIM/MR-Lean, 1–6. <https://doi.org/10.1109/temscon.2019.8813574>

Alper, Y. (1992) Bazı Ülkelerde İşçi Sağlığı- İşgüvenliği Uygulamaları ve Türkiye'deki Uygulama ile Karşılaştırılması. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, (37–38), 83–101. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/9611>

Ambrose, M. A. (2006). *Plan is Dead. To BIM, or not To BIM, That is the Question*. Retrieved from http://www.arch.umd.edu/resources/it/research/ambrose_ascaad2006_paper-1.pdf

Aslan, S., & Manisalı, E. (2012) İnşaat Sektöründe Kaza - Maliyet İlişkisi. 5. *İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 101–110.

Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *In Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1561/1100000049>

Baradan, S. (2006). Türkiye İnşaat Sektöründe İş Güvenliğinin Yeri Ve Gelişmiş Ülkelerle Kıyaslanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 8(1).

Baer, A., C. Eastman, M. Henrion, (1979) "Geometrical modeling: A survey", *Computer-Aided Design*, 11:5, pp.253-272.

Behm, M., Gambatese, J., & Toole, M. (2014). Construction Safety and Health Through Design. *Construction Management and Engineering*, 501–502. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.770542>

Behzadi, A. (2017). American Journal of Engineering Research (AJER) Open Access Using Augmented and Virtual Reality Technology in the Construction Industry Ajang Behzadi. *American Journal of Engineering Research*, 5(12), 350–353.

Billingham M. & Kato H., (1999)“Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System,” 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality

Brownrigg, S. (2012). *RIBA National CPD on CDM 2007 10 Top Tips for Architects 2012*.

Bostan, H. (2012). İnşaat Sektöründe İş Güvenliği: Yeni Nesil Öğrenim Tekniği. Anadolu Üniversitesi.

Bozoğlu, J., & Arditi, D. (2014). Bina Bilgi Modelleme (BIM) Ortamının Oluşturulması için bir Uzman Sistem. 3. *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*.

Bottani, E., Vignali, G. (2019). Augmented Reality Technology In The Manufacturing Industry: A Review Of The Last Decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>

Caudel P. T. & Mizell W. N., (1992) “Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes,” Proceedings of the 25th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii,

Ceylan H. (2011) *Türkiye’deki İş Kazalarının Genel Görünümü Ve Gelişmiş Ülkelerle Kıyaslanması*, International Journal of Engineering Research and Development, Vol.3, No.2.

Cheng H. K., Tsai C. C., (2013) "Affordances of augmented reality in Science learning: Suggestions for future search." *Journal of Science Education and Technology* 22.4, 449-462

Chu, M., Matthews, J., & Love, P. E. D. (2018). Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. *Automation in Construction*, 85(September 2017), 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.032>

Cleveland Jr, A. B. (2010). Emerging tools to enable construction engineering. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 836-842.

Collins, R., Zhang, S., Kim, K., & Teizer, J. (2014). Integration of Safety Risk Factors in BIM for Scaffolding Construction. *Computing in Civil and Building Engineering*, 955–1865.

Cousins, S. (2017). *BIM for Health and Safety in Construction* Retrieved October 14, 2019, from <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/BIM-Health-and-Safety-Construction-2017>

Cousins, S. (2016). Call Safe Today. *Construction Health & Safety Consultants & Trainers*, 161.

Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Owen, R. L., and Tzortzopoulos Fazenda, P., 2013. Implementing lean in construction: Lean construction and BIM-CIRIA Guide C725.

Dähne, P. & Karigiannis, J., N., (2002). “Archeoguide: System Architecture of a Mobile Outdoor Augmented Reality System”, International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) 2002, 263-264.

Dehlin, S., & Olofsson, T. (2008). An evaluation model for ICT investments in construction projects. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13(May), 343–361.

Dolenc, M. (2014). *Component based engineering of a mobile BIM- based Augmented Reality system.* (June). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.011>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd Ed., John Wiley & Sons, Hoboken.

Eastman, C.M. (1976) "General purpose building description systems" *Computer-Aided Design*, 8:1, pp.17-26.

Feiner S., MacIntyre B., Höllerer T. & Webster A., (1997) “A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment,” *Wearable Computers*, Cambridge.

Ganah, A.A. & John, G. (2015), “Integrating building information modeling and health and safety for onsite construction”, *Safety and Health at Work*, Vol. 6 No. 1, pp. 39-45.

Gao, X., & Chen, Y. (2017). Research on BIM Technology in Construction Safety a Emergency Management. *4th International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (ICREET 2016) Research.* <https://doi.org/10.2991/icreet-16.2017.95>

Gheisari, M., Chen, P., Sabzevar, M. F., Irizarry, J. (2016). An Augmented Panoramic Environment to Access Building Information on a Construction Site. *52nd ASC Annual International Conference Proceedings*, 1–8.

Görücü N. M. (2004) *Türkiye’deki ve İngiltere’deki İş Sağlığı Ve Güvenliği Teftiş Sistemlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gök, N. (2018) *Burdur Karaçal Mermer Ocağındaki İş Güvenliği Uygulaması Ve Risk Değerlendirmesi*, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Guo, H., Yu, Y., & Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>

Gu, N., Singh, V., Wang, X. (2010). Applying Augmented Reality For Data Interaction And Collaboration in BIM. *New Frontiers - Proceedings of the 15th International Conference on Computer-Aided Architectural Design in Asia, CAADRIA 2010*, 511–520.

Gülel Z. (2018). *İç Mimarlık Tasarım Stüdyosu Eğitimi Sürecinde Artırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin Kullanımı*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Gürcanlı G.E., Müngen U. (2005): “OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve Bir Uygulama Örneği”, 3. Yapı İşletmesi Kongresi, İzmir

Hallowell, M., Veltri, A., Harper, C., et al. (2017) Impact of design completeness, clarity, and stability on construction safety. *Journal of Safety, Health and Environmental Research*, 13(2), 370-377

Heinzel, A., Azhar, S., & Nadeem, A. (2017). (PDF) Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase. Retrieved October 5, 2019, from Conference Paper website: https://www.researchgate.net/publication/321266807_Uses_of_Augmented_Reality_Technology_during_Construction_Phase

Health and Safety Executive. (2018). Improving Health and Safety Outcomes in Construction. Making the Case for Building Information Modelling (BIM). *Hse.Gov.Uk*, 43. Retrieved from <http://www.bimtaskgroup.org/bim-faqs/>

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(June), 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>

Hongling, G., Yantao, Y., Weisheng, Z., & Yan, L. (2016). BIM and Safety Rules Based Automated Identification of Unsafe Design Factors in Construction. *Creative Construction Conference , CCC 2016*, 164(June), 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>

Huang, X. (2003). *THE OWNER’S ROLE IN CONSTRUCTION SAFETY* (University Of Florida). <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>

Interactive Technology Transforms Toolbox Safety Meetings. *Erişim Tarihi : 27 Ekim 2015* , <https://provisar.wordpress.com/>

İçten, T., & Bal, G. (2017). Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin Ve Uygulamaların İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 111–136.

İçten T. & Bal G. (2017). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401–415. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.290253>

Kamardeen, I., (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In 26th Annual ARCOM Conference, Leeds, Association of Researchers in Construction Management, 1, 281-289.

Karakhan, A., & Alsaffar, O. (2019) In Safety Management TECHNOLOGY ' S ROLE. *Professional Safety (PS) Journal*, 64(January), 2017–2020.

Kazaz A., Acıkara T., Ulubeyli S. (2016) *Türk İnşaat Sektöründe İş Kazaları ve Nedenleri Üzerine Bir Araştırma*, Konferans, 4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi.

Kato I. P. H., & Billingham M., (2000). ARToolkit User Manual Version 2.33, Human Interface Technology Lab, University of Washington

Kılış İ., Demir S. (Ocak 2012) *İşverenin İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Verme Yükümlülüğü Üzerine Bir İnceleme*, Çalışma İlişkileri Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, Sayfa: 23-47.

Kılıç T. (2016). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin İç Mekan Tasarım Sürecinde Kullanılması, (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Klinker, G., Stricker, D., & Reiners, D. (2001). Augmented Reality for Exterior Construction Applications. *Augmented Reality and Wearable Computers*, (October).

Korkutan, N. T. (2010) İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği Maliyetlerinin Bina İnşaatı Toplam U Maliyetlerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Köymen E. (2014). *Mimari Ön Tasarım Sürecinde Eskizleri Gerçek Zamanlı 3B Modelleyen, Artırılmış Gerçeklik Destekli Bir Yazılım Denemesi: "Sketchar."* Yıldız Teknik Üniversitesi.

Krueger W. M., (1998) "An Easy Entry Artificial Reality," Virtual Reality Applications and Explorations, Cambridge, Academic Press, pp. 147- 161.

Kraus, W. E., Watt, S., & Larson, P. D. (2007). Challenges in Estimating Costs Using Building Information Modeling. AACE International Transactions, 01.1-01.3.

Lanier J., (1992) "Virtual Reality: The Promise of the Future," Interactive Learning International, cilt 8, no. 4, pp. 275-79,

Le, Q. T., Pedro, A., Lim, C. R., Park, H. T., Park, C. S., & Kim, H. K. (2015). A Framework for Using Mobile Based Virtual Reality and Augmented Reality for Experiential Construction Safety Education. *International Journal of Engineering Education*, 31(No. 3), 713–725.

Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety.

Automation in Construction, 86(November), 150–162.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>

Lian, Z., Zhang, J., Choi, S., ElNaghy, H., El-Sana, J., Furuya, T., Wilson, R. C. (2015). SHREC'15 track: Non-rigid 3D Shape Retrieval. Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval, EG 3DOR, (May), 107–120.
<https://doi.org/10.2312/3DOR.20151064>

Lin, T. J., Duh, H. B. L., Li, N., Wang, H. Y., & Tsai, C. C. (2013). An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68, 314-321

Lopez del Puerto, C. & Clevenger, C. (2010), “Enhancing safety throughout construction using BIM/ VDC”, EcoBuild Conference Proceedings, ECOBuild 2010 BIMAcademic Forum, Washington, DC

Mani, G. F., Feniosky, P. M., & Savarese, S. (2009). D4AR-A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 14(June), 129–153.

Marefat, A., Toosi, H., & Mahmoudi Hasankhanlo, R. (2019). A BIM approach for construction safety: applications, barriers and solutions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), 1855–1877. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2017-0011>

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. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>

Metz R. (2012). Augmented Reality Is Finally Getting Real, <http://www.technologyreview.com/news/428654/augmented-reality-is-finally-getting-real/>, Erişim Tarihi : 10 .02. 2020.

Milgram P., Kishino F. (1994), ”A taxonomy of mixed reality visual displays”, *IEICE Transactions on Information Systems*, 77 (12), 1321-1329, 1994.

Mitchell, D. (2012). 5D BIM: Creating cost certainty and better buildings. 2012 RICS Cobra, Las Vegas

Mordue, S. (2017). *BIM for Health and Safety in Construction from* <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/BIM-Health-and-Safety-Construction-2017>

Müngen, U. (1993) *Türkiye’de İnşaat İş Kazalarının Analizi ve İş Güvenliği Sorunu*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 401s.

Müngen U. (2011) *İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Naycı, H. (2010) *Bir Toplu Konut Projesinde Uygulanan İş Güvenliği Yönetim Süreçlerinin OHSAS 18001 Uygulamalarıyla Karşılaştırılması* (Vol. 9). İstanbul Teknik Üniversitesi.

N. B. S. P. Committee. (2007) "National Building Information Modeling Standard, Version 1, Part 1: Overview, Principles, and Methodologies," ed: Washington, DC: National Institute of Building Sciences

Natephra, W., Motamedi, A. (2019). Live Data Visualization of IoT Sensors Using Augmented Reality (AR) and BIM. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*. <https://doi.org/10.22260/isarc2019/0084>

Nnaji, C., Gambatese, J. & Lee, H.W. (2018). Work zone intrusion: Technology to reduce injuries and fatalities. *Professional Safety*, 63(4), 36-41.

Ofluoğlu S.(2016) Multidisciplinary Work and BIM Usage, 10th Computational Design in Architecture National Symposium, 104-117, İstanbul Bilgi University

Ofluoğlu, S. (2014). Bina Yaşam Döngüsünde BIM Uygulamaları. *Autodesk Türkiye*

Ofluoğlu, S., (2009). Yapı bilgi modelleme: yeni nesil mimari yazılımlar, Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü.

Panagiotis D.R., Johnston D.J., Clark C., Clark A., (2002) “Mobile Augmented Reality Archaeological Reconstruction”, 30th Anniversary of the UNESCO World Heritage Convention - Virtual Congress: Architecture, Tourism and World Heritage, Çin.

Papuççiyar A. (2019) “Unity vs Unreal Engine! Hangisi doğru tercih?,”[Çevrimiçi]. <https://webrazzi.com/2019/02/05/unity-vs-unreal-engine-hangisi-dogru-tercih/> Erişim Tarihi: 11.02.2020

Piekarski W. & Thomas B., (2002) “Arquake:The Outdoor Augmented Reality Gaming System,” *Communications Of The Acm*, cilt 45, no. 1, pp. 36-38

Ratajczak, J., Marcher, C., Schimanski, C. P., Schweikopfler, A., Riedl, M., & Matt, D. T. (2019). BIM-based augmented reality tool for the monitoring of construction performance and progress. *Proceedings of the 2019 European Conference for Computing in Construction*, 1, 467-476. <https://doi.org/10.35490/ec3.2019.202>

Rekimoto J. & Ayatsuka Y., (2000) “CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags,” *DARE '00 Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*

Riaz, Z., Arslan, M. & Azhar, S. (2014), “CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces”, *Automation in Construction*, Vol. 45 No. 8, pp. 96-106.

Riera S. A., Dominguez R. E., Escudero F. D. (2012) “Developing an Augmented Reality Application in the Framework of Architecture Degree,” UXeLATE’12

Rostami, A., Sommerville, J., Wong, I. L., & Lee, C. (2015). Risk management implementation in small and medium enterprises in the UK construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(1), 91–107. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2014-0057>

Rosenberg L. B., (1993)“Virtual fixtures as tools to enhance operator performance in telepresence environments,” Proceedings Volume 2057, Telemanipulator Technology and Space Telerobotics, Boston,

Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., & Baum, H. (2010) Construction Job Safety Analysis. *Safety Science*, 48(4), 491–498. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.017>

Saurin, T. A., Formoso, C. T., & Guimaraes, L. B. M. (2004) Safety and production: An integrated planning and control model. *Construction Management and Economics*, 22(2), 159–169. <https://doi.org/10.1080/0144619042000201367>

Sevim, M., & Gürcanli, G. E. (2018). İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği (İSİG) Sisteminin İnşaat Uygulama İş Programına Entegrasyonu. *Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 19–33.

Seichter H. (2002). Augmented Reality Sketching for Architectural Design sketchand+, <http://technotecture.com/projects/sketchandplus>, Erişim Tarihi: 25.02.2020

Sidani, A., Duarte, J., Baptista, J. S., Martins, J. P., & Soeiro, A. (2018). Improving construction safety using BIM-Based sensor technologies. *2º Congresso Português de Building Information Modelling*, (1), 161–169. Retrieved from <https://www.constructconnect.com/blog/construction-news/construction-leads-industries->

Sutherland E. I., (2003) “Sketchpad: A man-machine graphical communication system,” University of Cambridge Computer Laboratory, Cambridge

Sutherland E. I., (1968)“A head-mounted three dimensional display,” Fall Joint Computer Conference, San Francisco,

Sofuğlu, T. (2012) *İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Eğitimi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 14.

Souza E. (2019) “9 Augmented Reality Technologies for Architecture and Construction”[Çevrimiçi]. <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction>, Erişim Tarihi: 16.02.2020

Tan, O. (1999) İş Kazası Oluşmadan Alınacak Önlemlerin Maliyeti İle İş Kazası Oluştuktan Sonraki Harcama Maliyetlerinin Analizi Ve Karşılaştırılması.

Taiebat, M. (2011), “Tuning up BIM for safety analysis proposing modeling logics for application of BIM in DfS”, Doctor of Philosophy Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, available at: <http://hdl.handle.net/10919/30255>

Tao, Li (2011) Practice of Basic Occupational Health Services in China, Asian-Pacific Newsletter, 18:3, 58-62.

Tekbas, G., & Guven, G. *BIM-based Automated Safety Review for Fall Prevention*. Ozyegin University, Department of Civil Engineering

TMMOB (2018) *TMMOB Makina Mühendisleri Odası İŞÇİ SAĞLIĞI ve İŞ GÜVENLİĞİ*. Retrieved from <http://www.mmo.org.tr>

Tümerden, İ. (2015) *Bina Yapımında Tasarım Yoluyla İş Güvenliği Kavramının İncelenmesi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Tokat, A. (2015). *Türk Yapım Şantiyelerindeki İsrâfların Ve Nedenlerinin Tespit Edilmesi Ve Yalın İnşaat Uygulamalarıyla Çözüm Önerisi Geliştirilmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Vassigh S., Elias A., Ortega R. F., Davis D., Gallardo G., Alhaffar H., Borges L., Bernal J. & Rishe D. N. (2016) “Integrating Building Information Modeling with Augmented Reality for Interdisciplinary Learning,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct Proceedings

Vatansver Kurtuluş, S. (2019). *Artırılmış Gerçeklik İle Yapı Bileşenlerine Yönelik Yapı Bilgi Modelleme Destekli Bir Uygulama Önerisi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Yıldız, S., & Yılmaz, M. (2017). Türk İnşaat Sektöründe Çalışanların Güvenlik Kültürü Düzeyinin ve Güvenlik Performansı ile İlişkisinin İncelenmesi Investigation of Safety Culture Level Among Turkish Construction Sector Employees and its Relation with Safety Performance. *Dergisi, Politeknik*, 20(1), 137–149.

Yıldırım, E. (2010) *İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliğinde Eğitimin Rolü Ve İşgörenlerin İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği Eğitimi Konusundaki Bilinç Düzeylerini Ölçmeye Yönelik Bir Araştırma* (İstanbul Üniversitesi). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Yılmaz, F. (2007), *Çağdaş Bir Çalışma Yaşamının Anahtarı: İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi, Ülkemiz ve Avrupa Örneği*, İş Güvenliği Dergisi, Türkiye İş Güvenliği İş Adamları Derneği Yayını, 3, (9), 1-2.

Yongge, X. & Cheng, Q. (2014). “Lean Cost Analysis Based on BIM Modelling for Construction Project”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 457-458, 1444-1447.

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(February), 31–45.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>

Zhang, S., Lee, J., 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 W99 Conference*, 1–13.

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(February), 31–45.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>

Zaher, M., Greenwood, D., Marzouk, M. (2018). Mobile augmented reality applications for construction projects. *Construction Innovation*, 18(2), 152–166.
<https://doi.org/10.1108/CI-02-2017-0013>

Wang, X., & Dunston, P. S. (2007). Design, strategies, and issues towards an Augmented Reality-based construction training platform. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 12(March), 363–380.

Wang, X. (2009). Augmented Reality in Architecture and Design: Potentials and Challenges for Application. *International Journal of Architectural Computing*, 07(02).

Wang, X. & Dunston, P. S. (2008), User perspectives on mixed reality tabletop visualization for face-to-face collaborative design review, *Automation in construction*, 17(4), 399–412.

Wagner D. & Schmalstieg D., “First Steps Towards Handheld Augmented Reality,” Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, New York, 2003

Weinstein, M., Gambatese, J., & Hecker, S. (2005). Can design improve construction safety?: Assessing the impact of a collaborative safety-in-design process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(10), 1125–1134.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:10\(1125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:10(1125))

Williams, G., Gheisari, M., Chen, P. J., Irizarry, J. (2015). BIM2MAR: An Efficient BIM Translation To Mobile Augmented Reality Applications. In *Journal of Management in Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000315](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000315)

URL KAYNAKLARI

URL-1

<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5510.pdf> 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu – Erişim Tarihi: 14.01.2020

URL-2

http://structpedia.com/bim_2-bim-nedir/, Erişim Tarihi : 10.01.2020

URL-3

<https://www.letsbuild.com/blog/bim-maturity-levels>, Erişim Tarihi: 15.01.2020

URL-4

<https://www.hse.gov.uk/construction/cdm/2015/index.htm>, Erişim Tarihi:14.01.2020

URL-5

<https://ukbimframework.org/standards-guidance/> Erişim Tarihi:16.01.2020

URL-6

<http://www.constructionmanagermagazine.com/technology/can-digital-tech-make-work-height-safer/>, Erişim Tarihi:13.01.2020

URL-7

<https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>, Erişim Tarihi : 01.02.2020

URL-8

<https://www.techsling.com/comprehensive-list-5-augmented-reality-business-apps/>
Erişim Tarihi : 10.02.2020

URL-9

<https://www.trustedreviews.com/news/htc-vr-decline-reports-false-vive-headset-selling-at-record-rate-3516698>, Erişim Tarihi :10.02.2020

URL-10

<https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/security-tech/technology/why-hololens-is-microsofts-biggest-bet-under-virtual-reality/articleshow/60919151.cms?from=mdr>, Erişim Tarihi: 10.02.2020

URL-11

[https://en.wikipedia.org/wiki/Augment_\(app\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Augment_(app)) Erişim Tarihi : 26.02.2020

URL-12

<https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050> Erişim Tarihi : 26.02.2020

URL-13

<https://gamedev.stackexchange.com/questions/70244/what-is-the-difference-between-offline-and-real-time-rendering> Erişim Tarihi: 24.03.2020

URL-14

<http://timelapseturkiye.com/time-lapse/fps-kare-hizi-nedir-html/> Erişim Tarihi: 24.03.2020

URL-15

https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline Erişim Tarihi: 24.03.2020

URL-16

https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh Erişim Tarihi: 24.03.2020

URL-17

<https://unity.com/products/reflect> Erişim Tarihi: 25.03.2020

URL-18

https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK Erişim Tarihi: 25.03.2020

URL-19

https://tr.wikipedia.org/wiki/Android_Studio Erişim Tarihi: 26.03.2020

URL-20

<https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/fix-non-manifold-geometry/> Erişim Tarihi: 30.03.2020

URL-21

https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping Erişim Tarihi: 30.03.2020



ÖZGEÇMİŞ

Merve AKSU

17.08.1993, İzmir

(2017 – 2020) Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Anabilim Dalı,
Mimari ve Kentsel Enformatik Yüksek Lisans Programı.

(2011-2015) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü.

