



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ  
MODELLEMESİNİN ŞANTİYEDEN KULLANIMINA  
YÖNELİK BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RÜMEYSA BETÜL AKBAY**

**İSTANBUL, 2021**



FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ  
MODELLEMESİNİN ŞANTİYEDEN KULLANIMINA  
YÖNELİK BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RÜMEYSA BETÜL AKBAY  
(170201014)**

**Danışman  
(Dr. Öğr. Üyesi Burcu BALABAN ÖKTEN)**

**İSTANBUL, 2021**

[27/01/2021]

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

[Mimarlık Anabilim] Dalı'nda [170201014] numaralı [Rümeysa Betül AKBAY]'ın [hazırladığı "Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Şantiyede Kullanımına Yönelik Bir İnceleme"] konulu [Yüksek Lisans] tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, [27/01/2021] [Çarşamba] günü saat [10]:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

**Düzeltilme verilmesi halinde:**

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı [.../.../20...] tarihinde, saat [...]:[...] da yapılacaktır.

**Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde:** Tez adının [.....]  
[.....]  
şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) [Dr. Öğr. Üyesi Burcu BALABAN ÖKTEN]	[27/ 01/2021]	[KABUL]
[Dr. Öğr. Üyesi Yaprak ARICI ÜSTÜNER...]	[27/ 01/2021]	<b>KABUL</b>
[Prof. Dr. Selin GÜNDEŞ..]	[27/ 01/2027]	<b>KABUL</b>

## **BEYAN/ ETİK BİLDİRİM**

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Rümeysa Betül Akbay

## TEŐEKKÜR

Lisans eđitimimden bu yana her tűrlű desteđini, tecrűbesini ve deđerli zamanımı esirgemeyen tez danıőmanım Sn. Dr. Őđretim Őyesi Burcu Balaban Őkten'e;

Tűm yođunluđuna rađmen vakit ayırıp deđerli gűrűőlerini paylaőan Sayın Dr. Ahmet ıtıptıođlu baőta olmak űzere bu çalıőmaya destek olan ve tecrűbelerini paylaőan tűm katılımcılara;

Sevgilerini ve desteklerini her zaman yanımda hissettiđim annem Nuran Akbay, babam İbrahim Akbay, kız kardeőim F. Asuman Akbay ve diđer tűm aile űyelerine teőekkűrlerimi sunarım.

Rűmeysa Betűl Akbay

# **TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİNİN ŞANTIYEDE KULLANIMINA YÖNELİK BİR İNCELEME**

**Rümeysa Betül Akbay**

## **ÖZET**

Son 50 yılda, inşaat endüstrisi diğer endüstrilere kıyasla oldukça az teknolojik yeniliğe sahiptir. İnşaat endüstrisinin parçalı doğası ve projelerin bir kereye özgü oluşu yeniliklere karşı direnç göstermesine neden olmaktadır. Değişime olan bu ilgisizliğin yanı sıra verimlilik ve performansı artırma ihtiyacı uzun bir süredir bilinmektedir. Yapı bilgi modellemesi (YBM), binaların tasarlanma, inşa ve işletilme şeklini hızla değiştiren devrim niteliğinde bir teknoloji ve süreçtir.

Bu çalışmanın amacı tasarım aşamasında YBM süreçlerinde modellenen bilgilerin sahadaki personele hangi teknolojiler vasıtasıyla aktarıldığını tespit etmek ve sahadaki üretime sağladığı katkıyı incelemektir. Ayrıca Türk inşaat sektöründe YBM süreçleriyle yürütülen örnekleri incelemek ve sektörün yönelimini arttırmak için akademisyenler ve profesyoneller tarafından yapılan çalışmaları ortaya koymaktır.

Çalışmanın birinci bölümünde yapı bilgi modellemesi kavramı ele alınmıştır. Daha sonra yapı bilgi modellemesinin inşaat sektöründeki yerinden bahsedilmiş, projenin tasarım, yapım ve işletme safhaları incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yapı bilgi modellemesinin yapım sürecindeki uygulamalarına odaklanılmıştır. Yapı bilgi modellemesinin şantiyedeki organizasyona sağladığı katkılar araştırılmış, saha uygulamalarında YBM süreçlerine entegre olan diğer bilgi teknolojileri ele alınmıştır. Bu teknolojilerin incelendiği vaka çalışmaları tespit edilmiş, YBM süreçlerine nasıl entegre oldukları ve sürece sağladıkları katkılar

incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde Türk inşaat sektöründe YBM uygulamaları incelenmiştir. İlk olarak Türkiye'deki proje örneklerinden bahsedilmiştir. Sektörde aktif olarak YBM teknolojilerini deneyimlemiş farklı paydaşları temsil eden beş profesyonelle yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler ve literatürden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler; yapı bilgi modellemesi, saha uygulamaları, dijital teknolojiler, koordinasyon, iş birliği

# **INVESTIGATION OF THE USE OF BUILDING INFORMATION MODELING ON THE CONSTRUCTION SITE IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR**

**Rümeysa Betül Akbay**

## **ABSTRACT**

In the last 50 years, the construction industry has had very few technological innovations compared to other industries. The fragmented nature of the construction industry and the one-off nature of projects make it resistant to innovation. This indifference to change, as well as the need to increase efficiency and performance, has long been recognized. Building information modeling is a revolutionary technology and process that is rapidly changing the way buildings are designed, built and operated.

The aim of this study is to determine the technologies through which the information modeled in BIM processes are transferred to the personnel in the field during the design phase and to examine the contribution it provides to the production in the field. In addition, to examine the examples carried out by BIM processes in the Turkish construction sector and to reveal the studies carried out by academicians and professionals in order to increase the direction of the sector.

In the first part of the study, the concept of building information modeling is discussed. Then, the place of building information modeling in the construction sector was mentioned and the design, construction and operation phases of the project were examined. The second part of the study focuses on the applications of building information modeling in the construction process. The contributions of building information modeling to the organization on the construction site were investigated, and other information technologies integrated into BIM processes in



field applications were discussed. Case studies examining these technologies were identified, how they integrated into BIM processes and their contribution to the process were examined. In the third part of the study, BIM applications in the Turkish construction sector are examined. It was first mentioned examples of projects in Turkey. Semi-structured interviews were held with five professionals representing different stakeholders who have actively experienced BIM technologies in the industry. Interviews and data obtained from the literature were compared.

Keywords: building information modeling, field applications, digital technologies, coordination, collaboration

## ÖNSÖZ

İnşaat sektörü sürekli bilgi üreten, çok disiplinli ve çok örgütlü bir yapıya sahiptir. Yoğun bilgi akışının olduğu bu sektörde bilgi paylaşımı ile ilgili zorluklar mevcuttur. Aynı zamanda projelerin geçici doğası gereği değerli bilgiler bireylerde kalabilmekte ve zamanla kaybolabilmektedir. Başarılı bir proje yönetim sürecinde bilginin etkin bir şekilde kullanılması ve paylaşılması kritik bir öneme sahiptir. Yapı bilgi modellemesi (YBM), etkili iş birliği ve öğrenme süreçleri yoluyla bu çabaya yardımcı olabilecek bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

Yapı bilgi modellemesi inşaat sektörünün iş yapış biçimini değiştiren, dijitalleştiren ve geliştiren bir süreçtir. YBM, yapıların tasarım, yapım ve işletme evrelerini kapsayan yaşam döngüsü boyunca bilgi akışının doğru ve eksiksiz gerçekleşmesini hedeflemektedir. Yapı bilgi modellemesi entegre bir süreç sağlamakla beraber proje evrelerine sağladığı fayda ve zorluklar değişkenlik göstermektedir. Bu çalışma yapı bilgi modellemesi süreçlerinin saha uygulamalarına odaklanmıştır. Sahada yapı bilgi modeline hangi teknolojilerle ulaşıldığını ve dijitalleşme sürecinin yapı sektörüne sağlayacağı ileriye dönük uygulamaları tespit etmek hedeflenmiştir. Bir diğer amaç da Türkiye'deki YBM uygulamalarının mevcut durumunu sürecin içerisinde aktif olarak yer alan uzman görüşleriyle incelemektir.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ÖNSÖZ</b> .....	viii
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xii
<b>RESİM LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>KISALTMALAR</b> .....	xiv
<b>GİRİŞ</b> .....	1
<b>1. YAPI YAŞAM DÖNGÜSÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ</b> .4	
1.1. LİTERATÜRDE YBM.....	4
1.2. TASARIM SÜRECİNDE YBM .....	7
1.3. YAPIM SÜRECİNDE YBM.....	17
1.4. İŞLETME SÜRECİNDE YBM.....	26
<b>2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ</b> .....	30
2.1. SAHA UYGULAMALARINDA YBM KULLANIMI .....	30
2.1.1. İş Birliği ve Koordinasyon .....	30
2.1.2. İş Akış ve Planlama .....	32
2.1.3. Kalite, Zaman ve Maliyet .....	34
2.1.4. İş Sağlığı ve Güvenliği .....	36
2.2. SAHADA YBM İLE ENTEGRE KULLANILAN TEKNOLOJİLER.....	38
2.2.1. Bulut Bilişim ve Mobil Cihazlar .....	39
2.2.2. Sanal Gerçeklik ve Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisi (VR / AR) .....	43
2.2.3. Lazer Tarama .....	48

<b>2.2.4. Robotik Üretim.....</b>	<b>53</b>
2.3. TÜRKİYE’DE YBM’NİN YAYGINLAŞMASI İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	57
<b>3. TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ</b>	<b>62</b>
3.1. TÜRKİYE’DE YBM KULLANIM ÖRNEKLERİ.....	62
3.2. YAPILAN GÖRÜŞMELERDEN ELDE EDİLEN VERİLER .....	66
3.3. BULGULARIN TARTIŞILMASI .....	75
<b>SONUÇ.....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>86</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>102</b>

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 Yapı bilgi modellemesi tanımları.....	6
Çizelge 1.2 Tasarım aşamasında YBM kullanımı ile ilgili makaleler.....	15
Çizelge 1.2 (devam) Tasarım aşamasında YBM kullanımı ile ilgili makaleler.....	16
Çizelge 1.3 Yapı bilgi modellemesinin şantiyede kullanımına yönelik faydalar.....	19
Çizelge 1.4 YBM'nin şantiyede kullanımına yönelik yazılan makale çizelgesi.....	24
Çizelge 1.4 (devam) YBM'nin şantiyede kullanımına yönelik makale çizelgesi.....	25
Çizelge 3.5 Türkiye'de YBM ile yürütülen proje örnekleri.....	62
Çizelge 3.5 (devam) Türkiye'de YBM ile yürütülen proje örnekleri.....	63
Çizelge 3.6 Görüş belirten katılımcılar hakkında bilgi.....	68
Çizelge 3.7 Görüşme soruları.....	69
Çizelge 3.8 Yapı bilgi modellemesinin yapım sürecine sağladığı faydalar.....	76
Çizelge 3.9 Yapı bilgi modellemesinin önündeki engeller.....	77

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 YBM proje süreçleri.....	7
Şekil 1.2 Proje tasarım aşamasında YBM iş akışı. ....	8
Şekil 1.3 Yapı bilgi modellemesinin uygulanmasının sınırlayıcı faktörleri .....	13
Şekil 2.4 Bulut bilişim türleri (genel bulut, özel bulut ve hibrit bulut sistemi).....	39
Şekil 2.5 YBM süreçlerinde bulut bilişim şeması. ....	40
Şekil 2.6 iHelmet cihaz donanımı.....	46
Şekil 2.7 Helm, Ercan ve Gramazio (2012) tarafından geliştirilen robot. ....	55

## RESİM LİSTESİ

### Sayfa

Resim 1.1 Strüktürel analiz .....	10
Resim 1.2 Şantiyede mobil cihazların kullanımı.....	18
Resim 1.3 YBM kiosk örneği.....	21
Resim 2.4 Sahada tablet kullanımı. ....	41
Resim 2.5 VR teknolojisiyle operatör eğitimi.....	44
Resim 2.6 Daqri tarafından geliştirilen AR destekli kask.....	48
Resim 2.7 Şantiyede lazer tarama teknolojisi. ....	49
Resim 2.8 Lazer tarama ile tasarım–yapı karşılaştırılması. ....	53
Resim 2.9 Şantiyede robotik üretim. ....	54

## KISALTMALAR

3B	Üç boyutlu
4B	Dört boyutlu
5B	Beş boyutlu
6B	Altı boyutlu
7B	Yedi boyutlu
AR	Augmented Reality / Arttırılmış Gerçeklik
BT	Bilgi teknolojisi
BİT	Bilgi ve iletişim teknolojisi
bSTR	BuildingSMART Türkiye
CDE	Common Data Environment / Ortak Veri Ortamı
EPT	Entegre Proje Teslimi
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
IFC	Industry Foundation Classes
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
LOD	Level of Detail / Detay Seviyesi
MMİ	Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat
NBIMS	The National BIM Standard
NIST	National Institute of Standards and Technology
VR	Virtual Reality / Sanal Gerçeklik
YBM	Yapı Bilgi Modelleme



## GİRİŞ

21. Yüzyılın başında inşaat endüstrisi, pazarda rekabet avantajı elde etmek için yeni gelişmiş teknolojileri inşaat sürecine dahil etmek ve değiştirmek zorunda kalmıştır. Üretimin hızlanması kalitenin artışı, müşteri isteklerinin artışı, maliyetlerin düşürülmek istenmesi teknolojinin inşaat endüstrisinde etkin kullanılmasını gerektirmiştir. İnşaat endüstrisi diğer endüstrilere kıyasla dijitalleşme süreçlerinin oldukça gerisinde kalmıştır. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri farklı disiplinler ve paydaşlardan oluşan parçalı doğasıdır. Yapı bilgi modellemesi, disiplinler arası iş birliği sağlayan, iletişimi güçlendiren, yapıların tasarlanma, inşa ve işletilme şeklini hızla değiştiren devrim niteliğinde bir teknoloji ve süreçtir. Yapı bilgi modellemesinin kullanımı, daha erken, güvenli ve kaliteli iş sunabilmek için hızlı veri aktarımını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu veriler paylaşılırken tek seferlik bir aktarımdan ibaret olmayıp ortak bir bilgi ekosisteminde sürekli kullanılmak üzere toplanmaktadır. Yapılar erken tasarım aşamasından itibaren veri üretmekte ve yapı yaşam döngüsü boyunca üretilen bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada YBM ile oluşturulan bilgi ekosistemi süreçlerin doğru ilerlemesi açısından önemli bir sistemdir.

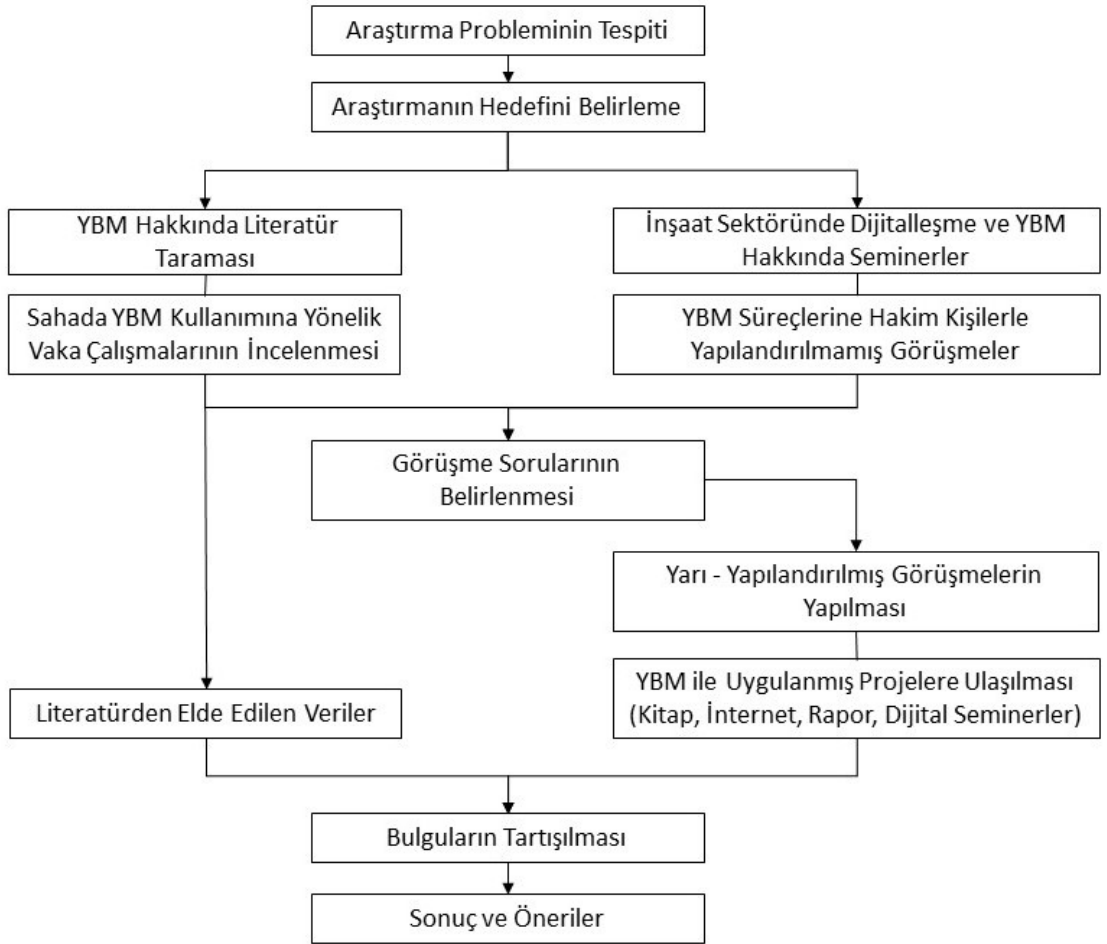
### **Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı tasarım aşamasında YBM süreçlerinde modellenen bilgilerin sahadaki personele hangi teknolojiler vasıtasıyla aktarıldığını tespit etmek ve sahadaki üretime sağladığı katkıyı incelemektir. Ayrıca Türk inşaat sektöründe YBM süreçleriyle yürütülen örnekleri incelemek ve sektörün yönelimini arttırmak için akademisyenler ve profesyoneller tarafından yapılan çalışmalarını ortaya koymaktır.

### **Çalışmanın Yöntemi**

Yapılan tez çalışmasında öncelikle yapı bilgi modellemesi hakkında yapılan tezler incelenmiş, yapım aşamasındaki uygulamalara ve beraberinde kullanılan

teknolojilere yönelik araştırmaların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra literatürde yapım sürecinde YBM'nin incelendiği vaka çalışmalarına odaklanılmıştır. Araştırma sürecinde yapı bilgi modellemesi hakkında yapılan seminerler takip edilmiştir. Literatür tarama sürecinde sektörde aktif olarak YBM teknolojilerini deneyimlemiş kişilerle yapılandırılmamış görüşmeler yapılmıştır. Literatür taraması sona erdiğinde elde edilen verilerle sorular hazırlanmış, farklı disiplinleri temsil eden beş profesyonelle yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler ve literatürden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.



Literatür Taraması

Alan alışması

### Tez alışmasının Yöntemi

## **Çalışmanın Kapsamı ve Tez Organizasyonu**

Yapı bilgi modellemesinin inşaat sektöründe hangi safhalarda ve hangi amaçlarla kullanıldığı çalışmanın araştırma konusudur. Ayrıca saha uygulamalarında YBM ile entegre teknolojilere ve bu teknolojilerin ele alındığı vaka çalışmalarına odaklanılmıştır. Türk inşaat sektöründe YBM uygulanan projeler de çalışma kapsamında incelenmiş, başarılı uygulamalara yer verilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde yapı bilgi modellemesi kavramı ele alınmıştır. Daha sonra yapı bilgi modellemesinin inşaat sektöründeki yerinden bahsedilmiş, projenin tasarım, yapım ve işletme safhaları incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yapı bilgi modellemesinin yapım sürecindeki uygulamalarına odaklanılmıştır. Yapı bilgi modellemesinin şantiyedeki organizasyona sağladığı katkılar araştırılmış, saha uygulamalarında YBM süreçlerine entegre olan diğer bilgi teknolojileri ele alınmıştır. Bu teknolojilerin incelendiği vaka çalışmaları tespit edilmiş, YBM süreçlerine nasıl entegre oldukları ve sürece sağladıkları katkılar incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde Türk inşaat sektöründe YBM uygulamaları incelenmiştir. İlk olarak Türkiye'deki proje örneklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra akademisyenler ve sektör profesyonelleri tarafından yapı bilgi modellemesini yaygınlaştırmak için yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Sektörde aktif olarak YBM teknolojilerini deneyimlemiş farklı disiplinleri temsil eden profesyonellerle yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler ve literatürden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

# 1. YAPI YAŞAM DÖNGÜSÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak yapı bilgi modellemesi kavramı hakkında literatür taraması yapılmıştır. Yapılan tarama sonucunda bu kavrama yönelik birçok tanım tespit edilmiştir. Daha sonra yapı bilgi modellemesinin inşaat sektöründeki yerinden bahsedilmiştir. Projenin hangi safhalarında kullanıldığına yönelik araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda üç süreç tespit edilmiştir. Bu süreçler; tasarım süreci, yapım süreci ve işletme sürecidir. Tespit edilen bu süreçler ayrı ayrı ele alınmıştır. Öncelikle tasarım aşamasında yapı bilgi modellemesi hakkında literatür taraması yapılmış, bu modelin kullanımına yönelik fayda ve zorluklardan bahsedilmiştir. Daha sonra bu alanda yapılmış vaka çalışmaları ve bulguları ele alınmıştır. Bölümde son olarak ise önerilere yer verilmiştir. Yapılan bu çalışma yapım sürecinde ve işletme sürecinde yapı bilgi modellemesi kullanımı hakkında da yapılmış, fayda ve zorluklarından bahsedilmiş, vaka çalışmaları incelenmiştir. Sürece dair önerilerle bölümler sonlandırılmıştır.

## 1.1. LİTERATÜRDE YBM

Son 50 yılda, inşaat endüstrisi diğer endüstrilere kıyasla oldukça az teknolojik yeniliğe sahiptir. Malzeme araştırma, kurulum metodolojileri ve enerji verimliliği konusunda prefabrikasyon, çevre dostu malzemeler ve yeşil bina tasarımı gibi birçok yenilik vardır. Ancak, proje ekiplerinin inşaat yönetimi için kullandığı teknolojiler büyük ölçüde aynı kalmıştır (Hardin & Mccool, 2015). Sektördeki her organizasyonun kendine özgü bir kültürü, alt kültürü, karakteri, doğası ve kimliği vardır (Weippert & Kajewski, 2004). İnşaat sektörünün birçok disiplinden bir araya gelmiş olması diğer sektörlerden ayrılan en belirgin özelliklerindedir. Bu farklı organizasyon yapısı da değişime olan dirençte etkilidir. Bir diğer büyük engel, mevcut uygulama yöntemleriyle, çoğu uygulayıcının yeterince kâr etmesidir ve bu da gelecek vaat eden alternatiflere karşı çaba sarf etmeyi engellemektedir. Ayrıca, endüstrinin parçalanmış doğası, firmalar arasındaki olağan, bir kerelik proje deneyimi ile birleştiğinde, uzun vadeli yeniliklere yatırım yapmak için yeterli kar veya başka motivasyon üretmez (Beck, 2001). Değişime olan bu ilgisizliğin yanı sıra verimlilik ve performansı artırma ihtiyacı uzun bir süredir bilinmektedir.

Yapı bilgi modellemesi, binaların tasarlanma, inşa ve işletilme şeklini hızla değiştiren devrim niteliğinde bir teknoloji ve süreçtir. YBM' nin kökleri 1970'lerin sonunda ve 1980'lerin başında ABD ve Avrupa'da yapılan parametrik modelleme araştırmasına kadar uzanmış olsa da mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisi 2000'lerin ortalarından itibaren projelerde uygulamaya başlamıştır (Azhar, Khalfan & Maqsood, 2012). YBM; mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü içinde tüm paydaşların bir projedeki rollerinin entegrasyonunu teşvik eden yeni bir paradigmayı temsil eder. İnsanları, sistemleri ve iş yapılarını bir araya getirerek atıkların azaltılması ve proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında verimliliği en iyi duruma getirmeyi amaçlar. Ortak bir süreci benimseyen bu durum yeni bir proje teslim yaklaşımı olan entegre proje teslimini desteklemektedir (Azhar, 2011). Yapı bilgi modellemesi tasarım, inşaat ve işletme aşamaları arasında bina bilgilerinin değişimini kolaylaştıran, bina tasarımı ve detaylandırılması için gerekli tüm grafik ve sözel verileri içeren kavramsal bir yaklaşımdır (Y. Wang ve diğerleri., 2013).

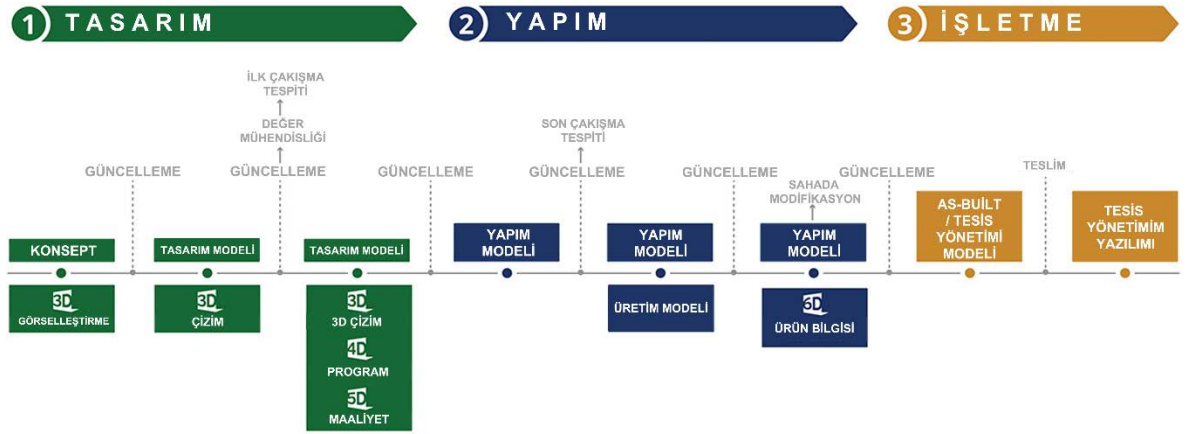
Literatürde yapı bilgi modellemesi hakkında birçok tanım bulunmaktadır (**Çizelge 1.1**). MMİ endüstrisinde bilgisayar destekli tasarımın öncüsü olan C. M. Eastman (1999) yapı bilgi modellemesini “*dijital formatta bilgi alışverişi ve birlikte çalışmayı kolaylaştırmak için inşa sürecinin dijital olarak temsil edilmesidir.*” şeklinde tanımlamıştır. Autodesk ise 2002 yılında yayınladığı yönergede “*mimari, mühendislik ve inşaat profesyonellerine binaları ve altyapıyı daha verimli bir şekilde planlamak, tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek için fikir ve araçlar sağlayan akıllı bir 3B model tabanlı süreç*” olarak tanımlamıştır. Daha sonra Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (NBIMS Committe, 2007) “*YBM, bir tesisin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital bir temsilidir.*” şeklinde bir tanım yayınlamıştır. Azhar ve diğerleri (2008) “*planlama, tasarım, inşaat ve işletme kapasitelerini teşvik etmek için bilgisayar tarafından üretilen modelin geliştirilmesi ve kullanımına odaklanan süreç*” olarak tanımlarken, Krygiel ve Nies, (2008) “*Tasarımda bir bina projesi hakkında koordineli, tutarlı, hesaplanabilir bilgilerin oluşturulması ve kullanılması.*” olarak tanımlamıştır. Ulusal Yapı Şartnamesi'nde ise (National Building Specification, 2011) YBM; “*elemanları tüm paydaşlar arasında paylaşılabilen ve başlangıçtan geri dönüşüme kadar bir binanın ömrü boyunca korunabilen potansiyel*

olarak birden fazla veri kaynağından oluşan zengin bir bilgi modeli.” olarak tanımlamıştır. Hardin ve Mccool (2015), bütün bu tanımlara ek olarak “YBM sadece yazılım değildir; daha ziyade bir süreç ve yazılımdır. Bunun ötesinde, YBM 'nin başarılı bir şekilde kullanılması için süreçler, teknolojiler ve davranışlar gibi üç temel faktörle ilgilidir.” demiştir.

**Çizelge 1.1** Yapı bilgi modellemesi tanımları.

Kaynak	Tanım
(C. M. Eastman, 1999)	YBM dijital formatta bilgi alışverişi ve birlikte çalışmayı kolaylaştırmak için inşa sürecinin dijital olarak temsil edilmesidir.
(Autodesk, 2002)	Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), mimari, mühendislik ve inşaat (MMİ) profesyonellerine binaları ve altyapıyı daha verimli bir şekilde planlamak, tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek için fikir ve araçlar sağlayan akıllı bir 3B model tabanlı süreçtir.
(NBIMS Committee, 2007)	YBM, bir tesisin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital bir temsildir. Bu nedenle, kuruluşundan itibaren yaşam döngüsü boyunca kararlar için güvenilir bir temel oluşturan bir tesis hakkında bilgi için paylaşılan bir bilgi kaynağı olarak hizmet eder.
(Azhar ve diğerleri., 2008)	Planlama, tasarım, inşaat ve işletme kapasitelerini teşvik etmek için bilgisayar tarafından üretilen modelin geliştirilmesi ve kullanımına odaklanan süreçtir.
(Krygiel & Nies, 2008)	YBM, tasarımda bir bina projesi hakkında koordineli, tutarlı, hesaplanabilir bilgilerin - tasarım karar vermede kullanılan parametrik bilgiler, yüksek kaliteli inşaat belgelerinin üretimi, bina performansının tahmini, maliyet tahmini ve inşaat planlaması- oluşturulması ve kullanılmasıdır.
(National Building Specification, 2011)	Elemanları tüm paydaşlar arasında paylaşılabilen ve başlangıçtan geri dönüşüme kadar bir binanın ömrü boyunca korunabilen potansiyel olarak birden fazla veri kaynağından oluşan zengin bir bilgi modelidir.
(Hardin & Mccool, 2015)	YBM sadece yazılım değildir; daha ziyade bir süreç ve yazılımdır.

Yapı bilgi modellemesinin gelişimi inşaat sektörünün her alanına ve safhasına etki etmektedir (Juszczyk ve diğerleri., 2016). YBM, proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında potansiyel bir kullanıma sahiptir. Proje sahibi tarafından proje ihtiyaçlarını anlamak için, tasarım ekibi tarafından projeyi analiz etmek, tasarlamak ve geliştirmek için, yüklenici tarafından projenin yapımını yönetmek için ve tesis yöneticisi tarafından işletme ve hizmetten çıkarma aşamalarında etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Grilo & Jardim-Goncalves, 2010). Autodesk (2002) yayınladığı yönergede yapı bilgi modellemesi sürecini proje safhalarına göre; tasarım süreci, yapım süreci ve planlama süreci olmak üzere üç kategoriye ayırmıştır (**Şekil 1.1**).

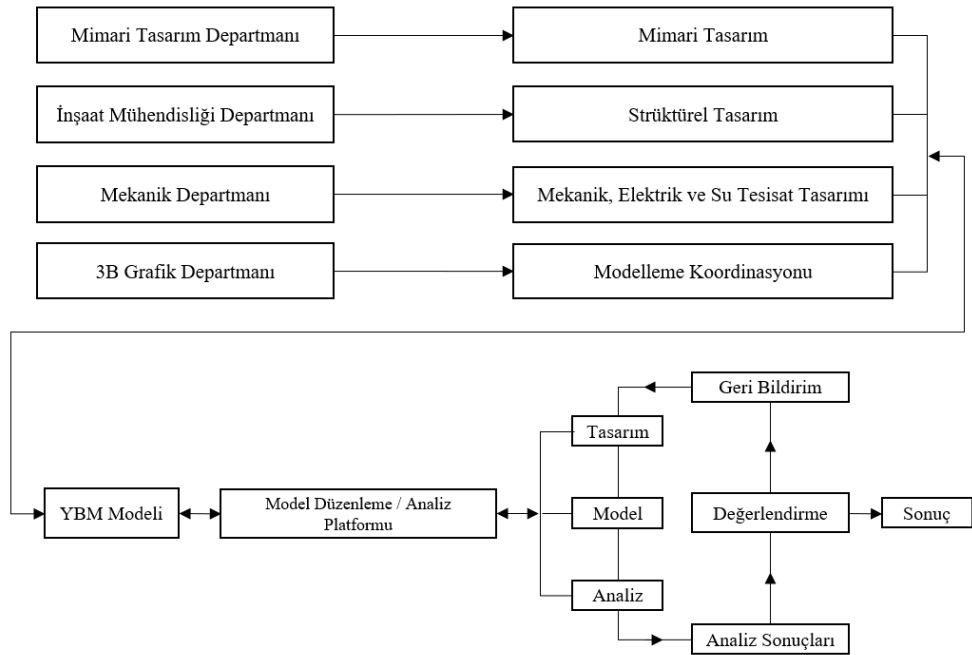


Şekil 1.1 YBM proje süreçleri. (Url-1)

## 1.2. TASARIM SÜRECİNDE YBM

Tasarım aşamasında bir projenin kapsamı, programı ve maliyeti dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardandır. Bu unsurlardan herhangi birindeki değişiklikler diğer ikisini de etkiler. Kapsam değişiklikleri proje maliyetlerini doğrudan değiştirir ve projenin zamanlamasına etki etmesi de muhtemeldir (Ahmed & Forbes, 2011). Bu aksamalara neden olan en önemli unsurlar, proje uygulama ve işleyişinden kaynaklanan tasarım hataları ve revizyonlardır (Edwards ve diğerleri., 2009). Bu yüzden tasarım aşamasında verilen her doğru karar ilerleyen safhalarda revizyon ihtiyacını azaltarak projenin veriminin artmasına katkı sağlar.

Geleneksel yaklaşımda, tasarımcılar mekânsal düzen ve bina geometrisi ile ilgili bilgileri kolayca değiştirebilirler. Fakat, bu çalışma maliyet ve zamanlama hesaplarından bağımsız olarak yürütülen bir süreçtir. Bu bilgileri doğru hesaplamak zaman alıcıdır ve bu verileri projeye entegre etmek genellikle zordur. Revizyon yapıldığı durumda ise bu bilgiler kolayca geçersiz kılınabilir (Ahmed & Forbes, 2011). Aynı zamanda geleneksel planlama süreçlerinde tasarım disiplinlerinin koordinasyonu, analizlerin yapılması ve bina tasarımının kapsamlı değerlendirmesi geç bir safhada gerçekleştirilmektedir. Hatta bazen disiplinler arası zayıf iletişim sahada çakışmalara sebebiyet vermektedir. Bu noktada, tasarım değişikliklerinin olasılıkları daha sınırlı ve aynı zamanda uygulanması daha maliyetlidir. YBM tabanlı bir planlama sürecinde ise, kapsamlı bir dijital bina modeli tasarımının ilk aşamalarında yapılmaktadır. Erken tasarım aşamasında hesaplama ve analizlerin kullanılması olası hataları erken safhada tespit etmeyi ve çözmeyi sağlar. Bu durum daha sonraki aşamalarda gereken çabayı önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılar. Geleneksel süreçlerle karşılaştırıldığında, YBM kullanmanın en önemli avantajlarından biri de disiplinler arası üretilen yatay ve dikey bölümler gibi teknik çizimlerin çoğunun doğrudan modelden üretilmesi ve böylece otomatik olarak birbirleriyle tutarlı olmasıdır. (Borrman ve diğerleri., 2018).



Şekil 1.2 Proje tasarım aşamasında YBM iş akışı. (He ve diğerleri., 2017)



Yapı bilgi modellemesi teknolojisinin doğası farklı paydaşların sahip olabileceği özel ihtiyaçlara bağlı olarak çok çeşitli şekillerde kullanmalarına olanak tanır. Proje aşama aşama ilerledikçe modelin içerdiği bilgiler de gelişecektir (**Şekil 1.2**) (Bloomberg ve diğerleri., 2012). Tasarım aşamasında yapı bilgi modellemesinin kullanıldığı birçok alan vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

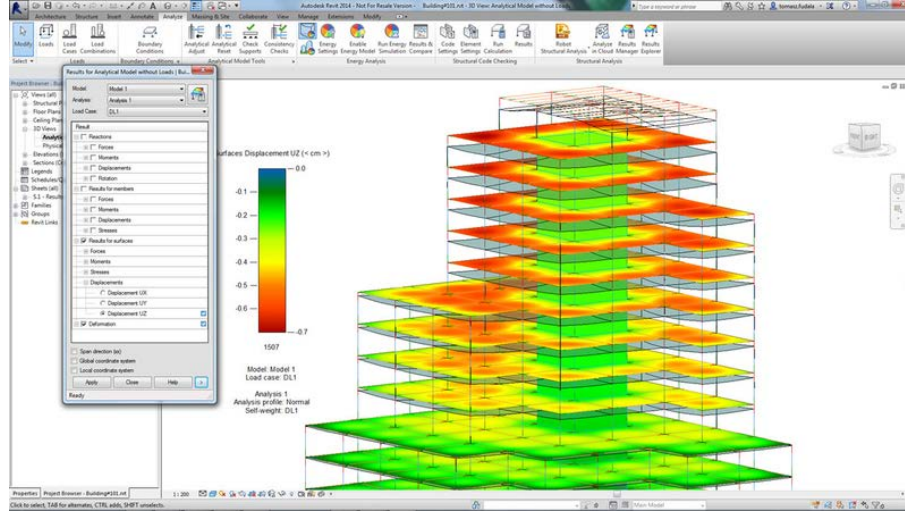
**3 Boyutlu Görselleştirme:** Üç boyutlu görselleştirme projenin daha iyi anlaşılmasında büyük katkı sağlar. Aynı zamanda proje, teknik ve teknik olmayan personel tarafından hızlıca kavranabilir (Haron ve diğerleri., 2009). YBM ile çalışılan bir projede görsellerin elde edilmesi oldukça kısa bir zamanda gerçekleşir (Azhar, 2011).

**Saha Modellemesi:** Bir YBM coğrafi bilgileriyle birlikte bir proje için en uygun saha konumunu göstermek için kullanılabilir. Bir arazinin 3B modeli, erişim, ışık yoğunluğu, güneşe göre konum gibi bir dizi kritere dayanarak sahada en iyi konumu göstermek için kullanılabilir (Arayıcı, 2015). Ek olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin YBM ile entegrasyonu, kullanıcıların uygun bir yer seçmesine ve pazarlama çalışmaları ile proje fizibilite etüdü yürütmelerine yardımcı olabilir (Azhar ve diğerleri., 2012).

**Tasarım Önizlemesi:** Bir üç boyutlu modelin ihtiyacı karşılama değerlendirmek ve aydınlatma, güvenlik, ergonomi, akustik ve malzeme gibi kriterleri belirlemek için kullanıldığı bir süreçtir. Tasarım alternatiflerini hızlı bir şekilde analiz etmek ve yapılabirlik sorunlarını çözmek için ayrıntılı olarak kullanılabilir. Tasarım önizlemesi sayesinde makete olan ihtiyaç azalır, farklı tasarım alternatifleri hızlıca oluşturulup sunulabilir. Alan estetiği ve düzenine kolayca göz atılabilir. Bu incelemeler daha sonra tasarımın erken aşamalarında olası inşaat sorunlarının ortadan kaldırılmasına yol açarak yeniden işleme, ekip çatışmaları ve değişiklik sayısını azaltmaya yardımcı olabilir (Bloomberg ve diğerleri., 2012).

**Mühendislik Analizi:** Mühendislik analizi tasarım özelliklerine dayalı en etkili mühendislik yöntemini belirlemek için kullanılan bir süreçtir. YBM 'de, bir binanın performansını yapısal, aydınlatma, su, akustik, mekanik ve enerji analizleri gibi farklı şekillerde simüle etmek ve analiz etmek için kullanılır (**Resim 1.1**). Dijital

bir model üzerinde analiz yapma yeteneği, maliyeti düşürmeye yardımcı olabilir ve bir binanın yaşam döngüsü için performansını optimize edebilir (Arayıcı, 2015; Ofluoğlu, 2014).



**Resim 1.1** Strüktürel analiz. (Url-2)

**Maliyet Tahmini:** YBM' nin tasarım sürecinin başlarında doğru miktarda maliyet tahmini oluşturmak, zaman ve paradan tasarruf etmesini sağlayan bir süreçtir. Bu süreç aynı zamanda tasarımcıların değişikliklerde meydana gelen maliyet etkilerini zamanında görmelerini sağlar ve bu durum proje değişiklikleri nedeniyle aşırı bütçe aşımalarının önlenmesine yardımcı olur. Bu sayede tasarım ilerlerken bütçe kısıtlamalarına uymak mümkündür. Ek olarak proje sahibinin aynı bütçeye uygun farklı tasarım seçeneklerini keşfetmesine katkıda bulunur (Bloomberg ve diğerleri., 2012).

**Çakışma Tespiti:** Çakışma tespiti koordinasyon sürecinde, bina sistemlerinin üç boyutlu modellerini karşılaştırarak alan çakışmalarını belirlemek için kullanıldığı bir süreçtir. Çakışma tespitinin amacı, kurulumdan önce büyük sistem çakışmalarını ortadan kaldırmaktır (Bloomberg ve diğerleri., 2012). Çakışmaların otomatik olarak algılanması, nesnelerin aynı alanı kapladığı (sert bir çakışma) veya yeterli erişim, yalıtım, güvenlik, bakım ve benzeri için çok yakın (yumuşak bir çakışma) olduğu tasarım hatalarını tanımlamak için oldukça elverişlidir (Sacks ve diğerleri., 2018).

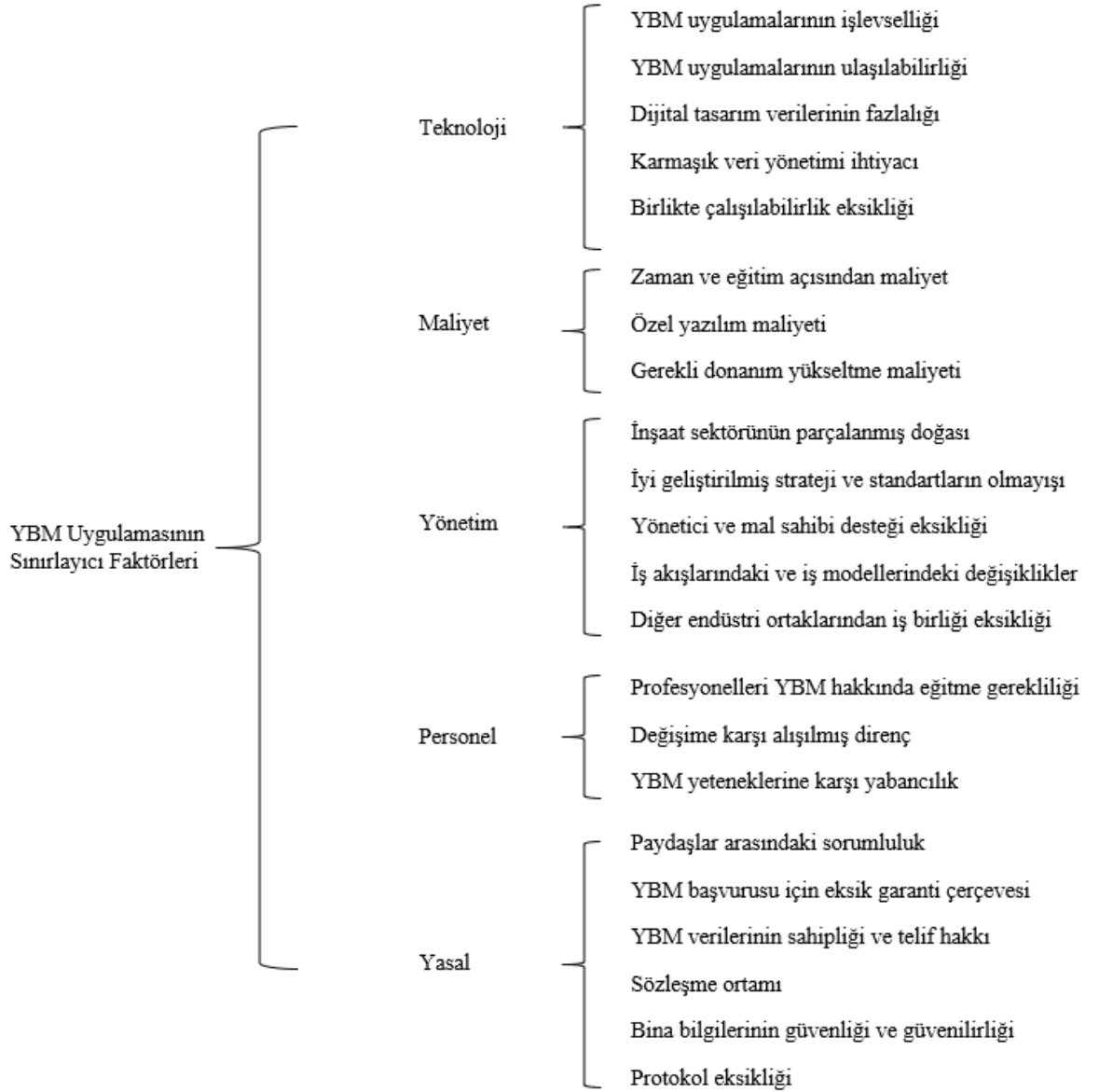
Tasarım konsepti yapı bilgi modellemesi sürecine dahil edildiğinde tasarım çalışmaları ilerledikçe evrimi de onun içinde gerçekleşmektedir. Tasarım ekibinin manuel olarak doğrulamasını gerektirmeksizin değişiklikler otomatik olarak koordine edilmektedir. Hızlı ilerleyen bu sistem çizim yükünü azaltarak projenin tasarımı için ayrılan sürecin karar safhasında değerlendirilmesini sağlamaktadır (Deutsch, 2011). Aynı zamanda otomatik ilerleyen koordinasyon sayesinde hataların neredeyse ortadan kaldırılmasını ve tasarım çalışmalarının kalitesinin büyük ölçüde artmasını sağlamaktadır. Tasarımın ve belgelerin teslim edilme hızı daha az bireysel çaba ile gerçekleşmektedir (Ahmed & Forbes, 2011).

Yapı bilgi modellemesinin tasarım aşamasında kullanılmasının en önemli faydalarından biri de sürdürülebilir üretime olan katkısıdır. Sürdürülebilir tasarım ilkeleri gereği yapılması gereken güneş gölge analizi, kavramsal enerji modellemesi, potansiyel yenilenebilir enerji analizi gibi analizler oluşturulan modelden hızlıca yapılabilmektedir. Modelin sağladığı hesaplamalar bu tasarım ilkelerinin ihtiyaçlarını önemli bir ölçüde karşılar. Güneş ışığı erişimi, yağmur suyu toplama, çatı alan hesaplaması, kullanılan malzemelerin geri dönüşüm potansiyeli gibi birçok bilgi kolayca elde edilir (Krygiel & Nies, 2008). Bu analizlere ek olarak yapısal analizler de kolayca yapılabilmektedir. YBM mimar ve yapı mühendisleri arasındaki iş birliğini kolaylaştırır. Mimar tarafından hazırlanan üç boyutlu model mühendislerin yapısal analizde kullanabileceği analitik bir modele daha kolay ve hızlı bir şekilde dönüşebilmektedir. Bu sayede mühendisler gerilimleri veya sapmaları tespit edebilir ve ayrıntılı bir şekilde modeli kontrol edebilir (Czmoch & Pełkala, 2014).

Ayrıca tasarım aşamasında farklı disiplinlerdeki ekiplerin koordinasyonunu sağlayarak daha hızlı karar vermeye etki eder. İnsan gücüne olan ihtiyacı azaltarak ve hızlı imalat çizimlerine olanak vererek zaman tasarrufuna katkıda bulunur (Kasim ve diğerleri., 2017). Aynı zamanda yapı bilgi modellemesinin kullanımı hesaplamaların ve simülasyonların entegrasyonunu kolaylaştırır. Çünkü binanın geometrisi ve malzeme parametreleri hakkında birçok bilgi doğrudan modelden alınabilir. Bina performans simülasyonu, yıldırım veya tahliye simülasyonu dahil olmak üzere çok çeşitli simülasyonlar tasarım sürecinde kullanılabilir. Ayrıca, modelin yönetmeliklere ve düzenlemelere uygunluğu kontrol edilebilir. Son olarak model verilerinin ihale

sürecinde kullanımı teklif hazırlanırken yükleniciler için gerekli hizmetlerin ve maliyetlerin belirlenmesini mümkün kılar (Borrmann ve diğerleri., 2018). Manuel ölçümle karşılaştırıldığında maliyet tahmininin ve kontrolünün doğruluğunu artıracak malzeme miktarları da dahil olmak üzere otomatik ve sağlıklı veriler üretir (Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019).

Tasarım aşamasında yapı bilgi modellemesi uygulamalarını kullanmanın birçok faydası olduğu gibi zorlukları da bulunmaktadır. Bu modelin verimini arttırmak için uygulanmasındaki potansiyel zorlukların üstesinden gelmek önemlidir. Araştırmacılar tarafından vurgulanan zorluklardan bazıları; tasarım aşamasında iş birliği ve ekip çalışmasının zorluğu, hevesiz paydaşlar ve belirsiz YBM standartlarıdır (Kasim ve diğerleri., 2017). Proje ekipleri arasındaki zayıf iletişim iş birliğini ve birlikte çalışmayı zorlaştırır. Paydaşlar çoğunlukla alışık oldukları geleneksel yolları değiştirmeye dirençlidir. Değişim safhasında şirketlerin yaşadığı en büyük problemlerden biri de ilk safhada verimliliğin düşmesidir (Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019). Çünkü yerleşik iş akışı bozulur. Bu sistemin gerekliliği olan programların öğrenilmesi zordur ve zaman alır (Deutsch, 2011). Ayrıca bu yazılımlar ve gereken donanımlar ilk başlarda şirketlere ciddi bir mali yük getirir (Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019). Agarwal ve diğerleri (2016) yapı bilgi modellemesi kullanımına yönelik zorlukları yasal zorluklar ve teknolojik zorluklar olarak iki ana kategoriye ayırırken; Sun C. ve diğerleri (2017) teknoloji, maliyet, yönetim, personel ve hukuk olmak üzere beş başlıkta toplamıştır (**Şekil 1.3**) (Sun ve diğerleri., 2017).



**Şekil 1.3** Yapı bilgi modellemesinin uygulanmasının sınırlayıcı faktörleri. (Sun ve diğerleri., 2017)

Teknolojiyle ilgili ilk risk, multidisipliner ekipler tarafından model entegrasyonu ve yönetimi için belirli bir YBM standartının olmayışıdır. Çok disiplinli bilgileri tek bir modele entegre etmek için çok kullanıcıli erişim gerekir. Bilgi bağlamında ve formatlama stillerinde tutarlılığı sağlamak için de proje programlama aşamasında protokollerin oluşturulması gerekmektedir. Şu anda, mevcut standart protokol olmadığından, her firma kendi standartlarını benimsemektedir. Bu durum modelde düzgün algılanmazsa yanlış ve tutarsız bir

modele yol açabilecek tutarsızlıklar yaratabilir. Proje ekibi, bu tür sorunlardan kaçınmak için sık sık model denetimleri yapmalıdır. Birlikte çalışabilirlik sorunları bir diğer önemli risk faktörüdür. Birlikte çalışabilirlik, otomasyonun kolaylaştırılması ve verilerin yeniden girişinin önlenmesi amacıyla uygulamalar arasında veri alışverişi yeteneğidir. IFC ve XML şemalarının tanıtılması, birlikte çalışabilirlik konularının çözümüne önemli ölçüde yardımcı olmuştur. Ancak, bu yaklaşımların her ikisinin de doğasında var olan sınırlamaları vardır. Kullanıcılar, YBM yazılım uygulamalarını seçerken bu sınırlara dikkat etmelidirler (Azhar ve diğerleri., 2012).

Literatürde yapı bilgi modellemesinin tasarım aşamasında kullanımına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır (**Çizelge 1.2**). Bu çalışmalar mevcut durumu tespit etmek, öneride bulunmak, geleceğe yönelik çalışmalara ışık tutmak gibi hedefler amaçlamaktadır. Örneğin; Kasim ve diğerleri (2017) tasarım aşamasında yapı bilgi modellemesini en etkili şekilde kullanmayı sağlayacak uygulamaları tespit etmek için bir araştırma yapmıştır. Bu araştırma tasarım sektöründe YBM uygulamasını deneyimleyen uzman kişilerle yapılmış yarı yapılandırılmış görüşmeler içermektedir. İkincil veri olarak da literatürde mevcut uygulamalar ve en iyi stratejileri içeren araştırmalar incelenmiştir. Yapılan bu görüşmeler ve literatür taraması sonucunda dört strateji ön plana çıkmıştır. Bunlar; tasarımcıların YBM eğitimine gitmesi için teşvik sağlamak, Detaylandırma Seviyesi (LOD) için resmi bir yaklaşım sağlamak, etkili bir iş birliği için sanal toplantılar düzenlemek ve disiplinler arası verilerin akışında kaybı engellemek için IFC formatını geliştirmektir.

Liu ve diğerleri (2016), yapı bilgi modellemesinin tasarım safhasında iş birliği süreçlerini ele alan bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmanın amacı, mevcut YBM uygulamalarını araştırmak ve YBM' nin işbirlikçi tasarım ve inşaat üzerindeki kritik etkilerini belirlemektir. Odak grup tartışması ve YBM ile ilgili katılımcılarla yapılan görüşmeler yoluyla, proje mesleklerinin YBM uygulamasını işbirlikçi tasarım ve inşaat konusundaki anlayışları araştırılmıştır. YBM iş birliğinin gelişimini etkileyen sekiz kavram tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır: (1) bilgi teknolojilerinin kapasitesi, (2) teknoloji yönetimi, (3) tutum ve davranış, (4) rol alma, (5) güven, (6) iletişim, (7) liderlik, (8) öğrenme ve deneyim. Bu etkilerinin sınıflandırılması üç

kategoride ele alınmıştır: teknoloji, insanlar ve süreç. Bulgular yapı bilgi modellemesinin proje sunumunda ve proje ekipleri içinde iş birliğinin önemini vurgulamıştır.

Oh, M., Lee, J. ve diğerleri (2015) tarafından YBM tabanlı yazılımların kullanım sürecinde ortaya çıkan veri kaybı, iletişimde güçlük ve düşük iş verimliliği gibi sorunları çözmeye yönelik bir entegre tasarım sistemi önerilmiştir. Entegre tasarım sistemini test etmek için bir hastane binası tasarımı üzerine vaka çalışması yapmış ve geleneksel sistemle karşılaştırıldığında iyileştirmeler olduğunu tespit edilmiştir. Önerilen sistemin işbirlikçi tasarıma entegre bir şekilde gerekli desteği sağlayarak tasarım kalitesini ve üretkenliğini artırabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 1.2** Tasarım aşamasında YBM kullanımı ile ilgili makaleler.

Kaynak	İçerik	
(E. Kim ve diğerleri., 2019)	Amaç	Tasarım aşamasında YBM kullanımının fotovoltaik enerji üretim sistemi tasarımının öngörülemeyen hatalarının çözüp çözemeyeceğini incelemek.
	Yöntem	Fotovoltaik enerji üretim sisteminin kurulacağı yer, yükseklik ve tasarımı YBM tabanlı modelde oluşturularak uygulanabilirliği incelenmiştir.
	Bulgular	YBM tabanlı modelde fotovoltaik panellerin kurulum kapasitesini, ilk yatırım maliyetlerini, yenilenebilir enerji çıktısını ve beklenen enerji kullanımını otomatik olarak hesaplamak mümkün olmuştur. Ayrıca malzeme sipariş yönetimi sağlamada olumlu sonuçlar elde edilmiştir.
(Kasım ve diğerleri., 2017)	Amaç	Tasarım aşamasında verimli YBM uygulamaları için en iyi stratejileri tespit etmek.
	Yöntem	Literatür taraması ve mülakat
	Bulgular	Tespit edilen en iyi dört strateji; tasarımcıları YBM eğitimine teşvik etmek, detaylarda (LOD) resmi bir yaklaşım sağlamak, sanal toplantılar düzenlemek ve IFC formatını geliştirmek.

**Çizelge 1.2 (devam)** Tasarım aşamasında YBM kullanımı ile ilgili makaleler.

(Y. Liu ve diğerleri., 2016)	Amaç	Mevcut YBM uygulamaları araştırmak ve YBM' nin işbirlikçi tasarım ve inşaat üzerindeki kritik etkilerini belirlemek.
	Yöntem	Literatür taraması, mülakatlar ve grup tartışmaları
	Bulgular	YBM'nin iş birliği gelişimini etkileyen sekiz kavramı tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır: bilgi teknolojilerinin kapasitesi, teknoloji yönetimi, tutum ve davranış, rol alma, güven, iletişim, liderlik, öğrenme ve deneyim.
(Oh ve diğerleri., 2015)	Amaç	YBM tabanlı yazılımların kullanım sürecinde ortaya çıkan veri kaybı, iletişimde güçlük ve düşük iş verimliliği gibi sorunları çözmeye yönelik bir sistem önerisi ortaya koymak.
	Yöntem	Literatür taraması ve vaka çalışması
	Bulgular	Önerilen sistem işbirlikçi tasarıma entegre edilerek tasarım kalitesini ve üretkenliğini artırılabilir.

Başarılı bir tasarım süreci için yapı bilgi modellemesini kullanırken dikkat edilmesi gereken unsurlar vardır. Tasarlanan bir bina temsilinin %100 doğru olma ihtimali oldukça düşüktür. Bu durumda gerçeğe en uygun temsili oluşturmak için modelin en başından itibaren katı ve sınırları belli olan kurallar getirilmelidir. Çünkü bu tasarım ekibinin çalışma disiplini ve verimliliğini etkiler. YBM teknolojisi tasarım ekibi üyelerinin bireysel çalışma programlarından vazgeçmelerini gerektirir. Ekipteki üyelerin disiplini projenin doğru yapılmasında önemli bir rol oynar. Nesnelerin parametrelerini veya yapı öğelerinin hiyerarşisini modellemedeki en küçük hata bile büyük yanlış hesaplamalara yol açabilir. Bu gibi hataların önüne geçmekteki en önemli faktör de eğitilmiş ve deneyimli YBM uzmanları yetiştirmektir (Czmoch & Pękala, 2014). Aynı zamanda tasarım sürecinde yer alacak tasarımcılara ve çalışanlara da eğitim desteği sağlanmalıdır. Süreç içerisinde baştan sona kadar aynı standart üzerinden modelin oluşumunu sağlamak gerekmektedir ve farklı disiplinler arasındaki bilgi transferi esnasında herhangi bir verinin kaybolmaması adına doğru bir bilgi yönetim sistemi gerekmektedir (Kasim ve diğerleri., 2017).



### 1.3. YAPIM SÜRECİNDE YBM

İnşaat hem yerinde üretim hem de mühendislik, tasarım, yönetim gibi hizmetleri bir araya getiren ve çok fazla bilgi içeren bir endüstridir. Bu bilgiler; tasarım aşamasında üretilen çizimlerden, inşaat aşamasında hazırlanan proje raporlarına kadar uzanmaktadır. Projenin fikir aşamasından sonuna kadar olan tüm aşamalardan bilgi edinilir. Bilginin çeşitliliği ve yoğunluğu nedeniyle paylaşılması ve yönetilmesi çok önemlidir (Nourbakhsh ve diğerleri., 2012). Bu nedenle, başarılı proje teslimi için saha içi ve saha dışı görevlerin yönetimi, doğru bilgiye erişim ve taraflar arasında sürekli iletişim gereklidir (Köseoğlu & Nurtan Güneş, 2018). Başarılı bir iş birliği, üç ana bileşenin verimli bir şekilde yürütülmesini ve bağlılığını gerektirir: teknoloji, insanlar ve süreç (Y. Liu ve diğerleri., 2016). YBM' nin kullanımının ekonomik, çevresel ve sosyal yönleri de içeren inşaat endüstrisinin sürdürülebilir gelişimi üzerinde birçok olumlu etkisi vardır (Yin ve diğerleri., 2020). YBM' nin uygulaması sadece inşa edilmiş bir tesisin tasarımı için değil, aynı zamanda şantiyenin hazırlanması ve yürütülmesi için de önemli avantajlar sunmaktadır (**Çizelge 1.3**).

Yapı bilgi modellemesinin kullanımı, daha erken, güvenli ve kaliteli iş sunabilmek için hızlı veri aktarımını sağlar. Aynı zamanda bu veriler paylaşılırken tek seferlik bir aktarımdan ibaret olmayıp ortak bir bilgi ekosisteminde sürekli kullanılmak üzere toplanır (Hardin & Mccool, 2015). Aynı platformda toplanan bu bilgiler sayesinde tasarım çizimleri arasındaki çatışmaları kontrol etmek ve tutarsızlıkları azaltmak mümkün olur. Bu bilgi paylaşımı koordinasyon sürecini de kolaylaştırır. Bu sayede inşaat projesinin programa göre veya programdan önce teslim edilmesi sağlanır (Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019). Bunların yanı sıra mimari tasarım detaylarına, inşaat atölyesi çizimlerine ve kanal, boru tesisatı vb. gibi alt montajlar için prefabrikasyon talimatlarına kolayca ulaşılabilir. Sözleşme belgelerinin yorumlanmasında daha az hata yapılır ve kurulum veya montaj başlamadan çok önce çakışma tespiti için kontrol edilir. Tasarımın yapılı ürüne dönüştürülmesinde ortaya çıkan atık miktarı da göz önüne alındığında, YBM hem inşaat firması hem de müşteriler için oldukça uygun maliyetlidir (Ahmed & Forbes, 2011).

Şantiyede yapı bilgi modellemesinin kullanımı, daha iyi ekip katılımı için de büyük bir kolaylaştırıcıdır. Başarılı bir ekip katılımı için ise proje ayrıntılarının önceden belirlemek gerekir. Çünkü katılımın en büyük engelleri kafa karışıklığı, karmaşıklık ve iletişim eksikliğidir. Bu nedenle, her takım üyesinin projenin ayrıntılarını anlaması ve sağlıklı bir iletişim kurması çok önemlidir. İletişim ve planlama söz konusu olduğunda, teknolojinin kullanımı bilgi aktarma ve paylaşmada kritik öneme sahiptir (Hardin & Mccool, 2015). Paylaşılan bu bilgileri yükleniciler ve alt yükleniciler inşaat faaliyetlerinin yerinde doğrulanması, yönlendirilmesi ve takibi için de kullanabilirler (**Resim 1.2**) (Azhar ve diğerleri., 2012). Aynı zamanda bir bina bilgi modeli, tüm bina bileşenleri için malzeme siparişi, üretim ve teslimat programlarını koordine etmek için de etkili bir şekilde kullanılabilir (Azhar, 2011).



**Resim 1.2** Şantiyede mobil cihazların kullanımı. (Url-3)

Yapı bilgi modelinin kullanıldığı bir diğer alan ise iş güvenliğidir. İş güvenliği uzmanlarının çabalarına ve güvenlik yasalarının güçlenmesine rağmen inşaat sektöründe ölüm, yaralanma ve hastalıklarda önemli bir düşüş olmamıştır. Bu duruma neden olan başlıca faktörler; uygunsuz iş planlaması, çalışanlar ve amirler arasındaki yetersiz iletişim ve güvenlik eğitimlerinin eksikliğidir. Yapı bilgi modellemesinin şantiyede kullanımı tasarımcıların ve saha mühendislerinin şantiye koşullarını görsel olarak değerlendirmelerine ve tehlikelerin ön görülmesine olanak sağlar (Azhar & Behringer, 2013). İş güvenliği analizleri model içeriğini ve ayrıntılarını güvenlik açısından kontrol eder ve iş güvenliği riskine neden olan koşulların tanınmasında rol alır (Kiviniemi ve diğerleri., 2011).

Bunlara ek olarak; daha iyi müşteri hizmetleri, daha bilinçli karar verme, şantiyedeki işçilerle daha iyi iletişim, sahada güvenlik planlaması ve yönetimine olanak sağlaması gibi faydaları da bulunmaktadır (Azhar ve diğerleri., 2012). Yapı bilgi modellemesini iş süreçlerine entegre etmek projenin kalite değişkenlerini iyileştirir. Bu uygulamaya yönelik bir organizasyon politikası veya stratejisi benimsemek rekabette de avantaj kazandırabilir (Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019).

**Çizelge 1.3** Yapı bilgi modellemesinin şantiyede kullanımına yönelik faydalar.  
(Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019; Azhar, 2011; Kiviniemi ve diğerleri., 2011; Azhar ve diğerleri., 2012; Hardin & Mccool, 2015; Tekin & Atabay, 2019)

YBM' nin Şantiyede Faydaları	Açıklama
1. Başarılı bir proje yönetimi	YBM uygulaması, inşaat malzemelerinin ve iş sürecinin değerlendirilmesini kolaylaştırarak proje kalite değişkenlerini iyileştirir.
2. Tasarımın daha iyi anlaşılması	Görselleştirme sayesinde projenin detayları daha iyi anlaşılır ve işin doğruluğu artar.
3. Kolay iş takibi	Saha personelinin, yüklenicilerin ve altyüklenicilerin sahada yaptığı uygulamalar takip edebilir ve kolayca yönlendirilebilir.
4. Maliyeti azaltma	Revizyonların azalmasını sağlayarak zamandan ve paradan tasarruf edilmesine katkıda bulunur.
5. Kalite ve kontrolde verim	Geleneksel yöntemlere göre maliyet tahmininin ve kontrolünün doğruluğunu artıracak veriler üretebilir.
6. Planlamada doğruluk	4B YBM araçlarıyla projeye eklenen zaman verileri daha doğru planlama yapılmasını sağlar. Ayrıca tüm bina bileşenleri için malzeme siparişi, üretim ve teslimat programlarını koordine etmek için de etkili bir şekilde kullanılabilir.
7. İyi iletişim	YBM sektördeki bilgi paylaşımı ve koordinasyon sürecini kolaylaştırır. Paylaşılan bu bilgileri yükleniciler ve alt yükleniciler inşaat faaliyetlerinin yerinde doğrulanması, yönlendirilmesi ve takibi için de kullanabilirler.
8. Proje süresini azaltma	İnşaat projesinin programa göre veya programdan önce teslim edilmesini kolaylaştırır.
9. Güvenlik performansını artırma	İş güvenliği analizleri model içeriğini ve ayrıntılarını güvenlik açısından kontrol eder ve iş güvenliği riskine neden olan koşulların tanınmasında rol alır.
10. Rekabet avantajı	YBM'i iş süreçlerine entegre etme ve uygulamaya yönelik bir organizasyon politikası veya stratejisi rekabet avantajlarını artırabilir.

21. Yüzyılın başında inşaat endüstrisi, pazarda rekabet avantajı elde etmek için yeni gelişmiş teknolojileri inşaat sürecine dahil etmek ve değiştirmek zorunda kalmıştır. Üretimin hızlanması kalitenin artışı, müşteri isteklerinin artışı, maliyetlerin düşürülmek istenmesi teknolojinin inşaat sektöründe etkin kullanılmasını gerektirmiştir. Fakat inşaat sektörü bilgi teknolojilerini kullanmakta otomotiv, havacılık gibi birçok sektörün gerisinde kalmıştır (Boton ve diğerleri., 2020). Bu duruma inşaat sektörüne özgü teknik zorluklar sebep olmaktadır (Agarwal ve diğerleri., 2016). Sektörde bu değişime talep var olmasına rağmen önerilen mevcut teknoloji tabanlı çözümler ihtiyaçları karşılayacak yeterlilikte olmayışı ilerleme hızını etkilemiştir. Aynı zamanda lider eksikliği, değişime direnç, kullanım zorluğu gibi nedenler de başlıca engellerdendir.

İnşaat sektöründe, özellikle YBM teknolojisini ve iş akışını idare edebilecek ve işletebilecek olanlar arasında güçlü bir YBM uzmanı eksikliği vardır. YBM' nin uygulanması, sadece yeni YBM yazılımının satın alınması ve çalışma ortamına kurulmasıyla sınırlı olacak basit bir uygulama süreci değildir. Süreç boyunca iş akışı, uygulamalar, beceriler, roller, bilgi teknolojisi altyapısı ve diğer yönlerde değişiklik yapılması gerekir. Ne yazık ki, bilgisayar donanımı ve yazılımı konusunda danışmanlık sağlayabilecek ve ayrıca iş akışının organizasyonu ve uygun gereksinimlerin belirlenmesi için uygun olabilecek sınırlı sayıda eğitimli uzman bulunmaktadır. Ayrıca, uygulama yardımı, teknik destek ve kullanıcı eğitimi de YBM uygulama uzmanları tarafından yetersiz bir şekilde verilmektedir (Salleh & Fung, 2014). Bunlara ek olarak diğer engeller vizyon eksikliği, esneklik ve bağlamsal kesinlik; değişime isteksizlik, zayıf teknoloji kullanımı ve yetersiz sistematik destektir (Ma ve diğerleri., 2018).

Birkaç istisna dışında, inşaatta bilgisayar destekli tasarım ve görselleştirme üzerine yapılan akademik ve endüstriyel araştırmaların çoğu, bina tasarımı ve inşaat öncesi planlama ile ilgilidir. Sahada tutarlı üretim yönetimini desteklemek için yapı bilgi modellemesi tabanlı araçlar geliştirmeye yönelik çok az çaba sarf edilmiştir (Sacks ve diğerleri., 2010). Projelerde YBM' yi yönetmek için farklı tipte YBM yürütme planları geliştirilip kullanılsa da planlama yaklaşımını analiz etmek ve

gerçekleştirmek için teorik bir temel gereklidir (Ma ve diğeri., 2018). Literatürde bu teorik temeli oluşturmak adına yapılan birçok vaka çalışması vardır (**Çizelge 1.4**).

Hewage & Ruwanpura (2009), şantiyedeki işçilere güncel bilgileri iletmek için ekran ve yazıcıdan oluşan bir ‘bilgi kabini’ kullanarak pilot bir proje gerçekleştirmiştir. İşçiler bu bilgi kabinleri sayesinde günlük ve uzun vadeli iş hedeflerini, projenin üç boyutlu çizimlerini, güncel hava durumunu, güvenlik talimatlarını ve özel imalat çizimleri gibi bilgilere şantiyede ulaşma imkanına sahip olmuştur. Bunun sonucunda hem usta başları bu bilgileri ofisten işçilere aktarımı sırasında vakit kaybetmemiş hem de tasarım bilgisine ihtiyaç duyan işçiler daha az zaman harcamıştır. Bu sayede işçilerin daha yüksek verimlilik elde ettiklerini tespit etmişlerdir. Brathen & Moum (2016) ise, benzer bir çalışma yaparak, şantiyeye kurdukları YBM-Kiosk’ları ile şantiye işçilerinin sahada proje bilgilerine ulaşmalarını sağlamıştır (**Resim 1.3**). Bu uygulamanın projenin performansına olan katkılarını incelemişlerdir. Yaptıkları gözlemler ve mülakatlar sonucunda kurdukları bu ‘kiosk’ların, işçiler tarafından öğrenme- öğretme, güncel bilgiye ulaşma ve rastlantısal ya da planlı toplantı mekânı olarak değerlendirdikleri bildirilmiştir.



**Resim 1.3** YBM kiosk örneği. (Url-4)

Davies ve Harty (2012) bilgi teknolojilerinden ve mobil cihazlardan faydalanarak yapı bilgi modellemesinin sahada kullanımına yönelik bir vaka çalışması yapmıştır. Çalışma kapsamında proje yapımında ve işletmesinde kullanılmak üzere YBM teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması için İngiltere’de büyük bir hastane projesi incelenmiştir. Araştırmanın amacı, yeni dijital teknolojilerin inşaat projelerinde nasıl uygulandığını tanımlamak ve anlamaktır. Çalışma süresince inşaat aşamasında ve inşaat alanında kullanılan teknolojik araçların geliştirilmesine odaklanılmıştır. Verilerin toplanma sürecinde yapılandırılmış ve yarı yapılandırılmış görüşmelerle birlikte gayri resmi toplantılar ve tartışmalar da yapılmıştır. Resmi görüşmeler modelin kontrolünden, uygulamasından ve kullanımından sorumlu ana yüklenicinin on beş proje personeli ile gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler esnasından katılımcılara; kişisel bilgileri, YBM araçlarının kullanım deneyimleri, bilgi teknolojilerinin uygulama projesindeki rolü, fayda ve zorlukları, saha içi iletişimdeki ve uygulamadaki değişiklikler ve gelecekteki gelişmeler hakkındaki fikirleri sorulmuştur. Araştırmanın sonucunda gereksiz saha ziyaretlerinin azaltıldığı, proje verilerinin daha kolay yönetildiği, günlük işlerin düzene girdiği ve birçok yönetsel faydanın görüldüğü tespit edilmiştir. Sahada yapı bilgi modellemesinin bilgi teknolojileriyle birlikte kullanımı katılımcılar tarafından mevcut İngiltere inşaat endüstrisi için kapsam ve amaç açısından başarılı ve önemli olduğu belirtilmiştir. Hasan ve diğerleri (2019) ise yaptıkları araştırmada sahada kullanılan bu mobil bilgi iletişim teknolojilerinin etkilerini araştırmıştır. Yaptıkları anket sonucu mobil bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) kullanımının dört faktörden dolayı inşaat verimliliğini arttırdığı ortaya koyulmuştur: (1) daha iyi iletişim ve bilgi akışı, (2) daha iyi proje yürütme, (3) verilere daha iyi erişim ve (4) doğru hata yönetimi. İletişim ve bilgiye erişim ile ilgili özellikler üst sıralarda yer alırken, katılımcılar mobil BİT kullanımının maliyet tasarrufu, inşaat hızı, sürdürülebilirlik ve inşaat hataları gibi özellikler üzerinde düşük pozitif etkiye sahip olduğunu tespit edilmiştir.

T. Mäkia & H. Kerosuo (2015), saha yöneticilerinin günlük çalışmalarına ve şantiyede YBM' nin gerçek kullanımına odaklanarak nasıl kullanıldığını incelemeyi hedeflemiştir. Ayrıca bu alandaki çalışmalara öncü olmak için zorlukları

tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın etnografik yöntemi, araştırma konularının etkinlik ve teorik açıdan gölgelenmesini içermektedir. Gölgeleme, bir örgütün bir üyesini uzun süre yakından takip eden bir araştırmacıyı içeren bir araştırma tekniğidir. Ayrıca, saha çalışması gayri resmi tartışmalar, görüşmeler ve araştırma konuları ile kısa görüşmeler içermektedir. Araştırmacıların bu çalışmalar sonucu elde ettikleri bulgulara göre, YBM kullanımı şantiye aşamasında aktiftir. Ancak modellerin bilgi içeriğinin yetersiz olması ve YBM' nin nasıl kullanılacağını bilen çalışanların eksikliği nedeniyle engellenmektedir. Araştırmacılara göre bu zorluklar YBM' nin etkin kullanımını sadece birkaç görev, yer ve durumda kullanımına neden olmaktadır.

Vestermo ve diğerleri (2016) YBM istasyonunun ne olduğunu ve yalnız ilkeleri uygulamak için nasıl kullanılabileceğini araştırmıştır. Araştırma, kapsamlı bir literatür taramasına ve beş yüklenici içinde farklı yönetim seviyelerinden 10 personel ile yapılan derinlemesine mülakatlara dayanmaktadır. Yapılan araştırmaya göre, bir YBM istasyonu iyi bir yerinde bilgi aracıdır. Bu istasyon, proje katılımcılarının güncel bir yapı bilgi modeline ve çizimlerine kolay ve sürekli erişim için kullanabilmeleri için kurulmuştur. Yapılan mülakatlar sonucu, YBM istasyonunun daha iyi bir iş akışına katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 1.4** YBM'nin şantiyede kullanımına yönelik yazılan makale çizelgesi.

Kaynak	İçerik	
(Hasan ve diğerleri., 2019)	Amaç	YBM uygulamalarından mobil bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) kullanımı ve inşaat projeleri bağlamında katkılarını tespit etmek.
	Yöntem	Literatür taraması ve anket
	Bulgular	Mobil BİT kullanımının dört faktörden dolayı inşaat verimliliğini artırdığını tespit edilmiştir: (1) daha iyi iletişim ve bilgi akışı, (2) daha iyi proje yürütme, (3) verilere daha iyi erişim ve (4) doğru hata yönetimi. İletişim ve bilgiye erişim ile ilgili özellikler üst sıralarda yer alırken, mobil BİT kullanımının maliyet tasarrufu, inşaat hızı, sürdürülebilirlik ve inşaat hataları gibi özellikler üzerinde düşük pozitif etkiye sahip olduğunu tespit ettiler.
(Vestermo ve diğerleri., 2016)	Amaç	YBM istasyonunun ne olduğunu ve yalın ilkeleri uygulamak için nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır.
	Yöntem	Literatür taraması ve mülakatlar
	Bulgular	Yapılan araştırmaya göre, bir YBM istasyonu iyi bir yerde bilgi aracıdır. Bu istasyon, proje katılımcılarının güncel bir modele ve çizimlere kolay ve sürekli erişim için kullanabilmeleri için kurulmuştur. Yapılan mülakatlar sonucu, YBM istasyonunun daha iyi bir iş akışına katkıda bulunduğu belirlenmiştir.
(Brathen & Mounm, 2016)	Amaç	Şantiyeye kurdukları YBM-Kiosk'ları ile şantiye işçilerinin sahada proje bilgilerine ulaşmalarını sağlayarak bu uygulamanın projenin performansına olan katkılarını incelemiştirlerdir.
	Yöntem	Mülakatlar, gözlem ve pilot proje uygulaması
	Bulgular	Yaptıkları gözlemler ve mülakatlar sonucunda kurdukları bu 'kiosk'ların, işçiler tarafından öğrenme- öğretme, güncel bilgiye ulaşma ve rastlantısal ya da planlı toplantı mekânı olarak değerlendirdiklerini tespit etmişlerdir.



**Çizelge 1.4 (devam)** YBM'nin şantiyede kullanımına yönelik yazılan makale çizelgesi.

(Mäki & Kerosuo, 2015)	Amaç	Saha yöneticilerinin günlük çalışmalarına ve şantiyede YBM' nin gerçek kullanımına odaklanarak nasıl kullanıldığını incelemeyi hedeflemişlerdir. Ayrıca bu alandaki çalışmalara öncü olmak için zorlukları tespit etmeyi amaçlamışlardır.
	Yöntem	Mülakatlar, gölgeleme ve gözlem
	Bulgular	YBM kullanımını şantiye aşamasında aktiftir. Ancak modellerin bilgi içeriğinin yetersiz olması ve YBM' nin nasıl kullanılacağını bilen çalışanların eksikliği nedeniyle engellenmektedir. Araştırmacılara göre bu zorluklar YBM' nin etkin kullanımını sadece birkaç görev, yer ve durumda kullanımına neden olmaktadır.
(Davies & Harty, 2012)	Amaç	Araştırmanın amacı, yeni dijital teknolojilerin inşaat projelerinde nasıl uygulandığını tanımlamak ve anlamaktır. Proje yapımında ve işletmesinde kullanılmak üzere YBM teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması için İngiltere'de büyük bir hastane projesi incelenmiştir. Bu makale inşaat aşamasında ve inşaat alanında kullanılacak araçların geliştirilmesine odaklanmıştır.
	Yöntem	Literatür çalışması, mülakat ve gözlem
	Bulgular	Sahada YBM uygulaması, katılımcılar tarafından mevcut İngiltere inşaat endüstrisi için kapsam ve amaç açısından başarılı ve önemli olduğu değerlendirilmiştir. Gereksiz saha ziyaretlerinin azaltıldığı, proje verilerinin daha kolay yönetildiği, günlük işlerin düzene girdiği ve birçok yönetsel faydanın görüldüğü tespit edilmiştir.
(Hewage & Ruwanpura, 2009)	Amaç	Şantiyedeki işçilere güncel bilgileri iletmek için ekran ve yazıcıdan oluşan 'bilgi kabini' adını verdikleri bir uygulamayı pilot projede gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı bilgi kabini uygulamasının sahadaki etkilerini ölçmektir.
	Yöntem	Mülakatlar ve pilot proje uygulaması
	Bulgular	Yaptıkları gözlem ve mülakatlar sonucu hem usta başlarının bilgileri ofisten işçilere aktarımı sırasında vakit kaybetmediklerini hem de tasarım bilgisi arayan işçilerin daha az zaman harcadıklarını belirlediler. Bu sayede işçilerin daha yüksek verimlilik elde ettiklerini de tespit ettiler.

YBM teknolojisinin şantiye uygulamalarında başarılı olabilmesi için YBM gereksinimlerinin karmaşıklığı, müşteriler, sosyal yönler, şirketin kendi organizasyonu, bilgi ve iletişim teknolojileri dikkate alınmalıdır. Başarılı bir uygulama ekibinin temelini, iş hayatına ve deneyimli liderliğe gerçek zamanlı bağlantısı olan yetkin ve yenilikçi geliştirme organizasyonu oluşturur (Tulenheimo, 2015). Azhar ve diğerlerine (2012) göre ilk olarak iş akışının yeni ileri teknolojilere uyum sağlayacak şekilde değiştirilmesi için öncelikle sınırlayıcı faktörlerle ilgili olarak, iş akışındaki değişikliklerin yol açtığı problemler aktif olarak ele alınmalıdır. Daha sonra, araştırmacılar YBM'in maliyet yönetimi, program yönetimi, inşaat projelerinde güvenlik yönetimi vb. alanların da nasıl kullanılabileceğini derinlemesine incelenmeli ve YBM için kılavuzlar ve standartlar veya stratejiler geliştirmelidir. Mümkün olduğunca inşaat yönetimi EPT'yi (Entegre Proje Teslimi-IPD) benimsemelidir. Parçalanmanın etkisini azalttığı için, EPT yöntemi geleneksel tasarım-teklif-inşaa dağıtım yönteminden çok daha iyi bir inşaat projesi teslim yöntemidir ve YBM ile EPT'yi birleştirmenin büyük faydaları vardır. Son olarak, bir inşaat projesinin nihai amacı işverenin gereksinimlerini karşılamak olduğundan, işverenin motivasyonu YBM uygulamasında en önemli faktördür (Azhar ve diğerleri., 2012).

#### 1.4. İŞLETME SÜRECİNDE YBM

Yapı bilgi modellemesinin yapı sektörüne olan önemli diğer bir faydası ise yapının işletme sürecine olan katkısıdır. Bir yapı bilgi modeli, planlama, tasarım ve inşaat süreçlerinin tamamını kapsadığı için tesis hakkında eksiksiz bilgiler içerir. Bu bilgiler işveren tarafından tesis yönetimi için kullanılabilir. Böylece bir tesisin işletilmesi ve bakımı daha verimli hale gelir. Bir tesisin yaşam döngüsü maliyetinin %85'inin inşaat tamamlandıktan sonra ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar, projenin işletme ve bakım aşamalarında yetersiz bilgi erişimi ve birlikte çalışabilirlik sorunları nedeniyle yalnızca ABD'de yılda yaklaşık 10 milyar dolar kaybolduğunu göstermektedir. Tesis yönetimi için YBM kullanımı, bu kayıpların önlenmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Azhar ve diğerleri., 2012).

İnşaat sırasında yapılan tüm değişikliklerle güncellenen yapı bilgi modeli tesisi yönetmek ve işletmek için yararlı bir başlangıç noktası sağlar. Bu aşamada yapı bilgi modellemesi sistemi projenin toplam maliyetini düşürebilir (Yin ve diğerleri., 2020). Yapı bilgi modeli tesislerin uzaktan yönetilmesi için doğal bir arayüz oluşturur ve gerçek zamanlı kontrol sistemlerinin izlenmesini destekler (Sacks ve diğerleri., 2018). Bu sistemin kullanımı sayesinde binanın dijital bir ikizi işletmecinin elinde bulunur. Elde edilen model oda boyutları, havalandırma (HVAC), elektrik ve telekomünikasyon hakkındaki bilgilere doğrudan erişmeyi sağlar ve bu bilgilerin manuel olarak girilmesine gerek kalmaz. Ancak verimli bir model için yapının tasarım aşamasından itibaren tüm verilerinin eksiksiz bir şekilde işlenmiş olması gerekmektedir. İş veren 'ölü' çizimler yerine yüksek değerli dijital bilgiler alırsa, bunları doğrudan tesisine veya varlık yönetim sistemlerine entegre edebilir (Borrman ve diğerleri., 2018).

Yapı bilgi modeli sayesinde mekân yönetimi daha etkili bir şekilde yapılabilir. Mekanların nasıl kullanıldığının ayrıntılarını anlayarak, tesis profesyonelleri boşluğu azaltabilir ve sonuç olarak gayrimenkul giderlerinde önemli azalmalar elde edebilir. Yapı bilgi modellerindeki oda ve alan bilgileri, iyi alan yönetiminin temelini oluşturur. YBM, tesis yöneticilerinin çevresel etkileri ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmasına yardımcı olmak için çeşitli enerji alternatiflerinin analizini ve karşılaştırılmasını kolaylaştırmaya yardımcı olabilir. Tesis yöneticileri, çeşitli tesis iyileştirmeleri ve bina sistemi güçlendirmelerinin maliyetlerini ve tasarruflarını analiz ederek, bina performansını bina ömrü boyunca optimize edebilirler. Sürekli güncellenen model, binanın üç boyutlu yönlerini temsil etmenin daha kolay bir yolunu sunar. Mevcut koşullar hakkında daha iyi bilgi, bina yenileme ve güçlendirme projelerinin maliyetini ve karmaşıklığını azaltır. Yüklenicilere daha doğru ve güvenilir bilgi sağlayarak, inşa edilmiş koşullarda sürprizlerden kaynaklanan değişiklikleri büyük ölçüde azaltılabilir. Bazı bina tasarım uzmanları, yapı bilgi modellerine yaşam beklentisi ve değiştirme maliyetleri ile ilgili veriler yerleştirir. Bu veriler yapı sahibinin başlangıçta daha pahalıya mal olabilecek ancak yapının ömrü boyunca daha iyi bir geri ödeme alınabilecek malzeme ve sistemlere yatırım yapmanın faydalarını anlamasına yardımcı olmaktadır. Yaşam

döngüsü verileri, devam eden sermaye iyileştirme maliyetlerini tahmin etmek için de çok değerlidir (BIM-FM Consortium, 2016).

Bir binanın işletimi için özellikle bakım döngüleri ve garanti koşulları dahil olmak üzere kurulu cihazlar hakkındaki tüm bilgiler değerlidir. Bu modelden fayda sağlamanın en önemli koşulu, dijital bina modelinin sürekli bakımınıdır. Gerçek tesisdeki tüm değişiklikler dijital ikizine kaydedilmelidir. Bu sayede daha sonraki bir tarihte daha büyük yenilemeler veya modifikasyonlar gerektiğinde, bina modeli gerekli tasarım faaliyetleri için mükemmel bir temel sağlar. İnşa edilen tesis kullanım ömrünün sonuna geldiğinde ise bu dijital ikiz yıkımı için yapılacak plana katkı sağlar. Aynı zamanda yapımında kullanılan malzeme bilgileri sayesinde geri dönüşümde maksimum fayda elde edilir (Borrmann ve diğerleri., 2018). Barkod okuyucu ve tarayıcıların kullanımıyla tesis içerisindeki her türlü nesnenin veya ekipman öğelerinin bilgilerine ulaşılabilir ve güncellenebilir. Eklentiler veya ek yazılım paketleri kullanılarak yaşam döngüsü, karbon emülsiyonu, enerji tüketimi gibi simülasyonları yapmak mümkündür (Eynon, 2016). Tesis işletmeleri ve yönetimi için YBM' nin diğer ek uygulamaları da şunlardır: Bakım iş emri yönetimi; acil servis talep yönetimi, alan planlama ve yönetimi; stok yönetimi ve denetimleri, hareket yönetimi ve gayrimenkul portföy yönetimi (Azhar ve diğerleri., 2012).

Georgia Teknik Üniversitesi tarafından yayınlanan tesis yönetimi için YBM rehberinde tesis yönetimi modelini oluştururken yapılacak aşamalar belirtilmiştir. Mevcut model üzerinden yapılacak değişiklikler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (BIM-FM Consortium, 2016):

- İnşaat detayları ve çalışma çizim sayfaları dahil olmak üzere fazla bilgi kaldırılır. Bu bilgi gerekirse modelden elde edilebilir.

- Pratik ise mimari, mekanik, elektrik, yangından korunma ve özel ekipmanı temsil eden bağlantılı modeller birleştirilir. Büyük binalar için bu mevcut teknoloji ile pratik olmayabilir, bu nedenle bağlantılı çoklu modellerin bakımına ihtiyaç olabilir.

- Mekân numaraları, yapının üretilirken kullanılan mekan numaralarından elde edilebilir.

- Ofis alanı için iş istasyonları ve ofisler odalardan ayrı olarak tanımlanır ve bir mekân numaralandırma sistemi ile numaralandırılır. Bu, ofis sakinlerini masa, kabin ve ofislerle eşleştirmenin anahtarıdır ve iş emirlerinin yönetimi için de gereklidir.

- YBM tesis yönetim modeli; devam eden iş emirlerini, bakım operasyonlarını, doluluk bilgilerini, ekipman ve malzeme değiştirme maliyetlerini ve bina operasyonları ile ilgili diğer verileri takip eden tesis yönetim sistemine bağlanmalıdır.

Tesis bilgilerinin dijital ortamda yönetilmesi için uygulanan YBM yaklaşımı bilgilerin güncel tutulmasını sağlar. Bakım aşamasında YBM uygulamalarının kullanılması birçok pratik durum sağlamasına rağmen karşılaşılan zorluklar da vardır. Tesis yönetiminde yapı bilgi modelinin kullanılmasındaki başlıca zorluklardan biri personelin bu uygulamaya aşina olmayışdır. Yapı bilgi modellerinin nasıl kullanılacağını öğrenmek başta zaman alır. Geçiş döneminde geleneksel yaklaşımdan daha uzun süren bu sistem daha sonra zamandan tasarruf sağlar. Personelin yanı sıra teknolojik zorluklar da mevcuttur. Yapı bilgi modellerini çalıştırmak için yüksek kaliteli masaüstü bilgisayarlar kullanılmalıdır. Bu durum bakım ve inceleme sürecinde bakım personeli tarafından yerinde kullanımı sınırlamaktadır. Yapı bilgi modellemesinin mobil cihazlarda kullanımı için daha küçük dosyalarda işlenmesi ve aktarılması gerekmektedir (Lin & Su, 2013).

Tesis yönetiminin başarısının en önemli faktörü işverenin katılımıdır. Çünkü YBM sürecinin en verimli şekilde yürümesini sağlayacak en iyi konumdadır. İşverenin liderlik rolünü üstlendiği vaka çalışmalarında süreçlerin başarısı görülmüştür (Eastman ve diğerleri., 2011). Ayrıca verimli bir tesis yönetimi için YBM mühendislerinin işletme aşamasında modelleri güncel tutmaları gerekmektedir. Bakım personeli ile YBM mühendisleri arasındaki iletişim süreç boyunca gerekli ve önemlidir. Bakım personeli, YBM mühendislerine herhangi bir sorun olduğunda haber vermelidir. Yapı bilgi modelleri sürekli bakım ve güncelleme gerektirir. YBM mühendisleri modeli düzelttikten sonra bakım personeline bildirmeli ve görüşmelidir (Lin & Su, 2013).

## 2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

Yapı bilgi modellemesi yapının erken tasarım aşamasından yıkıma kadar olan tüm bilgileri içerir. Bilginin bu aşamalar arasında aktarımı ve kullanımı projenin başarısında kritik bir öneme sahiptir. Tasarım safhasında yapıya dair birçok karar alınır ve bu kararların yapım evresine doğru ve hızlı aktarılması gerekmektedir. Yapım aşaması veriyi hem kullanan ve hem de üreten aşamalardandır. Bu noktada YBM verinin doğru yönetimi için etkin bir sistemdir. Yapı sektörünün dijitalleşmesinde önemli uygulamalardan olan YBM'de üretilen verilerin sahaya aktarılması bu uygulamadan maksimum fayda elde etmek için önemlidir. Yapı modeli sektörde aktif olarak kullanılan diğer bilgi teknolojilerine zengin bir altyapı sağlamaktadır. YBM ve bu bilgi teknolojilerinin bir arada kullanılması proje başarısını olumlu yönde etkileyecektir.

### 2.1. SAHA UYGULAMALARINDA YBM KULLANIMI

Çalışmanın bu bölümünde literatür taraması yapılmış, yapı bilgi modellemesinin yapım sürecinde kullanımına yönelik kaynaklar incelenmiştir. Alanda yapılan çalışmalar; iş birliği ve koordinasyon, iş akış ve planlama, kalite, zaman ve maliyet ve iş sağlığı ve güvenliği olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır. Ele alınan her bir kullanım alanı ayrı ayrı incelenerek YBM süreçlerinin katkıları ve zorluklarından bahsedilmiştir.

#### 2.1.1. İş Birliği ve Koordinasyon

İnşaat sektörü sürekli bilgi üreten, çok disiplinli ve çok örgütlü bir yapıya sahiptir. Yoğun bilgi akışının olduğu bu sektörde bilgi paylaşımı ile ilgili zorluklar mevcuttur. Aynı zamanda projelerin geçici doğası gereği değerli bilgiler bireylerde kalabilmekte ve zamanla kaybolabilmektedir. Başarılı bir proje yönetim sürecinde bilginin etkin bir şekilde kullanılması ve paylaşılması kritik bir öneme sahiptir. Yapı bilgi modellemesi (YBM), etkili iş birliği ve öğrenme süreçleri yoluyla bu çabaya yardımcı olabilecek bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Ganiyu, 2018).

Yapı bilgi modellemesi oluşturduğu ortak veri ortamı sayesinde paydaşlar arası iş birliğini, koordinasyonu ve iletişimi geliştirmektedir (Amarnath ve diğerleri., 2011). Şantiye ekipleri arasında iş birliğinin sağlanması için ekipler arasında sosyal ilişkilerin de organize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, iş birliğinin sağlanması için ekipler arasında sağlıklı bilgi paylaşımı olmalıdır (Chiu & Lai, 2020; Getuli, Capone, & Bruttini, 2020; Keskin, Salman, & Ozorhon, 2020; Nguyen, Yoon, Park, & Heo, 2019; Wen & Gheisari, 2020). Yapı bilgi modellemesi ile proje üzerinde farklı disiplinlerin çalışmaları ve çabaları tek bir modelde birleşir. Doğrudan iletişim ve iş birliği sağlanır (Rokooei, 2015).

Sahada YBM kullanımı, inşaat personeline bir projeye ilgili bilgileri tek bir yerden geliştirme ve düzenleme ve bu bilgileri başkalarıyla paylaşma konusunda benzersiz bir fırsat sağlamaktadır. Proje sürecinde YBM uzmanları tarafından inşaat ilerledikçe model güncellenmektedir. Verilerin sürekli güncel tutulması projedeki tüm paydaşların projenin gidişatından haberdar olması ve süreçlerin koordine ilerlemesini sağlamaktadır (Hardin & Mccool, 2015).

Köseoğlu & Nurtan-Güneş (2018) İstanbul Havalimanı inşaatı sırasında mobil YBM uygulamalarının etkinliğini yalın inşaat ilkeleri ile araştırmıştır. Sonuçlar, tabletlere gönderilen modellenmiş bilgilerin yardımıyla saha ekiplerinin doğru uygulama bilgilerine sahip olduğunu göstermiştir. Keskin ve diğerleri., (2020) ise yerinde güncel modellere erişerek belge yönetimi için gerçek zamanlı veri paylaşımı ve inşaat koordinasyonunda YBM'nin faydalarını ortaya koymuştur.

Akob ve diğerleri., (2019) Malezya'da gerçekleşen 786 km'den fazla inşaat alanı olan bir otoyol projesinde planlama ve tasarımdan inşaat ve izlemeye, nihai varlığın işletilmesi ve bakımı için hazırlanmasına kadar olan süreçte ortak veri ortamından faydalanmıştır. Proje eşzamanlı çalışan ve uzak inşaat şantiye ofisleri de dahil olmak üzere farklı yerlere yerleştirilmiş birden fazla disiplin ekibinden oluşmaktadır. Ekiplerin aynı bilgiler üzerinde birlikte çalışmasını sağlamak Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment - CDE) ile gerçekleştirilmiştir. Bu platform projenin tüm yaşam döngüsü boyunca çeşitli proje yönetimi sistemlerini etkili ve verimli bir şekilde koordine etme ve iş birliği yapma fırsatı sunmuştur. Radl ve Kaiser, (2019) de iş birliği ve bilgi alışverişinin gerçekleştiği Ortak Veri

Ortamı'na (CDE) odaklanmış, inşaat projelerinin verimliliği ve sahadaki uygulamalar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar ortak veri ortamının yatırımcının projedeki hakimiyetini arttırdığını, maliyetlerin düştüğü ve kalitenin arttığını ortaya koymuştur.

Shirowzhan ve diğerleri., (2020) literatürdeki yapı bilgi modellemesinin organizasyon içinde birlikte çalışılabilirlik çalışmalarını incelemiştir. Elde ettikleri veriler, bu kavramın yetersiz anlaşıldığını ve literatürde göz ardı edildiğini göstermektedir. Yazarlar, birlikte çalışılabilirlik konularının pratikteki YBM uygulamalarının önündeki temel engellerden olduğunu ifade etmiştir ve bu konuda iyileştirilme yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Tespit ettikleri boşlukların YBM uygulamalarının genişletilmesine ve farklı dosya formatları kullanan paydaşlar arasında benimsenme oranının hızlandırılmasına yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Yapı bilgi modellemesinin başarısı, iş birliği faaliyetlerindeki tüm katılımcılar tarafından kolektif olarak benimsenmesine bağlıdır. Hızla gelişen mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde, YBM-iş birliği modellerini iyileştirmek çok önemlidir. YBM, farklı katılımcılar arasında hızlı ve verimli işbirliğini mümkün kılan bir katalizör görevi görebilir (Y. Liu ve diğerleri., 2016).

### **2.1.2. İş Akış ve Planlama**

Yapı bilgi modellemesi süreçlerine dahil edilen mobil uygulamalar ve 4B modeller şantiyedeki iş akışını ve ilerleyişini takip etmeyi kolaylaştırmaktadır (Benjaoran & Bhokha, 2009; Chalhoub ve diğerleri., 2018; Chen ve diğerleri., 2020; Usmani ve diğerleri., 2019; Zaher ve diğerleri., 2018). 3 boyutlu modele zaman bilgilerinin dahil edilmesiyle modelin dördüncü boyutu elde edilmektedir. Yapı bilgi modellemesi süreçleriyle inşaatla başlamadan önce iyi bir program hazırlanabilir ve projenin öngörülen ilerleyişi simüle edilebilir. Sahada bir sonraki adım önceden bilinir ve gerekli malzemeler için iyi bir satın alma planı yapılabilir. İnşa sürecinde karşılaşılan herhangi bir aksama modele işlenerek ileriye dönük hataların önüne geçilebilir (Xue Li ve diğerleri., 2017). YBM süreçlerinin projeye dahil olması, inşaat yöneticilerinin inşaat sıralarını çeşitli proje paydaşlarına iletmesini sağlamak



için başarılı bir uygulamadır. Bu sayede, inşaat öncesi aşamada oluşturulan programların güvenilirliği artar, bu da sahadaki inşaat faaliyetlerinin sorunsuz bir şekilde ilerlemesini sağlar. Çatışmaların erken tespiti programın doğruluğunu artırır. Ek olarak, müteahhitlere ihale sürecinde daha gerçekçi veriler sağlar. Ayrıca saha yerleşim planı inşaat başlanmadan sağlıklı bir şekilde yapılabilir (Hartmann ve diğerleri., 2008).

Sahadaki ilerlemeyi izlemek ve gecikmelerin genel proje programı üzerindeki etkilerini analiz etmek için yerinde üretim kontrol yöntemleriyle birlikte 4B modellemenin kullanılması, daha yüksek seviyelerde yerinde inşaat performansı sağlamaktadır. İnşaat planlama, programlama ve üretim kontrolü için kullanan araştırmalar, 4B modellemenin inşaat güvenliği, çalışma alanları ve atık yönetimini iyileştirebileceğini göstermiştir. İletişim, bilgi akışları ve çevresel planlama ve yönetim faaliyetlerinin çıktılarında iyileştirmeler gerçekleşmektedir (Jupp, 2017).

Şantiye planlaması, şantiye yönetiminin ilk adımıdır. Sahada deneyimli inşaat profesyonellerinin bilgisi, şantiyelerin planlanmasında önemli bir faktördür. İnşaat projelerinin karmaşıklığı, planlamada organize edilmiş bilgileri gerektirir (Balaban Ökten, Arıcı Üstüner & Akbay, 2020). Literatürde planlamaya yönelik birçok araştırma bulunmaktadır. Alandaki çalışmaların başlıcaları: sahada yerleşiminin planlaması (Astour & Franz, 2014; Le ve diğerleri., 2019), saha yerleşiminin planlaması için kullanılan mevcut uygulamaların araştırılması (M. Xu ve diğerleri., 2020; Zolfagharian & Irizarry, 2014), geçici tesislerin büyüklüğünü tahmin etmeye yönelik araştırmalar (Razavialavi ve diğerleri., 2014), malzeme depolama alanı planlamasını (Said & El-Rayes, 2012) ve mobil vinçlerle inşaat faaliyetlerinin simülasyonunu ( Li, Chan , Skitmore ve Huang, 2015) araştıran çalışmalardır.

Şantiyelerin izlenmesi de şantiye kontrol ve yönetiminin bir parçasıdır. Şantiyeden toplanan güncel bilgilerin belirli bir sistematik süreçle inşaat profesyonellerine aktarılması karar verme süreçlerine katkı sağlar. Şantiyelerin izlenmesi (Edirisinghe, 2019; Han & Golparvar-Fard, 2014; Ibrahim ve diğerleri., 2017; Luo ve diğerleri., 2018; Sezer & Bröchner, 2019; Vegad ve diğerleri., 2014), üretimlerin incelenmesi (Falorca & Lanzinha, 2020; Hamledari ve diğerleri., 2018; Tsai ve diğerleri., 2014), şantiyelerin lazer tarama ile kontrolü (Bosché ve diğerleri.,

2015), hava robotları tarafından görsel veri toplanması (Ibrahim ve diğçerleri., 2017) ve atık yönetimi (Arif ve diğçerleri., 2012; S. Y. Kim ve diğçerleri., 2020) alanda yapılan araştırma konularıdır.

Getuli ve diğçerleri., (2016) YBM süreçlerinden elde edilen verilerle iş akışını simüle ettikleri bir örnek proje uygulaması yapmışlardır. Proje, orta ölçekli bir inşaat şirketinin inşa ettiği ofisler ve laboratuvarların bulunduğu dört katlı bir binadır. Sahaya YBM iş akışını Revit'te oluşturulan modeli BIM 360 Glue ve BIM 360 Field ile senkronize ederek test etmişlerdir. Glue ve Field, masaüstü ve mobil teknolojileri bulut tabanlı iş birliği ile birleştiren YBM yönetimi ve inşaat yönetimi ürünleridir. Veri akışı, farklı birlikte çalışabilirlik senaryoları test edilerek yönetilmiştir. Önerilen iş akışı, YBM yazma platformundaki tasarım aşamasından başlayarak, inşaat aşamasıyla ilgili geometrik ve geometrik olmayan bilgilerin şantiye düzeni de dahil olmak üzere yapı bilgi modeline işlendiği sürekli güncellenen bir süreçtir. Çalışmanın asıl amacı inşaat aşamasında sahayla YBM ortamında bilgi alışverişini sağlamaktır. Bu sayede tüm paydaşlar arasında gelişmiş bir iş birliği sağlanabilir.

Bortolini ve diğçerleri., (2019) Yalın Üretim Felsefesi ve Yapı Bilgi Modellemesi ilkelerinin bir arada kullanımını önermektedir. 4B yapı bilgi modeli kullanılarak prefabrik bina sistemlerinin saha montajı için bir lojistik planlama ve kontrol modeli geliştirilmiştir. Ayrıca yapılan araştırma Yalın ilkeler ve YBM işlevleri arasındaki sinerjilerin derinlemesine analizini sağlayan teorik bir çerçeve oluşturmuştur.

### **2.1.3. Kalite, Zaman ve Maliyet**

İnşaat projeleri ağırlıklı olarak sermaye yatırım projeleridir. Doğası gereği özelleştirilmiş projelerdir ve tekrarlayıcı değildirler. İnşaat projelerinde kullanılan ürünler pahalı, karmaşık, taşınmaz ve uzun ömürlüdür. İnşaat projelerinde kalite, sadece inşaatta kullanılan ürün ve ekipmanların kalitesini değil, aynı zamanda işlerin kapsamına göre tesisi tamamlamaya yönelik toplam yönetim yaklaşımını, bütçe dahilinde ve belirtilen programa uygun olarak müşteri / mal sahibi memnuniyetini kapsamaktadır. Taraflar arasındaki sözleşmelerin niteliği, projeden istenen kalite sisteminde baskın bir rol oynamaktadır ve bu nedenle, bunları yerine getirme

sorumluluğu proje belgelerinde belirtilmelidir. İnşaatla kalite kontrolü, tipik olarak, tesisin tasarıma uygun minimum malzeme ve işçilik ile standartlara uygunluğun sağlanmasını içerir. Bu minimum standartlar, şartname belgelerinde yer almaktadır (Rumane, 2011, syf 151).

Yapı bilgi modelindeki metraj ve maliyet bilgileri, proje ekiplerinin ve yöneticilerinin kararlarını analiz etmeleri ve proje yaşam döngüsü boyunca çeşitli alternatifler hakkında net ve güvenilir bir anlayışa sahip olmaları için fayda sağlar. YBM ile doğru bir tahmin daha hızlı elde edilebilir. Elde edilen bu veriler satın alma prosedüründe rahatlıkla kullanılabilir (Rokoei, 2015). Yapı bilgi modellemesi toplam kalitenin artmasında da oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Verimliliği ve iletişimi artırır, daha iyi koordinasyon sayesinde hataları azaltır ve çatışmaların en aza indirger. Daha iyi performans, daha düşük maliyetler ve daha kısa teslim süreleri için süreci optimize eder (L. Chen & Luo, 2014).

Yapı bilgi modelleri sektör tarafından öncelikle zaman, maliyet, değer, kalite kontrol için kullanılmaktadır (Olatunji & Sher, 2015). Alandaki çalışmalar yapı bilgi modellemesi süreçlerinin, maliyetleri düşürebileceğini ve inşaat süresini kısaltabileceğini öngörmektedir (S. Kim ve diğerleri., 2017). Jrade & Lessard, (2015) projenin planlama ve inşaat aşamalarında sanal ortamda kullanılan entegre bir zaman ve maliyet yönetimi sistemi önermiştir. Fanning, Clevenger, Ozbek, & Mahmoud (2015) vaka çalışması olarak benzer özelliklerde iki köprü inşaatını incelemiş ve YBM süreçleriyle yönetilen projenin yapım aşamasında daha az değişiklik siparişine ve yeniden çalışmaya ihtiyaç duyduğunu ve bu sayede yaklaşık %5-9 oranında maliyet tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur.

Chan I. Y. S. ve diğerleri., (2018) inşaat sektöründe yapı bilgi modellemesi süreçlerine maliyet verilerinin entegre edilmesinin sağladığı faydaların farkında olunmasıyla birlikte uygulanmasının yetersiz kaldığını tespit etmiştir. Bu duruma çözüm olarak maliyet verilerinin modelle dahil edildiği 5B YBM uygulamalarının nasıl teşvik edilebileceği araştırılmıştır. Dünya çapındaki eğilimler ve uygulamalara dayanılarak işverenlere, yüklenicilere ve danışmanlara yönelik yönetim stratejileri ortaya koyulmuştur.

Bassier ve diğeri., (2020) yaptıkları çalışmada şantiyede çok sayıda inşa edilmiş nesneyi, lazer tarama teknolojisini yapı bilgi modeline entegre ederek değerlendirmişlerdir. Önerilen yöntem, yapım hatalarının sürecin erken aşamalarında tanımlanmasını kolaylaştırarak yeniden yapımı önlemiş, maliyetleri önemli ölçüde düşürmüştür.

#### **2.1.4. İş Sağlığı ve Güvenliği**

Şantiyelerde sağlık-güvenlik konularında yapılan araştırmalar oldukça fazla olmasına rağmen, şantiye kazaları meydana gelmeye devam etmektedir. Şantiye ekiplerini sağlık-güvenlik konularında eğitmek için çeşitli bilgi teknolojileri kullanılmaktadır (Jeelani ve diğeri., 2020; Lu & Davis, 2018; Merefat ve diğeri., 2019). Ayrıca, güvenlik izleme sistemleri şantiyelerde riskleri önlemeye yardımcı olmaktadır (Edirisinghe, 2019; H. Guo ve diğeri., 2014; D. Liu ve diğeri., 2020; JeeWoong Park ve diğeri., 2017; Rashid & Behzadan, 2018; W. Xu & Wang, 2020; Zhao ve diğeri., 2012).

Sahada güvenlik planlaması, halihazırda birçok manuel işleme dayanan, yorucu ve zaman alıcı bir görevdir. Özellikle büyük yapılar için bu görev oldukça zorludur. Yüksek katlı bir binada kat planları farklı olabilmekte ve her durum için yeni bir planlama iş gücünü arttırabilmektedir. Şantiye koşulları da sık sık değiştiğinden, inşaat projesini yalnızca nihai, inşa durumunu temsil eden bilgilere dayalı olarak güvenlik konuları ile ilgili analiz etmek yetersiz kalabilmektedir. Projenin tüm verileri zaten YBM tabanlı projelerde yer almaktadır. Güvenlik tehlikesinin tespitinde çalışma alanı ve zamanın mekânsal -zamansal ilişkisinin anlaşılması en önemli etkidir. Yapı bilgi modeli tüm verileri içerecek şekilde oluşturulduktan ve şantiyedeki nesnelere ile program arasındaki bağlantılar kurulduktan sonra, tehlikelerin her birini tespit etmek için dijital kurallar uygulanır. Model tespit edilen riski önleyecek gerekli güvenlik ekipmanını görselleştirir ve ilişkilendirir. Bu bilgiler haftalık proje toplantılarında kullanılabilir ve karar vericilerin gerektiğinde çözümü uygulamasına veya değiştirmesine olanak tanıyabilmektedir (Borrman ve diğeri., 2018, syf 355).

Yapı bilgi modeli daha ayrıntılı hale geldikçe ve inşaat durum bilgilerini içerdikçe, inşaat sürecini sıralayabilmekte, erişim gereksinimleri, özel geçici işler veya diğer faktörler gerektirebilecek belirli alanları göz önünde bulundurularak bir güvenlik perspektifinden ayrıntılı olarak incelemeyi mümkün kılmaktadır. Bu, risk değerlendirmesini yeni bir düzeye taşımakta ve ekiplerin bunu fiilen yapmak için sahaya çıkmadan önce sanal olarak nasıl inşa edeceklerini görmelerini sağlamaktadır (Eynon, 2016, syf 12).

Yapı bilgi modellemesi uygulamalarıyla sahada daha güvenli çalışmayı sağlayacak bazı analizler önceden yapılabilmektedir. Bunlardan başlıcaları düşmeye karşı koruma analizi (korkuluk, iskele vb.), sahanın hangi alanlarında hangi zaman diliminde potansiyel risklerin olduğunu tespit etmeyi sağlayacak 4 boyutlu saha lojistik simülasyonları ve güvenliği ve saha oryantasyonunu sağlayacak eğitimlerdir. Bir diğer katkı ise prefabrik üretimi arttırarak güvenli olmayan kurulum pozisyonlarını en aza indirgemesidir (Hardin & Mccool, 2015, syf 236).

Jeewoong Park ve diğerleri., (2017) bluetooth tabanlı konum algılama sensörleriyle yapı bilgi modelini entegre ettikleri bulutta çalışan düşük maliyetli bir otomatik izleme sistemi oluşturmuşlardır. Riskli bölgeler modelde otomatik olarak ve buna ek olarak manuel verilerle belirtilmiştir. Geliştirdikleri bu sistemi gerçek şantiye ortamında test etmişlerdir. Gerçek zamanlı olarak çalışanlar takip edilmiş güvenlik tehditleri tespit edilmiştir. Yapılan testler ışığında önerilen yaklaşımın şantiye izleme sürecine yardımcı olabileceği ve şantiye güvenliğini potansiyel olarak iyileştirebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Daha sonraki çalışmalarda araştırmacılara, şantiyenin doğası gereği ortaya çıkan riskli bölgeleri modele aktarmalarını, mevcut durumun göz ardı edilmemesini gerektiğini ifade etmişlerdir.

D. Liu ve diğerleri., (2020) yapı bilgi modellemesi süreçlerine entegre bir uyarı sistemi önermiştir. Geliştirdikleri sistemde iç mekân konumlandırma sistemi (insanları veya nesnelere bulmak için kullanılan bir cihaz ağı) ve ivme ölçüm cihazıyla işçilerin konumu, yürüme hızı gibi verilere erişerek bu sistemi YBM ile entegre etmişlerdir. Bu üç sistemin ortak kullanımıyla entegrasyonu ile İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) uzmanı, çalışanların nerede ve hangi katta bulunduğunu belirleyebilmektedir. Araştırmacılar üç boyutlu modelde inşaat alanını tehlikeli

(kırmızı), yüksek riskli(sarı) ve düşük riskli(yeşil) bölgeler olarak kategorize etmişlerdir. Kullandıkları sensörler sayesinde bir işçinin tehlikeli (kırmızı) bölgede olduğunu ve düşme koruma koşum takımının uygun şekilde bağlanmadığını tespit ettiğinde, sistem ünite taşıyıcısına (işçi) tehlikeli bölgeyi terk edene kadar veya emniyetini sağlayana kadar sürekli bir uyarı sesi ve titreşim vermektedir. Aynı zamanda İSG uzmanının bilgisayarında uyarı penceresi açılarak haberdar olması sağlanmaktadır. İSG uzmanları bilgisayar sisteminde veya bulut sisteminde tüm çalışanların gerçek zamanlı konumunu takip edebilmektedir. Önerilen sistemin verdiği uyarılara ek olarak İSG uzmanının takibiyle de potansiyel riskler tespit edilebilmektedir. Bir işçinin yanlışlıkla düştüğü en kötü senaryo gerçekleştiğinde, entegre sistem düştüğü yüksekliği ve hızı tespit ederek bildirmektedir. Araştırmacılar önerdikleri bu çerçeveye Amerikan İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi'nin güvenlik kurallarını yapı bilgi modeline eklemeyi önermişlerdir.

Dünyada, inşaat projelerinde YBM ve otomatik kural denetimi gibi yeni teknolojiler yaygınlaşmakta ve bu teknolojiler kazaları önlemek için aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Marefat ve diğerleri., 2019). Araştırmalarda, artan ilgi ve uygulamalara rağmen deneyimli güvenlik uzmanlarının YBM teknolojilerini kullanmakta isteksiz olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yazılım araçlarının değişim hızı hem yatırım maliyetleri hem de personel eğitimi açısından engel oluşturmaktadır. Bu tür engelleri azaltmak için eğitim müfredatlarına YBM destekli güvenlik eğitimi eklenebilir. İş sağlığı ve güvenliği konusunda Koronavirüs (Covid-19) gibi dünya çapında acil durum oluşturan biyolojik tehditler de göz ardı edilmemelidir. Enfeksiyon risklerini azaltmak için mesafelerin ayarlanması gibi yeni güvenlik önlemleri için inşaat sektörünü geliştiren YBM uygulamalarından faydalanılabilir (Fagnoli & Lombardi, 2020).

## 2.2. SAHADA YBM İLE ENTEGRE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

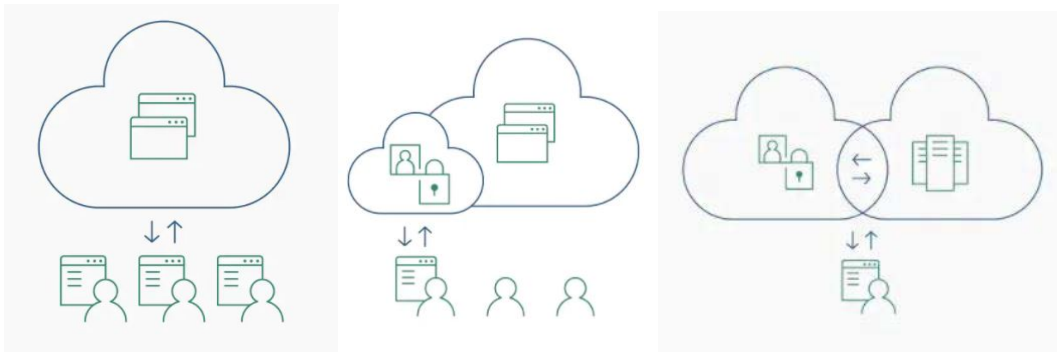
Çalışmanın bu bölümünde literatür taraması yapılmış, yapı bilgi modellemesinin entegre olduğu teknolojiler araştırılmıştır. Yapılan tarama sonucu sahada en çok kullanılan teknolojilerin; bulut bilişim ve mobil cihazlar, sanal

gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojisi, lazer tarama teknolojisi ve robotik üretim olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen teknolojiler ayrı ayrı ele alınarak önce tanımları yapılmış, kullanım alanlarından bahsedilmiş ve YBM süreçlerine nasıl dahil olduklarına yönelik vaka çalışmaları incelenmiştir. İncelenen vaka çalışmaları sonucu YBM süreçlerine sağladıkları katkıları ve entegrasyondaki zorluklarından bahsedilmiştir.

### 2.2.1. Bulut Bilişim ve Mobil Cihazlar

Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) özel yayınında (SP 800-145) yayınlanan tanıma göre; “*Bulut bilişim, minimum yönetim çabasıyla hızlı bir şekilde tedarik edilebilen ve piyasaya sürülebilen, yapılandırılabilir bilgi işlem kaynaklarının (ör. Ağlar, sunucular, depolama, uygulamalar ve hizmetler) paylaşıldığı havuza her yerde bulunan, kullanışlı, isteğe bağlı ağ erişimini sağlayan bir modeldir* (Mell & Grance, 2011).”

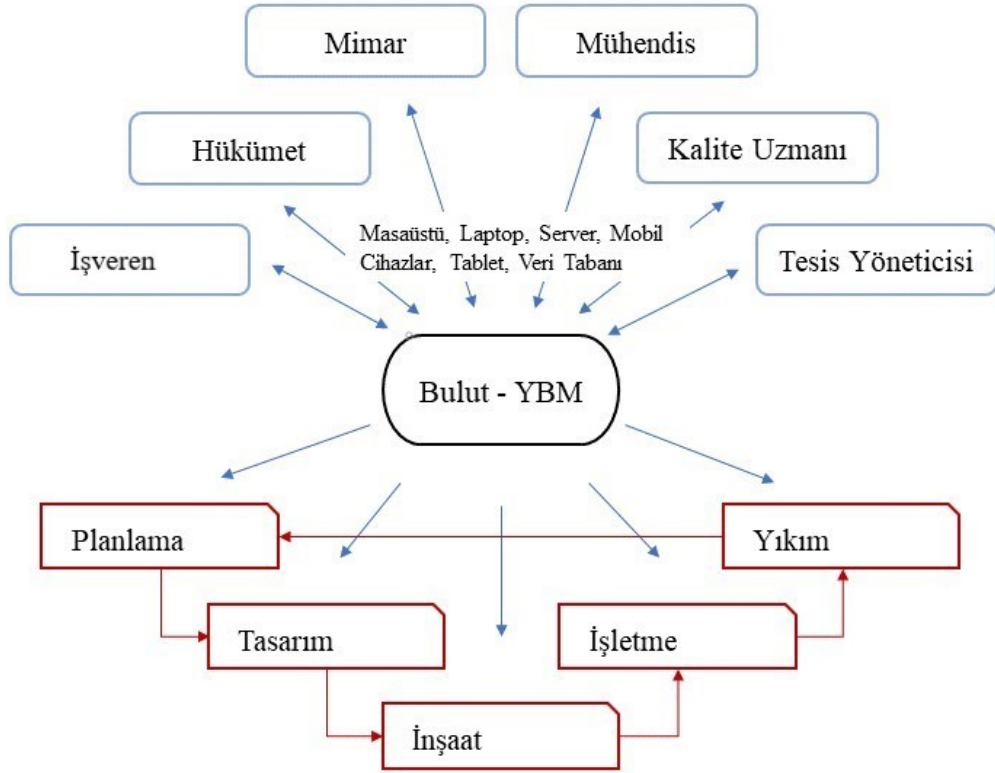
Yazılım şirketleri tarafından tasarlanan üç çeşit bulut vardır (**Şekil 2.4**). Bunlar herkesin kullanımına açık tüm verilerin ortak paylaşıldığı genel bulut, şirketler tarafından kullanılan üst düzey güvenlik ve korunmanın sağlandığı özel bulut ve her iki bulut hizmetinin de ortak kullanılabildiği hibrit bulut sistemidir (Url-5).



**Şekil 2.4** Bulut bilişim türleri (genel bulut, özel bulut ve hibrit bulut sistemi).  
(Url-6)

Bulut bilişim; mobilite, esneklik ve bakım kolaylığı sunan bir teknolojidir (Silverio ve diğerleri., 2017). İnşaat sektörünün doğası gereği değişen personel ve

çalışma alanını farklı yerlere taşınması, verileri herhangi bir cihaz aracılığıyla depolamak yerine bulut teknolojisini kullanmak pek çok avantaj sağlamaktadır. Projenin büyük veri kümeleri barındırması, dosya adlandırmalarında yaşanan sorunlar ve sistemin yetersiz oluşu bulut tabanlı doküman yönetimine yönlendiren nedenlerdendir. Bu sayede gerçek zamanlı veri paylaşımı yapılabilmekte ve yönetilebilmektedir (Keskin ve diğerleri., 2020). Bulut üzerinde YBM aracılığıyla geliştirilen modeller; kavramsal aşama, detaylı tasarım aşaması, inşaat öncesi aşama ve inşaat aşaması boyunca paydaşlara fayda sağlamaktadır. Bulut bilişimle YBM kullanıcıları arasında veri paylaşımı ve aktarımı kolaylıkla gerçekleşmekte ve işbirliği sağlanabilmektedir (Amarnath ve diğerleri., 2011) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 YBM süreçlerinde bulut bilişim şeması. (Wong ve diğerleri., 2014)

Mobil cihazlar, personel arasındaki iletişim ve koordinasyon eksikliğine çözüm olabilecek esnek ve kolaylaştırıcı bir ortam sağlamaktadır (Balaban Ökten & Gundes, 2018)(Resim 2.4). İnşaat sektöründe mobil uygulama alanları oldukça fazla olmakla beraber başlıcaları; proje planlaması, maliyet yönetimi ve kontrolü, saha



güvenliği, proje yönetimi ve kontrolüdür (Igwe ve diğerleri., 2020). Mobil cihazların bulut bilişim teknolojisiyle entegre olması depolama hacmi gibi sınırlamaların azalmasını sağlamaktadır. Bu iki teknolojinin birlikte kullanımı avantajları artırmakta, yetersiz kaldıkları yönleri azaltmaktadır (Núñez ve diğerleri., 2018).



**Resim 2.4** Sahada tablet kullanımı. (Url-7)

Sattineni & Schmidt, (2015) şantiyede mobil cihazların kullanımının avantajlarını ve dezavantajlarını araştırmışlardır. Saha çalışanlarıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler yaparak mobil cihazlar hakkındaki görüşlerini analiz etmişlerdir. Yapılan görüşmeler; kullanılan uygulamalar, yazılımlar ve temel işlevleri içeren sorulardan oluşmaktadır. Veriler, tüm katılımcıların yeni yazılımlardan haberdar olduğunu ve bunları kullandıklarını ortaya koymuştur. Ayrıca katılımcıların yarısından fazlasının yapı bilgi modellemesi ile ilgili uygulamaları etkin olarak kullandığı tespit edilmiştir. Görüşmeler, mobil cihazların belgeleri kolaylıkla görüntüleme ve paylaşma, kağıt tüketimini azaltmayı sağlama, e-postalara hızlı dönüş yapma, daha iyi dokümantasyon prosedürleri sağlama, artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımına izin verme ve verilere her yerde erişilmesine izin verme için avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Mobil cihazların çalışanların dikkatini dağıttığı ve bunun güvenlik sorunlarına neden olabileceği ise dezavantajlar arasındadır. Ayrıca çalışanlar verilerin güvenliği konusunda da endişe duymaktadır. Yaşlı çalışanların isteksizliği ve verilerin senkronizasyonu için internete ihtiyaç duyulması da tespit edilen diğer dezavantajlardandır.

Hasan ve diğerleri., (2018) gelişen bilgi teknolojilerinin şantiyedeki iletişime ve bilgiye erişime etkilerini ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda proje

yönetimi alanında uzmanlık ve deneyime sahip kişilerle odak grup tartışması yöntemi kullanılmıştır. Tartışma üç ana başlıkta ilerlemiştir; Güney Avustralya inşaat endüstrisindeki mobil bilgi teknolojilerinin türü ve kapsamı, inşaat verimliliği üzerindeki etkileri ve inşaat projeleri kullanımındaki sınırlamalar. Yapılan tartışmalar sonucu fayda ve zorluklar tespit edilmiş, gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Mobil cihazlardan akıllı telefonlar, maksimum mobilite sağlarken, ekran boyutunun yeterli olmadığı, buna çözüm olarak tabletlerin ve dönüştürülebilir dizüstü bilgisayarların kullanımının yaygınlaşabileceği belirtilmiştir. Ayrıca kuruluşların tüm amaçlar için tek bir cihaz türü tercih etmesi yerine özel ihtiyaçların karşılanabileceği farklı mobil cihazlara da yatırım yapmasının fayda sağlayabileceği ifade edilmiştir. Tartışmada bu teknolojilerin kullanımının yaşa bağlı olmadığı, kişinin teknolojiye olan ilgisi, tecrübesi ve eğitimiyle ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Tespit edilen eğitim eksikliği nedeniyle profesyonellerin kendi bildikleri doğrultuda bu teknolojileri kullanması, verimliliğin istenen seviyede yakalanamamasına sebep olabilmektedir. Proje yöneticilerine yönelik eğitim programları, mobil bilgi teknolojileri ve bunların şantiyede kullanımı hakkında bilgiler içermelidir. Bu teknolojilerin şantiyede hızı arttırmasıyla birlikte dikkat edilmesi gereken bir husus da gerçekleşen bu bilgi akışının ilgili her kişiye ulaştırılmasıdır. Yapılan bu çalışma, tedarik zinciri boyunca daha iyi bilgi akışı, verilere zamanında erişim, kalitede iyileşme ve daha az iş tekrarı gibi faydaları ortaya koymuştur. Katılımcılar, mobil bilgi teknolojilerinin kullanımına yönelik herhangi bir yönerge veya politika çerçevesinin olmadığını ve risklerin azaltılması için bu konuda farkındalığın artması gerektiğini vurgulamışlardır. Şantiyede cihaz kullanımının dikkat dağıtması nedeniyle önemli güvenlik zorlukları yaşatabileceği de göz ardı edilmemelidir. Son olarak, mobil bilgi teknolojilerinin inşaat verimliliği üzerindeki gerçek potansiyelini henüz ortaya çıkaramadığı ifade edilmiştir.

3D Repo'dan Ben Davies'a göre bulut tabanlı YBM uygulamalarını kullanmanın sahada birçok avantajı vardır. Bulut yazılım şirketlerinin kullanılan kadarını ödeme seçeneği firmalara tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca ekibin konumdan bağımsız olarak her yerde verilere erişimi mümkün olmaktadır. Modeller her zaman günceldir ve istenildiği zaman bir önceki versiyona ulaşılabilir. Bilgi

akışındaki hız da zaman tasarrufu sağlamaktadır. Aynı zamanda sahada raporlanan potansiyel risklerin eş zamanlı olarak bildirilmesi, müdahaleyi hızlandırarak oluşabilecek kazaların önüne geçmekte etkili olmaktadır (Url-8).

### **2.2.2. Sanal Gerçeklik ve Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisi (VR / AR)**

Sanal gerçeklik (VR) terimi ilk olarak 1980'lerde kullanılmıştır. Bu terim, uzamsal verilerle gerçek zamanlı olarak etkileşime girebileceğimiz uygulamaları tanımlamak için kullanılmıştır (Whyte, 2002, syf 2). Bouchlaghem & Liyanage (1996) sanal gerçekliğin yeni bir teknoloji olmadığını, bir araya getirilmiş bir dizi eski teknoloji (bilgisayar grafikleri, bilgisayar arayüzleri ve simülasyon) olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca sanal gerçekliği; üç boyutlu, etkileşimli, bilgisayar tarafından oluşturulan ortamda, insanı bilgi ile bütünleştiren bilim olarak tanımlamışlardır.

Sanal gerçeklik (VR) simülasyonu, kullanıcıların gerçek dünyanın işleyiş biçimiyle ilgili benzersiz öngörüler sağlamaktadır (Xiao Li ve diğerleri., 2018). Mimari tasarım, inşaat ve işletme özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan araştırmacılar tarafından günümüzde çeşitli bilgisayar teknolojileri ve bilgisayar bilimi teknikleri kullanılmaktadır. Hem sanal gerçeklik hem de geleneksel bilgisayar sistemleri karmaşık inşaat işlemlerini simüle etmek için kullanılmaktadır. Bu sistemler, inşaat operasyonlarını iyileştirmeyi ve inşaat malzemeleri sipariş edilmeden önce inşa edilebilirlik ve sürdürülebilirlik kontrollerine izin vermeyi vaat etmektedir (Webster ve diğerleri., 2000).

Profesyoneller tarafından sanal gerçekliğin kullanımına yönelik başlıca iş faktörleri arasında dinamik operasyon simülasyonu, detay tasarımının koordine edilmesi ve inşaatın planlanması yer alır. Sanal gerçeklik kullanımı, daha hızlı tasarım uygulaması sayesinde risk ve maliyetin azaltılmasına olanak tanır (Whyte, 2002, syf 70). VR teknolojisinin inşaat sektörüne sağladığı faydalarından biri de sahaya yönelik eğitimlerdir (**Resim 2.5**). Sanal gerçeklik teknolojisiyle saha personeline güvenliklerini tehlikeye atmadan doğrudan ve gerçekçi bir şekilde

tehlikeleri tanıtmak mümkündür. Bu sayede geleneksel güvenlik eğitimine göre daha verimli sonuçlar alınmıştır (Sacks ve diğerleri., 2013).



**Resim 2.5** VR teknolojisiyle operatör eğitimi. (Url-9)

Sanal gerçeklik, kullanıcıyı çevreleyen dünya algısını bilgisayar aracılığıyla üretilen üç boyutlu sanal bir dünya ile değiştirmeye çalışır. Tasarım safhasında oldukça etkin kullanılan bu teknoloji saha uygulamalarında bazı sorunlarla karşılaşabilmektedir. Üretilen sanal dünya, gerçek dünyada karşılaşılabilecek hava durumu, işgücü kısıtlamaları ve program aksaması gibi çeşitli müdahaleleri öngörememektedir. Arttırılmış gerçeklik teknolojisi (AR) sanal ve gerçek dünya arasındaki bu etkileşim eksikliğine çözüm getirmiştir. Arttırılmış gerçeklik (AR) teknolojisiyle bilgisayar ortamında oluşturulan bilgi, kullanıcının gerçek dünyadaki görüşünün üzerine eklenir (Chi ve diğerleri., 2013). VR, sanal olanı gerçek dünya ortamından ayırırken, AR mevcudiyet duygusunu korur ve her iki dünyada algıyı dengelemektedir (Hou ve diğerleri., 2013).

Kivrak ve Arslan (2019)'a göre arttırılmış gerçeklik teknolojisinin yakın gelecekte neredeyse tüm sektörlerde kullanılması öngörülmektedir. AR teknolojisinin gelecekteki potansiyel uygulamalarının; otomotiv endüstrisinde araç bakımı, tıpta operasyonlar, eğitimde kitapların görselleştirilmesi, reklamcılık, ev

mobilyalarının yerleştirilmesi, mimari tasarımların görselleştirilmesi, trafikte araçlar arası mesafelerin ölçülmesi gibi uygulamalar olacağı düşünülmektedir.

Arttırılmış gerçeklik teknolojisinin diğer sektörlerde olduğu gibi şantiyede de birçok kullanım alanı ve faydaları vardır. Şantiyede AR teknolojisinin kullanım alanlarını kategorize eden Behzadi (2016), inşaat sahasındaki AR teknolojisini; planlamayı, iletişimi ve bilgi erişimini, bir projenin adam-saat sayısını ve çalışma sahasının güvenliğini iyileştireceğini belirtmiştir. Bu teknolojinin başlıca yararlarından biri yapı elemanları arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Yanlış yorumlamanın azalması ile karmaşık tasarımların planlandığı gibi inşa edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede üretim süreci daha hızlı ilerlemektedir. Şantiye yürütülürken mevcut üretimle yapılacak olan üretimin gerçek zamanlı çakışma tespiti yapılabilmektedir. Teknik çizim okumakta yeterli olmayan işçilerin çalışma kalitesini arttırmakta yardımcı olmakta, tasarım ve iş planı revizyonlarına hızlı adapte olmayı sağlamaktadır. Görev önceliğinin belirlenmesinde etkili olmakta ve bu sayede zamanın en verimli şekilde kullanılmasında yardımcı olmaktadır. Birden fazla disiplinin eşzamanlı çalışmasını sağlamaktadır. Örneğin mekanik boru tesisatının montajı bitmeden havalandırma kanalının montajına çalışma alanı sağlayıp sağlayamayacağı kararı alınabilir. Yüklenicilerin ve tedarikçilerin birlikte çalışmasına olanak sağlayarak teslim süresinin kısalmasına da yardımcı olabilmektedir. Yapı verilerine kolayca ulaşmakta etkilidir. Günlük raporlarda kolaylık sağlar ve daha iyi bir kalite kontrol süreci yürütülür (X. Wang ve diğerleri., 2012).

Yeh, Tsai ve Kang (2012), yaptığı araştırmada şantiyelerde bilgi erişimi sorununa odaklanmıştır. Bu soruna çözüm olarak arttırılmış gerçeklik teknolojisiyle entegre giyilebilir bir cihaz geliştirmişler, bu sayede kullanıcıların bilgiye yerinde erişmesini sağlamayı hedeflemişlerdir. Bu cihaz, bilgi entegrasyon modülü, konumlandırma modülü, manipülasyon modülü ve ekran modülü olmak üzere dört modülden oluşmaktadır. Bilgi entegrasyon modülü, yapı bilgi modelindeki bilgileri görüntülere aktarmak için kullanılmıştır. Konum modülü, kullanıcıların konumlarını girmelerini ve kullanıcıların ihtiyaç duyabilecekleri görüntüleri otomatik olarak aramalarını sağlamaktadır. Manipülasyon modülü, cihazlarda bulunan dokunmatik

ekran ve ivme ölçerden kullanıcıların hareketlerini analiz edebilmekte ve ardından gereksiz bilgileri ortadan kaldırmak için görüntüleri kırıpabilmektedir. Doğrudan projektöre bağlanan görüntü modülü ise önceki üç modül tarafından işlenen görüntüleri sürekli olarak hesaplayabilmekte ve projeksiyonun doğru bir ölçekte sonuçlanmasını sağlamaktadır. Üretilen bu cihaza İHelmet adı verilmiştir. **Şekilde 2.6'** da görüldüğü gibi iHelmet; bir inşaat kaskı (ağırlık: 460 g), bir iPod Touch (ağırlık: 115 g) ve bir (LED) projektörden (ağırlık: 114 g) oluşmaktadır. İHelmet'in yerinde kullanılabilirliğini doğrulamak için 34 katılımcı ile bir kullanıcı testi yapılmıştır. Verimliliği ölçmek için kullanıcıları bir kısmına proje bilgilerine geleneksel yöntemle diğer kısmına ise iHelmet'i deneyimleyerek ulaşmaları istenmiştir. Test sonucunda iHelmet kullananlar sorulara önemli ölçüde hızlı cevap vermişlerdir. Yapılan bu araştırma sonucu iHelmet kullanıcılarının bilgiyi yerinde, daha doğru ve verimli bir şekilde elde ettiğini tespit etmişlerdir. Aynı zamanda AR teknolojisinin, şantiyelerde ilgili bilgileri almadaki zorluklarını önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.



**Şekil 2.6** iHelmet cihaz donanımı. (Yeh ve diğerleri., 2012)

Kivrak ve Arslan (2019) yaptıkları çalışmada inşaat işçilerinin, ekipman operatörlerinin, mühendislerin ve yöneticilerin sorumlu oldukları şantiye faaliyetlerinin her adımını takip etmelerini sağlayan bir AR sistemi geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Geliştirilen bu sistemde faaliyet olarak tuğla duvar yapımı ve betonarmenin çelik örme uygulamasını seçmişlerdir. Çalışma dört aşamadan

oluşmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında, seçilen bu faaliyetlerin üretim yöntemleri ve eğitim materyalleri hazırlamışlar, her bir aktivitenin animasyon modelleri standartlara uygun olarak oluşturmuşlardır. Animasyon modelleri 3ds Max ve Maya programları kullanılarak tasarlanmıştır. Sistem, modeller tamamlandıktan sonra geliştirilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında AR yazılımı akıllı cama yansıtılmışlardır. Son aşamada ise sistem test edilmiş hatalar ve eksikler tespit edilerek düzeltilmiştir. Geliştirilen bu sistem ile bir işçi doğru çelik sabitlemeyi ve standartlara uygun tuğla duvar yapmayı akıllı gözlükler aracılığıyla öğrenebilmiştir. Aynı zamanda deneyimsiz çalışanların geliştirilen bu sistem sayesinde daha hızlı ve ucuz bir şekilde eğitilebildiği tespit edilmiştir. Tecrübeli çalışanların ise akıllı gözlükte görüntüledikleri bilgiler sayesinde kritik aşamalarda hata riskini azaltabildikleri ifade edilmiştir.

Mirshokraei ve diğerleri., (2019) özel bir web tabanlı sistem aracılığıyla yapı bilgi modellemesi ve artırılmış gerçeklik teknolojisinin entegre ederek sahada kalite yönetimini araştırmıştır. Sistemin sahadaki etkinliğinin değerlendirmek için Budapeşte’de aktif bir şantiyede vaka çalışması yapmıştır. Bu entegre sistem sayesinde ilgili kişiler güncel bilgilere yerinde erişim sağlamıştır ve denetim bilgilerini dijital ortama kolaylıkla aktarmıştır. Sahada test edilen bu entegre sistem ile tasarımın daha iyi anlaşılması, bilgiye erişim kolaylığı, revizyonların azalması, daha hızlı karar verme gibi olumlu sonuçlar elde etmiştir. Diğer yandan yapılan araştırmada bazı sınırlamalar ve zorluklar tespit etmiştir. Önde gelen zorluklardan biri sanal modelin şantiyede doğru konuma yerleştirilmesi olmuştur. Sistem geometrik ölçüm için güvenilir bulunmamış, bu noktada geleneksel ölçüm sistemi tavsiye edilmiştir. Ayrıca çok sayıda nesne ve ayrıntı içeren modellerde ortamın AR teknolojisiyle yorumlanmasının güçleştirdiği belirtilmiştir. Kalite yönetimi için tespit edilen başka bir eksiklik internet erişimine bağlı olan bu web tabanlı sistemin zayıf sinyalde soruna neden olmasıdır. Son olarak, kullanıcının çevredeki alana dikkatini kaybetme riskine karşı, çalışanların sistemi doğru kullanma eğitimine ihtiyacı olduğu belirtilmiştir.

Arttırılmış gerçeklik teknolojisi uzun yıllardır kullanılmasına rağmen şantiyede kullanımı hala tam verimine ulaşamamıştır. Birçok ürün tasarımı

yapılmakta ve test edilerek geliştirilmektedir. Şantiyenin yüksek riskli ortamı tasarlanan ürünleri yönlendirmektedir. Daqri firması tarafından geliştirilen AR destekli kaskın yazılımı işlevsel kaygılarla güncellenmiştir (**Resim 2.6**). İlk olarak menüler arasında el sinyalleriyle gezinme fikri şantiye için uygun bulunmamış daha sonra eller serbest olarak çalışmasına karar verilmiştir (Url-10).



**Resim 2.6** Daqri tarafından geliştirilen AR destekli kask. (Url-10)

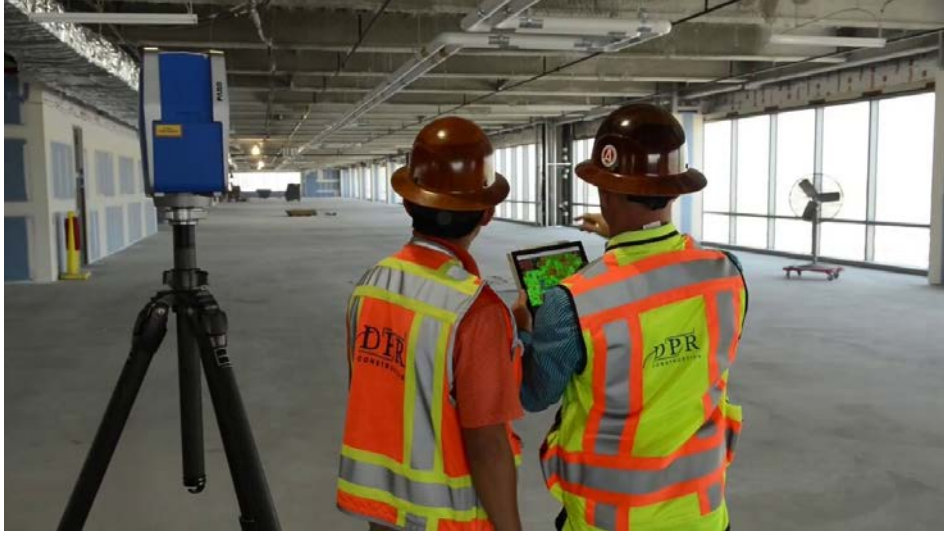
Hızla gelişen bilgi teknolojilerinin verimli kullanımı inşaat projelerinde başarıyı doğrudan etkileyen bir faktör haline gelmiştir. Sahada kullanılan bu teknolojiler inşaatın riskli yapısını göz ardı edilmeden geliştirilmelidir. Üretilen teknolojik cihazlar sadece laboratuvar ortamında değil aktif iş sahasında da test edilmeli, ihtiyaca göre yeni fonksiyonlar eklenmeli ya da revize edilmelidir. Artan teknolojik aletlerle birlikte azalan maliyetler saha çalışanları tarafından etkili kullanıldığı takdirde projeye sağlayacağı katkı kaçınılmazdır.

### **2.2.3. Lazer Tarama**

Lazer tarama teknolojisi, 1990'lardan bu yana giderek daha fazla kullanılan bir görüntüleme teknolojisidir. Taranan sahneler hakkında hızlı, doğru, kapsamlı ve ayrıntılı üç boyutlu veriler sağlar (Bosché ve diğerleri., 2014). Lazer tarayıcı, ışın gönderir ve hedef noktadan yansıyan lazer ışınının varış süresini ölçer. Lazer ışınının



seyahat süresi ve hızına bağlı olarak, tarayıcıdan hedef noktaya olan mesafe hesaplanır (M. K. Kim ve diğerleri., 2015). 3B lazer tarayıcılar; karasal lazer tarayıcılar (TLS), mobil lazer tarayıcılar ve havadan lazer tarayıcılar gibi farklı kategorilere ayrılmaktadır. İnşaat endüstrisinde, çalışmaların çoğu nokta bulutu veri toplama için TLS kullanılmaktadır (**Resim 2.7**). Çünkü TLS, uzun bir ölçüm aralığı (6000 m'ye kadar) ve milimetre düzeyinde doğrulukla taranmış verileri hızla elde edebilmektedir (J. Guo ve diğerleri., 2020).



**Resim 2.7** Şantiyede lazer tarama teknolojisi. (Url-11)

Lazer tarama teknolojisi son yirmi yılda hızla gelişmiş uzamsal bilginin elde edilmesinde başlıca teknolojilerdendir. Topografik, çevresel ve endüstriyel alanlar gibi birçok alanda yüksek kaliteli veriler lazer tarayıcılar tarafından üretilmektedir. Bu veriler arasında sayısal arazi ve yüzey modelleri; 3 boyutlu şehir modelleri; demiryolu ve enerji hattı modelleri; ve kültürel ve tarihi yer işaretlerinin 3B dokümantasyonu bulunmaktadır (Mostafa Abdel-Bary, 2015). Şantiyede uygulamalarında özellikle belirli bir geometrik sınıflandırılmaya dahil olmayan amorf nesnelere takip edilmesi en zor öğelerdendir. Arazinin kazı durumu, beton dökümünün ilerleyişi, asfaltlama gibi işlemler de sahada takibi zor olan biçimsiz verilere neden olmaktadır. Geleneksel metroloji tekniklerinin yetersiz kaldığı bu gibi durumlarda lazer tarama doğru verilerin elde edilmesini sağlamaktadır (Cheok ve diğerleri., 2001).

Lazer tarayıcılar mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde üç boyutlu modelleme ve analiz aracı olarak kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile lazer tarayıcılar; saniyede on ila yüz binlerce nokta arasında, birkaç yüz metreye kadar mesafelerde ölçüm yapabilmektedir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen üç boyutlu veriler yapı modeline entegre edilebilmektedir (Huber ve diğerleri., 2010). Bosché ve diğerleri., (2015) lazer tarama teknolojisinin MMİ endüstrisinde kullanım alanlarını iş sonu modeli, mevcut altyapı ve şantiyelerin kalite değerlendirmesi, ilerleme takibi ve yapısal sağlık izleme (hasar tespiti) olarak dört başlıkta ele almıştır. Kula & Ergen (2017) ise kullanım alanlarını beş başlıkta toplamıştır. Bunlar; mevcut yapıların modele aktarılması, yapım halindeki binanın tamamlanma yüzdesinin takip edilmesi, imalat ile tasarım arasındaki tutarsızlıkların tespiti, tamamlanan yapının iş sonu (as-built) modelinin oluşturulması ve bina enerji analizi gibi diğer özel amaçlarla kullanılmasıdır.

Literatürde lazer tarama teknolojisinin MMİ endüstrisinde kullanımına yönelik birçok araştırma vardır. Yapılan araştırmaların başında; taranan verilerin doğruluğunu artırmak için yapılan araştırmalar, taranan verileri kalite kontrol için türetilmiş modellerle karşılaştırmak için analiz yöntemleriyle ilgili araştırmalar ve lazer taramalarına dayalı olarak oluşturulmuş YBM gelmektedir (Huber ve diğerleri., 2010).

Amerika'da Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), İnşaat Durum Değerlendirmesi için Kesintisiz Tarama Teknolojileri Projesi'ni geliştirmiş ve sahadaki ölçümler üzerine çalışma yapmıştır. Projenin amacı, saha ölçümlerini geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha ucuz hale getirmektir. Aynı zamanda yeni tarama teknolojilerini kullanmak ve bu teknolojilerle elde edilen verilerin aktarımı ve yorumlanması için standart yöntemler geliştirmektir. Lazer tarama teknolojisini test etmek için inşaat alanına tarayıcılar yerleştirilmiştir. Daha sonra nokta bulutlarından oluşan model oluşturulmuş ve sahadaki değişiklikler modelde takip edilmiştir. Proje esnasında birtakım zorluklarla karşılaşmıştır. Bunlardan biri tarayıcıya güç kaynağı sağlamak olmuştur. Başka bir sorun ise tarayıcı dizüstü bilgisayar ve aksesuarların alana hâkim olmak için sahada yer değiştirmesi ihtiyacıdır. Birden çok tarayıcı kullanmak ve ekipmanı hava koşullarına dayanıklı

direkler içinde yerinde bırakarak muhafaza etmek bu problemlere çözüm olarak sunulmuştur. Bu yaklaşımın, tarayıcının günlük kurulumunu, hizalamasını ve seviyelendirmesini ortadan kaldıracağı öngörülmüştür. Bununla birlikte, birden fazla tarayıcı satın almanın maliyeti, ekipman için su geçirmez kılıflar geliştirme ihtiyacı ve ekipmanı hırsızlığa karşı koruma gerekliliği dikkat edilmesi gereken durumlar olarak bildirilmiştir (Cheok ve diğerleri., 2001).

El-Omari & Moselhi, (2008) şantiyede ilerleme ölçümü ve projenin kontrolünü sağlamak için 3B lazer tarama teknolojisi ve fotogrametriyi entegre eden bir yöntem sunmuştur. Önerilen yöntem Montreal'de Concordia Üniversitesi'nde inşaat halinde olan yeni bir binanın şantiyesinde test edilmiştir. Geliştirilen yöntemin amacı lazer taramanın ve dijital fotoğraf görüntülemenin ayrı kullanımıyla ilişkili sınırlamaları ortadan kaldırmaktır. Vaka çalışması sonucu elde ettikleri verilere göre lazer tarama ekipmanıyla iş takibi yaparken inşaat sahasının farklı yönlerden tarama ihtiyacı zaman alıcıdır ve bazı durumlarda uygulanabilirliği yoktur. Fakat tarama ve fotoğraf görüntüleme teknolojilerini entegre ederek şantiyeyi tarama yöntemi iş takibi için gereken süreyi %75 azaltmıştır. Bunun nedeni taramanın projenin sadece bir tarafından yapılmasıdır. Fotogrametri ile desteklenen bu yöntemde yüksek maliyetli bir 3B tarayıcı gerekli olmadığından, maliyet tasarrufu da yapılmıştır. Önerilen yöntemle her iş gününün sonunda gerçekleştirilen iş miktarlarıyla ilgili değerli bilgilerin uygun maliyetli ve zamanında alınmasını sağlamıştır.

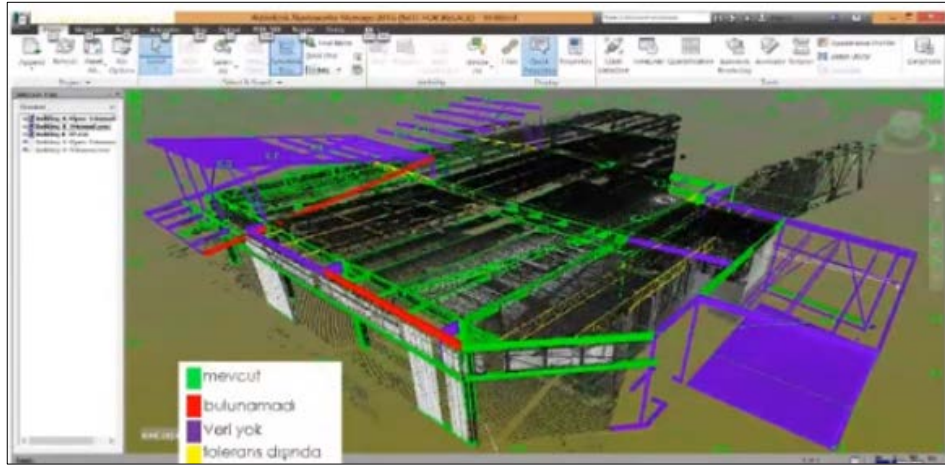
C. Kim ve diğerleri., (2013) yaptıkları araştırmada lazer tarama teknolojisini kullanarak yapının üç boyutlu modelinin oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu modeli YBM sürecine dahil ederek şantiye planlamasını model üzerinden yapmış, saha ilerleyişini ise kullandıkları tarama cihazlarıyla otomatik olarak yapmayı hedeflemişlerdir. Önerilen otomatik saha takibini Güney Kore'de yapım aşamasında olan yeni bir dört katlı beton binada test etmişlerdir. Üç boyutlu verileri, zemin seviyesinde farklı konumlarda toplam on bir tarama yapan bir lazer tarayıcı kullanılarak elde etmişlerdir. On bir tarama daha sonra şantiye için genel üç boyutlu veri setini elde etmek için birleştirilmiştir. Veriler elde edildikten sonra zemin kat, ikinci kat ve üçüncü kat için ilerleme oranları ve durumları ölçülmüştür. Sonuçlar bu teknoloji ile inşaat sürecinin etkili bir şekilde ölçülebildiğini göstermiştir. Ayrıca

YBM süreçlerinin şantiye uygulamalarına dahil edilmesi gerektiği önerilmiş, iki teknolojinin birlikte kullanıldığı durumda daha doğru bir planlama yapılacağı ve projenin doğruluğunun artacağı belirtilmiştir.

Sanhudo, Ramos ve diğerleri., (2020) mevcut bilgi boşluklarını tespit etmek için yapı bilgi modellemesi ve lazer tarama teknolojisi hakkında literatür taraması yapmışlardır. Yapılan araştırma sonucu çalışmaların lazer tarama sürecinin tamamını kapsamadığı, çoğu çalışmanın ya nokta bulutu elde ettikten sonra veya yapı bilgi modeline dönüştürüldükten sonraki sürece odaklandığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada planlama, inceleme ve veri analizinden elde edilen tüm süreci içeren bir lazer tarama çerçevesi sunmuşlardır ve yapı bilgi modellemesi için geçerli bir nokta bulutu elde etmek için gerekli adımları detaylandırmışlardır. Saha çalışmasını Porto, Portekiz'de yakın zamanda yenilenen bir otobüs istasyonunda yapmışlardır. Ayar seçimi, tarayıcıyı konumlandırma, optimizasyon, nokta bulutu temizleme ve düzeltilmesi, gibi detaylar önce laboratuvarında test edilmiş daha sonra yapılan planlama sahada uygulanmıştır. Vaka çalışması sonucu veri analizi aşaması, tamamlanması yaklaşık 64 adam saat süren nokta bulutunun depolanması, yok edilmesi, temizlenmesi, kaydı ve ihracatı ile en çok zaman alan aşama olarak sonuçlanmıştır. Ancak istasyon yenilemede kullanılan ve nokta bulutundan uzaklaştırılması gereken büyük miktarlarda enkaz ve inşaat ekipmanlarının temizlik sürecini engellediği belirtilmiştir. Planlama aşaması, nokta bulutlarındaki yerinde ve araştırma sonrası düzeltmelere olan ihtiyacı büyük ölçüde azalttığı için çerçevenin en değerli aşaması olarak kabul edilmiştir.

Solvotek Mühendislik Genel Müdürü Bora Sayın (2020)'a göre aktif bir şantiyede lazer tarama teknolojisi; sahanın daha iyi anlaşılmasını sağlar; saha ziyaretlerine olan ihtiyaç azalır; elle yapılan ölçümlere göre daha doğru bilgilerin elde edilmesini sağlar; kontrolü hızlandırır ve tasarımdan imalata geçiş sırasında yaşanan iş tekrarlarını en aza indirger. Tarama teknolojisiyle elde edilen veriler kolaylıkla güncellenebilmektedir. Aynı zamanda yapının olduğu gibi modellenmesini sağlayarak mükemmel detaylar göstermek yerine deformasyonların tespitine olanak vermektedir. Yapım aşamasında veya sonrasında doğabilecek tehlikeler ve sorunlar hakkında da bilgi vermektedir. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojisiyle

de entegre bir şekilde çalışabilmektedir. Bir diğer faydası ise müşterinin karar aşamasını sağlayarak revizyonların azalmasını sağlamaktır. **Resim 2.8**' de olduğu gibi tasarlanan yapıyla sahadaki güncel yapı karşılaştırılabilmektedir. Bu sayede hatalar kolaylıkla tespit edilebilmekte, raporlama en doğru ve detaylı bir şekilde yapılabilmektedir. Aynı zamanda kalite kontrol ve hakkeleş hesabını da kolaylaştıran bir süreçtir (Url-12).



**Resim 2.8** Lazer tarama ile tasarım–yapı karşılaştırılması.

Lazer taramanın uygulanması, zaten güçlü olan entegre YBM iş akışına yeni faydalar sağlamaktadır. Tarama teknolojisi, entegre YBM döngüsünü tamamlamak için gerekli kritik bir işlev haline gelmektedir ve entegre YBM iş akışı için net bir katma değer sağlamaktadır. Fiziksel alanlarındaki öğeler hakkında ayrıntılı bilgi toplama yeteneği, verilerin daha hassas kullanımına olanak tanır. Sahada koordinasyon, iş programlaması ve tahmini gibi verilerin doğruluğunu arttırmak için verimli bir teknolojidir. Aynı zamanda azalan donanım maliyetleri ve artan yazılım yetenekleri sayesinde yükleniciler için rekabet avantajı haline gelmektedir (Gleason, 2013).

#### **2.2.4. Robotik Üretim**

Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisi pratik ve uygun maliyetli teknolojik gelişmelere açık bir sektördür. Azalan teknoloji maliyetleri ile artan

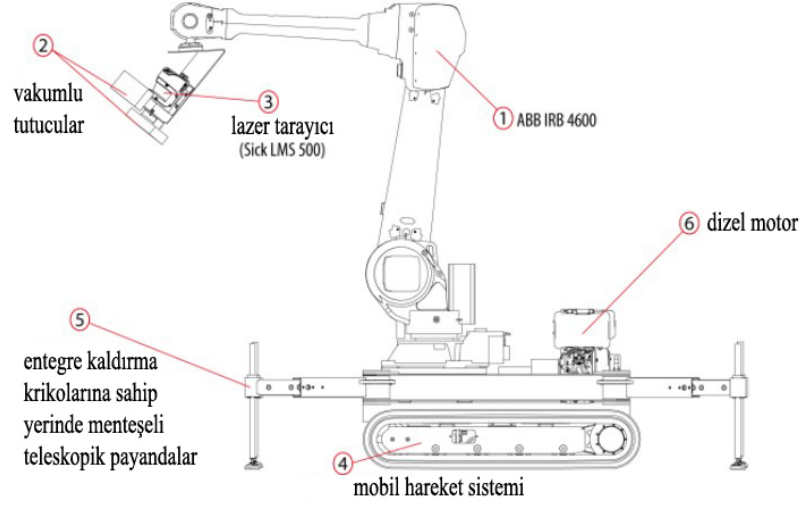
üretkenlik taleplerinin kombinasyonu robotik ve dijital üretim teknolojilerini yaygınlaştırmaktadır (Loveridge & Coray, 2017) (**Resim 2.9**).



**Resim 2.9** Şantiyede robotik üretim. (Url-13)

Helm, Ercan ve Gramazio (2012) yaptıkları çalışmada insan ve makinenin ortak karar verdiği bir üretim sürecini ortaya koymuşlardır. Bu çalışma kapsamında ABB IRB 4600 model robot seçilmiş ve sahada 1:1 ölçekte üretim yapacak şekilde geliştirilmiştir (**Şekil 2.7**). Bu robot geliştirilirken; uygulamada tolerans payı, insan-makine etkileşimi ve üretim biriminin hareketliliği ele alınan önemli konular olmuştur. Geliştirilen robot şantiye ortamının verilerini dikkate alarak tasarlanmıştır. Robotun şantiyedeki hareketliliğini sağlamak adına bir mobil yol entegre kaldırma krikolu yandan menteşeli teleskopik payandalar ile desteklenen sistem geliştirilmiştir. Üretilen bu robot, sahadaki işçileri, engelleri, çalışma alanının sınırları gibi verileri üç boyutlu tarama teknolojisiyle algılayarak kendini konumlandırabilmektedir. Üç boyutlu tarama teknolojisiyle insan işbirlikçisi robota çalışma alanını gösterebilmekte ve onu yönlendirebilmektedir. Ayrıca malzemeleri üstten veya yandan tutmasına izin verecek iki farklı vakumlu tutucu monte edilmiştir. Vakum basınç kontrolü ise robotun arkasına monte edilmiş bir vakum pompası tarafından sağlanmıştır. Robotun şantiye ortamını temsil etmesi amacıyla Zürih Federal Teknoloji Enstitüsü otoparkında test edilmiştir. Bu çalışma standart dışı ve

karmaşık mimari bileşenlerin planlanması ile yerinde üretimi arasındaki boşluğu kapatabilen bir sistem önermektedir.



**Şekil 2.7** Helm, Ercan ve Gramazio (2012) tarafından geliştirilen robot.

Kumar, Hack, Doerfler ve diğerleri., (2017) yaptıkları çalışmada değişen eğrilik veya enine kesite sahip bir çelik betonarme yapıyı robot teknolojisiyle inşa etmişlerdir. Çalışma kapsamında hem donatı hem de kalıp görevi gören çelik tel kafesler inşa etmek için alternatif bir yeni robotik üretim sürecini test etmişlerdir. Robotik üretim sisteminin işlevselliğini doğrulamak için, çeşitli boyutlarda ve geometrik karmaşıklıkta üç ağ prototipi üretilmiştir. İlk iki prototip laboratuvar ortamında imal edilirken üçüncü prototip şantiye koşullarında üretilmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen verilere göre geleneksel olarak üretimi oldukça zor olan ağ prototiplerinin tam otomatik üretimi başarıya ulaşmıştır. Elde edilen başarıya rağmen tespit edilen birtakım olumsuzluklar da olmuştur. Üretim esnasında bazı sapmalar tespit edilmiştir. Bu soruna çözüm olarak kameraların kullanımıyla geri bildirim sisteminin kurulması önerilmiştir.

Davtala ve diğerleri., (2018) YBM'yi otomatik bir yapı sistemine entegre etmek için bir çerçeve önermiştir. Çalışmanın amacı robotik bir yapı sisteminin bileşenlerini analiz ve kontrol edebilen, birlikte çalışabilir bir YBM entegre sistemi önermektir. Yapılan bu çalışma sırasında henüz çözülmemiş çeşitli mühendislik zorluklarına çözüm önerilmiştir. Bunlardan biri otomatikleştirilmiş inşaat için

kapsamlı bir kalite kontrol sisteminin olmayışıdır. Bu soruna çözüm olarak entegre YBM sistemleri önerilmiştir. Bir diğeri ise malzeme tedarikiyle ilgilidir. Otomatik inşaat sürecini nispeten kısa sürede yüksek malzeme tüketimi nedeniyle şantiyeye malzeme akış hızının geleneksel bir inşaat sürecinden önemli ölçüde daha yüksektir. Bu durum malzeme tedarikinde verimsizlik ve depolama sorunlarına neden olabilir. Geliştirilen Otomatik İnşaat için Planlama ve Operasyon Kontrol Yazılımı (POCSAC) ile inşaatın kısa sürede fizibilitesini sağlamak mümkün olmaktadır. Bütün bunlara ek olarak otomatik malzeme hazırlama sistemi beton yapılar için yeni olanaklar sunmaktadır. Proje ihtiyaçlarına bağlı olarak, robot tarafından depolanan malzemenin özellikleri (beton yoğunluğu, basınç dayanımı, termal iletkenlik, renk vb.) herhangi bir zamanda kontrol edilebilmekte ve proje boyunca değiştirilebilmektedir.

Tavares, Costa, ve diğeri., (2019) yapı bilgi modellemesi tabanlı görev planlamasıyla işleyen insan-robot iş birliğine dayalı bir kaynak uygulaması süreci test etmişlerdir. Bu süreçte robot teknolojisine ek olarak, operatörün endüstriyel robot tarafından kaynaklanacak kiriş eklerini yapıştırmasına yardımcı olmak için ortama hizalama bilgilerini yansıtan uzaysal arttırılmış gerçeklik sistemi de kullanılmıştır. Tasarlanan robotik sistemin verimliliğini ölçmek için kaynak robotu ve geleneksel operatörün aynı işi yaptığı iki test yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kaynak kalitesi her iki durumda da benzerdir. Kaynak uygulaması sırasındaki en önemli avantaj, sistemin tekrarlanabilirliği ve dayanıklılığı ile ilgilidir. Operatörün yorulması ve kiriş boyunca hareket etmesi, işlemi yavaşlatma ve genel kaynak kalitesini bozma eğilimi gösterirken robot kesintisiz çalışmayı sağlayabilmektedir. Test sonuçlarında en büyük fark işlemin tamamlanma süresinde ortaya çıkmıştır. İki testin sonucunda da robot kaynak sisteminin geleneksel operatöre göre çok daha kısa sürede işi tamamladığı tespit edilmiştir.

Ding, Jiang, Zhou ve diğeri., (2020) yaptıkları çalışmada robotik teknolojilerin planlama için tüm verilerini yapı bilgi modelinden aldığı bir planlama yöntemi önermiştir. Bu YBM tabanlı robotik planlama modeli tuğla montajında test edilmiştir. Geliştirilen bu yöntem sayesinde üretimin hızlanabileceği, üretim için ayrılan yatırım maliyetinin düşebileceği ve iş gücünün azalabileceği tespit edilmiştir.



Fakat robotik montaj için tuğla biçimi basittir ayrıca formunun düzgünlüğü daha kolay montajı sağlamaktadır. Yazarlar bu noktada yöntemin daha karmaşık bileşenler ve serbest formlar üzerinde çalışılması gerektiğini belirtmiş ve tek bir robotun çoklu görev planlaması için kullanımının da ele alınması gereken önemli bir nokta olduğunu vurgulamışlardır.

Bold Mimarlık Kurucu Ortağı Erdinç Çiftçi (2020), Ercan Havalimanı projesinde kullandıkları robotik üretim yöntemiyle birçok çelik kolonu yerinde imal ettiklerini bu sayede zamandan kar ettiklerini ifade etmiştir. Ancak başarılı bir imalat için yapı bilgi modellemesinde yer alan detay seviyesinin oldukça fazla olması gerektiğini belirtmiştir (Url-14).

Robotlar şantiyede tekrar eden görevlerde ve yoğun emek gerektiren uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilir fakat yetenekleri hala kısıtlıdır. Robotik teknolojilerin şantiyede başarısı için insan-makine arayüzleri ve etkileşimleri ele alınmalıdır. Robotların becerileri, beklenmedik durumlara çözüm üretebilecek insani yeteneklerle bir araya geldiğinde oldukça verimli bir iş birliği elde edilecektir. Bu nedenle şantiyede robotlar insan iş arkadaşlarıyla birbirini tamamlayacak şekilde programlanmalıdır (Loveridge & Coray, 2017).

### 2.3. TÜRKİYE’DE YBM’NİN YAYGINLAŞMASI İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapı bilgi modellemesinin önündeki en büyük engellerden biri farkındalığın yeterli olmayışıdır. Ayrıca alanında uzman personelin eksikliği geçiş sürecini zorlayan durumlardandır. Türkiye’de yapı bilgi modellemesinin yaygınlaşması ve desteklenmesi için çalışmalar yapan çeşitli organizasyonlar ve topluluklar bulunmaktadır. Bu amaçla kurulan topluluklardan bazıları; “buildingSMART Türkiye”, “BIM4TURKEY”, “BIMGenius” ve “Bimfili” dir.

BuildingSMART kar amacı gütmeyen, yapı sektörünün dijital dönüşümüne dünya çapında katkı sağlamayı amaçlayan tarafsız ve uluslararası bir organizasyondur. İlk olarak 1995 yılında kurulan ve 2013’te ISO statüsüne kavuşan buildingSMART International; Avustralasya, Avusturya, Benelüks, Kanada, Çin, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya, Kore, Norveç, Polonya,

Rusya, Singapur, İspanya, İsviçre, Türkiye, Birleşik Krallık ve İrlanda ile ABD'nin içinde yer aldığı 21 ülkede çalışmalarını yürütmektedir. 2017 yılında kurulan buildingSMART Türkiye, yapı bilgi modellemesi uygulamalarının inşaat sektöründe yaygınlaşmasını sağlamayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda Türkiye İMSAD'ın ev sahipliğinde toplantı, seminer ve konferanslar düzenlemektedir.

BuildingSMART Türkiye (bSTR) tarafından misyon ve vizyonu doğrultusunda çalışma grupları oluşturulmuştur. Standartlar ve Yayınlar Çalışma Grubu, ISO standartlarının TSE işbirliğiyle ülke formasyonuna göre geliştirmekte ve ihtiyaç olan standartları hazırlamaktadır. Proje Geliştirme Çalışma Grubu, inşaa sürecinde farklı aşamalarda sayısal uygulama ve teknolojilerin nasıl uygulanacağını anlatan doküman ve yönergeleri hazırlanmasına katkı sağlamaktadır. Teknoloji Çalışma Grubu, teknolojiyle birlikte ortaya çıkan sorunları takip ederek IFC ve ona bağlı uygulamalarla ilgili standart ve araçları belirlemektedir. Eğitim ve Belgelendirme Çalışma Grubu, buildingSMART International tarafından geliştirilen kriterleri ve müfredatları Türkiye ihtiyaç ve koşullarına uyarlamaktadır. Ayrıca Türk Standartları Enstitüsü, Mesleki Yeterlilik Kurumu ve belgelendirme kuruluşlarıyla işbirliğini sağlamaktadır. İletişim, Tanıtım ve Üyelik Çalışma Grubu, gerekli tanıtım, üyelik ve işbirliği faaliyetlerini yürütmektedir. Üniversite İşbirliği Çalışma Grubu ise YBM konusunda yapılan çalışmalara akademik destek sağlamakta ve bu konuda üniversite düzeyinde bilinirliği arttırarak yetişmiş uzman personel sayısının çoğaltılmasını hedeflemektedir. Bütün bunlara ek olarak Türkiye'deki ve Türk firmaların Dünya'daki örnek çalışmaların paylaşılması adına çalışmalar yapılmaktadır (Url-19).

BIM4TURKEY, yapı bilgi modellemesinin inşaat sektörüne, akademiye ve kamu kurumlarına entegrasyonunu kolaylaştırmayı hedefleyen Yapı Bilgi Modellemesi ve Yönetimi Derneği'ne bağlı bir platformdur. Sektör paydaşları ile işbirliği sağlanan bu platformda belirli yapı standartları oluşturmayı hedeflenmekte, bu doğrultuda Türk İnşaat sektörüne entegrasyonunu hızlandırmak için düzenli raporlar ile Türkiye'ye yol haritası çizilmektedir. Bu kapsamda sekiz çalışma grubu oluşturulmuştur. Eğitim ve Araştırma Grubu, profesyonellerle akademisyenleri bir araya getirecek bir platform sağlamak, diğer ülkelerde yapılan çalışmaları Türk

inşaat sektörü ve akademiye sunmak, YBM kavramlarının teorik temellerini oluşturarak YBM eğitim programları düzenlemek gibi amaçlarla kurulmuştur. Tasarım ve İnşaat Grubu, yapı bilgi modellemesinin uygulanmasına yönelik etkili stratejileri ve metotları tespit etmeyi ve bu bağlamda iyi uygulamaları ve projeleri tanıtarak YBM kullanımının etkileri ortaya koymayı hedeflemektedir. Teknoloji ve Eğitim Grubu, dünyadaki örnek YBM projelerinden yararlanarak bu alandan kullanılan teknolojilerin pratikte uygulanması ve yaşanan sorunları ele almaktadır. Mimari Tasarım Komitesi, İşletme Yönetim Komitesi, Kamu ve Özel Sektörün Entegrasyonu Komitesi, MEP Komitesi ve Enerji Komitesi’de yapı bilgi modellemesinin Türkiye’de yaygın ve planlı bir şekilde kullanılmasını sağlamayı hedefleyen diğer çalışma gruplarıdır. Ayrıca BIM4TURKEY tarafından “Bim Webinar”, “Bim Coffee Talks”, “Bim Summit” ve “Bim Days” olarak kategori edilmiş etkinlik gruplarıyla çevrimiçi veya Türkiye’nin farklı illerinde gerçekleşen çeşitli seminerler ve toplantılar düzenlenmektedir (Url-20).

BIMgenius, 2017’de kurulan yapı bilgi modellemesi ve yapı sektöründeki dijital teknolojilerle ilgili profesyonelleri bir araya getirmeyi amaçlayan bir platformdur. Sayısallaşan inşa süreçlerine katkı sağlamayı ve bu konudaki çalışmalarını yaygınlaştırmayı amaçlayan bu platformda sektörün önde gelen birçok uzmanıyla seminerler düzenlenmektedir. Çevrimiçi olarak yaptıkları anket çalışmalarıyla da Türkiye’de YBM ile ilgili genel eğilimleri ve beklentileri ortaya koyacak raporları yayınlamaktadırlar. BIMgenius topluluğu, disiplinlerarası bir perspektif ile sektörün geleceğini tartışırken günümüzün problemlerine pratik çözümler aramayı amaçlamaktadır (Url-21).

BIMGenius platformu 2018 ve 2019 yıllarında Türk yapı sektörünün yapı bilgi modellemesi kullanımını anlamak, ilgili problemleri ve beklentileri belirlemek amacıyla Google Forms üzerinden dijital anketler düzenlemiştir. Farklı disiplinleri temsil eden yapı sektörü profesyonellerinden oluşan 385 katılımcının gerçekleştirdiği bu ankete BuildingSMART Türkiye, Makine Mühendisleri Odası ve Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği destek vermiştir. Katılımcıların çoğunluğunu mimarlar oluştururken mühendislik disiplinlerinde inşaat, makine ve elektrik mühendisliği öne çıkan diğer meslek grupları olmuştur. YBM deneyimine sahip katılımcıların

çoğunluğunun çalıştıkları kurumların 100 ve üzeri çalışana sahip firmaların olması dikkat çeken verilerdendir. Projelerde YBM kullanılıp kullanılmadığına dair verilen cevaplarda 2018 – 2019 yılı verileri karşılaştırıldığında YBM kullanan ve kullanmayı düşünen katılımcı yüzdesindeki artış sektör için olumlu bir tablo çizmektedir. Projeler de hangi disiplinlerde ve hangi aşamalarda YBM kullanıldığına yönelik sorularla YBM olgunluk seviyesini ölçmek amaçlanmış ve sonuçlara göre mimari ile birlikte tüm mühendislik disiplinlerinde YBM kullanan katılımcılar çoğunluğu oluşturmuştur. Eğitim ile ilgili olan problemler verilerinde ise sektörel ve üniversitelerdeki eğitimlerin yetersiz olması ve YBM ile ilgili Türkçe kaynakların yetersiz olması çoğunluğun verdiği yanıtlardır. Yapı bilgi modellemesi süreçlerinin kullanıldığı proje tiplerinin tespiti sorularında ise karma yapı projeleri ve ofis yapıları öne çıkarken havalimanları, metro projeleri, endüstriyel tesisler, büyük ölçekli konut projeleri, alışveriş merkezleri, sağlık yapıları, eğitim yapıları diğer yanıtlardır. Katılımcıların değerlendirmelerine göre YBM iş süreçlerini daha etkin yönetmeye yardımcı oluyor, saha koordinasyon problemlerini azaltıyor ve proje sürelerini kısaltıyor. %17'lik bir kesim ise proje maliyetlerini arttırdığını, benzer bir oranda katılımcı da YBM ile çalışmak istediklerini ancak yazılım maliyetlerinin çok yüksek olduğunu belirtmiştir (Bimgenius, 2020).

Bimfili akademisyenler ve profesyonellerden oluşan Yapı Bilgi Modellemesi üzerine değer ve farkındalık yaratmayı hedefleyen sosyal bir platformdur. 2019 yılından bu yana aktif olarak etkinlik düzenleyen bu topluluk üniversitelerde gerçekleştirdiği seminerlerin yanı sıra çevrimiçi seminerler de düzenlemektedir. Pandemi sürecinde sosyal medya platformlarından canlı yayınlar yapılan bu platformda alanında uzman birçok profesyonel çalıştıkları projeleri sunmaktadır. Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe aktif kullanılan YBM uygulamalarının tasarım aşamasından işletme aşamasına kadar tüm yaşam döngüsünde kullanımına yönelik sorular ve sorunlar ortaya konmaktadır. Yapı bilgi modellemesinin iyi uygulamalarıyla birlikte bu süreçlerde kullanılan diğer dijital teknolojiler de ele alınmaktadır (Url-22).

Yapı bilgi modellemesi inşaat sektöründe çalışan profesyoneller için yeni bir uzmanlık alanı haline gelmiştir. Artan taleple birlikte YBM konusunda oluşturulan

bu platformlar ve toplulukların yanısıra bazı üniversitelerde ve özel kuruluşlarca sertifika programları düzenlenmektedir. İTÜ SEM “BIM Uzmanı Sertifika Programı”, ODTÜ SEM “Yapı Bilgi Modellemesi Sertifika Programı”, BÜYEM (Boğaziçi Üniversitesi Yaşamboyu Eğitim Merkezi) “İnşaat Projelerinde Uygulamalı BİM Süreçleri”, Antalya SEM “Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Modelleme Uzmanlığı Eğitim Programı” ve ESOGÜSEM (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi) tarafından “BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) Uzmanlığı Uygulamalı Eğitimi Sertifika Programı” eğitimleri düzenlenmektedir. Üniversiteler tarafından yürütülen bu eğitimler YBM uzmanı olarak firmalarda görev alacak kişilere gerekli teorik ve pratik altyapıyı sağlamayı amaçlamaktadır. Üniversitelere ek olarak bazı yazılım şirketleri ve özel eğitim kurumları da YBM alanında eğitimler vermektedir.

### 3. TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde Türk inşaat sektöründe yapı bilgi modellemesi süreçleri incelenmiştir. Türkiye’de YBM ile gerçekleştirilen projeler mevcuttur. YBM ile ilgi yayınlanan raporlar, düzenlenen seminerler, kitaplar ve sektör firmaların proje bilgilerini paylaştığı internet siteleri kaynak olarak kullanılmıştır. Daha sonra tez kapsamında beş profesyonelle gerçekleştirilen yarı-yapılandırılmış görüşmelere yer verilmiş, katılımcılardan elde edilen veriler ortaya konmuştur. Son olarak yapılan literatür taramaları, katılım sağlanan seminerler ve yapılan görüşmelerden elde edilen bulgular tartışılmış, verilerin analizi yapılmıştır.

#### 3.1. TÜRKİYE’DE YBM KULLANIM ÖRNEKLERİ

Türkiye’de yapı bilgi modellemesi süreçleriyle yürütülen havalimanı, hastane, alt yapı projesi, konut, karma yapı gibi birçok proje vardır. Bu projelere YBM ile ilgi yayınlanan raporlar, düzenlenen seminerler, kitaplar ve sektör firmaların proje bilgilerini paylaştığı internet sitelerinden ulaşılmıştır. Ulaşılan örnekler **Çizelge 3.5**’te listelenmiştir. Yapı bilgi modellemesinin 3B’den 7B’ye kadar olan uygulama boyutlarından çakışma tespiti ve planlama başta olmak üzere fayda sağlanmaktadır (Özorhon, 2018).

**Çizelge 3.5** Türkiye’de YBM ile yürütülen proje örnekleri. (Öner, 2019; Özorhon, 2018; Url-15; Url-16; Url-17)

Proje adı	Proje Yılı	Proje Türü
Darıca-Gebze Metro Hattı	2018 -	Altyapı projesi
Kaynarca – Pendik – Tuzla Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi
Göztepe – Ataşehir – Ümraniye Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi
Çekmeköy – Sultanbeyli Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi
Kirazlı – Halkalı Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi
Kayaşehir – Başakşehir Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi

**Çizelge 3.5 (devam)** Türkiye’de YBM ile yürütülen proje örnekleri.

Mahmutbey – Esenyurt Metro Hattı	2017-	Altyapı projesi
Vakıfbank Genel Müdürlüğü İstanbul Finans Merkezi	2017-	Ticari yapı
Galataport İstanbul Projesi	2015-	Karma yapı
İstanbul Sağlık Yönetim Ofisi	2017-2019	Sağlık Tesisi
Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi	2016 - 2020	Hastane
Dudullu-Bostancı Metro Hattı	2016 - 2020	Altyapı projesi
Ataköy – İkitelli Metro Hattı	2016 - 2019	Altyapı projesi
Bursa Şehir Hastanesi	2016 - 2019	Hastane
AND Frekans Residence Projesi	2016-2018	Konut
Akbank Yeni Veri Merkezi	2016-2018	Karma yapı
Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi	2016 -2018	Hastane
Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı	2015-2020	Altyapı projesi
KKTC Ercan Havalimanı	2015-2019	Havalimanı
Adana Entegre Sağlık Kampüsü	2015-2018	Hastane
İş GYO Kartal Manzara Adalar	2015-2018	Konut
Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi	2015-2018	Hastane
Abdullah Gül Cumhurbaşkanlığı Müzesi ve Kütüphanesi Renovasyon Projesi	2014-2016	Kültür yapısı
İstanbul Yeni Havalimanı	2014-2018	Havalimanı
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	2012-2014	Havalimanı
İstanbul Emaar Square	2012-2018	Karma yapı

Türkiye’de yapı bilgi modellemesi süreçleriyle yürütülen projelere baktığımızda son beş yılda proje sayısının arttığı görülmektedir. Ayrıca projeler büyük ölçekli ve kompleks yapılardır. Projeleri yürüten çoğu yüklenici firma yurtdışında da büyük projelerde yer alan firmalardır.

Çalışmanın bu bölümünde çevrimiçi platformlarda yer alan seminerlerden elde edilen veriler bir araya getirilmiş, alanda öncü uygulamalardan bahsedilmiştir.

TAV İnşaat grubunun yüklenici firma olduğu İzmir Adnan Menderes Havalimanı, İstanbul Yeni Havalimanı ve Emaar Square projeleri YBM süreçleriyle yürütülen projelerdir. Adnan Menderes Havalimanı projesinde verimliliğin artması, koordinasyonun sağlanması, hataların azaltılması ve metrajın çıkartılması için yapı bilgi modellemesi araçlarından faydalanılmıştır. İstanbul Yeni Havalimanı projesinde daha detaylı yürütülen bir süreç olmuş, kesin projeden işletmeye kadar olan tüm yaşam döngüsünde yapı bilgi modellemesi kullanılmıştır. 3 boyutlu modelleme, kalite kontrolün yapılması, 4 boyutlu simülasyonlar, metraj çıkartma ve enerji analizi yapmak gibi birçok alanda kullanılmıştır (Özorhon, 2018). Emaar Square Projesi 825.000 m<sup>2</sup> net kat alanı, 600.200 m<sup>2</sup> alt yapı alanı ve 224800 m<sup>2</sup> üst yapı alanına sahip rezidans, otel ve alışveriş merkezinden oluşan karma kullanımlı bir projedir (Url-18). Şartnamesinde YBM süreçlerinin kullanılması istenen bu projede şantiye ve ofis koordinasyon bu süreçlerle sağlanmıştır. Saha modeli yapım süreci boyunca güncel tutulmuştur. LOD 300 ve LOD 400 seviyelerinde modelleme yapılmıştır. Çakışmalar tespit edilmiş, haftalık metraj çıkartılmış, değişiklik emirleri bu süreçlerle yönetilmiştir. 4B simülasyonlar kullanılmış ve imalat çizimleri (shop drawing) yapı bilgi modellerinden elde edilmiştir. Projede lazer tarama teknolojisi kullanılmış bu sayede iş takibi yapılmıştır (Çıtıptıoğlu, 2014).

Rönesans Türkiye İnşaat Grubu projelerinde 3B, 4B ve 5B yapı bilgi modellemelerini aktif olarak kullanmaktadır. Tasarım projesinin iki boyutlu olması halinde projeye başlamadan üç boyutlu model oluşturulmaktadır. 450.000 metrekareden oluşan Adana Entegre Sağlık Kampüsü bu süreçlerle ilerlemiş, saha simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sahadaki imalatlar takip edilmiş, gerçekleştiği tarihler ve planlanan tarihler simüle edilerek iş programının gerisinde kalınıp kalınmadığı tespit edilmiştir. Bu simülasyonlar haftada bir düzenli olarak yapılmıştır.



Bursa Şehir Hastanesi projesinde şantiyenin belirli noktalarına yerleştirilen kameralar sayesinde anlık görüntüler alınmış ve süreç simülasyonlarıyla karşılaştırma yapılarak ilerleme takibi yapılmıştır. Rönesans Türkiye İnşaat Grubu'nun yapı bilgi modellemesi süreçlerinde kullandığı bir diğer teknoloji ise sanal gerçeklik teknolojisidir. Bu teknoloji, mock up uygulaması yapmak yerine sanal dünyada projeyi gerçekleştirerek malzeme, mobilya seçimi gibi kararları almak için kullanılmaktadır. Ayrıca Bursa Şehir Hastanesi projesi sürecinde peyzajda ortaya çıkacağı ön görülen problemler saha uygulaması öncesinde sanal gerçeklik teknolojisi kullanımıyla çözülmüştür. 285.000 metrekare alana sahip Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi projesi de bu süreçlerle yürütülmüş, çakışma tespitleri ve koordinasyon yapı bilgi modellemesiyle gerçekleştirilmiştir. Rönesans Türkiye İnşaat Grubu YBM Müdürü Alev Yalçınkaya proje süreçlerinde ihtiyaca göre detay seviyesinin artırılması gerektiğini, çakışma tespitleri yapılırken etaplara ayrılarak ilerletilmesini ve sıfır çakışmayı hedeflemek yerine minimumu hedeflemek gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca proje süreçlerinde tek bir program kullanmak yerine ihtiyacı karşılayan programların kullanılmasını ve IFC formatıyla verimli veri aktarımları yapılmasını tavsiye etmiştir (Yalçınkaya, 2019).

Dudullu-Bostancı Metro Hattı projesi, “Yenilikçi Yeraltı Alanı Konsepti” kategorisinde üç finalistinden biri olmuştur. Projenin YBM Yöneticisi Damla Altındal Türkeri projenin modelleme kısmına geçmeden önce YBM uygulama planını detaylı bir şekilde yaptıklarını, her adımın planlandıktan sonra projenin çizim aşamasına geçildiğini ifade etmiştir. Saha imalatları modellere kaydedilerek haftalık ve aylık raporlar idareye ve müşavire sunulmuştur. Yapı bilgi modelleri kalite, zaman, maliyet yönetiminde kullanılmış, projede çakışmalar sahada uygulama başlamadan tespit edilmiştir. İş programının kontrolü yapılırken planlanan ve gerçekleşen ilerleme karşılaştırılmış, planlandığı gibi ilerleyen bir süreç olduğu tespit edilmiştir. Proje süreçlerinde ihtiyaç duyulan uygulamaların yazılım şirketleriyle görüşülmesi sonucu karşılıklı fayda elde edilmiştir. Dudullu-Bostancı Metro Hattı projesinde yapı bilgi modellemesi kullanımıyla; interdisipliner tasarım ve uygulamalarda çakışmalar ve anlaşmazlıklar en aza indirgenmiş, gerçekçi planlama ve maliyet analizleri ile optimum kar elde edilmiş, kurum içi ve fason tasarım

verimliliği en üst düzeye çıkmış, hatalı imalat riski en aza indirgenmiş, imalat gecikmelerinin önüne geçilmiş ve iş programının doğruluğu süreç boyunca kontrol edilebilir olmuştur (Altındal Türkeri, 2019).

2014 yılında İBB tarafından YBM teknolojisi altyapı projelerine dahil edilmiş, 2016 yılından itibaren proje ve yapım işleri YBM süreçleri ile yönetilmeye başlanmıştır. Dudullu-Bostancı Metro Hattı projesi Paris’te “International Tunnelling And Underground Space Association 2017” tarafından düzenlenen Yenilikçi Yeraltı Alanı Tasarımı yarışmasında; Kabataş-Mahmutbey Metro Hattı projesi MMİ (AEC) Mükemmellik Ödülleri 2017’de altyapı kategorisinde; Ataköy-İkitelli Metro Hattı projesi MMİ (AEC) Mükemmellik Ödülleri 2018’de altyapı kategorisinde ve Göztepe-Ataşehir Ümraniye Metro Hattı projesi MMİ (AEC) Mükemmellik Ödülleri 2019 altyapı kategorisinde finalist olmuştur (Öner, 2019). Projelerin uluslararası ölçekteki bu başarıları Türk inşaat sektörünün bu süreçleri başarıyla yürütecek altyapıya ve bilgiye sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmanın bu bölümünde Türkiye’deki uygulamalar ele alınmakla birlikte büyük ölçekli Türk firmalarının yurtdışında gerçekleştirdiği başarılı YBM uygulamaları da mevcuttur. Elde edilen bu başarılar, üstyapı projelerinin şartnamelerinde YBM süreçlerinin yer alması ve kamu projelerinde de zorunlu hale getirilmesi ile üst yapı projelerinde de uluslararası başarılar yakalanabileceğini göstermektedir.

### 3.2. YAPILAN GÖRÜŞMELERDEN ELDE EDİLEN VERİLER

Araştırmanın bu bölümünde veriler yarı yapılandırılmış görüşme yöntemiyle elde edilmiştir. Yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeler, nitel araştırma için en yaygın kullanılan görüşme formatıdır ve bir bireyle veya gruplar halinde gerçekleştirilebilmektedir (DiCicco-Bloom & Crabtree, 2006). Yarı yapılandırılmış görüşmeler görüşme esnasında daha esnek bir yaklaşım sunmakta ve bu esneklik görüşülen kişi tarafından gündeme getirilen konular hakkında da veri toplamayı sağlamaktadır (Ryan et al., 2009).

Çalışma aşağıdaki amaçlar doğrultusunda şekillendirilmiştir:

- 1) Yapı bilgi modellemesi süreçlerinin saha uygulamalarına sağladığı katkıyı tespit etmek.
- 2) Sahada yapı bilgi modellerine hangi teknolojilerle ulaşıldığını ve dijitalleşme sürecinin yapı sektörüne sağlayacağı ileriye dönük uygulamaları ele almak.
- 3) Türkiye'deki YBM uygulamalarının mevcut durumunu sürecin içerisinde aktif olarak yer alan uzman görüşleriyle incelemek.

Araştırmanın hedefleri doğrultusunda görüşme talebi yapılacak katılımcılar belirlenmiştir. Görüşme talebi yapılan katılımcılar, saha uygulamalarında aktif olarak üretime dahil olan, alanında tecrübeli ve farklı disiplinleri temsil eden uzmanlardan seçilmiştir. Amaç çok paydaşlı inşaat uygulamalarında hangi disiplinin hangi alanda daha çok fayda elde ettiklerini ve bu sürecin paydaşlar arası iletişime olan katkısını araştırmaktır. Katılımcılara profesyonel iş ağı platformundan ulaşılmıştır. Toplamda on profesyonelle görüşme talebinde bulunulmuş, beş profesyonel olumlu dönüş yapmıştır.

Araştırmaya dahil olan katılımcılar; yüklenici, alt yüklenici, müşavir, mimarlık-mühendislik ve eğitim-danışmanlık firmalarını temsil eden uzmanlardır (**Çizelge 3.6**). Katılımcıların üçü mühendis, ikisi mimar olmak üzere; iki katılımcının sektördeki deneyimi 10-15 yıl, diğer katılımcıların deneyimleri 5-10 yıl, 15-20 yıl ve 20-25 yıldır. Katılımcılardan ilki YBM direktörü, ikisinin pozisyonu YBM yöneticisi olmakla beraber biri danışman ve bir diğeri de YBM uzmanıdır. Katılımcıların her biri YBM ile en az beş yıldır çalışmaktadır. Aynı zamanda aktif olarak yurtdışında da YBM projelerinde yer almışlardır.

**Çizelge 3.6** Görüş belirten katılımcılar hakkında bilgi

<b>Katılımcı</b>	<b>Firma Türü</b>	<b>Pozisyon</b>	<b>Meslek</b>	<b>Tecrübe</b>
#A	Yüklenici	YBM Direktörü	Mühendis	20-25
#B	Alt Yüklenici	YBM Yöneticisi	Mühendis	10-15
#C	Müşavir	YBM Yöneticisi	Mimar	10-15
#D	Mimarlık ve Mühendislik	YBM Uzmanı	Mühendis	5-10
#E	Danışmanlık ve Eğitim	YBM Danışmanı	Mimar	15-20

Yapılan tüm kaynak (makale, tez, internet, rapor vb.) taramalarının sonucunda görüşme yapmak üzere sorular hazırlanmıştır (**Çizelge 3.7**). Görüşmeler görüntülü veya sesli çevrimiçi toplantılar şeklinde yapılmış, 45 ile 75 dakika arasında sürmüştür. Katılımcıların izniyle toplantılar kayıt altına alınmıştır. Sorular ilk defa görüşme sırasında sorulmuş, görüşme yapılırken ilgili sorular katılımcının temsil ettiği paydaşa veya pozisyona göre şekillendirilmiştir. Görüşmeler sonucu elde edilen veriler amaçlar doğrultusunda kategorize edilmiştir.

**Çizelge 3.7 Görüşme soruları**

Amaçlar	Sorular
Yapı bilgi modellemesi süreçlerinin saha uygulamalarına sağladığı katkıyı tespit etmek.	<ul style="list-style-type: none"><li>•Yapı bilgi modellemesinin saha uygulamalarına sağladığı faydalar nelerdir?</li><li>•En çok verim aldığınız kullanım alanı nedir?</li><li>•İş sağlığı ve güvenliği konusunda YBM uygulamalarını kullanmayı düşündünüz mü?</li></ul>
Sahada yapı bilgi modeline hangi teknolojilerle ulaşıldığını ve dijitalleşme sürecinin yapı sektörüne sağlayacağı ileriye dönük uygulamaları ele almak.	<ul style="list-style-type: none"><li>•Şantiyede bilgiyi doğru ve hızlı aktarmak için hangi teknolojileri kullanıyorsunuz?</li><li>•Herhangi bir projenizde sanal gerçeklik ya da arttırılmış gerçeklik teknolojisini kullandınız mı?</li><li>•Saha personeline güvenlik eğitimi verirken VR ortamını kullanmak hakkında ne düşünüyorsunuz?</li><li>•Lazer tarama teknolojisinin kullanımının fayda ve zorlukları nelerdir?</li><li>•Robotik üretimi deneyimlediğiniz bir proje oldu mu?</li><li>•Türkiye’deki teknolojik ilerlemeler hakkında ne düşünüyorsunuz?</li><li>•İleriye yönelik kullanmayı düşündüğünüz teknolojiler nelerdir?</li></ul>
Türkiye’deki YBM uygulamalarının mevcut durumunu araştırmak.	<ul style="list-style-type: none"><li>•Firmanız kaç yıldır YBM süreçleriyle projeleri yürütüyor?</li><li>•YBM süreçlerine geçişteki etken faktör ne oldu?</li><li>•Geçiş sürecinde nasıl engellerle karşılaştınız?</li><li>•Yurtdışında dahil olduğunuz projelerle Türkiye’deki projeleri karşılaştırdığınızda ülkemizde öne çıkan ve geride kalan alanlar nelerdir?</li><li>•Türkiye’nin mevcut durumu hakkında yorumlarınız nelerdir?</li><li>•YBM süreçlerini iyileştirmek için herhangi bir öneriniz var mı?</li></ul>

### **Amaç 1 Doğrultusunda Elde Edilen Veriler**

Katılımcıların her biri farklı paydaşları temsil ettiği için YBM’nin süreçlerine olan katkısı ortak noktalarda buluşmakla beraber katılımcılara en çok sağladığı fayda değişkenlik gösterebilmektedir. A katılımcısı YBM süreçlerinden faydalanırken en büyük katkıyı risk yönetiminde elde ettiklerini ifade etmiştir. Tasarım değişikliklerinin ve belirsizliklerinin sahadaki süreç başlamadan modelde

öngörülebilir olmasının süreçleri netleştirdiğini ve çakışma analizleriyle oluşabilecek hataların önüne geçtiklerini belirtmiştir. Yüklenici firma olarak tasarım firmasıyla iş birliği sağlayabildiklerini ve bu durumun zaman ve maliyet karı olarak döndüğünü ifade etmiştir. Ortak veri ortamının bilgi yönetimini de güçlendirdiğini, sahadaki verilerin saatlik olarak güncellenebildiğini ve saha dışı birimlerin mevcut durumdan haberdar olabildiğini vurgulamıştır. B katılımcısı revizyonlarının takip edilebilmesinin sahada doğru bilgi erişimine oldukça fayda sağladığını, hangi versiyonun güncel olduğunu takip edilebildiğini ve önceki versiyonlara da kolaylıkla erişilebileceğini vurgulamıştır. Ortak veri ortamı sayesinde dosya paylaşımının ortadan kalktığını herkesin zaten dosyaya sahip olduğunu belirtmiştir. Bahsedilen başka bir fayda da projelerin uluslararası yürütülebilmesidir. Dünyanın her yerinde sadece internetle veri ulaşılabilir kılınmaktadır. C katılımcısı da benzer görüşte olmakla birlikte sahayla olan güçlü iletişimin yapım sürecine ve projeye oldukça katkı sağladığını belirtmiştir. Kesin proje aşamasında birim fiyatın dışına çıkmadan yapılabilen tasarım değişikliklerinin de mali bir avantaj sağladığı ve karar süreçlerinin hızlandığı görüşündedir. Ayrıca iş birliği içinde herkesin aynı dili konuşmasının (standartlaşmış dosya isimleri, belirli detay seviyeleri gibi) proje verimliliğini arttırdığını ifade etmiştir. B ve D katılımcısı doküman yönetimine olan katkılardan bahsetmiş, veri akışındaki doğruluğun en büyük faydalardan olduğunu belirtmişlerdir. B katılımcısı saha denetiminin daha doğru ve hızlı yapılabildiğini de vurgulamıştır. Yapılan iş atamaları ve yazışmaların ortak veri ortamında kayıtlı olmasının da sürecin şeffaf yürütülmesine katkıda bulunduğunu belirtmiştir. Bu konu hakkında A katılımcısı da sahadaki raporlamaların ve tarihlerin önemini vurgulamış, iş takibinin çok daha doğru yapıldığını, herhangi bir gecikme ya da yanlış olduğunda mesul tarafın tespit edilebildiğini ifade etmiştir. D katılımcısı tüm bu faydalara ek olarak inşaat ortamının riskli doğasının ve kalabalık ekiplerin varlığının kimin nerede olduğunu takip etmeyi gerektirdiğini, iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan çalışmaların arttırılması gerektiğini belirtmiştir. E katılımcısına göre, yapı bilgi modellemesi en önemli faydayı zamana bağlı parametrelerde sağlamaktadır. Zamanda elde edilen kar ile iş gücü de azaltmakta bu da mali kazanç olarak geri dönmektedir. Doküman yönetiminde de oldukça fayda sağlamakta, ofisle saha arasındaki iletişim güçlenmektedir. Sahada oluşabilecek imalat hataları modelde

öngörülebilmektedir. Kalite yönetimini de oldukça kolaylaştırmakta ve hızlandırmaktadır.

Veri kayıpları ve paydaşlar arası anlaşmazlığın inşaat sektörünü zarara uğrattığı, birlikte çalışılabilirliğin başarıyı getirebilecek anahtar kelimelerden olduğu tüm katılımcılar tarafından ifade edilmiştir. YBM'nin inşaattaki iş kültürünü değiştirdiği, projedeki bilgi akışlarının hız kazandığı belirtilmiştir. Katılımcıların ortak fikri, yapı bilgi modellemesinin süreçleri optimize ettiği ve veri yönetimine katkı sağladığıdır. Projenin erken tasarım aşamasından yıkımına kadar olan yaşam döngüsü boyunca üretilen bilgi kullanılabilirlikte ve süreç boyunca tüm paydaşlar veriye doğru ve hızlı bir şekilde ulaşabilmektedir. Güçlü bir iş birliğinin projenin başarısında en önemli faktörlerden olduğu vurgulanmıştır.

## **Amaç 2 Doğrultusunda Elde Edilen Veriler**

Katılımcıların tümü mobil cihazlarla verinin sahaya ulaştırıldığını ifade etmiştir. Bu cihazların akıllı telefonlar ve tabletler olduğunu ifade etmişlerdir. Sahada kare kodların cihazlara okutulmasıyla üç boyutlu modele hızlı erişim sağlanan uygulamalar da mevcuttur. Verilerinin bulut teknolojisiyle depolandığı, tüm paydaşların güncel veriye ulaşabildiği belirtilmiştir. A katılımcısı bulut tabanlı hibrit dosyalarla çalıştıklarını, sahada internetin olmadığı durumlarda da verilerin görüntülenebildiğini ifade etmiştir. Ayrıca işverenin isteğine bağlı olarak saha takibinde lazer tarama teknolojisini aktif olarak kullandıklarını belirtmiştir. B katılımcısı dosya yüklerinden dolayı modelleri parçalayarak görüntülediklerini belirtmiştir. E katılımcısı projelerde yatırımcının mali durumuna göre süreçte kullandıkları teknolojilerin değişiklik gösterdiğini belirtmiş, sahada tablet kullanımının en yaygın proje görüntüleme teknolojisi olduğunu ifade etmiştir. A, C ve E katılımcısı sanal gerçeklik teknolojilerinden de faydalanmaktadır. A katılımcısı henüz tamamlamadıkları projede kiralanacak alanların müşteriye sunumu için kullandıklarını belirtirken, C katılımcısı çakışma durumlarının görselleştirilerek üretimden önce raporlamak ve süreci iyileştirmek için kullandıklarını ifade etmektedir. E katılımcısı ise iş güvenliği alanında eğitimler için kullanmaktadır. VR gözlüklere aktardıkları yapı modeliyle sahadaki personelin hangi tehlikelerle

karşılaşacağını gösterdiklerini, düşme senaryolarıyla eğitim verdiklerini, sahadaki riskli bölgeler hakkında personeli bilgilendirdiklerini ifade etmiştir.

İleriye yönelik teknolojiler hakkında A katılımcısı, dijitalleşmeyle birlikte bu teknolojilerin geliştiğinin ve giderek öngöremediğimiz imkanlar sağlayacağını ifade ederken, dijitalleşmede en önemli noktanın veri üreten ve veri kullanan teknolojiler olduğunu belirtmiştir. B katılımcısı yapı bilgi modellerinin teknolojiler için verimli bir altyapı sağladığını, birçok dijital teknolojinin bu modellere entegre olduğunu ve gelecek teknolojilere de zemin hazırladığını ifade etmiştir. D katılımcısı prefabrik üretimin YBM ile artabileceğini, sahada üretimin azalmasıyla zaman kazanmak, iş gücünün azalması, mali karlar gibi kazançlar elde edilebileceğini söylemiştir. Bu durumun yaygınlaşması için ise proje yapış biçimlerinde birtakım değişiklikler olması gerektiğini belirtmiştir. Bu değişikliklerin ilkinin projedeki ana kararların sürecin başında alınması ve tasarıma yönelik değişikliklerin sürece uygun ilerlemesi olduğunu ifade etmiştir. Robotik kollar ve robotların yakın gelecekte şantiyede yaygınlaşacağını belirten E katılımcısı, yapay zekanın, nesnelerin internetinin de projelerin bir parçası haline geleceğini öngörmektedir.

### **Amaç 3 Doğrultusunda Elde Edilen Veriler**

A katılımcısı dahil oldukları projenin şartnamesinde yer almasıyla, 2011 yılında YBM süreçlerine dahil olduklarını, başladıkları yıllarda teknolojik altyapının yetersizliği, yazılım ve donanım eksikliklerinden dolayı zorluk yaşadıklarını belirtmiştir. Yetmiş personel eksikliğinin ise hala bir sorun olduğunu, konu hakkında işverenlerin ve personelin farkındalığının artması gerektiğini ifade etmiştir. İş verenlerin isteksizliğinin yaptıkları yatırımı risk olarak görmelerinden kaynaklandığından bahsetmiştir. B katılımcısı yapı bilgi modellemesini insan, teknoloji ve süreç çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini, zorlukların en büyük kaynağının sosyolojik direnç olduğunu ifade etmiştir. Günümüz şartlarında kaynakların ulaşılabilir, yazılımların gelişmiş ve hala gelişmekte olduğunu önemli olan noktanın insanların sürece dahil olması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca sektörel eğitimin devam etmesi teknolojinin sürekli gelişen hızına ayak uydurmak için önemli noktalardandır. C katılımcısı tasarım ofislerinin süreçlere daha çok dahil olduğunu fakat bu sürecin proje başarısını getirmesi için yapı yaşam döngüsü



boyunca tüm paydaşların dahil olması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca modele aktarılan bilgilerin sahada kullanılabilmesinin başarıyı etkileyen kilit noktalardan olduğunu belirtmiştir. 2016 yılından beri danışmanlık hizmeti veren E katılımcısı, 2016-2018 yılları arasında Türkiye’de inşaat sektörünün geleneksel proje yönetiminden dijital süreçlere geçme eğiliminin arttığını belirtmiştir. Şimdiye kadar 136 firmaya YBM danışmanlığı verdiklerini, danışmanlık hizmeti isteyen firmaların yüzde ellisinin mimarlık firması, yüzde otuzunun müteahhit firma, yüzde on beşinin mekanik hizmet veren firma ve yüzde beşinin ise elektrik hizmeti veren firma olduğunu ifade etmiştir. Müteahhit firmaların dahil oldukları projelerin şartnamelerinde YBM’nin yer almasıyla danışmanlık hizmeti almak istediklerini, mimarlık ve mühendislik ofislerinin ise genellikle kendi tercihleriyle bu dönüşüme dahil olmak istediklerini belirtmiştir. E katılımcısı Türkiye’de YBM süreçlerinin önündeki engelleri; prosedürler, yetkin personel eksikliği, zaman ve maliyet olarak dört ana başlıkta kategorize etmiştir. YBM kültürünü benimsemek için danışmanlık alan bazı firmaların mali nedenlerden dolayı geçiş sürecini tamamlayamadıklarını belirtmiştir. Personel ücretleri, yazılım ve donanım maliyetlerinin firmaların önündeki mali engeller olduğunu ifade edilmiştir.

A katılımcısı Türkiye’de standartların oluşturulduğunu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulaştırma Bakanlığı ve İBB ile bu konu hakkında görüşmelerin yapıldığı ve kamunun standartlara dahil olması için yapılan çalışmalar olduğundan bahsetmiştir. B katılımcısı Türkiye’de alt yapı projelerinde YBM süreçlerinin zorunlu hale gelmesinin tüm paydaşların aynı sisteme dahil olmasını sağladığını ve projenin ilk aşamasından itibaren kararların ve isteklerin belirli olmasıyla proje başarısının arttığını ifade etmiştir. Türkiye’nin dünya ülkelerine kıyasla Ar-Ge faaliyetlerinin daha zayıf olduğunu belirten D katılımcısı, bu gibi teknolojilerin adaptasyon sürecine ihtiyaç duyduğunu fakat yapılan yatırımının ilerleyen safhalarda olumlu sonuçlanacağını ifade etmiştir. Ayrıca Türkiye’de YBM süreçlerine en hızlı dahil olan firmaların yurtdışında özellikle orta doğuda çalışan yükleniciler olduğunu belirtmiştir. Türkiye’deki firmaların dijitalleşme sürecinde iki kategoriye ayrıldığını, bazı firmaların inovatif yaklaşım sergilerken diğer firmaların geleneksel yöntemlerden uzaklaşmayı tercih etmediklerinden bahsetmiştir. E katılımcısı Türk

mühendis ve mimarlarının teknolojik gelişimlere ilgili ve hevesli olduğunu ifade etmiş, genç nüfusun varlığının dünya ülkelerine göre ciddi bir avantaj olduğunu belirtmiştir.

### **Katılımcıların Önerileri**

A katılımcısı YBM'nin yaygınlaşması için talep yaratılması gerektiğini, bilinçli işverenlerin artması gerektiğini belirtmiştir. Proje süreçlerinde doğru tarif ve doğru dilin anahtar kelimelerden olduğunu, anlayış eksikliğinin varlığını ve standartlarla bu durumlara net bir tarifin getirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Standartların tek başına yeterli olmayacağını fakat iyi bir başlangıç olacağını, firmaların bilgi ve görgüsünün de süreçleri ileri taşıyabileceğini vurgulamıştır. Son üç projeyi kağıtsız tamamladıklarını, sadece kapak yazılarının hazırlanmasının milyonlarca dolara denk geldiğini ve bu durumun ortadan kalkmasıyla bile bu teknoloji yatırımlarının maliyetini karşıladığını belirtmiştir. İş verenlerin kazanımlarını hesap etmesi gerektiğini YBM ile yaptıkları yatırımın karşılığını almakla kalmayıp birçok alanda ciddi karlar elde edebileceklerini ifade etmiştir. B katılımcısı sahadaki personelin modellenen verileri kullanabilmesi gerektiğinin, personelin bu konuda teşvik edilmesi ve eğitilmesi gerektiğinin altını çizmiştir. Tek bir yazılımla problemlerin hepsinin çözülmeyeceğini, ihtiyaca göre ve birlikte çalışabilen yazılımların tercih edilmesi gerektiğini belirtmiştir. C katılımcısı YBM'nin yaygınlaşması için en önemli itici gücün şartnameler olduğunu ifade etmiştir. İnşaat firmalarının verimlerini arttırmaları için iyi bir teknoloji ve süreç olduğunu, rekabet avantajı elde edeceklerini belirtmiştir. Geçiş sürecinin zamana ihtiyacı olduğunu ama istek olduğu noktada başarı elde edeceklerini vurgulamıştır. Ayrıca başarılı bir sürecin tüm paydaşların ortak katılımı ve iş birliğiyle gerçekleşebileceğinin altını çizmiştir. D katılımcısı görselleştirme sektörünün önde gelen bazı oyun motoru şirketlerinin yapı sektörüne katkı sağladığını, yazılım merakı olan uzmanların inşaat sektörüne olan ilgisinin arttırılarak alandaki ihtiyacın karşılanması gerektiğini önermiştir. Sektörün YBM teknolojilerini geliştirecek, yazılımları güçlendirecek uzmanlara ihtiyacı olduğunu belirtmiştir. E katılımcısı üniversite müfredatlarına YBM eğitiminin dahil edilmesi gerektiğini, sadece teorik bilginin değil uygulama bilgisinin de verilmesi gerektiğini belirtmiştir. Piyasada

ciddi bir uzman eksikliği olduğunu, bu durumun mühendis ve mimarların farkındalığının artması ve eğitimle ortadan kalkabileceğini ifade etmiştir.

Katılımcıların ortak fikri süreçlerin yaygınlaşması için işverenin teşvik edilmesi gerektiğidir. Ayrıca her katılımcı YBM'nin iş yapış biçimini değiştiren, geliştiren ve zamana ihtiyacı olan bir süreç olduğunu, inşaat sektörünün ilerleyen dönemlerde evrileceğini vurgulamıştır. Bu değişimle beraber entegre olabilen firmaların rekabet avantajı sağlayacağını, işlerinin verimlerinin artacağını vurgulamışlardır. Üniversite eğitimine YBM süreçlerinin dahil edilmesi de üzerinde durulan bir diğer önemli konudur. Ayrıca firma içi sektörel eğitimlerin de mevcut personele değer katacağını belirtilmiştir.

### 3.3. BULGULARIN TARTIŞILMASI

Yapı bilgi modellemesi inşaat sektörünün iş yapış biçimini değiştiren, dijitalleştiren ve geliştiren bir süreçtir. YBM, yapıların tasarım, yapım ve işletme evrelerini kapsayan yaşam döngüsü boyunca bilgi akışının doğru ve eksiksiz gerçekleşmesini hedeflemektedir. Yapı bilgi modellemesi entegre bir süreç sağlamakla beraber proje evrelerine sağladığı fayda ve zorluklar değişkenlik göstermektedir. Çalışmanın bu bölümünde projenin yapım evresinde yer alan katılımcılarla gerçekleştirilmiş görüşmelerden elde edilen veriler, literatürde tespit edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Yapı bilgi modellemesinin yapım sürecine sağladığı faydalar **Çizelge 3.8**'te önündeki engeller ise **Çizelge 3.9**'da listelenmiştir.

**Çizelge 3.8** Yapı bilgi modellemesinin yapım sürecine sağladığı faydalar.

YBM'nin Yapım Sürecinde Sağladığı Faydalar	Toplam	#A	#B	#C	#D	#E	(Chiu & Lai, 2020)	(Koseoglu ve diğerleri., 2019)	(Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019)	(Tekin & Atabay, 2019)	(Liu S. ve diğerleri., 2015)	(Eadie ve diğerleri., 2013)	(Azhar ve diğerleri., 2012)
Tasarımın daha iyi anlaşılması	9		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Çakışmaların erken tespiti	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Karar süreçlerinde iyileşme	6		✓	✓	✓		✓		✓				✓
Kolay iş takibi	11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Kalite ve kontrolde verim	10	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Planlamada doğruluk	7	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓			
Daha iyi iletişim ve koordinasyon	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Paydaşlar arası iş birliği	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Güvenlik performansını artırma	3				✓	✓	✓						
İş tekrarlarının azalması	7	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓		
Maliyet kazancı	8	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Başarılı bir proje yönetimi	9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Proje süresinde azalma	6				✓		✓		✓	✓	✓		✓
Tasarım – yapım süreç iş birliği	5	✓		✓			✓	✓			✓		
İş veren ile doğru iletişim kurma	4	✓					✓		✓			✓	

**Çizelge 3.9** Yapı bilgi modellemesinin önündeki engeller.

YBM'nin Önündeki Engeller	Toplam	#A	#B	#C	#D	#E	(Chiu & Lai, 2020)	(Koseoglu ve diğerleri., 2019)	(Chan D. W. M. ve diğerleri., 2019)	(Tekin & Atabay, 2019)	(Liu S. ve diğerleri., 2015)	(Eadie ve diğerleri., 2013)	(Azhar ve diğerleri., 2012)
İş veren talebinin yetersizliği	8	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓
Sosyolojik direnç	11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Farkındalığın yeterli olmaması	7	✓	✓			✓		✓			✓	✓	✓
Uzman personelin eksikliği	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yatırım maliyeti	9		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Donanım ve yazılımda yetersizlik	7	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓		
Adaptasyon için zaman ihtiyacı	5	✓			✓	✓	✓			✓			
Veri güvenliği endişeleri	4		✓		✓				✓			✓	
Eğitimlerin yetersiz oluşu	7	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		
Yazılımlar arası iş birliğinin yetersizliği	1								✓				
Devlet desteğinin yetersizliği	5			✓			✓	✓	✓			✓	
Yasal sorunlar	5		✓		✓						✓	✓	✓
Standartların eksikliği	6					✓	✓		✓	✓	✓		✓
Süreçlerin karmaşıklığı	5		✓				✓	✓	✓	✓			

Yapılan görüşmelerle literatür taramasından elde edilen veriler karşılaştırıldığında benzer faydalar tespit edilmiştir. Ancak öne çıkan bazı alanlar vardır. YBM'nin yapım evresinde daha iyi iletişim ve koordinasyon sağladığı ve paydaşlar arası iş birliğini güçlendirdiği ortak fikirdir. Ortak veri ortamı sistemi bu

faydaların öne çıkmasında kilit bir uygulamadır. Projenin tasarım aşamasından itibaren disiplinler arası iş birliğiyle yürütülmesi sahada oluşabilecek çakışmaların erken tespitini sağlamakta ve saha yükünü ciddi anlamda azaltmaktadır. Bir diğer öne çıkan fayda ise kolay iş takibi ve kalite kontrolde verim elde edilmiştir. Şantiyenin üretim hızı yüksek, kalabalık ekiplerle aynı anda farklı bölgelerde birçok faaliyetin gerçekleştiği bir ortam olduğu dikkate alındığında bu faydalar göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Projenin toplam başarısına katkı sağladığı hem literatürde yer alan hem de katılımcılar tarafından belirtilen faydalardandır. Şantiyede üretim yapan ekibin teknik çizimlerden projeyi yeteri kadar anlayamadığı, üç boyutlu model aracılığıyla ifade edildiğinde daha sağlıklı bir iletişim kurulduğu ifade edilen bir başka konudur. Yapı bilgi modellemesinin karar süreçlerinde iyileşme sağladığı, planlamadaki doğruluğu artırdığı, iş tekrarlarının azalmasını sağladığı, toplam proje süresine olumlu yönde etki ettiği ve maliyette kazanç sağladığı tespit edilmiştir. Yapım sürecinde bir takım tasarım değişiklikleri gerçekleşebilmektedir. Bu noktada yapı bilgi modellemesiyle çalışılması tasarım değişikliklerinde meydana gelebilecek her türlü olumsuzluğu minimuma indirmeyi sağlar. İş verenin proje süreçlerine hâkim olmak istemesi şantiyede raporlamanın doğru ve hızlı yapılmasını gerektirmektedir. YBM süreçleri dokümantasyona oldukça katkı sağlamaktadır. Proje işleyişinin sürekli güncel tutulmasıyla taraflar arası iletişim güçlenmektedir. Yapı bilgi modellemesinin güvenlik performansını artırdığı faydalar arasında yer almakla beraber bu konudaki çalışmaların ve araştırmaların yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Yapı bilgi modellemesinin önündeki engeller ele alındığında en önemli faktörün uzman personel eksikliği olduğu tespit edilmiştir. Bu engel YBM süreçlerinin en başından beri süregelen ve dünya çapında bir problemdir. Bir diğer önemli engel ise sosyolojik dirençtir. Sektör paydaşları mevcut sistemlerinde çalışmaya devam etmek istemektedir. Kalabalık ekiplerin varlığı da bu direnci arttıran faktörlerdendir. Ayrıca sistem değişikliği yatırım ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. İhtiyacı karşılayan yazılım ve donanımların maliyeti oldukça yüksektir. Bir diğer konu ise bu donanım ve yazılımların bazı noktalarda yetersiz kalmasıdır. İnşaat projelerinde yapı bilgi modellemesi süreçlerinin projeye dahil

olması işverenin isteğiyle gerçekleşmektedir. İş verenlerin ve sektörün farkındalığının yeterli olmaması, eğitimlerin eksikliği ve yetersizliği YBM'ye geçişin önündeki diğer önemli engellerdendir. Hem literatürde hem de görüşmelerde tespit edilen diğer engeller; adaptasyon için zaman ihtiyacı, devlet desteğinin yetersizliği, standartların eksikliği, süreçlerin karmaşıklığı, yasal sorunlar, veri güvenliği endişeleri ve yazılımlar arası iş birliğinin yetersiz oluşudur.

Yapılan görüşmelerde literatürde tespit edilen yapı bilgi modellemesine entegre teknolojiler hakkında sorular sorulmuş, bu teknolojilerden bulut bilişim ve mobil cihazların aktif olarak kullanıldığı, lazer tarama teknolojisinin maliyeti ve iş yükünden ötürü işverenin isteğine bağlı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojisinin yurtdışı projelerinde sahada özellikle imalat takibi ve raporlamada kullanıldığı ancak Türkiye'de bu teknolojilerin tasarım uyumsuzluğunu tespit etme, müşteriye proje önizlemesi sunma gibi alanlarda kullanıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca katılımcılar robotik üretimi mevcut uygulamalarda kullanmadıklarını fakat gelecek zaman içerisinde yaygınlaşabileceğini belirtmişlerdir. Katılımcılar inşaat sektörünün dijitalleşme süreçlerinde ivme kazanacağını düşünmekte, gelecek diğer teknolojiler için yapı bilgi modellemesinin iyi bir teknolojik altyapı sunduğunu belirtmektedir.

Yapı bilgi modellemesinin Türkiye'de kullanımına yönelik literatürde bazı çalışmalar vardır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak YBM süreçlerinin faydaları ve önündeki engellerle ilgilidir. Aynı zamanda süreçlere geçiş için yol haritası oluşturmayı hedefleyen çalışmalar da mevcuttur. Işıkdag ve diğerleri., (2009) inşaat sektöründe bilgi iletişim teknolojilerini araştırmış, yapı bilgi modellemesi ile proje yönetiminde verimin artacağını, iletişim ve iş birliğinin önündeki engellere çözüm olabileceğini ifade etmiştir. Özorhon ve Karahan, (2016) Türkiye'deki kamu ve özel sektör çalışanlarına düzenledikleri anketle yapı bilgi modellemesi uygulamalarının kritik başarı faktörlerini araştırmıştır. Elde ettikleri verilere göre başarının birincil kaynakları; insan, teknik, teknolojik ve mali kaynaklardır. Aladag, Demirdögen ve Isık, (2016) altı katılımcıdan oluşan odak grup tartışması yöntemiyle Türkiye'de inşaat şirketlerini YBM kullanımına yönlendiren itici güçleri ve benimsenmesinin önündeki engelleri tespit etmeyi amaçlamıştır. Öktem ve Ergen, (2017) sundukları

çerçevede YBM süreçlerine geçiş yapmak isteyen firmaların daha kolay adapte olmalarını ve fayda elde etmelerini hedefleyen bir kılavuz oluşturmuştur. Özorhon, Karahan ve Çağlayan, (2017) literatür taraması yapmış, elde ettikleri verileri; yapı bilgi modellemesi uygulamaları için itici güçler, engeller, kolaylaştırıcılar, girdiler, faydalar ve etkiler olmak üzere altı kategoriye ayırmıştır. Kalfa, (2018) YBM süreçlerinin sektör için faydalarını, risklerini ve zorluklarını araştırmış, dünyadaki ve Türkiye'deki uygulamaları incelemiştir. Köseoğlu, Sakin ve Arayıcı (2018), YBM ve yalın üretim stratejilerinin arasındaki sinerjiyi vaka çalışması olarak belirledikleri İstanbul Yeni Havalimanı projesinde analiz etmiştir. YBM ve yalın üretimin entegrasyonunu tasarım ve mühendisliğe sağladığı katkılar ve inşaat yönetimine sağladığı katkılar olmak üzere iki ana başlıkta değerlendirmiştir. Ademci ve Gundes, (2018) mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde YBM teknolojilerinin benimsenmesi ve uygulanmasında karşılaşılan zorlukları araştırmıştır. Tekin ve Atabay, (2019) Türk inşaat sektöründe başarılı YBM uygulamaları için yol haritası oluşturmayı hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda öncelikle 21'i Türkiye'den olmak üzere 36 görüşme gerçekleştirilmiş, Türkiye'de YBM uygulamalarının SWOT (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler) analizi yapılmıştır. Daha sonra dünya çapında başarılı YBM uygulamaları incelenmiş, analizler doğrultusunda yol haritası önerilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde vaka çalışması üzerinden süreçleri ele alan çalışmalar oldukça azdır. Türkiye'de yapı bilgi modellemesi süreçlerine dahil olan proje sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Uygulanan bu projeler çeşitli platformlarda sürece dahil olan uzmanlarca sunulmaktadır. Fakat projeler hakkında yazılan makale sayısı yeterli değildir. Süreçlerden elde edilen faydaların projeler üzerinden değerlendirilmesi YBM'nin anlaşılması ve uygulanmaya teşvik edilmesi için oldukça önemlidir. Bu noktada başarı elde etmiş ya da engellerle karşılaşmış uygulama projeleri üzerinden yapılacak vaka çalışmalarının hem literatüre hem de sektöre fayda sağlayacağı öngörülmektedir.



## SONUÇ

Yapı bilgi modellemesinin literatürde farklı tanımları olmasıyla birlikte dijitalleşme bu tanımların ortak noktasıdır. Başarılı bir proje yönetiminin insan, teknoloji ve süreç iş birliğiyle gerçekleşebileceği ele alındığında, yapı bilgi modellemesi bu üç bileşeni bir araya getiren entegre bir sistemdir. Bu sistem yapı yaşam döngüsü boyunca veri üretmekte ve veriyi kullanmaktadır. Tasarım evresinde projeye yönelik birçok karar alınmakta ve bu bilgiler yapı bilgi modeline aktarılmaktadır. Bu çalışmanın odak noktası tasarım safhasında ofiste modellenen bilgilerin şantiye ortamına hangi yöntemler ve teknolojilerle ulaştığıdır. Bu bağlamda kavramsal yaklaşımlar ele alınmakla birlikte vaka çalışmaları içeren makale, yayın, rapor gibi kaynaklar ve sektör profesyonellerinin deneyimlerini paylaştığı örnek projeler üzerinden pratik uygulamalara yer verilmiştir. İnşaat sektörünün teknoloji eğilimleri araştırılmış, geleceğe yönelik yaklaşımlar ve Türkiye'deki durum değerlendirilmiştir.

Katılımcılardan elde edilen veriler ve sektör eğilimlerini ortaya koyan anketler incelendiğinde Türkiye'de yapı bilgi modeline geçen ve geçmek isteyen firmaların mimarlık ve mühendislik alanında hizmet veren tasarım firmaları olduğu dikkat çekmektedir. Fakat YBM sistemlerinin en ağır yükü tasarım ofislerindedir. Verilerin en yoğun işlendiği bu safhada geleneksel yöntemle kıyasla daha fazla efor sarf edilmesi gerekmektedir. Sahada oluşabilecek hataların bu safhada ön görülebilmesiyle çözülmesi gereken sorun sayısı artmaktadır. Sahadaki yükü mümkün olduğunca azaltan bu sistem yüklenici firmalar tarafından benimsenmeli ve sağladığı katkılardan faydalanılmalıdır. Yapılan çalışmada saha uygulamalarında yapı bilgi modellemesinin faydalarına odaklanılmıştır. Elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır:

- Paydaşlar arası veri aktarımının doğru ve hızlı yapılması sahada oluşabilecek olası çakışmalara engel olmaktadır. Bu sayede birçok hatanın önüne geçilebilmekte ve yeniden yapımı azaltmaktadır.

- İnşaat malzemelerinin ve iş sürecinin değerlendirilmesini kolaylaştırarak proje kalite değişkenlerini iyileştirmektedir.
- Saha personelinin, yüklenicilerin ve altyüklenicilerin sahada yaptığı uygulamalar takip edebilmekte ve kolayca yönlendirilebilmektedir.
- Revizyonların azalmasını sağlayarak zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesine katkıda bulunmaktadır.
- Geleneksel yöntemlere göre maliyet tahmininin ve kontrolünün doğruluğunu artırabilecek veriler üretebilmektedir.
- 4B YBM araçlarıyla projeye eklenen zaman verileri daha doğru planlama yapılmasını sağlamakta, ayrıca tüm yapı bileşenleri için malzeme siparişi, üretim ve teslimat programlarını koordine etmek için de etkili bir şekilde kullanılabilir.
- YBM sektördeki bilgi paylaşımı ve koordinasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Paylaşılan bu bilgileri yükleniciler ve alt yükleniciler inşaat faaliyetlerinin yerinde doğrulanması, yönlendirilmesi ve takibi için kullanabilmektedir.
- İnşaat projesinin programa göre veya programdan önce teslim edilmesi sağlanmaktadır.
- İş güvenliği analizleri model içeriğini ve ayrıntılarını güvenlik açısından kontrol edebilmekte ve iş güvenliği riskine neden olan koşulların tanınmasında rol almaktadır.
- Yapı bilgi modellemesini iş süreçlerine entegre etme ve uygulamaya yönelik bir organizasyon politikası veya stratejisi rekabet avantajlarını artırabilmektedir.
- Sahada kullanılan mobil cihazlar, sanal gerçeklik teknolojileri gibi dijital cihazlarla model görüntülenebilmekte ve bu sayede tasarımın daha iyi anlaşılması sağlanmaktadır.

Yapı bilgi modellemesinin yapı yaşam döngüsü boyunca birçok alanda fayda sağladığı ortadadır. Ancak önünde bazı engeller de vardır. Bunların başında işverenlerin farkındalığının yeterli seviye olmaması gelmektedir. Uzman eksikliği de hala süregelen bir problemdir. Projelerin erken tasarım aşamasından itibaren YBM ile yürütülmesi yapım sürecinde ortaya çıkabilecek yeniden yapım, çakışma gibi birçok problemin önüne geçer. Bu yapı yaşam döngüsünde, geleneksel yaklaşıma oranla tasarım safhasına daha çok iş yükü getirmektedir. Fakat bu eforun toplam proje başarısına katkı sağlayacağı göz ardı edilmemelidir. Süreçlerde meydana gelen bu değişiklikler sosyolojik dirençle karşılaşılmasına da neden olmaktadır. Özellikle uzun yıllar aynı iş yapma biçimine sahip personel yeni bir sürece adapte olmak istemeyebilir. Bu noktada sektörel eğitimlere de ağırlık verilmeli, yapının karmaşıklığı yalınlaştırılarak anlatılmalı ve personel motive edilmelidir. Adaptasyon süreci zaman alan bir süreç almakla beraber sonucunda elde edilecek başarı göz önünde bulundurulmalıdır. Sektörün önüne çıkan bir diğer engel de yatırım maliyetleridir. Yazılımlar ve bu yazımların ihtiyacını karşılayan donanımların maliyetleri oldukça yüksektir. Sektörde birçok yazılımın kullanılmasıyla birlikte bazı veri kayıpları gerçekleşebilir. Bu noktada çalışmalar aktif bir şekilde yürütülmekle beraber yazılımlar arası iş birliğinin yeterli olmayışı YBM'nin önündeki engellerdendir. Hem literatürde tespit edilen hem de katılımcılar tarafından belirtilen diğer zorluklar; veri güvenliği endişeleri, devlet desteğinin yeterli olmayışı, standartların eksikliği ve yasal sorunlardır.

YBM yapının dijital ortamda inşa edilmesini sağlamaktadır. Projenin ihtiyacı olan tüm verileri depolayan bu model birçok teknolojiye altyapı sağlamaktadır. Türkiye'de ve dünyada, şantiye ortamında veriye ulaşmayı sağlayacak yapı bilgi modellemesiyle entegre kullanılan teknolojilerin başında mobil cihazlar gelmektedir. Bu durumun nedeni en yaygın, ulaşılabilir ve maliyeti düşük bir teknoloji olması gelmektedir. Mobil cihazlar iletişim ve koordinasyonu arttırmakta, projeye üç boyutlu olarak ulaşılmasını sağlamaktadır. Ayrıca kalite kontrol, proje yönetimi ve raporlamada aktif olarak kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri de sahada veriye kolaylıkla ulaşmayı sağlayan teknolojilerdendir. Mobil cihazlara göre daha az yaygın olan bu teknolojiye yurtdışında aktif olarak sahada

kalite yönetimi ve raporlama için yararlanılmakta, Türkiye’de ise proje sunumları, çakışmaların kontrolü, personele güvenlik eğitimi vermek için kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisi ise hem Türkiye’de hem de dünyada aktif olarak faydalanılan teknolojilerdendir. Bu teknoloji iş sonu modeli, şantiyelerin kalite değerlendirmesi ve ilerleme takibi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca hassas ölçümü sayesinde restorasyon ve yenileme projeleri için doğru ve hızlı veri elde etmeyi sağlamaktadır. Robotik üretim teknolojileri ise çalışmaların devam ettiği, sahada aktif kullanılan birkaç örnek olmakla beraber henüz inşaat endüstrisinde yerini alamamış fakat gelecek vadeden teknolojilerdendir. İnşaat endüstrisinde yapı bilgi modellemesi paydaşları bir araya getirerek entegre bir sistem sağlamaktadır. Ancak henüz üretimde istenen dijitalleşme yakalanabilmiş değildir. Fakat yapılan araştırmalar ve pilot projeler umut vadetmektedir.

Süreçlerin dijitalleşme yönünde hızla ilerlediği fakat aktif şantiye ortamında hala paftaların kullanıldığı, üretim yapan işçilerin bilgiye geleneksel yöntemlerle ulaştığı görülmektedir. Üç boyutlu modellenen projenin iki boyutta paftaya dönüştürülme ihtiyacı zaman almakta ve mevcut bilginin veriminin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda sahada hala beklenen dijitalleşme sağlanamamıştır. Literatürde incelenen vaka çalışmalarında, şantiyeye kurulmuş dijital istasyonlarla modellere üç boyutlu olarak ulaşılan uygulamalar mevcuttur. Yatırımcının bütçesi dahilinde uygulanabilecek bu uygulama sahada kaybolan veriye çözüm olabilir. İncelenen örnekler ve yapılan görüşmelerde teknolojiye yapılan bu yatırımların işverene büyük oranda kar olarak döndüğü tespit edilmiştir. İşverenler ilk maliyete değil toplam kara odaklanmalıdırlar. Sektörün bu dönüşüme dahil olmaları rekabet avantajı sağlayacaktır.

Yapılan literatür taraması, internet kaynaklarının incelenmesi, seminerler ve mülakatların sonucunda Türkiye’de TAV, Rönesans, ENKA gibi büyük ölçekli inşaat firmalarının ve bazı alt yüklenicilerin bu süreçlerin içinde olduğu ve yurtdışındaki büyük projelerde de yer aldıkları tespit edilmiştir. Türk inşaat sektöründe yapı bilgi modellemesini yapım süreçlerine dahil eden projelerin sayısı 2016 yılından bu yana artış göstermektedir. Bu projelerin çoğunluğunu raylı sistem projeleri oluşturmakta, hastane projeleri de ön plana çıkmaktadır. Ayrıca son on yıl

içerisinde gerçekleştirilen havalimanı çalışmalarının tamamı da proje yönetimlerini YBM ile gerçekleştirmiştir. Projelerin çoğu yurtdışında da iş yapan büyük ölçekli firmalar tarafından gerçekleştirilmiş kompleks yapılardır.

2014 yılından bu yana alt yapı projelerinde yapı bilgi modellemesi uygulamalarına yer verilmektedir. İBB'nin sözleşmelere YBM süreçlerini proje ve yapım işlerinde dahil etmesiyle sektördeki farkındalık da artmıştır. Yapı bilgi modellemesinin yaygınlaşmasında en önemli rol işveren ve devlete düşmektedir. Yapıların yaşam döngüsünde tasarım ve yapım aşaması en fazla beş yıl sürmekle beraber işletmesi elli yıla kadar varabilmektedir. Bu noktada asıl faydayı işveren elde etmektedir. Bilinçli işverenlerin artması ve devlet teşvikiyle sektör hızlı ve doğru bir şekilde bu süreçlere adapte olabilir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulaştırma Bakanlığı ve İBB ile yürütülen çalışmalar sektörün geleceği hakkında olumlu bir izlenim bırakmaktadır. Standartların oluşturulmasıyla beraber kavram karmaşasının minimuma ineceği öngörülmektedir. Geçiş süreçlerinin zamana ihtiyacının olduğu, sektörün bu noktada aceleci davranmaması gerektiği de önemli noktalardandır. Bir diğer anahtar kelime de "eğitim" dir. Üniversite müfredatında güncel gelişmeler yer almalı, mezunların sektörden haberdar olmaları sağlanmalıdır. Türkiye genç mimar ve mühendis nüfusa sahip gelişmeye açık ve hevesli bir ülkedir. Bu potansiyeller ele alındığında doğru bir stratejiyle inşaat sektöründe başarılı bir dönüşüm yaşanacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Ademci, E., & Gundes, S. (2018). Review of Studies on BIM Adoption in AEC Industry. *5th International Project and Construction Management Conference*, November, 14. [https://www.researchgate.net/publication/329058494\\_Review\\_of\\_Studies\\_on\\_BIM\\_Adoption\\_in\\_AEC\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/329058494_Review_of_Studies_on_BIM_Adoption_in_AEC_Industry)
- Agarwal, R., Chandrasekaran, S., & Sridhar, M. (2016). Imagining construction's digital future. *Capital Projects and Infrastructure McKinsey*, June.
- Ahmed, S. M., & Forbes, L. H. (2011). *Modern Construction*.
- Akob, Z., Zaidee, M., Hipni, A., & Koka, R. (2019). Coordination and Collaboration of Information for Pan Borneo Highway (Sarawak) via Common Data Environment (CDE). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012001>
- Aladag, H., Demirdögen, G., & Isık, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.520>
- Altındal Türkeri, D. (2019). *İnşaat Sektöründe Dijitalleşme, Tecrübe Konuşuyor*. [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=57chV-zB8TQ&ab\\_channel=Penguenist](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=57chV-zB8TQ&ab_channel=Penguenist)
- Amarnath, C. B., Sawhney, A., & Uma Maheswari, J. (2011). Cloud computing to enhance collaboration, coordination and communication in the construction industry. *Proceedings of the 2011 World Congress on Information and Communication Technologies, WICT 2011*, 1235–1240. <https://doi.org/10.1109/WICT.2011.6141425>
- Arayıcı, Y. (2015). *Building Information Modeling*. bookboon.com
- Arif, M., Bendi, D., Toma-Sabbagh, T., & Sutrisna, M. (2012). Construction waste management in India: An exploratory study. *Construction Innovation*, 12(2), 133–155. <https://doi.org/10.1108/14714171211215912>
- Astour, H., & Franz, V. (2014). BIM-and Simulation-based Site Layout Planning. *Computing in Civil and Building Engineering*.
- Autodesk. (2002). Building Information Modeling in Practice. *Whitepaper*, 1–6. [http://www.ddscad.com/BIM\\_\\_\\_In\\_Practice.pdf](http://www.ddscad.com/BIM___In_Practice.pdf),
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S., & Behringer, A. (2013). A BIM-based Approach for Communicating and

- Implementing a Construction Site Safety Plan. *49th ASC Annual International Conference Proceedings*.
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*.
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y. N., & Leung, B. H. Y. (2008). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. *First International Conference on Construction in Developing Countries, 1*, 435–446. <http://www.arc.gov.au/general/impact.htm>
- Balaban Ökten, B., Arıcı Üstüner, Y., & Akbay, R. B. (2020). Usage of Information Modelling and Digital Technologies on Construction Sites. *6th International Project and Construction Management Conference (e-IPCMC2020), November*, 12–14.
- Balaban Ökten, B., & Gundes, S. (2018). Knowledge Management in Small and Medium Architecture, Engineering and Construction Firms in Turkey. *Electronic Journal of Knowledge Management, 16(2)*, 155.
- Bassier, M., Vincke, S., de Winter, H., & Vergauwen, M. (2020). Drift invariant metric quality control of construction sites using BIM and point cloud data. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(9)*. <https://doi.org/10.3390/ijgi9090545>
- Beck, P. (2001). The AEC Dilemma— Exploring the Barriers To Change. *Leadership and Management in Engineering, 1(2)*, 31–36. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-6748\(2001\)1:2\(31\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-6748(2001)1:2(31))
- Behzadi, A. (2016). Using Augmented and Virtual Reality Technology in the Construction Industry. *American Journal of Engineering Research, 512*, 2320–2847. [www.ajer.org](http://www.ajer.org)
- Benjaoran, V., & Bhokha, S. (2009). Enhancing visualization of 4D CAD model compared to conventional methods. *Engineering, Construction and Architectural Management, 16(4)*, 392–408. <https://doi.org/10.1108/09699980910970860>
- BIM-FM Consortium. (2016). BIM for Facility Management. In *Georgia Tech. University*. <http://www.youbim.com/features.html>
- Bimgenius. (2020). *Türkiye BIM Raporu Genel Eğilim ve Beklentiler*. [www.bimgenius.org](http://www.bimgenius.org)
- Bloomberg, M. R., Burney, D. J., & Resnick, D. (2012). BIM Guidelines. In *New York City Department Of Design + Construction*. <https://doi.org/10.1002/art.1780210322>
- Borrman, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations And Industry Practice*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_8)
- Bortolini, R., Formoso, C. T., & Viana, D. D. (2019). Site logistics planning and

- control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. *Automation in Construction*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.031>
- Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2015). The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. *Automation in Construction*, 49, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>
- Bosché, F., Guillemet, A., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2014). Tracking the built status of MEP works: Assessing the value of a Scan-vs-BIM system. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(4), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000343](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000343)
- Boton, C., St-pierre, É., & Lefebvre, G. (2020). Should medium-sized contractors still implement home-made information technologies on construction sites? *Frontiers of Engineering Management*.
- Bouchlaghem, N. M., & Liyanage, I. G. (1996). Virtual reality applications in the UK's construction industry. In *Cib Report*. <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-1996-89.content.pdf>
- Brathen, K., & Moum, A. (2016). Bridging the gap: Bringing BIM to construction workers. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(6), 751–764. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0008>
- Chalhoub, J., Alsafouri, S., & Ayer, S. K. (2018). Leveraging site survey points for mixed reality bim visualization. *Construction Research Congress 2018: Construction Information Technology - Selected Papers from the Construction Research Congress 2018, 2018-April*, 326–335. <https://doi.org/10.1061/9780784481264.032>
- Chan, D. W. M., Olawumi, T. O., & Ho, A. M. L. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *Journal of Building Engineering*, 25(February), 100764. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100764>
- Chan, I. Y. S., Liu, A. M. M., & Chen, B. (2018). Management strategies for 5D-BIM adoption in Hong Kong. *21st International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 209889, 1023–1039. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6190-5\\_91](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6190-5_91)
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- Chen, Q., Adey, B. T., Haas, C., & Hall, D. M. (2020). Using look-ahead plans to improve material flow processes on construction projects when using BIM and RFID technologies. *Construction Innovation*, 20(3), 471–508. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0133>
- Cheok, G. S., Stone, W. C., Lipman, R. R., Witzgall, C., & Bernal, J. (2001). Laser



scanning for construction metrology. *Proceedings of the American Nuclear Society 9th International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems, Seattle, WA, 20018*(January), 4–8.

- Chi, H. L., Kang, S. C., & Wang, X. (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. *Automation in Construction*, 33, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017>
- Chiu, W. Y. B., & Lai, J. H. K. (2020). Building information modelling for building services engineering: benefits, barriers and conducive measures. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2018-0460>
- Çıtıptıoğlu, A. (2014). *BIM'in İnşaat Süreçlerinde Gerçek Anlamda Yer Alabilmesi, Autodesk University Extension*. [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eIS7olju4LU&list=WL&index=24&ab\\_channel=AutodeskTürkiye](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eIS7olju4LU&list=WL&index=24&ab_channel=AutodeskTürkiye)
- Czmoch, I., & Pękala, A. (2014). Traditional design versus BIM based design. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.048>
- Davies, R., & Harty, C. (2012). Implementing “Site BIM”: A case Study of ICT Innovation on a Large Hospital Project. *Automation in Construction*, 30, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.024>
- Davtalab, O., Kazemian, A., & Khoshnevis, B. (2018). Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting. *Automation in Construction*, 89(December 2017), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.006>
- Deutsch, R. (2011). *BIM And Integrated Design: Strategies For Architectural Practice*. John Wiley & Sons.
- DiCicco-Bloom, B., & Crabtree, B. F. (2006). The qualitative research interview. *Medical Education*, 40(4), 314–321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x>
- Ding, L., Jiang, W., Zhou, Y., Zhou, C., & Liu, S. (2020). BIM-based task-level planning for robotic brick assembly through image-based 3D modeling. *Advanced Engineering Informatics*, 43(August 2019), 100993. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100993>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- Eastman, C. M. (1999). Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. In *CRC Press*.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Edirisinghe, R. (2019). Digital skin of the construction site: Smart sensor technologies towards the future smart construction site. In *Engineering, Construction and Architectural Management* (Vol. 26, Issue 2, pp. 184–223). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0066>
- Edwards, D. J., Walker, D. H. T., Love, P. E. D., & Smith, J. (2009). Divergence or congruence? A path model of rework for building and civil engineering projects. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(6), 480–488. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000054)
- El-Omari, S., & Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in Construction*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.006>
- Eynon, J. (2016). *Construction Manager's BIM Handbook*.
- Falorca, J. F., & Lanzinha, J. C. G. (2020). Facade inspections with drones—theoretical analysis and exploratory tests. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2019-0063>
- Fanning, B., Clevenger, C. M., Ozbek, M. E., & Mahmoud, H. (2015). Implementing BIM on infrastructure: Comparison of two bridge construction projects. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 20(4), 04014044. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000239](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000239)
- Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2020). Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies. *Buildings*, 10(6), 98. <https://doi.org/10.3390/buildings10060098>
- Ganiyu, S. A. (2018). *Knowledge Management and BIM Practices: Towards a Conceptual BIM-Knowledge Framework*. December, 12.
- Getuli, V., Ventura, S. M., Capone, P., & Ciribini, A. L. C. (2016). A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities. *Procedia Engineering*, 164(June), 542–549. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.656>
- Gleason, D. (2013). Laser Scanning for an Integrated BIM. *Lake Constance 5-D Conference*, 7.
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 19(5), 522–530. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>
- Guo, H., Liu, W., Zhang, W., & Skitmor, M. (2014). A BIM-RFID Unsafe On-Site Behavior Warning System. *ICCREM 2014*, 330–339. <https://doi.org/10.1061/9780784413777.040>

- Guo, J., Wang, Q., & Park, J. H. (2020). Geometric quality inspection of prefabricated MEP modules with 3D laser scanning. *Automation in Construction*, 111(December 2019), 103053. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103053>
- Hamledari, H., Rezazadeh Azar, E., & McCabe, B. (2018). IFC-Based Development of As-Built and As-Is BIMs Using Construction and Facility Inspection Data: Site-to-BIM Data Transfer Automation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2), 04017075. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000727](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000727)
- Han, K. K., & Golparvar-Fard, M. (2014). Automated monitoring of operation-level construction progress using 4D bim and daily site photologs. *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network - Proceedings of the 2014 Construction Research Congress*, 1033–1042. <https://doi.org/10.1061/9780784413517.106>
- Hardin, B., & McCool, D. (2015). *Bim And Construction Management : Proven Tools, Methods And Workflows*. Wiley.
- Haron, A., Marshall-Ponting, A., & Aouad, G. (2009). Building Information Modelling in Integrated Practice. *2nd Construction Industry Research Achievement International Conference (CIRIAC 2009)*, (<https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/16624/2/pape>). [https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/16624/2/paper\\_ciraic\\_2\\_Ahmad\\_Haron.pdf](https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/16624/2/paper_ciraic_2_Ahmad_Haron.pdf)
- Hartmann, T., Gao, J., & Fischer, M. (2008). Areas of application for 3D and 4D models on construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10), 776–785. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:10\(776\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776))
- Hasan, A., Elmualim, A., Rameezdeen, R., Baroudi, B., & Marshall, A. (2018). An exploratory study on the impact of mobile ICT on productivity in construction projects. *Built Environment Project and Asset Management*, 8(3), 320–332. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2017-0080>
- Hasan, A., Jha, K. N., Rameezdeen, R., Ahn, S., & Baroudi, B. (2019). Perceived Productivity Effects of Mobile ICT in Construction Projects. In *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6>
- He, Y., Schnabel, M. A., Chen, R., & Wang, N. (2017). A Comprehensive Application of BIM Modelling for Semi-underground Public Architecture A Study for Tiantian Square Complex , Wuhan , China. *Future Trajectories of Computation in Design 17th International Conference CAADfutures*, 297–308.
- Helm, V., Ercan, S., Gramazio, F., & Kohler, M. (2012). Mobile robotic fabrication on construction sites: DimRob. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 4335–4341.

<https://doi.org/10.1109/IROS.2012.6385617>

- Hewage, K. N., & Ruwanpura, J. Y. (2009). A novel solution for construction on-site communication - The information booth. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(4), 659–671. <https://doi.org/10.1139/L09-026>
- Hou, L., Wang, X., Bernold, L., & Love, P. E. D. (2013). Using animated augmented reality to cognitively guide assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 439–451. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000184](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000184)
- Huber, D., Akinci, B., Tang, P., Adan, A., Okorn, B., & Xiong, X. (2010). Using Laser Scanners for Modeling and Analysis in Architecture, Engineering and Construction. *2010 44th Annual Conference on Information Sciences and Systems, CISS 2010*. <https://doi.org/10.1109/CISS.2010.5464818>
- Ibrahim, A., Roberts, D., Golparvar-Fard, M., & Bretl, T. (2017). An Interactive Model-Driven Path Planning and Data Capture System for Camera-Equipped Aerial Robots on Construction Sites. *Computing in Civil Engineering* 2017. <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479247.083>
- Igwe, U. S., Mohamed, S. F., Azwarie, M. B. M. D., Okoro, C. O., & Adediran, A. O. (2020). Recent Advances in Mobile Application for Real Time Cost Management in Construction Projects. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(5), 414–418.
- Işıkdag, U., Underwood, J., Kuruoğlu, M., Goulding, J., & Açıklın, U. (2009). Construction informatics in Turkey: Strategic role of ICT and future research directions. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 14, 412–428.
- Jeelani, I., Han, K., & Albert, A. (2020). Development of virtual reality and stereopanoramic environments for construction safety training. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1853–1876. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2019-0391>
- Jrade, A., & Lessard, J. (2015). An Integrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study. *Journal of Construction Engineering*, 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/579486>
- Jupp, J. (2017). 4D BIM for Environmental Planning and Management. *Procedia Engineering*, 180, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.178>
- Juszczyk, M., Tomana, A., & Bartoszek, M. (2016). Current issues of BIM-based design change management , analysis and visualization. *Procedia Engineering*, 164(June), 518–525. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.653>
- Kalfa, S. M. (2018). Building information modeling ( BIM ) systems and their applications in Turkey. *3rd International Conference on Turkey and Turkish Studies, Atina, Yunanistan, 27-30 Haziran, 1(1)*, 55–66.
- Kasim, N., Zainal Abidin, N. A., Zainal, R., Sarpin, N., Abd Rahim, M. H. I., &

- Saikah, M. (2017). Best practices of Building Information Modelling (BIM) implementation in design phase for construction project. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012038>
- Keskin, B., Salman, B., & Ozorhon, B. (2020). Airport project delivery within BIM-centric construction technology ecosystems. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0625>
- Kim, C., Son, H., & Kim, C. (2013). Automated Construction Progress Measurement Using a 4D Building Information Model and 3D Data. *Automation in Construction*, 31, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.041>
- Kim, E., Jeon, H., Jun, H., & Lee, S. (2019). The Development of Architectural Design Environment for BIPV using BIM. *ECAADe + SIGraDi 2019 Conference*, 1, 223–232. [https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\\_078](https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_078)
- Kim, M. K., Cheng, J. C. P., Sohn, H., & Chang, C. C. (2015). A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning. *Automation in Construction*, 49, 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.010>
- Kim, S., Chin, S., Han, J., & Choi, C. H. (2017). Measurement of Construction BIM Value Based on a Case Study of a Large-Scale Building Project. *Journal of Management in Engineering*, 33(6), 05017005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000551](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000551)
- Kim, S. Y., Nguyen, M. V., & Luu, V. T. (2020). A performance evaluation framework for construction and demolition waste management: stakeholder perspectives. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2019-0683>
- Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T., & Merivirta, M. L. (2011). BIM-based safety management and communication for building construction. In *VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus* (Issue 2597).
- Kivrak, S., & Arslan, G. (2019). Using Augmented Reality to Facilitate Construction Site Activities. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, 215–221. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6>
- Koseoglu, O., Keskin, B., & Ozorhon, B. (2019). Challenges and enablers in BIM-enabled digital transformation in mega projects: The Istanbul new airport project case study. *Buildings*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/buildings9050115>
- Köseoğlu, O., & Nurtan Güneş, E. T. (2018). Mobile BIM implementation and lean interaction on construction site: A case study of a complex airport project. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0188>

- Köseoğlu, O., Sakin, M., & Arayıcı, Y. (2018). Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(10), 1339–1354. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0186>
- Krygiel, E., & Nies, B. (2008). Green BIM: Successful Sustainable Design [M]. In *John Wiley* (Vol. 4).
- Kula, B., & Ergen, E. (2017). Lazer Tarayıcı Teknolojisinin Yapım Yönetiminde Kullanım Alanları Utilizing Laser Scanning Technology In Construction Management. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 293–302.
- Kumar, N., Hack, N., Doerfler, K., Walzer, A. N., Rey, G. J., Gramazio, F., Daniel Kohler, M., & Buchli, J. (2017). Design, Development and Experimental Assessment of A Robotic End-effector for Non-standard Concrete Applications. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 1707–1713. <https://doi.org/10.1109/icra.2017.7989201>
- Le, P. L., Dao, T. M., & Chaabane, A. (2019). BIM-based framework for temporary facility layout planning in construction site: A hybrid approach. *Construction Innovation*, 19(3), 424–464. <https://doi.org/10.1108/CI-06-2018-0052>
- Li, H., Chan, G., Skitmore, M., & Huang, T. (2015). A 4D automatic simulation tool for construction resource planning: a case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(1), 91–107.
- Li, Xiao, 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 2017), 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Li, Xue, Xu, J., & Zhang, Q. (2017). Research on Construction Schedule Management Based on BIM Technology. *Procedia Engineering*, 174, 657–667. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.214>
- Lin, Y. C., & Su, Y. C. (2013). Developing mobile- and BIM-based integrated visual facility maintenance management system. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/124249>
- Liu, D., Jin, Z., & Gambatese, J. (2020). Scenarios for Integrating IPS–IMU System with BIM Technology in Construction Safety Control. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(1), 05019007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000465](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000465)
- Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C. (2015). Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry. *International Journal of Marketing Studies*, 7(6), 162. <https://doi.org/10.5539/ijms.v7n6p162>
- Liu, Y., Nederveen, S. Van, & Hertogh, M. (2016). Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China.

JPMA. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.007>

- Loveridge, R., & Coray, T. (2017). Robots on construction sites: The potential and challenges of on-site digital fabrication. *Science Robotics*, 2(5), 1–3. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aan3674>
- Lu, X., & Davis, S. (2018). Priming effects on safety decisions in a virtual construction simulator. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(2), 273–294. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0114>
- Luo, X., Li, H., Cao, D., Dai, F., Seo, J., & Lee, S. (2018). Recognizing Diverse Construction Activities in Site Images via Relevance Networks of Construction-Related Objects Detected by Convolutional Neural Networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(3), 04018012. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000756](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000756)
- Ma, X., Xiong, F., Olawumi, T. O., Dong, N., & Chan, A. P. C. (2018). Conceptual Framework and Roadmap Approach for Integrating BIM into Lifecycle Project Management. *Journal of Management in Engineering*, 34(6), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000647](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000647)
- Mäki, T., & Kerosuo, H. (2015). Site Managers' Daily Work And The Uses of Building Information Modelling in Construction Site Management. *Construction Management and Economics*, 33(3), 163–175. <https://doi.org/10.1080/01446193.2015.1028953>
- 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>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. In *NIST Special Publication 800-145*.
- Mirshokraei, M., De Gaetani, C. I., & Migliaccio, F. (2019). A web-based BIM-AR quality management system for structural elements. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(19). <https://doi.org/10.3390/app9193984>
- Mostafa Abdel-Bary, E. (2015). 3D Laser Scanners' Techniques Overview. *International Journal of Science and Research*, 4(10), 323–331. [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net)
- National Building Specification. (2011). Building Information Modelling Report 2011. In *National BIM Report 2011* (Issue March).
- NBIMS Committe. (2007). National Building Information Modeling Standard. In *Nbim*.
- Nourbakhsh, M., Mohamad, R., Javier, Z., Samaneh, I., Masoud, Z., Nourbakhsh, M., Mohamad, R., Javier, Z., Samaneh, I., Masoud, Z., Management, A., Chen, Y., Kamara, J. M., Management, A., Asif, M., Krogstie, J., Information, C., Craig, N., & Sommerville, J. (2012). Mobile application prototype for on-site information management in construction industry.

*Engineering, Construction and Architectural Management.*

- Núñez, D., Ferrada, X., Neyem, A., Serpell, A., & Sepúlveda, M. (2018). A user-centered mobile cloud computing platform for improving knowledge management in small-to-medium enterprises in the Chilean construction industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/app8040516>
- Ofluoğlu, S. (2014). Yapı Bilgi Modelleme : Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist*.
- Oh, M., Lee, J., Hong, S. W., & Jeong, Y. (2015). Integrated system for BIM-based collaborative design. *Automation in Construction*, 58, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.015>
- Öktem, S., & Ergen, E. (2017). BIM'e Geçiş Sürecinin Operasyonel Çerçevesi. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 627–635. [http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18260\\_41\\_00.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18260_41_00.pdf)
- Olatunji, O. A., & Sher, W. (2015). Estimating in geometric 3D CAD. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 20(1), 24–49. <https://doi.org/10.1108/JFMPC-07-2014-0011>
- Öner, F. (2019). *İBB Raylı Sistem Projelerinde BIM Uygulamaları*. <https://www.ibb.istanbul/Uploads/2019/10/1.-FAHRETTİN-ÖNER---İBB-RAYLI-SİSTEM-PROJELERİNDE-BIM-UYGULAMALARI.pdf>
- Özorhon, B. (2018). *BIM - Yapı Bilgi Modellemesi* (U. Karahan (ed.)). Abaküs Kitap.
- Özorhon, B., & Karahan, U. (2016). Critical Success Factors of Building Information Modeling Implementation. *Journal of Management in Engineering*, 33(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000505](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000505)
- Özorhon, B., Karahan, U., & Çağlayan, S. (2017). Analysing the Components of Building Information Modelling ( BIM ) in Construction Projects. *7th Construction Management Congress with International Participation*, 0212, 609–618.
- Park, Jeewoong, Kim, K., & Cho, Y. K. (2017). Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)
- Park, JeeWoong, Kim, K., & Cho, Y. K. (2017). Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2), 05016019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)
- Radl, J., & Kaiser, J. (2019). Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) into Construction Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2), 0–4. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022021>



- Rashid, K. M., & Behzadan, A. H. (2018). Risk Behavior-Based Trajectory Prediction for Construction Site Safety Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(2), 04017106. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001420](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001420)
- RazaviAlavi, S., Abourizk, S., & Alanjari, P. (2014). Estimating the Size of Temporary Facilities in Construction Site Layout Planning Using Simulation. *Construction Research Congress 2014, 2008*, 140–149.
- Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *4th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management*, 210, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>
- Rumane, A. R. (2011). Quality Management in Construction Projects. In *Taylor and Francis Group*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ryan, F., Coughlan, M., Cronin, P., & Ryan, F. (2009). Interviewing in qualitative research: The one-to-one interview. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 16(6), 309–314.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*.
- Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005–1017. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>
- Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). *Requirements for Building Information Modeling based Lean Production Management Systems for Construction*. 1–42.
- Said, H., & El-Rayes, K. (2012). Optimal Material Logistics Planning in Congested Construction Sites. *Construction Research Congress 2012, Mathiassen 1993*, 778–786.
- Salleh, H., & Fung, W. P. (2014). Building Information Modelling application: focus-group discussion. *Gradjevinar*, 66(8), 705–714. <https://doi.org/10.14256/JCE.1007.2014>
- Sanhudo, L., Ramos, N. M. M., Martins, J. P., Almeida, R. M. S. F., Barreira, E., Simões, M. L., & Cardoso, V. (2020). A framework for in-situ geometric data acquisition using laser scanning for BIM modelling. *Journal of Building Engineering*, 28(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101073>
- Sattineni, A., & Schmidt, T. (2015). Implementation of Mobile Devices on Jobsites in the Construction Industry. *Procedia Engineering*, 123, 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.100>
- Sezer, A. A., & Bröchner, J. (2019). Site managers' ICT tools for monitoring resources in refurbishment. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(1), 109–127. [97](https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2018-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

- Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E., Edwards, D. J., Li, H., & Wang, C. (2020). BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor. *Automation in Construction*, 112(January), 103086. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103086>
- Silverio, M., Renukappa, S., Suresh, S., & Donastorg, A. (2017). Mobile Computing in the Construction Industry: Main Challenges and Solutions. *Leadership, Innovation and Entrepreneurship as Driving Forces of the Global Economy, Springer Proceedings in Business and Economics*, 85–99. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43434-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43434-6_8)
- Sun, C., Jiang, S., Skibniewski, M. J., Man, Q., & Shen, L. (2017). A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764–779. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>
- Tavares, P., Costa, C. M., Rocha, L., Malaca, P., Costa, P., Moreira, A. P., Sousa, A., & Veiga, G. (2019). Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality. *Automation in Construction*, 106(March), 102825. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.020>
- Tekin, H., & Atabay, Ş. (2019). Building information modelling roadmap strategy for Turkish construction sector. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer*, 172(3), 145–156. <https://doi.org/10.1680/jmuen.17.00001>
- Tsai, Y.-H., Hsieh, H.-H., & Kang, S.-C. (2014). A BIM-enabled Approach for Construction Inspection. *Computing in Civil and Building Engineering*, 955–1865.
- Tulenheimo, R. (2015). Challenges of Implementing New Technologies in the World of BIM – Case Study from Construction Engineering Industry in Finland. *8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization Challenges*, 21(Henttinen 2012), 469–477. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00201-4](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00201-4)
- Usmani, A. R. A., Elshafey, A., Gheisari, M., Chai, C., Aminudin, E. B., & Tan, C. S. (2019). A scan to as-built building information modeling workflow: a case study in Malaysia. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(4), 923–940. <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2019-0182>
- Vegad, K., Madurwar, M., & Ralegaonkar, R. (2014). Application of AV-ERP system for on-site project monitoring. *The Electronic Library*.
- Vestermo, A., Murvold, V., Svalestuen, F., Lohne, J., & Lædre, O. (2016). BIM-stations: What it is and how it can be used to implement lean principles. *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, April 2017*, 33–42.
- Wang, X., Love, P. E. D., & Davis, P. R. (2012). BIM + AR: A Framework of

- Bringing BIM to Construction Site. *Construction Research Congress*, 1175.
- Wang, Y., Wang, X., Wang, J., Yung, P., & Jun, G. (2013). Engagement of facilities management in design stage through BIM: Framework and a case study. *Advances in Civil Engineering*, 2013(30836). <https://doi.org/10.1155/2013/189105>
- Webster, A., Feiner, S., MacIntyre, B., Massie, W., & Krueger, T. (2000). Augmented reality in architectural construction, inspection, and renovation. *Computing in Civil Engineering (New York)*, September 2000, 913–919.
- Weippert, A., & Kajewski, S. L. (2004). AEC Industry Culture: A Need For Change. In: *CIB World Building Congress 2004: Building for the Future, May 2004, Toronto, Canada. The, May*.
- Whyte, J. (2002). *Virtual Reality and the Built Environment*.
- Wong, J., Wang, X., Li, H., Chan, G., & Li, H. (2014). A review of cloud-based bim technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 19(August), 281–291.
- Xu, M., Mei, Z., Luo, S., & Tan, Y. (2020). Optimization algorithms for construction site layout planning: a systematic literature review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1913–1938. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2019-0457>
- Xu, W., & Wang, T. K. (2020). Dynamic safety prewarning mechanism of human–machine–environment using computer vision. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2019-0732>
- Yalçinkaya, A. (2019). *İnşaat Sektöründe Dijitalleşme, Tecrübe Konuşuyor*. [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CJmmJ7BYIzQ&list=WL&index=28&ab\\_channel=Penguenist](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CJmmJ7BYIzQ&list=WL&index=28&ab_channel=Penguenist)
- Yeh, K. C., Tsai, M. H., & Kang, S. C. (2012). On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), 342–355. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000156](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000156)
- Yin, X., Liu, H., Chen, Y., Wang, Y., & Al-Hussein, M. (2020). A BIM-based framework for operation and maintenance of utility tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 97(December 2019), 103252. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103252>
- 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>
- Zhao, X., Hwang, B.-G., & Yu, G. S. (2012). Identifying the critical risks in underground rail international construction joint ventures: Case study of Singapore. *International Journal of Project Management*.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.014>

Zolfagharian, S., & Irizarry, J. (2014). Current Trends in Construction Site Layout Planning. *Current Trends in Construction Site Layout Planning Samaneh*, 1723–1732.  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413517.fm>

**Url-1** < <http://www.pirtleconstruction.com/building-information-modeling/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-2** < <https://bim101.blogspot.com/2013/09/report-bim-beam-using-structural.html> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-3** < <https://www.pepperconstruction.com/blog/when-augmented-reality-becomes-reality> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-4** < <http://www.kavanaghtuite.ie/news-blog/2019/3/28/on-site-digital-construction-hub>>, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-5** < <https://www.oracle.com/tr/cloud/what-is-cloud-computing/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-6** < <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/cloud-computing-gbl> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-7** < <https://constructionblog.autodesk.com/benefits-of-bim/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-8** < <https://www.bimplus.co.uk/explainers/six-benefits-cloud-based-bim/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-9** < <https://jasoren.com/virtual-reality-in-construction/> >, erişim tarihi

**Url-10** < <https://www.autodesk.com/redshift/augmented-reality-in-construction/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-11** <<https://insapedia.com/insaat-4-0-kavrami-nedir/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-12** < <https://www.youtube.com/watch?v=YVC7l962cv8> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-13** < <https://insapedia.com/insaat-4-0-kavrami-nedir/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-14** < [https://www.youtube.com/watch?v=Y2w7dqEiesg&ab\\_channel=Bimfili](https://www.youtube.com/watch?v=Y2w7dqEiesg&ab_channel=Bimfili) >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-15** < <http://www.procs.com.tr/Projects-Completed.aspx> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-16** < <https://anelgroup.com/tr/project/galataport-istanbul/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-17** < <https://ronesans.com/bim-yapi-bilgi-modellemesi/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-18** < <https://tavconstruction.com/non-aviation-projects> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-19** < <http://buildingsmartturkiye.org/> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-20** < <https://bim4turkey.com/tr> >, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-21** < <https://www.bimgenius.org/>>, erişim tarihi 03.12.2020

**Url-22** < <https://www.youtube.com/c/Bimfili/featured> >, erişim tarihi 03.12.2020

## EKLER

### EK A YBM ile İlgili Tez Çalışmaları

Tez No	Tezin Adı	Yazarı	Yılı	Anabilim Dalı	Tezin Türü	Okulu
1	Bim For Infrastructure: A Spatial Perspective To Utility Network Management Using Bim Applications / Altyapı İçin Ybm: Altyapı Sistemlerinin Yönetiminde Ybm Uygulamalarının Kullanımına Mekansal Bakış	Nurhan Sürücü	2020	Geomatik Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
2	An Assessment Of Building Information Modeling (Bim) Implementation For The Turkish Transportation Infrastructure Industry / Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamasının Türk Ulaştırma Altyapı Sektörü İçin Bir Değerlendirmesi	Feyza Yiğiter	2020	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
3	Alt Yapı Bilgi Sistemi / Infrastructure Information System	Fatma Şenay Demirel	2020	Coğrafi Bilgi Teknolojileri	Yüksek Lisans	Çanakkale 18 Mart Üniversitesi
4	Development Of A Maturity Framework For Lean Construction / Yalın İnşaat İçin Olgunluk Çerçevesi Geliştirilmesi	Nihan Sena Diren	2020	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	YTÜ
5	Developing A Bim-Based Tool For Automated Fall Safety Review / Düşme Kazalarının Güvenlik İncelemesi İçin Bim-Tabanlı Otomatik Bir Araç Geliştirilmesi	Gökhan Tekbaş	2020	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Özyeğin Üniversitesi
6	Immersive Design Environments For Performative Architectural Design: A BIM-Based Approach / Performans Temelli Mimari Tasarım İçin Üç Boyutlu Tasarım Ortamları: BİM Tabanlı Bir Yaklaşım	Şahin Akın	2020	Mimarlık	Yüksek Lisans	ODTÜ
7	Development Of BIM Learning Scenarios For Architectural Education / Mimari Eğitim İçin BİM Öğrenme Senaryoları Geliştirme	Hatidza Çapkın	2020	Mimarlık	Doktora	İTÜ
8	An Investigation Into The Improvement Of The Contract Preparation Phase Of The Bim-Based Construction / Bim-Bazlı İnşaat Projelerinin Sözleşme Hazırlık Aşamasının İyileştirilmesine Yönelik Bir İnceleme	Mehmet Yavuzhan Erpay	2020	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
9	Kamu Yapılarında Yapı Bilgi Modellemesi İle Tesis Yönetimi / Facility Management With Building Information Modeling İn Public Buildings	Tuğçe Tütüncüler	2020	Mimarlık	Yüksek Lisans	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
10	YBM Tabanlı Teknolojilerin Mimarlık Eğitiminde Geliştirilerek Kullanılabilmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım Önerisi / A New Approach Proposal For The Development And Use Of BIM Based Technologies İn Architecture Education	Bircan İnan	2020	Mimarlık	Yüksek Lisans	Eskişehir Teknik Üniversitesi

11	YBM (BIM) Platformlarının Mimari Tasarım Süreci İle İlişkilerinin Tespiti: Antalya Örneği / Identifying The Association Of Bim Platforms With Architectural Design Process: The Case Study Of Antalya	Kadir Emre Bakır	2020	Mimarlık	Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
12	Developing A Building Information Modeling (BIM) Effectiveness Model For The Turkish Construction Industry / Türk İnşaat Sektörü İçin Bir Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Etkinlik Modelinin Geliştirilmesi	Sedat Semih Çağlayan	2020	İnşaat Mühendisliği	Doktora	Boğaziçi Üniversitesi
13	A Review Of Bim-Based Energy Analysis Tools For Leed Certification Process / Bim-Tabanlı Enerji Analizi Yazılımlarının Leed Sertifikasyon Süreci İçin İncelenmesi	Berkant Bayar	2020	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Özyeğin Üniversitesi
14	Determining The Requirements Of Using Mixed Reality Technology İn Facility Management / Tesis Yönetiminde Karma Gerçeklik Teknolojisinin Kullanım Gereksinimlerinin Belirlenmesi	Neziha Yılmaz	2020	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
15	Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) İle Robotik Total Stationların Aplikasyon Ve İmalat Kontrolünde Kullanımı / Usage Of Robotic Total Stations With Application And Manufacturing Control With Building Information Modeling (BIM)	Tolga Yücel	2019	Geomatik Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
16	Konut Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımı: Örnek Vaka Çalışması / Using Building Information Modelling İn Housing Projects: Case Study	Hakan Alat	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
17	Türkiye İçin Yapı Bilgi Modelleri Hazırlık Göstergesinin Ölçülmesi: Mekansal Verilerin Rolü / Measuring Building Information Modelling Readiness Index For Turkey: The Role Of Spatial Information	Cem Kumova	2019	Geomatik Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
18	Yapı Bilgi Modellemesinde Bulut Bilişimin Mimarlık Ve İnşaat Sektörlerindeki Etkileri / The Effects Of Cloud Computing İn Building Information Modeling On Architecture And Construction Sectors	Vesile Sözen	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
19	Çevre Kaynaklarının Korunmasında Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisi İle Yeşil Bina Oluşumunun Değerlendirilmesi / Evaluation Of Green Building Formation With Building Information Modelling Technology For Protection Of Environmental Resources	Aysu Hamzakadı	2019	Çevre Mühendisliği	Yüksek Lisans	YTÜ
20	Benefits Of BIM Technology On Construction Management / Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisinin Yapım Yönetimi Üzerindeki Faydaları	Alper Karakurt	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
21	Farklı Ayrıntı Düzeylerinde Bina Bilgi Modellerinin Oluşturulması / Creating Building Information Models İn Different Levels Of Detail	Serdar Kaya	2019	Harita Mühendisliği	Yüksek Lisans	YTÜ

22	An Algorithm Aided Design Approach For Using Daylight In Early Phases Of Architectural Design / Mimari Tasarımın Erken Evrelerinde Gün Işığını Kullanan Algoritma Destekli Bir Tasarım Yaklaşımı	Mahmut Can Koçak	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
23	Metro Projelerinin Yapım Aşamasında Karşılaşılan Risklerin Yapı Bilgi Modellemesi Destekli Yönetimi / Management Of Risks In Construction Phase Of Metro Projects Assisted By Building Information Modeling	Gözde Saygılı	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
24	ISO 19650 Compliant Project Information Protocol Proposal For Collaborative Working And BIM Execution / İşbirlikçi Çalışma Ve BIM Uygulamaları İçin ISO 19650 Uyumlu Proje Bilgi Protokolü Önerisi	Salim Burak Tezgiden	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
25	Implementation Problems Of Building Information Modeling: Case Study Of İstanbul Airport Project / Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Sorunları: İstanbul Havalimanı Vaka Çalışması	Berk Açar	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
26	BIM-GIS İntegration Focused On Indoor Navigation: Automatic Derivation Of Navigation Network / İç Mekan Navigasyonu Amaçlı BIM-GIS Entegrasyonu: Otomatik Navigasyon Ağı Oluşturulması	Görkem Tosun	2019	Bilgisayar Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
27	Yapı Bilgi Modelleme Aracılığı İle Enerji Etkin Yapı Tasarımı Ve Geliştirilmesi: Bir Konut Projesi Örneği / Energy Efficient Design And Enhance Of Buildings With Building Information Modelling: The Case Of A Multistory Residential Building	Damla Elbi	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
28	BIM - Yapı Bilgi Modellemesi Geçiş Ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi : 3 Vaka Analizi / Analysis Of Transition And Application Processes In Building Information Modelling : 3 Case Studies	Fatih Uzun	2019	İç Mimarlık	Yüksek Lisans	Maltepe Üniversitesi
29	Development Of BIM Implementation Framework For Digital Construction In Turkey / Türkiye'de Dijital İnşaat İçin BIM Uygulama Çerçevesinin Geliştirilmesi	Mehmet Sakin	2019	İnşaat Mühendisliği	Doktora	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
30	İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları: 5D Modelleme İle Örnek Vaka Çalışması / Building Information Modelling Applications In Construction Projects: Case Study With 5D Modelling	Nejdet Topal	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Anadolu Üniversitesi
31	Yapım Maliyetlerinin Hesaplanmasında Yapı Bilgi Modelleme (Ybm) Sisteminin Örnek Uygulama Üzerinden İrdelenmesi / Examination Of Building Information Modeling System Through Example Application In Calculation Of Construction Costs	Kaan Zontul	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi
32	A BIM-Based Collaboration System In Design Phase Of Metro Projects In Turkish Aec Industry / Türkiye İnşaat Endüstrisinde Metro Projelerinin Tasarım Sürecinde BIM Tabanlı Bir İşbirliği Sistemi	Serhat Kaş	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	ODTÜ



33	Analyzing The Benefits And Challenges Of Building Information Modelling And Life Cycle Assessment İntegration / Yapı Bilgi Modellemesi Ve Yaşam Döngüsü Analizi'nin Faydalarının Ve Zorluklarının Analiz Edilmesi	Botan Azizoğlu	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İşık Üniversitesi
34	Uluslararası İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi İle İhale Süreçlerinin Yönetimi Üzerine Bir İnceleme / An Investigation On The Management Of Tender Processes By Using Building Information Modeling İn İnternational Construction Projects	Osman Taştekin	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
35	ISO 19650 Compliant Project İnformation Protocol Proposal For Collaborative Working And BIM Execution / İşbirlikçi Çalışma Ve BIM Uygulamaları İçin ISO 19650 Uyumlu Proje Bilgi Protokolü Önerisi	Salim Burak Tezgiden	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
36	Türkiye'de Mimarlık Şirketleri İçin BIM Uygulama Yol Haritası BİM İmplementation Road Map For Architectural Smes İn Turkey	Tuğçe Sarıççek	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
37	A Decision Support Framework For Flp İn The Context Of İndustrial Facilities By The Use Of Bim / Endüstriyel Yapılar Özelinde Tesis Yerleşimi Problemlerinde Bim Kullanımı İle Tasarımcıya Yardımcı Olacak Bir Çerçeve Önerisi	Yiğitcan Ülkücü	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
38	YBM Standartlarının Karşılaştırmalı İncelenmesi Ve Ulusal Standardizasyon Çalışmaları Açısından Değerlendirilmesi / Comparative Analysis Of BIM Standards And İts Assessment İn Terms Of National Standardization Works	Burcu Atay Tosun	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
39	Building İnformation Modelling İn Facilities Management Tesis Yönetiminde Yapı Bilgi Modellemesinin Kullanılması	Behlül Kula	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
40	Türkiye'de Yapı Bilgi Modellemesinin Mimari Projelerde Kullanımı Üzerine Bir Uygulama Çalışması / A Case Study On BIM Usage İn Architectural Projects İn Turkey	Semiha Selim	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	KTÜ
41	Metro Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı Paydaşlar Arası Entegrasyon / Building Information Modeling Based Stakeholder İntegration İn Metro Projects	Furkan Yurdakul	2019	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
42	Bina Yapım Süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi / Evaluation Of Building İnformation Modeling İn Building Construction Phases	Mine Pınar Bayar Yılmaz	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
43	Cash Flow Generation And Alternatives Analysis Through Bim And Simulation / Nakit Akışı Üretimi Ve Bim Ve Simülasyon İle Alternatif Analiz	Mohammed Abdel Latif Khalaf	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Özyeğin Üniversitesi

44	Investigation Of The Bim İmplementation Process İn The Construction Phase: Case Of The Turkish Companies / İnşaat Aşamasında Bim Uygulama Sürecinin İncelenmesi: Türk Firmaları Vaka Çalışması	Ahmet Karacığan	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Boğaziçi Üniversitesi
45	İnşaat Sektöründen Bir Uygulama İle Yapı Bilgi Modellemesi / Building İnformation Modeling With An Application İn Construction İndustry	Celal Gelener	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Kocaeli Üniversitesi
46	A Formal Representation Of Building Codes To Facilitate BİM-Based Automated Code-Checking / YBM-Temelli Otomatik Yönetmelik Denetlemeyi Kolaylaştırmak İçin Yapı Yönetmeliklerinin Biçimsel Olarak Modellemesi	Yiğit Semih Akbaş	2019	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	ODTÜ
47	Yenileme Projelerinin Yönetim Süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesinin Kullanımı: Vaka Çalışması / The Use Of Building İnformation Modeling İn Management Process Of Retrofit Projects: A Case Study	Ümit Bahadır	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	KTÜ
48	Yapı Bilgi Sistemlerinin Mevcut Binalarda Enerji Analizinin İncelenmesi / Investigation Of Energy Analysis Of Building İnformation Systems İn Existing Buildings	Rukiye Erbaş	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi
49	Yapı Bilgi Modellemesi İle Yapılabilirliğin Geliştirilmesi: Endüstriyel Tesis İnşaatı Projesinde Bir Vaka Çalışması / Improving Constructability With Building İnformation Modelling: A Case Study İn İndustrial Plant Construction Project	Arda Evcimen	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Eskişehir Teknik Üniversitesi
50	Türkiye'de Raylı Sistem Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş Süreçleri Üzerine Bir Örnek Olay İncelemesi Ve Yönetimsel Öneriler / A Case Study On Building İnformation Modelling İmplementation Processes Of Railway Systems Sector İn Turkey And Managerial Suggestions	Elif Araç	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
51	Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu / Adoption Of Building İnformation Modeling İn Construction Sector	Merve Erdik	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	Bahkesir Üniversitesi
52	İnşaat Projelerinde Kullanılacak BİM Entegreli ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) Sistem Uygulaması Önerisi / BIM İntegrated ERP (Enterprise Resource Planning) System Application Proposal To Be Used İn Construction Projects	Emre Ertürk	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	Beykent Üniversitesi
53	Lean And Bim Based Waste Management / Yalın Ve Bim Tabanlı İsraf Yönetimi	Gökhan Dede	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	MSGSÜ

54	An Exploration Of The Extent, Use And Success In The Application Of Building Information Modelling (BIM) In The Turkish Construction Sector / Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulamalarının Yaygınlığı Ve Uygulamalardaki Başarı Düzeyleri Üzerine Bir İnceleme	Yusuf Inusah	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
55	An Intelligent Bim-Based Automated Progress Monitoring System Using Self-Navigating Robots For Data Acquisition / Veri Toplamak İçin Otonom Yöngüdümlü Robot Kullanan Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı Akıllı Bir Otomatik İlerleme Takip Sistemi	Muhammad Usman Hassan	2018	İnşaat Mühendisliği	Doktora	ODTÜ
56	Yapı Bilgi Modelleme Tabanlı Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı İle Mimari Tasarım İş Akışlarının Verimliliğinin Sağlanması / Ensuring The Efficiency Of Architectural Design Workflows with Computational Design Approach Based On Building Information Modeling	Ayşegül Özlem Bayraktar Sarı	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
57	Apı Bilgi Modellemesi (5D) İle Maliyet Yönetiminin Avantaj Ve Dezavantajlarının Tespiti / Determining Advantages And Disadvantages Of 5D BIM Cost Management	Faruk Gülerses	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
58	An Analysis Of BIM Adoption In Turkish Architectural, Engineering And Construction (AEC) Industry / Türk Mimarlık, Mühendislik Ve İnşaat Endüstrisinde Yapı Bilgi Modellemesinin Benimsenmesine Yönelik Bir Analiz	Muhammed Ensar Ademci	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	MSGSÜ
59	A Review Of The Applications Of Vision-Based 3D As-Built Data Acquisition Technologies In The Construction Industry / İnşaat Sektöründe 3D As-Built Veri Toplama Uygulamalarının İncelenmesi	Mahmoud Abufouda	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
60	Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planının Yapı Bilgi Modellemesi Yazılımı Kullanılabilirliğine Etkileri / The Bim Execution Plan Effects On The Bim Software Usability	İdris Bahadır	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
61	Danışmanlık Hizmetlerinde Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modeling-BIM) Sisteminin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi / Investigation Of The Applicability Of Building Information Modeling-BIM Systems In Consultancy Agent	İbrahim Karataş	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Korkut Ata Üniversitesi
62	Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı Yalın Tasarım Yönetimi Üzerine Bir İnceleme / An Investigation On Building Information Modelling Based Lean Design Management	Begüm Erdem	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
63	Türkiye'de Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) Farkındalığının Ve Hukuki Zorunluluğunun Araştırılması / Investigation Of Awareness And Legal Obligation Of Building Information Modeling (BIM) In Turkey	Ömer Elmalı	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi

64	Information Management In Real Estate Development Project Lifecycle: BIM & IPD Framework / Gayrimenkul Geliştirme Proje Yaşam Döngüsü Enformasyon Yönetimi: BIM & IPD Çerçevesi	Eymen Çağatay Bilge	2018	Mimarlık	Yüksek Lisans	ODTÜ
65	Project Planning And Management Using Building Information Modelling (BIM) / Yapı Bilgi Modellemesi İle Proje Planlama Ve Yönetimi	Rutü Ruth Poltu	2018	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
66	Yapı Bilgi Sisteminin (YBS) Türk İnşaat Sektöründe Verimliliğe Etkisi: Simülasyon Çözümleri / Building Information Modeling's (BIM) Productivity Effects In The Turkish Construction Sector: The Simulation Solutions	Hasan Koyun	2017	Mimarlık	Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
67	Hesaplamalı Tasarım Ve Yapı Bilgi Model Entegrasyonu Dynamo İle Yeni Olanakların Araştırılması / The İntegration Of Computational Design And Building Information Modelling The Research Of New Possibilities With Dynamo	Enes Kaan Karabay	2017	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
68	Yapı Bilgi Modellemesi Sisteminin Türk İnşaat Sektörüne Uygulanması Ve Adaptasyonunda Kritik Yol Haritasının Oluşturulması / Creation Of A Critical Roadmap For The İmplementation And Adoption Of Building Information Modelling System To Turkish Construction Sector	Hamdi Tekin	2017	İnşaat Mühendisliği	Doktora	YTÜ
69	An İnterpretation Of Building Information Modeling Maturity In Turkish Small-Medium Size Enterprises Architectural And Engineering Firms / Türkiye'de Küçük Ve Orta Ölçekli İşletme Büyüklüğündeki Mimarlık Ve Mühendislik Firmalarında Yapı Bilgi Modellemesi Olgunluğu Üzerine Bir Araştırma	Ramazan Sarı	2017	Mimarlık	Yüksek Lisans	ODTÜ
70	Yapı Bilgi Modelleme Süreçleri İçin Algoritma Destekli Yaklaşım Önerisi / Algorithm Aided Approach For The Processes Of Building Information Modelling	Şeymanur Yıldırım	2017	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
71	Integrated Project Delivery Method Using Bim To Support Of Sustainable Design And Construction / Bütünleşik Proje Teslim Metodunun, Yapı Bilgi Modellemesi İle Birlikte Sürdürülebilir Mimari Ve Uygulamalarına Katkısı	Gülşah Özperçin Dilsizoğlu	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
72	İşlemsel Bir Tasarım Modeli Olarak Yapı Bilgi Sistemleri / Building Information Modelling As A Computational Design Method	Gözde Kartoğlu	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ
73	Adapting Passive Design Strategies For Sustainable Urban Development: A BIM Model For Dakar / Sürdürülebilir Kentsel Gelişim İçin Pasif Tasarım Stratejileri Uyarlamak: Dakar İçin Bir YBM Modeli	Oumar Sow	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	Bahçeşehir Üniversitesi

74	An Investigation Into The Building Information Modeling Applications In The Construction Project Management / İnşaat Proje Yönetimi Aşamalarında Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımı Üzerine Bir İnceleme	İmge Kıvrıkcık	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	İTÜ
75	Integration Of BIM to Facility Management / Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) Tesis Yönetimine Entegrasyonu	Ayşe Müge Öz Döşer	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	MSGSÜ
76	Türk İnşaat Sektörü İçin Yapı Bilgi Modeli Uygulama Planı / A Bim Execution Plan For Turkish Construction Industry	Gürhan Köse	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	Beykent Üniversitesi
77	BIM Execution Process Of Construction Companies For Building Projects / İnşaat Firmalarının Bina Projeleri İçin Yapı Bilgi Modelleme Sistemleri Uygulama Süreci	Bilge Gerçek	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
78	Mimarlık Eğitiminde BIM Tabanlı Disiplinlerarası İşbirliği Önerisi / A Proposal Of BIM-Based Multidisciplinary Collaboration In Architecture Curriculum	Ghina Alkawı	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	MSGSÜ
79	BIM'e Geçiş Sürecinin Organizasyonel Ve Operasyonel Çerçevesi / Organizational And Operational Frameworks Of BIM Transition	Saniye Öktem	2016	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	İTÜ
80	Atık su Arıtma Tesislerinde Yapı Bilgi Modelleme Sisteminin Uygulanması Üzerine Bir Araştırma / A Study On The Implementation Of The Wastewater Treatment Plant Building Information Modeling Systems In Construction Of Wastewater Treatment Facility	Sabahat Kaya	2016	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Beykent Üniversitesi
81	Bim Execution Process Of Construction Companies For Building Projects / İnşaat Firmalarının Bina Projeleri İçin Yapı Bilgi Modelleme Sistemleri Uygulama Süreci	Bilge Gerçek	2016	Mimarlık	Yüksek Lisans	İzmir YTÜ
82	Building Information Modeling (BIM) Implementations In The Turkish Construction Industry / Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulamaları	Uğur Karahan	2015	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	Boğaziçi Üniversitesi
83	Changing Role(S) Of The Profession Of Architecture: Building Information Modeling In Practice / Mimarlık Mesleğinin Değişen Roller: Uygulamada Bina Bilgi Modellemesi	Onur Özkoç	2015	Mimarlık	Doktora	ODTÜ
84	İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Hakkında İnceleme / Review About Building Information Modelling (BIM) In Construction Industry	Durmuş Akkaya	2012	İnşaat Mühendisliği	Yüksek Lisans	YTÜ
85	Mimarlık Pratiğinde Yapı Bilgi Sistemleri / Building Information Modeling In Architectural Design Practice	Resul Ekrem Özge	2009	Mimarlık	Yüksek Lisans	YTÜ