

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİM TEKNOLOJİSİNİN YAPILARIN
YENİLENME SÜREÇLERİNDE KULLANIMININ
İRDELENMESİ

ELİF MANCIK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BIM TEKNOLOJİSİNİN YAPILARIN
YENİLENME SÜREÇLERİNDE
KULLANIMININ İRDELENMESİ

ELİF MANCIK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. SEHER GÜZELÇOBAN MAYUK

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION OF THE USE OF BIM
TECHNOLOGIES IN BUILDING
RENOVATION PROCESSES

ELİF MANCIK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. SEHER GÜZELÇOBAN MAYUK

GEBZE
2023

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13/07/2023 tarih ve 2023/39 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/07/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Elif MANCIK'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DOÇ. DR. SEHER GÜZELÇOBAN MAYUK

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ TAHİR AKKOYUNLU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Mevcut yapılarda; sosyal, kültürel ve teknolojik çeşitli gereksinimler nedeniyle yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Türkiye'nin özellikle deprem riski sebebiyle önümüzdeki yıllardaki önceliklerinden birinin mevcut yapı stokunu yenileyerek yapıların ekonomik ömrünü artırmak ve güncel ihtiyaçlara uyumunu mümkün kılmak olacağı düşünülmektedir. Ek olarak, son yıllarda yaşanan küresel enerji problemlerinin bu tür yenilemelerde ön planda olacağı ve bu sorunlara çözüm olarak mevcudun korunmasının ve döngüsel ekonomi modelinin benimsenmesinin önem kazandığı görülmektedir.

Teknolojide yaşanan dijital dönüşüm ve gelişmelerin önemlilerinden biri tasarım araçlarında ve süreçlerinde meydana gelmektedir. Gelişen teknoloji, kullanılan araçları, bilginin paylaşılma ve işlerin yönetilme şeklini değiştirmiştir. Günümüzde inşaat projeleri yapılırken enerji analizleri ve simülasyonları, yeşil bina ölçütleri, sanal şantiye teknikleri ve çevresel etki değerlendirmeleri gibi pek çok etmen, inşaat projelerinin sık kullanılan unsurları haline gelmiştir. Bu bağlamda süreci kolaylaştırmak adına yeni bir proje yönetim aracı olarak Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır. BIM'in yeni inşaat projelerinin farklı aşamalarında ve proje yaşam döngüleri boyunca kullanımında ortaya koyduğu faydalar göz önüne alındığında yenileme projelerinde de BIM kullanımının inşaat sektörü için önemli bir değişime neden olacağı öngörülmektedir.

Yapılan çalışma ile BIM'in yapıların yenileme süreçlerinde kullanımının irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, inşaat sektöründeki yenileme projelerinde BIM teknolojisini tercih etmiş projeler çalışmada araştırılmıştır. Projelerdeki BIM kullanımları incelenmiş; teknolojinin ne tür amaçlarla, ne tür yazılımlarla, hangi işlevli yapılarda kullanıldığı gibi çeşitli sorulara inceleme sırasında yanıt aranmıştır. Çalışmayla ayrıca, BIM teknolojisinin yenileme süreçlerinde kullanımının potansiyel faydaları ve bu noktada karşılaşılan zorluklar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi (YBM-BIM), Yenileme, Mevcut Yapılarda Yenileme, Yenileme Süreçlerinde BIM Kullanımı.

SUMMARY

Renovation works are carried out due to various social, cultural and technological requirements in existing buildings. It is thought that one of Turkey's priorities in the coming years, especially due to the risk of earthquakes, will be to increase the economic life of buildings and enable their adaptation to current needs by renewing the existing building stock. In addition, it is seen that the global energy problems experienced in recent years will be at the forefront of such renewals, and the preservation of existing resources and the adoption of a circular economy model are gaining importance as a solution to these problems.

Developments in technology occurs in design tools and processes in these days. Today, many factors such as energy analyzes and virtual construction site techniques have become frequently used elements of construction projects. In this context, Building Information Modeling (BIM) has started to take place in the construction industry as a new project management tool. Considering the benefits of BIM in the different stages of new construction projects and throughout the project life cycles, it is predicted that the use of BIM in renovation projects will cause a significant change for the construction industry. For this reason, projects that have preferred BIM technology in renovation processes in the construction sector were investigated in the study. BIM usage in projects was examined and answers were sought to various questions. The study also identified the potential benefits of using BIM technology in renovation processes and the difficulties encountered at this point.

Key Words: Building Information Modeling (BIM), Renovation, Renovation in Existing Buildings, Using BIM in Renovation Processes.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Doç. Dr. Seher GÜZELÇOBAN MAYUK'a,

Her koşulda destek ve fedakârlıklarını sunan başta değerli annem ve babam başta olmak üzere tüm aileme,

Ellerinden gelen desteği göstermek için yanımda bulunan değerli dostlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Belirlenmesi	2
1.2. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	4
2. BIM TEKNOLOJİSİ VE GENEL BİLGİLER	6
2.1. Tarihsel Süreçte BIM'in Gelişimi	9
2.2. BIM'in İnşaat Sektörüne Katkıları	12
2.3. Ülkelerin BIM Yaklaşımları	15
2.4. BIM'in Sektöre Getirdiği Yeni Kavramlar	23
2.4.1. Çok Boyutluluk (nD)	23
2.4.2. Detay Seviyeleri (LOD/Level of Development)	27
2.4.3. Birlikte Çalışabilirlik (IFC)	31
2.4.4. Çakışma Tespiti	35
2.4.5. Parametrik (Nesne Tabanlı) Modelleme	36
2.5. BIM'in Kullanım Alanları	38
2.5.1. Tasarım Sürecinde Kullanımı	39
2.5.2. Yapısal/Çevresel Analizlerde Kullanımı	40
2.5.3. Bina Yapım Sürecinde Kullanımı	44
2.5.4. Bina İşletim Sürecinde Kullanımı	45
3. MEVCUT YAPILARIN YENİLENMESİ	47
3.1. Yenileme Türleri	48
3.2. Mevcut Yapılarda Yenileme İhtiyacı ve Nedenleri	51

3.3. BIM'in Yapıların Yenileme Süreçlerinde Kullanımı	56
3.3.1. Yenileme Sürecindeki Engeller ve BIM'in Potansiyeli	60
3.3.2. Yenileme Süreçlerinde Kullanılan Araçlar	66
3.3.3. Yenileme Projelerinde BIM Uygulama Süreçleri	75
3.3.3.1. Planlama	78
3.3.3.2. Tasarım	82
3.3.3.3. Yapım	91
3.3.3.4. HBIM (Heritage Building Information Modeling- Miras Yapı Bilgi Modellemesi)	92
4. ÖRNEK YENİLEME PROJELERİ	97
4.1. Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi Projesi (İngiltere)	97
4.2. Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı Projesi (Suudi Arabistan)	100
4.3. Penn İlköğretim Okulu Projesi (Amerika)	106
4.4. Woodseat Hall Projesi	109
4.5. Holiday Inn Express Projesi (Amerika)	113
4.6. Boston Otel Projesi (Amerika)	116
4.7. Waterloo Tren İstasyonu Projesi (İngiltere)	119
4.8. Acıbadem Maslak 1 Hastanesi Projesi (Türkiye)	123
4.9. De Castilla 23 Projesi (İtalya)	126
4.10. Brescia Akıllı Kampüs Projesi (Amerika)	130
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	133
 KAYNAKLAR	 137
ÖZGEÇMİŞ	151
EKLER	152

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AEC	: Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (Architecture, Engineering and Construction)
AGC	: Birleşmiş Genel Müteahhitler (Associated General Contractors)
AIA	: Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects)
AIM	: Varlık Bilgi Modeli
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BEM	: Bina Enerji Modeli
BEP	: BIM Uygulama Planı (BIM Execution Plan)
BIM	: Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling)
BREEAM	: Bina Araştırma Kuruluşunun Çevresel Değerlendirme Yöntemi (The Building Research Establishment's Environmental Assessment Method)
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CIFE	: Bütünleşik Tesis Mühendisliği Merkezi
DIM	: Yapısöküm Bilgi Modeli (Deconstructive Information Model)
DOE	: ABD Enerji Bakanlığı
EPBD	: Binaların Enerji Performansı Direktifi
GSA	: Genel Hizmet İdaresi (General Service Administration)
HBIM	: Miras Yapı Bilgi Modellemesi (Heritage Building Information Modeling)
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating, Ventilating and Air Conditioning)
IFC	: Endüstri Temel Sınıfları (Industry Foundation Classes)
LEED	: Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design)
LOD	: Gelişim Düzeyi (Level of Development)
NBIMS	: Amerikan Ulusal BIM Standartları (National BIM Standards)

NIBS	: Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute for Building Sciences)
PIM	: Proje Bilgi Modeli (Project Information Model)
PMIA	: Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı
YBM	: Yapı Bilgi Modellemesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Türkiye’de enerji arz – talebinin gelişimi.	2
2.1: BIM yaşam döngüsü.	7
2.2: Ivan Sutherland’ ın geliştirdiği Sketchpad programı.	10
2.3: BIM’in tarihsel akış şeması.	12
2.4: Firma türü ve büyüklüğüne göre BIM uyarlaması.	17
2.5: 2011 ve 2020’de BIM farkındalığı ve kullanımı.	18
2.6: Katılımcıların BIM konusundaki bilgi düzeyleri.	22
2.7: BIM boyutları.	24
2.8: 4D İnşaat simülasyonu.	25
2.9: Maliyet analizi.	26
2.10: 6D Enerji analizi.	27
2.11: LOD detay seviyeleri.	29
2.12: LOD seviyeleri ve paydaşlarla ilişkisi.	29
2.13: BIM Forum LOD gelişim seviyeleri	30
2.14: a)Geleneksel yöntem, b)BIM’de bilgi alışverişi.	31
2.15: IFC ifadesi.	34
2.16: IFC verisinin EnergyPlus yazılımına dönüştürülmesi.	35
2.17: Çakışma ile sonuçlanan hata.	36
2.18: BIM’in nesne tabanlı ana unsurları.	37
2.19: BIM’ in BDT’ den farkı.	38
2.20: IFC dosyası hem geometri hem de veri içerir.	40
2.21: Autodesk Revit Structure™ ve ETABS™ yazılımları arasında veri alışverişi.	41
2.22: Gün ışığı analizi.	43
2.23: Odeon™ Oda Akustik Yazılımı.	43
3.1: Bina uyarlama kavramının yenileme ve uyarlanabilir yeniden kullanım kategorilerindeki dağılımı.	49
3.2: Uyarlama türleri ve müdahale seviyeleri	50
3.3: Yapı sektörünün enerji kullanımı ve sera gazı emisyonu durumu.	53
3.4: Doğrusal ve döngüsel ekonomi karşılaştırması.	55

3.5:	Enerji analizi.	59
3.6:	Yapı güçlendirmelerini etkileyen temel unsurlar.	61
3.7:	Yenilemede BIM kullanımının önündeki engeller.	62
3.8:	Tersine mühendislik uygulama süreci.	64
3.9:	Nokta bulutu- BIM modeli.	68
3.10:	3D noktaları ölçmek için lazer tarama işlemi.	69
3.11:	İnşa halindeki bir binanın lazerle taranan verilerinin bir örneği.	69
3.12:	Tarama birleştirme aşamaları.	70
3.13:	Navisworks Manage çakışma algılama.	73
3.14:	Revit modelinin DesignBuilder'a aktarılması.	74
3.15:	Ecotect gölge analizi.	75
3.16:	Varlık yaşam döngüsü boyunca BIM kullanımı.	76
3.17:	Yeni ve mevcut yapılar için BIM oluşturma süreçleri.	77
3.18:	BIM proje uygulama planlama prosedürü.	80
3.19:	Mevcut binaların güçlendirilmesi için BIM tabanlı iş süreci modellemesi.	81
3.20:	Yenileme projesinin tasarım süreci.	84
3.21:	BIM kullanarak mevcut yapılarda enerji odaklı yenilemeler gerçekleştirmek için adımlar.	85
3.22:	Yeşil bina değerlendirme yaklaşımı için iş akışı.	86
3.23:	a) Güçlendirme tasarım seçeneği, b) Güçlendirme tasarım seçeneği, c) Güçlendirme tasarım seçeneği, d) Duvar seçeneklerini değerlendirme.	87
3.24:	Farklı senaryolar altında enerji tüketiminin simulasyon sonuçları.	87
3.25:	Optimum sismik güçlendirme seçimi için BIM çerçevesi.	89
3.26:	BIM tabanlı model ve yapısal analiz yazılımı ile birlikte çalışabilirliği örneği.	90
3.27:	Bir kolon için bir boru arasındaki girişimi tanımlayan çakışma tespit analizi örneği.	90
3.28:	Yapım aşamasındaki BIM süreç haritası.	92
3.29:	HBIM iş akışı.	95
3.30:	Yenileme projelerinde BIM uygulanma çerçevesi.	96
4.1:	Tarama sırasında çekilen fotoğraflar.	99
4.2:	BIM modeli yeni cephe tasarımı.	100

4.3:	Genişletmeyi gösteren BIM modeli.	100
4.4:	Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz havalimanı.	102
4.5:	Genişletme kapsamında inşa edilen cami.	102
4.6:	Tasarımda ilham alınan palmiye ağacı görünümü.	103
4.7:	Tasarımda ilham alınan palmiye ağacı çizim detayı.	103
4.8:	BIM modeline ait görüntüler.	105
4.9:	BIM modeline ait görüntüler.	105
4.10:	Penn İlköğretim Okulu proje çizimi.	108
4.11:	Yenileme sonucu dış mekan görseli.	109
4.12:	Yenileme sonucu iç mekan görseli.	109
4.13:	Woodseat Hall lazer tarama nokta bulutu.	111
4.14:	Woodseat Hall BIM modeli (a), gerçek görüntüsü (b).	112
4.15:	Woodseat Hall'un mimari ve yapısal detaylarına ait görüntü.	112
4.16:	Mimari model.	114
4.17:	Mimari bölümler.	115
4.18:	Mimari bölümler.	115
4.19:	Boston Otel BIM modeli.	117
4.20:	Mimari model.	118
4.21:	Yapısal model.	118
4.22:	MEP modeli.	119
4.23:	Düşey sirkülasyon ve çatı modeli.	121
4.24:	Waterloo Tren İstasyonu BIM modeli.	122
4.25:	BIM modeli çatı strüktürünü gösteren kesit.	122
4.26:	Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.	124
4.27:	Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.	124
4.28:	Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.	125
4.29:	Revit BIM modeli.	127
4.30:	Revit'te rampayı yıkma görüntüsü.	128
4.31:	De Castilla 23 cephesi.	129
4.32:	a) De Castilla 23 BIM modeli, b) De Castilla 23 BIM modeli, c) uygulama, d)uygulama.	129
4.33:	Yapılan yenileme çalışmalarının Revit ortamında model ile gösterimi.	131
4.34:	(a) Revit modeli (b) Sketchup modeline aktarımı.	132

- 4.35: Analiz verilerini çıkarmak için bir BEM modeli oluşturmak üzere
BIM modelinden bilgi çıkarma. 132

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: BIM kullanımının yaygınlaşması için hükümetlerin oluşturduğu bazı BIM rehberleri.	16
2.2: BIM teknolojisinin kullanım alanları ve aktörleri	39
4.1: Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi proje künyesi.	98
4.2: Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı proje künyesi.	101
4.3: Penn İlköğretim Okulu proje künyesi.	107
4.4: Woodseat Hall proje künyesi.	110
4.5: Holiday Inn Express proje künyesi.	113
4.6: Boston Otel proje künyesi.	116
4.7: Waterloo Tren İstasyonu proje künyesi.	120
4.8: Acıbadem Maslak 1 Hastanesi proje künyesi.	123
4.9: De Castilla 23 proje künyesi.	126
4.10: Brescia Akıllı Kampüs proje künyesi.	130
5.1: Örnek proje incelemesi.	133

1. GİRİŞ

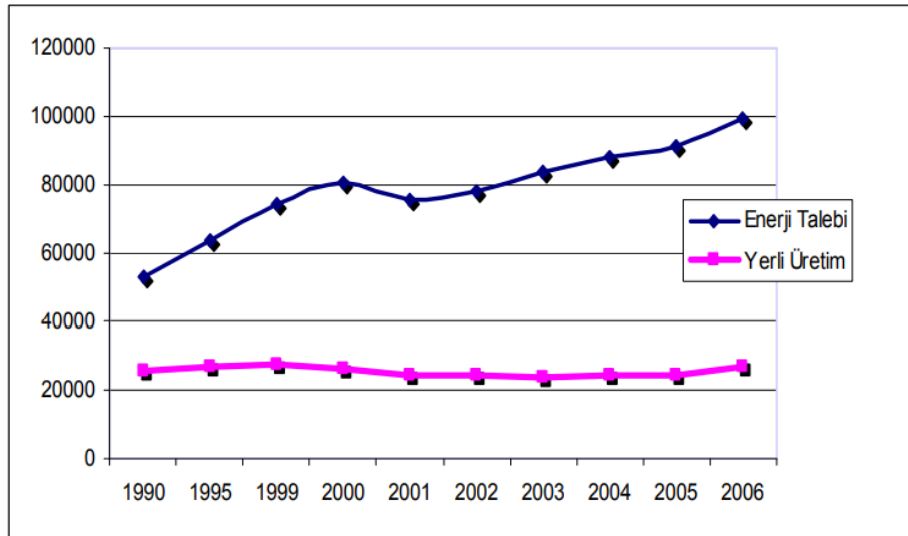
Son yıllarda inşaat sektöründe proje boyutlarındaki artış, karmaşık ve zor yönetilen süreçler nedeniyle birtakım büyüme ve değişimler yaşanmıştır. Yaşanan değişim ve gelişmelerden biri proje tasarım, araç ve süreçlerinde olmaktadır. Gelişen teknoloji, bilginin paylaşılma şeklini, kullanılan araçları ve sürecin yönetilme şeklini değiştirmektedir. Bu teknolojiler yapının nasıl performans göstereceğini ve görüneceğini önceden tahmin etmek için çeşitli görselleştirme, analiz ve simulasyon araçlarını içermektedir. Bu bağlamda ve ihtiyaçlar doğrultusunda süreci kolaylaştırmak adına yeni bir proje yönetim aracı olarak BIM (Building Information Modeling) - YBM (Yapı Bilgi Modelleme) son yıllarda inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır [Web 1, 2022]. BIM modeli yapının planlama aşamasından, tasarım, uygulama, işletme, yenileme, yıkım ve malzeme geri dönüşümü dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir. Özetle, inşaat projelerinin tüm yaşam döngüsünü kapsayan bilgileri yönetmeye, performansı artırmaya, daha düşük maliyetle ve daha sürdürülebilir bir biçimde tamamlanmasına yarayan bir teknolojidir. Birlikte çalışabilirlik, çok boyutluluk ve işbirliği gibi başlıca özelliklerinden dolayı inşaat projeleri için önem arz etmektedir.

Dünyada ve Türkiye’de yenileme projelerine olan talep günümüzde artış göstermektedir. Yenileme projeleri doğru ve güncel belgelerin eksikliğinden dolayı yeni inşaat projelerine kıyasla daha karmaşık bir süreçtir. Ek olarak mevcut yapı sınırlandırmalarından ötürü tasarım ve yaratıcılık açısından kısıtlıdır [Gökgür, 2015]. Karşılaşılan tüm bu sorunlar projede zaman kaybına, maliyet ve iş gücü artışına neden olmaktadır. Bu yüzden proje sürecinde; yenileme teknolojileri, yapı beklentileri, yapı bilgileri ve kullanıcı davranışı gibi başlıca etkenlerin detaylı bir biçimde ele alınması gerekmektedir [Habibi, 2017]. Yenileme projelerinin yanında kültürel miras yapılarının da dijital ortamda kaydedilmesi ve saklanması önem arz etmektedir. Bu doğrultuda gün geçtikçe yaygınlaşan BIM kullanımı ile uyumlu olarak, BIM kullanımının yenileme süreçleri ile bütünleştirilmesinin gerek miras yapıları gerekse inşaat sektörü, proje ve enerji verimliliği açılarından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

1.1. Problemin Belirlenmesi

Sosyal, kültürel ve teknolojik çeşitli gereksinimler gibi nedenlerle ortaya çıkan değişim ve gelişim ihtiyacının, son yıllarda artan çevresel gereksinimlerle birleşerek inşaat sektörüne çeşitli açılardan yansıdığı görülmektedir. Bu anlamda, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere dünyada, mevcudun korunmasını benimseyen döngüsel ekonomi modeli benimsenmeye başlamıştır. İnşaat sektöründe bu anlamda, mevcut yapıların yenilenmesi yönünde bir eğilim bulunmaktadır.

Küresel ısınma, enerji kaynaklarının azalan yönde ivmelenmesi, nüfustaki artış ve teknolojiadaki gelişmeler enerji gereksinimlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum son yıllarda sürdürülebilir yaklaşım ve çözümleri gündeme getirmektedir. Bununla birlikte, Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından yeterli olmayan ve dışa bağımlı bir ülke olarak bilinmektedir. Yıllara göre enerji arz – talebi gelişiminin verildiği grafiği içeren Şekil 1.1’de de görüldüğü üzere, ülkede ithal edilen enerji miktarı gün geçtikçe artmaktadır [Tıkır, 2009].



Şekil 1.1: Türkiye’de enerji arz – talebinin gelişimi.

Enerji tüketimi genel olarak sanayi, ulaşım ve binalar olmak üzere üç ana sektörde gerçekleşmektedir. Dünyadaki enerji kullanımında önemli bir paya sahip olan yapı sektöründe, enerji verimliliği önemli bir sorundur. Enerji kayıplarının büyük çoğunluğu standart ve yönetmeliklere uygun olmadan üretilen yapıların (binaların) yapım ve kullanımından kaynaklanması sebebiyle sektördeki enerji

tasarrufu potansiyeli oldukça fazladır [Aydın, 2019]. Bu durum yapılarda enerji etkinliğini artırmaya yönelik çalışmaları gündeme getirmiştir. Mevcut yapı stokundan kaynaklı enerji kayıpları göz önüne alındığında, yapıların enerji etkin tasarım kriterleri ile tasarlanarak yenilenmesinin çevrenin korunmasına ek olarak ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir [Tıkır, 2009].

Günümüzde yeni inşaat projeleri yapılırken enerji etkinliğini artırmak için enerji analiz ve simülasyonları, yeşil bina ölçütleri, sanal şantiye teknikleri, akustik analizleri ve çevresel etki değerlendirmeleri gibi pek çok araç, projelerin sık kullanılan unsurları haline gelmiştir. Enerji etkin tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak tasarlanan projelerde başarılı sonuçlar elde edilebildiği bilinmektedir. Ancak güncel ihtiyaçlara göre inşa edilmemiş mevcut yapı stokunun enerji verimliliğinin düşük olması, yenileme projelerini üzerinde durulması gereken önemli bir konu olarak ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple inşaat sektörü kaynaklı enerji tüketimini kontrol altına almak ve azaltmak için mevcut yapı stokunun enerji etkin tasarım kriterleri göz önüne alınarak yenilenmesinin katkı sağlayacağı düşünülmektedir [Vatan ve Soğukoğlu, 2014].

Yaşanan küresel enerji problemlerine ek olarak, aktif bir deprem bölgesinde bulunan Türkiye, birçok büyük deprem geçirmiş ve her an olası deprem tehlikesiyle karşı karşıyadır. Depremi değil, mevzuatlara uygun tasarlanmayan yapıların can ve mal kaybına neden olduğu göz önüne alındığında depreme dayanıklı binaların inşa edilmesi ve mevcut olanın güçlendirilmesi ile depremden kaynaklı riskleri önemli ölçüde engellemek mümkündür [Çakmak vd., 2022]. Türkiye’de son yıllarda depremden kaynaklı riskleri azaltmaya yönelik mevcut yapı stokunun güçlendirilmesi sıklıkla gündeme gelmekte ve yapı stokunun yaklaşık %40’ının yenilenmesi veya güçlendirilmesi önerilmektedir [Web 2, 2022].

Teknoloji alanında yaşanan değişim ve gelişmelerin de inşaat sektöründe kullanılan araçları, bilginin paylaşılma ve yönetilme şeklini değiştirdiği bilinmektedir. Bu bağlamda ve ihtiyaçlar doğrultusunda süreci kolaylaştırmak adına yeni bir proje yönetim aracı olarak ‘Yapı Bilgi Modellemesi (YBM-BIM)’ teknolojisi son yıllarda inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır [Web 3, 2022]. Mevcut yapı stokunun büyük bir kısmı BIM’in ortaya çıkmasından önce inşa edildiğinden, bu yapıların üretimi sırasında ve halihazırda bir BIM teknolojisi ile bütünleşme yaklaşımının kullanılmadığı görülmektedir [Erdik, 2018]. İnşaat sektörü ve BIM konularında yapılan literatür araştırmasında araştırmacıların çoğunun temel

olarak; BIM teknolojisine geçiş ve uygulama süreçleri, bu geçişte meydana gelen uyumsuzluk ve anlaşmazlıklar, inşaat sektörüne katkıları, tasarım öncesi, tasarım ve yapım öncesi aşamalarında BIM teknolojisinin rolü gibi çalışma konularıyla daha çok yeni yapım inşaat sürecine odaklandığı belirlenmiştir. Buna karşın, yenileme ile ilgili araştırmaların daha geri planda kaldığı görülmüştür.

1.2. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Yapılan alışma ile BIM'in yapıların yenileme süreçlerinde kullanımının irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada; yenileme projeleri araştırılıp, bu süreçte BIM teknolojisini tercih etmiş projeler tespit edilmiştir. Dünyada sekiz adet ve Türkiye' de iki adet olmak üzere toplam 10 yenileme projesi incelenmiştir. Proje seçimi sırasında; projenin lğine, işlevine ve dünyada BIM kullanımı açısından önemli bir konumda olan ülkelerden proje seçilmesine dikkat edilmiştir. Seçilen projelerdeki BIM kullanımları incelenmiş; bu sırada teknolojinin ne tür amaçlarla, ne tür yazılımlarla, hangi işlevli yapılarda kullanıldığı gibi çeşitli sorulara yanıtlar aranmıştır.

Gerek yeni gerekse yenileme projelerinde, proje üretim sürecinin çeşitli açılardan oldukça karmaşık bir süreç olduğu bilinmektedir. Bu karmaşıklığın; özellikle geleneksel inşaat üretim yöntemleriyle mimarlar, yapı mühendisleri, HVAC mühendisleri, elektrik mühendisleri vb. birçok farklı disiplin arasında koordinasyon eksikliğinden kaynaklı gecikmeler, hatalar ve maliyet aşımları gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkarması söz konusudur. Bu anlamda çalışmanın, gerek akademiye gerekse dijitalleşme sürecinde olan inşaat sektöründeki farklı disiplinlere mevcut yapıların yenileme süreçlerinde kaynak olması yönünde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada ilk olarak giriş bölümünde sorun tanımlanmış, sonrasında tezin amacı, kapsamı ve içeriği konularında bilgi verilmiştir. 'BIM teknolojisi ve Genel Bilgiler' başlığındaki ikinci blmde ise; Tarihsel Süreçte BIM'in Gelişimi, BIM'in İnşaat Sektörüne Katkıları, BIM'in Yapım Sektörüne Getirdiği Yeni Kavramlar, lkelerin BIM Yaklaşımları konularına yer verilmiştir. Bu blmde ayrıca, BIM teknolojisinin 'Tasarım Sürecinde, Analizlerde, Yapım Sürecinde ve İşletim Sürecinde' kullanımlarına yönelik literatürden elde edilen bilgiler aktarılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde mevcut yapılardaki yenileme ihtiyacından ve yenileme türlerinden bahsedilip yenileme süreçlerinde BIM kullanımına yer verilmiştir. Örnek irdelemesinin yapıldığı dördüncü bölümün ardından, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak çalışmalara yönelik önerilerle tez tamamlanmıştır.

2.BIM TEKNOLOJİSİ VE GENEL BİLGİLER

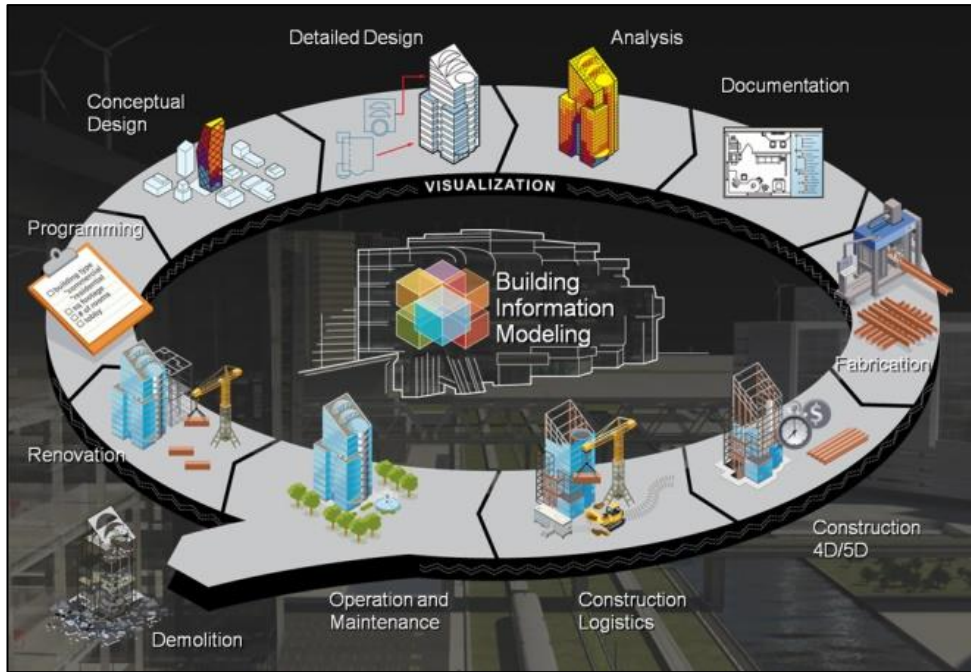
Değişen teknolojik gelişmeler, proje boyutlarının büyümesi, artan talep ve ihtiyaçlar, projelerin daha zor yönetilen ve karmaşık sistemlere sahip olması gibi çeşitli nedenlerle; son yıllarda inşaat sektöründe önemli değişim ve gelişmeler yaşanmaktadır [Atabay ve Öztürk, 2019]. Bu anlamda; inşaat projeleri yapılırken enerji analizleri, ışık ve gölge simulasyonları, yeşil bina ölçütleri, sanal şantiye teknikleri, akustik analizleri, çevresel etki değerlendirmeleri gibi pek çok parametre, inşaat projelerinin sık kullanılan unsurları olarak karşılaşılmaktadır. Bu tür talep, gereksinim ve yeniliklerin karşılanmasında, teknolojiye gelişmeler doğrultusunda bilgi teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Sektörde, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve yaygın kullanımıyla BIM (Building Information Modeling) teknolojisi kullanımının bu açılardan günden güne arttığı görülmektedir.

BIM bir inşaat projesinin tüm paydaşlarının erişiminde olan ortak bir üç boyutlu model üzerinden birçok parametre ile projelendirilebildiği, model üzerinden istenilen her türlü plan, kesit, görünüş, detay ve perspektiflerin çıktı olarak alınabildiği, modelde meydana gelen herhangi bir değişikliğin eş zamanlı olarak alınan diğer tüm çıktılara aktarılabilirdiği teknoloji olarak tanımlanmaktadır [Atabay ve Öztürk, 2019].

Uzmanlık alanları aynı olmayan tüm disiplinlerin kullanacağı ortak bir dil oluşturmanın modelde gerçeğe yakın yapı elemanlarının kullanılmasıyla mümkün olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple BIM yaklaşımı ile oluşturulan modelin yalnızca bir veri depolayıcısı olmanın dışında, nesne tabanlı olması ve parametrik özellikleri içerisinde bulundurması söz konusudur [Akkaya, 2012]. Bu nesne tabanlı teknoloji sayesinde; kolon, kiriş, döşeme, duvar gibi yapı elemanları model üzerinde gerçek görev ve davranışları ile bulunup birbirleriyle ilişkilendirilmektedir. Gerçek veriler ile meydana getirilen model sayesinde, maliyet analizleri, metrajlar gibi ihtiyaç duyulan diğer tüm belgeleri oluşturarak projenin tüm süreçlerinin kontrolü ve doğruluğu kolaylaştırılabilmektedir [Çuhadar, 2017].

BIM'in sahip olduğu çeşitli özellikler ve yeni bir küresel mühendislik ve proje yönetim süreci olması gibi sebeplerle, BIM kavramının tek bir tanımla sınırlandırılması doğru olmamaktadır. Çalışmanın bu bölümünde bu tanımlardan bazılarına yer verilmektedir. BIM teknolojisi; projenin ilk tasarımdan, yapım,

işletme, yeniden işlevlendirme veya yıkım süreçlerine kadar uzanan, bu süreçlerin verimli yürütülmesine olanak sağlayan bir bilgi yönetim teknolojisidir (Şekil 2.1) [Uzun, 2019; Web 4, 2022]. Mimar, mühendis, taşeron, yüklenici ve işveren/hissedarlar arasındaki koordinasyon ve işbirliğini artırmanın yanı sıra yapı için de bir bilgi veri tabanı oluşturur. İnşaat proje yönetiminde iletişimi kusursuz ve sorunsuz bir şekilde yürütmek için gerekli bilgileri içeren bu yeni teknoloji; iş birliği, birlikte çalışabilirlik ve iletişim ile beraber tasarım ve bina maliyetlerinin azaltılmasına da yardımcı olmaktadır [Kocakaya vd., 2019].



Şekil 2.1: BIM yaşam döngüsü.

Amerikan Ulusal Yapı Bilgi Modelleme Standardı (National Building Information Modeling Standards-NBIMS) BIM'i

"bir tesisin yaşam döngüsü boyunca fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital bir temsili"

olarak tanımlamaktadır [Web 5, 2023]. Autodesk firması BIM teknolojisini;

"yapının planlamadan yıkımına tüm yaşam döngüsünü kapsayan, akıllı üç boyutlu sanal bir temsili oluşturmak ve yönetmek için yapılandırılmış çok disiplinli bir süreç"

olarak tanımlamaktadır [Web 6, 2023]; [Inusah, 2018]. BIMsoft BIM'i

“birbirinden farklı mimari projelerin tasarımında, inşasında ve sürdürülmesinde görev üstlenenlerin ortak olarak yararlanabileceği üç boyutlu bir bilgi paylaşım süreci”

olarak ifade etmektedir [Web 7, 2023]. Eastman vd. (2011) BIM hakkında yazdıkları el kitabında BIM teknolojisini;

“yapı için gerekli tüm bilgileri içerisinde barındıran, proje yaşam döngüsü boyunca kullanılacak, disiplinler arası iş birliğine olanak sağlayan üç boyutlu bir sanal modelin oluşturulduğu teknolojik süreç”

olarak belirtmiştir [Eastman vd., 2011; Uzun, 2019]. McGraw Hill (2009)'da ise BIM;

“proje yaşam döngüsü boyunca kullanılmak üzere sanal modeller üretme ve bu modelleri kullanma süreci”

olarak tanımlanmaktadır [McGraw Hill, 2009; Bahadır, 2018]. Ofluoğlu (2014), ‘Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik’ adlı çalışmasında BIM'i,

“Bina ile ilgili grafik (geometri/biçim vb.) ve alfasayısal (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb) veriden oluşan üç boyutlu bir model meydana getirerek, bu modelin yapı sektörü paydaşları tarafından ortak kullanımını sağlayan bir çalışma yaklaşımıdır”

şeklinde açıklamaktadır [Uzun, 2019]. BIM sözlüğünde yer alan tanıma göre BIM;

“birden fazla paydaşın sanal alanda bir tesisi işbirliği içinde tasarlamasına, inşa etmesine ve işletmesine olanak tanıyan bir dizi teknoloji, süreç ve politikadır”

[Web 8, 2023]. BIM teknolojisinin kullanım ilkelerinin belirlendiği ve yer aldığı ISO 19650 kılavuzunda BIM teknolojisi;

“kararlar için güvenilir bir temel oluşturmak üzere tasarım, inşaat ve işletim süreçlerini kolaylaştırmak için yerleşik bir varlığın paylaşılan dijital temsilinin kullanılması”

şeklinde aktarılmaktadır [Web 8, 2023]. Yapılan tüm bu tanımlamalar doğrultusunda BIM teknolojisi özetle; tüm elemanlarının akıllı nesnelerden oluştuğu, disiplinler arası iş birliğine dayanan, yapının bilgisayar ortamında inşa edildiği bir çalışma yaklaşımı olarak ifade edilebilir.

BIM kavramı, proje paydaşları arasında bütünlüğün ve proje verilerinin ortak bir noktada işlenmesi ve saklanması olanağının sağlanması gibi çeşitli açılardan bugünün inşaat sektöründe bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu anlamda özellikle uluslararası çalışmalar incelendiğinde, BIM yaklaşımının uygulanmasının gelişmiş ülkelerin inşaat sektörlerinde zorunlu olduğu, hızla gelişen ülkelerin de bu yeni eğilimi takip ettikleri ortaya çıkmaktadır [Kocakaya vd., 2019].

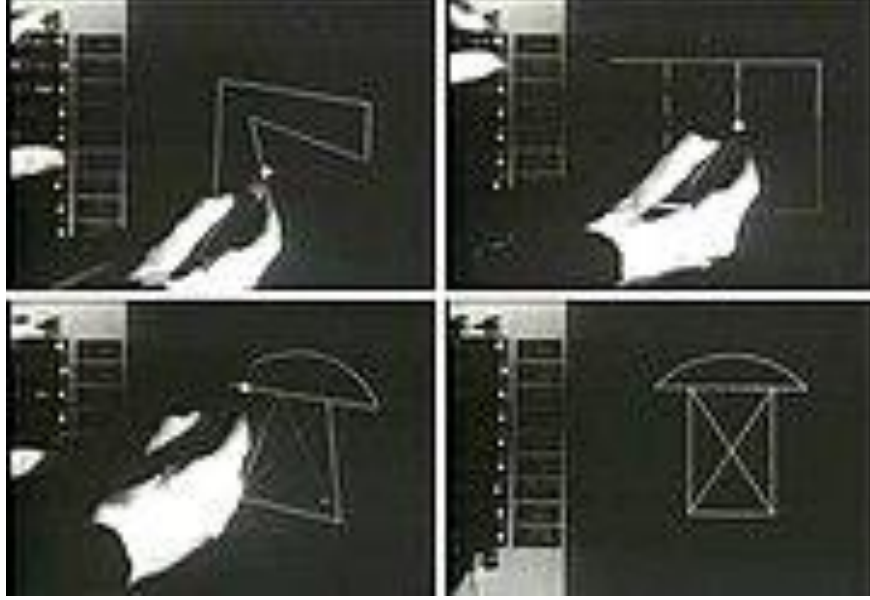
Çalışmanın bu bölümünde BIM teknolojisi ile ilgili tanımlara yer verilmiş olup; BIM'in tarihsel gelişimi, inşaat sektörüne katkıları, sektöre getirdiği yeni kavramlar, ülkelerin BIM yaklaşımları ve BIM'in kullanım alanları gibi çeşitli alt bölümlerde BIM teknolojisine yönelik genel bilgiler aktarılmaktadır.

2.1. Tarihsel Süreçte BIM'in Gelişimi

Teknoloji ile bilgisayar ve yazılımların da büyük bir değişim ve gelişim içinde olduğu görülmektedir. Bu anlamda BIM teknolojisinin son yıllarda inşaat sektöründe kullanımı artan teknolojik araçlardan biri durumuna gelmiştir. BIM'in sektörde kullanımı ile ilgili olarak literatürde net bir başlangıç tarihi belirtilememektedir. Buna karşın, konuyla ilgili yapılan araştırmalardan bu teknolojinin aşamalı ve sürekli gelişme içinde olunan bir kullanım sürecinin olduğu söylenebilir [Web 9, 2022].

Mimar ve mühendislerin BIM'in ortaya çıkmasından önce, 19. yüzyılın ortalarına kadar bilgiyi aktarmak için kâğıt, kalem ve cetvel gibi geleneksel araçları kullandığı bilinmektedir [Inusah, 2018]. Teknolojinin sektöre dahil olmasıyla bu tür araçların yerini bilgisayar destekli araçlara bıraktığı görülmektedir. Bu anlamda, tasarım aşamasına teknolojinin dahil olmasının ilk olarak 1963 yılında Sketchpad adı verilen program ile gerçekleştiği aktarılmaktadır [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Amerikalı bilgisayar bilimcisi ve internet öncüsü Ivan Sutherland'ın geliştirdiği ve 'bilgisayar grafiklerinin atası' olarak nitelendirilen bu programın; bir ekran, ışıklı bir kalem ve

kullanıcının parametreleri ve kısıtlamaları girmesine izin veren bir dizi düğme aracılığıyla grafiksel bir kullanıcı ara yüzüne sahip ilk bilgisayar destekli tasarım (CAD) aracı olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.1) [Web 9, 2022; Web 10, 2022].



Şekil 2.2: Ivan Sutherland' ın geliştirdiği Sketchpad programı.

Bu gelişmenin ardından, iki boyutlu çizim olanağı sağlayan CAD (Computer Aided Design) ile inşaat sektöründe yeni bir dönemin başladığı görülmektedir [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Başka yazılımların kullanıldığı bu dönemlerde, bugün de geniş kullanım alanına sahip AutoCAD yazılımının özellikle mühendislik ve mimarlık ofislerinde kullanımı ile karşılaşilmektedir [Çuhadar, 2017]. Öte yandan, yapıların fiziksel ve işlevsel ihtiyaçlarının büyümesi ve gelişen teknoloji ile bu programların da yetersiz kaldığı ve 1970'li yıllarla programlama dilinde 2D'den 3D'ye önemli bir dönüşümün olduğu görülmektedir [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Bu noktada, BIM kavramının ortaya çıkışı gerçekleşmiştir. BIM tarihinin de başlangıcı kabul edilen 1970 ve 1980'ler bilgisayar ve yazılım geliştirmede önemli yıllar olarak kabul edilmektedir [Web 11, 2022]. Ancak ilk uygulamalar ve kullanabilmek için ihtiyaç duyulan ekipmanın pahalı oluşu gibi nedenler, bu tür teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesinin önündeki engeller olarak ortaya çıkmaktadır.

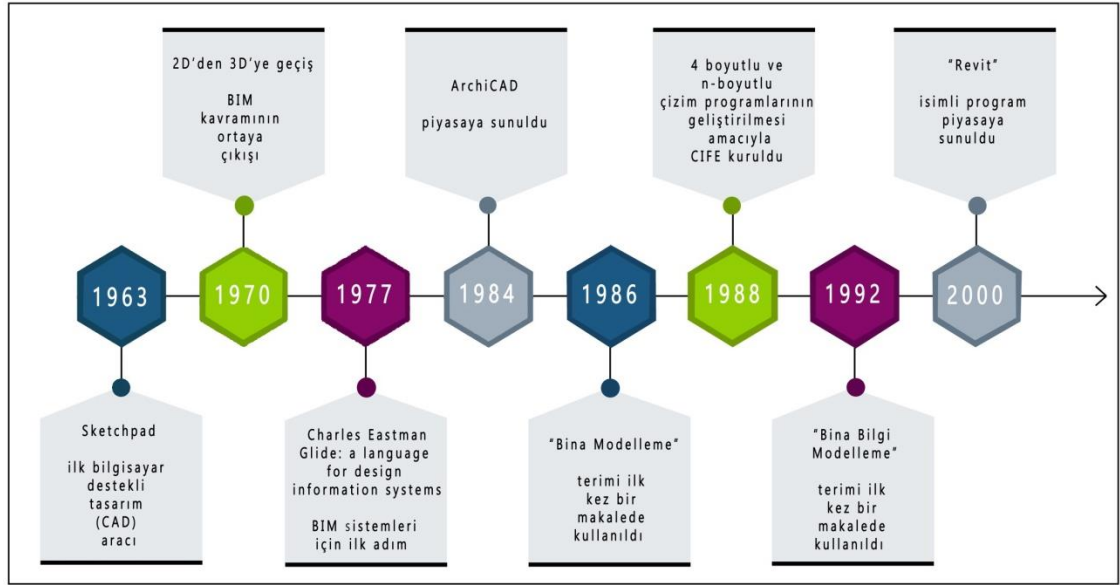
ABD'li Profesör Charles M. Eastman 1975 yılında yayınladığı 'The Use of Computers Instead of Drawings In Building Design' başlıklı makalesinde planlar, kesitler, görünüşler ve perspektifler hakkındaki bilgilerin tek bir belgede toplandığı

ve yapılacak değişikliğin her Őeyi değiştirebildiği bir yazılıma sahip olmanın ne denli devrimsel olacağına değinmiştir [Web 11, 2022]. Eastman ayrıca, ‘İnteraktif Tasarım İçin Grafik Dili’ni geliştirerek 2D çizimlerin ihtiyaçları karşılama konusunda eksik kaldığı fikriyle günümüzün BIM teknolojileri için ilk adımı atmıştır [İnceoğlu ve İnan, 2020]. 1982 yılında bilgisayar dehası Gbor Bojr; ArchiCAD’i geliştirmeye başlamış ve 1984’te Graphisoft firması tarafından bu yazılım piyasaya sunulmuştur [Web 9, 2022]. ArchiCAD yazılımı, bir bilgisayarda kullanılabilen ilk BIM tabanlı teknolojilere en yakın olan ve Eastman’ın ne sürdüğü Grafik dili ilkelerine bağlı ilk yazılım olma özelliğine sahiptir [Ofloğlu, 2009].

‘Bina Modelleme’ terimi ilk kez 1986 yılında bir makalede kullanılmaktadır. Yazar Rober Aish’e göre bütünleşik bir CAD teknolojisi, koordinasyonu ve bilgiye ulaşmayı kolaylaştıracak bir çözümdür. Buna ek olarak ‘Bina Bilgi Modelleme’ terimi ise 1992’de GA van Nederveen ve F. Tolman tarafından inşaatta otomasyonun tartışıldığı bir makalede kullanılmıştır. Yazarlar makaleye göre paydaşlar için ortak bir bina modeli meydana getirebilmek için binanın farklı modellerinin nasıl bir araya getirildiğini açıklamıştır [Web 9, 2022].

1990’ların başlarında binanın farklı şartlar altında nasıl bir durum sergileyeceğini anlayabilmek için analiz ve simulasyonlarla beraber, geometrisini, malzeme özelliklerini ve sistemlerini de içeren yazılımlar geliştirilmiştir. Yine bu yıllarda nesnelerin birbiriyle bağlantılı olduğu nesne tabanlı teknolojilerin geliştirilmesi bu alanda bir devrim yaratmıştır. Teknolojinin getirdiği bir diğer önemli yenilik ise projeye ait tüm bilgilerin tek bir  boyutlu model üzerinde bulunması fikridir [uhadar, 2017]. 1988 yılında dört boyutlu ve n-boyutlu çizim programlarının geliştirilmesi amacıyla Paul Teicholz tarafından Stanford’da Bütünleşik Tesis Mühendisliği Merkezi’nin (CIFE) kurulması, BIM’ in gelişiminde bir başka dönüm noktası olmuştur. 3D modele ‘n’ boyutunu eklemek BIM’i bu kadar gerekli kılan en önemli şeydir.

2000’li yıllara gelindiğinde Autodesk firması bünyesinde olan ‘Revit’ isimli program piyasaya sunulmuştur. Geliştirilen bu program günümüzde en çok tercih edilen BIM tabanlı programlardan biri halindedir [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Revit ile BIM teknolojisi ve kullanımına dair bilgiler literatürde daha fazla yer almaya başlamıştır [Inusah, 2018]. şekil 2.3’de BIM’in tarihsel akış şeması kısaca özetlenmiştir.



Şekil 2.3: BIM'in tarihsel akış şeması.

2.2. BIM'in İnşaat Sektörüne Katkıları

Gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar doğrultusunda inşaat sektöründe tasarım ve uygulama aşamalarında tercih edilen 2D programların ve belgelerin eksik kalması BIM'e geçişi gerektirmektedir. BIM teknolojisi dışında 3D olanağı sağlayan birçok yazılım bulunmaktadır. Buna karşın, bu yazılımlarla meydana gelen modeller yalnızca görselleştirme ihtiyacına çözüm olabilmektedir. BIM ile oluşturulan modeller nesne tabanlı olduğu için 3D görselleştirmenin yanında yapıya dair birçok gerçek veriye de ulaşım sağlanmaktadır [Uzun, 2019]. Parametrik modelleme ve birlikte çalışabilirlik özelliği sayesinde mühendis, mimar ve diğer disiplinler arasında ortak veri kullanımı ve iş birliği ile daha düşük maliyetlerle daha kısa sürelerde tasarım yapılması ve inşaat aşamalarının kolaylaştırılması gerçekleştirilebilmektedir [Selim, 2019].

Stanford'da Bütünleşik Tesis Mühendisliği Merkezi (CIFE) biriminin 2007 yılında yaptığı araştırmalar doğrultusunda BIM'in faydaları aşağıdaki gibi raporlanmıştır [Akkoyunlu, 2015]:

"Bütçedeki değişimlerin %40 oranında azalması, maliyet tahminlerinin %3 hata payı ile yapılabilmesi, maliyet tahminlerinin oluşturulmasında %80'in üzerinde daha az zaman harcanması, yapısal elemanların çakışmalarından kaynaklanan

sözleşmeden doğan para kayıplarının %10 oranında azalması ve tüm proje zamanının %7 oranında azalması.”

Autodesk'in 'BIM İş Özetleri 04 / Rekabetçi Kalmak' başlıklı yayınında üç boyutlu tasarımın öneminin arttığına, verimliliklerini artırmak ve rekabetçi üstünlük elde etmek amacıyla gitgide BIM'e geçiş yapan şirket sayısında artış olduğuna değinilmiştir. Hâlihazırda projelerinde BIM'i aktif olarak kullanan yapı uzmanlarıyla yapılan inceleme sonucunda BIM' in faydalarına; belgede daha az hata ve ihmal, daha az yeniden iş yapma ihtiyacı, daha kısa proje süresi, daha yüksek kar, yeni işler kazanma ve tekrarlayan iş alma kapasitesi şeklinde yer verilmiştir [Alat, 2019].

Mc Graw Hill'in 'The Bussines Value of BIM in North America' başlıklı araştırmasında; 2009-2012 yıllarını kapsayan 30'a yakın BIM projesinden elde edilen veriler doğrultusunda BIM'in faydaları aşağıda aktarıldığı gibi beş uzun dönem ve altı kısa dönem olmak üzere iki ayrı grupta ele alınmıştır [Uzun, 2019]. Buna göre uzun dönem faydaları;

“Müşteri memnuniyeti ve önceki müşteriler ile tekrar iş yapabilmek (Repeat Bussines), proje süresini azaltmak (Reduce project Duration), tutarlılık ve faydalılığı artırmak (Increased Profit), inşaat maliyetlerini azaltmak (Reduce Constraction Cost), BIM ile yapılan projelerde sözleşme anlaşmazlıklarını azalmaktır.”

Kısa dönem faydaları ise;

“Dökümantasyona bağlı hata ve kusurları azaltmak (Reduce Document Error and Omissions), yeni iş imkânları sağlamak (Market New Business), hatalı imalat sonucu yeniden inşa etmeyi azaltmak (Reduce Rework), yeni hizmetler verebilmek (Offer New Service), özellik ve dikkat isteyen iş akışlarının işleyiş sürelerini azaltmak, insan kaynağını doğru seçme ve koruma konusundaki faydaları,”

şeklinde ele alınmıştır.

Eastman vd. (2011) BIM'in faydalarını; inşaat öncesi, tasarım, inşaat ve imalat ile inşaat sonrası faydalar olmak üzere dört başlıkta ele almıştır. Bu başlıklar ve faydalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir [Tütüncüler, 2020].

İnşaat öncesi faydalar:

“Yapı modeli sayesinde projenin fizibilite ve tasarımdaki karar aşamalarını hızlandırır, planlanan zaman ve maliyetle yapılıp yapılamayacağını analiz edilmesini sağlar. Yapının detaylı modeli kullanılarak farklı tasarım seçenekleri değerlendirilebilir, yapının kalitesi ve sürdürülebilirliğinin ön değerlendirmesi yapılıp geliştirilebilir. Proje disiplinlerinin ortak yürüttüğü çalışma ile tüm süreç daha kontrollü ve hatasız ilerler.”

Tasarım faydaları:

“Parametrik modelleme ile tasarımda yapılan herhangi bir değişim ve düzeltmenin eş zamanlı olarak diğer paftalara aktarılması sağlanabilir. Tasarımın bütün aşamalarının doğru ve tutarlı 2D çizimlerine istenilen zamanda erişilebilir. Proje tasarım disiplinlerinin birlikte çalışabilirlik ile iş birliğini destekler. Erken enerji analizleri ile sürdürülebilir bina tasarımının geliştirilmesine olanak sağlar. Tasarım süresince daha doğru ve ayrıntılı maliyet tahminlerinin çıktı oldukça kısa sürelerde elde edilebilir. Tasarım amacının ve içeriğinin projenin başlangıç aşamalarında netleştirilebilir. 3D model sayesinde görselleştirmeler oldukça hızlı bir şekilde elde edilebilir.”

İnşaat ve imalat faydaları:

“Tasarımdaki uyumsuzluk ve hataların inşa aşamasından önce tespit edilip düzeltilebilir. Doğru miktarlar ile tasarım ve inşaat aşamalarının tedarik süreçlerini kolaylaştırır. Simule edilen inşaat süreci ile olası sorunların önüne geçilebilir. Parametrik model ile sahada oluşan problemlere hızlı geri dönüş yapılmasına yardımcı olur. Doğru ve ayrıntılı bir şekilde oluşturulan yapı modelinin inşaat için kullanılacak malzemelerin bina dışı üretimini kolaylaştırır.”

İnşaat sonrası faydalar:

“Daha iyi çalışma için bina modeli bilgisi kullanılabilir. Tesis yönetim sistemleri ile bütünleşik şekilde yapılabilmesini sağlar. Gerçek zamanlı kontrol sistemlerinin izlenmesini kolaylaştırabilir, sensörler için doğal bir ara yüz ve tesislerin uzaktan işletme yönetimini sağlar.”

BIM'in inşaat sektörüne katkıları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde proje yaşam döngüsü boyunca BIM'in birçok farklı alanda fayda sağladığı görülmektedir. İnşaat öncesi değerlendirme, analiz ve simulasyonlar, proje kontrolleri, birlikte çalışabilirlik, zaman ve maliyet kazançları inşaat süresince en dikkat çekenleridir. İnşaat projesi tamamlandıktan sonraki yapının yaşam döngüsünde daha doğru bakım ve onarım süreçlerinin gerçekleştirilmesi açısından zamanla çoğalan yapı bilgilerinin saklanması için de BIM'in önemi kritik bir değere

sahiptir [Selim, 2019]. BIM genel olarak avantajlı bir teknoloji olmakla beraber henüz yeni yeni yaygınlaşmaya başlamış bir teknoloji olmasından kaynaklanan bir takım teknik, yetenek, eğitim ve uyumdan kaynaklanan zorlukları içermektedir.

2.3.Ülkelerin BIM Yaklaşımları

Farklı proje paydaşları arasındaki bilgi paylaşımı esnasında meydana gelebilecek sorunları en aza indirmesi, proje kalite ve verimini artırması, literatürde sözü edilen yararların uygulamalarda da görülmeye başlanması gibi nedenlerden dolayı son yıllarda BIM kullanımına olan ilgi tüm dünyada giderek artmaya başlamıştır [Erdik, 2018]. Bu kullanım bir kısım ülkelerde devlet teşviki ve özellikle kamu projelerine yönelik zorunlulukların etkisi ile yaygınlaşmıştır [Erdik ve Gökuç, 2020]. BIM'in adaptasyonu ve geliştirilmesi açısından buildingSMART isimli kuruluşun çalışmaları önemli kazanımlar sağlamıştır [Genç, 2019]. BuildingSMART, inşaat sektöründe kullanılan yazılım uygulamaları arasındaki bilgi alışverişini iyileştirmeyi amaçlayan uluslararası bir oluşumdur [Web 12, 2022]. Pek çok ülke BIM'in benimsenmesi, mevzuat geliştirilmesi ve eğitim süreçlerini buildingSMART eşliğinde gerçekleştirmektedir. Kuruluş, yakın dönemde Finlandiya, Norveç, ABD, Singapur gibi ülkelere BIM'e adaptasyon süreçlerinde rehberlik etmiştir [Akkoyunlu, 2015; Genç, 2019]

Günümüzde gelişmiş ülkelerin (Birleşik Devletler, Birleşik Krallık ve İskandinav bölgelerindeki ülkeler gibi) birçoğunda başlangıç aşamasında kamu projelerine yönelik olmak üzere BIM teknolojisinin benimsenmesine yönelik yönerge ve standart geliştirme çalışmaları hızla devam etmektedir. Hükümet desteği, BIM teknolojisi ile ilgili standartlar ve BIM ile ilgili eğitimlerin verilmesi gibi çalışmalar verimi önemli ölçüde artırmaktadır [Smith, 2014]. BIM kullanımının artması için hükümetlerin oluşturduğu bazı BIM rehberlerine Tablo 2.1'de yer verilmektedir [Selim, 2019].

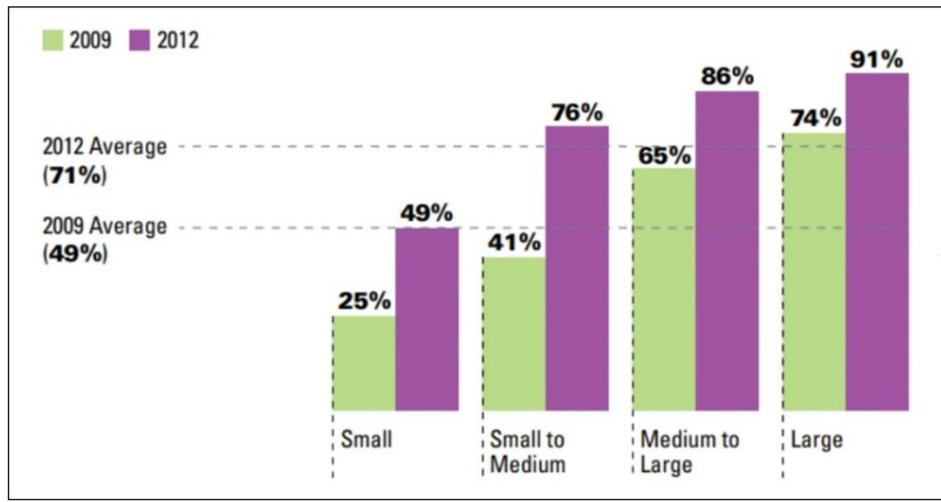
Tablo 2.1: BIM kullanımının yaygınlaşması için hükümetlerin oluşturduğu bazı BIM rehberleri.

ÜLKE	STANDART
İNGİLTERE	• PAS 1192-3: 2004 • BS1192-4:2004 • PAS1192-2:2013 • BS1192:2007+A2:2016
ALMANYA	• Planen Bauen 4.0
FRANSA	• XP P07-150
AVUSTRALYA	• NATSPEC National BIM Guide
AMERİKA	• The National BIM Standard-United States • Los Angeles Community College District (LACCD) Building Information Modeling Standards

BIM'in ABD'deki mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü üzerindeki etkisi oldukça büyüktür [Web 13, 2022]. Yapı sektöründeki BIM kullanımında lider ülkelerden biri olan ABD, BIM konusunda kendi standartlarını geliştirmiştir [Erdik ve Gökuç, 2020]. Ülke, ekonomik imkanları, teknolojik altyapısı ve endüstrisiyle BIM'in geliştirilmesinde etkili olmuştur [Çuhadar, 2017]. Dünya genelinde BIM uygulaması ve kullanımına 90'lı yıllarda başlamasına rağmen, ABD'de 70'li yıllarda Charles M. Eastman tarafından yayında sunulan bir yapının sanal modelinin ilk tanımına dayanmaktadır [Genç, 2019]. Amerika'da; 'Birleşmiş Genel Müteahhitler (Associated General Contractors-AGC)', 'Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute for Building Sciences-NIBS)' ve 'Genel Hizmet İdaresi (General Service Administration-GSA)' gibi kamu kuruluşları inşaat sektöründe BIM'in oluşturulması, kullanımı ve adaptasyonu için rehber niteliğinde belgeler geliştirmektedirler [Çuhadar, 2017]. 2003 senesinde GSA tarafından Ulusal 3D-4D BIM programı ABD'de uygulamaya alınmış ve bu program, tüm Kamu Binaları Hizmetleri projeleri için BIM kullanımını zorunlu kılmıştır [Smith, 2014]. AGC tarafından 2006 senesinde 'Yüklenicinin BIM Rehberi (Contractor's Guide to BIM)' dokümanının ilk sürümü daha sonra 2009 senesinde ise ikinci sürümü yayınlanmıştır. NIBS tarafından ise 2007 senesinde 'Ulusal Bina Bilgi Modelleme Standartları (National Building Information Modelling Standards)' dokümanının birinci, 2008 senesinde ikinci versiyonu yayınlanmıştır [Çuhadar, 2017].

2012 senesinde McGraw-Hill'in yapmış olduğu bir araştırmaya göre; Kuzey Amerika'da 2007-2012 seneleri arasında inşaat sektörünün BIM'i benimseyip kullanma oranı %28'den %71 seviyelerine artmıştır. Bu araştırmada firma büyüklüklerinin küçük, küçük ila orta, orta ila büyük ve büyük başlıkları altında

toplanmasıyla yapılan araştırmaya göre firmanın büyüklüğü BIM'in benimsenme olasılığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Büyük firmalar 2009'da %74 ve 2012'de %91 oranla her iki senede de %49 - %71 olan ortalamaların oldukça üstünde yer almaktadır. Orta ila büyük ölçekli firmalardaki adaptasyon oranı %65'ten %86'ya yükselirken küçük ila orta büyüklükteki firmalarda bu oran %41'den %76'ya yükselmiştir. Küçük firmalar benimsenme oranını %25'den %49'a iki katına çıkarmasına rağmen ortalamanın oldukça altında kalmaktadır (Şekil 2.4) [McGraw-Hill Construction, 2012]. Bu sonuçlara göre; büyük firmaların BIM'in benimsenmesi ve uygulanmasında daha iyi bir konumda olduğu söylenebilir.

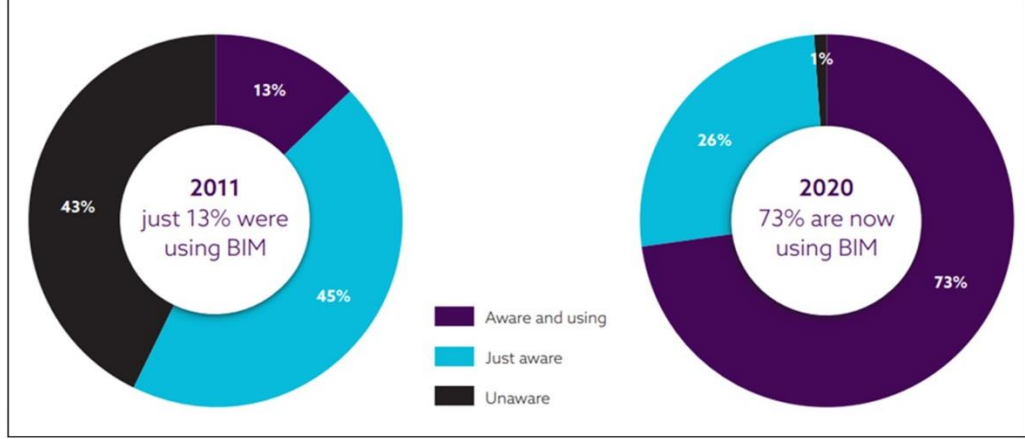


Şekil 2.4: Firma türü ve büyüklüğüne göre BIM uyarlaması.

İngiltere'de 2011 senesinde yapı sektöründe BIM kullanımını zorunlu bir hale getirmek amacıyla 'Hükümet İnşaat Stratejileri (Government Construction Strategy)' olarak adlandırılan beş yıllık kademeli bir uygulama planı oluşturulmuştur [Erdik, 2018]. Bu plana göre, 2016 senesine kadar tüm kamu sektöründeki inşaat projelerinde en az ikinci seviyede BIM platformlarının kullanımı zorunluluğu getirilmiş ve bazı BIM standartları yayınlanmıştır [McGraw-Hill Construction, 2014].

İngiltere'de BIM farkındalığı ve kullanımını üzerine 2011 ve 2020 senelerini kapsayan bir anket çalışması yapılmıştır. Bu ankete göre BIM'i farkında olan ve kullananların oranı 2011'de %13 iken 2020'de %73'e yükseldiği görülmektedir. BIM'i yalnızca farkında olanların oranı %45'den %26 ya düşerken henüz haberdar olmayanlar %43'den %1'e düşmektedir (Şekil 2.5) [NBS, 2020]. Bu oranlara göre

İngiltere’de BIM kullanımı ve farkındalığının geçen 10 senelik süreç içerisinde önemli ölçüde arttığı ortaya konmaktadır. Özellikle veri paylaşımında adaptasyon aşamalarını kolaylaştırmak adına buildingSMART’tan yardım alan İngiltere hükümeti, Avrupa ülkeleri arasında BIM lideri olmayı hedeflemektedir [Genç, 2019].



Şekil 2.5: 2011 ve 2020’de BIM farkındalığı ve kullanımı.

İskandinav ülkelerinden Finlandiya, Danimarka ve Norveç de BIM teknolojisi nin ilk uygulayıcıları olmuştur [Smith, 2014]. Özellikle Finlandiya BIM teknolojisi ile ilgili en çok tecrübeye sahip ülke konumundadır. 2007 senesinde hükümetin desteği ile BIM’in uygulanması için gereklilikleri ve standartları yayınlanmıştır. Bu sene içerisinde yapılan anket çalışmasına göre; ülkedeki mimarlık firmalarının yaklaşık %93’ü projelerinde BIM teknolojisini tercih ederken, mühendislik firmalarında bu oran yaklaşık %60’tır. Daha sonra 2012’de yayınlanan standartlar güncellenerek ülkede BIM yönetmeliği (COBIM) geliştirilmiştir [Bahadır, 2018].

Norveç BIM kullanımı ile ilgili benzer gelişmelerin gözlemlendiği bir diğer ülkedir. BIM uygulamalarına ve geliştirilmesine ülkede ‘Statsbygg’ isimli firma öncülük etmektedir. 2010 senesinden itibaren ülkedeki tüm kamu projelerinde BIM kullanımı zorunlu hale getirilmiştir [Akkoyunlu, 2015; Bahadır, 2018].

2007 senesinden itibaren kamu projelerinde BIM kullanımını zorunlu olan Danimarka güçlü bir BIM destekleyicisidir [Özorhon, 2018]. Ülkedeki BIM’e yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerine öncülük eden kurumlar The Palace and Properties Agency, Property Agency and Defence Construction Service, Gentofte Municipality, KLP Ejendomme ve Danish Enterprise and Construction Authority olarak sıralanmaktadır [Çuhadar, 2017].

BIM teknolojisinde gelişim kaydeden bir başka ülke Singapur'dur. Ülkedeki BIM gelişimini ve kullanımını destekleyen 'Yapı ve İnşaat Kurumu (BCA)' BIM kullanıcılarına rehberlik etmesi ve 2015 senesine kadar kamu projelerindeki BIM kullanımını artırmak amacıyla bir 'BIM Yol Haritası (Singapore BIM Guide)' hazırlamıştır. Hedeflenen seviyeye ulaşabilmek için BIM sunumu zorunlu tutulup, uygulayıcıların mimari veya mühendislik planlarını BIM teknolojisinde geliştirmeleri zorunlu kılınmıştır [Genç, 2019]. Öte yandan BIM farkındalığını arttırmak adına ülkedeki üniversitelerde BIM dersleri, seminerleri ve atölye çalışmaları gerçekleştirilmektedir [Khemlani, 2012].

Building Smart uluslararası standartların oluşturulması ve benimsenmesi yoluyla inşaat sektöründe kullanılan yazılım uygulamaları arasındaki bilgi alışverişini iyileştirmeyi amaçlayan bir kuruluştur. İspanya'da resmi olarak 2014'te birlikte çalışabilirliği hızlandırmak ve BIM teknolojisinin kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla Building Smart Spain kurulmuştur. İspanya ayrıca 2014/24/UE AB Yönergesine tabidir. Bu yönergeye göre üye devletler, 2016'dan itibaren AB kamu fonları tarafından finanse edilen inşaat projelerinde BIM kullanımını teşvik etmeye davet edildi. Ministerio de Fomento (Kalkınma Bakanlığı) tarafından 2015'te ana misyonu BIM için bir yol haritası oluşturmak olan "BIM Komisyonunu" oluşturdu. 17 Aralık 2018'den itibaren kamu inşaat projelerinde, 26 Temmuz 2019'dan itibaren kamu altyapı projelerinde zorunlu kılınmıştır [Web 14, 2023].

Hollanda dünyadaki en yüksek BIM benimsenme oranlarına sahip ülkelerinden biridir [Genç, 2019]. 2012'de BIM teknolojisinin uygulanmasında önemli bir kuruluş olan 'Rijksgebowwendienst' tarafından BIM adaptasyonu zorunlu kılınmış ve standartların birinci versiyonunu, 2013'de ise ikinci versiyonu yayınlanmıştır [Çuhadar, 2017].

BIM teknolojisinin ilk uygulayıcılarından biri olan Güney Kore'de, 2010'dan bu yana zorunlu BIM projelerinin kapsamını arttırmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Kamu İhale Hizmetleri tarafından 2016 senesinden itibaren bütçesi 50 milyon Doların üzerinde bulunan bütün kamu projeleri için BIM zorunluluğu getirilmiştir [Genç, 2019; Çuhadar, 2017].

Türkiye'deki BIM kullanımı diğer ülkelere kıyasla henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen son yıllara bakıldığında bu kullanım giderek artış göstermektedir [Selim, 2019]. Özellikle yazılım firmaları BIM ile uyumlu yazılımları tanıtmak için

alışmalar yürütmektedir [Bahadır, 2018]. İnşaat sektöründe projelerinde BIM'e geçiş yapmayı planlayan firmalar bu çalışma teknolojisini kullanma konusunda zorluk yaşamakta ve uygulamaya yardımcı kılavuzlara ihtiyaç duymaktadır [Selim, 2019]. Uluslararası düzeydeki projelerde işveren talepleri ile BIM kullanımına yönelim artmaya başlamış olsa da Türkiye'deki firmaların alışık oldukları düzeni değiştirmek istememeleri, mevcut düzeni korumak istemeleri BIM'in benimsenmesini ve geçiş süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Ülkede BIM'e geçiş süreçlerinde referans alınabilecek standartların bulunmayışı firmaların bu teknolojiye geçmelerine etki eden unsurlardan biridir. Saniye ktem ve Esin Ergen 2017 yılında hazırlamış oldukları çalışmada firmaların BIM alışma teknolojisine geçiş süreçlerinde zorluk yaşamamaları için rehber olması niteliğinde bir ereve oluşturulmasını amaçlamışlardır. Çalışmada organizasyonel ve operasyonel olmak üzere geliştirdikleri iki erveden operasyonel olan ereve hakkında bilgi verilmiştir. BIM'e geçiş süreçlerinin aynı zamanda bir kültür değişimini de beraberinde getirdiği ve adaptasyon için zaman gerektiği vurgulanıp, geliştirilen çerçevenin adaptasyon sürelerine katkı sağlayacağı ve BIM teknolojisinin proje üzerindeki olan faydalarının daha kısa sürede elde edileceği düşünülmektedir [ktem ve Ergen, 2017].

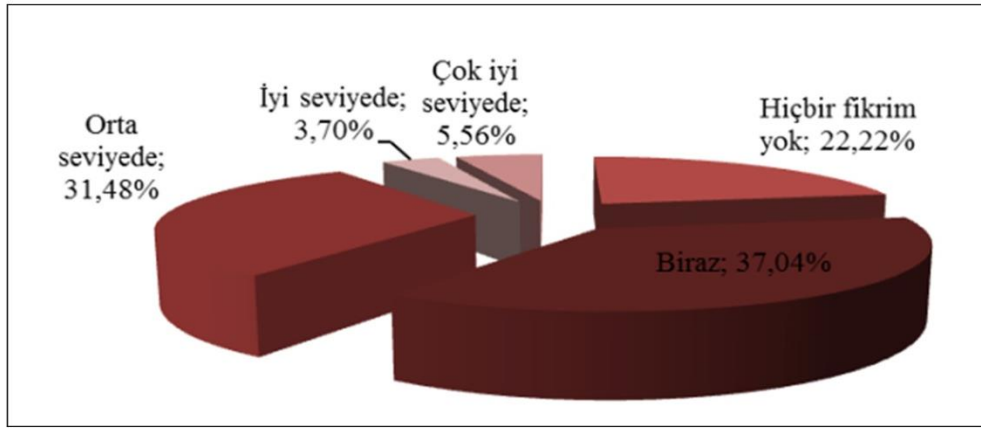
Türkiye'deki inşaat sektöründe BIM'e geçişte yaşanan zorluklara bakıldığında sektöre katkılarının bilinmemesi, standart eksikliği ve teşvik edici veya zorunlu sözleşme maddelerinin eksikliğinin en büyük engel olduğu görülmektedir [Ademci, 2018]. Ülkemizde BIM teknolojisi açısından hkmet desteği olmadığı için paydaşlara kılavuz olabilecek bir standart oluşturulmamıştır. Tekin tarafından 2017 yılında BIM'in Türk yapı sektörüne uygulanması için stratejik bir yol haritası önermeyi amaçladığı çalışmasında yol haritası önerisine ek olarak eğitim, teknolojik adaptasyon, kamu teşviki ve yaptırımlarının önemine değinmiştir [Erdik, 2018]. İstanbul'daki raylı sistem projelerinde BIM kullanımının zorunlu tutulması ile resmi kurumların bu teknolojiye destekleri başlamıştır [Selim, 2019].

BIM kullanımının yaygınlaşması için öneriler geliştirmenin hedeflendiği bir çalışma sonucunda Türk yapı sektöründe BIM kullanımının henüz yaygın olmadığı ancak bu konuda bir farkındalık oluştuğu tespit edilmiştir. Yapılan anket kapsamında firmaların BIM'i projelerinde daha çok tasarım ve planlama süreçlerinde tercih ettikleri saptanmıştır. Çalışmada Türkiye'deki BIM kullanımını yaygınlaştırmak için BIM'in devlet ihalelerinde zorunlu hale gelmesi, niversitelerde BIM konusunda

verilen eğitimlerin, bu konudaki seminer, panel ve konferansların artırılması önerileri getirilmiştir [Erdik, 2018].

BIM uygulamaları ile ilgili yapılan bir başka çalışmada temel başarı faktörleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Anket çalışması sonuçlarına göre uygulamaları olumlu veya olumsuz etkileyen faktörlerin başında nitelikli personel, etkin liderlik ve bilgi teknoloji kullanımı olarak belirlenmiştir. Kamu ve özel sektörün öneminin vurgulandığı çalışmada BIM'in daha çok proje tasarım ve yapım öncesi süreçlerinde kullanıldığı, işletme ve yenileme süreçlerindeki kullanımın geri planda kaldığı tespit edilmiştir [Erdik ve Gökuç, 2020]. M. Ensar Ademci 2018 yılındaki çalışmasında mimar, inşaat mühendisi, mekanik mühendisi ve elektrik mühendislerinin yer aldığı Türk inşaat sektöründe BIM'in benimsenmesine yönelik bir anket yapmıştır. Ankete katılan katılımcıların BIM'in benimsenmesindeki engellere verdikleri cevaplar genel olarak; teknik personelin BIM'i kullanmak için yetersiz olduğu, BIM kullanımı için geçerli ulusal bir standart olmayışı, danışmanlık hizmetlerinin yetersizliği, devlet kurumlarının BIM kullanımını teşvik etmeyişi şeklinde olduğu görülmüştür [Ademci, 2018].

Merve Erdik tarafından 2019 yılında 'Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu' adı verilen çalışmada Türk yapı sektöründeki BIM adaptasyonunu incelemek adına bir anket çalışması yapılmıştır. Ankete BIM'i henüz kullanmayan 108 katılımcının yer aldığı tasarım ve firmaları katılmıştır. Şekil 2.6'ya göre katılımcıların BIM hakkındaki bilgi seviyeleri için % 22,22'sin BIM hakkında hiçbir fikrinin olmadığını, %37,04'ü biraz, %31,48'i orta seviyede, %3,70'i iyi seviyede ve %5,56'sının da çok iyi seviyede olduğu görülmektedir. BIM kullanımını engelleyen faktörlere ise daha çok sektördeki paydaşlar ve alt yüklenicilerin teknik olarak yetersiz olması, BIM kullanımının potansiyel faydalarının tam olarak anlaşılmamış olması, firmalardaki uzman işgücü eksikliği etki etmektedir sonucuna ulaşılmıştır [Erdik ve Gökuç, 2020].



Şekil 2.6: Katılımcıların BIM konusundaki bilgi düzeyleri.

Türkiye’de BIM ile ilgili şartname eksikliğine yönelik eksikliğin son yıllarda kamu kurumlarınca giderilmeye çalışıldığı görülmektedir. Bu anlamda ülkede 2020 senesinde T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına bağlı kurum ve kuruluşların yapım işleri ihalelerinde BIM teknolojisi kullanmaları amacıyla ‘BIM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları’ isimli belge yayınlanmıştır. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına bağlı kurum ve kuruluşlar tarafından yürütülecek projelerde BIM süreçlerinin yönetimi için gerekli uygulama esaslarını içeren bu belgelerin yapım ihalelerinde uygulanma zorunluluğu getirilmiştir [Web 15, 2023]. BIM teknolojisinin devlet desteği ile beraber artan projelerle Türk AEC sektöründe adaptasyonunun artacağı düşünülmektedir.

Birçok ülkede özellikle kamu projelerinde zorunlu olan BIM teknolojisi kullanımı Türkiye’de de zamanla artmaktadır. Ülkede özellikle İstanbul ve Ankara gibi büyükşehirlerde büyük ölçekli firmalar BIM’in inşaat sektörünün geleceği olduğunun bilincinde olup, küresel rekabete katılmak amacıyla projelerinde BIM teknolojisini kullanmaya başlamıştır. Atatürk Havalimanı İç Hatlar Terminali, Emaar Square, İstanbul Yeni Havalimanı (İYH), Rönesans Tower ve Ankara Etlik Entegre Sağlık Kampüsü gibi projeler İstanbul ve Ankara’da BIM kullanımına örnek verilebilecek büyük projelerdir [Bahadır, 2018]. İlk olarak, havalimanları, hastaneler ve Kabataş – Mecidiyeköy – Mahmutbey Metro Hattı, Atakoy-İkitelli Metro Hattı, Dudullu-Bostancı Metro Hattı gibi raylı sistemlerde kullanılan BIM teknolojisinin yakın zamanda Türk yapı sektörünün önemli bir parçası olması beklenmektedir [Erdik ve Gökuç, 2020]. Aynı zamanda üniversitelerde BIM eğitimlerinin yer alması

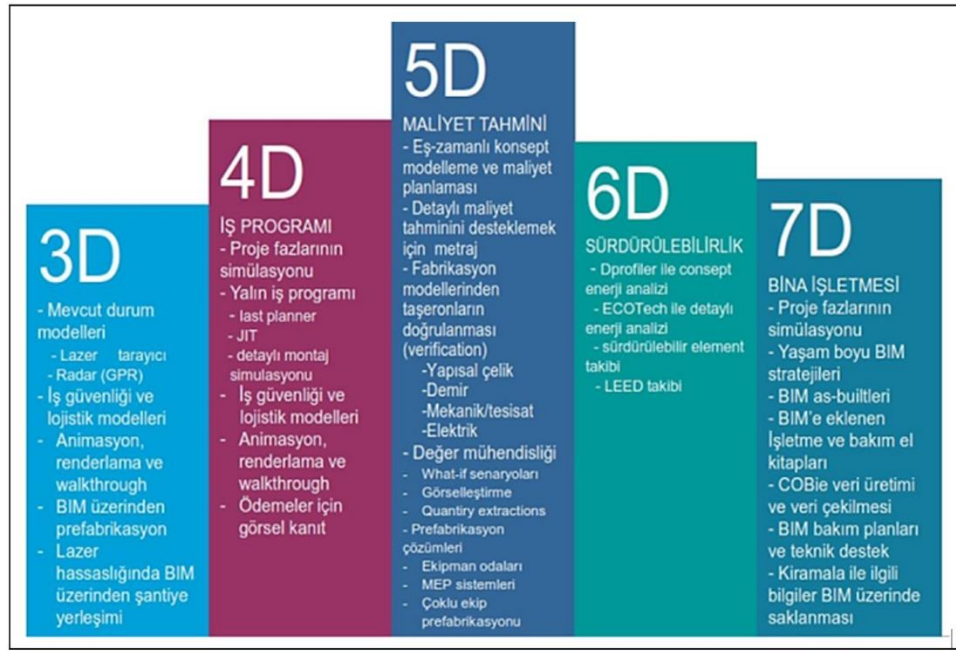
ve akademi ve sektörün iş birliği ile BIM teknolojisinin proje yaşam döngüsüne sağladığı potansiyel faydaların bilincine varılması gerekmektedir.

2.4. BIM'in Sektöre Getirdiği Yeni Kavramlar

BIM teknolojisinin yapı sektöründeki artan kullanımı beraberinde birçok yeni kavramı da getirmiştir. Bunlardan çok boyutluluk, LOD detay seviyeleri, birlikte çalışabilirlik, çakışma tespiti ve parametrik (nesne tabanlı) modelleme aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.4.1. Çok Boyutluluk (nD)

BIM teknolojisi bir inşaat projesinin tüm yaşam döngüsünü kapsayan bilgi üretme ve depolama yönünden zengin modeller üretmeye yönelik dinamik bir süreçtir [Web 16, 2022]. Gelişim halinde olan ve kullanıcıların birçok farklı ihtiyacını karşılayan bu teknoloji, diğer modelleme yazılımlarının bulundurduğu üçten fazla boyuta sahiptir. 'nd' olarak ifade edilen ve ileride farklı boyutlarının da gelişmesi beklenen teknolojideki 'Çok Boyutluluk' kavramı, proje ile ilgili problem ve ihtiyaçlara çözüm üretmek için oldukça büyük bir potansiyele sahiptir [Tütüncüler, 2020]. BIM boyutları her biri farklı amaca hizmet edecek şekilde 2D-çizelge, 3D-obje modeli, 4D-zaman, 5D-maliyet, 6D-sürdürülebilirlik, 7D-işletme ve 8D-güvenlik olarak tanımlanmaktadır [Alat, 2019]. Yapının planlanmasından yıkımına kadar olan tüm döngüsel sürecinde kullanılan çok boyutlu model; kullanıcıların projenin bütün ömrünü görmesini, simule etmesini, ne kadara mal olacağını, ne zaman tamamlanacağını ve gelecekte ne kadar sürdürülebilir olacağını görmesini sağlayarak karar verme aşamasındaki belirsizlikleri azaltmaya ve gerçek analizlerini görmelerine fayda sağlar [Erdik, 2018]. BIM model boyutlarıyla ilgili bilgilerin kısa bir özeti Şekil 2.7'de gösterilmektedir [Web 17, 2022].



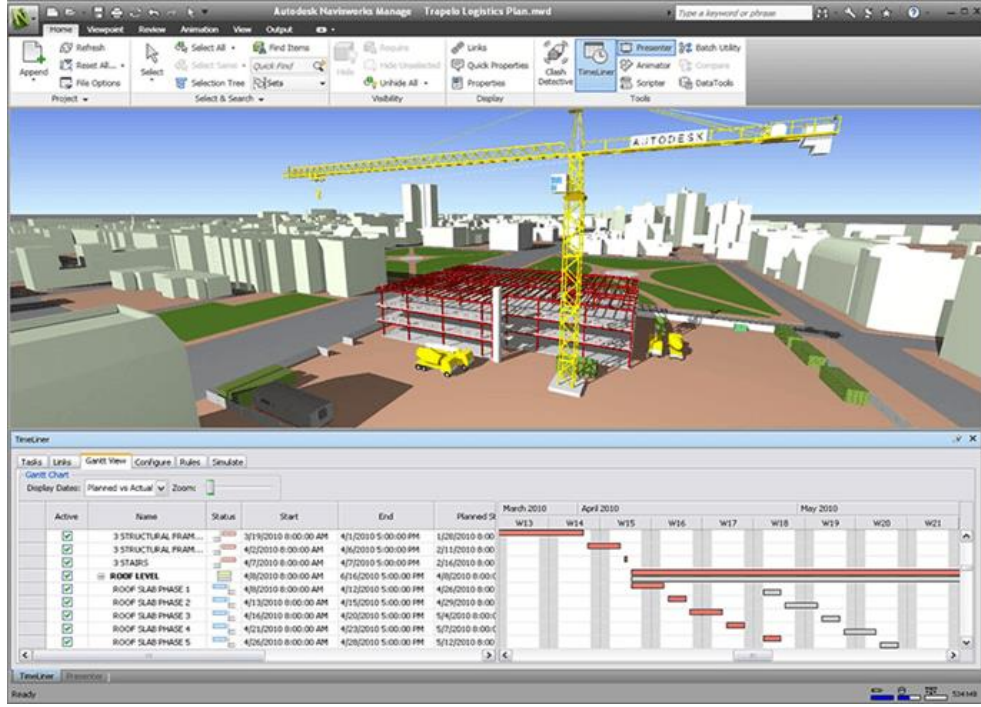
Şekil 2.7: BIM boyutları.

Tüm boyutlar kısaca şöyle açıklanmaktadır:

3D BIM, yapının üç boyutunu temsil eden, parametrik bilgiyi içeren görselleştirilmiş detaylı bir yapı modeli olarak kabul görmektedir. Bu boyut, mimar ve mühendisler gibi projenin tasarım sürecinde bulunan paydaşların yapı elemanlarını modelleyerek yapıyı sanal ortamda inşa etme aşamasını içerir [Uzun, 2019]. Oluşan model ile birlikte proje paydaşları arasında kesintisiz bilgi paylaşımı sağlanır [Alat, 2019]. BIM'in en çok bilinen ve kullanılan bu boyutunda disiplinler arası iş birliği sayesinde HVAC (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme), elektrik ve sıhhi tesisattaki olası çakışma sorunlarını önceden görme ve düzeltme, metraj alabilme, işveren taleplerinin uygunluğunun model üzerinden görülebilmesi gibi faydalar sağlanır [Uzun, 2019]. Bu sayede süre ve maliyet kayıplarının da önüne geçilmesine yardımcı olunur.

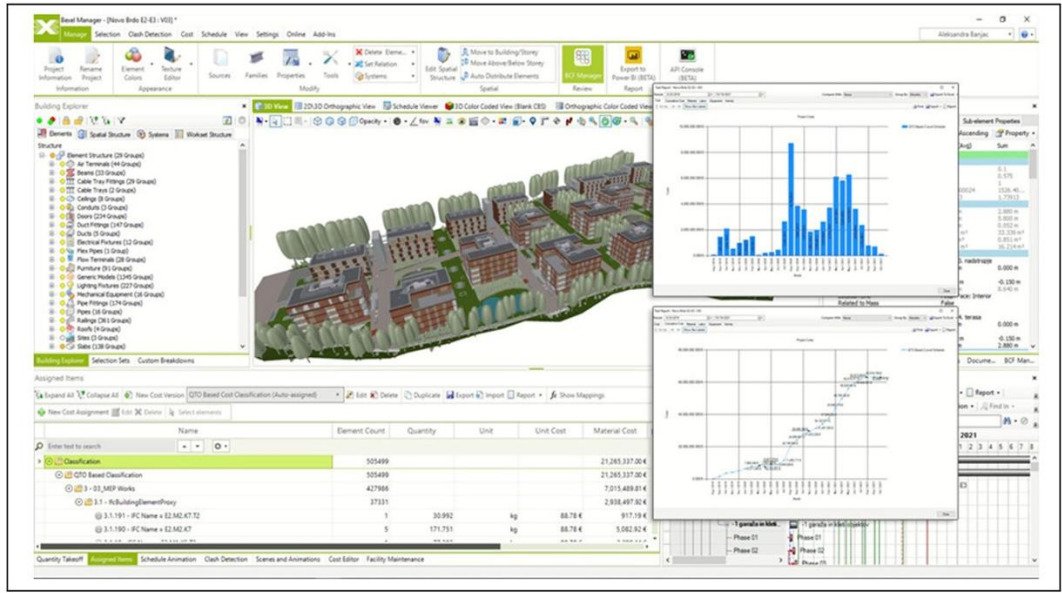
4D BIM, 3 boyut ile modellenen yapıya zaman ögesinin eklenerek inşaat süreçlerinin planlanmasıyla ilgilidir (Şekil 2.8) [Web 18, 2022]. Zaman ile ilgili veriler projenin tamamlanması için gereken süreyi, bu süre içerisindeki ilerleyişini görmeye yardımcı olur. Bu boyut sayesinde, projenin ne zaman hangi tarih ve saatte başlayacağı veya biteceği, hangi tarihte hangi aşamada olması gerektiğini görmek mümkün olmaktadır [Uzun, 2019]. Ayrıca proje paydaşları bu aşamada, olası değişik

senaryolar ve inşaat öncesi simulasyonlar ile gecikme risklerini değerlendirebilmekte ve en uygun planlamayı oluşturabilmektedir [Tütüncüler, 2020]. 4D BIM teknolojisinin kullanımı ile; inşaat müteahhitleri, inşa esnasında kullanılacak malzemelerin sahaya ulaşımını, işgücünü ve ekipmanları koordine edebilir. Böylelikle montaj sürelerine ve verimliliğe fayda sağlanır [Alat, 2019].



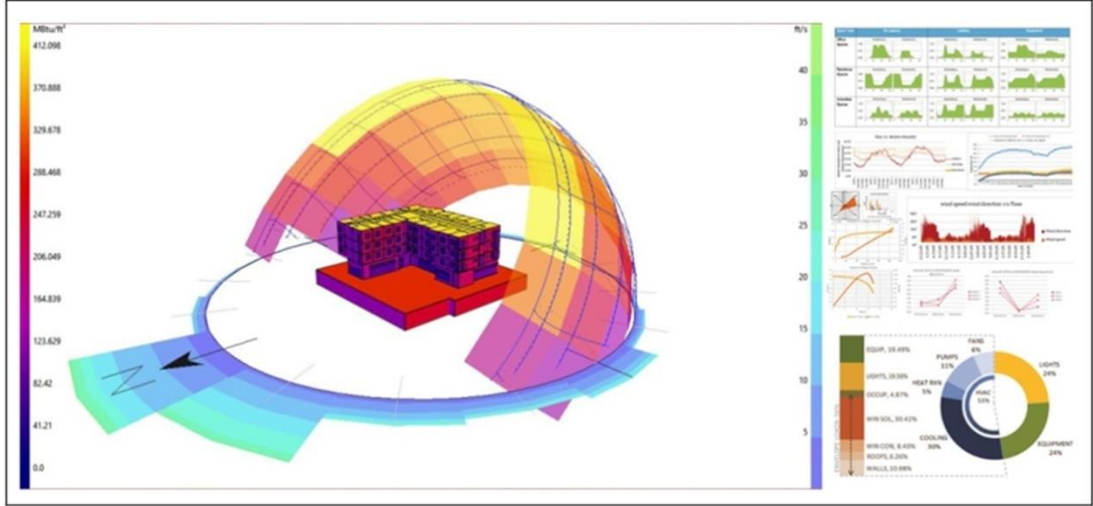
Şekil 2.8: 4D İnşaat simulasyonu.

5D BIM, maliyet ögesidir. Oluşturulan dört boyutlu modele maliyetin eklenmesi ile eş zamanlı olarak bütçenin oluşturulmasına olanak tanınır [Alat, 2019]. Projede yapılan tasarım değişiklikleriyle beraber miktarlar da aynı zamanda güncellenir. Bu yolla otomatik bir şekilde hesaplanan miktarlar ve maliyetler, olası hesaplama hatalarının önüne geçilmesini mümkün kılar [Eastman vd., 2011; Erdik, 2018]. Proje maliyeti hakkında yapılan hızlı geri bildirimler tasarımcının projeyi bütçeye uyacak biçimde şekillendirmesine olanak sağlar (Şekil 2.9) [Erdik, 2018; Web 19, 2023].



Şekil 2.9: Maliyet analizi.

6D BIM, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği olarak bilinmektedir. BIM'in bu boyutunda en önemli konu çevreyi korumaktır. Yapılardaki enerji verimliliği konusu epey karmaşık ve birçok disiplinin ortak çalışmasını gerektirmektedir [Uzun, 2019]. Özellikle son yıllarda yapı endüstrisinin çevresel etkisinin oldukça büyük bir orana sahip olması, tasarımcıların proje tasarlarken enerji performansını göz önüne almasını gerektirmektedir [Schueter ve Thessling, 2009]. İnşa edilecek yapının sürdürülebilir bir yapı olabilmesi için projenin gün ışığı, rüzgar, aydınlatma, enerji analizleri, ısı yükü hesaplamaları ve atık tahminleri olmak üzere çeşitli analizleri, eklenti yazılımlar yardımıyla kolaylıkla yapılabilmektedir (Şekil 2.10) [Alat, 2019; Web 20, 2023].



Şekil 2.10: 6D Enerji analizi.

7D BIM, tesis yönetimini kapsamaktadır. 7D model, tamamlanmış yapının var olan özellikleriyle tamamen aynı ‘as-built’ modelleridir. Bu modellerde bulunan gömülü bileşen verileri ile yapının ömrü boyunca herhangi bir zaman diliminde bakım ve onarımları kolayca gerçekleştirilebilir [Web 16, 2022].

8D BIM, tasarım ve uygulama aşamalarında yapının geometrik modeline güvenlik bilgisi ekleyen BIM boyutudur. Tasarım yoluyla önlem almak için BIM ile tehlikeyi tespit etmek, saha riskini kontrol etmek ve güvenli tasarım önerileri sağlamak mümkündür [Kamardeen, 2010].

2.4.2. Detay Seviyeleri (LOD/Level of Development)

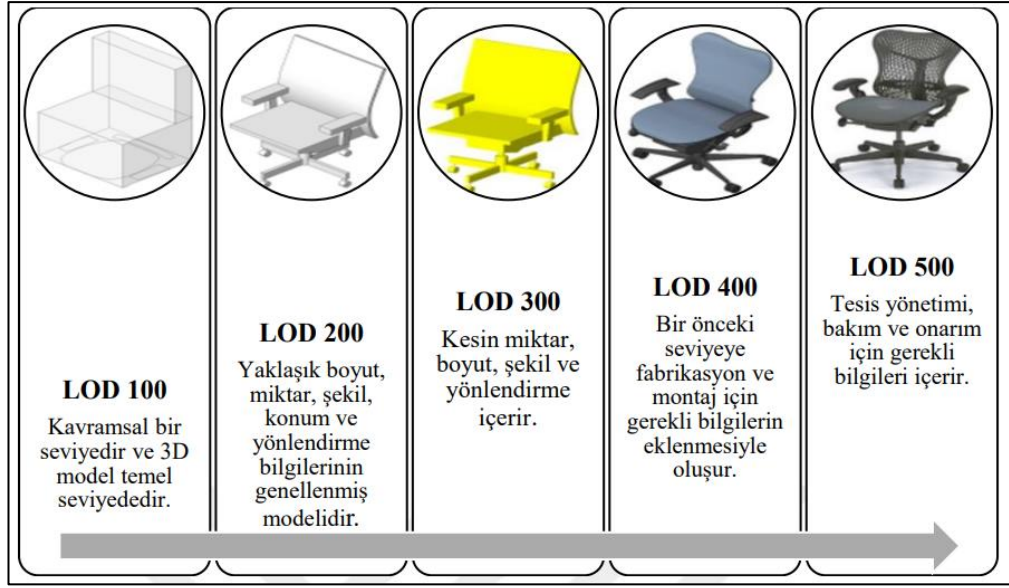
BIM kullanımının getirdiği bir diğer özellik olan detay seviyesi (LOD), AEC (Architecture, Engineering and Construction) endüstrisindeki profesyonellere BIM'in içeriğini etkili ve net bir şekilde belgeleme, ifade etme ve belirleme gücü veren bir dizi özelliktir [Web 21, 2022]. Bir endüstri standardı olarak hizmet veren LOD, BIM uygulayıcıları arasında modelde kullanılacak nesnelerin istenilen analiz ve fonksiyonları sorunsuz bir biçimde gerçekleştirebilmesi için nesnelerdeki bilgilerin farklı detay seviyelerini tanımlamak amacıyla kullanılan bir referans aracıdır [Bahadır, 2018]. Modellemeye başlamadan gerekli bilgileri barındıracak biçimde oluşturulan LOD tablosu yardımı ile modelleme için gerekli olan elemanların hangi detayda bilgi içermesi gerektiğine ulaşılabilmektedir [Erdik, 2018]. Seçilen detay

seviyesi, proje başlangıcında modeli oluşturacak tüm paydaşlara verilmelidir. LOD özelliklerini kullanarak, mimarlar, mühendisler ve diğer profesyoneller, daha hızlı uygulama için kafa karışıklığı olmadan birbirleriyle kolay bir şekilde iletişim kurabilir. Böylece, uygulama aşamasında disiplinler arasında tutarlılık sağlanabilir [Web 22, 2022].

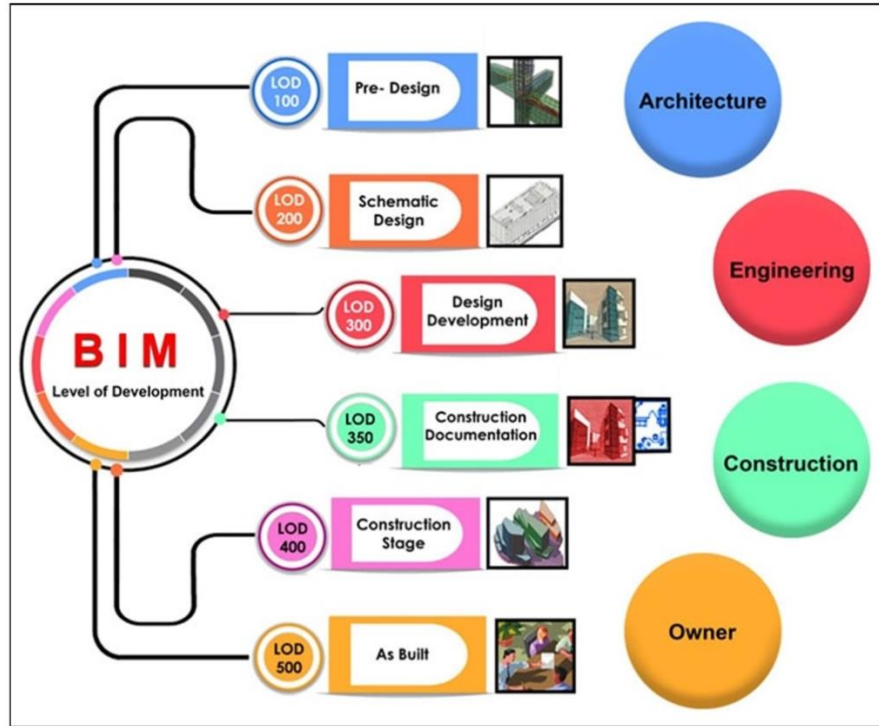
Modellerin detay düzeyi arttıkça dosya boyutu da aynı oranda büyüyeceğinden model üzerindeki koordinasyon zorlaşmaktadır. Bu sebeple projede ulaşılmak istenen amaçlar doğrultusunda detay seviyesine doğru karar vermek gerekmektedir. Örneğin BIM'in 7D boyutu olan bakım ve onarım hizmetlerine ulaşmak hedeflendiyse modelin detay seviyesi de bu doğrultuda belirlenmelidir [Uzun, 2019].

Vico Software tarafından 'Ayrıntı Seviyesi' olarak tanımlanan LOD kavramı daha sonraki zamanlarda Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects-AIA) tarafından genel standartlar haline getirilerek 'Gelişim Seviyesi' adını almıştır [Alat, 2019]. 2013 yılından itibaren her yıl AIA (American Insitute of Architects) ve BIMForum beraberliğinde LOD şartnamesi yayınlanmaktadır. Şartname, LOD kullanımı ile tanımlamalar ve sınıflandırmalar hakkında birçok detayı içermektedir [Bahadır, 2018].

BIM teknolojisini tercih eden projelerde temel bazı sorunlara çözüm getirmek amacıyla LOD seviyeleri tanımlanmıştır. Genel anlamda bu sorunların çıkış noktasında projeyi üreten kişi haricinde diğer paydaşların projeden bilgi almak istediği durumlarda bilgi karmaşıklığından dolayı yanlış çıkarımlarda bulunması ve işine yaramayacak detay bilgilerle çatışmak zorunda kalması bulunmaktadır. BIM süreçlerine zarar veren bu durum karşısında LOD tanımları geliştirilmiş, hangi detay seviyesindeki bilgiye ihtiyaç varsa BIM modelinin o seviyede oluşturulduğunu bildiren LOD numarasının modele eklenmesi önerilmektedir [Akkoyunlu, 2015]. AIA'ya göre LOD tanımları Şekil 2.11'de belirtilmiştir [AIA, 2008; Selim, 2019]. AIA Belge E202-2008 kapsamında LOD seviyeleri LOD 100 ile LOD 500 arasında sınıflandırılmıştır. Bu seviyelerin genel olarak ifade ettikleri; LOD 100 'Kavramsal Tasarım', LOD 200 'Şematik Tasarım', LOD 300 'Detaylı Tasarım', LOD 400 'İmalat ve Montaj', LOD 500 'İşletme' şeklinde açıklanabilir [Erdik, 2018]. Her LOD seviyesi kendinden önceki seviyenin özelliklerini de içerdiği için seviye arttıkça proje paydaşlarının sayısı da artmaktadır. LOD seviyelerinde bulunan disiplinlere Şekil 2.12'de yer verilmektedir [Web 23, 2023].



Şekil 2.11: LOD detay seviyeleri.



Şekil 2.12: LOD seviyeleri ve paydaşlarla ilişkisi.

LOD 100 (Kavramsal Tasarım), 3D yapı modelinin temel düzeydeki bilgileri temsil etmek için geliştirildiği LOD'un ön tasarım aşamasıdır. LOD 100 elemanı ile yükseklik, alan, hacim, yön ve konum gibi parametrelerin tanımlandığı kavramsal bir model oluşturmak mümkündür [BIM Forum, 2020; Web 22, 2022]. Bu aşamadaki bilgiler yaklaşık olarak kabul edilir.

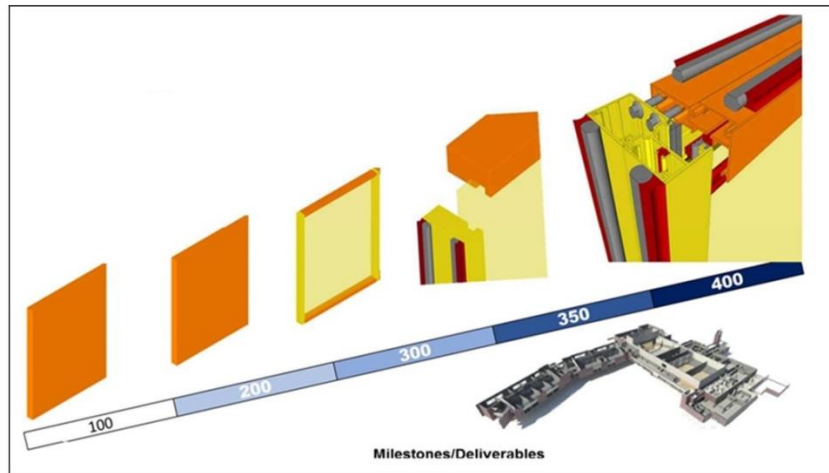
LOD 200 (Şematik Tasarım), model elemanı uygulamaya yakın şekil, genişlik, yükseklik, açıklık, geçit ve konum gibi bilgileri kapsamaktadır [Akkoyunlu, 2015]. Bazı geometrik olmayan bilgiler de içerdiğinden LOD 200'deki detay düzeyi LOD 100'üne kıyasla biraz daha fazladır. Bu aşamada üretilen herhangi bir bilgi yaklaşık olarak kabul edilir [Web 22, 2022].

LOD 300 (Detaylı Tasarım), model elemanının miktar, boyut, şekil, konum ve yönelim ile tanımlandığı grafiksel gösterimdir. Elemanlara malzeme ve renk gibi bilgiler de eklenebilir [Web 24, 2021]. LOD 300'ün grafik gösterimleri, LOD 200'ün grafik gösterimi ile aynı olabilir, ancak onu LOD 200'den farklı kılan şey, bu aşamadaki geometri ve özelliklerin doğru kabul edilmesidir. Bu aşamadaki bilgiler inşaat aşamasında kullanılabilir [Web 22, 2022].

LOD 350 (Yapı Dokümantasyonu), yapı elemanlarının çeşitli sistemler ve diğer yapı elemanları ile grafikler ve yazılı tanımlar ile nasıl ara yüz oluşturduğunu gösteren boyuttur [Alat, 2019].

LOD 400 (İmalat ve Montaj), yapının yapım aşamasıdır. Modele LOD 300 bilgisine ek olarak imalat, birleşim, üretici firma, ürün kodu, ürün özellikleri ve kurulumla ilgili bilgiler eklenir [Web 24, 2021]. Bu ayrıntılar, temsil edilen bileşenleri üretmek için tedarikçiler için çok faydalıdır [Web 22, 2022].

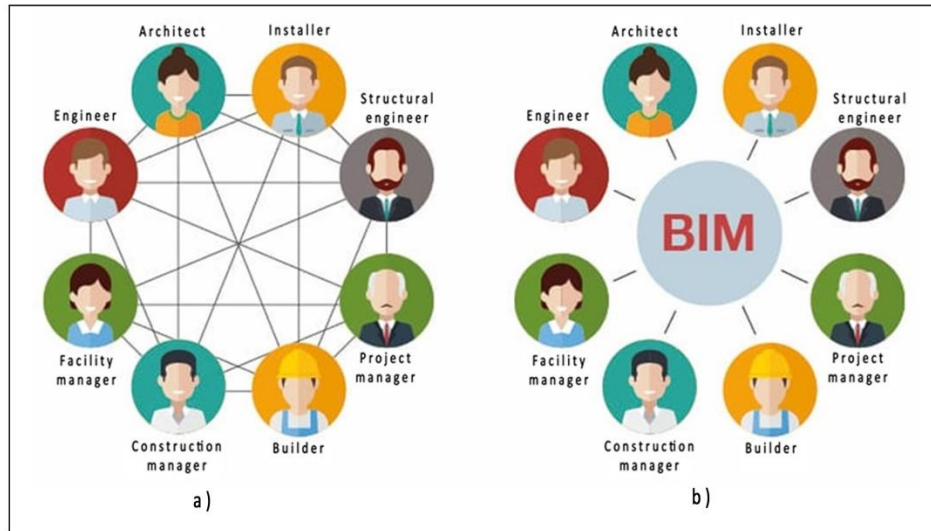
LOD 500 (İşletme), as-built olarak da ifade edilen bu gelişim düzeyi model elemanlarının bakım ve işletme detaylarını içerir [Alat, 2019]. Model elemanına grafik olmayan bilgiler de eklenebilir [Kreider vd., 2013]. LOD 500 BIM'in 7D boyutu için ihtiyaç duyulan detay seviyesidir [Uzun, 2019].



Şekil 2.13: BIM Forum LOD gelişim seviyeleri.

2.4.3.Birlikte Çalışabilirlik (IFC)

Gelişen BIM teknolojisiyle beraber gelen en belirgin özelliklerden biri de doğru veri değişimi ve iyi iletişimi temsil eden birlikte çalışabilirliktir. Industry Foundation Classes (IFC) olarak da adlandırılan bu özellik ile farklı ekip ve kuruluşlar aynı verileri tek bir proje üzerinde paylaşabilmektedir. Projenin gerçekleşebilmesi için mimari, mühendislik ve inşaatın (AEC) birlikte çalışabilir teknolojilere erişimi olması gerekir. BIM sayesinde projeye ilgili tüm bilgiler tek bir yerde saklanır ve çeşitli araçlar kullanılarak çeşitli disiplinler tarafından erişilebilir [Web 25, 2022]. İnşaat projesi bir ekip işine dayandığı için kullanılacak yazılımın bütün disiplinlerin iletişimine olanak sağlayan bir yapıda olması projeye oldukça büyük kolaylıklar sağlamaktadır [Çuhadar, 2017]. Tüm proje paydaşları için oluşturulan bu ortak dil ile tüm strüktürün en ince detaylarına kadar görülebilmesi farklı farklı dosyalara erişim yapma zorluğunu ortadan kaldırmakta ve veri akışını hızlandırmaktadır [İnceoğlu ve İnan, 2020]. CAD kullanılarak oluşturulan projelerde bir dosya üzerinde aynı anda tek bir kullanıcı çalışabilmekteydi ancak BIM ile tüm tasarım ve yapım ekipleri aynı anda çalışabilmekte, yapılan her bir değişiklik eş zamanlı olarak modele aktarılmaktadır (Şekil 2.14) [Bahadır, 2018].



Şekil 2.14: a)Geleneksel yöntem, b)BIM’de bilgi alışverişi.

Disiplinler arası ortak çalışmayı destekleyen bu ortak platform sayesinde sürdürülebilir bir proje süreci meydana gelmektedir [Eastman vd., 2011]. Mimar,

inşaat mühendisi, makine mühendisi, elektrik mühendisi ve diğer tüm proje paydaşlarının ortak kullanımına açık olan üç boyutlu model üzerinden mimari, statik, elektrik ve mekanik gibi tüm sistemler proje yerinde inşa edileceği biçimde tüm standartlara uygun bir şekilde alanında uzman kişiler tarafından modellenilebilecektir. Bu sayede, disiplinlerin ihtiyaç duyduğu imalat ve yöntemler birlikte değerlendirilir. Uygulama esnasında meydana gelebilecek olası çakışmalar erkenden tespit edilerek inşa edilebilir şekilde düzeltilmiş olmaktadır [Akkoyunlu, 2015].

BIM teknolojisini tercih eden projelerde proje süreçlerinin hangi paydaşları içerdiğini ve kimlerin hangi süreçlerde tasarım ve değişiklik yapabileceğini yöneten bir BIM yöneticisi bulunur. Örneğin mimari ile ilgili tasarım ve düzenlemelerin yetkisini alanının uzmanı olan kişinin sorumluluğuna bırakır ve diğer paydaşların bu disiplinin alanında değişiklik yapabilme hakkını kısıtlar. Böylelikle proje içerisindeki olası karışıklıkların önüne geçilmiş olur ve her disiplin kendi uzmanlık alanında proje süreçlerini tamamlar [Erdik, 2018].

BuildingSmart tarafından hazırlanan dokümanlardan elde edilen verilere göre, disiplinlere ortak çalışma platformu sağlayan BIM'in birlikte çalışabilirliğinin faydaları:

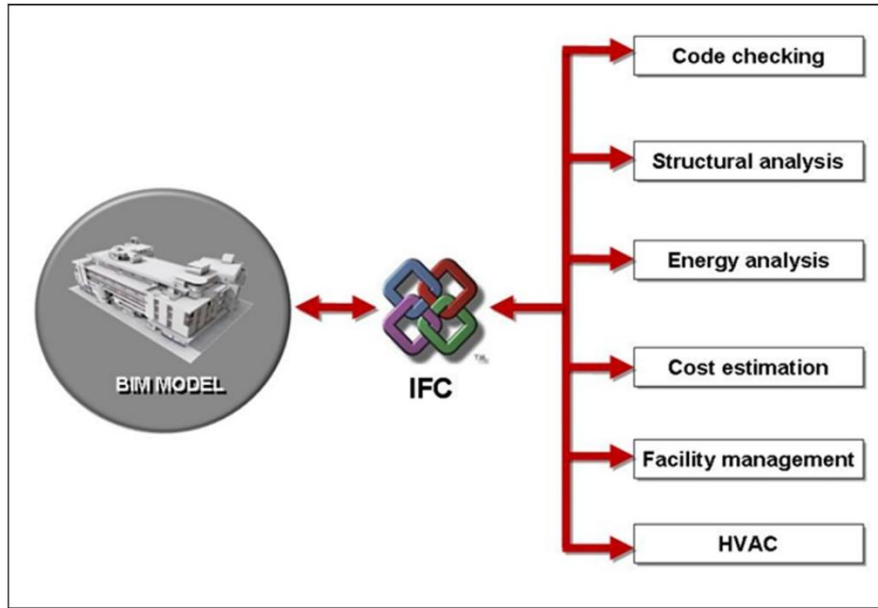
- Tüm proje paydaşlarına duydukları ihtiyaçlar için gerekli cevabı hızlı ve güvenilir bir şekilde verebilecek platform olması,
- İşverenin istekleri ve projenin verilerinin uygunluğunun istenilen her an ulaşılabilir ve denetlenebilir olması,
- Tüm proje yaşam döngüsü boyunca veri alışverişinin sürekliliğini sağlayan bir bilgi kaynağı olması,
- Projenin yaşam döngüsü boyunca kullanabileceği en uygun yazılımları seçebilmek için gereken altyapının bulunması,
- Proje tasarım hizmetlerinde pazar kalitesini ve rekabetçiliği artırması,
- Proje verilerinin tesis yönetimi sürecinde de tedarikçilerin karar ve ilkeleri doğrultusunda kullanılabilecek olması

şeklinde sıralanmıştır [Akkoyunlu, 2015; İnceoğlu ve İnan, 2020].

Birlikte çalışabilirlik bir projenin yalnızca tasarım ve uygulama aşamalarında gerekli değildir aynı zamanda tüm yaşam döngüsünde uzun yıllar boyunca gerekli olabilir. Örneğin bir yapının herhangi bir zaman diliminde bir tadilata ve yenilemeye ihtiyacı olduğunda ilgili tüm AEC disiplinlerinin aynı bilgilere erişmesi ve onları kullanarak çalışmaları gerçekleştirmeleri gerekecektir. Zaman içerisinde yazılım değişikliklerinden dolayı bazı dosyalara erişim sağlanamayabilir veya birkaç yıl sonra aynı dosya açılmayabilir. IFC gibi açık dosya şemaları kullanmak, bir yapının yıkımına kadar süren yaşam döngüsü boyunca üç boyutlu modelini ve içeriğindeki verileri kullanabilmeye olanak tanır.

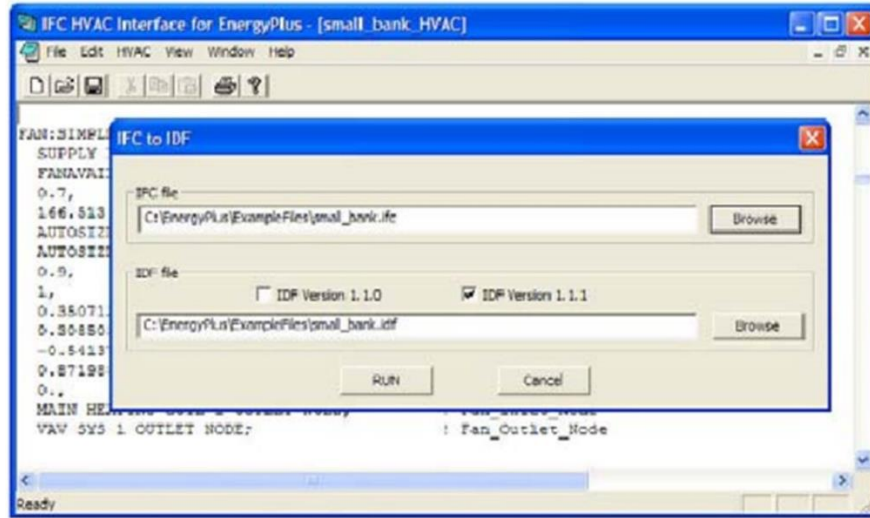
IFC, BIM veri alışverişi yöntemlerinin temelini oluşturur. Çeşitli paydaşların iletişim için kullandığı standarttır. Bu, birden fazla disiplinin net ve tutarlı bir bilgi akışı sağlamak için tek bir standardı kullanabileceği, birlikte çalışabilirliğin bir örneğidir [Web 25, 2022].

Yapı endüstrisinde birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak için geliştirilen bir veri modeline sahip nesne yönelimli bir dosya formatı olan IFC, BIM için yaygın olarak kullanılan bir formattır. Diğer BIM dosya formatlarından farklı olarak, IFC dosyaları platformdan bağımsızdır ve herhangi bir BIM yazılımı tarafından okunabilir ve düzenlenebilir. İnşaat sektöründe karşılaşılan her tür nesne ögesi için bir dizi tanım ve bu tür tanımları bir veri dosyasında saklamak için bir metin yapısı sağlar [Web 26, 2022]. IFC'nin arkasındaki fikir, BIM yazılımları arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak ve inşaat sürecine dahil olan Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (AEC) endüstrisindeki iş birliğini artırmaktır (Şekil 2.15) [Web 27, 2022; Ademci, 2018].



Şekil 2.15: IFC ifadesi.

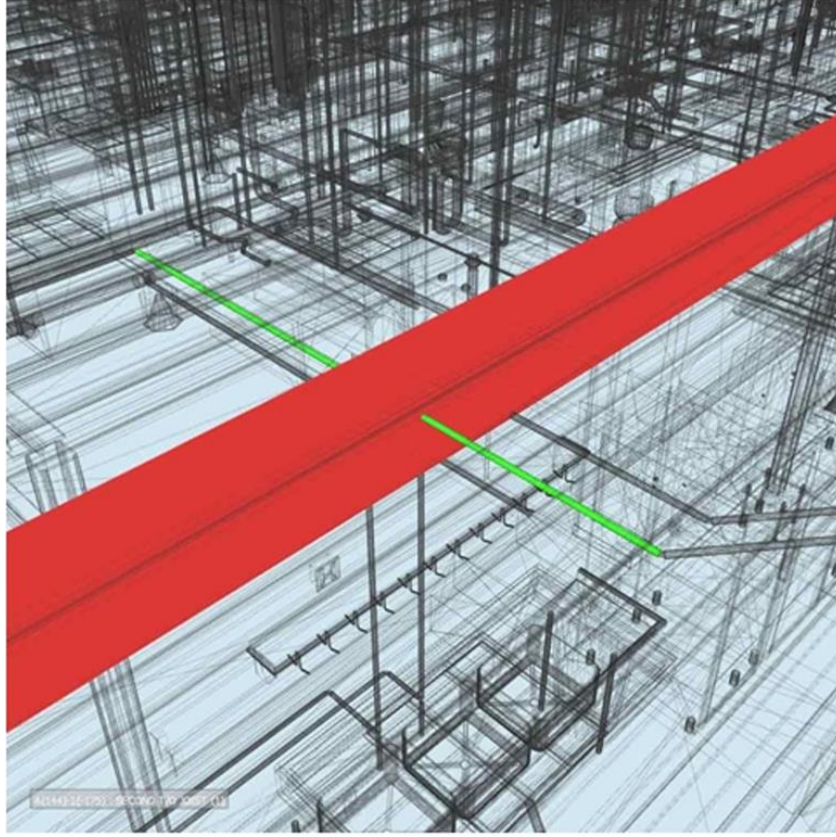
BuildingSMART International, IFC verilerinin içe ve dışa aktarılmasına yönelik doğru süreçlerin izlenmesini garanti altına almak ve standartlara uygunluğu sağlamak için bir sertifikasyon süreci tanımlamıştır. Tüm IFC sertifikalı programlar, BuildingSMART tarafından sağlanan verilere göre diğer yazılım çözümleriyle bilgi okuma, yazma ve değiş tokuş etme yeteneğine sahiptir [Web 26, 2022]. IFC dosyaları Autodesk'in Revit'i, Tekla'nın BIMsight yazılımı, Adobe Acrobat, FME Desktop, Constructivity Model Viewer, CYPECAD, SketchUp, GRAPHISOFT's ARCHICAD ve daha fazlasıyla uyumludur [Web 26, 2022]. Dosyaları, .ifc, .ifcXML ve .ifcZIP dosya biçimleri kullanılarak yazılım ürünleri arasında dışa aktarılabilir ve değiş tokuş edilebilir (Şekil 2.16) [Web 26, 2022; Ofluoğlu, 2009]. Örneğin, üç boyutlu sanal bina modelini mimari ekip Revit üzerinde geliştiriyor olabilir. Daha sonra bunu ArchiCAD kullanan iç mimari ekibine veya aynı şekilde Tekla kullanan mühendislere gönderebilir [Web 28, 2022].



Şekil 2.16: IFC verisinin EnergyPlus yazılımına dönüştürülmesi

2.4.4.Çakışma Tespiti

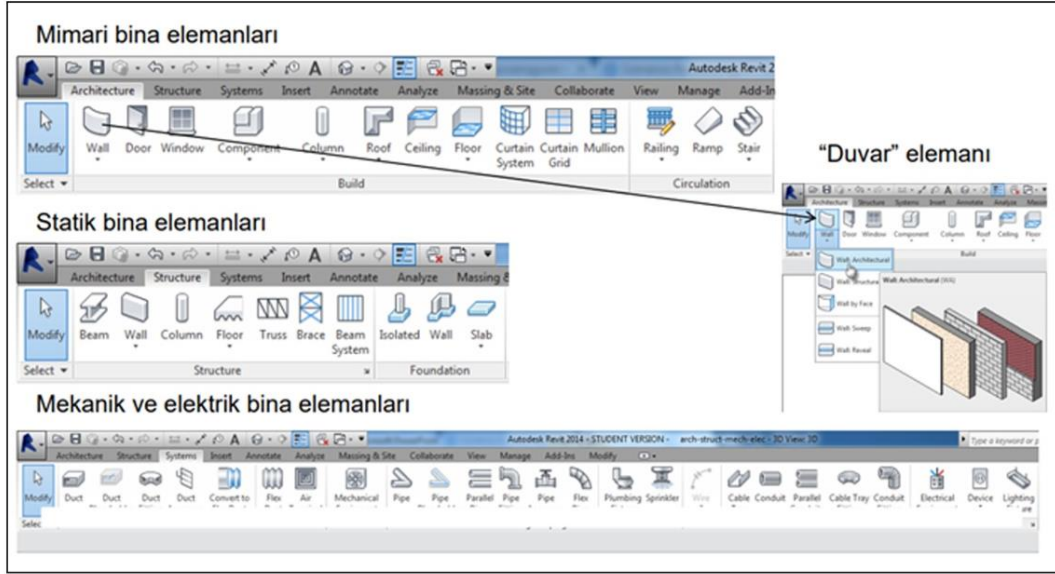
BIM modeli mimar, mühendis, MEP mühendisleri (HVAC, Elektrik ve Sıhhi Tesisat) gibi farklı disiplinlerin birbirinden bağımsız modellerin birleşiminden oluşur. Tüm bu modeller BIM modelleme sürecine dahil edildiğinde modeller arasındaki çakışmaları belirlemek için çakışma tespiti devreye girmektedir (Şekil 2.17) [Web 29, 2023]. Çakışma algılama işleminin asıl amacı özellikle, mekanik-elektrik sistemlerinin birbirleri ve strüktürel diğer yapı elemanları ile çakışabileceği veya uyum sorunu yaratabileceği noktaları tasarım aşamasında tespit etmektir [Web 30, 2023]. Geleneksel tasarım süreçlerinde tasarım aşamasında fark edilmesi güç bazı hatalar, amacı olabilecek minimum hata ile proje süreçlerini tamamlamak olan BIM teknolojisinde çakışma testleri ile kolayca fark edilip müdahale edilir [Azhar vd., 2008; Bahadır, 2018]. İnşaat aşamasında karşılaşılmaması muhtemel hataların tasarım aşamasında çözülmesi proje maliyetini önemli ölçüde azaltıp, iş gücü ve zaman tasarrufu sağlar.



Şekil 2.17: Çakışma ile sonuçlanan hata.

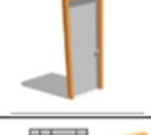
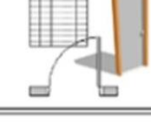
2.4.5. Parametrik (Nesne Tabanlı) Modelleme

Teknolojinin gelişmesi ile yapım sektöründeki proje tasarım süreçlerinde kullanılan modelleme yaklaşımları da değişime ve gelişime uğramaktadır. BIM ile çizgi tabanlı modelleme yerine parametrik (nesne tabanlı) modelleme gündeme gelmiştir [Bahadır, 2018]. Yapıyı oluşturan parametrik nesneler bütünü BIM modelini meydana getirir. Parametrik kelimesi, modeli oluşturan her bir nesnenin belirli bir kural veya algoritmaya dayalı önceden programlanmış birbiriyle olan ilişkisini ifade eder [Erdik, 2018]. Böylelikle bir öğenin veya kuralın değişmesi eş zamanlı olarak bütün modeli etkiler. Disiplinler arası ortak çalışma ile oluşturulan BIM modeli kullanıcıların kuralları ve değişkenleri tanımladığı akıllı, ayrıntılı ve sanal bir temsildir. Nesne tabanlı yazılımlara sahip olması BIM'i geleneksel bilgisayar destekli tasarımlardan ayıran en önemli özelliktir (Şekil 2.18) [Web 31, 2023; Ofluoğlu, 2009].



Şekil 2.18: BIM’in nesne tabanlı ana unsurları.

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) araçlarında hazırlanan projelerde yapıyı oluşturan elemanlar içeriğini yalnızca tasarımcının bildiği bilgisayar tarafından bir dizi çizgi ve yüzey olarak ifade edilmektedir [Uzun, 2019]. Planda çizilen herhangi bir elemanın diğer elemanlarla bir bağlantısı olmadığı için projede yapılmak istenen bir değişikliğin tüm paftalarda ayrı ayrı yapılması gerekir. BIM tabanlı yazılımlarda oluşturulan nesnelere, o nesne ile ilgili bütün özellikler (en, boy, malzeme, üretici firma, maliyet, garanti belgesi vb.) ve diğer nesneler ile arasındaki bağlantılar da eklenir (Şekil 2.19) [Bahadır, 2018; Web 31, 2023]. Yazılımlarda hali hazırda BIM nesneleri bulunabildiği gibi ihtiyaç halinde gerekli düzenlemeler yapıp özgün hale getirme, özellik ekleme veya şekil değiştirme imkanı da bulunmaktadır [Akkoyunlu, 2015]. Nesneler modeli oluşturan diğer nesneler ile bağlantılı olduğu için modelde yapılan herhangi bir değişiklik eş zamanlı olarak diğer tüm paftalara da yansır. Örneğin bir pencerenin plandaki açılış yönü ve konumu değiştirildiğinde veya bir duvar nesnesinin malzeme ve kalınlığı gibi özellikleri değiştirildiğinde bu değişiklik aynı zamanda kesitlerde, görünüşlerde, modelde kısacası bağlantılı olduğu tüm konumlarda otomatik olarak değişecektir [Uzun, 2019].

Bilgi modeli	Çıktı	İnsan algısı	Bilgisayar algısı
Resim (taranmış)		Kapı	Piksel
Çizim		Kapı	Çizgi/ark
Geometrik		Kapı	Yüzey/hacim
BIM		Kapı	Kapı

Şekil 2.19: BIM' in BDT' den farkı

BIM modeli ile yapılan analizler, simulasyonlar, maliyet hesaplamaları akıllı nesnelere yüklenen bilgiler sayesinde olmaktadır. Tasarım aşamasında yapılan bu analizler sayesinde projenin planlanan hedeflere ulaşp ulaşamayacağı test edilebilir, gerekli durumlarda inşaat aşamasına geçilmeden revizeler yapılabilir. Aynı zamanda modelde bulunan nesnelere ait bilgiler tesis yönetimi ve yenileme aşamalarında kullanıcı ve tasarımcılar için önemli bir bilgi deposu niteliği taşımaktadır.

2.5.BIM'in Kullanım Alanları

BIM teknolojisi yapının tasarım sürecinden yıkımına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir. Bu kullanım tasarım sürecinde, yapısal/çevresel analizlerde, yapım sürecinde ve işletimde olmak üzere dört başlıkta toplamak mümkündür. Bu kullanım alanları ve kullanımlardaki aktörleri Tablo 2.2'de belirtilmiştir [Ofloğlu, 2009; Selim, 2019].

Tablo 2.2: BIM teknolojisinin kullanım alanları ve aktörleri

KULLANIM ALANLARI	AKTÖRLER
Tasarım Sürecinde Kullanım	Mimar
Yapısal/Çevresel Analizlerde Kullanım	Mimar ve Mühendisler
Bina Yapım Sürecinde Kullanım	Yüklenici
Bina İşletiminde Kullanım	Yönetici

2.5.1.Tasarım Sürecinde Kullanımı

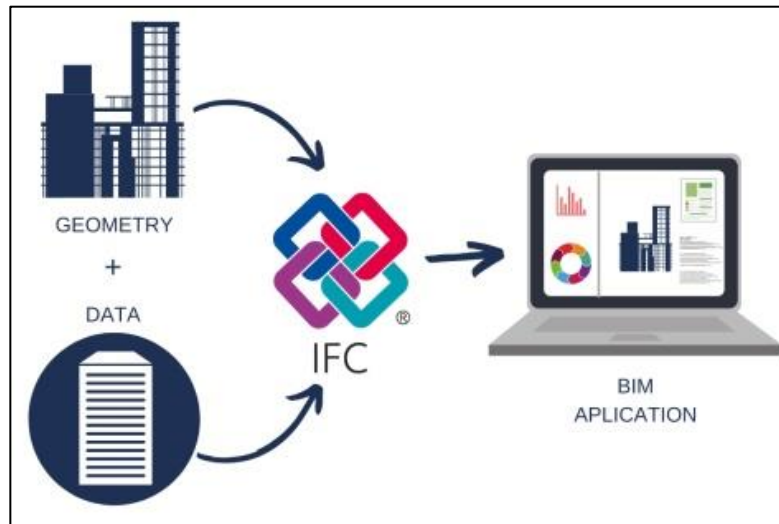
Projede mimarın en aktif rol aldığı evre tasarım sürecidir. Başlangıçta alınan tasarım kararları doğrultusunda inşaat mühendisleri ve diğer uzmanların da geri bildirimleri ile yapının sanal bir temsili oluşturulur [Akkaya, 2012]. Tasarım sürecine tüm ekipleri dahil edip verileri tek bir yerde birleştirmek ilerlemeyi doğrudan incelemeye olanak sağlar. Mimar, oluşturulan üç boyutlu model üzerinden alınan tasarım kararlarının proje için uygunluğunu denetler [Ofloğlu, 2009]. İnşaat çalışmalarının tasarım sürecinde istenilen plan, kesit ve görünüşler, istenilen zamanlarda çalışmanın yürütüldüğü model üzerinden otomatik olarak oluşturulmaktadır. Bu durum tasarımcıya iş yükü ve zaman tasarrufu sağladığı için tasarıma daha fazla zaman ayırıp farklı tasarım seçenekleri oluşturulmasına fırsat tanır [Demircan ve Alp, 2020]. Eastman ve diğ. (2011)’ne göre, BIM tercih edilen projelerde, kütle için farklı tasarım seçeneklerinin hızlı bir şekilde üretilmesi, 3D olarak görülebilmesi ve model için üretilen parametrik parçaların daha sonraki projeler için de kullanabilmesi mümkündür. Nesne tabanlı teknoloji sayesinde özellikle büyük ve karmaşık yapılar için düzeltme ve tekrarlama işlemlerinde sağlanan kolaylık ile tasarım süreçleri geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha hızlı tamamlanmaktadır [Eastman vd., 2011].

BIM süreci aynı zamanda tasarım aşamasında farklı disiplinler arasındaki olası çatışmaları belirlemeye ve çözmeye yardımcı olan çakışma tespitine de izin verir. Tasarım sürecinde yapılan bu çakışmalar uygulama aşamasına geçilmeden tespit edilip çözülmezse kaynak ve zaman kaybı gibi büyük sorunlara neden olmaktadır. Maliyet alanında yapılan hatalı hesaplamalar inşaat firmalarını oldukça büyük ekonomik zarara sokabileceği gibi, yanlış tasarım kararları bina işletim sürecinde kullanıcıyı etkileyecek birtakım sorunlara neden olabilir. Bu hataları bina tasarım sürecinde fark edip erken çözüm bulmak adına BIM teknolojisinin kullanımı oldukça

önemlidir [Selim, 2019]. Nesne tabanlı bir teknoloji olan BIM ile projedeki metrajlar, maliyetler, rüzgar, yangın, akustik, enerji gibi analizler hızlı ve sağlıklı bir şekilde hesaplanıp tasarım birçok farklı açıdan değerlendirilmiş ve hatalar en aza indirilmiş olur [Demircan ve Alp, 2020].

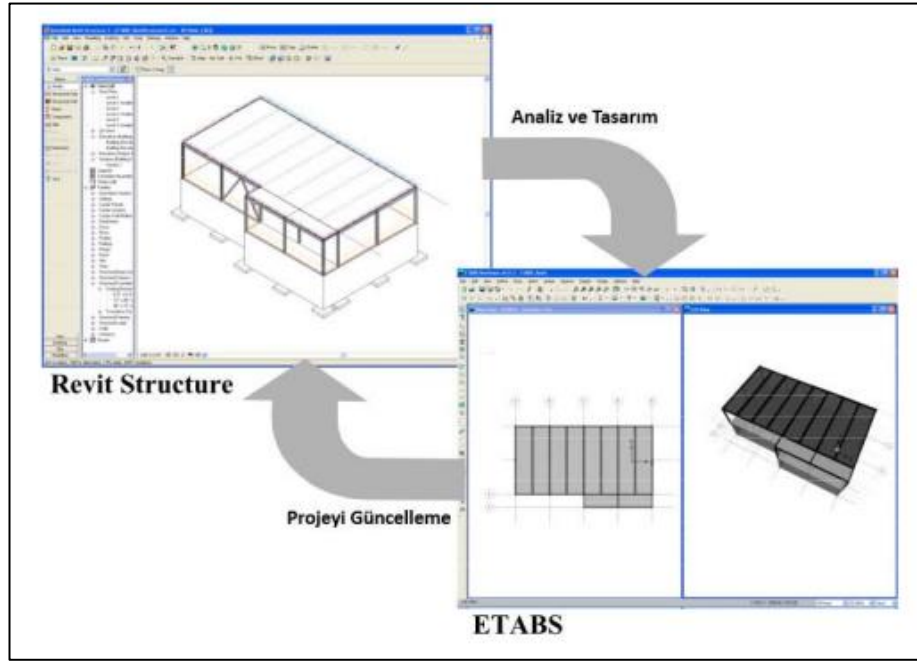
2.5.2.Yapısal/Çevresel Analizlerde Kullanımı

BIM teknolojisinin sektöre kattığı en önemli avantajlardan biri geometrik veri dışında parametrik verileri de içerisinde bulundurmasıdır (Şekil 2.20) [Web 26, 2022]. Farklı yazılımlar tarafından proje bilgisine ulaşabilmeyi sağlayan IFC gibi ortak bir veri standardı sayesinde yapı tasarımı ile ilgili kararlar denetlenip, gerek görüldüğü takdirde değiştirmeler yapılabilir [Ofloğlu, 2009]. Yapının sürdürülebilirlik, dayanıklılık, işlevsellik gibi istenilen tasarım hedeflerine ulaşabilmesi için henüz tasarım sürecindeyken yapının gerçek şartlardaki simülasyonu yapılarak analizi gerçekleştirilir [Uzun, 2019]. Projenin uygulama sürecine geçilmeden elde edilen bu veriler hem yapım sürecinde zaman ve maliyet hem de işletim süreci için önemli faydalar sağlayacaktır [Ofloğlu, 2009]. BIM yazılımları tarafından yapılan bu analizler; yapısal analiz, enerji analizi, ışık analizi ve akustik analiz olmak üzere dört başlıkta incelenmektedir.



Şekil 2.20: IFC dosyası hem geometri hem de veri içerir.

Yapısal Analiz: BIM yazılımı kullanılarak oluşturulan modelde IFC gibi ortak veri standardı yardımı ile yapısal analizler yapılabilir (Şekil 2.21) [Ofloğlu, 2009; Web 31, 2023]. Mimari modelleme veya strüktürel modelleme yazılımı ile oluşturulan taşıyıcı sisteme ait olan bilgi statik hesaplayıcı yazılıma aktarılır. Yazılımı kullanan inşaat mühendisi modeli analiz eder ve taşıyıcı elemanlar için doğru boyutları seçer. Buna göre, gerektiği durumda taşıyıcının konumuna müdahale ederek veriyi tekrar modelleme yazılımına gönderir [Ofloğlu, 2009].



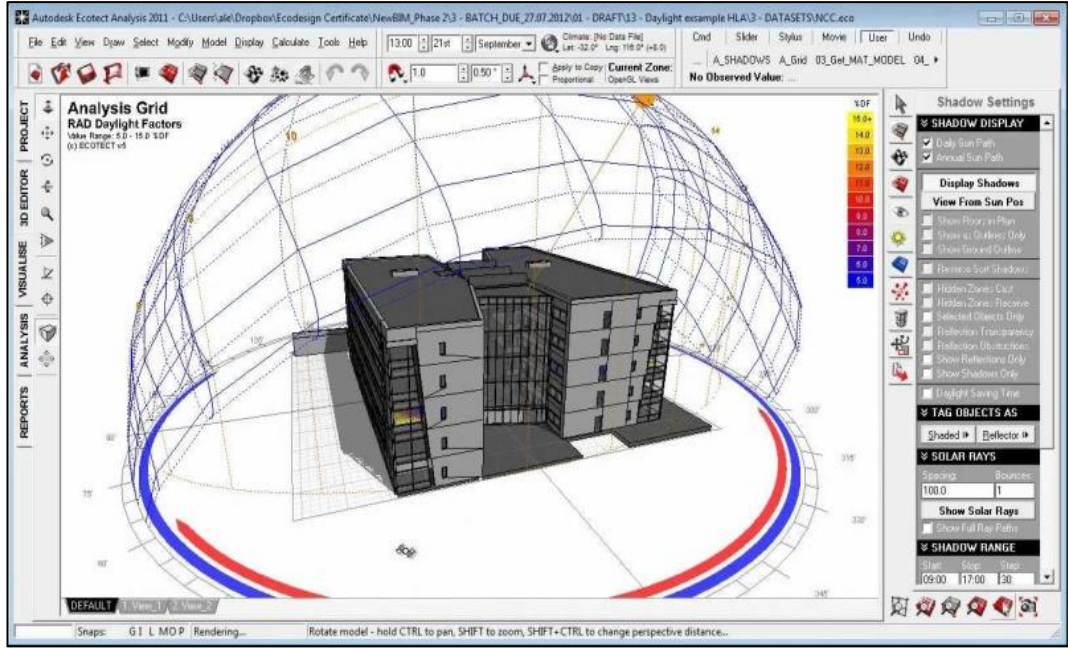
Şekil 2.21: Autodesk Revit Structure™ ve ETABS™ yazılımları arasında veri alışverişi.

Enerji Analizi: Değişen iklim koşulları tasarımcıları yapı yaşam döngüsü maliyetlerinin yanı sıra çevresel etkileri de dikkate alan tasarımlar geliştirmeye yöneltmiştir. İnşaat sektöründe BIM'in ortaya çıkmasıyla beraber enerji simulasyonu basitleştirilerek performans yönetimi mümkün hale getirildi [Web 32, 2022]. Ofloğlu'na göre proje için yapılan enerji analizleri yapının ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) ile ilgili ihtiyaçlarını kapsamaktadır. Bu analizler bina yapım sürecinden önce gerçekleştirildiği için alınan kararları gözden geçirip gerekli düzeltmeleri yapmaya olanak tanır. BIM yazılımlarından elde edilen IFC verisi enerji analizi için gerekli olan yazılımlar arasındaki transferi sağlar. Bu transfer şimdilik

ara çeviriciler vasıtasıyla gerçekleşmektedir. IFC’de yer alan geometrik veri, HVAC donanımı ve sistem tanımlamaları kullanılarak enerji simülasyonları gerçekleştirilebilmektedir [Ofloğlu, 2009]. Enerji analizi için BIM kullanımının aşağıda sıralanan avantajları bulunmaktadır [Web 32, 2022]:

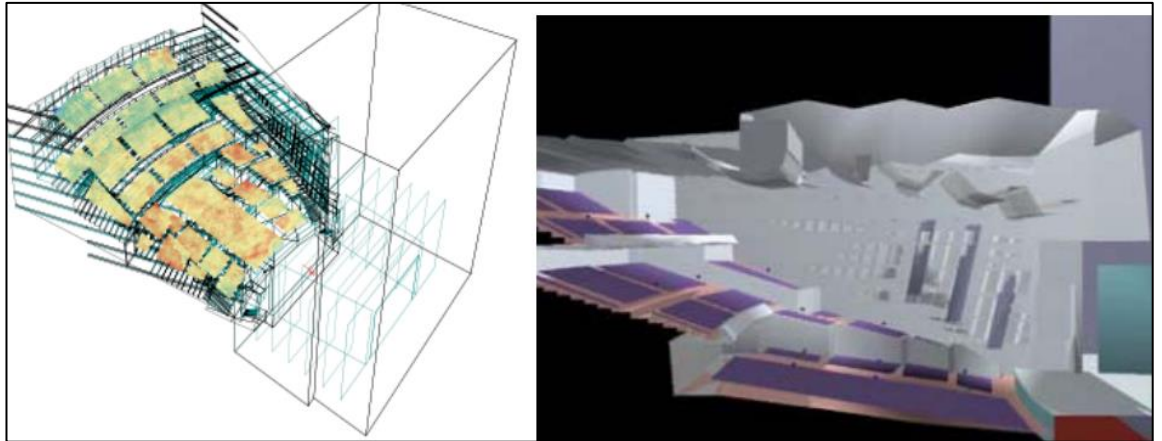
- Her bir ögeyi alan, zaman ve malzeme açısından doğru bir şekilde tanımladıktan sonra, verileri yeniden sisteme girmek zorunda kalmadan enerji analizi istenildiği kadar tekrarlanabilir. Bu zaman ve enerji tasarrufu sağlar.
- Bina yaşam döngüsü boyunca termal performansın sürekli yönetimi sağlanır.
- Uygulama ve tesis yönetimi süresince termal performansı izlenebilir.
- Müşteriler için anlaşılması kolay 3d görselleştirme olanağı sağlar.

Işık Analizi: Bir binanın doğal ışık alma, yapay ışıklandırma, kendi ve diğer yapılarla kütsel ilişkilerine dayalı olarak en etkili aydınlatma yöntemini belirlemek için BIM modeli kullanılarak ışık analizi yapılır (Şekil 2.22) [Web 33, 2022]. Bu analiz yapılırken modele malzemelerini, cephe kaplamalarını, cam özelliklerini, yapının konumunu ve yönlenmesini, topoğrafyayı, tarih ve zaman gibi ölçütler hesaplamalara eklenir [Ofloğlu, 2009]. Yapılan analizler tesisin tasarımını, uygulanmasını ve gelecekteki yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimini önemli ölçüde iyileştirerek sürdürülebilir yapılar elde edilmesine yardımcı olur [Uzun, 2019].



Şekil 2.22: Gün ışığı analizi.

Akustik Analiz: BIM teknolojisi kullanılan projelerde akustik analiz yapabilen yazılımlarla veri alışverişi mümkündür. Bu yazılımlarda geometrik modelin formu ve yapımda kullanılacak malzemeleri beraber incelenip mekanın akustik performansı sayısal ve görsel bilgilerle simule edilerek analiz edilir. Şekil 2.23’de Odeon™ yazılımı ile yapılan bir çalışma örneği görülmektedir [Ofıluoğlu, 2009].



Şekil 2.23: Odeon™ Oda Akustik Yazılımı.

2.5.3.Bina Yapım Sürecinde Kullanımı

İnşaat sektörünün tüm süreçlerinde etkili olan teknolojinin sürekli gelişim halinde olması teknolojik araçların sektördeki kullanımını ve sayılarını artırmaktadır. BIM iş birliğine dayalı bir teknoloji olması sebebiyle tüm proje aşamaları boyunca disiplinlerin tasarıma katkı sağlayabileceği bir alan oluşturmaktadır. Bina tasarım sürecinde birlikte çalışabilirlik ilkesi doğrultusunda disiplinler arası veri tabanı ile BIM projeleri oluşturulur. Yapım sürecine geçilmeden önce yapılan yapısal ve çevresel analizler sonucunda uyumsuzluk, çakışma ve sorunların tespit edilmesi gibi hatalar önemli ölçüde engellenir [Demircan ve Alp, 2020].

BIM bina yapım sürecinde ortak bir dil kullanma, ek maliyeti azaltması, güvenlik ile ilgili kararların alınması, makine ve araçların sahaya geliş gidişiyle ilgili planların yapılması konularında fayda sağlamaktadır. Zaman ögesini de kapsayan 4D modelleme ile yapının simülasyonları yapılarak tüm yapım sürecinin planlaması oluşturulur. Tüm bu durumların düzenli ve verimli bir biçimde sağlanması projenin planlanan iş takvimine göre gerçekleşmesini sağlayacaktır. İletişim iş takviminin düzgün bir şekilde ilerlemesinde hem kritik bir unsur hem de sürekli bir zorluktur. Aynı projede görev alan katılımcıların birbirleri ile bilgi paylaşması projenin başarısı ve ilerleyişi açısından önemlidir. İyi iletişim ve detaylı BIM modeli sayesinde sorun teşkil edebilecek elemanların erkenden algılanmasını sağlanacaktır [Ofloğlu, 2009]. Sanal model istenilen herhangi bir zaman diliminde şantiyede anlık gelişen karar vermeye de yardımcı olabilmektedir [Akkaya, 2012]. Alınan yeni kararlar eş zamanlı olarak çalışmaya işlenerek mevcut durumla uyumlu bir veri tabanı oluşturulur [Demircan ve Alp, 2020]. Bütün disiplinler güncel model üzerinden çalıştığı için olası veri kayıplarının önüne geçilir. Bu şekilde sürekli kontrol edilebilir ve güncel durumda olması, güvenilir ve başarılı uygulama süreçlerini beraberinde getirir [Dave vd., 2013].

Modeli oluşturan elemanlar yapım sürecinde ihtiyaç duyulan miktar bilgilerini içerir. 2D çizimler yerine 3D BIM modelinden gelen miktar çıkarımı ve maliyet veri tabanı çok daha doğru sonuçlar sağlar. Bu gereken yapı malzemelerinin tam miktarlarını daha iyi belirleme şansı verir. Bu tahmin doğru olduğunda, teklif öncesi bütçe, nihai bütçeye daha yakın olacağından fazla ve zamansız malzeme

tüketiminin önüne geçilerek atık miktarında önemli bir azalma sağlanabilecektir [Ofloğlu, 2009].

2.5.4.Bina İşletiminde Kullanımı

Binanın tasarım ve yapım işlemlerinden sonra tesis yönetimi başlar. Eastman ve diğ. (2011)'e göre BIM tesis yönetimi aşamalarında; yapının işletilmesi ve yönetiminde, bakım, onarım ve yenileme çalışmalarında, kaynak planlamasında, ekipman kontrolünde, tedarik zinciri yönetiminde ve yıkım planlamasında kullanılmaktadır [Eastman vd., 2011; Demircan ve Alp, 2020]. BIM sadece bir araç değil binanın yaşam döngüsü boyunca tasarımına, inşasına ve yönetimine yönelik bütünsel bir yaklaşımdır. Günümüzde özellikle büyük alışveriş merkezleri, rezidanslar, gökdelen yapıları gibi bünyesinde büyük kitleleri barındıran çok işlevli yapıların artmasıyla bir yapının yapılması kadar işletilmesi de önemli bir hal almıştır [Akkaya, 2012]. BIM teknolojisi daha çok binanın tasarım ve inşaat süreçlerinde faydalı olarak görülse de binanın tüm yaşam döngüsünü yönetebilmek ve gerekli kararları alabilmek için tesis yöneticisine bina tasarımı veya diğer unsurlar hakkında en doğru bilgiyi vermede çok önemli bir rol oynar [Web 34, 2022].

Nesne tabanlı bir teknoloji olduğu için merkezi veri tabanında mevcut yapıya ait tüm elemanların bilgileri bulunmaktadır. Bu sayede kullanıcılar bina için yapacakları herhangi bir bakım onarım faaliyeti esnasında, kat planları, bina yapısı (duvarlar, döşemeler, çatılar gibi.), mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat ile ilgili müdahalelerde bulunurken tesisatların geçtiği konumları belirlemek, taşıyıcı ve kaplayıcı malzemenin geçtiği yerleri bilmek açısından modelden yararlanılmaktadır [Ofloğlu, 2009]. Bu bilgiler ışığında tesis yöneticileri bakım, onarım ve yenileme faaliyetlerini önceden planlayarak çalışma takvimleri oluşturabilir, ihtiyaç duyulan malzemelerin tedarik edilmesi ve depolanması programlanabilir. BIM, binanın ömrü boyunca performans, konfor, su tüketimi, elektrik gibi diğer faktörleri sürekli takip edebilir, mümkün olan en düşük maliyetle en iyi enerji tüketim stratejisinin formüle edilmesine yardımcı olur. Bu sebeple gerekli durumlarda alternatif seçenekler uygulamaya konulabilir [Web 34, 2022]. Aktif bir teknoloji olduğu için işletim sürecinde yapıda yapılan değişiklikler model üzerinde de güncellenip daha sonraki müdahaleler için verinin güncel kalmasını sağlayacaktır.

Binanın as-built BIM modeli, güçlendirme veya yenilemenin gelecekteki planlaması için önemli bir referanstır. BIM, binanın her bir elemanı hakkında detaylı bilgiyi içerdiği için tesis yöneticilerinin ve sahiplerinin binanın mevcut durumundan haberdar olarak daha bilinçli bir karar vermelerine yardımcı olur. Bu güçlendirme ve yenileme projelerindeki bilgi karışıklığının önüne geçilerek süreci kolaylaştırmaya ve maliyet etkilerini en aza indirmeye fayda sağlar. Ayrıca model ile kullanım ömrünü tamamlayan yapıların yıkım işlemleri için simülasyonlar yapılabilir [Web 34, 2022].

BIM, inşaat sektörü için proje yaşam döngüsünde yani planlama, tasarım, uygulama (inşa etme) işletme ve yeniden işlevlendirilmesi veya yıkılması süreçlerini kapsayan ve bunları verimli yürütülmesini sağlayan geliştirilebilir bir teknolojidir. Bölüm 3’ de mevcut yapıların yenilenmesi başlığı ele alınıp, yenileme türlerine, mevcut yapılardaki yenileme ihtiyacı ve nedenlerine değinilmiştir. Daha sonra yenileme süreçlerindeki engellere ve BIM’in potansiyellerine, yenileme sürecinde kullanılan teknolojilere ve BIM ile yapılan yenileme projelerindeki planlama, tasarım, yapım ve miras yapılarındaki kullanım süreçleri ele alınmıştır.

3.MEVCUT YAPILARIN YENİLENMESİ

Yenileme kavramı, yapının belirli bölümlerinin veya tamamının yapısal ve teknik iyileştirilmesi veya güncel gereksinimlere uyarlanması sürecini ifade eder [Web 35, 2022]. Yenileme için birçok sebep olabilir ancak en önemlileri yaşam konforunu ve iç mekan iklimini iyileştirmek olarak görülebilmektedir. Mevcut bir yapı yenilenerek, yapının iç ve dış ortam kalitesi artırılabilir. Eski ve yıpranmış bir yapı söz konusu olduğunda yıkıp yeniden inşa etmek yerine mevcut olanı koruyarak ihtiyaçlar doğrultusunda yenilemek çoğu zaman daha çevreci bir yaklaşım olmuştur. Özellikle beton ve çelik olmak üzere bütün malzemeler oluşum enerjisine sahip olduğundan yenilemenin çevresel etkisi çoğunlukla daha az olmaktadır. Yenileme faaliyetleri çevresel avantajların yanında daha düşük maliyet ve zaman tasarrufu da sağlamaktadır [Web 36, 2022].

Tezin odak noktasında bulunan ‘yenileme’ çalışmaları kaynaklarda genellikle birkaç katın veya mevcut yapının tamamının estetik, yapısal ve teknik restorasyonu veya modernizasyonu olarak tanımlanır [Shahi vd., 2020]. Bu doğrultuda ‘yenileme’ ve ‘yenilemek’ kelimelerinin Türk Dil Kurumu sözlüğünde;

“Yenileme: Eski bir yapıda yıkılmış, bozulmuş olan bölümleri aslına uygun bir biçimde onarma, restorasyon,

Yenilemek: Bir kimse veya bir şeyin yerine yenisini koymak”

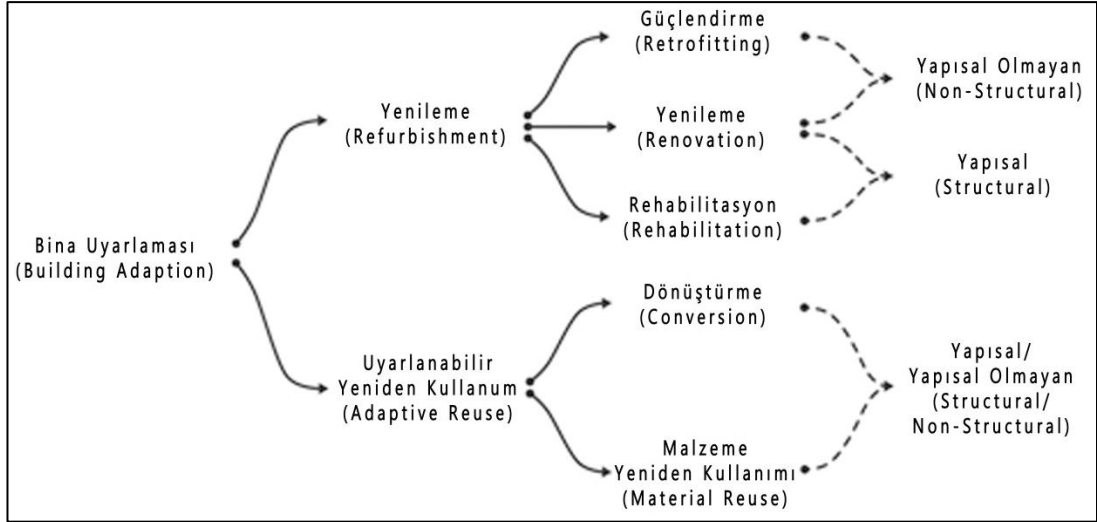
anlamlarında yer aldığı görülmektedir [TDK, 1992].

Binalara yenileme adı altında yapılan müdahalelerin kapsamını belirlemek için çok çeşitli terminolojiler kullanılmaktadır. Güçlendirme, rehabilitasyon, yenileme, uyarlanabilir yeniden kullanım gibi terimler son yıllarda literatürde ve sektörde yaygın olarak görülmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmada yol gösterici olması adına bu terminolojiler hakkında detaylı birer çerçeve sunan Shahi ve arkadaşlarının 2020 yılında ‘A definition framework for building adaptation projects’ adlı ve Douglas’ın 2006 yılındaki ‘Building Adaption’ adlı çalışmaları detaylı bir biçimde incelenmiştir. Kaynaklardan edinilen verilere Bölüm 3.1’de yer verilmiştir.

3.1.Yenileme Türleri

Binalara genel olarak mevcut koşullarını iyileştirmek ve etkin ömrünü uzatmak amacıyla bazı müdahaleler yapılmaktadır. Yapılan bu müdahalelerin kapsamı uygulamadan uygulamaya değişiklik gösterebilmektedir. Literatürde ve endüstride bir binaya etki eden müdahaleyi tanımlamak için birçok farklı terminoloji kullanılmaktadır. Yenileme, rehabilitasyon, restorasyon, güçlendirme, modernizasyon, dönüştürme, uyarlanabilir yeniden kullanım, malzeme yeniden kullanımı ve koruma gibi pek çok terimin genellikle örtüşen tanımlarından kaynaklı olarak birbirinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Net bir sınıflandırma olmamakla beraber kaynaklarda bu terimlerin genellikle bina uyarlaması olarak çevrilen ‘Building Adaption’ başlığı altında ele alındığına rastlanılmaktadır.

Shahi ve arkadaşları 2020 yılında bina uyarlaması ile ilgili terminolojileri konu alan çalışmalarında, bina uyarlamasını yenileme (refurbishment) ve uyarlanabilir yeniden kullanım (adaptive reuse) başlıkları altında iki ana kategoriye ayırmıştır. Yenileme için binanın mevcut koşullarının iyileştirilme süreci olarak bahsedilirken uyarlanabilir yeniden kullanım için işlev değiştirerek mevcudun veya malzemenin yeniden kullanımı açıklaması yapılmıştır. Bu ana kategoriler yapısal özelliklerine göre güçlendirme (retrofitting), yenileme (renovation), rehabilitasyon (rehabilitation), dönüştürme (conversion) ve malzeme yeniden kullanımı (material reuse) şeklinde alt kategorilere ayrılmıştır. Rehabilitasyon yalnızca yapısal bir özellik gösterirken güçlendirme yalnızca yapısal olmayan özellik gösterir. Binanın yenilenmesi, dönüştürülmesi ve malzemenin yeniden kullanımı ise hem yapısal hem de yapısal olmayan özellikleri kapsamaktadır (Şekil 3.1) [Shahi vd., 2020].



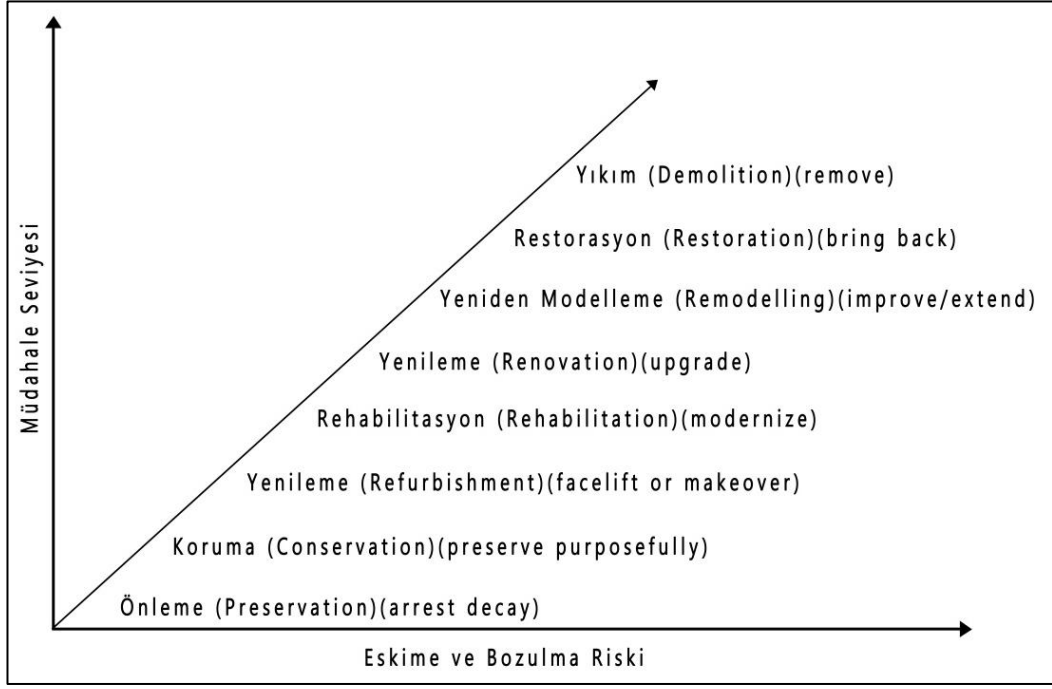
Şekil 3.1: Bina uyarlama kavramının yenileme ve uyarlanabilir yeniden kullanım kategorilerindeki dağılımı.

Şekil 3.1’de bulunan uyarlama alt kategorilerden güçlendirme (retrofitting), enerji kullanımı ve verimliliğini artırmak amacıyla HVAC sistemlerine yapılan iyileştirmeleri içermektedir. Yenileme (renovation) uygulaması eskiyen kısımlara yapılan müdahalelerle mevcut görünümü ve kullanıcı konforunu iyileştirme aynı zamanda enerji verimliliği sağlama olarak açıklanmaktadır. Rehabilitasyon (rehabilitation) için ise bozulmalar meydana gelen bir binanın onarım süreçleriyle bina güvenliğini artırarak yaşam döngüsünü uzatmak açıklaması yapılmaktadır [Shahi vd., 2020].

Uyarlanabilir yeniden kullanım (adaptive reuse) kategorisinin alt kategorilerinden dönüştürmek (conversion) eskimiş veya terkedilmiş binaların işlevini değiştirerek tekrar kullanıcıya kazandırılması eylemidir. Yapısal ve yapısal olmayan özellik taşıyan malzemenin yeniden kullanımı (material reuse) atıkları ve enerji kullanımını azaltmak amacıyla mevcut binalardan yeniden kullanılmak üzere malzeme geri kazanılması şeklinde açıklanmaktadır [Shahi vd., 2020].

Yapıya etki eden yenileme, iyileştirme, restorasyon gibi müdahalelerin birbiri yerine kullanıldığı ve sıklıkla karıştırıldığına vurgu yapan Douglas, 2006 yılında yapı uyarlamalarını ele aldığı ‘Building Adaption’ adlı çalışmasında uyarlama kavramını detaylı bir şekilde ele almıştır. Uyarlama faaliyetinin gerçekleşmesini ‘performans yönetimi’ şeklinde inceleyip bakım ve onarım performans yönetiminin iki ana unsurundan biri olarak tanımladığı görülmektedir. Çalışmada bakım için bir binayı önceden belirlenmiş bir durumda tutma açıklaması yapılırken; onarım için ise orijinal

duruma geri döndürmek için yapılan iyileştirmeler ve hatalı unsurların değiştirilmesi açıklaması yapılmaktadır. Aynı zamanda bakım ve onarım dışında kalan müdahaleleri eskime ve bozulma riski ve müdahale seviyesine göre önlemeden (preservation) yıkıma (demolition) olacak şekilde uyarlama kapsamında açıklanmaktadır (Şekil 3.2) [Douglas, 2006].



Şekil 3.2: Uyarlama türleri ve Müdahale Seviyeleri

Şekil 3.2’de yer alan uyarlama türlerinden en az müdahale seviyesine sahip olan önleme (preservation) ve koruma (conservation) bina veya binaya ait bileşenleri korumak amacıyla yapılan küçük ve basit bakımları içermektedir. Yenileme (refurbishment), bakım ve onarımların yanı sıra yapılan iyileştirmeler ile binanın estetik ve işlevsel performansının artırılması şeklinde açıklanmaktadır [Watt, 1999; Douglas, 2006]. Rehabilitasyon (rehabilitation), binaya ait kimlik bilgilerinin korunarak yapısal değişiklik ve eklemeler yapılmasıdır [Weeks ve Grimmer, 1995]. Yenileme (renovation), performans iyileştirmesi şeklinde tanımlanırken yeniden modelleme (remodelling) için binanın mevcut veya değişen kullanım şartlarına göre önemli ölçüde düzenlendiği büyük müdahaleler tanımı yapılmaktadır. Restorasyon (restoration) ise terk edilmiş veya harap halde bulunan binalara yapılan çalışmaları kapsamaktadır [Douglas, 2006].

Literatür taramasında ve sektörde görüldüğü üzere birbiri yerine örtüşen tanımlarla kullanılan terimler için ortak bir sınıflandırma bulunmamaktadır ve bu durum anlam karmaşasına neden olmaktadır. Tez çalışması kapsamında yenileme terimi; rehabilitasyon, restorasyon, güçlendirme, modernizasyon, dönüştürme, uyarlanabilir yeniden kullanım, malzeme yeniden kullanımı ve koruma kavramları ile ele alınmıştır.

3.2. Mevcut Yapılarda Yenileme İhtiyacı ve Nedenleri

Bir yapıda yenilemeye ihtiyaç duyulmasının en önemli nedeni kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayamamasıdır. Bu durum işlev değişikliği, güvenlik, eskime, yapay çevre, teknoloji, sosyal ve ekonomi gibi faktörler olabileceği gibi binanın tasarımı, yapımı ve kullanımında yapılan hatalara bağlı da olabilmektedir [Helander ve Singh, 2016]. Ayrıca mevcut yapılarda meydana gelen yenileme çalışmaları ile iç ve dış ortamdaki konfor eksikliğini, enerji tüketimini azaltmak mümkündür. Seyit Ahmet Yarkın 2017 yılındaki çalışmasında yapılarda duyulan yenileme ihtiyacını; enerji performansının artırılması, mimari, konfor ve genel yaşam kalitesinin artırılması, mekanik ve stabilite açısından güvenliği sağlama ve iç mekan iklimini iyileştirme şeklide ele almıştır [Yarkın, 2017]. Savaş Ekinci 2014 yılındaki çalışmasında ise yapıların içinde bulunduğu koşullarda meydana gelen değişim ve gelişimlerin uyarlanabilirlik ihtiyaçlarına neden olduğuna değindiği çalışmasında uyarlama gereksinimlerini aşağıda açıklamalarıyla verilen işlevsel, fiziksel, teknolojik, ekonomik ve mimari değer sorunları başlıklarında ele almıştır [Ekinci, 2014]:

İşlevsel sorunlar:

- Farklı kullanıcı ihtiyaçları, kullanıcının talepleri ile mevcut yapının uyumsuzluğu,
- Kullanıcı belirsizliği,
- Yapının tasarım sürecindeki işlevinin değişmesi veya tamamen ortadan kalkması,
- Yapının işlevsel performansının ve kapasitesinin yeterli olmaması.

Fiziksel sorunlar:

- Yapının fiziksel performansının yeterli olmaması,
- Yapı fiziği, yangın güvenliği, yapı biyolojisi, strüktürel denge ve dayanım sorunları.

Teknolojik sorunlar:

- Mevcut teknolojinin eskimesi, kapasitesinin yetersiz olması,
- Mevcut teknolojinin servis sistemlerinin yeni teknolojilerle uyumlu olmaması.

Ekonomik sorunlar:

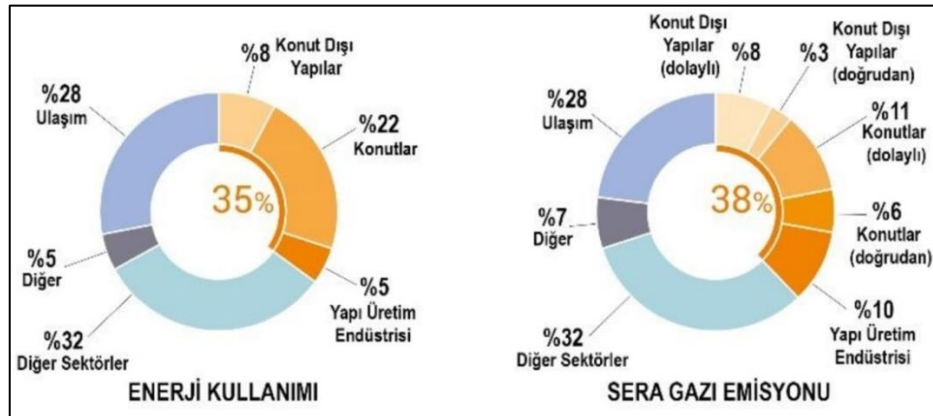
- İşletim ve bakım giderlerine ve yapının ekonomik değerinin sürdürülmesine dair oluşan sorunlar.

Mimari değer sorunları:

- Mimari etkinin, yapının eksiklik değeri ve belge niteliğinin korunma veya değiştirilme sorunu [Ekinci, 2014].

Son yıllarda mevcut yapıdan kaynaklı sorunlara ek olarak çevresel etkilerin de yapı üzerinde yenileme ihtiyacı oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Küresel ısınma, enerji kaynaklarının hızla azalmaya devam etmesi, nüfusun giderek artması ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak insanların konfor ihtiyaçlarının da artması enerjiye olan ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır [Manioğlu, 2011]. Türkiye birincil enerji kaynakları (petrol, kömür, doğalgaz vb.) bakımından yeterli kapasiteye sahip olmamakla beraber gün geçtikçe daha çok dışa bağımlı hale gelmektedir [Tıkrır, 2009]. Bilinçsiz tüketilen doğal kaynaklar, yenilenemez kaynakların tükenmesini hızlandırmakta, gelecek nesiller için ciddi anlamda bir tehlike oluşturmaktadır [Sur, 2020]. Bu durum son yıllarda enerji tüketiminin denetimi ve

yönetimine dikkat çekmekte, sürdürülebilir yaklaşım ve çözümleri gündeme getirmektedir. Enerjinin önemli bir bölümünü oluşturan yeni yapı üretimi ve mevcut yapılardaki düşük enerji verimliliği iklim değişikliğini olumsuz yönde etkilemektedir [Duru ve Koç, 2021]. İnşaat sektörü dünya genelindeki enerji tüketimine bakıldığında yaklaşık %40 gibi ciddi bir paya sahip olması sebebiyle enerji konusunda incelenmesi ve tedbir alınması gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [Yarkın, 2017]. 2020 yılında Birleşmiş Milletlerin hazırlamış olduğu çevre programındaki verilere göre küresel enerji kullanımının %35'inden sorumlu olan yapı stoku yaşam döngüsü boyunca enerji tüketerek sera gazı emisyonun ise % 38'ini oluşturmaktadır (Şekil 3.3) [Duru ve Koç, 2021]. Türkiye'deki mevcut bina stokundan kaynaklı enerji tüketiminin de diğer dünya ülkelerine benzer şekilde olduğu söylenebilir [Web 37, 2023]. Oranların bu düzeyde yüksek olması sebebiyle verimliliğin artırılması, kaynakların korunması, kullanılan enerjinin ve CO2 salınımının azaltılması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir [Yarkın, 2017].



Şekil 3.3:Yapı sektörünün enerji kullanımı ve sera gazı emisyonu durumu.

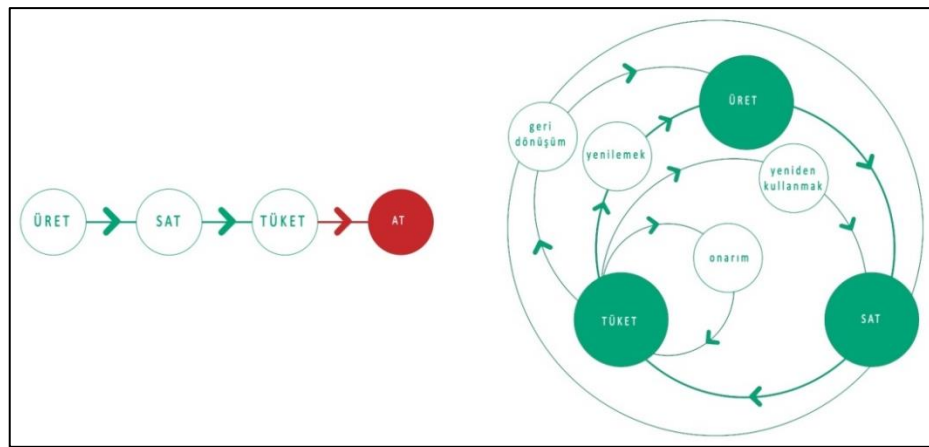
Enerji kaynaklarının azalan yönde ivmelenmesi ve beraberinde gelen küresel enerji ihtiyacı sorunları nedeniyle yapılardaki enerji etkin tasarım kriterleri artan bir önem kazanmaktadır. Yapılarda bu tasarım kriterlerini uygulamanın en etkili yolu en başta alınan doğru ve sürdürülebilir kararlar ile enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanmasıdır. Fakat geçmişte bulundukları bölgedeki iklim koşullarına göre inşa edilen ve değişen iklim koşullarına göre bugünkü enerji korunumuna dair standart ve yönetmeliklerin sınır değerlerini karşılayamayan pek çok yapı mevcuttur [Manioğlu, 2011]. Eski yapıların yıkılarak enerji etkin yeni binalar yapmak için kullanılan enerji,

yenilenmesi için gerekenden daha fazla olduğu için mevcut olanın iyileştirilmesi hem enerji hem de ekonomi açısından daha uygun bir çözüm olarak görülmektedir [Yetkin, 2014]. Tasarım aşamasından itibaren enerji etkinliği dikkate alınmamış yapıları dahi enerji etkin yenileme çalışmaları ile mevcut performansının değerlendirilerek gerekli müdahaleler ile enerji etkin bir seviyeye ulaştırmak mümkündür. Enerji etkin yenileme yapılırken yapıların birbirine göre konumu, yöneliş biçimleri, cepheleri ve formları en önemli tasarım parametreleridir [Manioğlu, 2011]. Yapılacak yenileme çalışmaları yapıların pasif sistemler olarak performansını artırılmasını, ısıtma-soğutma-havalandırma gibi ihtiyaçların daha az enerji harcanarak giderilmesini, aktif sistemlerin yükünün, mevcut stoktan kaynaklı karbon salınımının ve neden olunan diğer çevresel etkilerin azaltılmasını sağlayabilmektedir [Yetkin, 2014]. Türkiye’deki duruma bakıldığında yapılan araştırmalara göre mevcut yapı stokunun %35’inin enerji verimli olma potansiyeline sahip olduğunu görülmektedir [Jahed, 2018]. Mevcut yapıların çevre dostu kriterlerine uygun olarak yenilenmesi ve yeni yapılacak yapıların da bu kriterlere uygun olarak tasarlanması Türkiye’de enerjinin korunumuna yardımcı olmak adına önemli bir ölçüdür.

Türkiye ve dünya ülkelerinde sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulması, dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürekli azalan yönde ivmelenmesi gerçeğinin daha geniş kesimlerce anlaşılması ülkeleri, enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerjiyi etkin kullanmaya yöneltmektedir [Seydioğulları, 2013]. Özellikle Avrupa ülkelerinde binaların neredeyse yarıya yakın bir kısmının ve 50 yıldan eski enerji verimli olmayan yapılar olması nedeniyle mevcut stokun enerji verimli olarak yenilenmesi bu tür ülkelerde önemli bir öncelik olarak karşılaşılmaktadır [Stegnar ve Cerovsek, 2013]. Bu anlamda 2002 yılında Avrupa’da, 2002/91/EC sayılı ‘Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD)’ olarak adlandırılan direktif ile ulusal enerji performansı ihtiyaçları tespit edilmeye başlanmıştır. Ayrıca, direktifle yapıların enerji performansının iyileştirilmesi ve enerjinin verimli kullanılması amaçlanmaktadır [Ganiç, 2012]. Avrupa Komisyonu 2020 yılında mevcut yapılardaki enerji yenilemesinin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılması konusunda ‘Yenileme Dalgası’ adlı girişimi açıklamıştır. Bu girişime göre 2030 yılına kadar yıllık enerji yenileme oranını en az ikiye katlamak ve derin enerji yenilemeyi teşvik etmek hedeflenmektedir [Web 38, 2022]. AB’deki gelişmelere

paralel olarak, Türkiye’ de de enerji verimliliğinin sağlanması için ulusal mevzuatlar geliştirilmiştir. Ülkede öncelikle, 27075 sayılı 05.12.2008 tarihli Resmi Gazete’de ‘Bina Enerji Performansı Yönetmeliği’ yürürlüğe girmiş ve 2020 yılında 5627 sayılı ‘Enerji Verimliliği Kanunu’ kabul edilmiştir. Bu düzenlemelerle, asgari düzeyde enerji performansı gereklilikleri tespit edilebilmektedir. Ayrıca mevzuatla, bina enerji kullanımının hesaplama yöntemlerini belirlemek, mevcut binaların yenileme faaliyetleri için minimum enerji ihtiyaçlarını tespit etmek ve enerji kaynaklarının sera gazı emisyonlarını önlemek amaçlanmıştır [Ganiç, 2012].

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan enerji ve kaynak yetersizliği sorunlarının çözümüne yönelik olarak mevcudun korunması konusuna odaklanıldığı ve bu noktada döngüsel ekonomi modelinin benimsenmeye başlandığı görülmektedir. İklim değişikliğini yavaşlatmanın önemli bir parçası olan döngüsel ekonomi yaşam döngüsünü uzatmak adına mevcut malzeme ve ürünlerin mümkün olduğunca uzun süre paylaşılmasını, yeniden kullanılmasını, onarılmasını, yenilenmesini ve geri dönüştürülmesini içeren bir üretim ve tüketim modelidir [Web 39, 2022]. ‘Üret, sat, tüket, at’ ile özetlenen doğrusal ekonomide doğal kaynaklar, nihai olarak atık olmaya mahkum ürünlere dönüştürülür. Ancak döngüsel ekonomi, kaynak kullanımını, atık, kirlilik ve karbon emisyonlarını azaltarak kapalı döngüye dayalı bir sistem oluşturmayı hedefleyerek yeniden kullanım, paylaşım, onarım, yenileme, yeniden üretim ve geri dönüşümü kullanır (Şekil 3.4) [Web 40, 2022; Web 41, 2023]. Döngüsel ekonomiye ulaşmada önemli bir bileşen olan bina yaşam döngüsü, yenileme çalışmaları ile büyük ölçüde artırılabilir [Web 42, 2022].



Şekil 3.4: Doğrusal ve döngüsel ekonomi karşılaştırması.

Yaşanan küresel enerji problemlerinin yanında AB ülkelerinden farklı olarak aktif bir deprem bölgesinde bulunan Türkiye deprem ve kullanımdan kaynaklı çeşitli eskime riskleri ile karşı karşıyadır. Bu tür risklerin azaltılmasına yönelik olarak mevcut yapıların güçlendirilmesi sıklıkla gündeme gelmekte ve yapı stokunun yaklaşık %40'ının yenilenmesi veya güçlendirilmesi önerilmektedir [Web 43, 2022]. Depreme ve mevzuatlara uygun tasarlanmayan binaların can ve mal kayıplarına neden olacağı göz önüne alındığında depreme dayanıklı binaların inşa edilmesi ve mevcut binaların güçlendirilmesi ile binalardan kaynaklı can ve mal kaybı risklerin büyük ölçüde önüne geçmenin olası olduğu bilinmektedir [Çakmak vd., 2022]. Bu tür yenilemelerde deprem ve enerji başlıklarının bütünleşik bir şekilde çözüm olarak ele alınması Türkiye için önem arz etmektedir.

Yeni inşaat projelerine kıyaslandığında yenileme projeleri eksik ve güncel olmayan bina bilgilerinden dolayı oldukça karmaşıktır. Bu bağlamda mevcut iki boyutlu çizimler tüm proje süreci için yetersiz kalmaktadır. Sürdürülebilirlik ve enerji performansı gibi konuların dikkate alındığı yenileme projelerinde enerji verimliliği için kullanılabilecek araç ve yöntemlerin artırılmasının sektöre ve ülkeye katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Son yıllarda inşaat sektöründe bilgi ve iletişim teknolojileri alanında önemli ilerlemeler kaydeden ve kullanımı yaygınlaşmaya başlayan BIM teknolojisinin bu amaçla kullanılabileceği düşünülmektedir.

3.3. BIM'in Yapıların Yenileme Süreçlerinde Kullanımı

Kullanıcı ihtiyaçları göz önüne alınarak tasarlanan yapıların bir kısmı değişen şartlar sonucu zaman içerisinde planlandığı gibi performans gösterememektedir. Bu durum, hem bina performansını hem de kullanıcı konforunu etkilemektedir. Bina kabuğunun yapısı, binada kullanılan HVAC sistemi, dış ortam koşulları gibi bazı faktörler konfor koşullarını etkileyen faktörlerdendir. Bu faktörler birbiri ile ilişkili, karmaşık ve birtakım belirsizliklere sahiptir, dolayısıyla faktörlerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir [Alavi vd., 2021]. Konfor ihtiyacına ek olarak inşaat sektöründeki hızlı büyüme ve gelişme küresel enerji sorununu da gündeme getirmektedir. Gelecek nesiller için mevcut yapıların yenilenmesi ve yapılı çevrenin uygun olarak korunması, enerji tüketimini azaltmak ve sürdürülebilir yaklaşımları

desteklemek adına önemli bir fırsat olarak görülmektedir. Yenileme sürecinin başarısı, büyük ölçüde yenileme stratejisine bağlıdır. Tez çalışması kapsamında sürdürülebilir kalkınmaya ve inşaat sektöründeki dijitalleşmeye önemli katkıları olan BIM'in; özellikle gelecek on yıl için inşaat sektörünün birincil toplumsal hedefleri arasında yer alan yenileme çalışmalarındaki kullanım potansiyeli ele alınmıştır.

BIM teknolojisi; 1970'lerden bu yana yapı aşamalarına, bilgiye, verilerin dijital araçlarla yönetimine ve işbirliğine dayalı sanal model olarak gelişen bir kavramdır. İnşaat sektörü BIM ile dijital anlamda meydana gelen yenilikleri kademeli olarak benimsemektedir [Elagiry vd., 2019]. BIM genel anlamda bir 3D model olarak gözükmese de, yapının planlama, tasarım, inşaat süreçlerine ek olarak bakım ve yenileme çalışmaları dahil tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılmak üzere bilgi deposu oluşturmaktadır [Gökgür, 2015]. Aynı zamanda kültürel miras yapıları için oluşturulan BIM modelleri de yapının uzun yıllar boyunca sürdürülebilir bir biçimde bilgi yönetimini sağlamaktadır.

Yeni bir yaklaşım olan BIM, proje yönetim teknolojisi olarak hızla ilerlemektedir. İnşaat tekniklerini kökten değiştiren bu teknolojiler, yapının nasıl hareket edeceğini ve performans göstereceğini tahmin edebilmek için pek çok simülasyon, görselleştirme ve analitik araçları kapsamaktadır. Günümüzde bu uygulamalar inşaat projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanmasında önemli bir konumda bulunmaktadır [Daneshvartarigh, 2021]. BIM'in proje sürecine sağladığı çakışma algılama, inşaat ilerleme takibi, maliyet hesaplaması, simülasyon, görselleştirme, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), sürdürülebilirlik, şantiye güvenliği, risk senaryosu planlaması gibi faydalar; literatürde pek çok araştırmaya konu olmuştur. Bununla birlikte, BIM teknolojisinin esas olarak yeni inşaat projeleri için geliştirilmekte olduğu görülmektedir. Yenileme, güçlendirme ve miras projeleri için kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır ve bu konu ile ilgili literatürde daha az çalışmanın olduğu bilinmektedir. Öte yandan, BIM tarafından henüz yeterince desteklenmeyen mevcut yapı stokunun kalitesinin, işlevselliğinin ve genel performansının iyileştirilmesine yönelik güçlü bir toplumsal ihtiyaç mevcuttur [Scherer ve Katranuschkov, 2018].

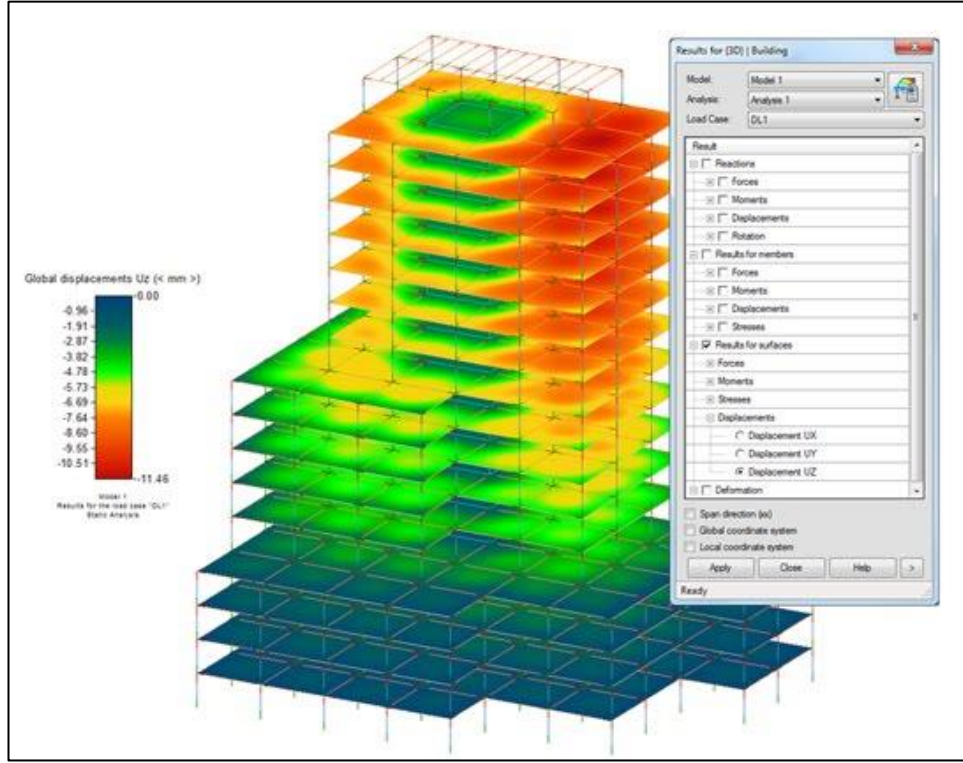
Mevcut bir binanın BIM teknolojisi ile yenileme, yeniden inşa etme veya güçlendirme talepleri durumunda, binanın doğru ve son derece ayrıntılı bir temsiline sahip olmak çok önemlidir. Model mevcut ise yapı geometrisi bilgileri BIM modelinden çıkarılarak tesisin bakım, yenileme veya güçlendirme faaliyetleri

kolaylaştırılabilir [Leygonie vd., 2022]. Buna karşın, inşaat sektöründe 3D sanal temsil nispeten yeni bir teknolojidir ve mevcut yapı stoku için halihazırda bir modele genellikle rastlanılmamaktadır. Orijinal ve güncel belgelerin bulunmadığı bu tür durumlarda onları yeniden oluşturmak gerekir. Yapılarda çoğunlukla eksik, eskimiş ve güncel olmayan bilgiler baskındır. Mevcut bir yapının boyutları ve detayları ile sıfırdan doğru bir çizim yapmak zordur. Bu durum etkisiz proje yönetimine, belirsiz süreç sonuçlarına, zaman kaybına ve maliyet artışlarına neden olabilir [Volk vd., 2014]. Bu nedenle; mevcut yapıların modellenmesinde 3D Lazer Tarama teknolojilerinden yararlanılmaktadır.

BIM oluşturulduktan sonra, yapıyı modern modelleme teknolojilerinin yardımıyla analiz ve simule etmek, proje paydaşlarının bir binanın nasıl davrandığını, nasıl çalışacağını veya her zamankinden çok daha gerçekçi görünmesini görmelerini sağlar [Daneshvartarigh, 2021]. Günümüzde enerji verimli yapı tasarımı sırasında; enerji tüketimi, termal konfor, maliyet analizi, aydınlatma, çevresel etki, akustik gibi performans değerlendirmelerini yapabilmek için analiz ve simulasyon araçlarının kullanımının önem kazandığı görülmektedir. Benzer şekilde, mevcut bina yenilemelerinde BIM ile bütünleşik yazılımların kullanımı binaların enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır [Yıldız, 2008]. Mevcut yapılarda yapılan yenileme süreçleri neredeyse tüm fiziksel özelliklerin sabit olduğu düşünüldüğünde oldukça karmaşık bir süreçtir. Yapıların en verimli şekilde yenilenmesi için farklı tasarım seçeneklerinin geliştirilip en uygun olanının seçilmesi gerekmektedir. BIM araçları, analiz ve simulasyonlar ile mevcut performansın planlanan yenileme sürecinden sonraki performans ile karşılaştırılmasına ve en iyi yenileme stratejisinin belirlenmesine katkı sağlayabilmektedir [Pereira vd., 2021]. Bu nedenle yenileme projelerinde BIM kullanımı ile enerji performansı değerlendirmeleri gerçek bilgiye dayalı olduğu için proje sonunda tahmin edilen ve gerçekleşen enerji performansı arasındaki fark önemli ölçüde azaltılabilir [Stegnar ve Cerovsek, 2019]. BIM'in sağlamış olduğu erken enerji simulasyonları ile uygulama aşamasına geçilmeden bu tür analizlerin yapılar tasarımı kararlarının verilmesi, uygulama ve işletim aşamasında karşılaşılabilecek olası hataların ve revizelerin önüne geçilerek de zaman, maliyet ve iş gücü kazancı sağlanmış olur.

Günümüzde BIM yazılımları ile LEED ve BREEAM gibi yeşil bina değerlendirme sistemlerinin de bütünleştiği birçok analiz yapılabilmektedir. Performans odaklı olan bu analizler; değişen iklim şartlarına uyum sağlayabilmek

için iklimsel analizler, potansiyel enerji kazanım grafiklerinin oluşturulduğu tüm bina enerji analizi, yapıya en uygun olan doğal aydınlatma seçeneğine karar verebilmek için gün ışığı ve doğal aydınlatma analizi, güneş ve gölge analizi, güneş ışıınım analizi, rüzgar ve hava akım analizi ve enerji yük analizi şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.5) [Özcan ve Erol, 2018; Web 44, 2023].



Şekil 3.5: Enerji analizi.

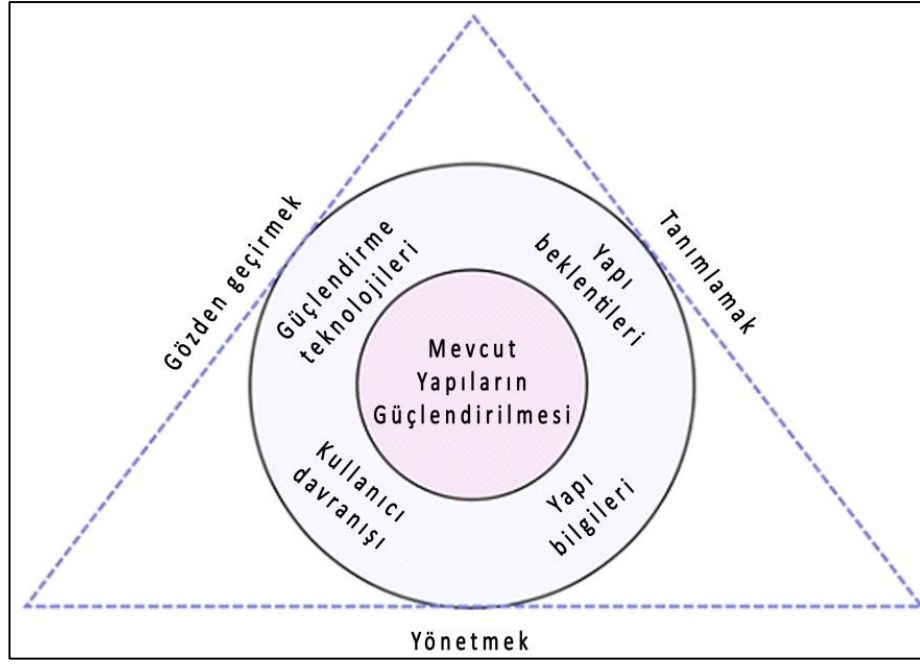
Yenileme projelerinde; inşaat teknolojisi, yönetim metodu, malzeme ve işçi kaynaklı atık üretimi, israf ve verimsizlik gibi problemler hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli problemler olarak ortaya çıkmaktadır [Akkaya, 2012]. BIM modeli kullanılarak; yapı malzemesi kullanımı tahmini, bütçe tahmini, maliyet planlaması ve çakışma testleri gibi çeşitli çalışmalarla projede kaynak, zaman ve maliyet optimizasyonu sağlanabilmektedir [Web 45, 2022]. Özetle, BIM teknolojisi ve kullanımları, inşaat projelerinin daha kısa sürede, daha düşük maliyetle ve daha sürdürülebilir bir şekilde tamamlanmasına yardımcı olmaktadır [Daneshvartarigh, 2021]. 4D modellerin kullanımı ile birçok disipline sahip projelerde, yenileme sırasında iş akışının koordinasyonu, saha lojistiği ve projenin genel sürecinin kontrolü için fayda sağlamaktadır [Gökgür, 2015]. BIM kullanımının sektöre

sağladığı faydalardan bir diğeri de farklı disiplinler arasında erken işbirliği oluşturarak koordinasyon sağlamasıdır. Mevcut bina veri yetersizliği ve karmaşıklığın ön planda olduğu yenileme projelerinde, katılımcılarının planlama aşamasından itibaren birlikte çalışabildiği bu teknoloji ile daha az hata ile düşük maliyetli ve sürdürülebilir çalışmalar gerçekleştirilebilir. Geleneksel yöntemler kullanılan projelerde tüm proje süreci içerisindeki hatalar yaklaşık %30-%33' lük bir değere sahipken BIM teknolojisi ile tasarım aşamasında olası hataların tespit edilip giderilmesiyle bu oran %3'lere kadar düşmektedir [Özcan ve Erol, 2018].

BIM teknolojisinin projelerde etkin bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir fakat yenileme için bilgilerin tanımlanması, verilerin toplanması ve uygun biçimde işlenmesi, belirsizliğin ele alınması ve yüksek çaba gibi bir takım zorluğun aşılması gerekmektedir [Elagiry vd., 2019]. BIM kullanımı proje türüne bağlı olmakla beraber genellikle büyük ve karmaşık projelerde rastlanılmaktadır. Araştırmacılar ve uygulayıcılar yenileme projeleri için BIM ihtiyacını ve avantajlarını farkında olmalarına rağmen hala etkin bir biçimde kullanılmamaktadır [Daneshvartarigh, 2021].

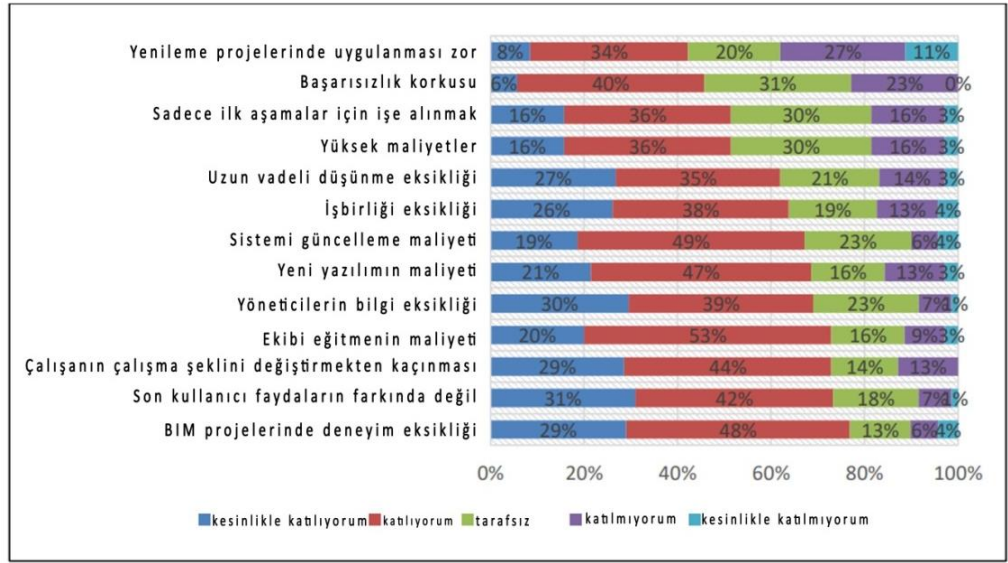
3.3.1. Yenileme Sürecindeki Engeller ve BIM'in Potansiyelleri

Yenileme projeleri özellikle yeni inşaat projelerine kıyasla, mevcut yapı bileşenleri ve kat planları ile sınırlandırılması sebebiyle yaratıcılık açısından kısıtlıdır. Aynı zamanda güncel doküman eksikliğinden dolayı karmaşık bir süreç olarak tanımlanmaktadır [Gökgür, 2015]. İhtiyaçların gözden geçirilmesi, seçeneklerin belirlenmesi ve yönetim tekniklerinin dahil olduğu adımları göz önünde bulundurmak yenileme sürecinin başarısı açısından önemlidir. Bu bağlamda süreçte; yenileme teknolojileri, yapı beklentileri, yapı bilgileri ve kullanıcı davranışı gibi başlıca etkenlerin detaylı bir biçimde ele alınması gerekmektedir (Şekil 3.6) [Habibi, 2017].



Şekil 3.6: Yapı güçlendirmelerini etkileyen temel unsurlar.

Daneshvartarigh, 2021 yılında BIM'in Avrupa'daki yenileme projelerinde uygulanması hakkında yaptığı çalışmasında BIM'in yenileme projelerinde kullanımının yetersiz olduğunu ve bu yeni çalışma yaklaşımının kullanımını artırmak için karşılaştıkları zorlukları ve engelleri incelemek gerektiğine değinmiştir. Tez çalışması kapsamında anket yöntemi ile uzmanların yenileme projelerinde BIM'i uygulamaya yönelik tutumlarını ve bu konudaki faydalar ve engeller hakkındaki görüşlerini ele almıştır. Şekil 3.7'de uzmanların BIM kullanımının önündeki engellere verdikleri yanıtlar yer almaktadır [Daneshvartarigh, 2021]. Ankete göre çalışanların çalışma şeklini değiştirmekten kaçınması, son kullanıcının faydaların farkında olmaması, ekibi eğitmenin maliyeti ve deneyim eksikliği öne çıkan engeller olarak görülmektedir.



Şekil 3.7: Yenilemede BIM kullanımının önündeki engeller.

İnşaat projeleri, ekonomik, teknolojik, ekolojik ve sosyal gibi alt sistemleri barındıran, birbirleriyle ve çevreyle etkileşim halinde olan bir süreci kapsamaktadır. Yeni inşaat projelerine kıyaslandığında yenileme projeleri eksik ve güncel olmayan bina bilgilerinden dolayı oldukça karmaşıktır. Projenin başarılı biçimde tamamlanabilmesi için uygun bir yenileme stratejisi belirlemek önemlidir. Yenileme stratejisi belirlenirken enerji performansı ve sürdürülebilirlik kriterleri de dikkate alınmalıdır. Günümüzde sürdürülebilir inşaat projeleri yapılırken enerji analizleri ve simülasyonları, akustik analizleri, ışık analizleri ve çevresel etki değerlendirmeleri gibi pek çok etmen, inşaat projelerinin sık kullanılan unsurları haline gelmiştir. Bu bağlamda geleneksel yöntemler ve mevcut iki boyutlu çizimler tüm proje süreci boyunca karmaşık tasarımı ele alma ve bilgi akışını sağlama konusunda yetersiz kalmaktadır [Gökgür, 2015]. Ek olarak mevcut yapıların yenilenmesinde karşılaşılan zorluklardan biri de güvenilir veri kaynaklarının olmamasıdır. Yapılarda tüketilen enerji miktarı, iklim değişikliği, kullanıcı davranış değişikliği ve bina sisteminde meydana gelen değişikliklerden dolayı genellikle belirsizdir [Habibi, 2017]. Mevcut koşulların doğru temsilini sunabilen yöntemler uzun vadede zaman, maliyet ve iş gücü açısından oldukça önemlidir.

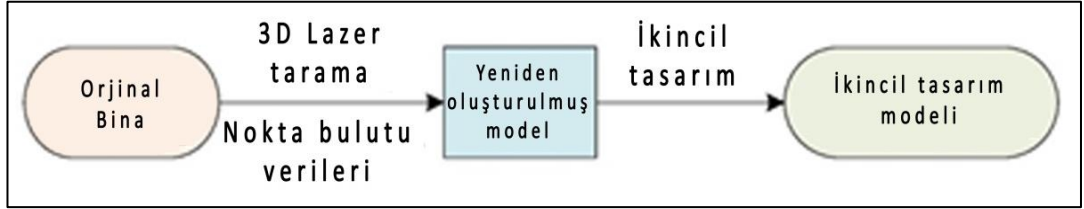
Yapının güncel bilgilerine dayalı oluşturulan BIM modeli hem mevcut yapının hem de planlanan yenileme önlemlerine yönelik bilgilere dayanarak çeşitli stratejiler içerebilir ve tasarımcılara alternatif seçeneklerde bulunarak yön gösterebilmektedir [Scherer ve Katranuschkov, 2018]. BIM araçları ve modelleri ile beraber, tasarım

aşamasında veya yenileme yapılırken yapıya dair çeşitli alternatiflerin analiz edilip karşılaştırılarak en verimli ve uygun çözümlerin elde edilmesine olanak sağlanmaktadır. Bina yönü, pencere boyutları ve cephe malzemeleri vb. gibi unsurlar, en verimli çözüme ulaşılan kadar modeller üzerinde yinelemeli olarak değiştirilebilir [Pereira vd., 2021]. BIM teknolojilerinin tasarım aşamasında uygulanması, belirli bir ortamdaki enerji yoğunluğu koşullarını ve sismik aktivitenin etkilerini gün ışığı yoğunluğu, güneş ışığı ve diğer çevresel faktörler düşünülerek simule edebilir, bu da binaların yeniden inşasını planlamayı çok daha fazla kolaylaştırmaktadır [Mésároš vd., 2021]. Erken enerji simülasyonları ile yenileme projelerinin performansının belirlenmesi sağlanarak verimlilik artırılabilir [Gökgür, 2015]. Aynı zamanda yapının yaşam döngüsü boyunca her bir bileşenin geri dönüştürülme potansiyelini veya kullanım ömrü sonu senaryolarını değerlendirmeye olanak sağlar [Vitiello vd., 2019]. Bu sebeplerle literatürde yenileme projelerinde mevcut bina bilgi verilerini depolama, karar verme sürecini destekleme ve enerji verimliliği sağlama amacıyla BIM kullanılması önerilmektedir [Bahadır, 2018].

Yeni inşaat projelerinde olduğu gibi yenileme ve miras projelerinde de projenin başarısını etkileyebilecek bir takım belirsizlik ve tahmin edilemeyen olumsuzluklarla karşılaşılabilir [Bahadır, 2018]. Bu projelerde genellikle karşılaşılan riskler, mevcut yapı hakkında doğru bilgilerin olmaması ve inşaat sürecinde ekipler arasında oluşan işbirliği eksikliğidir. Proje ekipleri, yapılarda yenileme çalışmalarını planlamak, strateji belirlemek ve performans değerlendirmesi yapmak için eksiksiz, güncel ve doğru bilgilere ihtiyaç duyar. Ancak genel olarak mevcut yapılarda tasarım ve inşaat aşamaları sırasında yapılan hatalar, toleranslar, düşük inşaat kalitesi ve kapsam değişiklikleri nedeniyle orijinal çizimlerle tutarlı olmayan eksik, eskimiş ve güncel olmayan bilgiler ön plandadır [Esfahani vd., 2021]. Sonuç olarak tutarsız ve hatalı orijinal tasarım bilgileri etkisiz proje yönetimine, belirsiz süreç sonuçlarına, zaman kaybına, maliyet artışına ve birçok yeniden çalışmaya neden olabilir [Ding vd., 2019].

Yapıların büyük çoğunluğu 1990 yılından önce inşa edildiği için BIM formatında bilgidir yoksa. Şekil 3.8, yenileme projelerinde geometrik bilgilerin hızlı bir şekilde toplanması için tersine mühendislik uygulama sürecini açıklamaktadır. Buradaki işleyiş yenileme faaliyeti yapılacak yapının 3D koordinatlarının lazer tarama ve nokta bulutu verileriyle güncel bilgileri içeren yeni

3D modellerin oluşturulup yeni tasarımların yapılabilmesidir [Ding vd., 2019]. Mevcut bir binanın as-built BIM'inin oluşturulması, dijital olmayan dokümantasyonun yetersizliği ve hesaplanabilir verilerin olmaması nedeniyle genellikle zorlu bir süreçtir. Ancak mevcut yapılarda BIM modeli oluşturulduktan sonra yenileme çalışmaları için önemli fırsatlar sağlanabilmektedir. BIM sayesinde yapı hakkındaki bilgiler depolanıp tüm ekip ile paylaşılabilir. Model sürekli kontrol edilip güncellendiği için tekrarları azaltmak, belirsizlikleri ve hataları engellemek için bu çok önemli bir adımdır [Elagiry vd., 2020]. Ayrıca, model ile veri yönetimi, maliyet hesaplaması veya yenileme ilerleme takibinin optimizasyonu yoluyla hataları ve finansal riskleri en aza indirmek için programlandırılmış güncel bina bilgilerinden de yararlanabilir [Gökgür, 2015].



Şekil 3.8: Tersine mühendislik uygulama süreci.

Yenileme projelerinin karmaşıklığı ve sürece birçok farklı disiplinin dahil olması sebebiyle, mimarlar, yapı mühendisleri, HVAC mühendisleri vb. gibi çeşitli birimler çalışmalarını sürekli olarak birbirlerine göndermek, açıklama ve revize yapmak durumunda kalırlar [Daneshvartarigh, 2021]. Bu sebeple farklı birimler arasında koordinasyon sağlamak, etkili ve iyi sonuçlar elde edebilmek için güçlü bir işbirliğine ihtiyaç vardır. Sürekli bilgi akışı ile bilginin doğru kişiye doğru zamanda iletilmesi projenin başarısı için oldukça önemlidir [Marttila vd., 2017]. BIM, projeye ait tüm bilgileri proje katılımcılarının ortak erişiminde olan tek bir modelde birleştirir. Teknolojinin formatı veri çakışmalarını tespit etmeye, düzenlemeye ve müdahalelere açıktır. Bu sebeple yenileme projeleri için erken tasarım aşamasından itibaren işbirliği ve iletişimi destekleyici bir yaklaşım olarak görülmektedir [Caterino vd., 2021]. Ayrıca BIM, COVID-19 salgını gibi katılımcıların birebir iletişim kuramadığı zamanlarda dahi projenin dijital ortamda ilerlemesine olanak tanır [Daneshvartarigh, 2021].

Aktif bir deprem bölgesinde bulunan ve tarihte yıkıcı depremler geçirmiş olan Türkiye deprem ve kullanımdan kaynaklı bir takım riskler ile karşı karşıyadır. Günümüzde bu tür risklerin azaltılmasına yönelik olarak mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesi hem araştırma alanında hem de uygulama sıklıkla gündeme gelmekte, mevcut stokun güncel yönetmelikler doğrultusunda güçlendirilmesi önerilmektedir [Web 43, 2022]. Depreme ve yönetmeliklere uygun inşa edilmeyen yapıların can ve mal kayıplarına neden olacağı düşünüldüğünde ihtiyaca göre rijitlik, direnç artırma vb. gibi farklı stratejilerin belirlenerek depreme dayanıklı hale getirme ülkelerin birincil öncelikleri arasında olmalıdır [Vitiello vd., 2019]. En uygun stratejiyi belirlemek adına ortak bir metodoloji olmamakla birlikte yasa ve yönetmelikler ulaşılması gereken minimum seviyeyi belirtir. Catetino ve arkadaşları 2021 yılında mevcut yapıların optimum sismik güçlendirmesi için BIM tabanlı bir karar verme çerçevesi sundukları çalışmalarında BIM'in sismik güçlendirme çalışmalarına uygulanması konusundaki faydalarına:

“Tüm tasarım sürecinin entegre bir platformda yönetimini, tasarımcı ve karar verici arasında etkili ve şeffaf iletişim, tüm inşaat disiplinleri arasındaki potansiyel çatışmaları dikkate alarak güçlendirme alternatiflerinin analizi, ilgili her alternatif ve ilgili maliyet için zaman çizelgesi oluşturma sırasının daha iyi anlaşılması ve kriter ağırlıkları ve kalitatif kriterler için DM görüşmelerini yönetmek için kullanıcı dostu grafik ara yüz,”

şeklinde yer vermiştir [Caterino vd., 2021]. Bu faydalara ek olarak deprem yönetmeliği uygunluk kontrol sürelerinin çok uzun olmasına karşılık BIM modelinde yapısal elemanların bilgileri halihazırda bulunduğu için statik analiz raporunu çok hızlı bir şekilde almak mümkün olmaktadır [Akkoyunlu, 2015].

Yukarıda BIM'in yenileme projeleri için bahsedilen performans değerlendirme, analiz, simulasyon, iş birliği vb. gibi faydalarının yanında yeni bir teknoloji olmasından dolayı bazı dezavantajlara sahip olduğu da bilinmektedir [Bahadır, 2018]. Teknolojik araçların fazla olması, doküman eksikliği, müşteri isteği ve BIM okuryazarlığı dahil olmak üzere birtakım sebepler kullanımını kısıtlamaktadır. Fakat BIM'in yenileme projeleri için potansiyel faydalarının farkına varılıp kullanımı artıkça inşaat sektörü için önemli ilerlemeler olacağı öngörülmektedir.

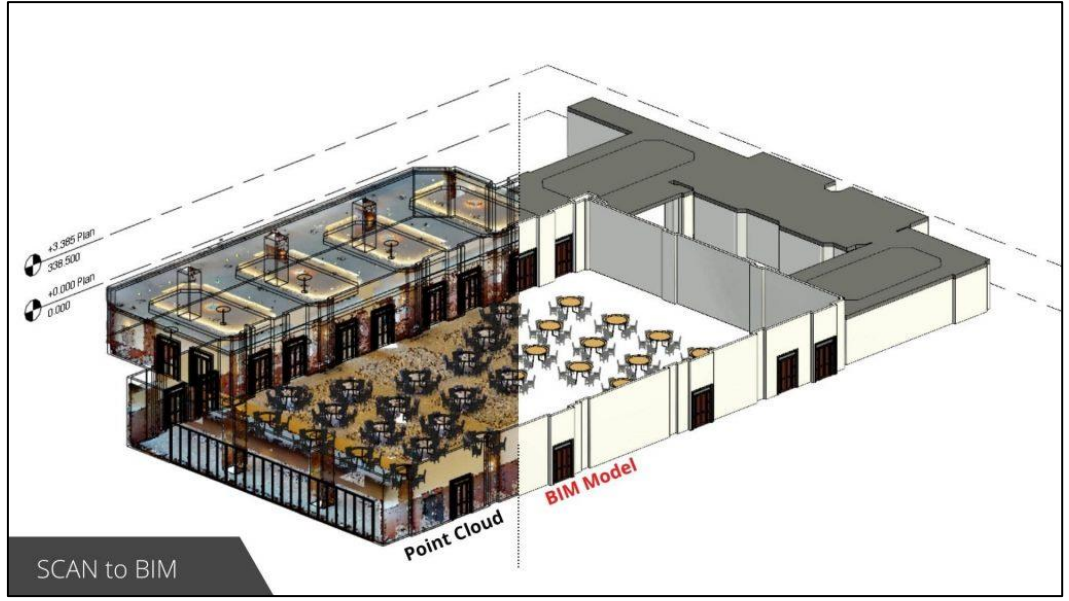
3.3.2. Yenileme Süreçlerinde Kullanılan Araçlar

BIM sürecinde en çok kullanılan yazılım Autodesk Revit'tir ve BIM ile modellemede bir referans olarak kabul edilmektedir. Proje gereksinimleri doğrultusunda 3D modeller oluşturmak ve belgeler sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [Pereira vd., 2021]. Birincil amacı tasarım ve modelleme olan ArchiCAD de inşaat sektöründe bulunan mimarlar için kavramsal aşamadan inşaat aşamasına kadar yapıları tasarlamak için kullanılmaktadır [Web 46, 2023]. 3D modelleme olanağı sunan bir diğer BIM yazılımı Tekla Structures' dır. Tekla, çelik veya betondan inşa edilecek yapıların LOD500 seviyesine kadar ayrıntılı modelini oluşturma ve tasarlamak için kullanılmaktadır [Web 47, 2023]. Autodesk tarafından geliştirilen, Bilgisayar Destekli Tasarımın en çok bilinen yazılımı AutoCAD, 2D ve 3D tasarım uygulamasıdır [Web 48, 2023]. PDF dosyaları üzerinde işaretleme, düzenleme ve işbirliği yapmak için ise genellikle Bluebeam Revu yazılımı kullanılmaktadır [Web 49, 2023]. Proje inceleme ve çakışma tespiti yapma konusunda BIM projelerinde genel olarak Navisworks yazılımı kullanılmaktadır. Enerji analizi için en çok EnergyPlus, DesignBuilder kullanıldığı ve onu Ecotect, Open Studio, Green Building Studio, IES-VE ve eQuest yazılımlarının takip ettiği görülmektedir. Karmaşık geometriler ve organik şekiller oluşturmada Rhino, yazılım geliştirmede ise ağırlıklı olarak Dynamo, Grasshopper ve MATLAB araçları kullanılmaktadır [Pereira vd., 2021]. Mimari tasarım için Edificius ve inşaat mühendisliği sektörüne odaklanan Civil 3D başka bir BIM ürünleridir. Farklı ekiplerin verilere erişmesini sağlamak ve gecikmeleri önlemek amacıyla BIM 360 (Autodesk Construction Cloud) ise bulut tabanlı bir web hizmeti sunmaktadır [Web 46, 2023]. 3DS Max, 3D modeller, animasyonlar ve dijital görüntüler oluşturmak amacıyla kullanılan bir grafik yazılımıdır [Web 50, 2023]. Benzer şekilde Sketchup da 3D modelleme ve görselleştirme olanağı sunmaktadır [Web 51, 2023]. Son zamanlarda bir tasarım keşif süreci olarak 'Autodesk Generative Design' yazılımının BIM süreçlerinde kullanıldığı görülmektedir. Bu yazılıma belirli parametre, sınırlama ve tasarım hedefleri girilerek; olası tüm tasarım seçeneklerinin üretilmesi ve en uygun olanının seçilmesi hedeflenmektedir [Sur, 2020]. Bu yazılımlara ek olarak, her biri kendi içinde avantaj ve dezavantajlara sahip tasarım, simulasyon, görselleştirme ve işbirliği yoluyla, BIM sürecinden faydalanmaya yardımcı olmak

amacıyla birçok araç daha geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Çalışma kapsamında aşağıda BIM yenileme süreçlerinde en çok karşılaşılan BIM'e Tarama, Revit, Navisworks, Energyplus, DesignBuilder ve Ecotect yazılımları hakkında bilgilere yer verilmektedir.

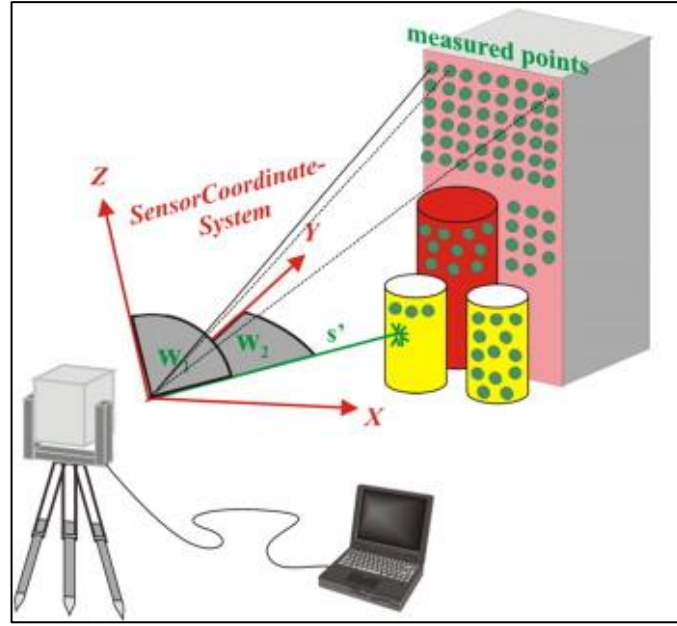
BIM'e Tarama (Scan to BIM), yenileme projeleri için oldukça kullanışlı olan, bir alanı 'inşa edildiği haliyle' bir BIM modeli oluşturmak için kullanma süreci olarak ifade edilmektedir. Lazer tarayıcılar yardımı ile mevcut yapıya ait veriler dijital olarak yakalanır ve fiziksel ve işlevsel özellikleri ile bir BIM modeli oluşturulmaktadır (Şekil 3.9) [Web 52, 2023]. Oluşturulan dijital temsil yapının tüm yaşam döngüsü boyunca ve bakım, onarım, yenileme gibi faaliyetlerde kullanılabilir [Web 53, 2023]. BIM'e tarama teknolojisinin geleneksel yöntemlere kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır:

- Taranan yapıdan maksimum hassasiyet ile mekânsal veriler yakalanır.
- Süreç geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve yüksek doğruluktur.
- Geometrilerin yakalanması esnasında riskli alanlara erişim ihtiyacı ortadan kalmaktadır.
- Nokta bulutu verileri ile oluşturulan 3D model, inşaat faaliyetleri için iş akışını kolaylaştırır.
- Mimarların ve mühendislerin inşaat projesini daha iyi planlamasını ve tasarlamasını kolaylaştırır.
- İnsan kaynaklı hataların önüne geçilebilir [Web 54, 2023].

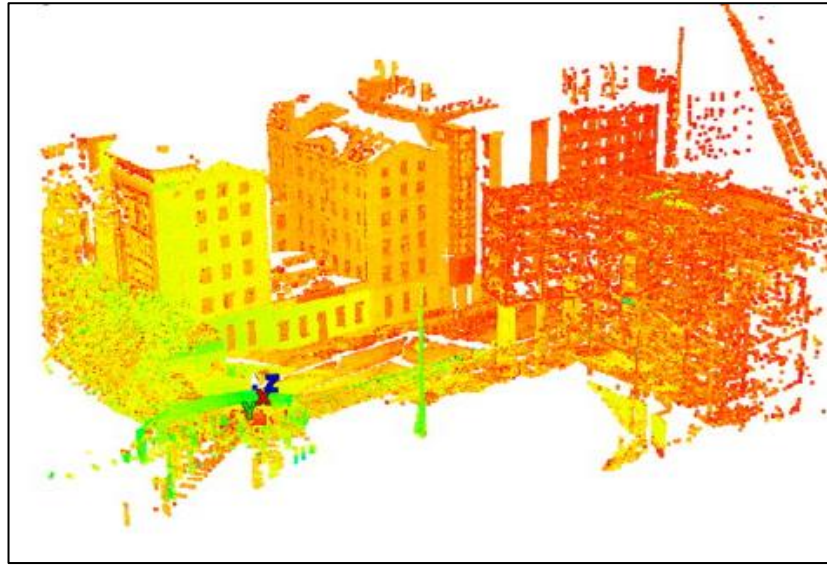


- Şekil 3.9: Nokta bulutu- BIM modeli.

Lazer tarayıcıdan alınan nokta bulutu verileri doğrultusunda BIM modeli oluşturma süreci; veri toplama, veri işleme ve modelleme olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır [Elagiry vd., 2019]. BIM oluşturma sürecinin ilk adımı yapıya ait verilerin toplanmasıdır. Lazer tarayıcılar, tarayıcıdan hedef noktasına olan uzaklığı ölçmek için güçlendirilmiş ışık noktası içerir. Lazer ışıkları katı yüzeylere çarptıkça bu yüzeyin konumunu ‘nokta’ olarak tasvir edilen ‘X, Y, Z’ koordinatı olarak kaydeder. Doğru bir temsil oluşturmak için noktaların tümü bir araya getirilerek ‘nokta bulutu’ oluşturulur. Şekil 3.10’ de lazer tarama işlemi 3.11’ de ise mevcut bir yapının lazer tarama ile elde edilen veriler gösterilmektedir [Tang vd., 2010].



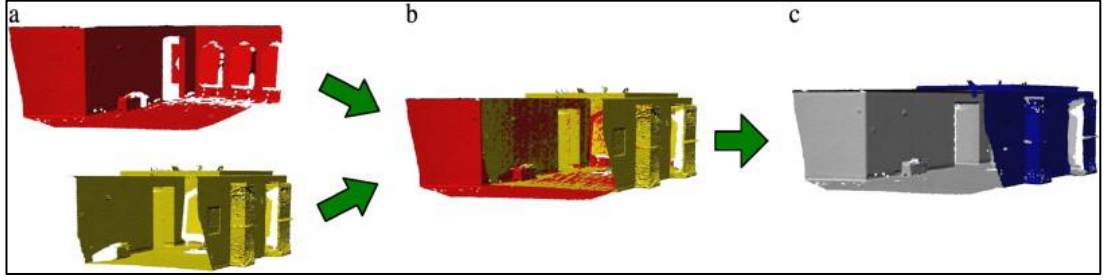
Şekil 3.10: 3D noktaları ölçmek için lazer tarama işlemi.



Şekil 3.11: İnşa halindeki bir binanın lazerle taranan verilerinin bir örneği.

Toplanan nokta sayısı artıkcı daha detaylı modeller elde etmek mümkündür. Ancak ihtiyaç duyulan LOD seviyesi proje başında belirlenmelidir. Çünkü fazla verinin toplanması daha uzun zaman ve daha fazla iş gücü gerektireceğı gibi az verinin toplanması da modeli kullanışsız bir hale getirebilmektedir [Wang ve Kim, 2019]. Bir yapının tüm yüzeylerini tek bir konumdan yakalamak mümkün değildir. Bu sebeple taramaların farklı konumlardan alınması ve birleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.12 a' da kırmızı ve sarı ile gösterilen iki farklı konumdan yapılan taramalar

bulunmaktadır. Bu taramalar hizalanıp (b) ve tek bir gösterimde birleştirilmektedir. Mevcut gerçek uygulamalarda modelleme yapabilmek için proje kapsamına göre onlarca ila yüzlerce tarama yapmak gerekmektedir. Tarama sonucu elde edilen bilgi Leica Cyclon, Autodesk Recap, Faro Scene, LFM gibi piyasada bulunan nokta bulutu işleme yazılımları ile birleştirilerek Revit ve Archicad gibi modelleme yazılımlarına aktarılır [Web 55, 2023; Web 54, 2023].



Şekil 3.12: Tarama birleştirme aşamaları.

Piyasada BIM süreçlerinde nokta bulutu oluşturmak için ihtiyaç duyulan kalite ve doğruluk düzeyini sağlayan LiDAR (Işık Algılama ve Uzaklık Belirleme) veya SLAM (Eşzamanlı Yerelleştirme ve Haritalama) gibi teknolojilere sahip birçok farklı çeşit lazer tarama cihazı bulunmaktadır [Web 56, 2023]. LiDAR uygulamaları sabit ve hareketli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Yersel veya Karasal Lazer Tarama olarak adlandırılan TLS, genellikle yere yakın farklı konumlardan nokta bulutu elde edebilen sabit bir uygulamadır. Mobil Lazer Tarama (MLS) ise drone, uçak, helikopter veya araba gibi mobil ekipmanlara monte edilen cihazları kapsamaktadır. Bu tür hareketli Havadan Lazer Tarama cihazları özellikle erişimi zor ve geniş alanlarda kısa sürede nokta bulutu elde etmek için kullanılır. Ancak TLS, daha fazla emek ve zaman gerektirmesine karşılık nokta bulutları MLS' e göre daha ayrıntılı ve hassastır [Web 57, 2023].

Nokta bulutu verilerinden BIM modeli oluşturulma sürecinde bileşenler detaylı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin bileşenlerin geometrisinin modellenmesi (çatının şekli), nesne ve malzeme özellikleri ataması (ahşap çatı) ve bileşenler arasında bağlantı kurulması (çatı2 şu konumda duvar2' bağlı) gerekmektedir. Standart BIM kategorileri arasında duvar, çatı, kiriş, döşeme gibi katı şekiller bulunmaktadır. İhtiyaç durumunda proje kapsamına göre özel nesne kategorileri de oluşturulabilmektedir [Tang vd., 2010]. Nokta bulutu taramalarından dönüştürülen

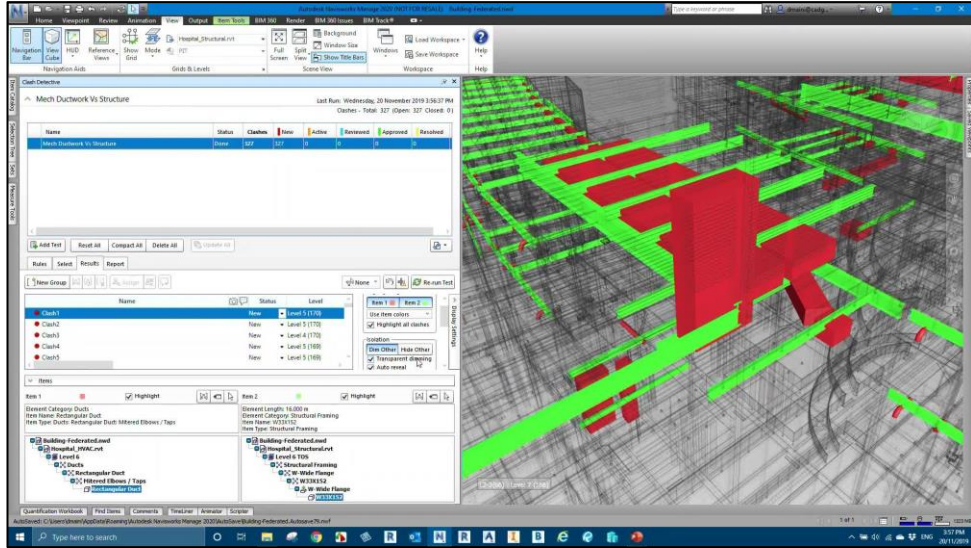
3D BIM modelleri, binaların rengine ve yansıtıcılığına kadar kaydedilen bilgilerle ayrıntılı olarak zengindir. Bu ayrıntılı bilgi, mimarların ve mühendislerin malzeme özelliklerini tam olarak anlamalarına yardımcı olur. Nokta bulutunun entegre edilmesi, modellenmesi ve değerlendirilmesi; paydaşların mevcut yapı hakkında eldeki bilgileri kullanmalarına kolaylık sağlamaktadır. Bu yolla sağlanan birlikte çalışabilirlik ile yenilemelerin maliyet ve zaman aşırımları azaltılabilmektedir [Web 44, 2022].

Modelleme süreçlerinde kullanılan Revit, Autodesk'in bir yazılımıdır. Revit modelleme ve BIM, genellikle karıştırılan ve aynı şey olarak görülen kavramlardır. BIM bir süreci ifade ederken, Revit BIM'i desteklemek amacıyla oluşturulan BIM çatısı altındaki birçok yazılımdan biridir. BIM'in yerine kullanılması veya alternatif çözüm olması söz konusu değildir [Web 58, 2023]. 3D BIM modeli oluşturulurken yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak Revit'in yetersiz kaldığı durumlarda, işlevleri yerine getirmek için geliştirilen farklı amaca hizmet eden birçok uygulama mevcuttur [Web 59, 2023].

Revit yazılımı inşaat projelerinde özellikle mimari çizimler, MEP ve yapısal mühendislik tasarımları için çizim ve model üretmek amacıyla kullanılır [Web 58, 2023]. Nesne tabanlı olan yazılımda iki boyutta çizim yaparken aynı zamanda üç boyutta da karşılığı alınmaktadır. Örneğin planda bir döşeme çizdiğinizde, üç boyutta, kesit veya görünüşlerde yaptığınız çizimin yüksekliği de temsil edilmektedir. Aynı zamanda herhangi bir nesnede yapılan en küçük bir değişiklik eş zamanlı olarak Revit dosyasındaki tüm çıktılarda güncellenmektedir. Revit projeyi merkeze alır ve işbirliğini destekleyen araçları ile inşaat sürecinde bulunan tüm katılımcıları birbirine bağlar. Bir inşaat projesinde ilk olarak mimar Revit Architecture'da tasarım modelini oluşturmaya başlar, ardından modeli yapısal ve MEP mühendisleri ile paylaşır. Her disiplin mimari modeli uzmanlık alanlarına göre Revit MEP veya Revit Structure çalışma alanlarına bağlayacaktır. Daha sonra her disiplin kendi çalışmalarını modele eklemeye başlar. Örneğin inşaat mühendisleri kirişleri, kolonları veya MEP mühendisleri boruları, elektrik bağlantılarını modele ekler. Çalışmalarını tamamladıktan sonra mimarın paylaştığı modeli kendi çalışmalarından çıkararak çalışmalarını mimarla paylaşırlar. Son olarak mimar doğru konumlarda gönderilen modelleri kendi modeli ile birleştirir ve tüm detayları içerisinde barındıran model oluşturulmuş olmaktadır [Web 59, 2023].

Autodesk tarafından '3D tasarım inceleme yazılımı' olarak tanımlanan Navisworks, mimarlık, mühendislik ve inşaat profesyonellerinin BIM sunumunu iyileştirmesine olanak tanıyan bir koordinasyon ve inceleme yazılımıdır. Autodesk ürünü olduğu için Revit gibi diğer Autodesk ürünleriyle sorunsuz bir biçimde entegre olabilmekte ve mevcut modeller Navisworks'e kolaylıkla aktarılabilir. Koordinasyon ve işbirliği gibi temel BIM hedeflerini doğrudan desteklediği için BIM projeleri için oldukça önemli bir konumda yer almaktadır. Proje ekiplerinin bireysel modellerini tek bir yerde birleştirerek bunları incelemek ve gözden geçirmek için bir alan sağlamaktadır. Bu sebeple BIM projelerinde sıklıkla karşımıza çıkan bir araç olarak görülmektedir [Web 60, 2023].

Yazılım, Navisworks Simulate ve Navisworks Manage olmak üzere iki sürüm sunar [Web 61, 2023]. Navisworks Manage, yazılımın tüm özelliklerini eksiksiz sunan sürümüdür. Projelere, gelişmiş koordinasyon, 5D analiz ve simulasyonun yanında çakışma algılama özelliği sunar (Şekil 3.13) [Web 62, 2023]. Clash Detective aracı ile model incelemeleri esnasında olası çakışmalar belirlenip incelenmektedir [Web 61, 2023]. Çakışma özelliği ile hataları tasarım sürecinde tespit edip düzeltmek, yapı inşa sürecindeki düzeltmelerden çok daha kolay ve maliyetsiz olmaktadır. Manage'in alt sürümü olan Naviswork Simulate sürümünün Manage'den en önemli farkı çakışma algılama özelliğinin bulunmamasıdır. Bu özellik dışındaki Manage'in sahip olduğu tüm özellikleri içermektedir. Genel olarak 5D analiz ve simulasyon ile tasarım detaylarını incelemeye olanak sağlar. Bu nedenle çakışma tespiti planlanmayan fakat inceleme, 3D animasyon ve 5D özellikleri istenen durumlarda Simulate tercih edilmektedir [Web 60, 2023].

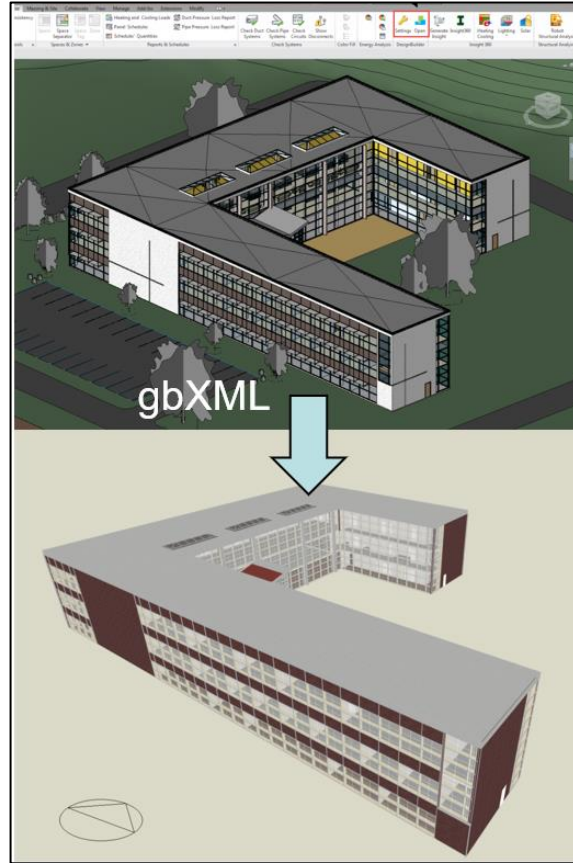


Şekil 3.13: Navisworks Manage çakışma algılama.

‘Bina Enerji Modellemesi (BEM)’, yeni bir inşaat projesinin tasarım sürecinde veya mevcut yapılara yenileme yapılırken enerji kullanımı ve analizi için simülasyon yazılımı kullanma uygulamasıdır. Bu alanda projelerde genellikle EnergyPlus tabanlı araçlara rastlanılmaktadır [Web 63, 2023]. ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından geliştirilmiş ve sürekli geliştirilmekte olan EnergyPlus, mimar, mühendis ve araştırmacıların, yapılardaki hem enerji tüketimini hem de su kullanımını modellemek için kullandıkları simülasyon yazılımlarından biridir [Web 64, 2023]. Yapının geometrisi ve hava durumuna ait verileri girdi olarak kabul edip, elektrik tüketimleri, ısı yükleri, enerji tüketimleri ve aydınlatma talepleri gibi çıktıları raporlamaktadır [Web 65, 2023]. EnergyPlus yazılımı kullanılarak, bina cephe sistemlerinin tasarımı ve analizi, yapay ve gün ışığı analizi ile aydınlatma tasarımı, iklimlendirme sistemlerinin tasarımı, ısı yük hesabı, karbon salınımı, yapının enerji giderleri, ısı ve görsel konfor analizi gibi pek çok performans analizi yapılabilmektedir. Ek olarak, LEED ve BREEM gibi sertifikasyon programlarına uygun yeşil bina tasarımlarını, detaylı yapı modelleri oluşturularak yapmak mümkündür [Akgüç, 2017].

DesignBuilder, Energyplus tabanlı bir yazılımdır. Projelerde bina simülasyon sürecini kolaylaştırmak için geliştirilmiştir. Sektörde kullanılan en gelişmiş ve kullanıcı dostu analiz yazılımlarından biridir. Yazılım, basit bir ara yüze sahip olmakla beraber uzman olmayan kişiler tarafından dahi hızlı ve kolay bir biçimde kullanılabilir. Proje tasarım süreçlerinin her aşamasında tasarım

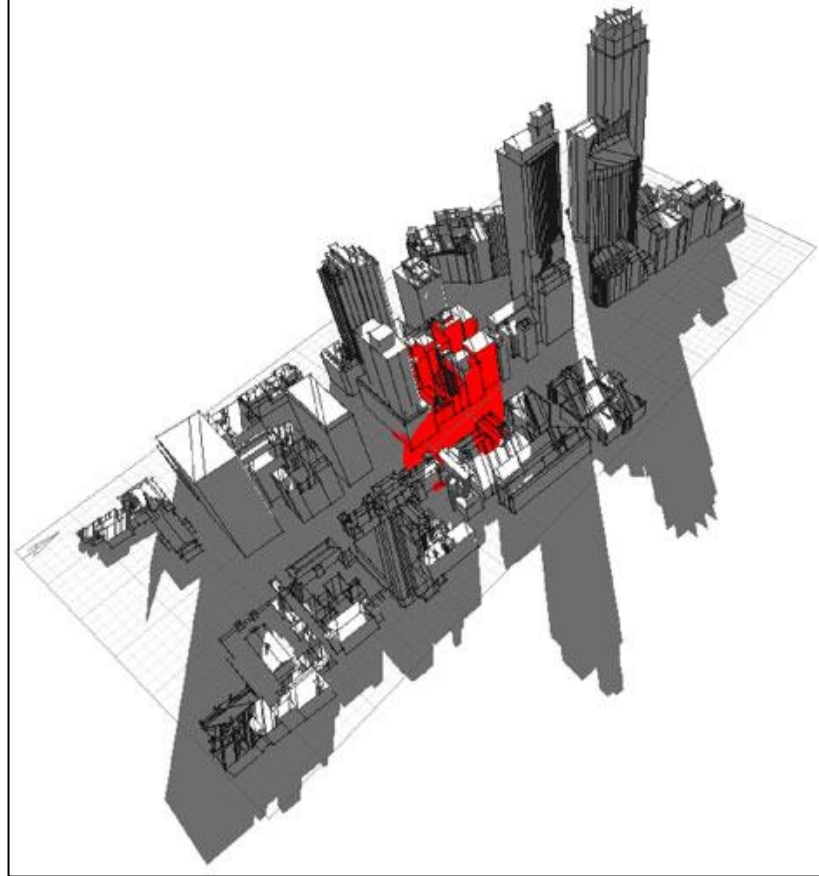
alternatiflerini birtakım analizler ile hızlı ve ekonomik bir şekilde karşılaştırabilmektedir. Bu özelliği sayesinde tasarım kararlarının alınması ve değerlendirilmesinde etkin rol oynamaktadır [Web 66, 2023]. Yazılım genel olarak, cephe alternatiflerini ısınma, enerji tüketimi ve gölgeleme açısından değerlendirmek, termal yükler ve termal konfor tahmini, doğal havalandırma tahmini, gün ışığı seviyesi hesaplaması, hava ve ısı akışı analizi gibi durumlarda kullanılmaktadır [Web 67, 2023]. gbXML içe aktarma özelliği, BIM modelleri ile birlikte çalışma imkanı sağlar. Bu sayede Revit ve ArchiCAD gibi modelleme kullanıcıları BIM modelleri üzerinde çalışırken DesignBuilder yazılımına erişerek modelin kontrol ve analiz edilmesini sağlamaktadır (Şekil 3.14) [Web 68, 2023].



Şekil 3.14: Revit modelinin DesignBuilder’a aktarılması.

Autodesk Ecotect de EnergyPlus gibi tasarım sürecine odaklanan, yapıların performansını analiz ve simüle etme imkanı sunan, çevresel tasarıma yönelik bir yazılımdır [Web 69, 2023]. Öncelikli hedefi yeşil bina analizi ve enerji verimliliği olan yazılım, sürdürülebilirlik hedefleri olan proje tasarımlarında uzmanların alınan stratejileri test etmelerine, değerlendirmelerine ve karar vermelerine yardımcı

olmaktadır. Bu amaçla programda, güneş gölge, termal, hava akışı, havalandırma ve akustik gibi çeşitli analizler yapılabilmektedir. Tasarımcı, bu sayede proje kararlarını değiştirmenin kolay olduğu tasarım aşamasında analiz sonuçlarına göre bir yol izleyebilmektedir. Yazılımdan alınan geri bildirim erken aşamada çevresel faktörler doğrultusunda yapı tasarımının en uygun konumunu, şeklini ve yönünü belirlemek adına kritik bir öneme sahiptir (Şekil 3.15) [Web 70, 2023].

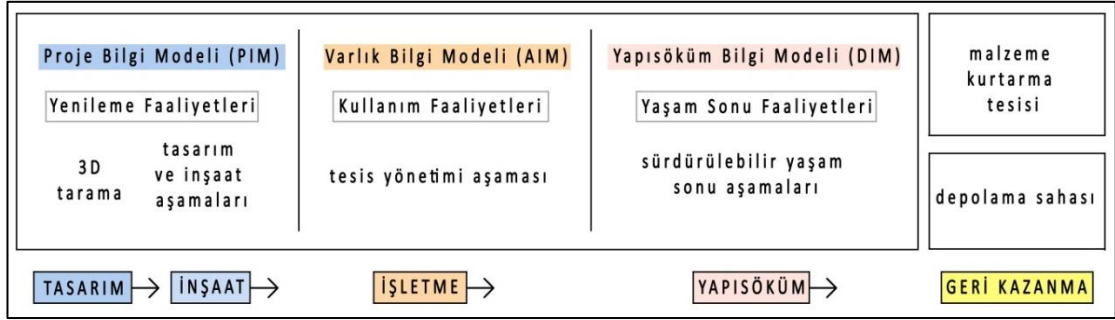


Şekil 3.15: Ecotect gölge analizi.

3.3.3.Yenileme Projelerinde BIM uygulama Süreçleri

BIM, inşaat sektöründe geniş çapta kabul görmektedir. Yeni inşaat projelerine katkılarının yanında yenileme faaliyetlerinin etkinliğini de önemli ölçüde iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu yenileme süreci mevcut geometrinin 3D modellenmesi ve çevresel koşulların değerlendirilmesi adımlarını içerir. Oluşturulan BIM modeli yapının ihtiyaçlarına göre yaşam döngüsü boyunca tasarım, analiz, simulasyon,

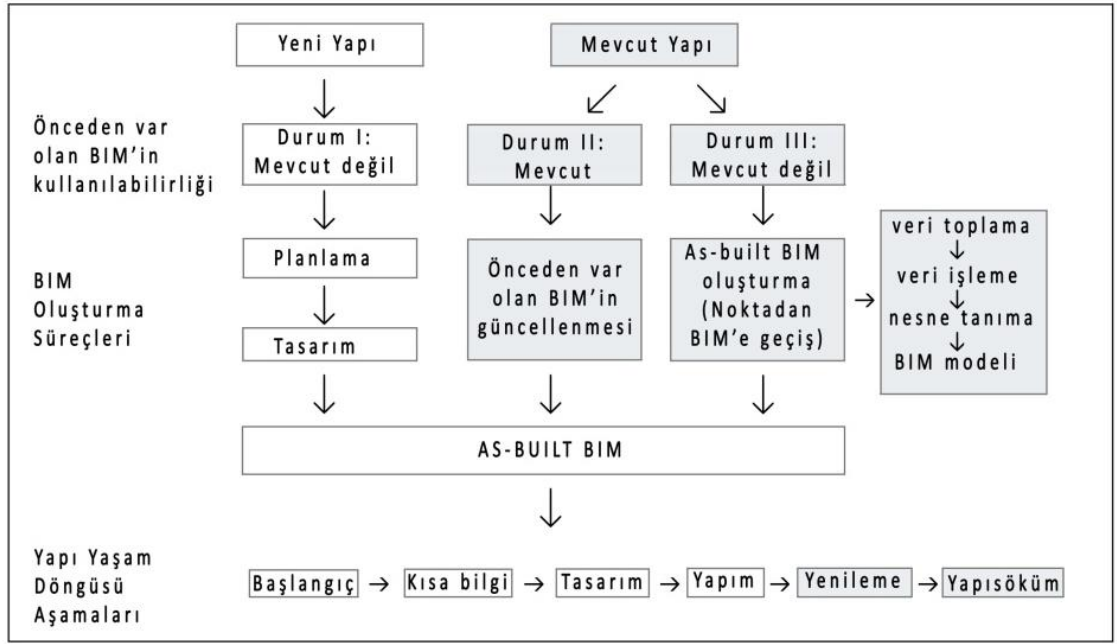
inşaat, işletim, yasisöküm ve malzeme geri kazanım süreçlerinde kullanılabilir. Şekil 3.16’da tasarımdan geri dönüşüme BIM kullanımı özetlenmiştir [Charef, 2022].



Şekil 3.16: Varlık yaşam döngüsü boyunca BIM kullanımı.

Charef’in de çalışmasında bahsettiği üzere ilk olarak tasarım ve inşaat süreçlerinde proje bilgi modeli (PIM) geliştirilir ve geliştirilen bu model devir teslim sürecinde mal sahibine verilir. Tesis yönetiminde kullanılan varlık bilgi modeli (AIM), işletme ve bakım için gereken bilgiyi içermektedir. Yapının bileşen verilerini ve miktarlarını içeren yasisöküm bilgi modeli (DIM), yaşam sonu faaliyetleri için kullanılır.

Yenileme amacıyla yapıyı güncel şekliyle değerlendirmek ve gelişmiş tasarım yaklaşımlarını gerçekleştirmek için 3D dijital modeller kullanılmaktadır [Gimenez vd., 2016]. Ancak doğru bir 3D temsil elde etmek çoğu zaman zordur. Bunun sebebi, mevcut yapı stoku için güncel modellerin veya 2D planların bulunmamasıdır. Çizimlerin bulunması durumunda bile, yaşam döngüsü boyunca yenileme, bakım-onarım, eskime gibi nedenlerden dolayı değişime uğramış olabilir [Cho vd., 2015]. Bu bağlamda bir yapıda BIM modeli oluşturmak için, değişen bina kalitesi ve bilgi kullanılabilirliğinin farklı süreç adımları gerektirdiğini söylemek mümkündür. Şekil 3.17’de Volk ve arkadaşlarının ‘Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs’ adlı çalışmasından yola çıkarak oluşturulan yeni ve mevcut yapılar için farklı BIM oluşturma süreçleri gösterilmektedir [Volk vd., 2014].



Şekil 3.17: Yeni ve mevcut yapılar için BIM oluşturma süreçleri.

Durum I, durum II ve durum III olarak adlandırılan bu üç durum potansiyel modelleme sürecinde önemli ölçüde farklılık göstermektedir. BIM modeline sahip olmayan yeni yapılar (durum I) için model, planlamadan üretime yinelenmeli bir süreçte oluşturulur. Oluşturulan bu model yaşam döngüsü boyunca güncellemeye izin verir. Mevcut yapılar için model oluşturma süreci ise önceden BIM modeli bulunma (durum II) ve bulunmama (durum III) durumuna göre iki alt başlıkta ele alınmıştır. Bu doğrultuda mevcut yapılar için BIM modelinin güncellenmesi veya yeniden oluşturulması gerekmektedir. Modelin mevcut olduğu durum II için, önceden var olan BIM'in güncellenip as-built BIM oluşturularak yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Ancak mevcut yapı stokuna baktığımızda çoğu yapı için BIM modeli bulunmamaktadır. Bu sebeple yenileme çalışmaları için genellikle durum III'de temsil edilen, veri toplama, veri işleme, nesne tanıma ve modelleme aşamalarından oluşan 'noktadan BIM'e geçiş' süreci gerçekleştirilir [Volk vd., 2014]. Yenileme projeleri için BIM kullanım süreçleri aşağıda planlama, tasarım, yapım ve HBIM(Heritage Building Information Modeling-Miras Yapı Bilgi Modellemesi) başlıkları altında daha detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Kullanım ve yıkım süreci yenileme çalışmasından sonrasını kapsadığı için çalışmaya dahil edilmemiştir.

3.3.3.1. Planlama

Eskiye yapı bilgileri, sınırlı erişim ve öngörülemeyen koşullar sebebiyle yenileme projeleri ekstra karmaşıklığa sahiptir. Bazı projelerde, yapının yenileme sürecinde açık kalma gerekliliği varsa bu durum daha da karmaşık bir hale gelir. İnşaat projelerinin karmaşıklığının proje performansına doğrudan etkisi bulunmaktadır [Nusen vd., 2021]. İnşaat planlama, bir projenin tüm aşamalarındaki en önemli faaliyetlerden birisidir. Bu sebeple BIM kullanılan yeni inşaat veya yenileme projelerinin ilk aşamasında, proje sözleşmelerinde de yer aldığı gibi BIM gereksinimlerinin belirlenmesi gerekmektedir [D'Angelo vd., 2022]. Başarılı bir inşaat sürecinin gerçekleşmesi için iyi planlanmış ve optimize edilmiş bir inşaat planlaması ile bilginin doğru kişiye doğru zamanda iletilmesi oldukça önemlidir.

Planlama ekibi tarafından hedeflenen proje sonuçlarına ulaşmak amacıyla 'BIM Uygulama Planı' (BIM Execution Plan– BEP) geliştirilmektedir. Bu ekip, tüm birincil proje ekibi üyelerinin temsilcilerini içermelidir. Herhangi bir inşaat projesine başlamadan önce, özellikle büyük ölçekli ve çok disiplinli projeler için, net roller ve beklentiler ile ilerlenmesine katkı sağlamak için oluşturulmaktadır [Web 71, 2023]. Proje başlangıcında geliştirilen plan, projeye katılımcı eklendikçe ve proje uygulaması boyunca ihtiyaç durumunda güncellenir veya revize edilebilir. Plan, bir BIM projesinde BIM'in temel ögesi olan 'bilgi'nin yönetimini kolaylaştırmaktadır [Web 72, 2023]. BIM teknolojisini proje teslim sürecine etkili bir biçimde dahil edebilmek için ayrıntılı bir uygulama planı oluşturulması önemlidir [Web 53, 2023]. Oluşturulan uygulama planı, BIM araçlarını, iş akışlarını ve tekniklerin nasıl kullanılacağını özetleyen yol gösterici belge niteliği taşımaktadır. Projede bulunanların rolleri ve sorumlulukları, projenin zaman çizelgesi ve üretilecek çıktılar gibi detayları içerir [Web 73, 2023]. Yapının yaşam döngüsü boyunca katılımcılar arasında bilgilerin oluşturulması ve iletilmesine ek olarak kapsamlı ve doğru bir biçimde tanımlanmasına da katkı sağlamaktadır [Ding vd., 2019]. Planlama aşamasında, ürün, hizmet ve sağlanan sonuçlara odaklanılıp proje hedefleri belirlenerek yenileme projesinin tüm resmi gösterilir. Proje ekibi, her bir BIM kullanımı için gerekli bilgileri, projede kullanılacak BIM yazılımları, hangi görevden kimin sorumlu olması gerektiği gibi tüm önemli katılımcıların rollerini ve sorumluluklarını ve bilgi alışverişi için tercih edilen formatı belirlemelidir. Gerekli

donanım ve yazılım gibi teknoloji altyapısının; dosya izinleri, klasör yapısı, adlandırma kuralları gibi iyi yapılandırılmış, açık ve net olması gereken işbirliği prosedürünün oluşturulması proje işleyişi açısından önemlidir. Bu aşamanın süresi ve karmaşıklığı proje için istenen ayrıntı seviyesine (LOD) bağlıdır. Örneğin LOD100 seviyesinde oluşturulacak bir BIM, nesnelerin temel bilgi düzeyini gösterirken LOD500 detaylı BIM'i temsil eder. LOD seviyesinin artması ile beraber harcanan süre ve maliyet de doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle başlangıç aşamasında projenin kapsamına göre gerekli LOD seviyesi belirlenmeli ve bu doğrultuda bir plan oluşturulmalıdır [D'Angelo vd., 2022].

Şekil 3.18'de bir BIM Uygulama Planı geliştirmek için gerekli süreç özetlenmektedir. İlk adım olarak planlama ekibi projedeki BIM hedeflerini ana hatlarıyla belirlemelidir. Projeye özgü olan bu hedefler yapının tüm yaşam döngüsü boyunca performansını olumlu yönde etkileyecek yönde olmalıdır. Hem proje hem de proje ortakları açısından ölçülebilir hedefler belirlendikten sonra bu hedefleri gerçekleştirebilmek adına BIM modelleme kullanımları belirlenir. Daha sonra uygulama planlaması için BIM kullanımları arasındaki etkileşimi gösteren bir süreç haritalama yapılması gerekmektedir. Bu sayede bütün ekip üyelerinin tasarım ve inşaat süreci içerisinde nasıl etkileşime girecekleri belirlenmiş olur. Oluşturulan süreç haritalarından sonra, proje ortakları arasındaki bilgi alışverişi için içerik tanımlanmalıdır. Son adım olarak BIM sürecini planlandığı gibi başarılı bir şekilde tamamlamak için proje altyapısı belirlenmektedir [Web 74, 2023].



Şekil 3.18: BIM Proje Uygulama Planlama Prosedürü.

Tamamlanan bir BIM proje uygulama planında aşağıdaki bilgiler yer almaktadır [Uzun, 2019];

- Proje bilgileri,
- İletişim bilgileri,
- Proje hedefleri /BIM kullanımı,
- Roller ve sorumluluklar,
- BIM süreç haritası (process map),
- Modelleme metodolojisi,

Model strüktürü

Model detay seviyesi tablosu (LOD Matrix)

- İş birliği prosedürleri,
- Model kalite kontrol prosedürleri,

Çakışma kontrolü

Çakışma kontrolü renkler tablosu

- Teknoloji altyapısı ihtiyaçları,

Yazılım

Bilgisayar ve donanım

- Model içeriği ve referans bilgisi,
- Dosya isimlendirme

Kütüphane obje isimleri

- BIM ve CAD standartları,
- Ölçü birimi ve koordinat sistemi,
- Model strüktürü ve çalışma dosyaları,
- Proje çıktıları ve teslimat stratejisi / sözleşmelere ait bilgiler.

Yukarıda bahsedilen uygulama planına benzer şekilde D'Angelo ve arkadaşları da 2022 yılında mevcut yapıların güçlendirilmesini kısıtlayan engelleri belirlemek için bir literatür taraması yapmış ve güçlendirme projeleri için BIM tabanlı bir süreç sunmuşlardır. İlk adım olarak güçlendirme iş akışını analiz edilir. Ardından BIM hedeflerini ve BIM kullanımlarını belirleyip tüm proje yaşam döngüsü için güçlendirme sürecini planlanır. Daha sonra BIM kullanımları için süreç haritaları oluşturulur ve BIM çıktıları arasındaki bilgi alışverişini ana hatlarıyla belirlenir [D'Angelo vd., 2022]. Bu süreç aşağıda Şekil 3.19'da beş adımda özetlenmiştir:



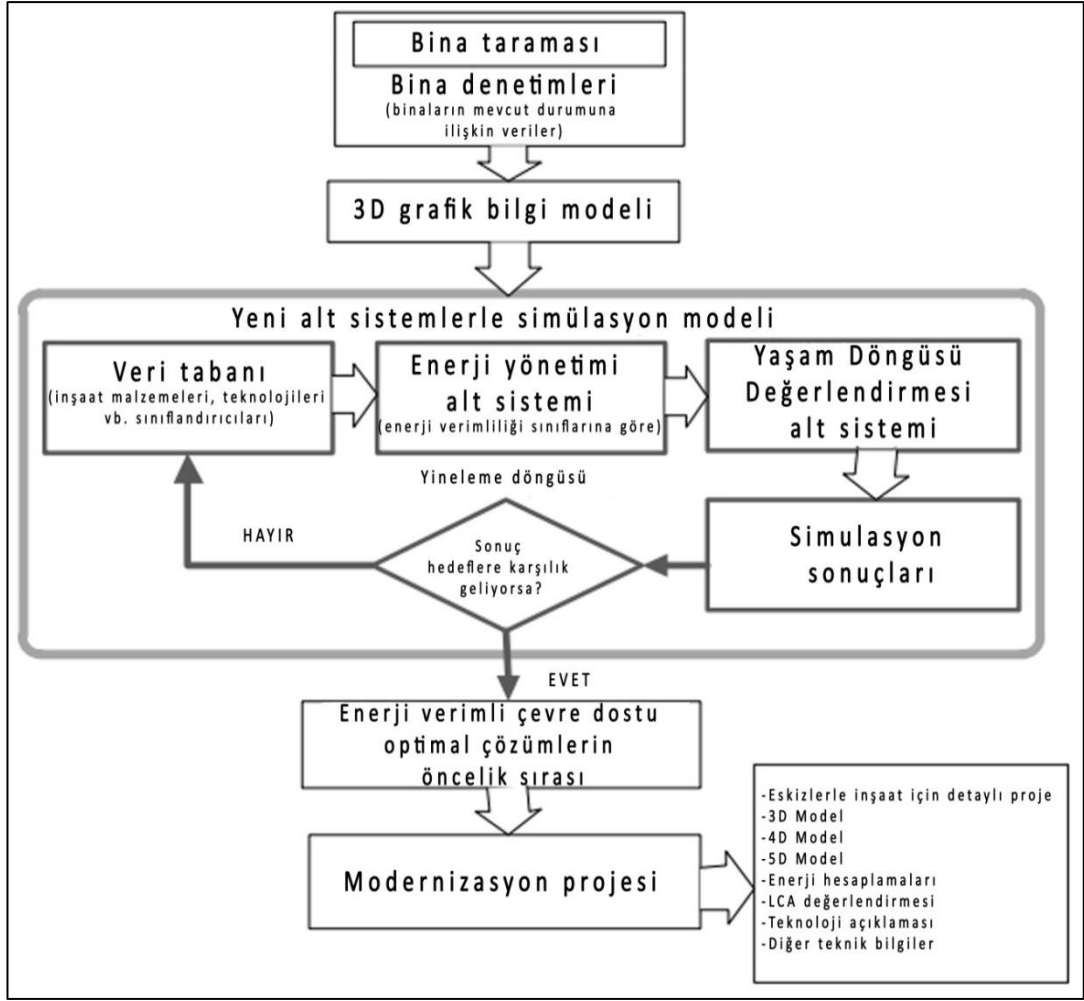
Şekil 3.19: Mevcut binaların güçlendirilmesi için BIM tabanlı iş süreci modellemesi.

3.3.3.2. Tasarım

Son yıllarda yapılarda yenileme faaliyetlerinin öneminin ve kullanılan araç çeşitliliğinin arttığı görülmektedir. İnşaat süreci hem yeni inşaatta hem de mevcut binaların yenilenmesinde benzerdir; ancak yeni inşaat projelerine kıyasla yenileme projelerinin tasarım aşaması önceden belirlenen birçok ön koşul ve sınırlamalar nedeniyle problemlili ve zorlu bir süreçtir [Yarkın, 2017]. Erken tasarım aşamasında verilen, HVAC sistemlerinin çeşidi, pencere boyutları, şekil, yönlenme gibi yapı tasarımına yönelik birtakım kararlar yapı yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını doğrudan etkileyecek ve kısıtlayacaktır. Tasarım aşamasında alınan kararların yapıyı olumsuz yönde etkilememesi, olası hatalardan kaçınılması ve yaşam döngüsünün ileriki aşamaları hakkında güvenilir bilgiler edinebilmek için tasarım sürecinin iyi yönetilmesi ve doğru yenileme anlayışlarının belirlenmiş olması gerekmektedir [Cepurnaite vd., 2017]. Yenileme projelerinin tasarım faaliyetleri aktif iletişim ve işbirliği içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sürekli değişim halinde olan saha ve tasarım çözümleri nedeniyle BIM ortamındaki bilgi paylaşımı bu noktada oldukça önemli olmaktadır [Gökgür, 2015].

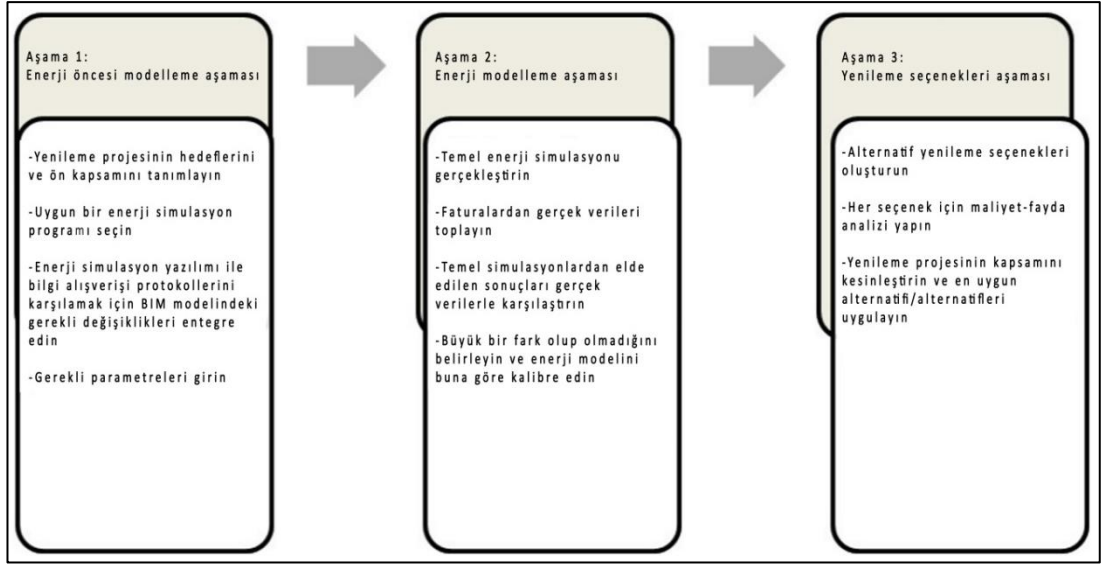
BIM modeli oluşturma'nın ilk adımı olarak bina verilerinin toplanarak, yenileme yapılacak mevcut yapı hakkında doğru ve güncel bilgilerin alınması gerekmektedir. Endüstride bilgi üretimini desteklemek adına fotogrametri ve lazer tarama gibi otomatik teknikler ve metre ve lazer metre gibi manuel tekniklerden yararlanılmaktadır [D'Angelo vd., 2022]. Bu aşamada 3D lazer tarayıcılar kullanılarak, yapının nokta bulutu verilerini toplama, birleştirme ve işleme adımları ile hızlı ve doğru bir biçimde yapı bilgileri elde edilebilmektedir. Toplanan bu veriler daha sonra yapıyı olduğu haliyle modellemek için kullanılır. Oluşturulan tasarım modeli mevcut yapının geometrik ve geometrik olmayan yapı bilgilerini içermektedir. Tersine mühendislik ve BIM ortaklığı sayesinde mevcut yapı ile orijinal çizimler arasında oluşabilecek olası tutarsızlıkların engellendiği söylenebilir [Ding vd., 2019]. Özellikle karmaşık yenileme projeleri için BIM kullanımı, projeyi başarılı bir şekilde tamamlamak için uygun bir çözüm olarak görülmektedir [Nusen vd., 2021]. Bununla birlikte, BIM'in mevcut binaları yenilenme süreçlerinde uygulanması, bilgi alışverişinin çok disiplinli oluşundan, alışverişin güncelliğinden ve optimum bir alışverişi sağlamak için ihtiyaç duyulan çok çeşitli teknolojik araçlardan kaynaklanabilecek zorluklarla karşı karşıyadır [Khaddaj ve Srour, 2016].

BIM ve sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı özellikle enerji odaklı yenilemelerde karşımıza çıkmaktadır. Nokta bulutu verilerinden 3D modeller üretme ve bu modelleri enerji yenilemede kullanma süreci, veri toplama, modelleme ve analiz adımlarından oluşmaktadır. Veri toplama ve modelleme süreç içindeki en zor ve zahmetli işlemlerdir. Veri toplama birkaç gün alabilirken, modelleme aşaması birkaç hafta hatta projeye göre aya yayılabilmektedir. Ancak model tamamlandıktan sonra analiz aşaması birkaç saat gibi hızlı sürelerde tamamlanabilmektedir [Cho vd., 2015]. Bina taraması ile başlayan süreçte model üretildikten sonra planlanan tasarım hedeflerine ulaşana kadar yinelemeli olarak analiz ve simulasyonlar gerçekleştirilir. Sonuçlar hedeflere karşılık geldiği zaman alternatif çözüm doğrultusunda proje oluşturulur (Şekil 3.20). Tasarımın erken aşamalarında analiz ve simulasyon araçlarının kullanılması enerji hedeflerine ekonomik verimlilikle ulaşmak için önemlidir. Bu sebeple, BIM'in yenilemedeki kullanımını artırabilmek için as-built 3D modelleme sürecinin düşük iş gücü ve maliyetli, otomatikleştirilmiş yöntemlere ihtiyaç vardır [Cepurnaite vd., 2017] .



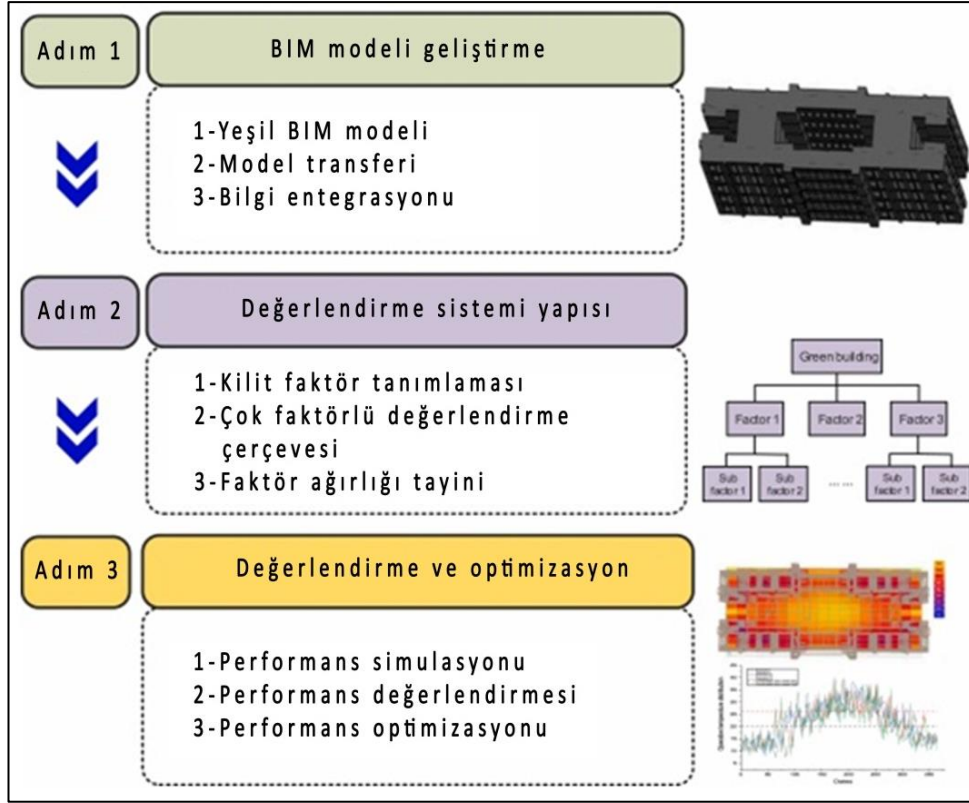
Şekil 3.20: Yenileme projesinin tasarım süreci.

Khaddaja ve Srour 2016 yılında ‘Mevcut Binaları Güçlendirmek İçin BIM’i Kullanma’ üzerine yazıkları makalede BIM kullanılarak mevcut yapılarda enerji odaklı yenileme çalışmalarını; enerji modelleme, enerji modelleme ve yenileme seçenekleri aşaması olmak üzere üç başlıkta ele almışlardır (Şekil 3.21). Oluşturulan iş akışına göre enerji öncesi modelleme aşamasında proje hedefleri belirlendikten sonra uygun bir enerji simülasyon aracı seçilir ve gerekli parametreler girilir. Daha sonra enerji modelleme aşamasında simülasyonlar gerçekleştirilerek elde edilen veriler gerçek veriler ile karşılaştırılır. Son aşama olarak alternatif yenileme seçenekleri oluşturulur ve her alternatif için maliyet fayda analizi yapılır. Yenileme kapsamı doğrultusunda proje için en uygun alternatif uygulanır [Khaddaj ve Srour, 2016].



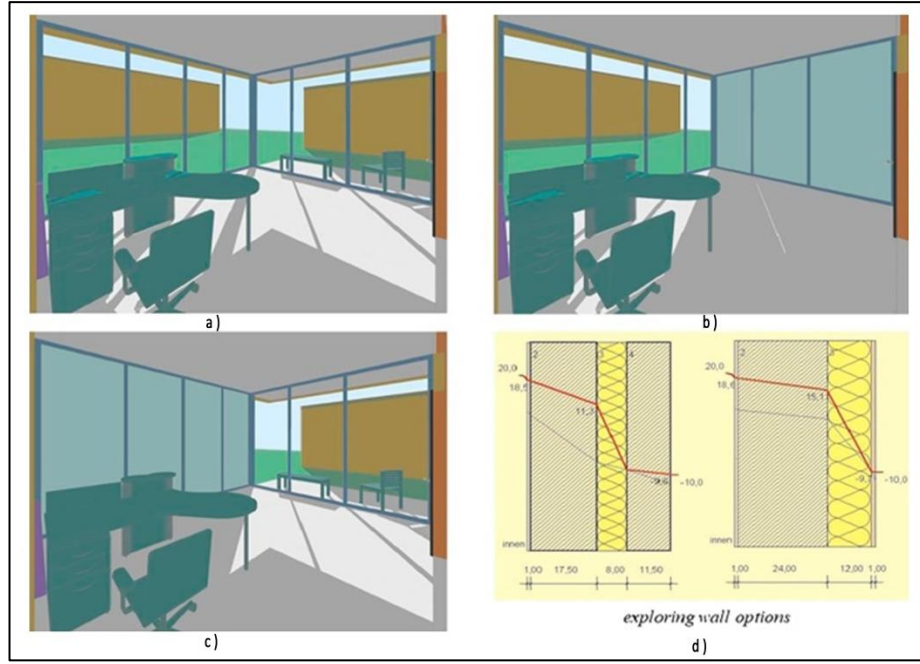
Şekil 3.21:BIM kullanarak mevcut yapılarda enerji odaklı yenilemeler gerçekleştirmek için adımlar.

Guo ve ark. da BIM tabanlı yeşil bina performans değerlendirmesi için benzer şekilde üç adımlı bir yaklaşım önermiştir (Şekil 3.22). İlk olarak mevcut yapı için ihtiyaç duyulan bilgileri içeren bir BIM modeli oluşturulmaktadır. Daha sonra ikinci adımda bir değerlendirme sistemi oluşturulur. Bina performansını etkileyen faktörler belirlenir ve değerlendirilir. Son olarak BIM ile uyumlu araçlarda alternatif bina performansları simule edilip değerlendirilmektedir. Değerlendirmeler doğrultusunda performans iyileştirmesine yönelik stratejiler sunulabilmektedir [Guo vd., 2021] .

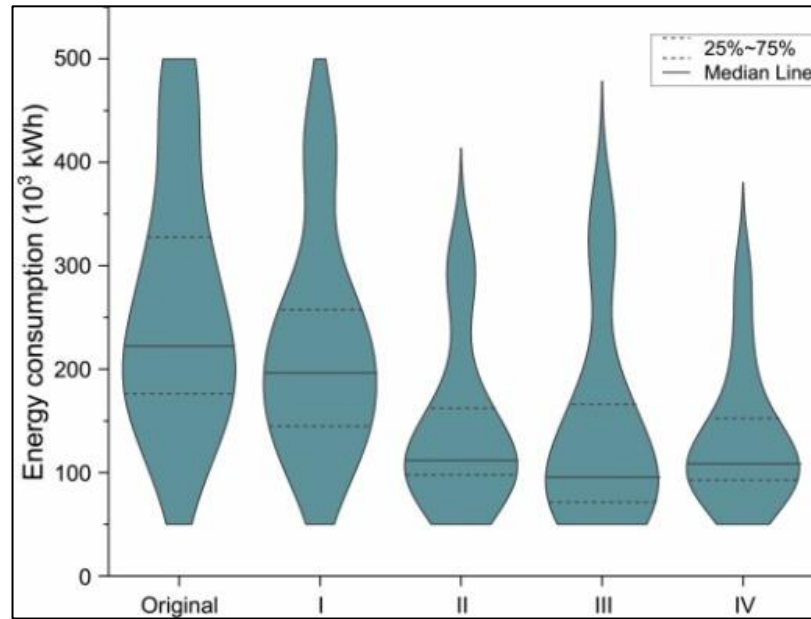


Şekil 3.22:Yeşil bina değerlendirme yaklaşımı için iş akışı.

BIM ve BIM uzantılı araçlarda yapılan simülasyon sonuçları ile yapılan performans değerlendirmeleri ve optimizasyonu doğrultusunda olası yenileme önlemleri tasarlanabilir. Farklı yenileme tasarım seçenekleri hızlı bir şekilde oluşturulup, paralel olarak çalıştırılabilmektedir. Aşağıda duvar için oluşturulan farklı seçenekler bulunmaktadır (Şekil 3.23) [Scherer ve Katranuschkov, 2018]. Önerilen yapılandırmaya ulaşmak için etki eden faktörlerin parametreleri değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanabilmektedir. Şekil 3.24’de ise farklı senaryolar altında enerji tüketim simülasyon sonuçları için bir örnek bulunmaktadır [Guo vd., 2021].



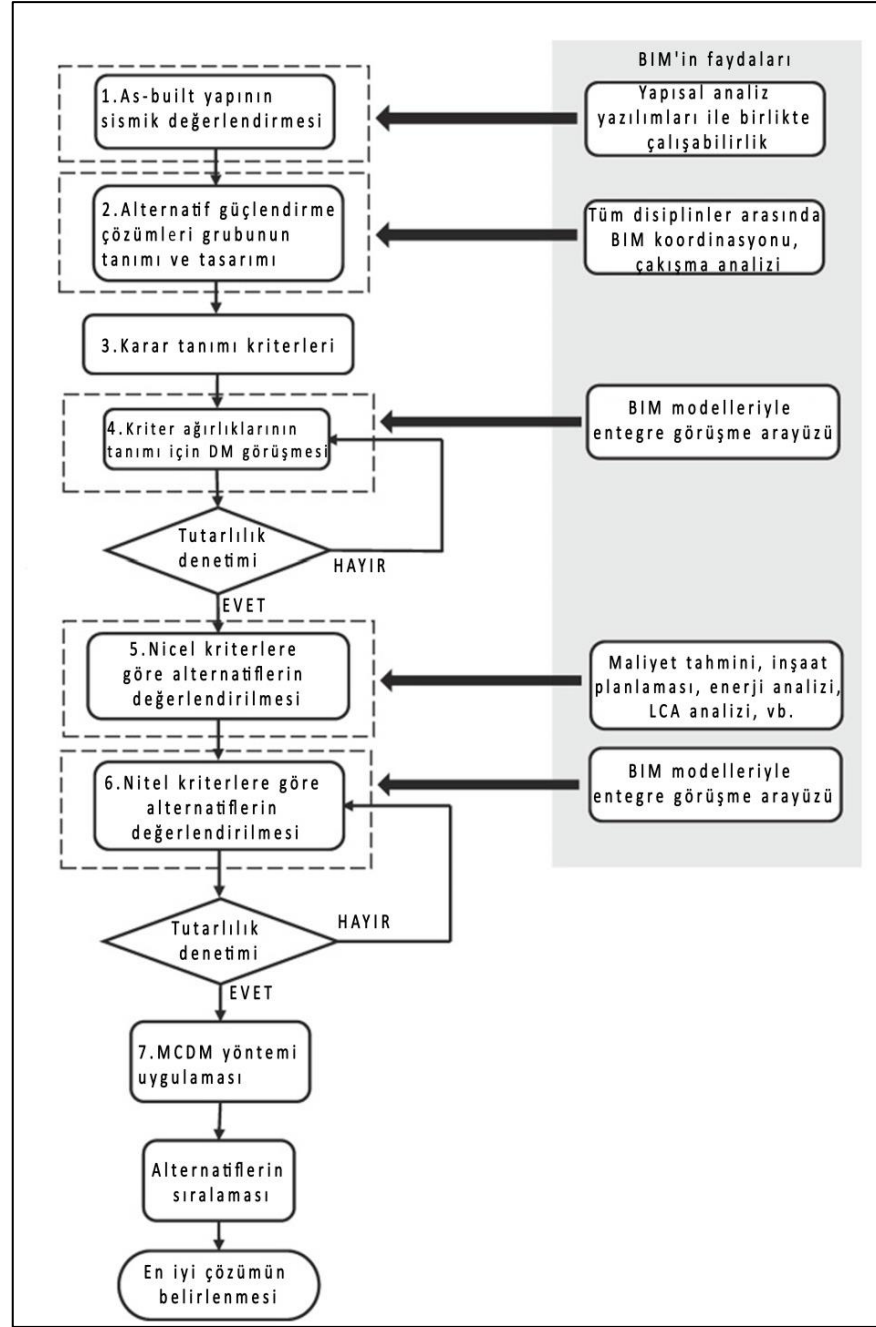
Şekil 3.23: a)Güçlendirme tasarım seçeneği, b) Güçlendirme tasarım seçeneği, c)Güçlendirme tasarım seçeneği, d)Duvar seçeneklerini değerlendirme.



Şekil 3.24: Farklı senaryolar altında enerji tüketiminin simülasyon sonuçları.

Yapılara uygulanan enerji odaklı yenileme çalışmalarına, harcanan yatırımların uzun ömürlü olması adına bütüncül bir çerçeveden yaklaşmak gerekmektedir. Yapısal bütünlüğü göz ardı edilen bir projede tek başına enerji performansını artırma yapısal kırgınlıkta herhangi bir azalmaya katkı sağlamaz. Örneğin bir deprem felaketinde zarar gören yapı için uygulanan enerji verimliliği önlemleri kaybolur ve

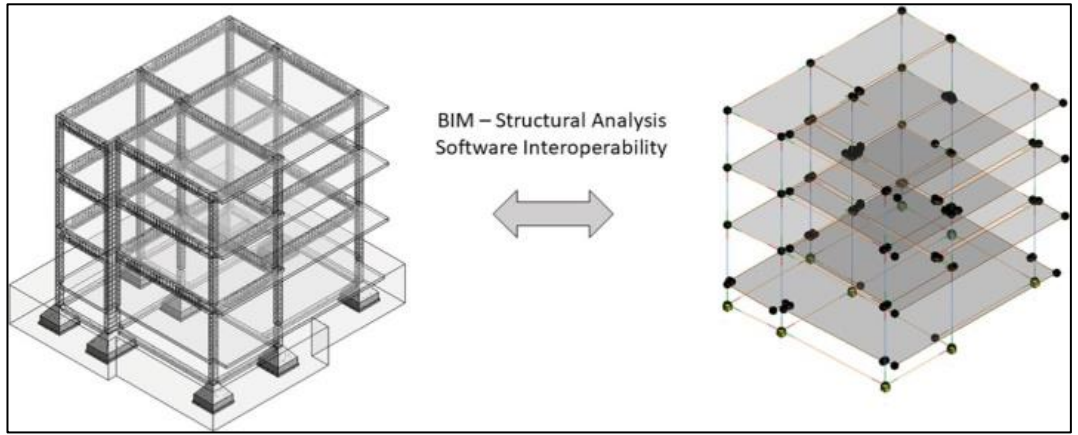
hiçbir önemi kalmaz. Aynı şekilde, enerji verimliliği gözetilmeden sadece sismik güçlendirme yapılan yapılarda işletim sürecinde termal konfor eksiklikleri görülme ihtimali bulunmaktadır [Pohoryles vd., 2022]. Günümüzde literatürde ve gerçek inşaat faaliyetlerinde, mevcut yapılardaki enerji yenilemelerine ek olarak depreme karşı güçlendirme çalışmaları da yaygın bir konudur. Mevcut stokunun eskimesi ve sismik standartlara uygun inşa edilmemiş olması nedeniyle yapılarda deprem odaklı yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Yapının ihtiyacı doğrultusunda rijitlik, direnç artırma, süneklik vb. stratejiler benimsenebilir. Ortak bir strateji bulunmamakla beraber yasalar güçlendirme projeleri kapsamında ulaşılması gereken minimum değerleri belirtmektedir [Vitiello vd., 2019]. Şekil 3.25'deki akış şemasında Caterino ve ark.'nın 2021 yılında yayınlanan çalışmalarında optimum sismik güçlendirme seçimi için önerdikleri BIM çerçevesi yer almaktadır [Caterino vd., 2021].



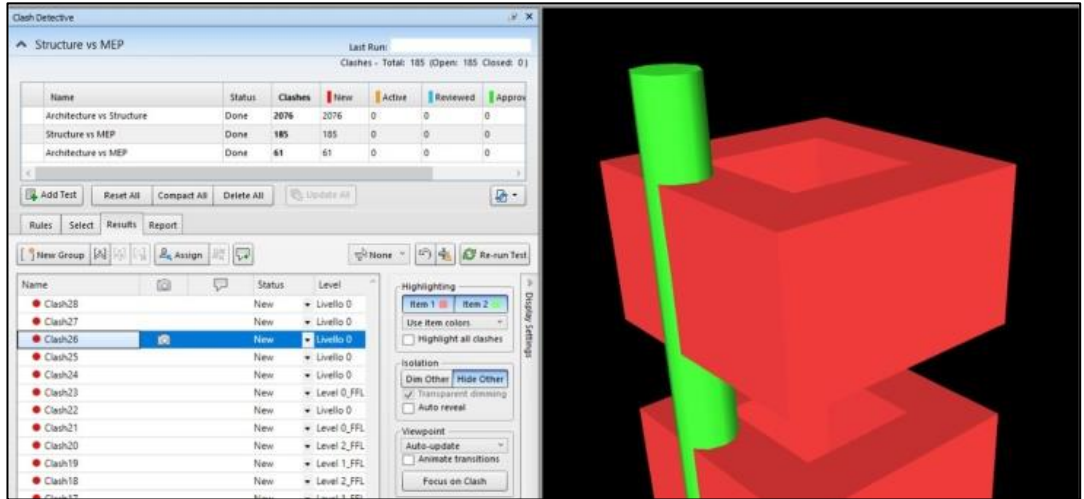
Şekil 3.25: Optimum sismik güçlendirme seçimi için BIM çerçevesi.

Süreç, mevcut yapının sismik değerlendirilmesi ile başlamaktadır. Öncelikli olarak mevcut yapının BIM modeli üretilir ve yapısal analiz araçlarına aktarılır (Şekil 3.26). Yapıdaki sismik eksiklikler değerlendirildikten sonraki adımda sismik güçlendirme alternatiflerinin tanımlanması gerekmektedir. Her sismik güçlendirme alternatifi mimari ve MEP disiplinlerinin birlikte çalıştığı yapısal BIM modeli içerisinde gerçekleştirilir. Bu sayede olası çakışmalar tasarım sürecinde tespit edilebilmektedir (Şekil 3.27). Sonraki adım olan karar tanımı kriterlerinde, her

alternatif için inşaat bağlamına ve mal sahibinin ihtiyaçlarına göre değerlendirme kriterleri tanımlanır. Kriterler belirlendikten sonra tüm süreci kolaylaştırmak için BIM ortamındaki bir yazılım aracılığıyla görüşmeler gerçekleştirilir. BIM'in sağladığı aktif iletişim, karar vericinin şeffaf ve doğru bilgiye dayanan kararlar vermesine imkan tanır. Sürecin beşinci adımında güçlendirme alternatifleri BIM ile uzantılı yazılımlar ile maliyet tahmini, inşaat planlaması ve enerji analizleri ile nicel olarak değerlendirilmektedir. BIM ile entegre görüşme arayüzü ile nitel kriterlere göre alternatif değerlendirilmesi yapılmaktadır. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda güçlendirme için en uygun çözüm belirlenmektedir [Caterino vd., 2021].



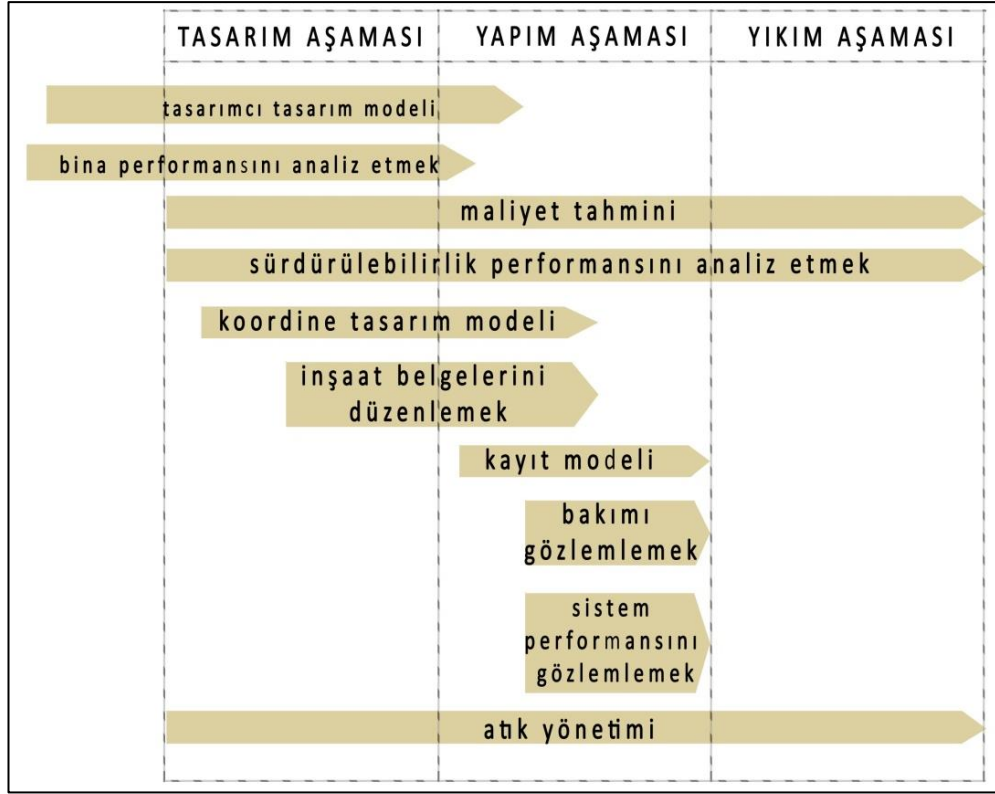
Şekil 3.26: BIM tabanlı model ve yapısal analiz yazılımı ile birlikte çalışabilirliği.



Şekil 3.27: Bir kolon için bir boru arasındaki girişimi tanımlayan çakışma tespit analizi örneği.

3.3.3.3. Yapım

Tüm sürecin en önemli ve pahalı aşamasını temsil eden proje yaşam döngüsünün üçüncü aşaması, yapının yenileme faaliyetlerinin uygulanması ile ilgilidir. Geleneksel yöntemlerde tasarım ve yapım süreci arasında yok denilecek kadar az bağlantı vardır. Tasarım aşamasında elde edilen bilgilerin girilmesi ve işlenmesi, tasarım ve yapım sürecindeki bilgilerde tutarsızlık yaşanmasına neden olur. Tasarım sürecinde planlanan faaliyetlerin proje ihtiyaçlarına göre uygulanmasının sağlanması için BIM'in sağladığı etkili iletişim, bilgi alışverişinin verimliliğini artırmak için oldukça önemlidir. İşbirliği içerisine yürütülen inşaat ve kurulum sürecinde, olası hatalar ve yeniden çalışmalar büyük ölçüde engellenmiş olacaktır [Ding vd., 2019]. Şekil 3.28'de D'Angelo ve ark.'nın çalışmasından yola çıkılarak yapım aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, tasarım ve yıkım aşaması ile ilişkili olacak şekilde haritalanmıştır. Uygulama çalışmaları tamamlandıktan sonra, projede tanımlanan tüm hedeflerin gerçekleştirildiğinin ve yeni enerji verimliliği kriterlerinin doğrulanmasının amacı ile binanın tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Yenileme projelerinde bakım ve sistem performansını gözlemlemek, yapının tasarlandığı gibi çalıştığını ve performans gösterdiğini anlamak için ihmal edilmemesi gereken temel bir adımdır. Enerji tasarrufları, kullanılmayan enerjiyi temsil ettikleri için doğrudan ölçülemezler, bu nedenle genellikle yenileme çalışmasının uygulanmasından önceki ve sonraki enerji kullanımı karşılaştırılarak değerlendirme yapılmaktadır [D'Angelo vd., 2022].



Şekil 3.28: Yapım aşamasındaki BIM süreç haritası.

3.3.3.4 HBIM (Heritage Building Information Modeling-Miras Yapı Bilgi Modellemesi)

Tarihi, mimari, kültürel, çevresel veya ekolojik nedenlerden ötürü korunması gerekli kılınan yapılara ‘miras yapısı’ denilmektedir. ‘Koruma’ terimi için ise geçmiş dönemlerden tüm insanlığa aktarılan kültürel mirasın gelecek nesillere ulaşabilmesi amacıyla alınan önlemler olarak açıklanmaktadır. Son yıllarda gelişen lazer tarama teknolojileri ile beraber kültürel miras alanlarını kaydetmek için 3D miras modellerinin oluşturulması gündeme gelmektedir [Elabd vd., 2021]. Bu anlamda Miras Yapı Bilgi Modellemesi (Heritage Building Information Modeling – HBIM), tarihi yapıların dijitalleştirilmesinde kullanılan bir teknolojidir. HBIM’in ilk tanımı Maurice Murhpy tarafından 2009 yılında yapılmıştır. Tanıma göre HBIM; parametrik nesnelerden oluşan bir kütüphaneden ve bu nesneleri nokta bulutları veya görüntüler gibi araştırma verileriyle eşleştirebilen bir sistemden oluşmaktadır [Quattrini vd., 2017].

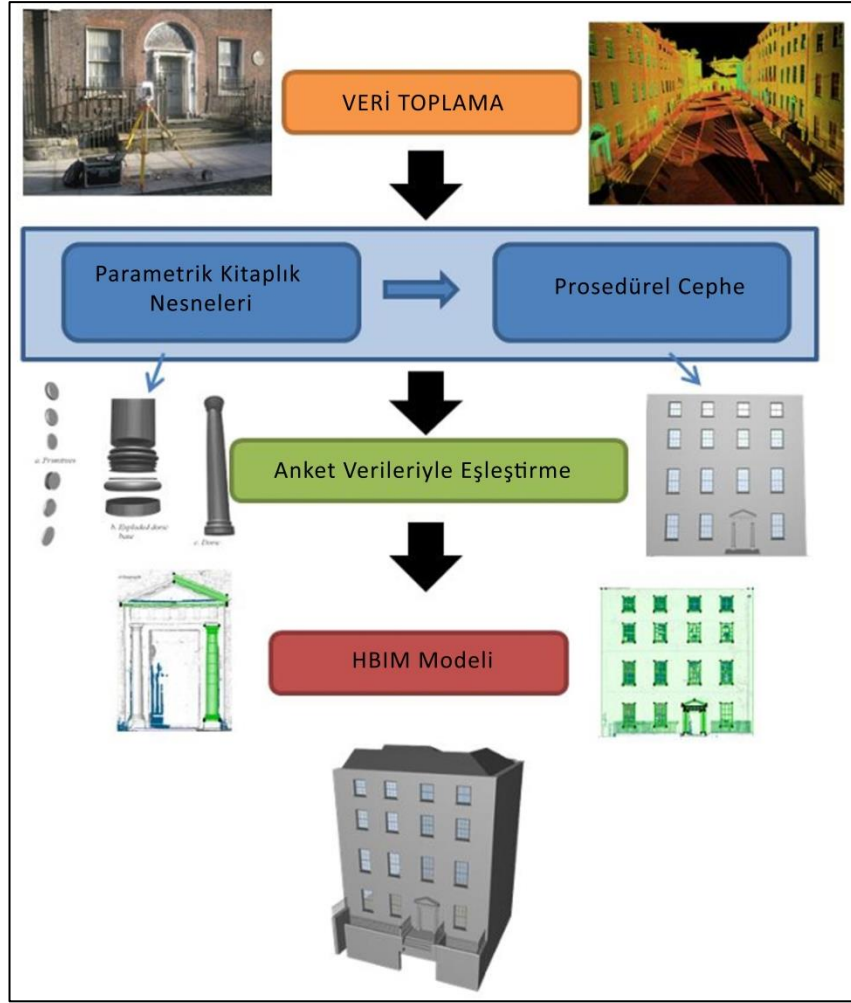
Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (AEC) sektörü genel olarak yeni inşaat projelerine odaklanmış olsa da, mevcut yapıların restorasyonu en az yeni inşaat projeleri kadar önemlidir. BIM, bu alanda verimli ve etkili seçenekler sunmada bir fırsat olarak değerlendirilmelidir. Miras yapıları hakkındaki geometri ve bilgileri yüksek doğrulukta oluşturmaya çalışan HBIM, BIM'in bir alt alanıdır [Rebec vd., 2022]. HBIM ile beraber miras yapılarının modellenmesi mümkün olmaktadır [Nagy ve Ashraf, 2021]. HBIM süreci bir tasarım aşaması içermese de yapıya ait tüm bilgiler dijital modelde koordine edilip yapının yıllar boyunca sürdürülebilir biçimde bilgi yönetimi sağlanmaktadır [Castellano-Román ve Pinto-Puerto, 2019]. Miras yapıları için BIM teknolojisini benimseyen HBIM kavramı, yapının mimarisi ile kalmayıp yapının tarihi, teknik bilgileri ve inşaatı ile ilgili belgeleri dahil etmeye odaklanır [Younus vd., 2023]. Miras değerleri ve malzeme özellikleri hakkında detaylı bilgilere model üzerinden erişim sağlanmaktadır. Ayrıca, fresklerin, tonozların, pencerelerin ve yapıya ait diğer kısımların fotoğrafları, hasar görmüş veya tahrip olmuş elemanların konumları gibi bilgiler saklanabilmektedir. Daha sonra, yenileme, bakım onarım veya araştırma amacıyla bu bilgilere erişim sağlanabilir [Rebec vd., 2022]. Bu nedenle HBIM'in miras ve inşaat alanındaki uzmanlar tarafından benimsenme oranı giderek artmaktadır.

Kültürel mirasın korunması sürecinde birçok farklı meslek grubu faaliyet göstermektedir. Bilgilerin kaydedilmesi için profesyonellerin, çeşitli uzmanların ve teknik ekiplerin bir arada çalışması gerekmektedir. Bu nedenle oldukça karmaşık olan bu sürecin etkili bir yönetime ihtiyacı olmaktadır. BIM, sürece dahil olan aktörleri tek model üzerinde birleştirme özelliğine sahiptir. Bu özellik miras yapıları için büyük bir potansiyel olarak görülmektedir [Rebec vd., 2022]. HBIM teknolojisinin genel olarak:

- Görselleştirme yolu ile karar verme sürecine aktörlerin katılımını artırma,
- Zaman içerisinde meydana gelen yenileme ve değişikliklerin araştırılmasını ve tam inşaat belgelerinin oluşturulması,
- Yapı performansını analiz etme (aydınlatma, havalandırma vs.)
- Yapının iç ve dış kısımlarını inceleme,
- Bakım ve yenileme çalışmaları için tesis yönetimi sağlama,
- Yangın güvenliği ihtiyaçlarının değerlendirilmesi

- Doku, kütle ve formu anlamak için görüntüleri kullanarak, nesnenin arkasındaki detayların geliştirilmesine yardımcı olma,
- İşbirliğine dayalı çalışma teknolojisi,
- Gelecekteki araştırma ve araştırmacılara bilgi kaynağı olma, artırılmış gerçeklik, kültür turizmi, sanal müze vb. şeklinde avantajları bulunmaktadır [Elabd vd., 2021; Nagy ve Ashraf, 2021; Khodeir vd., 2016].

Genel olarak HBIM iş akış süreci, parametrik nesnelerin oluşturulduğu tersine mühendislik çözümünü içermektedir. Bu süreç tarihi özelliği olmayan yapılarda olduğu gibi veri toplama, işleme ve modelleme olmak üzere üç ana adımdan oluşmaktadır (Şekil 3.29) [Khodeir vd., 2016; Web 75, 2023]. Veri toplanması, mevcut çizimlerin kullanılması veya BIM'e tarama olmak üzere iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir. Verilerin eski ve dağınık olması sebebiyle 2B çizimlerin elde edilmesi oldukça zordur. Bütçe ve modelleme yeteneği gibi birtakım kısıtlamalar olduğunda bu yöntem kullanılabilir. Ancak bu yöntem nokta bulutu verilerine kıyasla ayrıntılı değildir. Genel olarak miras yapıları ihtiyaç duyulan verileri elde etmek için taranır ve nokta bulutları elde edilir. Verilerin toplanması ve işlenmesi aşamasından sonra, mimari model kitapları kullanılarak tarihi ayrıntılar tanımlanır. Parametrik tarihi nesnelerin oluşturulması ve taramalar ile eşleştirilmesi işleminden sonra yapının mevcut durumunu temsil eden 3D model oluşturulmaktadır [Elabd vd., 2021; Nagy ve Ashraf, 2021].



Şekil 3.29: HBIM iş akışı.

Çalışma kapsamında yenileme projelerinin yaşam döngüsü planlama, tasarım ve yapım şeklinde ele alınmıştır. Ayrıca BIM kullanımının yaygın olduğu kültürel miras yapılarında kullanımına dair bilgilere yer verilmiştir. Planlama aşamasındaki ana problem görevlerin yanlış anlaşılmasıdır. Bu probleme karşılık projeyi ayrıştırma, planlama ve yönetime yardım etme amacıyla, BIM ile iş kırım yapısı yöntemini benimsemek önerilmektedir. Tasarım aşamasındaki en büyük problem, güncel orijinal bina bilgilerinin olmamasıdır. Ek olarak geleneksel yöntemlerdeki tasarım sürecinde tasarımın detaylı olmaması ve bina bilgilerini yönetmenin zor ve karmaşık bir süreç olmasıdır. Probleme çözüm olarak orijinal yapının taranması ile geometrik ve geometrik olmayan bilgileri içeren BIM modeli kullanılması önerilmektedir. Bu çözüm miras yapılarının dijitalleştirilmesi ve bilgilerin güncel şekilde saklanmasına olanak sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerdeki yapım aşamasında genel olarak, tasarım ve inşaat arasındaki kopukluk ve çizimlerin yanlış

anlaşılması sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Literatür taramasında BIM ile bu iletişim eksikliğinden kaynaklanan sorunların çözülebildiği ve projedeki tasarım hedeflerinin değerlendirilebildiği görülmektedir (Şekil 3.30) [Ding vd., 2019].



Şekil 3.30: Yenileme projelerinde BIM uygulanma çerçevesi.

BIM'in yenileme projelerinde planlama, tasarım, yapım süreçleri boyunca ve kültürel mirasın korunması açısından yapıların dijitalleştirilmesi sürecinde ortaya koyduğu faydalar göz önüne alındığında yenileme projelerinde BIM kullanımının inşaat sektörü için önemli bir değişime neden olacağı öngörülmektedir. Yenileme projelerinde kullanılan teknolojilerin, potansiyel faydaların ve karşılaşılan zorlukların araştırılmasının BIM kullanımının benimsenmesine katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Bu doğrultuda dördüncü bölümde inşaat sektöründeki yenileme projelerinde BIM teknolojisini tercih etmiş projeler incelenmiştir.

4.ÖRNEK YENİLEME PROJELERİ

Mevcut yapıların yenileme süreçlerinde BIM kullanımını incelemek amacıyla farklı proje tipi ve yenileme türlerine sahip 10 proje, bu başlık altında ele alınmıştır. Projelerin belirlenmesi sırasında; uygulanma konumu, yapım yılı, işlevi olmak üzere belirli ölçütler üzerinden yola çıkılmış olup, bu anlamda incelenen proje çeşitliliğinin çokluğu ön planda tutulmuştur. Ayrıca, tezin odağı olmasa da, HBIM yaklaşımını ele alan bir projenin de irdelenen örnekler arasında yer almasına özen gösterilmiştir. Çalışmada ele alınan yenileme projeleri; Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi Projesi (İngiltere), Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı Projesi (Suudi Arabistan), Penn İlköğretim Okulu Projesi (Amerika), Woodseat Hall Projesi (İngiltere), Holidayy Inn Express Projesi (Amerika), Boston Otel Projesi (Amerika), Waterloo Tren İstasyonu Projesi (İngiltere), Acıbadem Maslak 1 Hastanesi Projesi (Türkiye), De Castilla 23 Projesi(İtalya), Brescia Akıllı Kampüs Projesi (Amerika)'dir. Projelerin bölümde aktarımında yapım yılları dikkate alınmış olup, en eskiden en güncele doğru bir sıralama izlenmiştir.

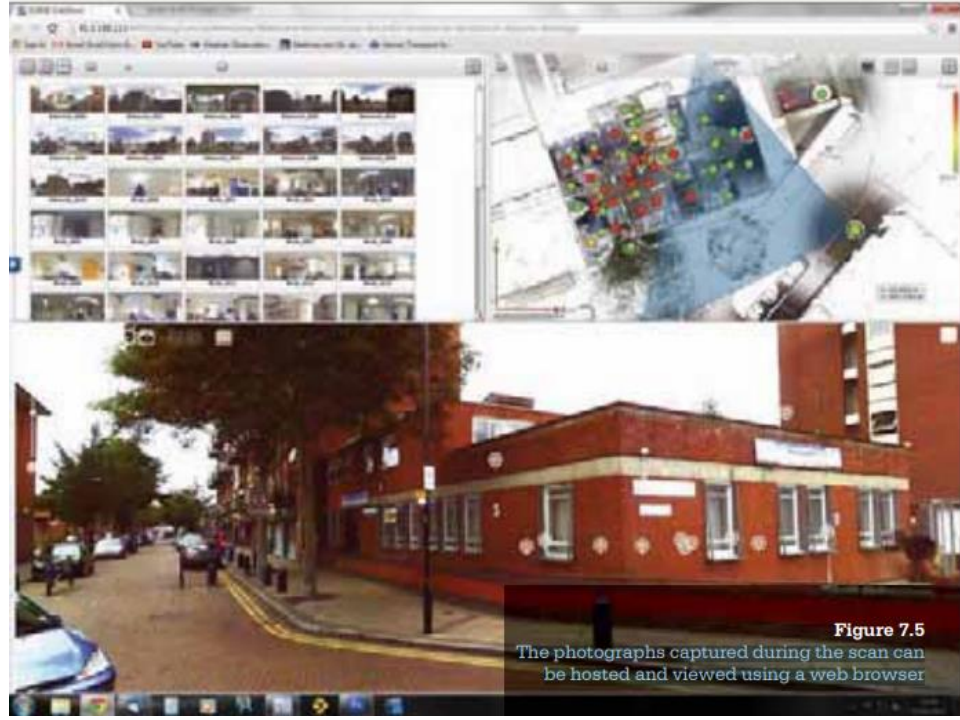
4.1.Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi Projesi (İngiltere)

İngiltere Londra Hackney'de bulunan Sorsby Tıbbi Uygulama merkezi iki katlı küçük bir yapıdır. Yapının zemin katında tedavi odası, pratisyen ve hekim muayenehanesi bulunmaktadır. Ayrıca bazı birimleri için idari ofisler yer almaktadır. Yapıya kısmi müdahaleler ile mevcut görünümü ve kullanıcı konforunu iyileştirme aynı zamanda enerji verimliliği sağlama amacıyla yenileme (renovation) çalışması yapılmıştır (Tablo 4.1). Yapıda iç mekan yerleşimine ek olarak cephe ile ilgili sorunlar da bulunmaktadır. Tıbbi uygulama merkezinin cephesi kötü durumdadır ve mimari bütünlüğü bulunmamaktadır. Ayrıca sıcak havalarda çok fazla ısınma durumu söz konusudur [Klaschka, 2019].

Tablo 4.1: Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi proje künyesi.

SORSBY TIBBİ UYGULAMA MERKEZİ	
KONUM	Hackney, Londra
YIL	2012
FİRMA	Studio Klaschka
PROJE TİPİ	Sağlık
KAT	2
İNŞAAT ALANI	—
YENİLEME TÜRÜ	Yenileme (renovation)
DİJİTAL ARAÇ	Lazer tarama
BIM KULLANIMI	3D modelleme, görselleştirme, farklı tasarım seçenekleri sunma, analiz, ortak veri kullanımı, bilgilerin kalıcılığı sağlamak,

Projede yenileme için süreç planlandıktan sonra BIM modeli oluşturabilmek için lazer tarama kullanılarak nokta bulutlarından veriler toplanmıştır (Şekil 4.1) [Klaschka, 2019]. Yapı proje sürecinde kullanım halinde olduğu için erişim daha kısıtlıdır. Bu noktada lazer tarama projeye önemli katkılar sağlamıştır. Kullanılan araçla, alanı tekrar tekrar ziyaret edip ölçüm alma durumu ortadan kaldırılmıştır. Tarama işlemi tamamlandıktan sonra yapının BIM modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.1: Tarama sırasında çekilen fotoğraflar.

Havalimanı, otel, hastane gibi yoğun kullanıcı sirkülasyonuna sahip yapılar işletim süreçlerinde daha fazla enerji tüketmeleri sebebiyle yenileme çalışmaları yapılırken enerji tüketimini azaltacak yaklaşımlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasından itibaren enerji etkinliği dikkate alınmamış yapıları dahi enerji etkin yenileme çalışmaları ile mevcut performansının değerlendirilerek gerekli müdahaleler ile enerji etkin bir seviyeye ulaştırmak mümkündür. Enerji etkin yenileme yapılırken yapıların birbirine göre konumu, yöneliş biçimleri, cepheleri ve formları en önemli tasarım parametreleridir. Cephelerinden kaynaklı aşırı ısınma sorunu yaşanan yapıda tasarım sürecinde analiz ve simulasyonlar yapılmıştır. Bu etkiler doğru tasarım, malzeme, pencere ve güneş kırıcı seçimleriyle en aza indirilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.2). Ek olarak yenileme çalışması ile yapıyı genişletme ve iç mekan yerleşimde değişiklikler yapılmıştır (Şekil 4.3) [Web 76, 2022]. Hastalara erişim kolaylığı sağlamak amacıyla bütün tedavi alanlarını zemin kata indirerek birinci kata çıkma zorluğu ortadan kaldırılmıştır. BIM, Sorsby Tıbbi Uygulama merkezi yenileme sürecinde görselleştirme, ortak veri kullanımı, farklı tasarım seçenekleri ve analizler ile en verimli tasarıma ulaşma konusunda katkı sağlamıştır [Klaschka, 2019].



Şekil 4.2: BIM modeli yeni cephe tasarımı.



Şekil 4.3: Genişletmeyi gösteren BIM modeli.

4.2. Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı Projesi (Suudi Arabistan)

Suudi Arabistan Medine’de bulunan Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanının, hacılara ve Mescid-i Nebvî’ye gelen ziyaretçilere hizmeti sebebiyle uluslararası bir havalimanına dönüştürülmesi talimatı verilmiştir. Ardından kamu ve özel sektör ortaklığında havalimanının genişletilmesi, rehabilitasyonu, modernizasyonu, işletilmesi ve bakımı için planlamalar yapılmıştır [Web 77, 2023]. Bu anlamda yeniden modelleme (remodelling) yenileme sınıfında yer alan projenin

Haziran 2012’de yenilenmesine başlanmış ve yapımı Şubat 2015’de tamamlanmıştır (Tablo 4.2) [Web 78, 2023].

Tablo 4.2: Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı proje künyesi.

PRENS MUHAMMED BİN ABDUL-AZİZ HAVALİMANI	
KONUM	Medine, Suudi Arabistan
YIL	2015
FİRMA	TAV İnşaat
PROJE TİPİ	Ulaşım
KAT	—
İNŞAAT ALANI	156.940m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yeniden modelleme (remodelling)
DİJİTAL ARAÇ	Autodesk Revit, Navisworks, BIMCAVE
BIM KULLANIMI	3D Modelleme, birlikte çalışabilirlik, analiz, çakışma tespiti, tesis yönetimi

TAV Havalimanları tarafından TAV İnşaat’a yapımı verilen havalimanında yıllık sekiz milyon yolcu kapasiteli yeni ve modern bir havalimanı inşası yapılması hedeflenmiştir (Şekil 4.4) [TAV, 2023]. 2015 yılında Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı (PMIA), havaalanları/limanlar kategorisinde Engineering News-Record'un Küresel En İyi Projeler Ödülü'nü kazanmıştır. Ayrıca Orta Doğu ve Kuzey Afrika’da Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) Altın sertifikalı ilk havalimanıdır [Web 79, 2023].



Şekil 4.4: Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz havalimanı.

Proje, pistin genişletilmesi, yeni taksi yollarının inşası, idari binalar, Hac tesisleri gibi 20 yardımcı bina, VIP terminal, elektrik santrali ve yeni bir uçak kurtarma ve yangınla mücadele binası inşaatını kapsamaktadır. Ek olarak 1.000 kişinin ibadet edebileceği bir caminin inşaatını içermektedir (Şekil 4.5) [Web 80, 2023]. İlk aşaması, yeni bir yolcu terminal binasının inşası olan üç aşamalı genişlemenin tasarımını GMW Architects tarafından yapılmıştır. Zarif, modüler ve ferah iç mekanlara odaklanılan yeni terminal binasının ana ilham kaynağı palmye ağacıdır (Şekil 4.6, Şekil 4.7) [Web 81, 2023].



Şekil 4.5: Genişletme kapsamında inşa edilen cami.

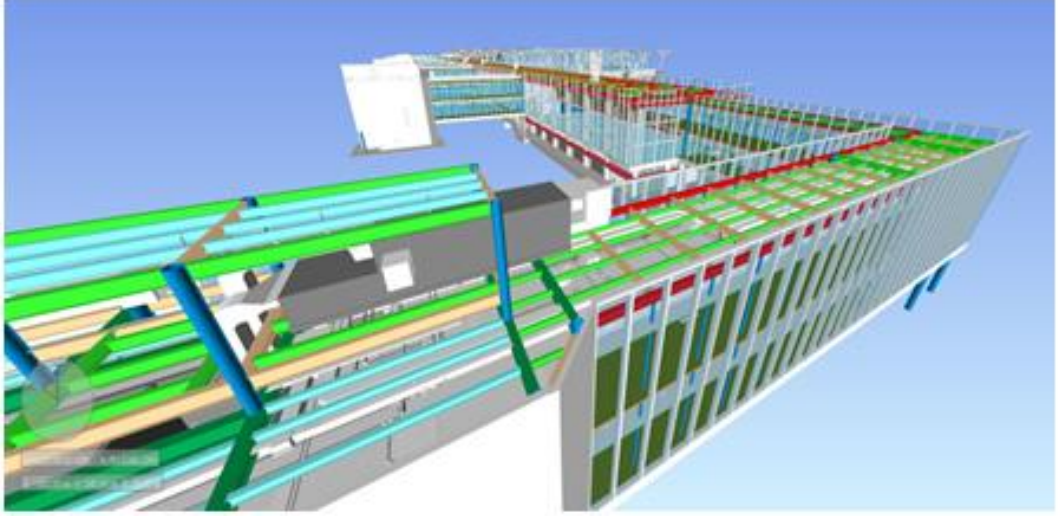
analizleri vb. gibi durumlarda kullanılabilir. Yapımından bu yana Medine Havalimanı projesinin, işletme sürecinde Tesis Yönetimi (Facilities Management – FM) modeli üzerinden yönetildiği bilinmektedir [TAV, 2023].

TAV İnşaat PMIA yenileme projesindeki BIM sürecini aşağıdaki gibi yedi adımda açıklamaktadır:

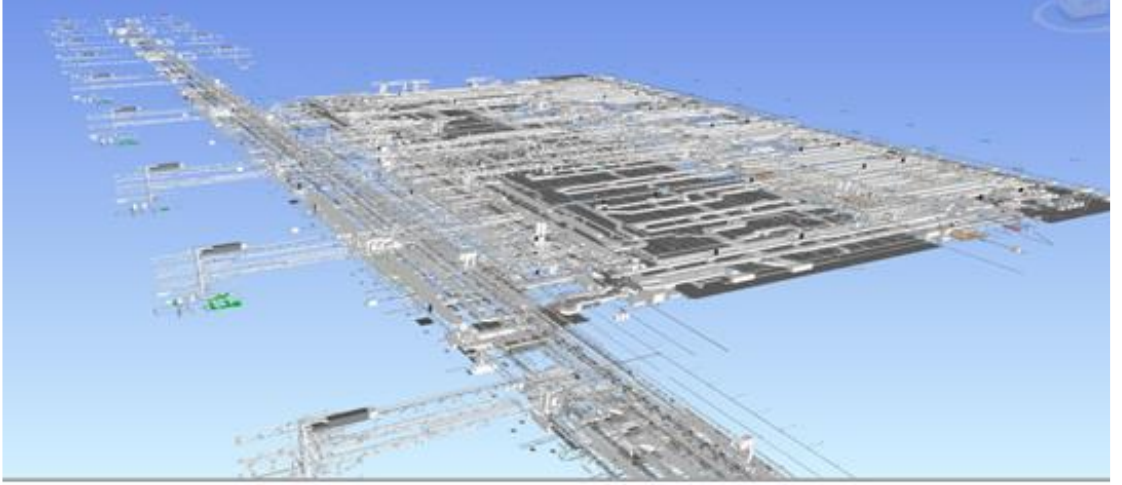
- **Proje Analizi:** İlk olarak yapının mevcut durumu ve eksiklikleri hakkında detaylı bir analiz yapılmaktadır.
- **Veri Toplama:** İhtiyaç duyulan veriler toplanır.
- **BIM Modelleme:** Veri toplama aşamasında elde edilen veriler ile BIM modeli oluşturulmuştur.
- **Analiz ve Tasarım:** BIM modeli üzerinden projenin performansını artırmaya yönelik analizler yapılmıştır.
- **İşbirliği ve Koordinasyon:** Oluşturulan model belirli zaman aralıkları ile proje paydaşlarıyla paylaşılmaktadır. Model üzerinden değişiklikler takip edilir, analiz edilir ve çakışma testleri sonucu revizyon kararları alınır.
- **Revizyon ve Dokümantasyon:** Yapılan düzeltmeler doğrultusunda BIM modeli güncellenir ve detaylı çizimler, kesitleri raporlar vb. proje belgeleri oluşturulur.
- **İşletme Aşaması:** Son olarak havalimanı projesi BIM modeli işletme ihtiyaçlarına göre güncellenmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir [TAV, 2023].

Medine Havalimanı projesinde BIM teknolojisi proje sürecine genel olarak, verimlilik artışı, işbirliği ve koordinasyon, çakışma tespiti, veri yönetimi, dokümantasyon, proje takibi ve işletme aşaması gibi faydalar sağlamaktadır. BIM ile birlikte paydaşlar arasındaki veri paylaşımı hataları azaltarak verimliliği artırmıştır. Tasarımcılar, mühendisler, müteahhitler ve saha ekipleri arasında daha iyi bir işbirliği ve koordinasyon sağlanmıştır. Kullanılan Navisworks yazılımı üzerinden çakışma analizleri yapılmış ve çakışmalar tasarım sürecinde düzeltilmiştir. Projeye ait tüm veriler BIM platformunda depolanmış, veri erişimi ve yönetimi kolaylaştırılmıştır. Ek olarak, özellikle havalimanı projesi özelinde işletme aşamasındaki kullanım oldukça değerli görülmektedir. Aşağıda Şekil 4.8 ve Şekil

4.9’da Medine havalimanı projesinin BIM modeline ait görüntüler bulunmaktadır [TAV, 2023].



Şekil 4.8:BIM modeline ait görüntü.



Şekil 4.9:BIM modeline ait görüntüler.

Binlerce nesneni olduğu PMIA Medine Havalimanı projesinde verilerin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için BIMCAVE yazılımı kullanılmıştır. İşletme kullanıcılarına modelde rahat bir çalışma ortamı sunan yazılım veri erişimi sorununa çözüm olmuştur. BIMCAVE ile kullanıcılar, modelde ihtiyaç duydukları verilere kolaylıkla ulaşabilmiş ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasına yardımcı olmuştur. BIM’in projeye katkılarına ek olarak TAV İnşaat BIM kullanımında karşılaştıkları zorluklardan şu şekilde bahsetmiştir [TAV, 2023].

“BIM ile modelleme için gereken yazılımlar ve teknolojik altyapı, kullanıcılar açısından bazı sorunlar oluşturmaktadır ancak gelişen teknoloji ile beraber bu durum hızla ortadan kalkmaktadır. Kullanıcıların karmaşık BIM sürecine dahil olabilmesi için uygun eğitim ve yeterliliğe sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle ilk hedef personellerin eğitilmesi olmuştur. Farklı proje paydaşları arasında veri standardizasyonu sağlamak kimi zaman zor olabilmektedir. Bu soruna çözüm olarak projeye uygun veri standartları oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Ek olarak başlangıç yatırımları, yazılım lisansları, donanım gereksinimleri ve eğitim maliyetleri gibi ek kaynaklara ihtiyaç duyabilmektedir.”

Son olarak TAV İnşaat yenileme projeleri özelinde BIM kullanımı için veri bütünlüğü, görselleştirme, çakışma analizi, verimlilik artışı, değişiklik yönetimi ve işletme aşaması için veri geçişi gibi faktörlerin, projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasına ve daha iyi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olduğunu söylemiştir. Veri uyumsuzluğu, modelleme zorlukları, veri entegrasyonu, maliyet ve insan faktörü gibi bazı zorluk ve olumsuzlukların da olabileceğini fakat bu problemlerin doğru planlama, uygun kaynaklar ve eğitim ile aşılabileceğini açıklamasına eklemiştir [TAV, 2023].

4.3. Penn İlköğretim Okulu Projesi (Amerika)

Amerika'nın Iowa şehrinde yer alan Penn İlköğretim Okulu 1961 yılında ilk olarak 300 öğrenci kapasiteli inşa edilmiştir. Okul, 2010'lu yıllara kadar 500'ün üzerinde öğrenci kapasitesine ulaşmıştır. Bunun üzerine 2014 yılında, 42.626 metrekarelik mevcut binayı yenilemek ve 28.964 metrekarelik bir ek bina tasarlamak aynı zamanda kullanıcı konforunu iyileştirme ve enerji verimliliğini artırma gibi amaçlarla okulda yenileme (renovation) çalışması yapılmıştır (Tablo 4.3). Yenileme projesi, sekiz derslik, bir bilgisayar laboratuvarı, medya merkezi, spor salonu, açık avlu, idari alanlar ve mekanları kapsamaktadır. Ek olarak yeni bir sprinkler sistem, ışıklar, tavanlar, elektrik yükseltmeleri, yeni WC armatürleri, yeni kaplamalar, yangın söndürme sistemleri ve bazı enerji verimliliği artırıcı sistemleri içermektedir [Web 82, 2021].

Tablo 4.3: Penn İlköğretim Okulu proje künyesi.

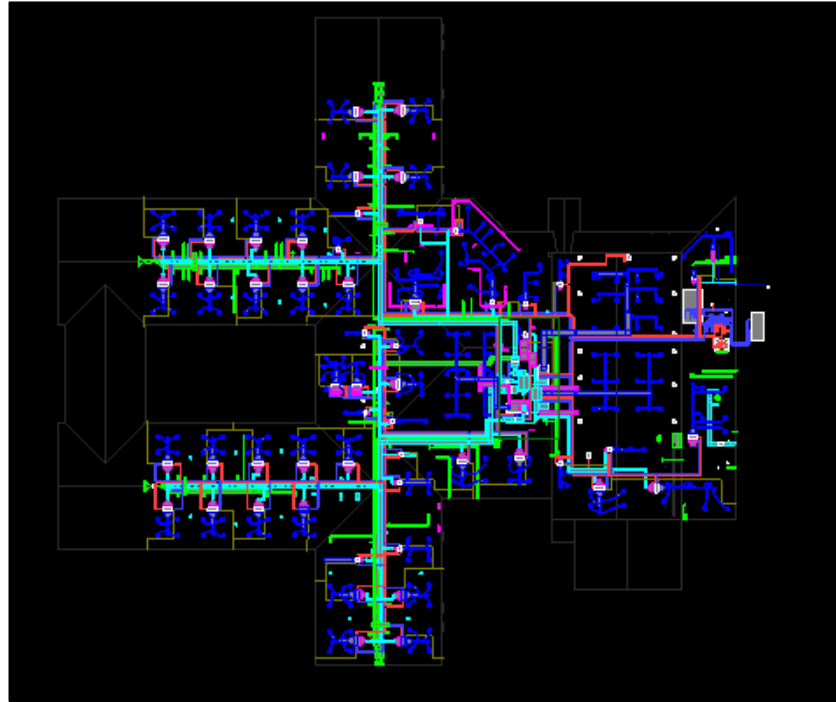
PENN İLKÖĞRETİM OKULU	
KONUM	North Liberty, Iowa, ABD
YIL	2015
FİRMA	Tejy Inc., OPN Architects
PROJE TİPİ	Eğitim
KAT	—
İNŞAAT ALANI	42.626 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yenileme (renovation)
DİJİTAL ARAÇ	—
BIM KULLANIMI	3D modelleme, analiz ve simülasyon, çakışma tespiti, birlikte çalışabilirlik, uygulama planı, miktar ve malzeme çıkarma

Yenileme proje sürecinde BIM teknolojisi kullanılmıştır. Bu sırada, Tejy firmasının BIM mühendisleri ilk olarak hedeflenen proje sonuçlarına ulaşmak ve doğru bir BIM modeli oluşturabilmek amacıyla BIM Uygulama Planı oluşturmuştur. Projenin süresi ve karmaşıklığı proje için istenen ayrıntı seviyesine bağlıdır. Bu nedenle proje ihtiyaçları doğrultusunda istenen ayrıntı seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Penn okul projesinde mimari, strüktür ve Mekanik Elektrik Proje (MEP) çizimleri için detaylı tasarımı temsil eden LOD 300 seviyesi belirlenmiştir. Planlama sürecinden sonra Tejy firması, MEP BIM modelleme çalışmasını, OPN Architects mimari BIM modelini oluşturmuş ve tasarım süreci gerçekleştirilmiştir. Proje üç ay gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır [Web 83, 2021]. Tejy, proje için aşağıdaki çalışmaları gerçekleştirmiştir:

- Saha koordinasyonu için mekanik borulama,
- Mekanik oda için altyapı oluşturma,
- As-built yenileme için uygun inşaat,
- Mekanik odalar için çakışma tespiti ve koordinasyonu,
- BIM modelinden miktar çıkarma/Malzeme Listesi çıkarma,

- Planlardaki büyük değişiklikleri takip etmek için inşa halinde yenileme [Web 83, 2023].

2015 yılında tamamlanmış olan Penn İlköğretim Okulu'nda BIM teknolojisi genel olarak simulasyonlar ile son ürün hakkında fikir edinebilmeye, atıkların, işçilik maliyetlerinin ve sapmaların azaltılmasına, mimari, strüktür ve MEP disiplinleri arasında işbirliği oluşturarak inşaat sürecinde daha fazla kontrol sağlamaya katkı sağlamıştır. Ayrıca çakışma testleri ile hataları tasarım aşamasında düzeltme, miktar ve malzeme listesi çıkarma fırsatı da tanımıştır [Web 84, 2021]. BIM ile yenileme çalışması inşaat planı ve tasarımı kolaylaştırarak akıllı ve sürdürülebilir bir okul yapısı meydana getirilmiştir [Web 83, 2021]. Aşağıda projeye ait görseller bulunmaktadır (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12) [Web 84, 2021; Web 85, 2021].



Şekil 4.10: Penn İlköğretim Okulu proje çizimi.



Şekil 4.11: Yenileme sonucu dış mekan görseli.



Şekil 4.12: Yenileme sonucu iç mekan görseli.

4.4. Woodseat Hall Projesi

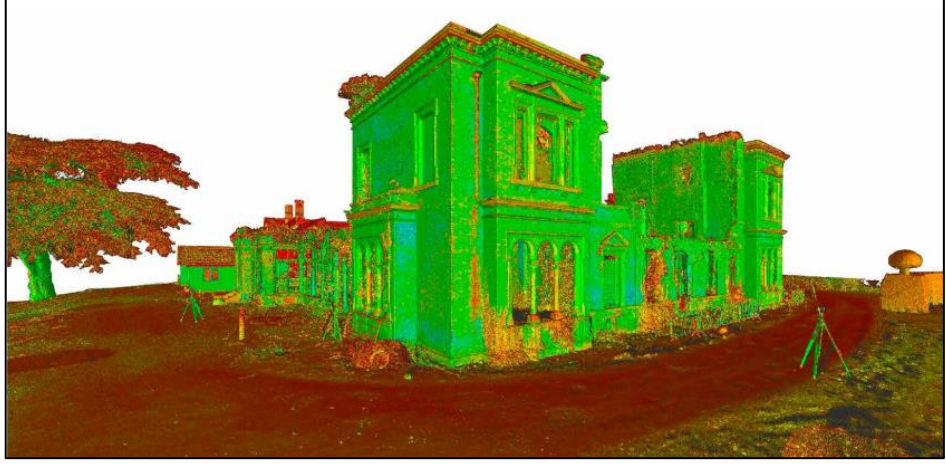
Woodseat Hall, İngiltere'nin Staffordshire kentinin güneybatısında bulunan Rocester bölgesinde yer almaktadır. Yapı, Thomas Bainbrigge tarafından 1767 yılında Derbyshire Yüksek Şerifi'nin evi olarak inşa edilmiştir. Mevcut yapının ana gövdesi büyük ölçüde kaybolmuştur. Ahşap pencere çerçeveleri parçalanmış, güneye bakan cam cephe ve cam çatı büyük ölçüde çökmüş, iki yan iskele ise nispeten daha

sağlam durumdadır. Harabe halinde olan yapı 1986 yılında JCB tarafından satın alınmıştır [Web 86, 2023]. Kasım 2016’da JCB tarafından planlama ve tasarım çalışmalarına yardımcı olmak amacıyla Bridgeway Consulting şirketiyle anlaşılmış bölgenin yeniden geliştirilmesi (conversion) önerilmiştir (Tablo 4.4) [Antonopoulou vd., 2017].

Tablo 4.4: Woodseat Hall proje künyesi.

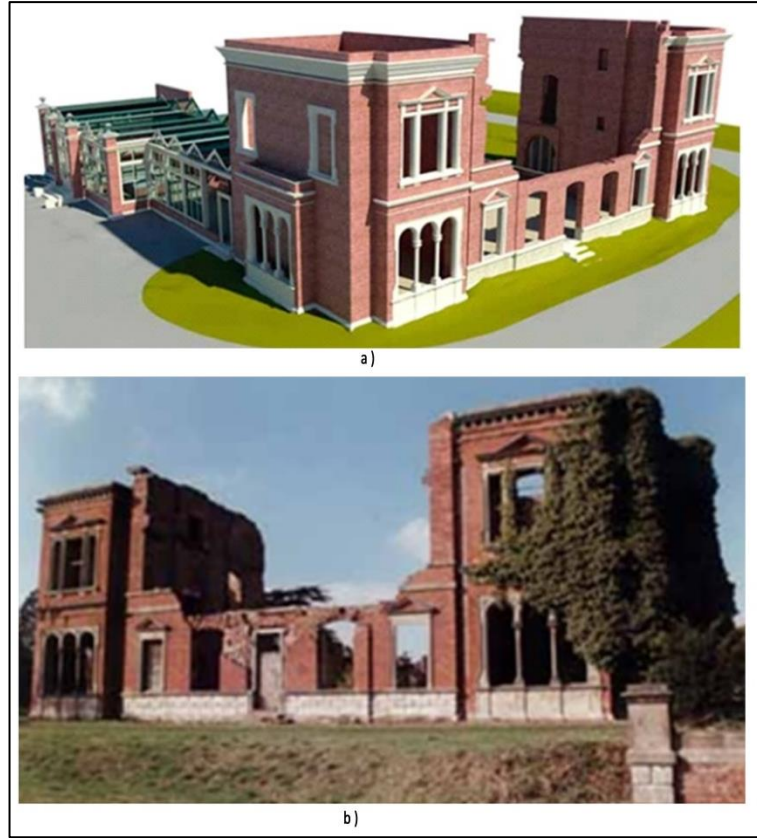
WOODSEAT HALL	
KONUM	Staffordshire, İngiltere
YIL	2016
FİRMA	JCB
PROJE TİPİ	Tarihi yapı
KAT	2
İNŞAAT ALANI	—
YENİLEME TÜRÜ	Dönüştürme (conversion)
DİJİTAL ARAÇ	Lazer tarama, Revit
BIM KULLANIMI	3D modelleme, planlama, işbirliği, tarihi yapı bilgilerinin kalıcılığını sağlama

Projede süreci kolaylaştırmak amacıyla HBIM teknolojisi kullanılmıştır. İlk olarak yapının dijital temsilini oluşturabilmek için hızlı veri toplama ve yapı karmaşıklığı göz önüne alınarak lazer tarama teknolojisi seçilmiştir (Şekil 4.13). Tarama sürecinde alana erişim sıkıntısı olmaması sayesinde kesintisiz ve yüksek kalitede ölçüm yapılmıştır. Leica cihazı ile elde edilen taramalar Leica Cyclone veri işleme yazılımına kaydedilip ardından nokta bulutları dışa aktarılmıştır. Tarama teknolojisi, toplanan verilerin yüksek doğruluğunu, hızlı işlenmesini ve modelleme ekibine çok kısa bir sürede teslim edilmesini sağlamıştır. Sahadaki veri toplama çalışmaları için bir gün, veri işleme için yarım gün ve modelleme için üç gün olmak üzere toplam beş güne yakın bir sürede süreç tamamlanmıştır [Antonopoulou vd., 2017].



Şekil 4.13: Woodseat Hall lazer tarama nokta bulutu.

Projedeki tüm modelleme ve grafik çalışmaları için Revit yazılımı tercih edilmiştir. Yapıya ait yakalanan tüm mevcut durumlar BIM modeline aktarılmıştır. Mevcut yapısal kusurlar, saha topografyası, malzeme detayları, yapıya ait eski bilgiler, fotoğraflar, çizimler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Revitte family dosyaları oluşturularak model boyutu azaltılmıştır. Bu durum model içerisinde doğru isimlendirme ve kolay gezinme imkanı sağlamıştır. Revit yazılımında oluşturulan BIM modeli içerisinde dış görünüşler ve perspektifler oluşturulmuştur (Şekil 4.14, Şekil 4.15). Aynı zamanda proje katılımcıları arasında işbirliği sağlayan dijital temsil belgelerin düzenli bir biçimde güncellenmesini ve kayıt altında tutulmasını sağlamıştır [Antonopoulou vd., 2017].



Şekil 4.14: Woodseat Hall BIM modeli (a), gerçek görüntüsü (b).



Şekil 4.15: Woodseat Hall'un mimari ve yapısal detaylarına ait görüntü.

4.5. Holiday Inn Express Projesi (Amerika)

Amerika Massachusetts Chelmsford’da bulunan otel, 63.358 metrekare alana sahip, beş katlı ve 132 odalı bir yapıdır. Proje, Radisson otelin yeniden modellenmesi ve yeniden markalaştırılması ile Holiday Inn Express marka otele dönüştürülmesi projesidir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Holiday Inn Express proje künyesi.

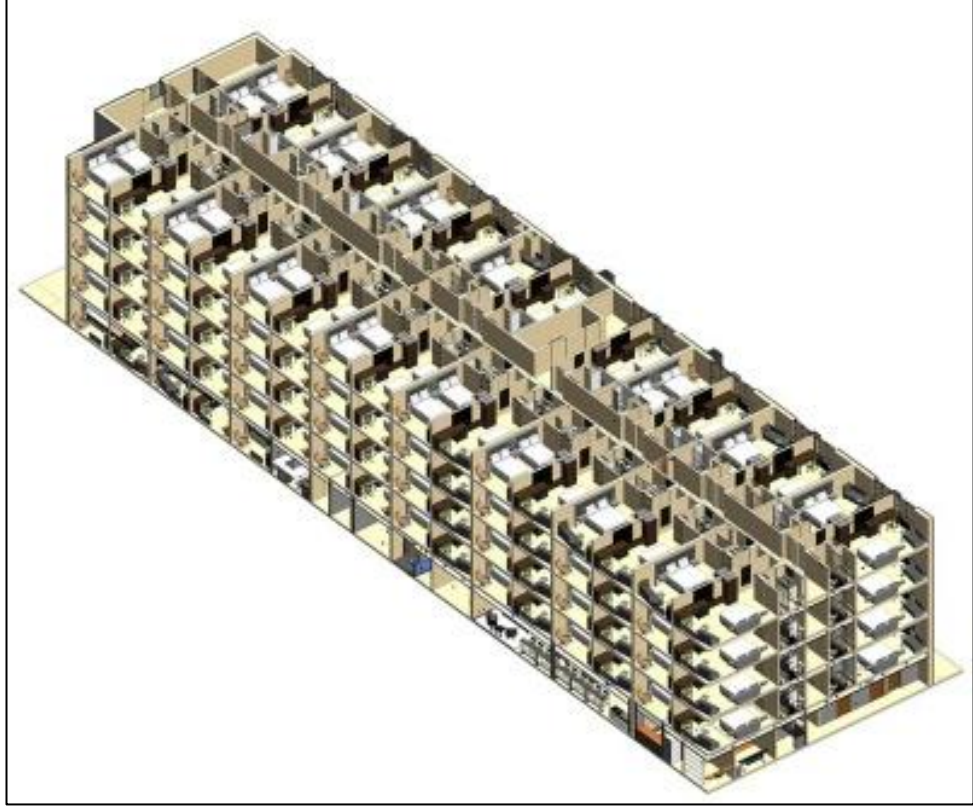
HOLIDAYY INN EXPRESS	
KONUM	Chelmsford, Massachusetts, ABD
YIL	2018
FİRMA	Russell ve Dawson
PROJE TİPİ	Otel
KAT	5
İNŞAAT ALANI	63.358 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yenileme(renovation)/Yeniden Modelleme(remodelling)
DİJİTAL ARAÇ	Revit, Navisworks, Bluebeam, 3D Studio Max
BIM KULLANIMI	3D BIM Modelleme, mimari-MEP-FS Görselleştirme, dış mekan görselleştirme, çakışma tespiti

Yenileme çalışmaları marka değişiminin yanı sıra mimari tasarım ve mühendislik hizmetlerini de içermektedir (Şekil 4.16) [Web 87, 2021]. Bu doğrultuda yeni HVAC sistemi, elektrik, tesisat, yangın alarm sistemleri, dış cephe, yüzme havuzu, dekor ve can güvenliği yükseltmelerini yapılmıştır [Web 88, 2021]



Şekil 4.16: Mimari model.

Yapının yeniden modellenmesi ve yeniden markalaştırılması sürecinde BIM teknolojisi tercih edilmiştir. Projeyi yürütmek için bir dizi BIM ve CAD aracı sağlayan Autodesk AEC Collection paketi kullanılmıştır. Bu paket tasarımcı, mühendis ve yüklenici gibi proje paydaşlarına erken tasarım aşamasından proje tamamlanana kadar bulut ortamında ortak veri kullanımı sağlamaktadır [Web 87, 2021; Web 88, 2021]. Proje için LOD 400 seviyesinde model oluşturulmuştur. Modelleme için Autodesk Revit, proje inceleme ve çakışma tespiti için Navisworks yazılımı kullanılmaktadır. Modele nesnelerin miktar, boyut, şekil, konum, malzeme ve renk gibi özelliklerine ek olarak imalat, birleşim, üretici firma, ürün kodu, ürün özellikleri ve kurulumla ilgili bilgiler de eklenmiştir. Yenileme projesi kapsamında BIM, simülasyonlar ile sonuç ürün hakkında fikir edinmeye, atıkları azaltmaya, inşaat sürecinde kontrol sağlamaya ve çakışma tespitleri ile olası hataların tasarım sürecinde revize edilmesine fayda sağlamaktadır [Web 89, 2021]. Aşağıda Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de Revit modelindeki mimari bölümlere yer verilmiştir [Web 87, 2021].



Şekil 4.17: Mimari bölümler.



Şekil 4.18: Mimari bölümler.

4.6.Boston Otel Projesi (Amerika)

Tarihi Engel-Cone Shoe Factory binası 1911'den bu yana Doğu Boston'ın silüetinde yer edinmiştir. 2019 yılında Russell ve Dawson tarafından tarihi danışmanlar eşliğinde bir otel binasına dönüştürülmüştür. Yeniden modelleme çalışması kapsamında mevcut veya değişen kullanım şartlarına göre önemli ölçüde düzenlemeler ve müdahaleler yapılmıştır (Tablo 4.6). 65.200 metrekarelik alana sahip arazide planlama, mimari ve mühendislik hizmetleri gerçekleştirilmiştir [Web 90, 2022].

Tablo 4.6: Boston Otel proje künyesi.

BOSTON OTEL	
KONUM	Boston, Massachusetts, ABD
YIL	2019
FİRMA	Russell ve Dawson
PROJE TİPİ	Otel
KAT	5
İNŞAAT ALANI	65.200 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yeniden Modelleme(remodelling)
DİJİTAL ARAÇ	Revit, AutoCAD, Tekla, Navisworks, Bluebeam, 3D Studio Max
BIM KULLANIMI	3D modelleme, yıkım planı oluşturma, cephe görselleştirme, iç mekan görselleştirme, birlikte çalışabilirlik, çakışma tespiti, proje inceleme

Önemli bir tarihe geçmişe sahip olan yapılara yapılan müdahaleler zorlu çalışmalar gerektirir. Yeniden modelleme otel projesi için ilk olarak proje planlaması yapıldıktan sonra mevcut yapının doğru bir biçimde güncel halinin haritalanması gerekmektedir. Yapı elemanlarının diğer yapı elemanları ve çeşitli sistemler ile nasıl ara yüz oluşturduğunu gösteren LOD 350 seviyesinde dış cephe ve iç mekan görselleştirmesini içeren model oluşturulmuştur (Şekil 4.19). Modelleme sürecinde Autodesk Revit'e ek olarak inşaat mühendisleri tarafından kullanılan Tekla Structures yazılımı kullanılmıştır. BIM modeli oluşturulduktan sonra yıkım planı

tasarlanır. Son olarak ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan analiz ve simulasyonlar ile yapının yeniden tasarımı gerçekleştirilir [Web 90, 2022].

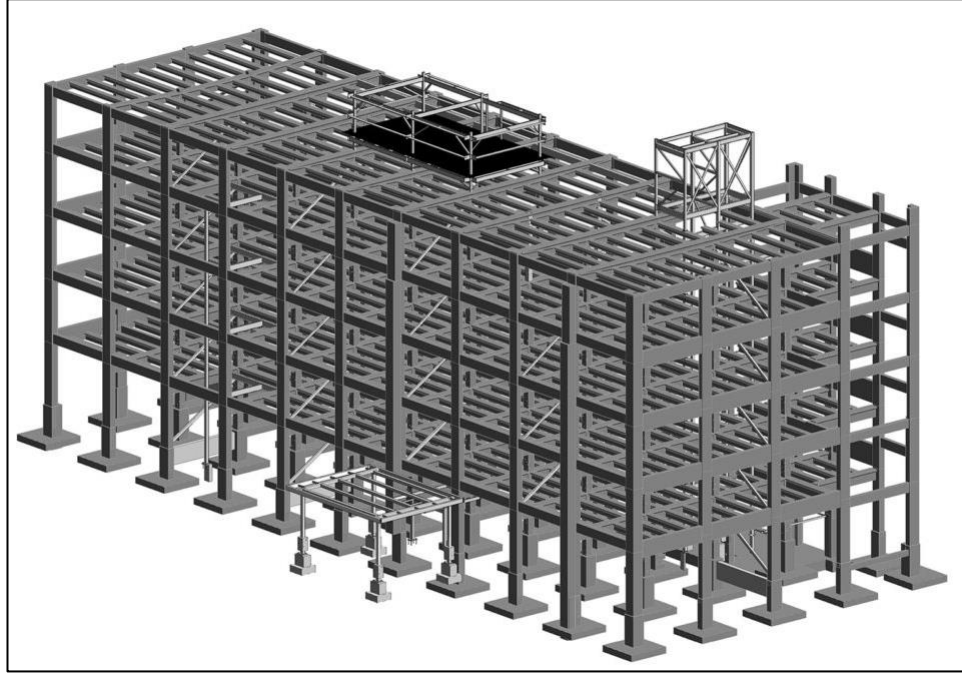


şekil 4.19: Boston Otel BIM modeli.

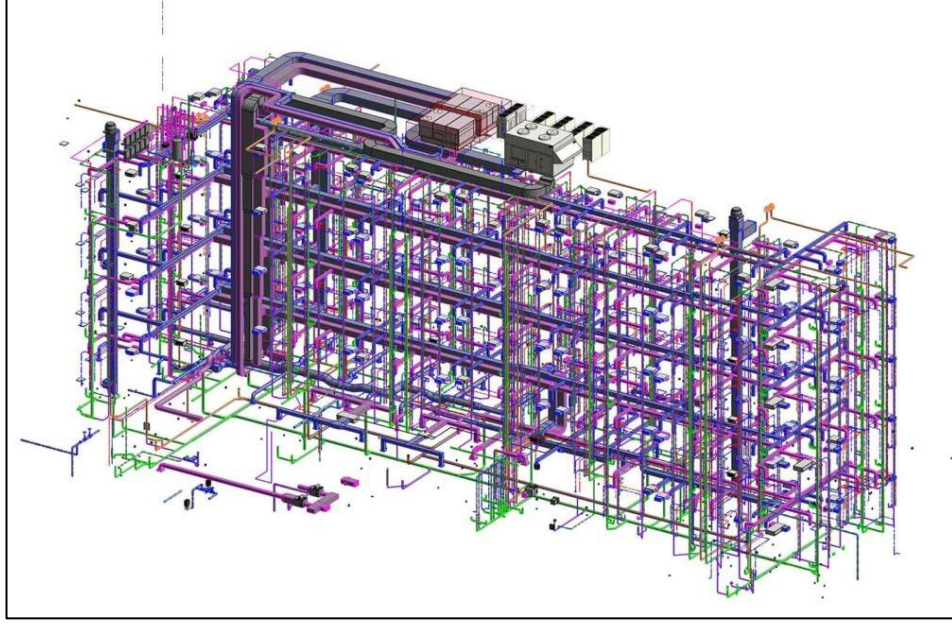
Tasarım sürecinde mimari, yapısal ve MEP mühendisleri planlama sürecinde hedeflenen tasarım için BIM modellerini oluşturmaktadır (şekil 4.20, şekil 4.21, şekil 4.22). Çok disiplinli bu süreç önemli bir koordinasyon gerektirmektedir. BIM bu noktada kullanıcılar arasında işbirliği sağlayarak proje sürecinde kontrolü sağlamada önemli rol oynamıştır. Aynı zamanda koordinasyon ve işbirliği gibi temel BIM hedeflerini doğrudan destekleyen Navisworks programında yapılan çakışma testleri ile tasarım sürecinde gözden kaçan hataların düzeltilmesi ile zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır [Web 91, 2022].



Şekil 4.20: Mimari Model.



Şekil 4.21: Yapısal Model.



Şekil 4.22: MEP Modeli.

4.7. Waterloo Tren İstasyonu Projesi (İngiltere)

İngiltere Londra’da bulunan Waterloo Tren İstasyonu projesinde dış hatlar terminalinin iç hatlar tarafından kullanmak üzere yenileme çalışması yapılmıştır. İstasyonun yeniden modelleme (remodelling) kapsamında değişen kullanım şartlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Proje sürecinde görselleştirme, ortak veri kullanımı, tesis yönetimi gibi avantajlarından dolayı BIM teknolojisi tercih edilmiştir (Tablo 4.7) [Web 92, 2022].

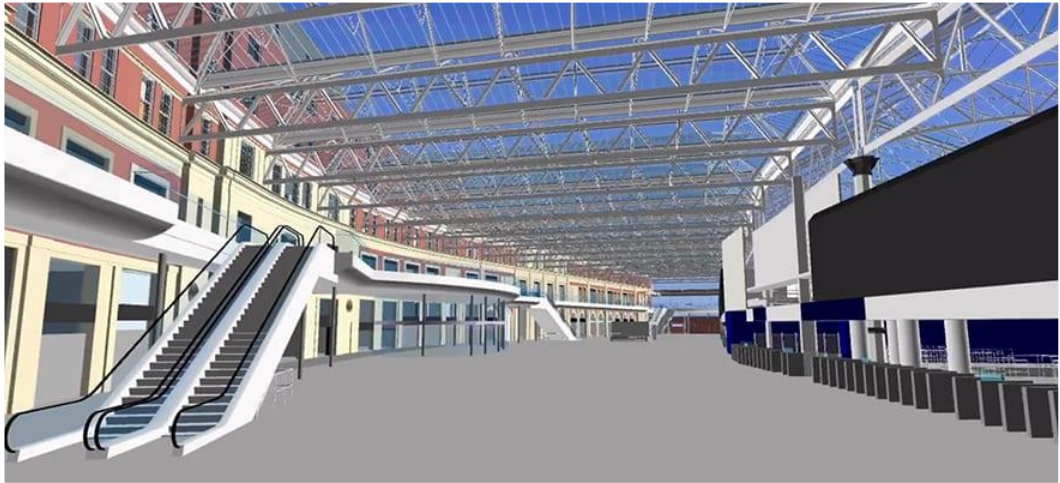
Tablo 4.7: Waterloo Tren İstasyonu proje künyesi.

WATERLOO TREN İSTASYONU	
KONUM	Londra, Birleşik Krallık
YIL	2019
FİRMA	Network Rail, LCR, Wessex Capacity Alliance
PROJE TİPİ	Ulaşım
KAT	—
İNŞAAT ALANI	245.000 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yeniden modelleme (remodelling)
DİJİTAL ARAÇ	Lazer tarama, Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD
BIM KULLANIMI	3D modelleme, görselleştirme, uygulama planı, ortak veri kullanımı, tesis yönetimi.

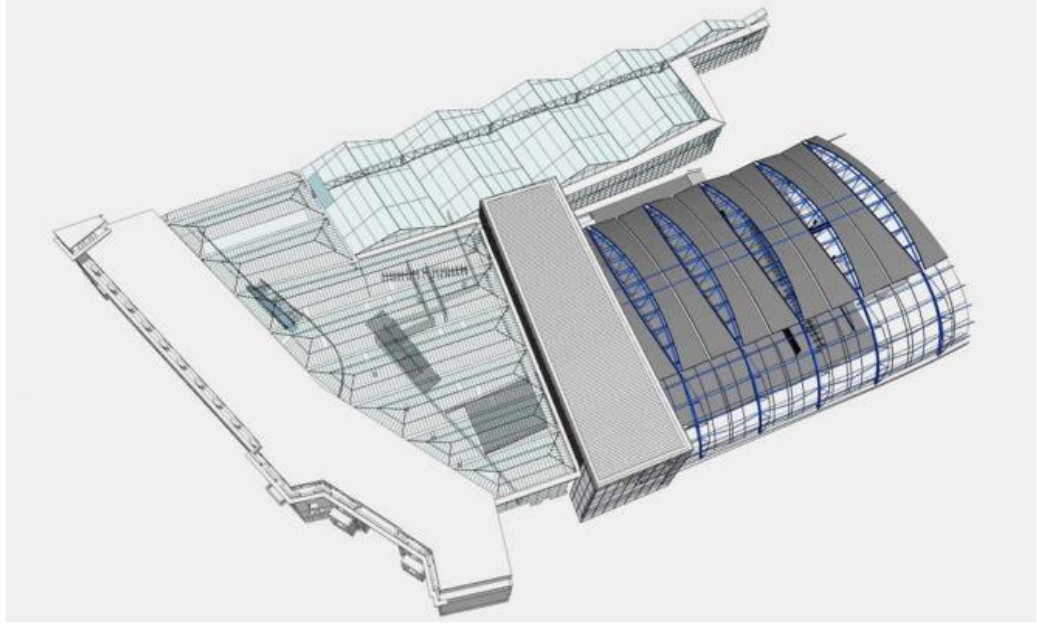
BIM teknolojisini proje sürecine etkili bir şekilde dahil edebilmek ve başarılı bir inşaat süreci gerçekleştirebilmek adına iyi bir planlamaya ihtiyaç vardır. Bu nedenle yenileme sürecine ilk olarak bir BIM Uygulama Planı oluşturularak başlanmıştır. Oluşturulan planda, proje kapsamı, saha sınırları, BIM araçları, iş akışları, modelin LOD seviyesi ve CAD standartları gibi proje bilgileri tanımlanmıştır. Tasarım sürecinde BIM modeli oluşturmak için öncelikli olarak yenileme yapılacak istasyonun verileri toplanarak mevcut yapı hakkında doğru ve güncel bilgilerin alınması gerekmektedir. Kullanım halinde olan istasyonda geç saatlerde son trenden sonra lazer tarama ile noktalar toplandı. Lazer taramanın proje için en önemli avantajı kısa sürede hızlı ilerleme kaydetmesi olmuştur. Toplanan veriler daha sonra BIM modeli oluşturmak için modele aktarılmıştır [Web 92, 2022]. Laing O'Rourke tarafından Waterloo İstasyonu'nun eksiksiz bir BIM modeli Autodesk Revit ve Graphisoft'un ArchiCAD yazılımının bir kombinasyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan model istasyondaki sermaye işlerinin yaklaşık 10 yıllık gelişimini planlamak için kullanılacaktır. Bu nedenle model, BIM'in 7D boyutu için ihtiyaç duyulan işletme detaylarını içeren LOD 500 seviyesinde oluşturulmuştur. Model, ana platformlar ve yolcu salonu, uluslararası terminal, istasyonun altındaki yer altı tünelleri, dış cepheler, kolonlar ve çelik I-

kirişler dahil olmak üzere yapının tüm detayları her biri malzeme, kaplama ve boyutlar öznitelik bilgileriyle gömülü olan detaylı ayrıntıya sahiptir [Web 93, 2022].

Saha hazırlık çalışmalarına Ekim 2015'te başlanan projede, Aralık 2015'te inşaat çalışmalarına başlanmıştır. İnşaat nedeniyle Nisan 2016'da istasyon tüm tren hizmetlerine kapatılmıştır. Kademeli olarak açılmaya başlayan istasyon Mayıs 2019'da tamamen açılmıştır [Web 94, 2022]. Yenileme sonunda istasyonun 100 yılı aşkın süredir kullanılan çatısının mevcut cam ve destek yapısı yenilenmiştir. Çatı yenilenirken yolcuların dış etkenlerden etkilememesi için mevcut çatının altına geçici çatı inşa edilmiştir. Mevcut WC alanları günümüz şartlarına ve tasarımlarına uyum sağlamadığı için yolcuların beklentilerini karşılayacak yeni tasarımlar yapılmıştır. Sıhhi, mekanik ve elektrik sistemlerinde iyileştirilmeler yapılmıştır [Web 95, 2022]. Yeni tasarımda aynı zamanda merdiven, asansör ve rampa gibi düşey sirkülasyon elemanları da yenilenmiştir [Web 96, 2022]. Aşağıda istasyon projesinin BIM modellerine ait görsellere yer verilmektedir (Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25) [Web 93, 2022; Web 96, 2022].



Şekil 4.23: Düşey sirkülasyon ve çatı modeli.



Şekil 4.24: Waterloo Tren İstasyonu BIM modeli.



Şekil 4.25: BIM modeli çatı strüktürünü gösteren kesit.

4.8. Acıbadem Maslak 1 Hastanesi Projesi (Türkiye)

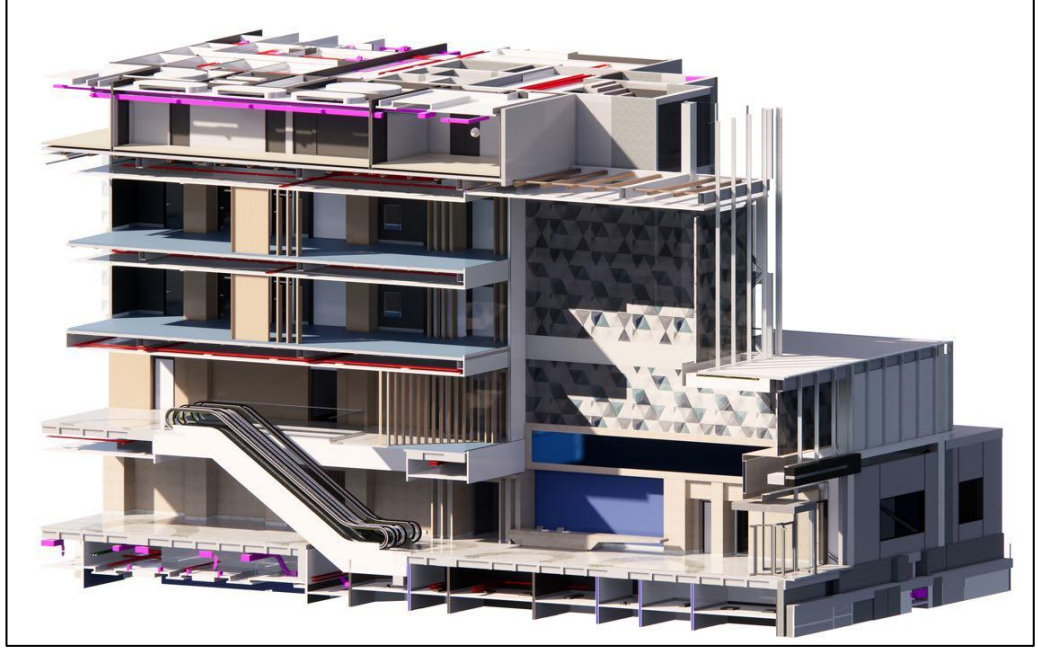
İstanbul’da yer alan Acıbadem Maslak 1 Hastanesi’nin inşası 2006 yılında tamamlanmıştır. 13.000 m²’lik arazi, 40.000 m² kapalı alana sahip olan hastanede 150 yatak ve 12 ameliyathane bulunmaktadır. Ormanlık bir alanda kurulan hastanenin ormana bakan ana bölümünde geçişi yumuşatarak blok etkisini azaltmak amacıyla cephe tasarımı çift cidarlı cam kabuk tercih edilmiştir [Web 97, 2023]. Altyapısı tamamen dijital olan ve akıllı bina teknolojisi ile donatılan hastane tek bir merkezden işletilmektedir [Web 98, 2023].

Tablo 4.8: Acıbadem Maslak 1 Hastanesi proje künyesi.

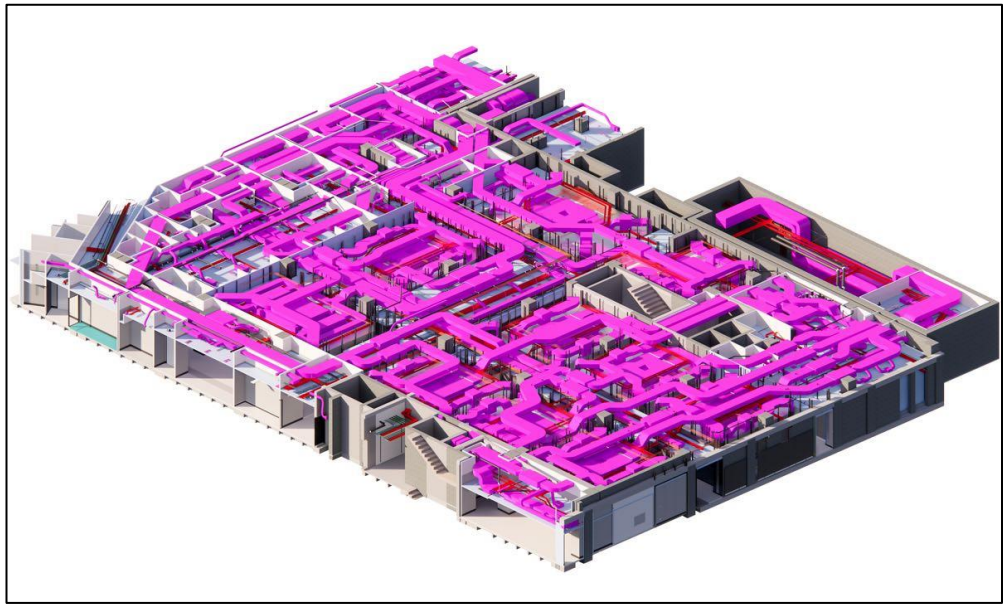
ACIBADEM MASLAK 1 HASTANESİ	
KONUM	İstanbul, Türkiye
YIL	2020
FİRMA	Acıbadem Proje Yönetimi
PROJE TİPİ	Sağlık
KAT	5
İNŞAAT ALANI	30.000 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Yeniden modelleme (remodelling)
DİJİTAL ARAÇ	—
BIM KULLANIMI	3D modelleme, planlama, proje yönetimi, işbirliği

2020 yılında İstanbul’da bulunan mevcut hastane yapısının toplamda 30.000 m² kapalı alanı yenilenerek yeni teknolojiler ile donatılmıştır (Tablo 4.8). Tasarım, medikal planlama, inşaat, proje yönetimi ve medikal ekipman tedarikini içerek çalışma kapsamında ameliyathaneler, poliklinikler, fizik tedavi ve rehabilitasyon, kafeterya ve lobi alanları yenilenmiştir [Web 99, 2023]. Ameliyathanelerin yenilenmesinde ‘modüler sistemler’ kullanılmıştır. Halihazırda bulunan sekiz ameliyathane tamamen yıkılarak 10 ameliyathane olacak biçimde yeniden tasarlanarak yenilenmiştir. Bu süreçte tüm alt yapı, medikal cihazlar ve duvar sistemi

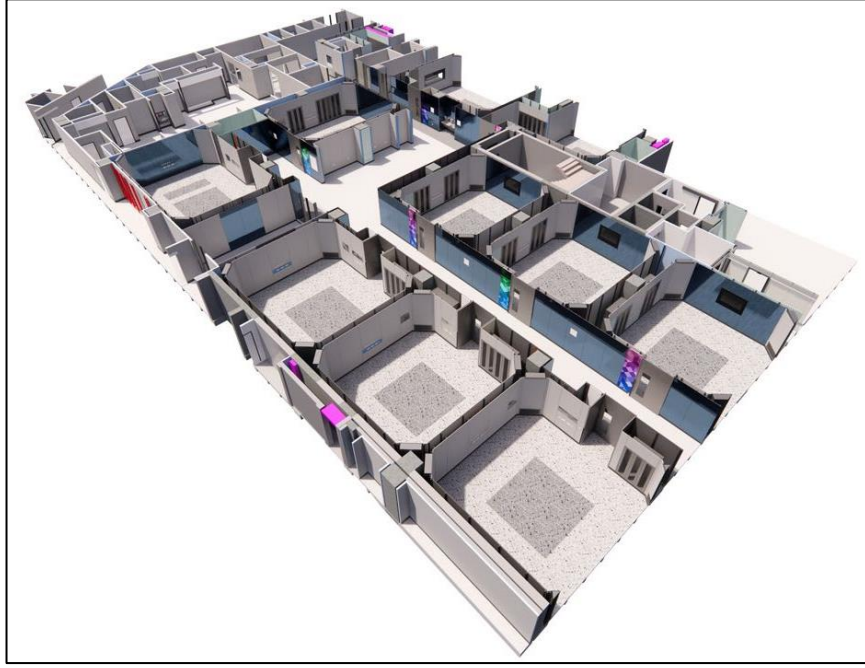
değiştirilmiştir. Mekanik, elektrik, medikal, mimari ve diğer tüm proje paydaşları BIM modeli üzerinde koordinasyon kurarak işbirliği sağlamıştır. Teknolojinin sağladığı planlama, proje yönetimi ve modüler sistem montajının sağladığı hız ile beraber proje söküm dahil tüm inşaat 70 gün tamamlanmıştır [Web100, 2023]. Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de projenin BIM modeline ait görseller mevcuttur [Web 99, 2023].



Şekil 4.26: Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.



Şekil 4.27: Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.



Şekil 4.28: Acıbadem Maslak 1 Hastanesi BIM modeli.

Hastane yenilemesini gerçekleştiren Acıbadem Proje Yönetimi (APY)'nin, uzmanlık alanı hastane olmakla beraber, yönetim tasarladıkları tüm yenileme projelerinde (okul, yurt gibi) BIM teknolojisini tercih etmektedir. 3D modellemenin tasarım sürecini hızlandırması, üretimi yapılacak tüm imalatların takibinin doğruluğu, siparişlerin BIM modeli üzerinden takibi, iş programının modele entegre olarak takibinin yapılması gibi katkılarından dolayı 2011 yılından bu yana projelerinde BIM teknolojisini kullanmaktadırlar. Yapılan görüşmelerde APY, BIM'in yenileme projelerine sağladığı potansiyel faydalara;

'yenileme projeleri genel anlamda hızlı tamamlanması gereken süreçler olmaktadır. Bu sürecin hızla beraber doğru şekilde yürütülebilmesi de çok önemlidir. BIM bütüncül bir şekilde renove edilecek alanların takibini kolaylaştırdığı için oldukça fayda sağlamaktadır.'

şeklinde yanıt vermiştir. Ek olarak BIM'in yenileme projelerindeki olumlu yönlerine,

'yenileme projelerinde imalata uygun tüm disiplinlerde daha doğru projelendirme yapılması ve sahaya koordinasyonu tamamlanmış projelerle başlanması';

olumsuz yönlerine ise,

‘2D çizimlere göre daha uzun sürelerde projelendirmenin yapılması’,

açıklamasını yapmıştır [APY, 2023].

4.9. De Castilla 23 Projesi (İtalya)

De Castilla 23 Milano’da bulunan, yıllardır bitmemiş ve terk edilmiş bir yapıdır. Zamanında tamamlanmayan ‘V’ formunda biçimlenen yapının alt katları dinlenme odası ve ofisler, üst katlar ise ayrıcalıklı özel ofisler için tasarlanmıştır. 2020 yılında tamamlanan yenileme, şehir ve iç mekan arasında bir bağlantı kurmak, kamu ve özeli birleştirmek için yapının zemin seviyesinde açıklıklar yapılmasının yanında işlevselliği, enerji performansını ve genel verimliliği artırmayı amaçlayan çok yönlü bir çalışmayı kapsamaktadır (Tablo 4.9) [Web 101, 2021]. Bu proje, mevcut yapılarda sürdürülebilir tasarımın yenileme çalışmalarıyla mümkün olabileceğini göstermektedir [Web 102, 2021].

Tablo 4.9: De Castilla 23 proje künyesi.

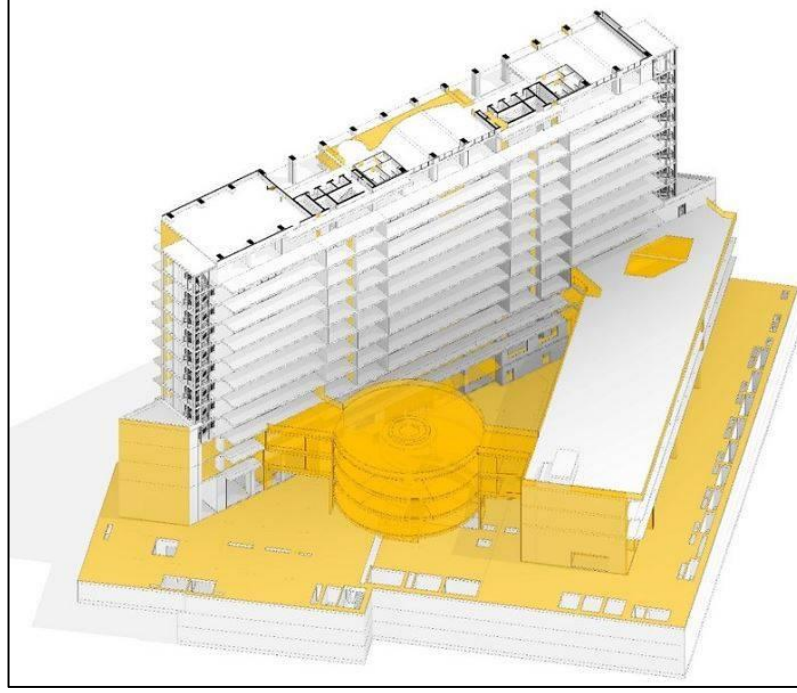
DE CASTILLA 23	
KONUM	Milano, İtalya
YIL	2020
FİRMA	Progetto CMR
PROJE TİPİ	Ofis
KAT	13
İNŞAAT ALANI	11.500 m ²
YENİLEME TÜRÜ	Restorasyon (restoration)
DİJİTAL ARAÇ	Autodesk Revit
BIM KULLANIMI	3D modelleme, analiz, simülasyon, birlikte çalışabilirlik, çakışma tespiti, parametrik modelleme, tesis yönetimi

Projenin tasarım ve yapım süreci BIM teknolojisi ile tamamen dijital ortamda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.29). BIM kullanma amaçlarından biri dijital dünyanın

sunduğu avantajlardan yararlanarak projeyi ve şantiyeyi yönetme kolaylığı sağlamaktır. 4D BIM sayesinde projeye katılan uzmanlar farklı senaryoları yapım aşamasına geçilmeden değerdendirerek en uygun inşaat planını seçebilmişlerdir. Böylelikle düzeltme ve gecikmelerin önüne geçilerek zaman, iş gücü ve maliyetten tasarruf edilmiştir. Çalışma mevcut bir yapının tamamlanması olduğu için bazı yıkım işlerini de içermektedir. Zeminde bulunan iki kat ofis binasına dönüştürülmüştür. Ardından mevcut erişim rampası yıkılmıştır (Şekil 4.30). Karmaşık olan bu aşama dijitalleştirilerek farklı senaryo sonuçlarına göre yıkım sırasının seçimi yapılmıştır [Web 101, 2021].



Şekil 4.29: Revit BIM modeli.

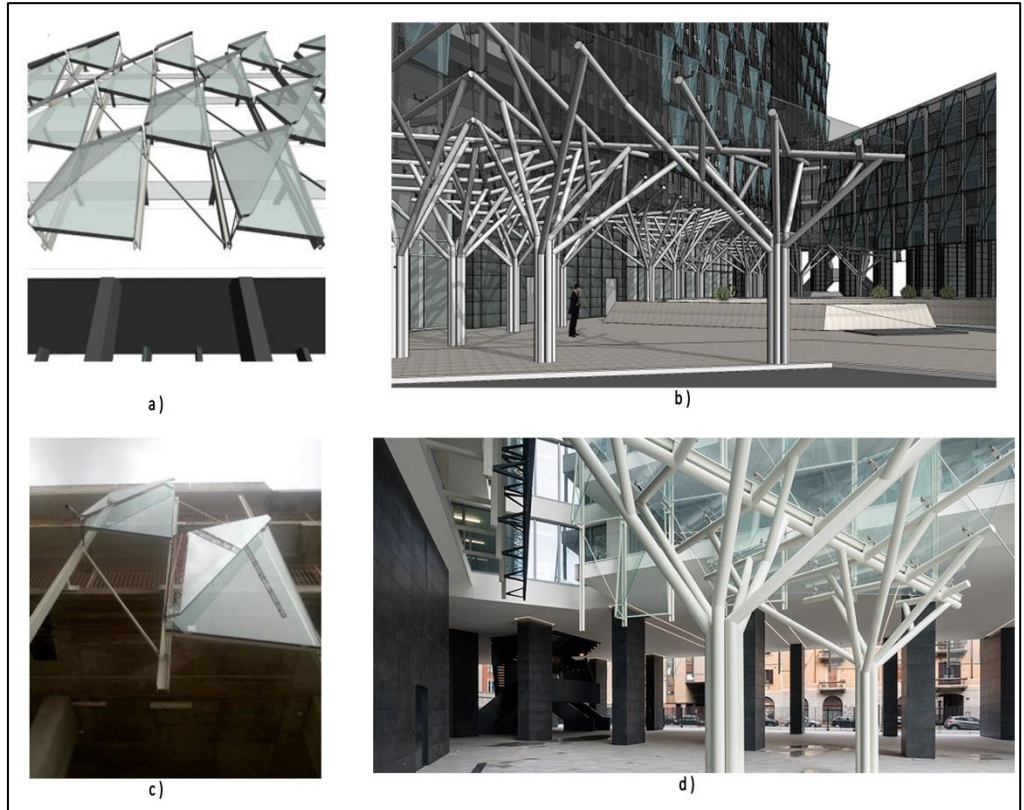


Şekil 4.30: Revit'te rampayı yıkma görüntüsü.

Yapının en dikkat çeken yönü, tamamen BIM yöntemine dayalı olarak tasarlanan dinamik hareket etkisi veren üçgen formlu cephesidir (Şekil 4.31). Enerji analizleri yapılarak ışığın yansımaları, yapının havalandırılması ve enerji tüketimi dikkate alınarak bina kabuğunun formuna ve açısına karar verilmiştir [Web 103, 2021]. Açılarının ve şeffaflığın ön planda olduğu cephede ışığın yansımalarına bağlı olarak farklı ışık efektleri oluşmaktadır [Web 104, 2021]. Bu etkiyi elde edebilmek için birçok farklı tasarım seçeneği, BIM ve sunduğu dijital araçlar yardımıyla tasarım aşamasındayken karşılaştırılarak karar verilmiştir. İnşaat sürecince dahi hedeflenen sonuçlara ulaşabilmek için BIM modellerinden yararlanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.32’de tasarım modeli ve inşaat sürecindeki yapı karşılaştırmaları bulunmaktadır [Web 105, 2021; Web 101, 2021; Web 106, 2021]. BIM, Milano’da bulunan bu projede yaratıcı yenileme sürecinin form, yenilik ve sürdürülebilirlik anlamındaki kilit noktası konumundadır.



Şekil 4.31: De Castilla 23 cephesi.



Şekil 4.32: a)De Castilla 23 BIM modeli, b) De Castilla 23 BIM modeli, c)uygulama, d)uygulama.

4.10. Brescia Akıllı Kampüs Projesi (Amerika)

ABD’de yer alan Brescia Akıllı Kampüs Projesi’nde; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi enerji sistemleriyle mevcut bina iyileştirilerek enerji verimliliğini artırmak hedeflenmiştir. Proje kapsamında, dış cephe yenileme, akıllı enerji toplama kontrolü ve yapı hizmetlerinin verimliliğinin iyileştirilmesi çalışmaları yapılmıştır (Tablo 4.10) [Haliburton, 2016].

Mevcut yapı ulusal enerji yasalarından önce inşa edilmiştir. Bu sebeple dış cephe, gereken minimum değerlerin altında ve enerji tasarrufuna izin vermemektedir. Ek olarak sınıflardaki termal koşullar ve iç hava kalitesi uygun bir konfor seviyesi oluşturmamaktadır. Güneydoğu cephesinde cam bulunan alanlarda cepheye vuran güneş etkisini azaltmak için kullanılan gölgeleme sistemleri de yeteri kadar verimli değildir. Proje süreci genel olarak, mevcut enerji kullanım analizi, yenilebilir enerji kaynaklarıyla enerji üretim sistemleri kurulumu ve son olarak akıllı sistemler ve alınan önlemlerle ne kadar verim alındığının test edilmesi şeklinde özetlenmektedir [De Angelis vd., 2015].

Tablo 4.10: Brescia Akıllı Kampüs proje Künyesi.

BRESCIA AKILLI KAMPÜS PROJESİ	
KONUM	Owensboro, Kentucky, ABD
YIL	—
FİRMA	—
PROJE TİPİ	Eğitim
KAT	3
İNŞAAT ALANI	—
YENİLEME TÜRÜ	Güçlendirme (retrofitting)
DİJİTAL ARAÇ	Lazer Tarama, Autodesk Revit, Sketchup, Eneryplus, Open Studio.
BIM KULLANIMI	3D Modelleme, Birlikte çalışabilirlik, analiz.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda enerji tasarrufu, doğru iç mekan havalandırması için açıklıkların kullanımı, cephede güneş kırıcı ve gölgelendirme sistemiyle içeriye giren güneş ışığından uygun şekillerde yararlanılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir [Sur, 2020]. Enerji talebini azaltmaya yönelik olan bu çalışmalar aşağıda açıklanmış ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir [De Angelis vd., 2015].

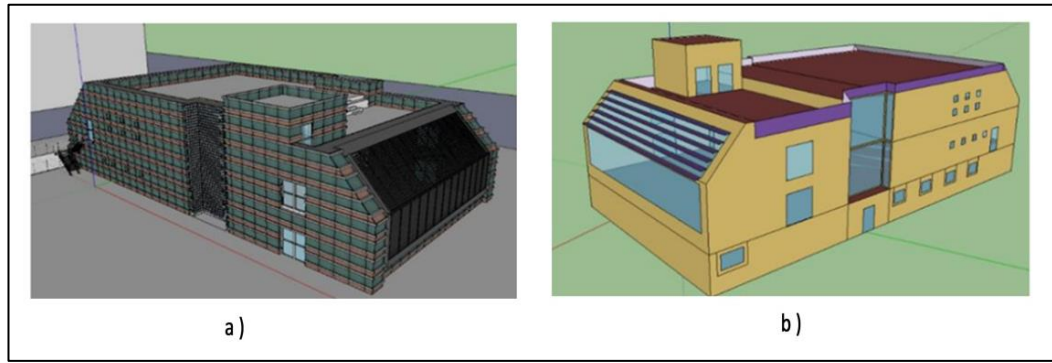
- Güneydoğu cephesinin eğimli kısmına güneş kırıcı gölgeleme panelleri eklenmiştir.
- Dikey camlı cephede termal geçirgenlik artırılarak güneş enerjisinden kazanç sağlanmıştır.
- Duvarlara 3 cm poliüretan iç yalıtım malzemesi eklenmiştir.
- Çatı için 7,5 cm’lik bir yalıtım katmanı eklenmiştir.
- Kuzeydoğu cephesinde pencerelerde yeniden boyutlandırılmaya gidilerek değişim yapılmıştır.
- Enerji üretmek ve düz çatıyı gölgelemek için çatıya güneş enerjisi sistemleri kurulmuştur.
- Atriyumdaki camlı cephede sabah 7 ve akşam 7 saatleri arasında açılıp kapanabilen açıklıklar oluşturulmuştur.
- Atriyum ve sınıflara eklenen akıllı pencereler ile tüm gün boyunca havalandırmaya olanak sağlanmıştır [De Angelis vd., 2015].



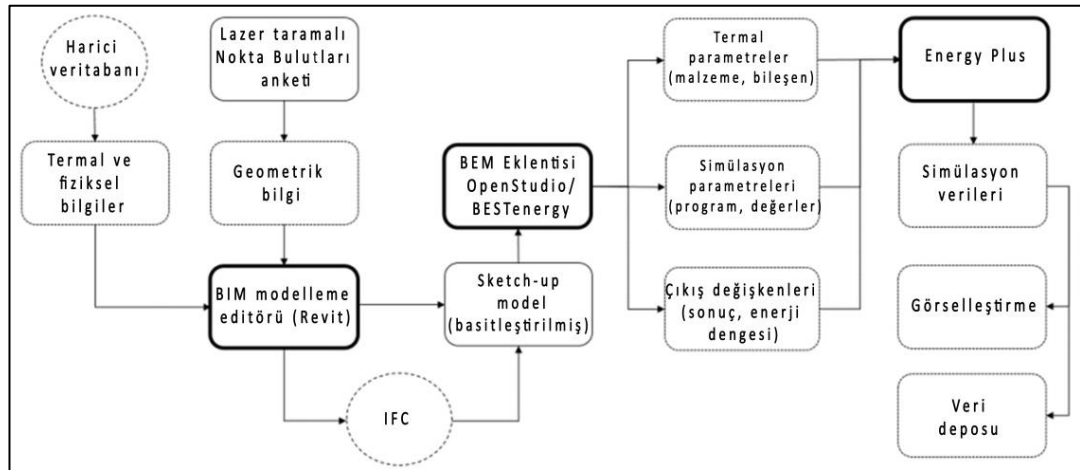
Şekil 4.33: Yapılan yenileme çalışmalarının Revit ortamında model ile gösterimi.

Yenileme projesinde, mimar, inşaat, mekanik ve elektrik mühendisi gibi farklı uzmanlar planlanan analiz ve çalışmaları gerçekleştirmek için bir arada

çalışmaktadır. Böyle bir projenin başarısı için bilgi alışverişi oldukça önemlidir. Birlikte çalışabilirliğe ek olarak projede; modelleme, analiz, yeni eklenen sistemlerin uyumluluğunu test etmek için BIM teknolojisi kullanılmıştır. Yenileme sürecinde ilk olarak; mevcut bina hakkında en güncel ve güvenilir proje verilerini oluşturmak için lazer tarama teknolojisi ile saha taraması yapılmıştır. Sonrasında, nokta bulutu verileri proje modelini oluşturmak için BIM ortamına aktarılmıştır. BIM sürecinde model oluşturmak için Revit programı kullanılmıştır. Ek olarak yenileme sırasında enerji analizleri için Energyplus ve Open Studio/Sketchup yazılımları kullanılarak, projedeki akıllı sistemler ve alınan enerji güçlendirme yöntemleri test edilmiştir (Şekil 4.34). IFC dönüştürücü aracılığıyla bilgi paylaşımı sağlanmıştır. Süreç aşağıda Şekil 4.35’de açıklanmaktadır [De Angelis vd., 2015].



Şekil 4.34: (a) Revit modeli (b) Sketchup modeline aktarım.



Şekil 4.35: Analiz verilerini çıkarmak için bir BEM modeli oluşturmak üzere BIM modelinden bilgi çıkarma işlemi.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez kapsamında incelenen örnek yenileme projelerine yönelik edinilen bilgiler Tablo 5.1’ de özetlenmiştir. Tabloda, dünyada ve Türkiye’de yenileme sürecinde BIM teknolojisi kullanılan çeşitli işlev ve büyüklüklerde 10 adet projeye detaylarına yer verilmiştir.

Tablo 5.1: Örnek proje incelemesi.

ÖRNEKLER	YIL	ÜLKE	PROJE TİPİ	KAT	İNŞAAT ALANI	YENİLEME TÜRÜ	BIM KULLANIMI				
							DİJİTAL ARAÇ	nD (ÇOK BOYUTLULUK)	LOD (DETAY SEVİYESİ)	ÇAKIŞMA TESPİTİ	UYGULAMA SÜRECİ
Sorsby Tıbbi Uygulama Merkezi	2012	İngiltere	Sağlık	2	—	Yenileme (renovation)	Lazer tarama	3D,6D, 7D	—	—	Planlama Tasarım Yapım
Prens Muhammed Bin Abdul-Aziz Havalimanı	2015	Suudi Arabistan	Ulaşım	—	156.940 m ²	Yeniden modelleme (remodelling)	Revit, Navisworks, BIMCAVE	3D,6D, 7D	LOD 500	+	Planlama Tasarım Yapım Tesis Yönetimi
Penn İlköğretim Okulu	2015	ABD	Eğitim	—	42.626 m ²	Yenileme (renovation)	—	3D,5D, 6D	LOD 300	+	Planlama Tasarım Yapım
Woodseat Hall	2016	İngiltere	—	2	—	Dönüştürme (conversion)	Lazer tarama, Revit	—	—	—	HBIM
Holiday Inn Express Oteli	2018	ABD	Otel	5	63.358 m ²	Yenileme/ Yeniden modelleme	Revit, 3ds Max, Navisworks, Bluebeam	3D,5D, 6D	LOD400	+	Planlama Tasarım Yapım
Boston Oteli	2019	ABD	Otel	5	65.200 m ²	Yeniden modelleme (remodelling)	Revit, AutoCAD, Tekla, 3ds Max, Navisworks, Bluebeam	3D,4D, 6D	LOD350	+	Planlama Tasarım Yapım
Waterloo Tren İstasyonu	2019	İngiltere	Ulaşım	—	245.000 m ²	Yeniden modelleme (remodelling)	Lazer tarama, Revit, ArchiCAD	3D	LOD 500	—	Planlama Tasarım Yapım Tesis Yönetimi
Acıbadem Maslak 1 Hastanesi	2020	Türkiye	Sağlık	5	30.000 m ²	Yeniden modelleme (remodelling)	—	3D,4D, 5D	—	—	Planlama Tasarım Yapım
De Castilla 23	2020	İtalya	Ofis	13	11.500 m ²	Restorasyon (restoration)	Revit	3D,4D, 6D,7D	—	+	Planlama Tasarım Yapım Tesis Yönetimi
Brescia Akıllı Kampüs	—	ABD	Eğitim	3	—	Güçlendirme (retrofitting)	Lazer tarama, Revit, Sketchup, Open Studio, EnergyPlus	3D,6D	—	—	Tasarım Yapım

İncelenen örnekler yenileme sürecinde BIM teknolojisini kullanan projeleri kapsamaktadır. Yenileme sürecindeki BIM kullanımında örnek projelerden de görüldüğü üzere özellikle 2015 sonrasında bu tür projelerde BIM kullanımında bir artış bulunmaktadır. BIM ile yenileme kültür mirası ya da bu özelliği olmayan

yapılarda kullanılabilmektedir. Projelerin ülkelere dağılımına bakıldığında özellikle ABD başta olmak üzere, ABD ve İngiltere’de büyük bir yoğunluk olduğu görülmektedir. ABD, BIM yaklaşımında kendi standartlarını geliştirmiş ve bazı projeler için BIM kullanımını zorunlu kılmıştır. Benzer şekilde İngiltere’nin de BIM kullanımını zorunlu hale getirmek için en az ikinci seviyede BIM platformlarının kullanımı zorunluluğu getirildiği, uygulama planları ve standartlar yayınladığı bilinmektedir. Türkiye’de ise BIM kullanımı henüz başlangıç aşamasında olmakla beraber daha çok büyük ölçekli ve karmaşık projelerde kullanımına rastlanmaktadır. Buradan hareketle ülkelerin getirdiği yasal zorunluluk ve standartların yenileme projeleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu söylemek mümkündür.

Tez çalışması sonucunda ayrıca, incelenen örnek projelerden yola çıkıldığında yenileme çalışmalarının ulaşım, sağlık, otel, eğitim, ofis gibi büyük ölçekli yapılarda uygulandığı görülmüştür. Yenileme çalışmasındaki amaç ise genel olarak eskiyen kısımlara yapılan müdahalelerle mevcut görünümü ve kullanıcı konforunu iyileştirme, aynı zamanda enerji verimliliği sağlama ve değişen kullanım şartlarına göre büyük müdahaleler ile düzenleme yapmak olarak gözlenmiştir. Bu sebeple yenileme (renovation) ve yeniden modelleme (remodelling) çalışmalarında kullanımın ön planda olduğu görülmüştür.

İncelenen örnek projelerde kullanılan dijital araçlar projeden projeye göre farklılık göstermektedir. Ancak genel olarak mevcut yapıların halihazırda BIM modelinin bulunmadığı ve BIM’e tarama olarak adlandırılan (Durum III), lazer tarama teknolojileri kullanılarak BIM modeli oluşturulduğu görülmektedir. BIM modeli oluşturmak için Autodesk Revit ve proje incelemesi ve çakışma tespiti için Navisworks araçlarının kullanıldığı belirlenmiştir. Enerji analizi ve simulasyonu yapılan projelerde ise EnergyPlus ve Ecotect araçlarının kullanıldığına rastlanmıştır.

Projelerde BIM’in genellikle mevcut durumu temsil eden 3D boyutu ve sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği ile ilgili olan 6D boyutu kullanılmaktadır. Ulaşım, hastane ve ofis gibi yapılarda işletim sürecinde de modeli kullanmak bakım ve onarımları gerçekleştirebilmek amacıyla 7D BIM modeline rastlanmıştır. Projelerde genellikle LOD detay seviyeleri hakkında bilgi bulunmamakla beraber 7D kullanılan projelerde LOD 500 seviyesinde üretilmiş olduklarına dair verilerle karşılaşılmıştır. Ayrıca, otel projelerinde (özellikle zincir oteller) ise modelin barındırdığı nesnelere ait öznitelik bilgilerini içeren LOD 400 seviyesi tercih edilmektedir.

Yenileme süreçlerinde BIM teknolojisi kullanılan mevcut bina yenileme projelerinin yapım aşamalarında ortaya çıkabilecek çakışma ve hataları önlemek, zaman ve maliyet verimliliği sağlamak gibi amaçlarla projelerin tasarım aşamalarında çakışma testlerinin yapıldığı görülmüştür. Projelerdeki BIM süreci genel olarak planlama, tasarım ve yapım olmakla beraber ulaşım ve ofis yapılarında ek olarak tesis yönetimi süreçlerindeki kullanımına da rastlanmıştır.

BIM teknolojinin yapıların yenileme süreçlerindeki kullanımının araştırıldığı bu çalışmayla; yenileme süreçlerinde BIM teknolojisini tercih etmiş olan örnek projelerin son yıllarda yapılmış ve büyük ölçekli projeler olduğu bilgileri ile karşılaşılmıştır. İncelenen eğitim, ulaşım, sağlık, otel ve ofis yapılarında genel olarak bilgilerin kalıcı olmasını sağlamak, ekipler arası koordinasyon, mekanik, elektrik, tesisat yenilemeleri, etkili proje yönetimi ve enerji analizleri için BIM yazılımlarını tercih ettikleri görülmüştür. Yenileme projeleri güncel bilgi eksikliklerinden dolayı olası riskleri ve belirsizlikleri beraberinde getirir. Literatür taraması ve örnek proje incelemesinden elde edilen verilere göre yenileme süreçlerindeki BIM teknolojisi kullanımının, bilgi bütünlüğü, verimlilik artışı, proje bütünlüğü, daha iyi iletişim, erken proje aşamalarındaki tasarım alternatifleri, analizler ve etkili proje yönetimi ile gecikmelerin, hataların, eksiklerin, atıkların ve maliyetin azaltılmasına katkı sağladığı görülmüştür.

BIM'in kullanıldığı mevcut yenileme süreçlerinde, olumlu yanlara ek olarak bir takım olumsuzluk ve zorlukların yaşandığı tez çalışması sonucunda tespit edilmiştir. Bunlar; BIM ile bütünleşmiş araçlar ve teknolojik altyapı, eğitim ve yetkinlik, maliyet ve kaynaklar, veri uyumsuzluğu, veri uyumu ve modelleme zorlukları olarak özetlenebilir. Bu tür zorlukların; gelişen teknoloji, doğru planlama, uygun kaynaklar ve eğitim ile üstesinden gelinebileceği öngörülmektedir.

BIM'in uygulandığı projelerde gösterdiği faydaları sayesinde BIM kullanımı, dünyada ve ülkemizde giderek artmaktadır. Buna karşın, kullanımlar çoğunlukla yeni inşaat projeleri için geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu anlamda, BIM teknolojinin, yenileme projelerinde kullanım potansiyeli henüz daha az araştırılmaktadır. Geleneksel yöntemlerle çalışan firmaların; uzman eksikliği, üretkenlik kaybı, verimlilik, iş akışı, zaman ve maliyet kaybı gibi endişelerinin bu hususta etkili olduğu gözlenmektedir. Yenileme sürecinde karşılaşılan sorunların tespit edilip bu sorunlara karşı BIM kullanımının avantajlarının araştırılması gerekmektedir. Bu durum, BIM'in mevcut binalar üzerindeki verimliliğinin

anlaşılmasında önem taşımaktadır. Mevcut bina stokunun büyük çoğunluğunun mekansal kalitesini ve düşük performansını iyileştirmeye yönelik toplumsal ihtiyaçları açısından dikkate alınırsa; BIM teknolojisinin mevcut yapı yenilemelerinde daha verimli, akıllı ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunabileceği görülmektedir. Bu sebeple, hem akademinin hem sanayinin birlikte çalışmalar yürüterek BIM'in sektöre uyumunu artırması ve sektörle bütünleşmesi önerilmektedir. Özellikle mimarlık ve mühendislik fakültelerinde bu konu hakkında eğitimler verilmesi yeni neslin farkındalığı için önem teşkil etmektedir. Ek olarak deneyimin, yetişmiş iş gücünün ve mevcut yapılar için yasal düzenlemelerin artırılması konularında adımların atılmasının bu açılardan katkı sağlayacağı ön görülmektedir. Literatür taraması ve incelenen örnek projelerden hareketle;

- Mevcut yapılardaki örnek vaka çalışmalarının, karşılaşılan sorunların ve çözümlerin sayılarının artırılmasının,
- Mevcut yapılar için BIM modelleri oluşturularak olası yenileme alternatiflerinin, bina performans değerlendirmesinin ve maliyet hesaplamalarının yapılmasının

ileride yapılacak yenileme çalışmalarına ve akademik araştırmalara yön vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ademci M.E., (2018), “An Analysis Of BIM Adoption In Turkish Architectural, Engineering And Construction (Aec) Industry”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

AIA-The American Institute for Architects, (2008), “Document E202-2008-Building Information Modelling Protocol Exhibit”, American Institute of Architects, Washington.

Akgüç A., (2017), “Energy Plus ve Design Builder simülasyon araçlarının işlevi ve kullanımına yönelik genel bir bakış”, TTMD Dergisi, Sayı-11 (Ek).

Akkaya D., (2012), “İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi Hakkında İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Akkoyunlu T., (2015), “Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin Bım Uygulama Planı Önerisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Alat H., (2019), “Konut Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımı: Örnek Vaka Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.

Alavi S., Forcada N., Bortolini R., Edwards D.J., (2021), “Enhancing Occupants' Comfort Through BIM-Based Probabilistic Approach”, Automation in construction, March 2021, vol. 123, p. 103528/1-103528/14.

Antonopoulou S., Arch D., Cons A., Bryan P., FRICS, (2017), “Historic England 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model”, Swindon, Historic England.

APY, (2023), “Acıbadem Proje Yönetimi Yazışma”, 23.06.2023.

Atabay Ş., Öztürk M.B., (2019), “Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulama Planı Üzerine İnceleme”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(2), 418 – 430.

Aydın Ö., (2019) “Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği”, Mimarlık ve Yaşam Dergisi Cilt: 4, No: 1, 2019 (55-68).

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”, Proceedings of the First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I), Karachi, Pakistan, 435-446.

Bahadır Ü., (2018), “Yenileme Projelerinin Yönetim Süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesinin Kullanımı: Vaka Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Castellano-Román M., Pinto-Puerto F., (2019), “Dimensions and levels of knowledge in heritage building information modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)”, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14, e00110.

Caterino N., Nuzzo I., Ianniello A., Varchetta G., Cosenza E., (2021), “A BIM-Based Decision-Making Framework For Optimal Seismic Retrofit Of Existing Buildings”, *Engineering Structures*, 242, 112544.

Cepurnaite J., Ustinovicus L., Vaisnoras M., (2017), “Modernization with BIM technology through scanning building information”, *Procedia engineering*, 208, 8-13.

Charef R., (2022), “The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D)”, *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414.

Cho Y.K., Ham Y., Golpavar-Fard M., (2015), “3D as-is building energy modeling and diagnostics: A review of the state-of-the-art”, *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 184-195.

Çakmak C., Erdal M., Ekinci V., (2022) “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun Kapsamında Riskli Yapı Tespit Süreci Teşvikler ve Maliyet Analizi: Bir Vaka Çalışması”, *Politeknik Dergisi*.

Çuhadar F.G., (2017), “Mimarlık Hizmeti Kapsamında Bina Bilgi Modelleme: "G Villa" Konut Projesi”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi*.

D'Angelo L., Hajdukiewicz M., Seri F., Keane M.M., (2022), “A novel BIM-based process workflow for building retrofit”, *Journal of Building Engineering*, 50, 104163.

Daneshvartarigh F., (2021), “Application Of BIM In Renovation Projects In Europe”, *Master Thesis, Metropolia University of Applied Sciences, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin University of Applied Sciences*.

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

De Angelis E., Ciribini A.L.C., Tagliabue L.C., Paneron, M., (2015), “The Brescia Smart Campus Demonstrator. Renovation toward a zero energy classroom building”, *Procedia engineering*, 118, 735-743.

Demircan K., Alp N.Ç., (2020), “Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş Sürecinde Yaşanan Anlaşmazlık ve Uyuşmazlıklar”, *Artium*, 8(2), 135-144.

Ding Z., Liu S., Liao L., Zhang L., (2019), “A Digital Construction Framework Integrating Building Information Modeling And Reverse Engineering Technologies For Renovation Projects”, *Automation in Construction*, 102, 45-58.

Douglas J., (2006)., “Building Adaptation”, Routledge.

Duru S., Badem Y., (2015)“Tesis Yönetiminde BIM: TAV Örneği”, MBL 607E Yapı Bilgi Modelleme Dersi Vaka Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Duru M.O., Koç İ., (2021), “Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Lca) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (Bim) İle Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma”, STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi , 2 (3) , 107-121.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., (2011), “BIM Handbook, A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”, John Wiley and Sons Inc., New Jersey.

Ekinci S., (2014), “Mevcut Yapıların Uyarlanabilirlik Kapasitesini Belirleme Ve Değerlendirme Yöntemi”, Doktora Tezi, MSGSÜ, İstanbul.

Elabd N.M., Mansour Y.M., Khodier L.M., (2021), “Utilizing Innovative Technologies To Achieve Resilience In Heritage Buildings Preservation”, Developments in the Built Environment, 8, 100058.

Elagiry M., Marino V., Lasarte N., Elguezabal P., Messervey T., (2019), “BIM4Ren: Barriers To BIM Implementation In Renovation Processes In The Italian Market”, In Buildings 9 (9), p. 200.

Erdik M., (2018), “Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

Erdik M., Gökuç, Y.T., (2020), “Türk yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu”, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 22(1), 159-171.

Esfahani M.E., Rausch C., Sharif M.M., Chen Q., Haas C., Adey B.T., (2021), “Quantitative Investigation On The Accuracy And Precision Of Scan-To-BIM Under Different Modelling Scenarios”, Automation in Construction, 126, 103686.

Ganiç N., (2012) “Calculation Of Cost Optimal Levels Of Minimum Energy Performance Requirements For Office Building Retrofits”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Genç M., (2019), “Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin, İnşaat Endüstrisinde Ve İnşaat Mühendisliğinde Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.

Gimenez L., Robert S., Suard F., Zreik K., (2016), “Automatic reconstruction of 3D building models from scanned 2D floor plans”, Automation in Construction, 63, 48-56.

Gökgür A., (2015), “Current And Future Use Of BIM In Renovation Projects”, Master Thesis, Chalmers University Of Technology.

Guo K., Li Q., Zhang, L., Wu X., (2021), "BIM-based green building evaluation and optimization: A case study", *Journal of Cleaner Production*, 320, 128824.

Habibi S., (2017), "The Promise Of BIM For Improving Building Performance", *Energy and Buildings*, 153, 525-548.

Haliburton J.T., (2016), "Building information modeling and small architectural practice: An analysis of factors affecting BIM adoption", PhD Thesis, Texas A&M University.

Helander D., Singh V., (2016), "BIM In Building Renovation Projects: What Is The Useful Minimum Information Requirement?", *Int. J. Product Lifecycle Management*, Vol. 9, No. 1, 2016.

Inusah Y., (2018), "Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi (Ybm) Uygulamalarının Yaygınlığı Ve Uygulamalardaki Başarı Düzeyleri Üzerine Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

İnceoğlu, M., İnan B., (2020), "Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM", *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 3 (1), 47-65.

Jahed N., (2018), "Performance based façades: retrofit strategies for energy efficiency and comfort in existing office buildings", Master Thesis, Middle East Technical University.

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

Khaddaj M., Srour I., (2016), "Using BIM to retrofit existing buildings", *Procedia Engineering*, 145, 1526-1533.

Khemlani L., (2012), "Around the World with Building Information Modeling", *Architecture Engineering Constructbytes*.

Khodeir L.M., Aly D., Tarek S., (2016), "Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt", *Procedia Environmental Sciences*, 34, 258-270.

Klaschka R.(Ed.), (2019), "BIM in Small Practices: illustrated case studies", Routledge.

Kocakaya M.N., Namlı E., Işıkdag Ü., (2019), "Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management", *J Sustain. Construct. Mater. Technol.* 4(1), 323–332.

Kreider Ralph G., Messner John I., (2013), “The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses”, Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.

Leygonie R., Motamedi A., Iordanova I., (2022), “Development Of Quality Improvement Procedures And Tools For Facility Management BIM”, *Developments in the Built Environment*, 11, 100075.

Manioğlu G., (2011), “Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme Çalışmalarının Örneklerle Değerlendirilmesi”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi , vol.2, İzmir, Turkey, pp.1431-1445.

Marttila T., Annala P., Suonketo J., Kero P., Pentti M., (2017), “Securing The Flow Of Information In Renovation Projects”, *Procedia environmental sciences*, 38, 228-233.

McGraw-Hill Construction, (2012), “The Business Value of BIM in North America Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)”, North America.

McGraw-Hill Construction,(2014), “SmartMarket Report, The business value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling”, McGraw-Hill.

Mésároš P., Spišáková M., Mandičák T., Čabala J., Oravec M.M., (2021), “Adaptive design of formworks for building renovation considering the sustainability of construction in BIM environment—Case study”, *Sustainability*, 13(2), 799.

Nagy G., Ashraf F., (2021), “HBIM platform & smart sensing as a tool for monitoring and visualizing energy performance of heritage buildings”, *Developments in the Built Environment*, 8, 100056.

NBS, (2020),” National BIM Report 2020”, İngiltere: RIBA Enterprises Ltd.

Nusen P., Boonyung W., Nusen S., Panuwatwanich K., Champrasert P., Kaewmorachoen M. (2021), “Construction planning and scheduling of a renovation project using BIM-based multi-objective genetic algorithm”, *Applied Sciences*, 11(11), 4716.

Ofluoğlu S., (2009), “Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar”, <http://www.sayisalmimar.com/yayin/ybm.pdf>.

Özcan U., Erol İ., (2018), “Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)”, *International Congress on Engineering and Architecture-ENAR 2018*.

Öktem S., Ergen E., (2017), “BIM’e Geçiş Süreci nin Operasyonel Çerçevesi”, 4. Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, Türkiye.

Özorhon B., (2018), “Yapı Bilgi Modellemesi, İBB İstanbul Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri.”, Abaküs Yayıncılık.

Pereira V., Santos J., Leite F., Esc rcio P., (2021), “Using BIM To Improve Building Energy Efficiency–A Scientometric And Systematic Review”, *Energy and Buildings*, 250, 111292.

Pohoryles D.A., Bournas D.A., Da Porto F., Caprino A., Santarsiero G., Triantafillou T. (2022), “Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state-of-the-art review”, *Journal of Building Engineering*, 105274.

Quattrini R., Pierdicca R., Morbidoni C., (2017), “Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web”, *Journal of Cultural Heritage*, 28, 129-139.

Rebec K.M., Deanovi  B., Oostwegel L., (2022), “Old buildings need new ideas: Holistic integration of conservation-restoration process data using Heritage Building Information Modelling”, *Journal of Cultural Heritage*, 55, 30-42.

Scherer R.J., Katranuschkov P., (2018), “BIMification: How To Create And Use BIM For Retrofitting”, *Adv. Eng. Informatics*, 38, 54-66.

Schueter A., Thessling F., (2009), “Building Information Model Based Energy/Exergy Performance Assessment in Early Design Stages”, *Automation In Construction*, 18, 153–163.

Selim S., (2019), “Türkiye’de Yapı Bilgi Modellemesinin Mimari Projelerde Kullanımı  zerine Bir Uygulama  alışması”, *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi*.

Seydio ulları H.S., (2013), “Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji”, *Planlama* 2013;23(1):19-25.

Shahi S., Esfahani M.E., Bachmann C., Haas C., (2020), “A Definition Framework For Building Adaptation Projects”, *Sustainable Cities and Society* 63 (2020) 102345.

Smith P., (2014), “BIM implementation – global initiatives & creative approaches”, *Creative Construction Approaches, Creative Construction Conference*, 605-612.

Stegnar G., Cerovsek T., (2019), “Information Needs For Progressive BIM Methodology Supporting The Holistic Energy Renovation Of Office Buildings”, *Energy* 173 (2019) 317-331.

Sur Y., (2020), “BIM ve Akıllı Konut Teknolojilerinin Konut Yenileme Projelerinde Kullanımına Sürdürülebilirlik Bağlamında Yaklaşım”, *Yapı Bilgi Modelleme* , 2 (2), 66-78 .

Uzun F., (2019), “BIM - Yapı Bilgi Modellemesi’ne Geçiş Ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi: 3 Vaka Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi*.

Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A., (2010), “Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point

clouds: A review of related techniques.”, Automation in construction, 19(7), 829-843.

TAV, (2023), “TAV İnşaat Yazışma”, 20.06.2023.

Tıkır A., (2009), “İstanbul’da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi Ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Tütüncüler T., (2020), “Kamu Yapılarında Yapı Bilgi Modellemesi İle Tesis Yönetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi.

Vatan M., Soğukoğlu M., (2014), “Mevcut Betonarme Konut Binalarında Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Mimari Çözüm Önerileri”, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi 21, (13-22).

Vitiello U., Ciotta V., Salzano A., Asprone D., Manfredi G., Cosenza E., (2019), “BIM-Based Approach For The Cost-Optimization Of Seismic Retrofit Strategies On Existing Buildings”, Automation in construction, 98, 90-101.

Volk R., Stengel J., Schultmann F., (2014), “Building Information Modeling (BIM) For Existing Buildings—Literature Review And Future Needs”, Automation in construction, 38, 109-127.

Yarkın S.A., (2017), “Mevcut Binalarda Yenileme Çalışmalarının Enerji Verimliliği Yaklaşımları Çerçevesinde Etkinliği Ve Uygulanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

Yetkin E.G., (2014), “Mevcut Yapılar Kapsamında Yeşil Bina Sertifika Sistemleri Enerji Kriterlerinin Belirlenmesi İçin Leed, Breeam Ve Dgnb Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yıldız Y., (2008), “Retrofitting Existing Mass Housing For Energy Efficiency: A Case Study In Gazıemir Emlak Bank Housing Area, Izmir, Turkey”, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Younus I., Al-Hinkawi W., Lafta S., (2023), “The role of historic building information modeling in the cultural resistance of liberated city”, Ain Shams Engineering Journal, 14(10), 102191.

Wang Q., Kim M.K., (2019), “Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018”, Advanced Engineering Informatics, 39, 306-319.

Watt D., (1999), “Building Pathology: Principles and Practice”, Oxford: Blackwell Science.

Web 1, (2022), <https://geoslam.com/blog/2021/12/23/what-is-bim-and-how-does-it-impact-the->

constructionindustry/#:~:text=Using%20Building%20Information%20Modelling%20(BIM,leads%20to%20better%20outcomes%20overall, (Erişim tarihi: 06/04/2022).

Web 2, (2022), <https://www.laldegerleme.com.tr/6306-sayili-kanun-ile-kentsel-donumde-yeni-donem/>, (Erişim tarihi: 24/11/2022).

Web 3, (2022), [https://geoslam.com/blog/2021/12/23/what-is-bim-and-how-does-it-impact-the-constructionindustry/#:~:text=Using%20Building%20Information%20Modelling%20\(BIM,leads%20to%20better%20outcomes%20overall](https://geoslam.com/blog/2021/12/23/what-is-bim-and-how-does-it-impact-the-constructionindustry/#:~:text=Using%20Building%20Information%20Modelling%20(BIM,leads%20to%20better%20outcomes%20overall), (Erişim tarihi: 06/04/2022).

Web 4, (2022), <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>, (Erişim tarihi: 12/04/2022).

Web 5, (2023), https://www.architectmagazine.com/technology/nibs-buildingsmart-alliance-releases-version-3-of-the-u-s-national-bim-standard_o#:~:text=But%2C%20as%20defined%20in%20NIBS,functional%20characteristics%20of%20a%20facility, (Erişim tarihi:04/01/2023).

Web 6, (2023), <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>, (Erişim tarihi: 05/01/2023).

Web 7, (2023), <https://bimsoft.com.tr/bim-nedir/>, (Erişim tarihi: 05/01/2023).

Web 8, (2023), <https://bimdictionary.com/en/building-information-modelling/2>, (Erişim tarihi: 05/01/2023).

Web 9, (2022), <https://diconnex.com/en/blog/2020/05/05/the-history-of-building-information-modelling/>, (Erişim tarihi: 17/12/2022).

Web 10, (2022), <https://en.wikipedia.org/wiki/Sketchpad>, (Erişim tarihi: 17/12/2022).

Web 11, (2022), <https://blog.dormakaba.com/hand-drawn-no-more-a-brief-history-of-bim/>, (Erişim tarihi: 16/12/2022).

Web 12, (2022), <https://en.wikipedia.org/wiki/BuildingSMART>, (Erişim tarihi: 17/12/2022).

Web 13, (2022), [https://blog.allplan.com/en/rising-influence-of-bim-in-american-construction#:~:text=Building%20Information%20Modeling%20\(BIM\)%20programs,accepted%20as%20the%20industry%20norm.](https://blog.allplan.com/en/rising-influence-of-bim-in-american-construction#:~:text=Building%20Information%20Modeling%20(BIM)%20programs,accepted%20as%20the%20industry%20norm.), (Erişim tarihi: 18/12/2022).

Web 14, (2023), <https://www.bimcommunity.com/news/load/1076/the-implementation-of-bim-in-spain>, (Erişim tarihi: 03/02/2023).

Web 15, (2023), <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/bim-teknik-sartnamesi-rev-no-03-02-09-2022.pdf>, (Erişim tarihi: 02/02/2023).

Web 16, (2022), <https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/>, (Erişim tarihi: 06/12/2022).

Web 17, (2022), www.bimpanzee.com, (Erişim tarihi: 06/12/2022).

Web 18, (2022), <https://www.theengineeringcommunity.org/what-is-4d-bim/>, (Erişim tarihi: 08/10/2022).

Web 19, (2023), <https://bexelmanager.com/5d-bim/>, (Erişim tarihi: 12/01/2023).

Web 20, (2022), <http://urbantech.in/6d-energy-analysis/>, (Erişim tarihi: 15/11/2022).

Web 21, (2022), <https://8dbim.weebly.com/history-of-bim.html>, (Erişim tarihi: 15/11/2022).

Web 22, (2022), <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>, (Erişim tarihi: 15/11/2022).

Web 23, (2023), <https://www.olilo.ae/bim-lod-100-200-300-350-400-500.html>, (Erişim tarihi: 12/01/2023).

Web 24, (2021), <https://www.otsproje.com.tr/en/bim/>, (Erişim tarihi: 25/12/2021).

Web 25, (2022), <https://www.bimspot.io/blogs/bim-interoperability-aec-industry/>, (Erişim tarihi: 15/07/2022).

Web 26, (2022), <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/>, (Erişim tarihi: 15/07/2022).

Web 27, (2022), <https://www.spatial.com/resources/glossary/what-is-ifc>, (Erişim tarihi: 18/07/2022).

Web 28, (2022), <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-ifc>, (Erişim tarihi: 18/07/2022).

Web 29, (2023), <https://www.united-bim.com/what-is-clash-detection-in-bim-process-benefits-and-future-scope-in-modern-day-aec-industry/>, (Erişim tarihi: 13/01/2023).

Web 30, (2023), <https://revizto.com/en/clash-detection-in-bim/>, (Erişim tarihi: 11/01/2023).

Web 31, (2023), <https://docplayer.biz.tr/105535894-Yapi-bilgi-modellemesi-bim-giris-doc-dr-esin-ergen-pehlevan.html>, (Erişim tarihi: 11/01/2023).

Web 32, (2022), <https://www.virtualbuildingstudio.com/building-energy-analysis-through-bim/>, (Erişim tarihi: 12/05/2022).

Web 33, (2023), <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/getting-started/caas/simplecontent/content/daylight-analysis-bim.html>, (Erişim tarihi: 10/05/2023).

Web 34, (2022), <https://www.united-bim.com/how-bim-is-facilitating-facility-management-process/>, (Erişim tarihi: 10/05/2022).

Web 35, (2022), [https://www.geze.com/en/discover/topics/building-renovation#:~:text=Building%20renovation%20is%20defined%20as,resolving%20flaws%20\(partial%20renovation\)](https://www.geze.com/en/discover/topics/building-renovation#:~:text=Building%20renovation%20is%20defined%20as,resolving%20flaws%20(partial%20renovation)), (Erişim tarihi: 01/12/2022).

Web 36, (2022), <http://www.brener.com.tr/renovasyon-yenileme>, (Erişim tarihi: 01/12/2022).

Web 37, (2023), <http://www.brener.com.tr/renovasyon-yenileme>, (Erişim tarihi: 02/03/2023).

Web 38, (2022), <https://www.bpie.eu/publication/deep-renovation-shifting-from-exception-to-standard-practice-in-eu-policy/>, (Erişim tarihi: 21/11/2022).

Web 39, (2022), <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>, (Erişim tarihi: 09/12/2022).

Web 40, (2022), https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_economy, (Erişim tarihi: 09/12/2022).

Web 41, (2023), <https://www.rts.com/resources/guides/circular-economy/>, (Erişim tarihi: 21/03/2023).

Web 42, (2022), <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Refurbishment>, (Erişim tarihi: 09/12/2022).

Web 43, (2022), <https://www.laldegerleme.com.tr/6306-sayili-kanun-ile-kentsel-donusumde-yeni-donem/>, (Erişim tarihi: 24/11/2022).

Web 44, (2023), <https://parametric-architecture.com/building-information-modelling-bim-dimensions-4d-5d-6d/>, (Erişim tarihi: 12/06/2023).

Web 45, (2022), <https://excelize.com/blog/bim-an-effective-tool-for-renovation-projects>, (Erişim tarihi: 28/11/2022).

Web 46, (2023), <https://revizto.com/en/best-bim-software-tools-2023/>, (Erişim tarihi: 03/06/2023).

Web 47, (2023), <https://www.constructionplacements.com/what-is-tekla-structures-and-why-it-is-essential-to-learn/>, (Erişim tarihi: 09/08/2023).

Web 48, (2023), <https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>, (Erişim tarihi: 09/08/2023).

Web 49, (2023), <https://www.tavco.net/articles/what-is-bluebeam-revu-and-who-uses-it/>, (Erişim tarihi: 09/08/2023).

Web 50, (2023), <https://conceptartempire.com/what-is-3ds-max/>, (Erişim tarihi: 09/08/2023).

Web 51, (2023), <https://inspirationtuts.com/what-is-sketchup-software-review-and-use-cases/>, (Erişim tarihi: 09/08/2023).

Web 52, (2023), <https://surveyhands.com/tr/scan-to-bim-model/>, (Erişim tarihi: 15/08/2023).

Web 53, (2023), <https://www.thecadroom.com/scan-to-bim-what-is-it/>, (Erişim tarihi: 03/06/2023).

Web 54, (2023), <https://www.scanphase.com/complete-buildings-scanning>, (Erişim tarihi: 14/08/2023).

Web 55, (2023), <https://www.solvo-tek.com/scan-to-bim-nedir/>, (Erişim tarihi: 14/08/2023).

Web 56, (2023), <https://www.navvis.com/blog/everything-you-need-to-know-about-scan-to-bim>, (Erişim tarihi: 16/08/2023).

Web 57, (2023), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9228898/>, (Erişim tarihi: 16/08/2023).

Web 58, (2023), <https://www.bluentcad.com/blog/difference-between-revit-and-bim>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 59, (2023), <https://www.eaton.com/tw/en-us/company/news-insights/lighting-resource/bim/bim-and-revit-an-introduction.html#:~:text=BIM%20is%20the%20overall%20process,an%20efficient%20design%20of%20space.>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 60, (2023), <https://globalcad.co.uk/navisworks-on-bim-projects-should-you-be-using-it/>, (Erişim tarihi: 03/06/2023).

Web 62, (2023), <https://www.softwareadvice.com.au/software/390473/navisworks>, (Erişim tarihi: 03/06/2023).

Web 62, (2023), <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Navisworks-Clash-Detection-Saving-Time-and-Money-Setting-Clash-Templates-2019>, (Erişim tarihi: 03/06/2023).

Web 63, (2023), <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-4/essentials/title.html#what-is-bem>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 64, (2023), <https://econova-institute.com/energy-plus-software-simulacion-energetica-edificios/>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 65, (2023), <https://www.modelical.com/en/digitalisation-for-building-energy-simulation/>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 66, (2023), <https://www.altensis.com/en/services/designbuilder-software/>, (Erişim tarihi: 14/08/2023).

Web 67, (2023), <https://www.greenplan.co.za/designbuilder/>, (Erişim tarihi: 14/08/2023).

Web 68, (2023), <https://designbuilder.co.uk/22-training/certification-training/139-designbuilder-epcs-and-part-1>, (Erişim tarihi: 14/08/2023).

Web 69, (2023), <https://wiki.auckland.ac.nz/display/MediaCentre/Ecotect#:~:text=Ecotect%20is%20a%20comprehensive%20sustainable,for%20globally%20specific%20climate%20information>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 70, (2023), <https://www.cadalyst.com/aec/bim-and-autodesk-ecotect-1-2-3-revit-tutorial-3775>, (Erişim tarihi: 04/06/2023).

Web 71, (2023), <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-a-bim-execution-plan-and-what-should-it-include>, (Erişim tarihi: 05/08/2023).

Web 72, (2023), <https://www.breakwithanarchitect.com/post/the-difference-between-bim-and-revit>, (Erişim tarihi: 05/08/2023).

Web 73, (2023), <https://plannerly.com/bep-bim-execution-plan-guide/#:~:text=A%20BIM%20Execution%20Plan%20is,deliverables%20that%20will%20be%20produced.>, (Erişim tarihi: 05/08/2023).

Web 74, (2023), <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanning/chapter/overview/>, (Erişim tarihi: 05/06/2023).

Web 75, (2023), <https://www.semanticscholar.org/paper/Integration-of-HBIM-and-3D-GIS-for-Digital-Heritage-Dore-Murphy/c5e435b9322be7ff7ee997ce8e354aa60fbc3922>, (Erişim tarihi: 06/08/2023).

Web 76, (2022), <https://www.thebuildinginspector.org/>, (Erişim tarihi: 10/12/2022).

Web 77, (2023), <https://tibahairports.com/en-EN/about-tav-airport/page/history>, (Erişim tarihi: 20/04/2023).

Web 78, (2023), <https://www.tavconstruction.com/eng/airport-project-20.html>, (Erişim tarihi: 26/04/2023).

Web 79, (2023), <https://www.meed.com/airport-project-of-the-year-prince-mohammed-bin-abdulaziz-international-airport-expansion/>, (Erişim tarihi: 12/06/2023).

Web 80, (2023), <https://www.airport-technology.com/projects/prince-mohammed-bin-abdul-aziz-international-airport-new-terminal-madinah/>, (Erişim tarihi: 12/06/2023).

Web 81, (2023), <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4631>, (Erişim tarihi: 28/04/2023).

Web 82, (2021), <https://designengineers.com/files/2019/01/ICCSD-PENN-ELEMENTARY.pdf>, (Erişim tarihi: 27/04/2021).

Web 83, (2021), <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/272/tejy-inc-executed-penn-elementary-school-renovation-with-bim>, (Erişim tarihi: 27/04/2021).

Web 84, (2021), <https://www.tejy.com/project/penn-elementry-school-renovation/>, (Erişim tarihi: 27/04/2021).

Web 85, (2021), <https://opnarchitects.com/portfolio/penn-elementary-school/>, (Erişim tarihi: 27/04/2021).

Web 86, (2023), http://www.eaststaffsbc.gov.uk/MVM.DMS/Planning%20Application/624000/624891/P_2014_00228%20Design%20and%20Access%20Statement.pdf, (Erişim tarihi: 25/08/2023).

Web 87, (2021), <https://www.united-bim.com/portfolio/bim-services-holiday-inn-express-renovation-hotel-massachusetts/>, (Erişim tarihi: 16/04/2021).

Web 88, (2021), <https://www.autodesk.com/collections/architecture-engineering-construction/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>, (Erişim tarihi: 16/04/2021).

Web 89, (2021), <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/210/bim-during-hotel-re-branding>, (Erişim tarihi: 23/04/2021).

Web 90, (2022), <https://www.rdaep.com/project/boston-hotel-boston-ma/>, (Erişim tarihi: 23/04/2022).

Web 91, (2022), <https://www.united-bim.com/portfolio/hospitality-bim-process-during-hotel-remodeling-construction/>, (Erişim tarihi: 24/04/2022).

Web 92, (2022), https://www.fourway.co.uk/sections/view/35/1/Wessex_Capacity_Enhancement_Waterloo_Station_Outlying_Areas, (Erişim tarihi: 26/04/2022).

Web 93, (2022), <https://www.bimplus.co.uk/bim-journey-destination-retrofit/>, (Erişim tarihi: 26/04/2022).

Web 94, (2022), <https://www.railway-technology.com/projects/waterloo-station-upgrade-london/#catfish>, (Erişim tarihi: 14/12/2022).

Web 95, (2022), <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/our-routes/wessex/improving-london-waterloo-station/>, (Erişim tarihi: 14/12/2022).

Web 96, (2022), <https://www.westonwilliamson.com/projects/waterloo-station-redevelopment>, (Erişim tarihi: 14/12/2022).

Web 97, (2023), <https://www.apy.com.tr/acibadem-maslak-hastanesi-etap-1>, (Erişim tarihi: 21/06/2023).

Web 98, (2023), <https://www.oppent.com.tr/referanslar-one-cikanlar/>, (Erişim tarihi: 21/06/2023).

Web 99, (2023), <https://www.apy.com.tr/acibadem-maslak-hastanesi-etap1-renovasyon>, (Erişim tarihi: 21/06/2023).

Web 100, (2023), <https://www.apy.com.tr/acibadem-maslak-1-moduler-sistemler>, (Erişim tarihi: 22/06/2023).

Web 101, (2021), <https://www.ingenio-web.it/articoli/il-bim-per-la-riqualificazione-dell-edificio-del-gruppo-unipol-in-via-gaetano-de-castillia-a-milano/>, (Erişim tarihi: 04/12/2021).

Web 102, (2021), <https://www.progettocmr.com/project/edificio-de-castillia-23-2/>, (Erişim tarihi: 04/12/2021).

Web 103, (2021), <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/146/bim-for-the-redevelopment-of-the-unipol-group-building-in-milan>, (Erişim tarihi: 04/12/2021).

Web 104, (2021), <https://www.granitifiandre.com/insights/de-castillia-by-urban-up-gruppo-unipol>, (Erişim tarihi: 03/12/2021).

Web 105, (2021), <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/146/bim-for-the-redevelopment-of-the-unipol-group-building-in-milan>, (Erişim tarihi: 03/12/2021).

Web 106, (2021), https://www.urbanupunipol.com/en/edifici_en/de-castillia23_en.html, (Erişim tarihi: 03/12/2021).

Weeks K D., Grimmer A.E., (1995), “The Secretary of the Interior’s Standards for the Treatment of Historic Properties with Guidelines for Preserving, Rehabilitating, Restoring and Reconstructing Historic Buildings”, Washington, DC: US Department of the Interior.

ÖZGEÇMİŞ

Elif MANCIK, 2016 yılında başladığı İstanbul Medipol Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü 2020 yılında başarıyla tamamlamıştır. 2021 yılından beri yüksek lisans eğitimini Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında sürdürmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Mancık E., Güzelçoban Mayuk S., (2022), “BIM Sisteminin Bina Yenileme Süreçlerinde Enerji Verimliliği İçin Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 2. International World Energy Conference, 146-155 December 09-10, 2022, Kayseri, Türkiye (Sunum online olarak gerçekleştirilmiştir. Tam metin bildiriler kitabında yayımlanmıştır)