

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BİNALARDA BİM-LAZER TARAMA ENTEGRASYONLU
BOYUTSAL KALİTE KONTROLÜ ÜZERİNDE BİR ALAN ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİDEM ERTAŞ

2000005618

ANABİLİM DALI: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

PROGRAM: PROJE YÖNETİMİ

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET N. UĞURAL

HAZİRAN 2022

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BİNALARDA BİM-LAZER TARAMA ENTEGRASYONLU
BOYUTSAL KALİTE KONTROLÜ ÜZERİNDE BİR ALAN ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİDEM ERTAŞ

2000005618

ANABİLİM DALI: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

PROGRAM: PROJE YÖNETİMİ

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET N. UĞURAL

JÜRİ ÜYELERİ: DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN POLAT

DOÇ. DR. MEHMET KARATAŞ

HAZİRAN 2022

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu çalışma, BIM (Yapı Bilgi Modelleme) teknolojisinin inşaat sektörü içerisindeki parabolik ivme ile gelişimi sonucundaki olağanüstü katkıları ile üç boyutlu lazer tarama teknolojisinin avantajları ayrıntılı olarak anlatılarak Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi ve bu teknolojiyle bütünleşik çalışma becerisi olan üç boyutlu lazer tarama teknolojilerinin mevcut bir yapının yeniden kullanım süreçlerindeki boyutsal analizlerinin anılan teknolojilerle birlikte kusursuz çözümlerinin olabilirliği ve bu süreçlerin insan insiyatifi dışında teknolojik olanaklarla evrensel standartlarda yapılabileceği anlatılmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının düşünsel aşamada ortaya çıkmasından sonra olgunlaşmasını ve sonlanmasını sağlayarak çalışmamın her aşamasında bana destek olup yapıcı eleştirileriyle beni yönlendiren, yüksek lisans eğitim hayatım boyuncaengin tecrübelerini ve birikimlerini benden esirgemeyen danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Nurettin UĞURAL'a ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini sürekli olarak kalbimde hissettiğim sevgili Eşim ve aileme en içten teşekkür dileklerimi sunarım.

Tez kapsamında hazırlamış olduğumuz alan çalışmasında verileri bizlerle paylaşan FİMAP şirket yöneticisi ve çalışanlarına, ayrıca bu çalışmanın meydana gelmesinde doğrudan payı olan İstanbul Kültür Üniversitesine ve onun değerli akademisyenleri ile tüm personellerine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Didem ERTAŞ
MİMAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ŞEKİLLER	iv
TABLOLAR	vii
KISATMALAR	viii
SİMGELER	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. KALİTE KAVRAMI ve İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ.....	4
2.1. Kalite Nedir?.....	4
2.1.1. Neden Kalite?	4
2.1.2. Kalite Kavramının Zaman İçindeki Gelişimi ve Serüveni	4
2.3. Kalite Kontrol Kavramı	5
2.3.1. Kalite Kontrol Neden Yapılır? Neden Yapılmalıdır?	5
2.4. İnşaat Sektörünün Özellikleri ve Dinamikleri	6
2.4.1. İnşaat Sektörü ve Kalite Kavramı	6
2.4.2. Kalite Kontrol ve İnşaat Sektöründeki Uygulamaları	7
2.5. İnşaat Sektöründe Minimum Kalite Standartları.....	8
2.5.1. Yeni Teknolojiler İnşaat Sektöründeki Kalite Kontrol Süreçlerinde Neden Kullanılmalıdır? ..	8
3. TASARIM VE YAPIM SÜRECİNDE İNOVATİF KALİTE KONROL ÇÖZÜMLERİ.....	10
3.1. Yapı Üretiminde Kalite Beklentileri İçin Yeni Teknolojiler: BIM-3D Lazer Tarama Birlikteliği	10
3.2. Yapı Bilgi Modelleme (BIM) Nedir?	12
3.2.1. Yapı Bilgi Modelleme (BIM) Oluşum ve İhtiyaç Sebepleri	14
3.2.2. BIM ve Sürdürülebilirlik	17
3.2.2.1. BIM Teknolojisi ile Oluşturulmuş Sürdürülebilir Yapılar.....	19
3.2.3. Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisinin Ana Unsurları ve Fonksiyonları	21
3.2.3.1. BIM Temel Parametreleri	22
3.2.5. BIM Hangi Alanlarda Kullanılır?	27
3.2.6. Yapı Yaşam Döngüsü ve Yapı Bilgi Modelleme	27
3.2.6.1. Tasarım Aşamasında BIM	28
3.2.6.2. Proje ve Yapım Sürecinde BIM	29
3.2.6.3. Bakım ve İşletme Sürecinde BIM	29
3.2.6.4. Onarım ve Yıkım Sürecinde BIM	30
3.2.6.5. Çakışma Analizlerinde BIM Kullanımı	31
3.2.6.6. BIM ile Çok Boyutlu Modelleme	32
3.2.6.7. BIM İçerisinde Bulunan LOD Seviyeleri	35
3.3. Üç Boyutlu Lazer Tarama Teknikleri	37
3.4. Üç Boyutlu Lazer Tarama Sistemleri.....	37
3.4.1. Havadan Lazer Tarama.....	39
3.4.3. Yersel Lazer Tarama	40
3.4.3.1. Lazer Tarama İle Yapılan Ölçme Tekniklerinin Geleneksel Ölçüm Teknikleri İle Karşılaştırılması	41
3.4.3.2. Lazer Tarama Sistemlerinin Parçaları	42
3.4.4. Nokta Bulut Teknolojileri.....	43
3.4.4.1. Nokta Bulutların Birleşim Süreci.....	44
3.5. Yoğun Kullanılan Lazer Tarama Cihazları ve Performansları	44
3.5.1. BIM-Lazer Tarama Ortaklığının Kalite Kontrolünde Kullanımı	49

4.YENİDEN KULLANIM AŞAMASINDA OLAN BİR YAPININ ELEMANLARININ BÜTÜNLEŞİK TEKNOLOJİ KULLANILARAK BOYUTSAL KALİTE ANALİZİ; ALAN ÇALIŞMASI.....	55
4.1. Saha Çalışmasının Amaçları ve Hedefleri	55
4.2. Yapı İle İlgili Genel Bilgiler	56
4.3. Yapının BIM Ortamında Üç Boyutlu Modellenmesi.....	59
4.4. Üç Boyutlu Lazer Tarama Cihazıyla Yapının Mevcut Durumunun Modellenmesi	60
4.4.1. Tarama İçin Kullanılan Lazer Tarama Cihazına Ait Özellikler.....	60
4.4.2. Sahada Çalışma Süreci ve Yapılan Çalışmalar	61
4.4.3. Tarama İle Alınan Nokta Bulutlar Üzerinde Yapılan İşlemler	62
4.5. Autodesk Revit 2021 ile Oluşturulan BIM Modelinin Cycole 3DR Yazılımından Elde Edilen Verilerin Çakıştırılma İşlemi	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	75
İNTERNET KAYNAĞI	86

ŞEKİLLER

Şekil 3. 1. İnşaat Sektöründe İş Akışının Klasik Hali ve BIM Hali Gösterimi (Öktem ve Ertuğrul, 2017)	13
Şekil 3. 2. BIM Modellemenin Projenin Farklı Aşamalarında Farklı Proje Paydaşları Tarafından Kullanılması (Ofloğlu, 2019).	14
Şekil 3. 3. Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisiyle Oluşturulan Modelden Elde Edilen Veriler (Ofloğlu, 2009).	15
Şekil 3. 4. BIM ile alınmış bir metraj çalışması (Url-1)	17
Şekil 3. 5. BIM paket programları ile oluşturulan fiziksel çevre analizleri (Ofloğlu, 2014).	18
Şekil 3. 6. Kaliforniya'daki Güneş Şemsiyesi Evi, (Pugh, Scarpa, 2011.).....	20
Şekil 3. 7. Sturtgart'daki R128 Binası (Werner, 2018).....	20
Şekil 3. 8. Londra'da Yapılan Bina, (Sarah, 2020).....	21
Şekil 3. 9. BIM tabanlı paket programlarda bulunan parametrik nesneler (Pehlevan, 2018).	22
Şekil 3. 10. Yapı Bilgi Modelleme ile oluşturulan bir projede yapılan revizyonun tüm paftalardaki otomatik değişimi Örneği (Pehlevan, 2018).	23
Şekil 3. 11. BIM tabanlı programlarda nesnelerin birbirleriyle akıllı birleşimi (Pehlevan, 2018).	23
Şekil 3. 12. Archicad programının hatalı merdiven değerlerine verdiği uyarı mesajı (Ofloğlu, 2019).....	24
Şekil 3. 13. BIM ortamında disiplinlerarası çalışma örneği (Pehlevan, 2018).	25
Şekil 3. 14. Projelendirme sürecinin tarihsel gelişimi (Çuhadar, 2017).	26
Şekil 3. 15. BIM ortamında hazırlanan kütle model ve analizleri (Ofloğlu, 2018).	28
Şekil 3. 16. BIM ile hazırlanan proje ve yerinde uygulama (Url-2, İstanbul 2012).	29
Şekil 3. 17. Bina kullanım performansı için oluşturulan BIM Modeli Örneği (Url-3, 2022).	31
Şekil 3. 18. BIM ile yapılan çakışma analizi (Url-4, 2022).	31
Şekil 3. 19. BIM yazılımlarında parametre düzenleme ve değiştirme (Url-5, 2022).	32
Şekil 3. 20. BIM ile çok boyutlu modelleme (Çetinkaya, 2013).	32
Şekil 3. 21. BIM ile oluşturulmuş 4D ve 5D süreçleri animasyonu (Xiong vd, 2013).	33

Şekil 3. 22. BIM ile hazırlanmış metraj ve maliyet örneği	34
Şekil 3. 23. BIM ile modellenmiş gün ışığı analizi (Archdaily, Url-6 2022).	34
Şekil 3. 24. Yapı Bilgi Modelleme Sistemi İle Strüktür Analizi (URL-7, 2022).	35
Şekil 3. 25. BIM tabanlı bir parametrik nesnenin LOD seviyeleri (URL-8, 2022). ..	36
Şekil 3. 26. BIM ortamında hazırlanan projenin LOD 300 Seviyesindeki ifadesi (Çuhadar, 2017).....	37
Şekil 3. 27. Lazer Tarama Yöntemlerinin Obje Boyutu ve Karmaşıklığı Karşılaştırması (Gümüş ve Erkaya,2007).	38
Şekil 3. 28. Havadan Lazer Tarama Sistemi ölçümü (Ingensand, 2006).....	39
Şekil 3. 29. LIDAR İle Işın Gidiş Dönüşleri (Polat ve Uysal, 2016).	39
Şekil 3. 30. Mobil Lazer Tarama Sistemi (Yılmaz ve Yakar, 2006).	40
Şekil 3. 31. Bir yapıda iki istasyondan alınan verilerin karşılaştırılma örneği (Çelik, 2011).	41
Şekil 3. 32. Yersel Lazer Tarama Cihazı Bileşenleri (Kim vd, 2016).	42
Şekil 3. 33. Yersel Lazer Tarama Sisteminin çalışma prensibi	43
Şekil 3. 34. Tarihi Bir Yapıdan Alınan Nokta Bulutu Örneği	43
Şekil 3. 35. Delaunay algoritması ile üç ve dört yüzlü yüzey oluşturma (Bosche, 2010)	46
Şekil 3. 36. Bicocca projesi verileri (Bosché, 2010).....	50
Şekil 3. 37. BIM-lazer tarama sonucu karşılaştırılan yüzeylerin analizi (Polat vd, 2021).	51
Şekil 3.38. Kaba Haldeki Bir İnşaatın İlerleme Durumunun Tesbiti (Wang, Cheng ve Sohn, 2015).....	51
Şekil 3. 39. Boyut tahmini ve yüzey hatası karakterizasyonu için test numuneleri (O'keeffe ve Bosche, 2015)	52
Şekil 3. 40. Geniş alan lazer taramalarında 3B CAD model nesnelerinin otomatik olarak tanınması için önerilen yaklaşımın performansı	53
Şekil 3. 41. Tesis yönetimi ve kalite yönetiminde boyutsal uygunluk kontrolü için kullanılan BIM modelini güncellemek için lazer taramadan bir BIM modeli (Bosche ve Haas, 2008).....	54
Şekil 4. 1. Proje Sahasının Türkiye içindeki konumu.....	56
Şekil 4. 2. Proje Sahasının Yakın Çevresi	57

Şekil 4. 3. Proje Sahasındaki Yapı Grubu ve Çalışma Konusu Yapının Saha İçindeki Konumu.....	57
Şekil 4. 4. Proje Sahasındaki Yapı Grubu ve Çalışma Konusu Yapının Saha İçindeki Konumu.....	58
Şekil 4. 5. Binanın 3D Planı	58
Şekil 4. 6. Bina Taşıyıcı Aksları ve Hatılları	59
Şekil 4. 7. Yapı Temeli, Taşıyıcı Duvar ile Hatılları ve Çatı Strüktürü	59
Şekil 4. 8. Yapı Temeli, Taşıyıcı Duvar ile Hatılları ve Çatı Strüktürü	59
Şekil 4. 9. Yapının Revit 2021 Programında Oluşturulan 3D Modeli.....	60
Şekil 4. 10. Lazer Tarama Cihazı İle Saha Çalışması Esnasında Alınan Görüntü.....	61
Şekil 4. 11. Lazer Tarama Cihazı İle Saha Çalışması Esnasında Alınan Görüntü... 61	
Şekil 4. 12. Tarama İşleminde Kurulan İstasyonlar.....	62
Şekil 4. 13. Cyclone ile Nokta Bulutların Ofis Ortamında Birleştirilmiş Hali	62
Şekil 4. 14. Cycole 3DR Yazılımı ile Filtreleme ve Temizleme İşlemi Yapılmış 3D Model	63
Şekil 4. 15. Çakıştırma ve Karşılaştırma Yapılan Bina Yüzeylerinin Tanımlanması ve İsimlendirilmesi	64
Şekil 4. 16. Çakıştırma Analizleri Renk İfade Lejandı ve Anlamları.....	64
Şekil 4. 17. Bina A Yüzeyi Analiz Görseli	65
Şekil 4. 18. Bina B Yüzeyi Analiz Görseli	66
Şekil 4. 19. Bina C Yüzeyi Analiz Görseli	67
Şekil 4. 20. Bina D Yüzeyi Analiz Görseli	69
Şekil 4. 21. Bina E Yüzeyi Analiz Görseli	70

TABLÖLAR

Tablo 2. 1. İnşaat Sektöründe Kalite (Atlı, 2015)	7
Tablo 3. 1. CAD Programlarının Yapı Üretiminde Konvansiyonel Çalışmamazlığından Kaynaklanan Ek Maliyetler (Kuruoğlu vd., 2012).	16
Tablo 3. 2. Projedeki nesnelerin insanda ve bilgisayarda oluşturduğu algı (Pehlevan, 2018).	26
Tablo 3. 3. Yapı yaşam döngüsü (Ofloğlu, 2009).	27
Tablo 3. 4. Lazer tarama cihazları ve özellikleri (Woo vd, 2002).	45
Tablo 3. 5. Lazer Tarama Teknolojisi Kullanım Alanları (Maalek vd, 2019).	48
Tablo 4. 1. Bina A Yüzeyi Analiz Görseli	66
Tablo 4. 2. B Yüzeyine Ait 10 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu.....	67
Tablo 4. 3. C Yüzeyine Ait 10 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu.....	68
Tablo 4. 4. D Yüzeyine Ait 5 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu.....	69
Tablo 4. 5. E Yüzeyine Ait 5 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu.....	70

KISATMALAR

AIA: Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects)

BIM : Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modeling)

CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

CMAA : Amerika İnşaat Yönetimi Birliği (Construction Management Association of America) FM: Tesis Yönetimi (Facility Management)

GPS : Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)

IPD : Tümüleşik Proje Yöntemi (Integrated Project Delivery)

İHA : İnsansız Hava Aracı

LIDA: Light Detection And Ranging

LOD : Levels of Development

MEP: Mekanik, Elektrik, Tesisat (Mechanical, Electrical, Plumbing)

MIS : Yönetim Bilişim Sistemi (Management Information System)

SİMGELER

x, y, z : Koordinat Sistemi

F : Etkiyen Kuvvet

N° : Nokta Gösterimi

% : Yüzde



Üniversite : **İstanbul Kültür Üniversitesi**
Enstitü : **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
Anabilim Dalı : **İnşaat Mühendisliği**
Programı : **Proje Yönetimi**
Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet N. UĞURAL**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Haziran 2022**

ÖZET

BİNALARDA BİM-LAZER TARAMA ENTEGRASYONLU BOYUTSAL KALİTE KONTROLÜ ÜZERİNDE BİR ALAN ÇALIŞMASI

Didem ERTAŞ

İnşaat sektörü, tasarım, yapım, işletme ve bakım süreçleri ile yıkım evrelerinden oluşan, diğer sektörlerden benzersiz, zor, karmaşık ve girift bir sektördür. Son ürün olan yapı (bina) kalitesi kuşkusuz tasarım ve yapım aşamalarındaki kalite performansına direkt bağlıdır. Bir yapının tasarım ve yapım süreci sonundaki kalite performansı kullanıcı ya da işveren beklentilerini ne ölçüde karşıladığının matematiğidir. Bu denklem yüzyıllar boyunca her yapıda farklı kurulmuş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanıcı beklentileri her ne kadar değişkenlik gösterse de her yapının projelendirme ve yapım süreçlerinde asgari düzeyde evrensel kalite standartlarını yakalaması beklenmektedir.

İnşaat sektöründe bu beklentiler ve doğal oluşumların sonucu olarak da evrensel ölçekte ortak kabul çerçevesi içerisinde doğal kurallar oluşmuş ve yüzyıllar boyunca zamanın şartlarına göre günümüze kadar süregelmiştir. Bu doğal kuralların beklentilerine cevap verebilmek amacıyla da kalite kontrol denilen bir saha oluşmuş ve bu beklentileri karşılamak için kontrol mekanizması gelişmiştir. Genellikle işverenin belirlediği kurallara göre oluşturulan muayene ve kabul koşulları yine işverenin kendisi tarafından ya da işvereni temsil eden teknik elemanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. İnşaat sektörünün karmaşık doğasından ve her yapım sürecinin dinamiğinin farklılığından dolayı geçmişten günümüze kalite kontrol süreçleri

geleneksel yöntemlerle ve insan temelli yapılmaktadır. Burada temel amaç gerek tasarım aşamasında gerekse de yapım sürecinde oluşabilecek hata ve kusurları asgari düzeye indirebilmek, hatalardan kaynaklı zaman ve maliyet kayıplarını azaltmak, müşteri / işveren memnuniyetini sağlamak, beklenen kalite standardını yakalamak, sektördeki rekabet gücünü artırmak vb sebepler sıralanabilir. Bu beklentilerini yakalamak için işverenin belirlediği imalat şartnamelerine göre de tasarım ve yapım aşamasında kalite kontrolü sürekli olarak yapılmalıdır.

Teknolojinin parabolik geliştiği son yüzyılda diğer sektörlerden daha yavaş adapte olsa da inşaat sektörü de etkilenmiş ve teknolojiyi kullanmaya başlamıştır. Başta gelişmiş ülkeler (ABD, İngiltere, Japonya gibi) olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde de inşaat sektöründe teknolojinin imkânları kullanılmaya başlanmıştır. Dünyanın önemli bir kesiminde bu adaptasyon gerçekleştiği gibi ülkemizde de son yıllarda inşaat sektörü dijital teknoloji ile tanışmış ve bu imkanlardan yararlanmaya başlamıştır.

İnşaat sektöründe yeni bir çılgır açan ve başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyada ve ülkemizde kullanımı hızla yaygınlaşan Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi ve bu teknolojiyle bütünleşik çalışma becerisi olan üç boyutlu lazer tarama teknolojileri binaların tasarım, yapım, işletme ve bakım süreçleri ile yıkım evrelerinde kullanıcılarına müthiş olanaklar ve avantajlar sunmaktadır.

Bu çalışmada da Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi ve bu teknolojiyle bütünleşik çalışma becerisi olan üç boyutlu lazer tarama teknolojilerinin mevcut bir yapının yeniden kullanım süreçlerindeki boyutsal analizlerinin anılan teknolojilerle birlikte kusursuz çözümlerinin olabilirliği anlatılmaya çalışılmıştır.

Çalışma iki temel adımdan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci adımı Kalite Kavramlarının, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi ve üç boyutlu lazer tarama teknolojilerinin akademik olarak irdelendiği; bu iki yeni sistemlerin ortak kullanılabilirliği üzerine literatür araştırmaları ekseninde oluşan aşamasıdır. Çalışmanın hem diğer adımı hem de ana odak aşaması ise yeniden kullanım aşamasında olan bir yapının BIM modeli ile lazer tarama verileri karşılaştırılarak yeniden kullanım öncesi yapının boyutsal anlamdaki hata ve bozulmaların tespiti yapılarak sonuçlar ortaya konulduğu çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Proje Yönetimi, Yapı Bilgi Modelleme, Kalite Kontrol, 3D Lazer Tarama.

University : **İstanbul Kültür University**
Institute : **Institute Of Graduate Studies**
Department : **Civil Engineering**
Programme : **Project Management**
Advisor : **Assistant Prof. Dr. Mehmet N. UĞURAL**
Thesis Type – Date : **Masters Degree – June 2022**

ABSTRACT

A FIELD STUDY ON DIMENSIONAL QUALITY CONTROL WITH BIM-LASER SCANNING INTEGRATION IN BUILDINGS

Didem ERTAŞ

The construction sector is a unique, difficult, complex and intricate sector consisting of design, construction, operation and maintenance processes and demolition phases from other sectors. The quality of the final product, the building (building), is undoubtedly directly dependent on the quality performance in the design and construction phases. The quality performance of a structure at the end of the design and construction process is the mathematics of the extent to which it meets the expectations of the user or employer. This equation has been established differently in every structure for centuries and different results have been obtained. Although user expectations vary, each structure is expected to achieve minimum universal quality standards in the design and construction processes.

As a result of these expectations and natural formations in the construction sector, natural rules have been formed within the framework of universal acceptance and have continued until today according to the conditions of the time for centuries. In order to respond to the expectations of these natural rules, a field called quality control has been formed and a control mechanism has been developed to meet these expectations. Inspection and acceptance conditions, which are generally established according to the rules determined by the employer, are carried out by the employer himself or by the technical staff representing the employer. Due to the complex nature

of the construction industry and the difference in the dynamics of each construction process, quality control processes from past to present are carried out with traditional methods and human-based. The main purpose here is to minimize the errors and defects that may occur both during the design phase and during the construction process, to reduce the time and cost losses caused by mistakes, to ensure customer / employer satisfaction, to achieve the expected quality standard, to increase the competitive power in the sector, etc. reasons can be listed. In order to achieve these expectations, quality control should be carried out continuously during the design and construction stages according to the manufacturing specifications determined by the employer

In the last century, when technology has developed parabolic, although it has been slower to adapt than other sectors, the construction industry has also been affected and has started to use technology. The possibilities of technology have started to be used in the construction sector in developing countries, especially in developed countries (such as the USA, England, Japan). As this adaptation has taken place in a significant part of the world, in our country, the construction industry has met with digital technology in recent years and has started to benefit from these opportunities.

Building Information Modeling (BIM) technology, which broke new ground in the construction industry and has become widespread in the world and in our country, especially in developed countries, and three-dimensional laser scanning technologies, which have the ability to work integrated with this technology, are available to users in the design, construction, operation and maintenance processes of buildings and in the demolition phases. It offers great possibilities and advantages.

In this study, the possibility of perfect solutions for the dimensional analysis of an existing structure in the reuse processes of Building Information Modeling (BIM) technology and three-dimensional laser scanning technologies with the ability to work integrated with this technology has been tried to be explained.

The study consists of two basic steps. In the first step of the study, Quality Concepts, Building Information Modeling (BIM) technology and three-dimensional

laser scanning technologies are examined academically; This is the phase that occurs in the axis of literature research on the common usability of these two new systems. Both the other step and the main focus phase of the study is the study in which the results are revealed by determining the dimensional errors and deteriorations of the structure before reuse by overlaying the BIM model and laser scanning data of a structure that is in the reuse phase.

Keywords: Project Management, Building Information Modeling, Quality Control, 3D Laser Scanning



1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, tasarım, yapım, işletme ve bakım süreçleri ile yıkım evrelerinden oluşan, diğer sektörlerden benzersiz, zor, karmaşık ve girift bir sektördür. Son ürün olan yapı (bina) kalitesi kuşkusuz tasarım ve yapım aşamalarındaki kalite performansına direkt bağlıdır.

Bir yapının tasarım ve yapım süreci sonundaki kalite performansı kullanıcı ya da işveren beklentilerini ne ölçüde karşıladığının matematiğidir. Bu denklem yüzyıllar boyunca her yapıda farklı kurulmuş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanıcı beklentileri her ne kadar değişkenlik gösterse de her yapının projelendirme ve yapım süreçlerinde asgari düzeyde evrensel kalite standartlarını yakalaması beklenmektedir.

Tasarım sürecinde mekânsal, işlevsel, fonksiyonel, estetik, ekonomiklik gibi parametreler işveren ya da kullanıcıya bağlı olarak değişse de projenin doğruluğu, hatasızlığı, diğer disiplinlerle uyumu, saha uygulamalarına elverişliliği, yapım standartlarını ve genel geçer koşulları karşılaması gerekmektedir. Keza yapım sürecinde de ortaya çıkan ürünler farklı olsa dahi imalat kalitesinin tolerans sınırları içinde yapılması beklenir.

İnşaat sektöründe bu beklentiler ve doğal oluşumların sonucu olarak da evrensel ölçekte ortak kabul çerçevesi içerisinde doğal kurallar oluşmuş ve yüzyıllar boyunca zamanın şartlarına göre günümüze kadar süregelmiştir. Bu doğal kuralların beklentilerine cevap verebilmek amacıyla da kalite kontrol denilen bir saha oluşmuş ve bu beklentileri karşılamak için kontrol mekanizması gelişmiştir. Genellikle işverenin belirlediği kurallara göre oluşturulan muayene ve kabul koşulları yine işverenin kendisi tarafından ya da işvereni temsil eden teknik elemanlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

İnşaat sektörünün karmaşık doğasından ve her yapım sürecinin dinamiğinin farklılığından dolayı geçmişten günümüze kalite kontrol süreçleri geleneksel yöntemlerle ve insan temelli yapılmaktadır. Burada temel amaç gerek tasarım aşamasında gerekse de yapım sürecinde oluşabilecek hata ve kusurları asgari düzeye indirebilmek, hatalardan kaynaklı zaman ve maliyet kayıplarını azaltmak, müşteri / işveren memnuniyetini sağlamak, beklenen kalite standardını yakalamak, sektördeki rekabet gücünü artırmak vb sebepler sıralanabilir. Bu beklentilerini yakalamak için

işverenin belirlediği imalat şartnamelerine göre de tasarım ve yapım aşamasında kalite kontrolü sürekli olarak yapılmalıdır.

Teknolojinin parabolik geliştiği son yüzyılda diğer sektörlerden daha yavaş adapte olsa da inşaat sektörü de etkilenmiş ve teknolojiyi kullanmaya başlamıştır. Başta gelişmiş ülkeler (ABD, İngiltere, Japonya gibi) olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde de inşaat sektöründe teknolojinin imkânları kullanılmaya başlanmıştır. Dünyanın önemli bir kesiminde bu adaptasyon gerçekleştiği gibi ülkemizde de son yıllarda inşaat sektörü dijital teknoloji ile tanışmış ve bu imkanlardan yararlanmaya başlamıştır.

İnşaat sektöründe yeni bir çağır açan bu teknolojisi Yapı Bilgi Modelleme (BIM) denilen sistemattir. Özellikle bir yapının tasarım ve yapım süreçlerindeki insan odaklı kusurların önüne geçebilen, evrensel ölçekte kalite standartlarını yakalayabilen bu teknoloji ile beraber sektörün diğer ihtiyaçları ile ilgili teknolojik devrimler de gerçekleşmiş ve bu yeni teknolojiler BIM ile entegre edilerek pratik, hatasız, hızlı çözümler getirerek insan kaynaklı hataları ortadan kaldıran çözümler sunmuştur.

BIM ve BIM ile beraber gelişimini hızlandıran üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü yersel lazer tarama teknolojisinin geliştirilmesi, bu teknolojinin BIM ile birlikte kullanımı sonucu binaların özellikle yapım aşamasında sıfır hataya yakın sonuçlar vermesi ve bu süreçleri oldukça hızlı gerçekleştirmesi ile birlikte inşaat sektöründe kalite standardının belirli ölçüde sağlanmasına altyapı oluşturmuştur. Ayrıca yapının işlev, nicelik, nitelik, lokasyon, yapım tekniği ve yapım ekibinin bilgi ve tecrübesi gibi parametrelere göre kalite puanının değişmesine neden olan faktörleri de ortadan kaldırmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan akademik araştırmalarda Yapı Bilgi Modelleme ile Üç Boyutlu Lazer Tarama Teknolojisinin birlikte kullanımı sonucunda yapım sürecinde imalatların özellikle geometrik kalite kontrollerinin (gönye, şakül, master, ölçü vb) yapılması ve tolerans sınırları içinde kalıp kalmadığı, yapıyı oluşturan yapı elemanlarının (taşıyıcı sistem, duvar, kaplamalar, doğramalar) ve yapıyı oluşturan alt sistemlerin (kanallı sistemler, borulu sistemler, bacalı sistemler vb) kalite kontrollerinin yapıldığı ve olumlu sonuçlar alındığı görülmüştür. Bu entegrasyon sisteminin yapım aşamasındaki bir yapıda kullanıldığı gibi mevcut yapılarda da kullanılabildiği ve zaman içerisindeki bozulmaların tespit edilebildiği de gözlenmiştir.

Bu çalışmada da yukarıda anlatılan perspektiften bakılarak mevcut veya yapım sürecindeki binaların kalite kontrol sürecinin insan odağından çıkarılarak teknolojik

sistemlerle kusursuzluğa yaklaşılabildiğinin olabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca ilave olarak insan temelli sebeplerden dolayı tasarım ve yapım aşamasındaki hatalardan kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek zaman ve maliyet kayıplarının da azaltılabileceği ve sonraki akademik çalışmalarla meslek pratiğindeki çalışmalara veri olması da amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde inşaat sektörü, kalite kavramı, kalite kavramının inşaat sektöründeki karşılığının ne olduğu gibi konulara değinilmiştir.

Bir sonraki bölümde BIM (Building Information Modeling) sistemi anlatılmış, üç boyutlu lazer tarama teknolojileri açıklanmış ve BIM ile 3D Lazer Tarama Sisteminin birlikte çalışabilirliği konuları araştırılarak daha önceden yapılan akademik çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise örnek bir yapının mevcut durumunun lazer tarama teknolojisi ile elde edilen üç boyutlu modeliyle yapı rölövesinden elde edilen üç boyutlu BIM modeli karşılaştırılarak yapı elemanlarındaki hata ve bozulmalarının, yapım esnasındaki geometrik imalat hatalarının sonuçları ortaya koyulmuştur.

Çalışmanın son bölümünde ise bulgular ile sonuçlar ortaya konularak çalışma sonlandırılmıştır.

2. KALİTE KAVRAMI ve İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ

2.1. Kalite Nedir?

Fransızca kökenli bir kelime olan “Kalite” Türk Dil Kurumu sözlüğündeki kelime anlamı “nitelik” olarak tanımlanmıştır. Kalitenin en çok bilinen tanımı, standartlara veya şartnamelere uygunluktur. Bu anlamlandırmalara göre kalite kavramı; beklenen şartlara, standartlara ve müşteri beklentilerine cevap verebilmek olarak da tanımlanabilir.

Kalite bir süreç içinde olgunlaşır. Diğer bir deyişle ürünün ilk kullanıcısı tarafından yapılan kalite değerlendirmesi sağlıklı bir değerlendirme değildir. Ürünün zaman içindeki performansı gözlemlenirse daha sağlıklı bir değerlendirme yapmak mümkün olmaktadır (Özer, 2016).

2.1.1. Neden Kalite?

Kalitenin en temel amacı elde edilmesi hedeflenen ürünün ya da hizmetin beklenen performansından zaman içerisinde yaşanabilecek sorunların önceden önlenerek minimize edilmesini amaçlayan önlem ve tedbirler bütünüdür. (Polat ve Arıoğlu, 2018) Bu önlem ve tedbirler çerçevesinde,

- Hedeflenen ürünle ilgili olarak verim artırmak,
- Müşteri taleplerini karşılamak,
- Kusursuzluk hedefini yakalamak,
- Ürünün kullanım ömrünü artırmak,
- Ürünün kullanım süresince kalite standartlarını karşılamak,
- Maliyet kayıplarını indirmek,
- Hizmetin süratli bir şekilde oluşmasını sağlamaktır (Güner ve Giritli, 2011).

2.1.2. Kalite Kavramının Zaman İçindeki Gelişimi ve Serüveni

Kalite; zaman süzgeci içinde toplumların da gelişmesiyle birlikte kendine farklı anlamlar ve tanımlar kazandırmıştır. Kaliteyi tanımlayanlar ve kalite felsefesini yorumlayanların kalite ile ilgili olarak belirttikleri açıklamalar şöyle sıralanabilir;

- Juran, kaliteyi kullanıma uygunluk olarak tanımlamıştır.
- Crosby, müşteri beklentilerini karşılamak olarak açıklamıştır.
- Deming, ileriye yönelik olarak kullanıcıların gelecekteki isteklere cevap verme kabiliyeti olarak betimlemiştir.

- Ishikawa ise kalitenin ekonomik, tasarımsal ve ürün sonrası kullanıcı servisi performansı olarak değerlendirmiştir.

Toplam Kalite Yönetimi elde edilen ürünün belirli bir andaki beklentileri değil ürünün toplam kullanım sürecindeki tüm beklentilerin eksiksiz olarak kullanıcıya vermeyi planlayan sistem bütünüdür. Başarılı bir Toplam Kalite Yöntemi için ürünün tüm kademelerindeki kullanıcılarının kalite kavramının bilincinde olması gerekmektedir (Kocamış,2017).

Günümüzde gelişen teknolojiler ile evrenin sonsuzluğu içindeki insanoğlunun çizdiği sınırlar ortadan kaldırılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda insanlar kalitede ortak beklentiler oluşturabilmiş ve ortak kalite kontrol mekanizmaları geliştirmeye başlamışlardır. Ürünün son kullanıcısı olan müşteriler için ikili ilişkilerle başlayan, zaman içerisinde muayene ve kontrol yöntemleriyle gelişen toplam kalite yönetimi günümüzde küresel ölçekte ortak kabullerin olduğu bir olgu haline gelmektedir (Güngör ve Arslan, 2004).

2.3. Kalite Kontrol Kavramı

Kalite Kontrol kavramı; bir ürünün ya da hizmetin beklenen kalite hedeflerinin gerçekleşmesini hedefleyen kontrol mekanizmasıdır. Kalite kontrol mekanizmasının gerçekleşmesi için kullanılan uygulamalar; teknik, istatistik, ölçüm, deney ve analizler ile gerçekleştirirler. (Çelebi, 2013)

Gerek üretim gerekse de hizmet işlerinin bulunduğu alanlarda kalite kontrol uygulaması kaliteyi artırır. Ürün ya da hizmet için oluşabilecek olumsuz gelişmeleri, maliyet ve zaman kayıplarını asgariye indirmektedir.

2.3.1. Kalite Kontrol Neden Yapılır? Neden Yapılmalıdır?

Son ürün için hedeflenen beklentilerin karşılanması için yapılması zorunlu olan kalite kontrolün temel amaçları;

- Tasarım ve üretim kalitesini artırmak,
- Ürün ya da hizmet kalitesini geliştirmek,
- Kusurlu ürün ya da hatalı işçilik kayıplarını engellemek,
- Ürünün kullanım sürecindeki olumsuz algıları azaltmak,

- Üründen ya da hizmetten beklenen kalite performansını asgari düzeyde tutmaktır. (Karabulut ve Özer,2017)

2.4. İnşaat Sektörünün Özellikleri ve Dinamikleri

İnşaat sektörü gerek dünyada gerekse de ülkemizde en önemli sanayi kollarından biridir. Beyaz eşya, otomotiv, tekstil gibi diğer sektörlerde olduğu gibi inşaat sektörü de ürün çıkarmayı hedefler. Ancak inşaat sektörü kendi içinde yüzlerce alt imalat kalemleri barındırması ve bu imalatların uygulamasında çeşitli ekipman ve malzemeye ihtiyaç duyulması ile sektörde interdisipliner uzmanlara ihtiyaç duyması ve sektör profesyonellerinin farklı tecrübe ile deneyimlerden oluşması gibi yönleriyle diğer imalat sektörlerinden oldukça farklı bir dinamizme sahip olmaktadır (Polat ve Arioğlu, 2018).

Bu perspektiften bakıldığında inşaat sektöründe yapılmak istenen son ürün olan binaların fonksiyonu, işlevi, nicelik ve niteliği, lokasyonu, iklimi ve topografyası, yapım teknolojisi, kullanılan malzemeler gibi kriterleri küresel anlamda ortak bir kalite kavramının oluşmasını engeller ve kalite kontrol sürecinin diğer sektörlerdeki gibi homojen ilerlemesini engeller. (Çelebi ve Kuruoğlu, 2015)

2.4.1. İnşaat Sektörü ve Kalite Kavramı

İnşaat sektörü bünyesinde kalite kavramı çeşitli şekillerde anlamlar kazanmıştır. Bazen yapımı tamamlanmış bir binanın kalitesi bazen de yapının kullanıcı performansı bazen ise uygulama aşamasında yüklenici ve taşeronlar tarafından verilen hizmet olarak anlam bulmaktadır. (Tablo 2.1) (Atlı,2015)

Tablo 2. 1. İnşaat Sektörü ve Kalite Süreçleri (Atlı, 2015)

YAPIM SÜRECİNDE KALİTE			YAPIDA KALİTE
Yönetim ve Planlama	Şantiye Organizasyonu	Üretimde	Ürün Kalitesi
• Planlama • Şantiye • Üretim (Malzeme, İş Gücü, Ekipman)	• Şantiye Kurulması • Malzeme Alımı • İş gücü • Makine Ekipman	• Üretim	• Yapı

İnşaat sektörü; kalite kavramının her bir yapı ya da proje için ayrı ayrı ele alınması zorunlu olan bir sektördür. Projelerin işlev, biçim, form, nicelik, nitelik, iklim ve topografya gibi özelliklerini barındıran mimari kararlarının, yapım teknolojisi, malzeme seçimi ile bunların uygulama aşamasında kullanılan ekipmanlarla inşa eden ekiplerden oluşan bir ekosistem olması küresel kalite standardını imkânsız hale getirir.

2.4.2. Kalite Kontrol ve İnşaat Sektöründeki Uygulamaları

İnşaat sektöründe kalite kontrol, proje döngüsünün tüm evrelerinde uygulanan bir süreçtir. Projenin oyuncuları, yüklenici ve/veya alt yüklenici/ler tarafından işin başlangıcı belirlendikten sonra (sözleşmenin imzalanması, işin başlaması gibi) dizayn aşamasından başlar, yapım ve uygulama aşamasıyla devam eder ve yapının işverene tesliminden sonra kullanım ve yaşam ömrünü tamamladığı sürece kadar devam eder. Bu kalite kontrol sürecinde tasarım, yapım ve kullanım aşamalarında paydaş olan işveren, tasarımcı, proje müellifi, kontrol birimi, alt yüklenici firmalar, malzeme tedarikçisi ve uygulama ekipleri kalite kontrolün yapılmasında ve uygulanmasında önemli aktörlerdir. (Arditi ve Günaydın, 1997)

2.5. İnşaat Sektöründe Minimum Kalite Standartları

İnşaat sektöründe kalite standardının oluşumu; işveren ve kullanıcı beklentileri, pazar koşulları, sektör içi rekabet gibi faktörler ile kendiliğinden oluşan dinamik bir süreçtir. (Polat ve Arioğlu, 2018)

Ayrıca yapım sürecinde yapılan hatalardan kaynaklı oluşan maliyet ve zaman kayıplarının toplam inşaat maliyetine oranı yapılan çalışmalarda %5 oranında olduğu tespit edilmiştir. (Mill vd., 2013) Bu durum uygulama sürecinde yapılan kalite kontrol işleminin hem maliyet hem de kullanıcı memnuniyeti açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

2.5.1. Yeni Teknolojiler İnşaat Sektöründeki Kalite Kontrol Süreçlerinde Neden Kullanılmalıdır?

Binaların dizayn ve yapım sürecinde oluşabilecek kusurlu ve yanlış imalatları asgari düzeye indirmek ve yapı kullanım süresi boyunca asgari düzeyde bir kalite standardını yakalayabilmek için tasarım aşamasından işletme aşamasına kadar sürekli ve güçlü bir kalite yönetim performansı gerekir.

Her yapının kendine özgü işlev ve fonksiyonları, niceliği, niteliği, lokasyonu, yapım tekniği ve başka bir sürü farklı parametrelerinin olduğu düşünüldüğünde her yapının kendi kimliğinin doğal olarak oluştuğu söylenebilir. Bu durum kalite yöntemi belirsizliği ile beraber sektördeki kalite uygulamasını zor bir hale getirmektedir. Aynı zamanda bu kalite yöntemi belirsizliği beraberinde evrensel bir asgari kalite standardının oluşmasını da engellemektedir. (Atlı, 2015)

Her yapının tasarımcısı farklı kültürden ve beslemelerden gelir. Tasarımcının eğitim geçmişi, tecrübesi ve diğer birikimleri projenin tasarım performansını belirleyen en önemli etmenlerin başında gelir. Projenin tasarım aşamasında yapının estetiği ile beraber malzeme ve yapım detaylarına karar vermesi ve yapının yaşam performansını sağlaması gibi bir çok faktör de yapı kalitesini belirlemektedir.

Bir yapının proje ekibindeki mimarlar ve mühendisler yapım aşamasında herhangi bir aksaklığın yaşanmaması için genel ve özel şartnamelere, yönetmelik ve kurallara uygun olarak projeyi kurgularlar. Ancak proje ekibinin geleneksel olarak birbirinden bağımsız ve kollektif olmayan bir şekilde çalışması da beraberinde bir takım sorunlar doğurmaktadır. Proje performansı birlikte çalışabilirlik ilkesi ile gerçekleştiği durumda projelerde hatalar ve farklılıklar asgari düzeye indirilebilir. (Akkaya, 2012)

Yapım sürecinde sahada bulunan kontrol teŖkilatında görevli kontrol mimarlarının, mühendislerinin ve teknik elemanlarının her biri farklı eēitim, deneyim ve birikimden gelmektedirler. Bu durumun doēal sonucu olarak uygulama aŖamasında aynı imalatların farklı birimlerde ve iŖlerde farklı sonulandıēı bilinen bir durumdur. İnsan temelli olarak ortaya çıkan bu eliŖkilerle hata ve kusurlar bazen kontrol elemanları tarafından bilinçli Ŗekilde yapılmakta bazen de tecrübe ve bilgi eksikliēinden kaynaklanır. Evrensel düzeyde ve ortak bir kalite seviyesi oluŖturabilmek için kalite kontrol süreçlerinin insan odaklı deēil de teknoloji temelli yapılması saēlanmalıdır (Wang vd., 2015).

Yapının inŖa aŖamasında yüklenici firmaya baēlı alt yüklenicilerle ortak alıŖılmaktadır. Alt yüklenicilerin imalatlarının sürekli olarak kalite kontrol iŖlemi ve iŖ planlaması yapılmalıdır. Eēer bu eylemler yapılmaz ise kalite kavramından söz etmek mümkün olmaz. Projelerde alt yüklenicilerin yaptıēı uygulama kaliteleri ve bahsedilen diēer kalite sorunlarının çözümü sadece yapım planlamasının yapılabildeēi, yapım sürecinin kolaylıkla ynetilebildeēi ve boyutsal kalite kontrol iŖlemlerinin yapılabildeēi inovatif teknolojilerle saēlanabilmekte ve kalite yönünden asgari bir oran yakalanılabilmektedir. (Bahçeci ve Polat, 2019)

3. TASARIM VE YAPIM SÜRECİNDE İNOVATİF KALİTE KONTROL ÇÖZÜMLERİ

3.1. Yapı Üretiminde Kalite Beklentileri İçin Yeni Teknolojiler: BIM-3D Lazer Tarama Birlikteliği

Yapının design ve yapım sürecinde oluşabilecek tasarım ve yapım kusurlarını asgari düzeye indirebilmek ve beklenen kalite ölçeğini yakalamak için sürekli kalite kontrolü ve yönetimi gerekir. Geleneksel yöntemlerle yapılan kalite kontrolü ve yönetimi yapının lokasyonu, ölçeği, niceliği ve niteliği, yapım tekniği ve daha başka birçok değişkene göre değişkenlik gösterir. Bu durum inşaat sektöründe standart bir kalite çıktısının oluşmasını engellediği gibi aynı zamanda insan faktöründe yüksek düzeyde bağımlıdır. Bu bağımlılık kötü kalite yönetimlerinde gereksiz maliyet ve zaman kayıplarına neden olur. (Mill vd., 2013) Günümüzde gelişen teknolojik imkanlarla birlikte inşa aşamasında oluşabilecek olumsuzlukların asgari düzeye indirilebileceği ve kabul edilebilir ortak kalite standardı geliştirilebileceği yapılan araştırmalar ve çalışmalardan gözlenmektedir.

Yapılan araştırma ve çalışmalar sonrasında gözlemlenen dizayn ve yapım aşamalarında insan temelli kusurları asgari düzeye indirebilen, dünyanın gelişmiş ülkelerinde (Başta İngiltere olmak üzere, ABD, Japonya gibi ülkeler) uygulamaları yapılan ve kabul edilebilir kalite çerçevesi oluşturabilen aktif olarak kullanılmaya başlanan ve bu ülkelerde kamu binalarının dizayn ve inşa aşamalarında zorunlu olarak uygulanan Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi; farklı disiplinlere ait belgeleri, projelendirme aşamalarını, proje tasarımcıları ile yapım profesyonellerini sürecin içine katarak proje dokümanlarının dijital ortamda yönetimine imkan sağlayan yenilikçi bir teknoloji olarak kullanılmaktadır (Bahçeci ve Polat, 2020). Bina Bilgi Modelleme tekniği dizayn aşaması sürecinin organizasyonu, inşa süreci planlaması ve organizasyonu, dizayn ve inşa sürecindeki disiplinlerarası proje profesyonellerinin ve uygulayıcıların organizasyonu, ortak çalışabilirlik imkanı sağlaması gibi kabiliyetleriyle yapılarda ortak kabul edilebilir minimal kalite standardı oluşturulmasına zemin hazırlamıştır.

Bu olanakları ile BIM, tasarım ve yapım yönetim süreçlerinde yüksek verim elde etme ve iş bütünlüğünü sağlama imkanlarını da beraberinde getirmiştir. Bu katma

değerler haliyle gereksiz maliyet kayıplarını engellemiş, karar verme süreçlerine kattığı avantajlar sebebiyle de zaman kayıplarının önüne geçmiştir. Bu yeni teknoloji yenilikçi bir yaklaşımla kalite kontrolü ve yönetimi açısından geleneksel yöntemlere göre maliyet, zaman ve kalite açısından önemli kazançlar sağlamıştır. (Akkoyunlu,2015).

Gelişen BIM teknolojileri ile dizayn ve inşa süreçlerindeki avantajlı olgular BIM'in sektördeki farkındalığı artmakla beraber BIM ile ortak tabanlı çalışabilen akıllı bir uygulama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu akıllı uygulama BIM tabanlı çalışan kalite kontrol (değerlendirme) uygulamasıdır. (Laing R., 2015). BIM teknolojilerinin gelişmesiyle ve kullanım yaygınlığının artmaya başlamasıyla beraber üç boyutlu yüksek çözünürlüklü lazer tarama tekniklerinin geliştirilme çalışmaları başlamış, bu sistemlerin BIM teknolojiye entegrasyonu üzerine araştırmalar artırılmıştır. Bu entegrasyon inşaat sektöründe yeni bir pencere ve çalışma sahası oluşmasına olanak sağlamıştır. Lazer tarama teknolojisi ile BIM'in entegrasyonu sayesinde üç boyutlu veriler (lazer tarama ile sahadan alınan nokta bulutlar) BIM ortamına aktarılarak yapının mevcut durumu hakkında yüksek hassasiyetli düşük toleranslı (± 1 mm'ye varan toleranslar) üç boyutlu veri elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Yapım aşamasındaki ya da yapımı tamamlanmış bir binanın üç boyutlu lazer tarama teknolojisiyle alınan veri setlerinin BIM ortamında (BIM tabanlı paket programlar ile) Mevcut veya inşa aşamasında olan yapıların 3D lazer tarama sistemiyle elde edilen verilerinin, taraması yapılabilen tüm elemanlarının boyutlarının oluşturulan sanal model ile karşılaştırılarak tasarlanan yapı ile ortaya çıkan ürünün farklılıklarını ve varsa kusur ve hatalarını saptayabilen bu yeni inovatif teknoloji ile yapım aşamasında kalite kontrolü oldukça verimli ve hatasız olarak yapılabilir (Kaya, 2020).

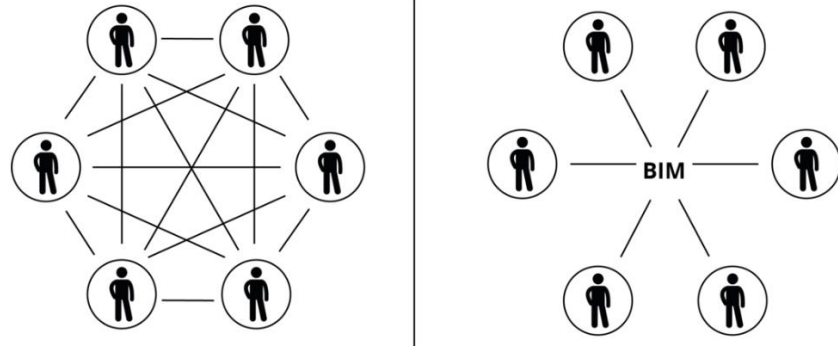
3.2. Yapı Bilgi Modelleme (BIM) Nedir?

Yapı Bilgi Modelleme(BIM) yukarıda da anlatıldığı gibi günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerden başta İngiltere olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri, Japonya gibi gelişmiş ülkelerde kamusal projelerde BIM kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu tür ülkelerde BIM yaygınlığı dolayısıyla parabolik şekilde gelişim göstermektedir. Ülkemizde ise gelişmiş ülkeler kadar yaygın olmasa da farkındalık düzeyinde ciddi artışlar gözlenmektedir (Azhar, 2011).

BIM teknolojisinin temelleri özellikle 20.yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişmeye başlayan bilgisayar destekli tasarım (computer aided design-CAD) kavramının yazılımcı Ivan Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad yazılımı oluşturur. Bu program Yapı Bilgi Modelleme gibi bir mantıkla çalışmamasına rağmen BIM fikrinin zamanla oluşmasının temel altlığını oluşturmaktadır. BIM kavramı ve teknolojileri 1990 yılı başlarında yayınlara konu olmaya başlamış ve zamanla yaygınlaşmaya başlamıştır (Çuhadar, 2017).

BIM, iki boyutlu yazılımlar ile (özellikle Autocad) benzer arayüz ve özellikler taşımasına rağmen çalışma mantığı ve kullanım imkanları tamamen farklıdır. (Akkaya, 2012) Autocad vb yazılımlarda oluşturulan nesnelerin temelinde çizgi yatarken BIM tabanlı yazılımlarda oluşturulan nesneler tanımlı birer objedirler. BIM tabanlı paket programlar nesne alt veri sistemli ve geometrik alt yapılı modelleme sistemlerinden bütünlük bir yazılımlardır (Zeng ve Tan, 2007).

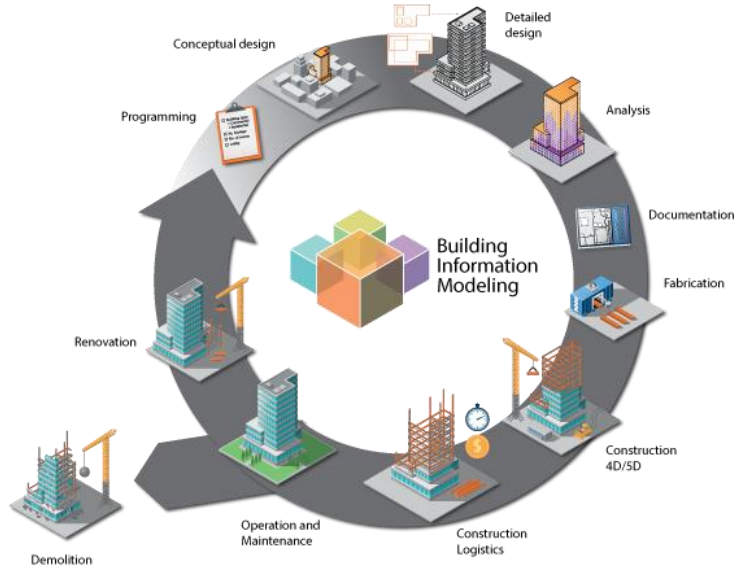
BIM ile ilgili açıklamaları kısaltarak anlatmak gerekirse BIM, yapı oluşturan yapı elemanı tabanlı çalışan ve bu yapı elemanlarının kendi aralarındaki ilişkileri dijital ortamda sanal bir modele dönüştüren teknolojidir. Bununla beraber bu dijital verinin dizayn, inşa etme ve kontrol süreçlerinde bulunan tüm profesyonellerin sürece dahil olma olanaklarını sağlar. (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. İnşaat Sektöründe İş Akışının Klasik Hali ve BIM Hali Gösterimi
(Öktem ve Ertuğrul, 2017)

Projede rol alan oyuncular, o proje ile ilgili olarak farklı katkılarda bulunurlar. Örneğin mekanik ekibi binanın ısıtma, soğutma, havalandırma çözümlerini yaparken elektrik ekibi binanın enerji besleme ve dağıtımlarını yaparlar. BIM ile birlikte bu farklı disiplinlerdeki ekipler projenin verilerini birlikte kullanma imkânına erişirler. (Ofluoğlu, 2019). BIM ile beraber;

- Shop-drawings olarak adlandırılan imalat projeleri arasında güçlü bir ilişki ve tutarlılık olur.
- İmalatların ve pozların teknik şartname kurallarına göre kontrol yapan teknik elemanların bireysel hata riski azalır ve denetimin doğru ve güçlü bir şekilde yapılabilmesini sağlar.
- Tasarım aşamasındaki bütünlük kavramı uygulamaya geçmeden (çakıştırmalar yöntemi ile) hataların önceden engellenmesini sağlar. Dolayısıyla maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçilir.
- Yapının tasarımcı ile yapıyı sahada inşa eden uygulama ekibinin aynı sayısal verileri kullanmasına imkan tanıyan BIM hem projenin hızını artırır hem de kalitesini artırır.
- Ayrıca yapının tasarım ve yapım aşamasında üretilen 3D sayısal veriler yapının kullanım aşamasındaki işletme organizasyonuna da olanak sağlamaktadır.



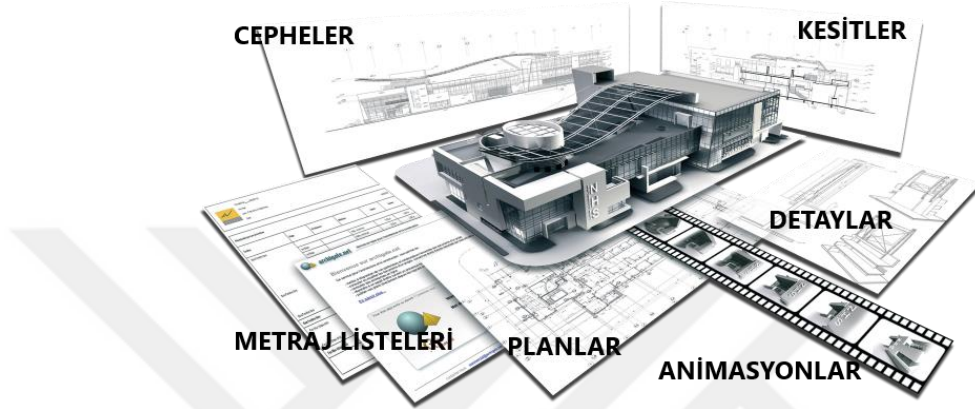
Şekil 3. 2. BIM Modellemenin Projenin Farklı Aşamalarında Farklı Proje Paydaşları Tarafından Kullanılması (Ofloğlu, 2019).

Bir yapının projelendirilmesi eski dönemlerde el (cetvel, rapido vs) çizimleri ile yapılırken sonradan geliştirilen bilgisayar yazılım programları ile günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan Autodesk ürünü olan AutoCAD programının ilk çıktığı zamanlarda kullanım yoğunluğu oldukça düşük kalmıştır. Geleneksel yöntemler ile alışkanlık kazanılan proje geliştirme sürecinin CAD temelli yazılımlara entegre olması belli bir zaman almıştır. Ancak daha sonraları bu CAD yazılımların kolaylık ve avantajları görülmeye başlanınca daha yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. (Eastman vd., 2011) Benzer şekilde iki boyutlu bilgisayar destekli tasarım programlarının geçirdiği süreci günümüzde BIM teknolojisi geçirmektedir. İlk olarak Jerry Laiserin'in 2002 senesinde tanıtımını yaptığı BIM'in gerek projelendirme ve yapım gerekse de bakım ve işletme süreçlerindeki kolaylık ve avantajları da günümüzde daha yaygın tartışılmaya başlanmış ve zaman içinde kullanım yoğunluğu da artma eğilimindedir.

3.2.1. Yapı Bilgi Modelleme (BIM) Oluşum ve İhtiyaç Sebepleri

BIM teknolojisi nesne odaklı çalışır. İki boyutlu bilgisayar destekli tasarım ve çizim programlarındaki aksaklık ve eksiklikler BIM yazılımlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur bir anlamda. İki boyutlu çizim programlarındaki çizimler arasındaki

kopukluk, her bir çizim nesnesinin ayrı ayrı çizilmesi (plan, kesit görünüş), diğer disiplinler ile iletişimsizlik ya da manuel iletişimler (mekanik, elektrik, statik, peyzaj ve altyapı gibi) sektör çalışmalarında önemli oranda zaman kayıplarına ve önemli miktarda hatalara neden olmaktadır. Yapı bilgi modelleme ile bu sorunlar önemli oranda ortadan kalkmıştır (Akkaya,2012). Yapı bilgi modeli oluşturulan bir projeden elde edilebilen dokümanlar şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisiyle Oluşturulan Modelden Elde Edilen Veriler (Ofluoğlu, 2009).

Bir yapı için hazırlanan ön proje ya da taslak çizimlerden sonra o yapının yapım detayları için hazırlanan imalat projeleri ya da uygulama projeleri taslak projeler ile sıkı bir bağlantı taşır. Bu bağ içerisinde bir yapının projelerinin herhangi bir yerinde yapılan revizyon projenin bütününe ya da projeyi oluşturan diğer argümanları doğrudan etkiler. İki boyutlu CAD yazılımlarında bu revizyonun tek tek projedeki tüm paftalara hatta diğer disiplinlerdeki paftalara, mahal listelerine, teknik şartnamelere, maliyet cetvellerine dahi işlenmesi gerekir. Bu işlemler iki boyutlu yazılımlarda manuel olarak yapılır. Dolayısıyla her revizyonda ciddi bir zaman kaybı ve çoğu zaman da karmaşa oluşur. Bu karmaşa doğru organize edilmediği zaman ise ciddi anlamda imalat hataları ve maliyet kayıpları oluşur. BIM teknolojisindeki tüm elemanlar nesne tabanlı çalıştığından projenin herhangi bir nesnesinde yapılan revizyon projenin diğer tüm paftalarına, diğer disiplinlerdeki paftalarına, mahal listelerine, şartnamelere ve metraj ve maliyet cetvellerine otomatik olarak aktarılır. Bu nedenle oluşabilecek imalat kusurlarını, maliyet ve zaman kayıplarını ortadan kaldırır (Çuhadar,2017).

Bir başka perspektiften bakıldığında iki boyutlu bilgisayar destekli çizim programları çizgi ve eğri temelli objelerden oluştuğundan dolayı o yapıya ait fiziksel analizleri ve hesapları yapamaz. Bu eksiklik dolayısıyla yapı için alınan kararların (malzeme, bileşen, kabuk detayları, cephe boşluk/doluluk oranı vb) sağlıklı alınabilmesinde bazı şüpheler oluşturur. Bir diğer deyişle tasarımcının doğru detay, malzeme, bileşen ya da cephe kararları almasında yol gösterici olamaz. Üç boyutlu BIM modellerinde yapının lokasyonu, lokasyonun iklim tipi, araziye yerleşme biçimi, kullanım amacına, kat sayısına ve kullanım yüküne göre fiziksel çevre kontrolü hesabı yapılabildiğinden projenin tasarımcısına bir nevi yol gösterici olur. Hatta daha tasarım aşamasında önemli kararların verilebilmesi için farklı alternatiflerin farklı hesaplarını ve sonuçlarını ortaya koyabilir (Akkoyunlu, 2015).

İki boyutlu çizim programları bir yapının proje ve yapım sürecindeki tüm oyuncuların organize çalışmasına uygun yapıda değildirler. BIM teknolojisi tam aksine yapım profesyonellerinin hızlı ve hatasız bir şekilde organize çalışması için yeterli altyapıya sahiptir. Böylece tasarım ve yapım sürecinde zaman, verimlilik ve maliyet kayıplarını engeller. (Elmuallim ve Gilder, 2014) Bu perspektiften bakıldığında yapı profesyonellerinin özellikle proje, yapım ve bakım-işletme sürecindeki maliyet ve zaman kayıpları Tablo 3.1’ de verilmiştir (Kuruoğlu vd., 2012).

Tablo 3. 1. CAD Programlarının Yapı Üretiminde Konvansiyonel Çalışamamazlığından Kaynaklanan Ek Maliyetler (Kuruoğlu vd., 2012).

PAYDAŞ GRUBU	MÜHENDİSLİK VE TASARIM EVRESİ	YAPIM EVRESİ	BAKIM VE İŞLETİM EVRESİ	EKLENMİŞ TOPLAM MALİYET
Mimarlar ve Mühendisler	\$1.007,2	\$147,00	\$15,7	\$1.169,8
Genel Yükleniciler	\$485,9	\$1.265,3	\$50,4	\$1.801,6
Özel yüklenici ve Tedarikçiler	\$442,4	\$1.762,2		\$2.204,6
Mal sahipleri ve İşletmeciler	\$722,8	\$898,00	\$9.027,2	\$10.648,00
Toplam (\$M)	\$2.658,3	\$4.072,4	\$9.093,3	\$15.824,00

BIM ortamında hazırlanan projeler iki boyutlu CAD programlarında hazırlanan projelerin aksine çizgi ve eğrilerden değil parametrik nesnelerden oluşurlar. Parametrik nesnelerle çalışan model içinde proje profesyoneli BIM’in proje için almış olduğu kararları yapabildiği maliyet hesaplamaları ile projenin uygulama aşamasından

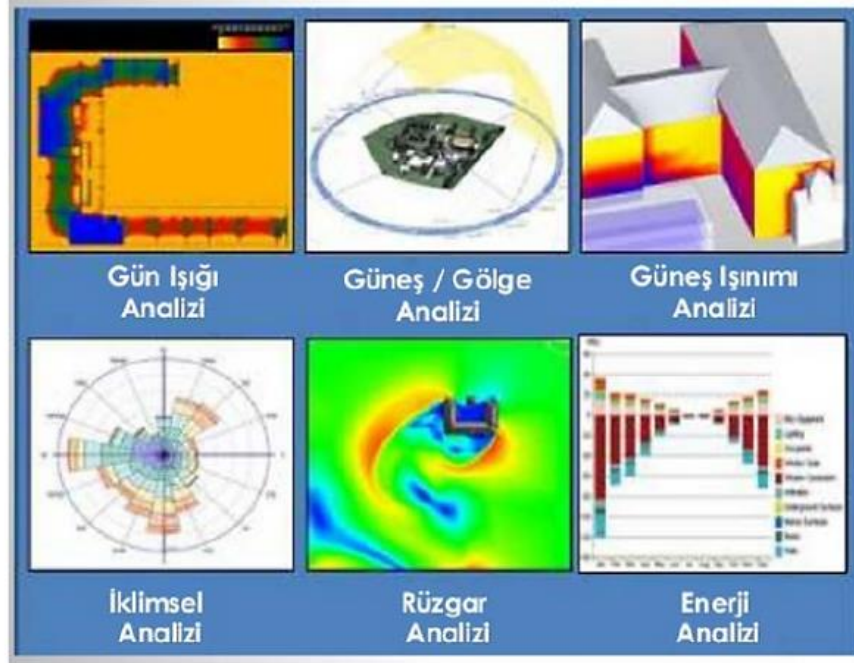
önce maliyetleri kolay bir şekilde görebilmektedir. Bu öngörü sonrasında yapacağı herhangi bir revizyon da otomatik olarak maliyet cetveline yansımaktadır (Akkoyunlu, 2015). BIM yazılımları ile hesaplanmış metraj-maliyet tablosu şekil 3.4. de gösterilmiştir.

Level	Name	Number	Area	Perimeter	Comments
LEVEL 1	Public	422	2008 SF	407'-5 3/4"	
LEVEL 2	Public	423	2008 SF	407'-5 3/4"	
LEVEL 3	Public	424	2008 SF	407'-5 3/4"	
LEVEL 4	Public	425	2008 SF	407'-5 3/4"	
LEVEL 5	Public	426	2008 SF	407'-5 3/4"	

Type	Material	Manufacturer	Count	Comments
CHIT	CLC	Design Value Search	60	
CHIT	Renata SMO	Design Value Search	64	

NO.	Type	Width	Height	Thickness	Material	Finish	Under Cut	Fire Rating	Hardware	Type	Material	Frame	Finish	Jamb	Head	Corner
111	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
246	2	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
247	2	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
8021	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
8022	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
8023	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151A	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151B	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151C	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151D	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151E	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151F	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151G	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151H	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151I	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151J	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151K	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151L	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151M	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151N	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151O	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151P	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151Q	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151R	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151S	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151T	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151U	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151V	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151W	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151X	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151Y	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151Z	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AA	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AB	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AC	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AD	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AE	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AF	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AG	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AH	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AI	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AJ	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AK	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AL	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AM	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AN	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AO	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AP	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AQ	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AR	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AS	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AT	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AU	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AV	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AW	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AX	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AY	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151AZ	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BA	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BB	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BC	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BD	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BE	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BF	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BG	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BH	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BI	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BJ	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BK	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BL	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BM	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BN	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BO	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BP	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BQ	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BR	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BS	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BT	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BU	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT				JA1	HB	PT	4453 01	2453 01		
151BV	1A	3'-0"	7'-0"	2'-1 3/4"	STL	PT	</									

fiziksel koşullara göre gerçekçi bir şekilde ölçer ve bu analiz sonuçları ile yapının kullanıcı kitlesine yapı kullanım aşamasındaki bakım, amortisman ve işletme organizasyonları ile işletme sürecinde oluşabilecek olumsuz koşulları engellemeyi amaçlar. Projenin tasarım, yapım ve kullanıcıya sunduğu bu olanaklarla yapı daha inşa edilmeden ilave maliyetlerin ve zaman kayıplarının oluşmasını engeller (Eastman vd, 2010).



Şekil 3. 5. BIM paket programları ile oluşturulan fiziksel çevre analizleri (Ofloğlu, 2014).

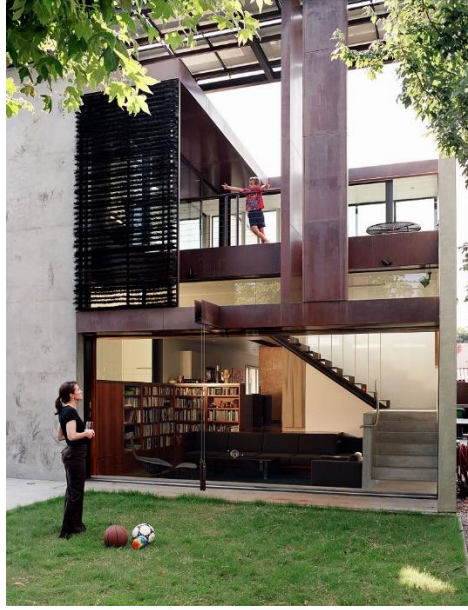
Building information modeling (BIM) teknolojisi ve sürdürülebilirlik olgusu son zamanlarda özellikle gelişimini tamamlamış ülkeler başta olmak üzere yapı tasarımında dikkate alınmaya başlayan bir kavram olmaya başlamıştır. Bina bilgi modelleme teknolojileri ve bu teknolojilerle birlikte çalışabilen ek (yama) yazılımlar ile yapılan analiz sonuçlarına göre doğal çevreye saygılı, enerji performansı yüksek, sıfır enerji tüketimli yapıların tasarımı gündemde yoğun olarak kurgulanmaya ve konuşulmaya, tasarlanmaya ve yapılmaya başlanmıştır. Yapı bilgi modelleme ile birlikte tasarlanan bu binalar sürdürülebilirlik meselesini daha yaygın hale getirmeye başlamıştır. Bina kullanım aşamasında enerji tüketimini minimal seviyeye indiren tasarımlar, tüketilen bir takım maddelerden (örneğin su, enerji gibi) yenilenebilir

sistemlerle kaynakların yeniden kullanımı, fiziksel atıkların yeniden kullanımı işletme maliyetleri daha düşük binaların ortaya konulabilmesi olanakları sunmaktadır.

3.2.2.1. BIM Teknolojisi ile Oluşturulmuş Sürdürülebilir Yapılar

İçinde bulunduğumuz çağda iletişimsiz ve etkileşimsiz bir yaşam neredeyse düşünülememektedir. Bu etkileşim ve iletişimler dijital cihazlarla (akıllı telefonlar, tabletler, pc gibi) sağlanmaktadır. Ayrıca yapılarda kullanılan cihazlar (akıllı ev sistemleri, beyaz eşyalar, çay kahve makinaları, sosyal tesislerde kullanılan enerjiler, ticari yapılarda kullanılan enerjiler vb) enerjiyi maksimum miktarda kullanmaktadır ve enerji olmadan neredeyse yaşamın durma noktasına geleceği düşünülmektedir. Dolayısıyla günümüzde var olan enerji, enerjinin kullanımı ve kullanılan enerjinin dönüşümü oldukça önemli bir olgu haline gelmiştir. Gerek doğal ve yapılı çevre gerekse de insanlar, hayvanlar ve bitkiler için sürdürülebilirlik meselesi oldukça önemli bir durum haline gelmiştir. Bu sürdürülebilirlik olgusu da üretim sektöründe ve yapı sektöründe yoğun olarak tüketilen enerji bakımından önemli bir paya sahiptir. Yapının bulunduğu konuma, fiziksel çevre ve iklim özelliklerine uyum gösteren yapı tasarımı, yapım sürecinde ve kullanım aşamasında gereksinim duyulan enerjinin minimum düzeye indirilmesi ve tüketilen enerji atığının dönüştürülerek yeniden kullanımı dünyada artık önemli konular arasına girmiştir. İşte tam bu perspektiften bakıldığında BIM teknolojileri yardımıyla oluşturulan sürdürülebilir yapılar kullanım aşamasında büyük farklılıklar oluşturmuştur (Yaman ve Arslan, 2018).

Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde Yapı Bilgi Modelleme teknolojisi ile tasarlanan ve inşa edilen Güneş Şemsiyesi isimli konut binası (Şekil 3.6.); Betonarme malzemeden iskelet yapı tekniği ile üretilmiş toplam 175 m² inşaat alanından oluşan bir yapıdır. Bina tasarım aşamasında BIM programları yardımıyla fiziksel doğal ve yapay çevre analizleri yapılarak aktif/pasif güneş enerjisini birleştirerek yüzde yüz enerji verimliliğine ulaşan model olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. (Pugh, Scarpa, 2011).



Şekil 3. 6. Kaliforniya'daki Güneş Şemsiyesi Evi, (Pugh, Scarpa, 2011.)

Almanya'nın Stuttgart şehrinde yüksek eğimli bir arazide yapılan ve dört kattan oluşan R128 isimli yapı BIM teknolojisi yardımıyla sürdürülebilirlik kavramını ele alarak tasarlanmış ve modüler yapı olarak inşa edilmektedir (Şekil 3.7.). Bu yapı tasarlanırken yapıda kullanılan malzemelerin yeniden kullanımına olanak sağlayabilmesi için yapıda kullanılan kablolar, borular vb bina alt sistem elemanları duvar içinden değil cephe boyunca yerleştirilen metal boruların içine yerleştirilmiştir (Sobek,2018).



Şekil 3. 7. Stuttgart'daki R128 Binası (Werner, 2018)

Birleşik Krallık'ın Londra şehrinde yapılan bir konut tamamen BIM ile modellenmiş ve yapılan modellemelerden alınan analizlere göre yapı son şekline gelmiştir (Şekil 3.8.). Yapı Bilgi Modelleme ile gün ışığı ve ısıtım analizleri yapılarak

yapının yönü belirlenmiş ve güneş ışığının az olduğu yönlerde (kuzeydoğu-kuzeybatı cepheleri) duvar içlerinde yoğun saman malzemesi doldurularak ısı yalıtımı yapılmıştır. Güneybatı cephesinde ise güneş ışığından ve ısıyımdan maksimum düzeyde yararlanabilmek için cam malzeme yoğun olarak kullanılmıştır. BIM modeli üzerinde yapılan gürültü analizi ile demiryolu cephesinde kum torbaları kullanılarak gürültü kesilmektedir (Sarah, 2020).



Şekil 3. 8. Londra’da Yapılan Bina, (Sarah, 2020).

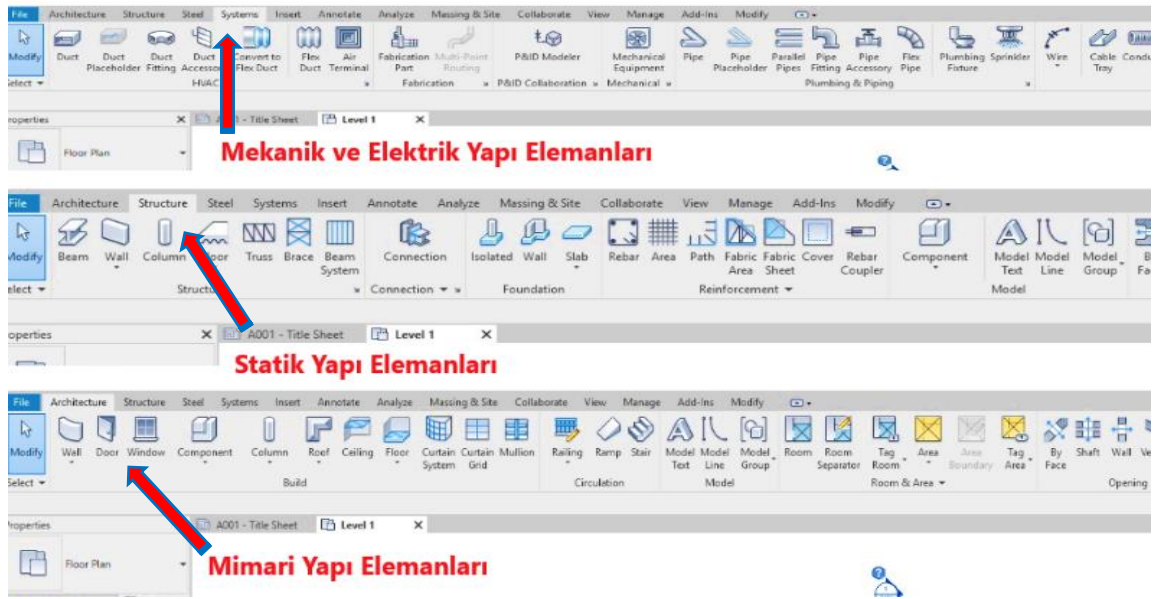
3.2.3. Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisinin Ana Unsurları ve Fonksiyonları

BIM teknolojisi ürün, süreç ve sistem aşamalarından oluşan sistematik bir olgudur. Ürün daha bina tasarım sürecindeyken binayı tanımlar ve binaya ait bütün analizlerin yapılarak veri oluşturan, yapım ve işletme aşamasından önce oluşabilecek tüm kusur ve eksikleri gösteren, maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçilmesini sağlayan sanal modeldir ve bu model parametrik elemanlardan oluşur (Pehlevan, 2018). Süreç, oluşturulan parametrik ürün modeli üzerinden yapılan eylemlerdir. Bu eylemler; shop-drawings denilen uygulamaya esas projeler ve detayları, fiziksel çevre analizleri, diğer disiplinlerle yapılan karşılaştırma analizleri, metrajlandırma ve maliyetlendirme eylemleridir (Kazado,2018). Sistem ise BIM ile oluşturulan modellerin farklı disiplinlerini bir arada çalıştırılabilirliğini sağlayan, boyutsal kalite

kontrollerinin yapılmasına olanak sağlayan, binanın yapım ve işletme aşamasındaki verimliliğini artıran bir sistemler bütünüdür (Pehlevan, 2018).

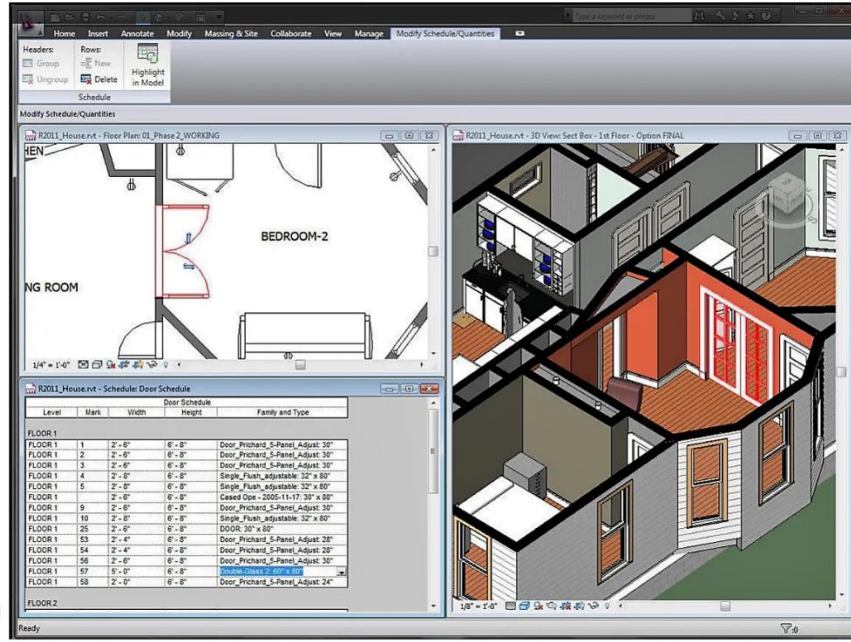
3.2.3.1. BIM Temel Parametreleri

BIM modelleri parametrik nesnelerden oluşur ve bu nesneler BIM tabanlı çalışan farklı paket programlarının tamamında programla birlikte yüklenen hazır nesnelerden oluşur. Program içinde olan nesnelerin dışında kullanıcı kendi parametrik nesnelerini oluşturabilir ya da başka platformlardan import yaparak kullanabilir. Bu nesneler mimari nesneler olabildiği gibi bina strüktürü için kullanılan elemanlar, mekanik ve elektrik elemanları gibi nesnelerden oluşabilir. Hangi disiplinin nesnesi olursa olsun BIM programları bu nesnelerin gerçekteki özelliklerini tanımlar ve ihtiyaca göre yeniden tanımlanabilmesine olanak sağlamaktadır (Azhar vd, 2009) . Şekil 3.9. da BIM tabanlı çalışan pakey programlardan Autodesk Revit programından alınan bir görüntü ile parametrik nesnelere ait örnek gösterilmiştir.



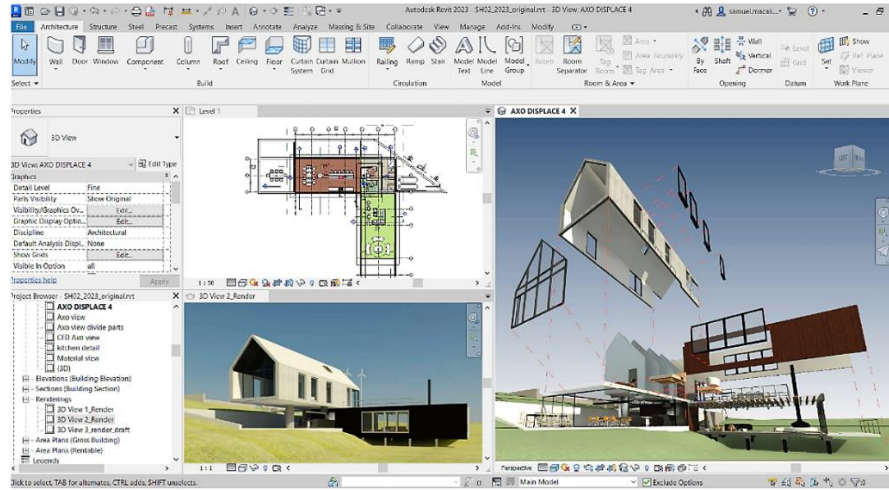
Şekil 3. 9. BIM tabanlı paket programlarda bulunan parametrik nesneler (Pehlevan, 2018).

BIM tabanlı çalışan paket programlarda bulunan parametrik nesneler yazılıma kendini tanıtabilirler ya da olası bir revizyonda bu değişime nasıl cevap verebilecek kabiliyettedirler. BIM programları bu revizyon süreçlerini iki boyutlu çizim programlarının aksine çizimin tüm paftalarına eş zamanlı aktarma yeteneğindedir (Akgün, 2016) .



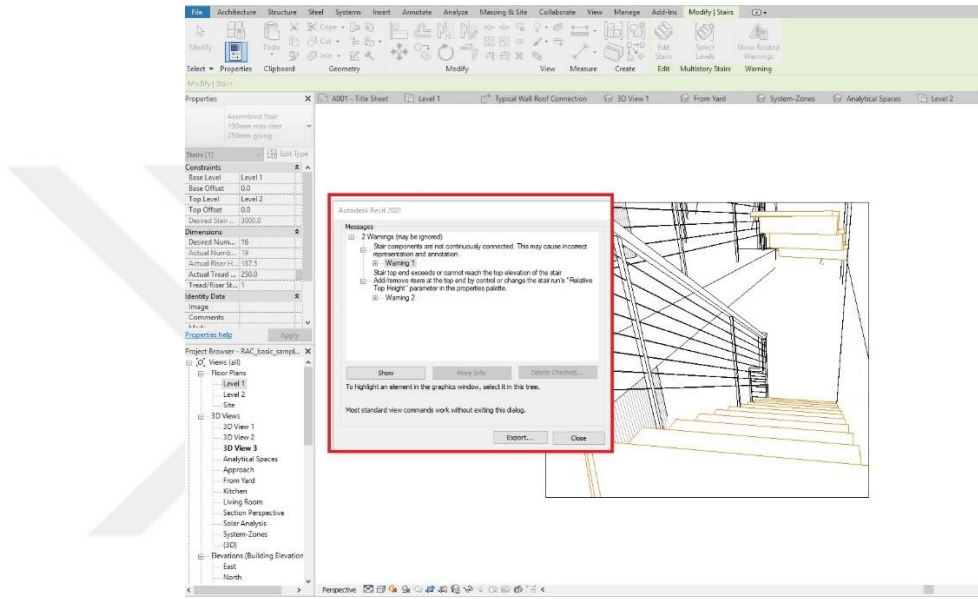
Şekil 3. 10. Yapı Bilgi Modelleme ile oluşturulan bir projede yapılan revizyonun tüm paftalardaki otomatik değişimi Örneği (Pehlevan, 2018).

BIM tabanlı programlarda kullanılan parametrik nesneler birbirleri ile kendi içlerinde bulunan özelliklerle birbirlerine bağlanırlar, bu da Şekil 3.11' de görülmektedir (Doğan, 2017) .



Şekil 3. 11. BIM tabanlı programlarda nesnelerin birbirleriyle akıllı birleşimi (Pehlevan, 2018).

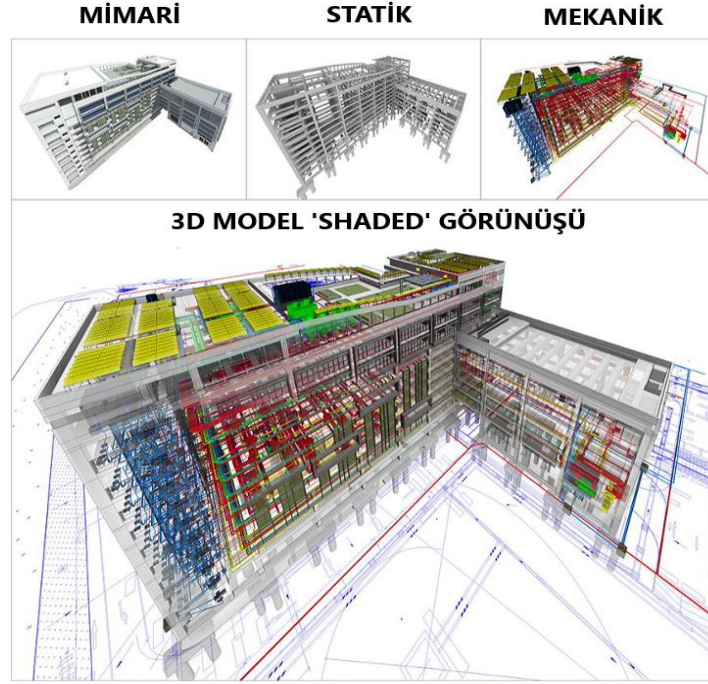
Bu parametrik nesnelerin olası hatalı birleşimlerinde ya da hatalı kullanımlarında program tarafından otomatik engeller konulur ve kullanıcı uyarılır. Bu sayede yapının projelendirme aşamasında hata yapılmasının önüne geçilir. Şekil 3.12 de yapıda kullanılan bir merdivenin değerlerinde yapılan değişiklikler sonrasında BIM tabanlı çalışan Merdiven nesnesine ait parametrelerde yapılan değişiklik sonucu yapı bilgi modelleme teknolojisine Archicad programının kullanıcıya verdiği uyarı mesajı görülmektedir (Polat, 2008).



Şekil 3. 12. Archicad programının hatalı merdiven değerlerine verdiği uyarı mesajı (Ofloğlu, 2019).

BIM tabanlı programlar otomatik olarak hataları önleyebilmenin yanında modelin içinde bulunan tüm disiplinlere (elektrik, mekanik, statik, mimari gibi) aynı model içinde çalışma imkanı verir. Model üzerinde herhangi bir disiplinin yaptığı revizyon tüm disiplinlere aktarılır ve böylelikle disiplinlerarası uyumlu bir çalışma ortamı sağlamaktadır (Şekil 3.13).

Ayrıca oluşturulan BIM modelinin içindeki tüm nesnelerin her birinin farklı detay seviyelerini de içeren ve projenin ölçeğine bağlı olarak değişik görünümlere bürünebilme özelliği de bulunmaktadır (Tekin ve Atabay, 2019)



Şekil 3. 13. BIM ortamında disiplinlerarası çalışma örneği (Pehlevan, 2018).

3.2.4. BIM Modellerinin Dijital ve İnsani Algıları

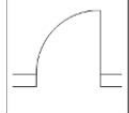
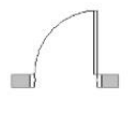
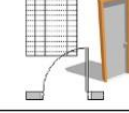
1980’li yıllara kadar projeler kalem ile kâğıt üzerine el çizimleriyle yapılmaktaydı. Bu yöntem bahsedilen yıllardan itibaren yerini iki boyutlu çizim programlarına dönüşmeye başlamıştır. Ancak inşaat sektörü hem ülkemizde hem de dünyada çok sayılı alt disiplinlerden oluştuğundan ve girift yapısından dolayı geleneksel yöntemlerden CAD yazılımları ortamındaki çizim sistemine geçiş sürecinde oldukça zorlanmıştır (Tamke vd.,2016) İki boyutlu bu CAD yazılımlarının inşaat sektörüne girişi ile birlikte süreç hızlanmaya başlanmış ve 21.yüzyıl başlarından itibaren de BIM yazılımları konuşulmaya ve kullanılmaya başlanmıştır (Çuhadar, 2017) İnşaat sektörünün altlıkları olan projelendirme sisteminin geleneksel yöntemlerden günümüze kadar olan süreci şekil 3.14 te gösterilmektedir (Ross, 1999).



Şekil 3. 14. Projelendirme sürecinin tarihsel gelişimi (Çuhadar, 2017).

Proje tasarımcısı ya da oluşturucu, projenin içindeki nesneleri hangi ortamda oluşturulmuşa oluşturulsun algı olarak nesneyi hep aynı algılar. Ancak bu durum bilgisayarlar için geçerli değildir. Bilgisayar farklı ortamlarda oluşturulan nesneleri insan gibi aynı algılamaz. Bilgisayarlar iki boyutlu çizim ortamında oluşturulan bir nesneyi çizgi olarak algılarken BIM ortamında oluşturulan nesneyi gerçek nesne olarak algılamaktadır (Tablo 3.2.) (Bosche vd, 2014).

Tablo 3. 2. Projedeki nesnelerin insanda ve bilgisayarda oluşturduğu algı (Pehlevan, 2018).

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

Hızla gelişen teknoloji sayesinde BIM modellerini oluşturan parametrik modeller insan üzerindeki algının aynısını bilgisayar üzerinde de oluşturması sebebiyle yapının analizlerinde, karşıtırmalarda, kalite kontrol aşamalarında, ilerleme durumunun (maliyet ve zaman perspektifli) incelenmesinde, model detay seviyelerinde (Lod seviyeleri) gerçekçi çözümler yapabildiğinden dolayı insan sebebiyle ortaya çıkabilecek tüm kusur ve zararların, kayıpların engellemesini sağlamaktadır (Polat vd, 2021).

3.2.5. BIM Hangi Alanlarda Kullanılır?

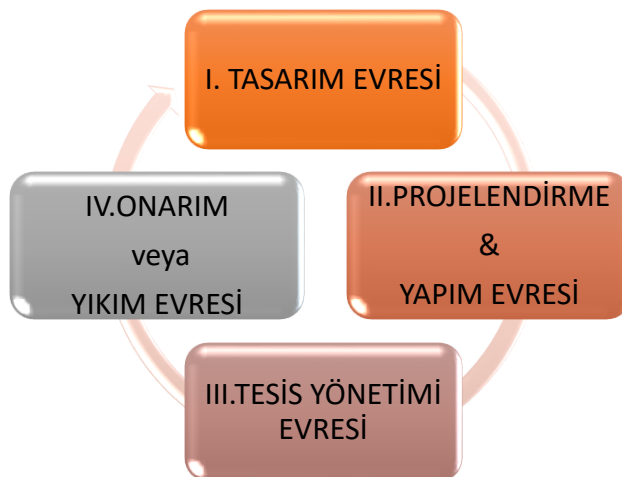
Yenilikçi ve teknolojik tabanlı altyapıya sahip olan BIM teknolojisi;

- Bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında,
- Üç boyutlu modelleme ve fotoğraflama (render) süreçlerinde,
- Disiplinlerarası karşıtırma analizlerinde,
- Fiziksel çevre ve bina analizlerinin oluşturulmasında,
- Proje yönetimi uygulamalarında ve
- Metraj ve maliyetlendirme aşamalarında kullanılabilmektedir. (Ofloğlu, 2009)

3.2.6. Yapı Yaşam Döngüsü ve Yapı Bilgi Modelleme

İnsanlar doğar, büyür, gelişir, yaşlanır ve ölür. Yapılar da tıpkı insanlar gibi bir yaşam döngüsüne sahiptir. Yapının doğuşu tasarım evresiyle başlar, yaşamı ise yıkım evresiyle tamamlanır. Dört temel aşamadan oluşan yapı yaşam döngüsü tablo 3.3' de gösterilmektedir.

Tablo 3. 3. Yapı yaşam döngüsü (Ofloğlu, 2009).

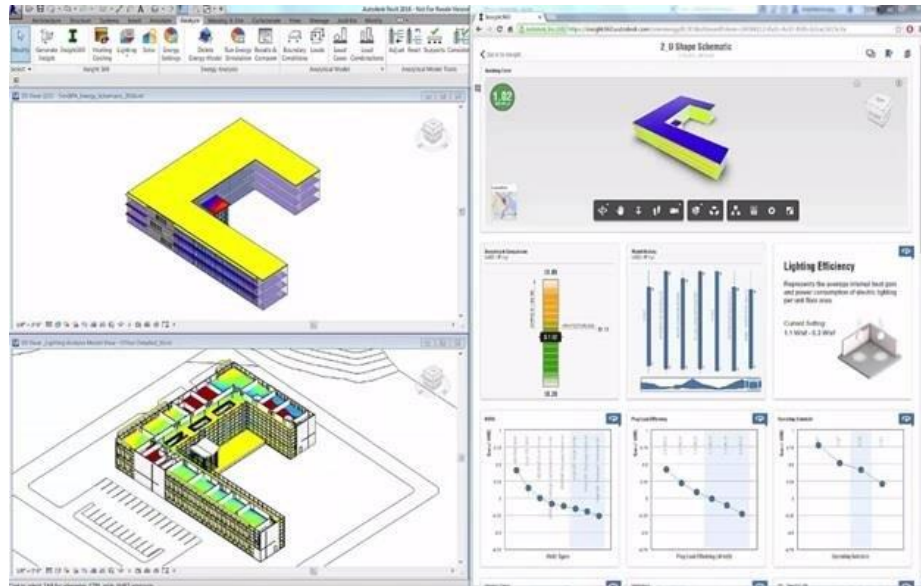


BIM sistemi, bir binanın kendi içinde tasarım aşamasından başlayan, tasarım sonrası projelendirme, yapım, kontrol sistemiği, işletme süreci, onarım ve/veya yıkım süreçlerinin tümünü yönetebilme kabiliyetine sahip teknolojidir (Akgün, 2016).

3.2.6.1. Tasarım Aşamasında BIM

Yapının tasarım evresinde o projenin tasarımcısı, yatırımcı ve danışmanlarla birlikte alınan kararlardan sonra taslaklar ve diyagramlar ile kütle tasarımı ya da ön proje denilen şematik sunumlara dönüştürülür. Proje tasarımcısı BIM teknolojisi ile bu ön taslakları işveren ve danışmanlarla ya da diğer paydaşlarla kritik yaptıktan sonra proje ile ilgili kesin kararlar alınır. BIM ile bu ön paylaşım aşamasında ortak kararların alınması süreci kolaylaştırmaktadır (Işıkdağ, 2015).

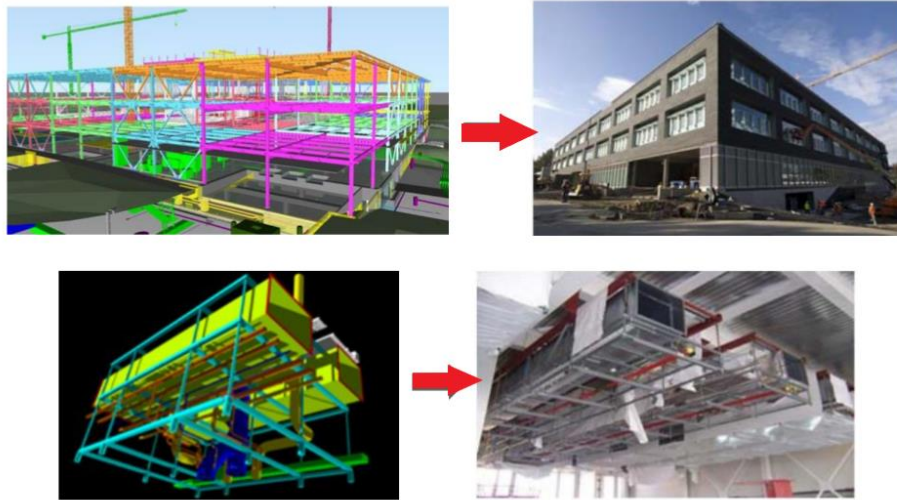
Tasarımın olgunlaşma aşamasında verilen ön kararlar sonrası yapılan kütle model BIM ortamında çeşitli analizlerle tasarım kararları gözden geçirilebilir ve nihai haline getirilebilir. Dolayısıyla BIM teknolojisi ile hem analiz altlıkları oluşturulabilir hem de üç boyutlu sunumlar yapılarak tasarımın daha gerçekçi olarak işverene sunumu kolaylaşır. Bina daha kütle model tasarım aşamasındayken ön maliyet analizleri gibi bir takım veriler daha kolay hesaplanır ve proje için daha tasarım evresinde binanın anayolu belirlenebilmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3. 15. BIM ortamında hazırlanan kütle model ve analizleri (Ofluoğlu, 2018).

3.2.6.2. Proje ve Yapım Sürecinde BIM

Proje ekibi ile paydaşlarca ortak oluşturulan proje tasarım aşamasından sonra yerinde yapılması binanın bire bir kopyası sanal ortamda oluşturulur. BIM ile birlikte yapı sektörüne giren “iki kere inşa etme” kavramı burada oldukça önem kazanmaktadır. Bir diğer deyişle “gerçek yapının sanal kopyası” oluşturulur. BIM teknoloji paket programlar vasıtasıyla çizilen projelerde istenilen detay seviyesinde (lod düzeyinde) proje çıktısı alınabilmektedir (Şekil 3.16.). Yapı bilgi modeli oluşturulma aşamasında proje ile ilgili bütün diğer veriler otomatik bir biçimde oluşturulur ve bu sayede proje ekibinin projeye hakimiyeti sağlanır. BIM ile birlikte tasarım aşamasının hemen ardından sahada uygulama esnasında kalite kontrol için de bir takım kolaylıklar bulunmaktadır. Bu kolaylıklar ve olanaklar ile insan kaynaklı kusur ve eksikler önlenmektedir. Ayrıca yerinde yapılan imalatlar projeye işlenerek bütün diğer disiplinlerde de projenin güncellenmesi sağlanır ve as-build denilen “yapıldığı gibi” çizimler bütün disiplinlerde ortak olarak elde edilmektedir (Elmuallim ve Gilder, 2014).



Şekil 3. 16. BIM ile hazırlanan proje ve yerinde uygulama
(Url-2, İstanbul 2012).

3.2.6.3. Bakım ve İşletme Sürecinde BIM

Yapılar kullanıma başladıktan sonra zamanla bir takım yıpranmalara maruz kalır ya da yapının işlevinden dolayı bakım ve yenileme gerektirir. Yapılan araştırmalarda bir yapının yaşam döngüsü içindeki bakım ve onarım maliyetleri yaşam döngüsü

içindeki tüm maliyetlerin ortalama %60'ını oluşturduğu görülmektedir. Tam bu perspektiften bakıldığında BIM ve BIM'e eklenti yazılımlar bir yapının tasarım, yapım süreçlerinin dışında bakım ve onarım süreçlerinde de kolaylıklar sağlayan bir sistemdir (Polat, 2014).

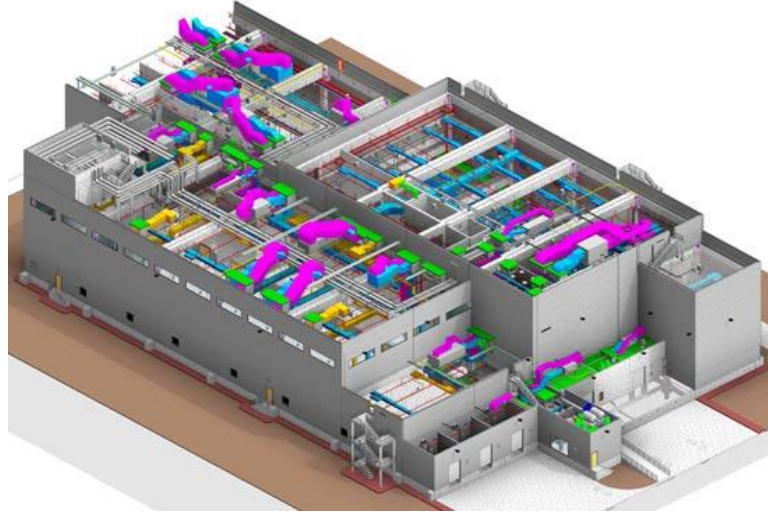
Kullanıcılar bir yapıyı kullanmaya başladıktan sonra genelde bir takım gereksinimler sonucunda yapıyı büyütmek ya da eklentilemek isterler. (Turkan vd 2012) Bu ilaveler ya da onarımlar aşamasında Yapı Bilgi Modelleme ile hazırlanmış projelerdeki ek çalışmalar bütünü görmek anlamında ya da maliyet ve zaman hesaplamalarını daha kolay öngörebilmek anlamında geleneksel metotlara nazaran büyük kolaylıklar sağlamaktadır. (Turkan vd 2013)

Diğer yandan yapı işletme sürecinde BIM, bina alt sistemlerini oluşturan kablolu, bacalı ve borulu bina alt sistemlerinin daha doğru çalışma kontrolü sağlar. Böylelikle acil durumlarda (deprem, sel, yangın vb) güvenlik sistemleri ile BIM entegrasyonu yapıldığında hızlı müdahale ve kontrol olanakları sağlamaktadır. (Tang vd, 2010)

3.2.6.4. Onarım ve Yıkım Sürecinde BIM

Yapı, yapıldığı zamandan itibaren bir çok farklı nedenden ötürü kullanım amacından farklı amaçlarla kullanılabilirler. Örneğin otel olarak yapılan bir yapı zamanla yurt binasına ya da konut olarak yapılan bir yapı zamanla ticari ünite olarak kullanılabilir. Yapıya yüklenen revizyon işlev tasarım kararlarında BIM ile hazırlanan bir projeyi referans almak işleri oldukça kolaylaştırmaktır.

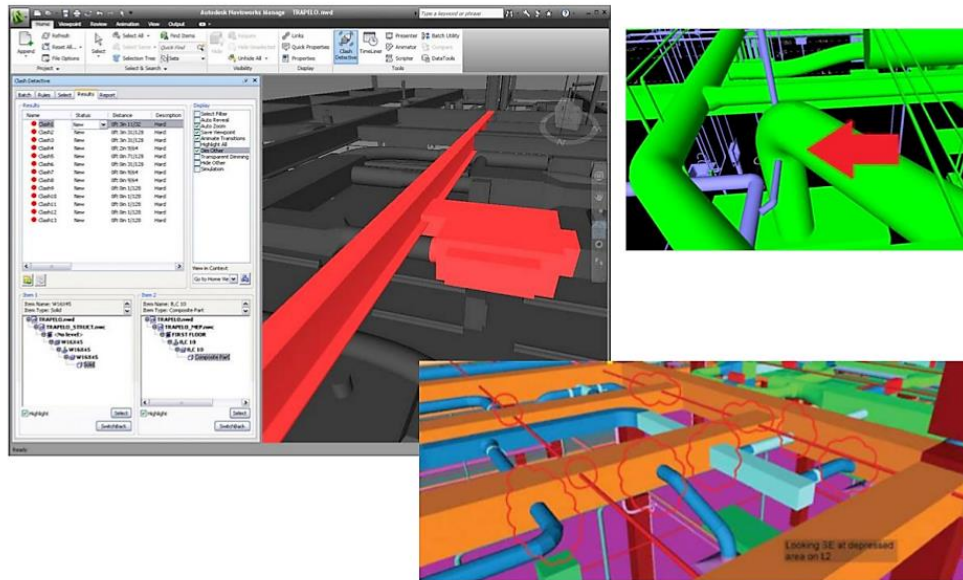
Yapı işlevini tamamen değiştirse bile kullanım süresi ile birlikte mekânsal anlamda revizyonlara ihtiyaç duyar. Yani kullanılabilir faydalı alanların zaman içindeki ihtiyacı değişkenlik gösterir. Mekan performansının geliştirilmesi ihtiyacı ile birlikte yapının onarımı, revizyonu bazen de güçlendirilmesi gereksinimi ortaya çıkar. Yapının ilk olarak ortaya konulduğu dönemde BIM ile hazırlanmış bilgi sistemi üzerinden yapılacak işlev ve mekânsal revizyonların, onarımların vb değişikliklerin geleneksel metotlara göre daha az hatalı ve verimli yapıldığı görülmektedir (Bahçeci,2019).



Şekil 3. 17. Bina kullanım performansı için oluşturulan BIM Modeli Örneği (Url-3, 2022).

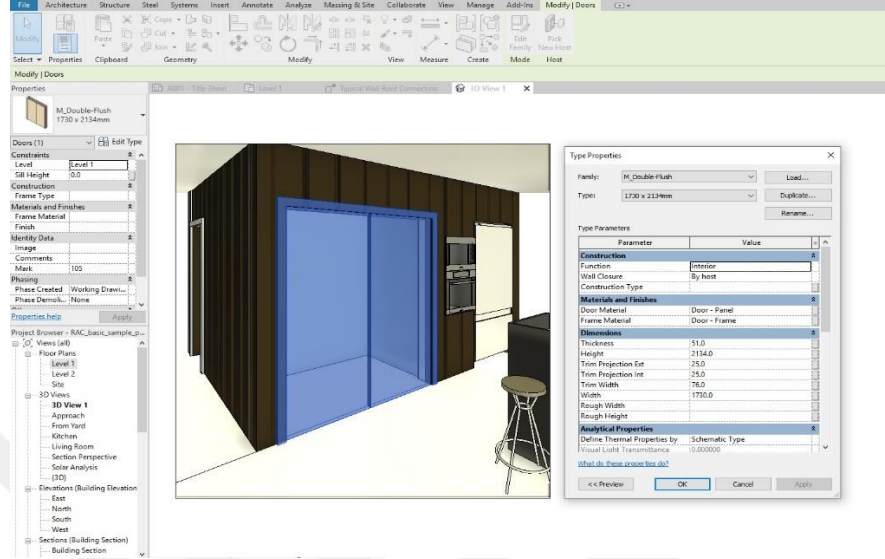
3.2.6.5. Çakışma Analizlerinde BIM Kullanımı

Yukarıdaki sayfalarda detaylı olarak anlatıldığı gibi BIM parametrik nesnelerden oluşan sistemler bütünüdür. Bu parametrik nesnelere kullanıcı gerekli değişimleri yapabilir ve bunu programa tanıtabilir. Hatalı bir değişiklik durumunda ise program kullanıcıyı engeller ve uyarı mesajı verir. Bütün bunların dışında proje içindeki her bir parametrik nesneye o nesnenin teknik ve diğer parametreleri (üretici firma, fiyat, marka vb) tanımlanabilmektedir (Akkaya, 2012). Bütün bunların dışında Yapı Bilgi Modelleme teknolojili programlar çakışma analizi (Şekil 3.18) imkânları da vermektedirler (Akkoyunlu, 2015).



Şekil 3. 18. BIM ile yapılan çakışma analizi (Url-4, 2022).

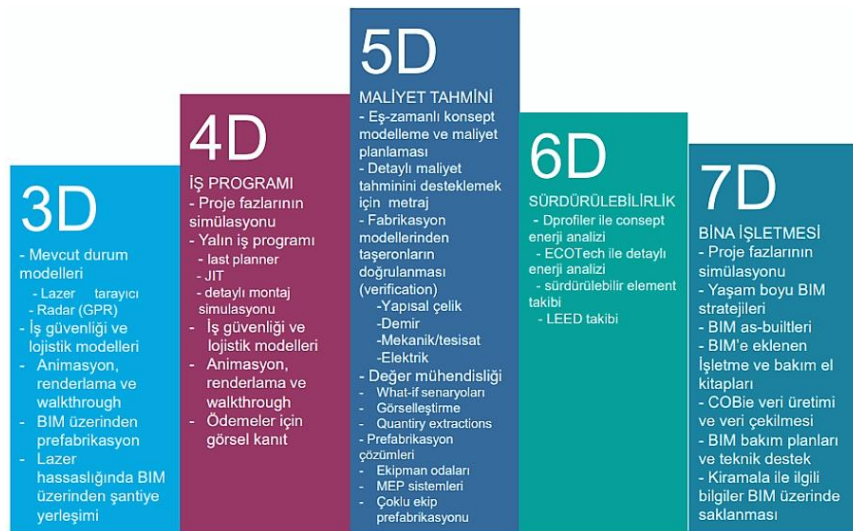
Özetle BIM hem disiplinlerarası kullanılan parametrik nesnelerin birbirleriyle olan ilişkilerini hem de bu nesnelerin kendi aralarındaki ilişkilerini rahatlıkla organize edebilmektedir. (Şekil 3.19).



Şekil 3. 19. BIM yazılımlarında parametre düzenleme ve değiştirme (Url-5, 2022).

3.2.6.6. BIM ile Çok Boyutlu Modelleme

BIM tabanlı programlar ile yapı projelendirmesini organize eden kullanıcılar iki boyutlu uygulama projesi ve detayları alabildiği gibi üç boyutlu render ve animasyonları da aynı zamanda alabilmektedirler. Bunların yanı sıra BIM 4D, 5D, 6D ve 7D şeklinde adlandırılan maliyet, zaman, sürdürülebilirlik ve tesis yönetimi imkânlarını (Şekil 3.20) da kullanıcılara vermektedir (Akkoyunlu, 2015) .



Şekil 3. 20. BIM ile çok boyutlu modelleme (Çetinkaya, 2013).

Günümüzde tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de kurumların ve şirketlerin hızla gelişen teknolojiye ayak uydurabilmesi ve özellikle zaman/maliyet kavramları konusunda rekabet edebilir düzeye gelmesi gerekmektedir. Bu bağlamda BIM 2D ve 3D verileri elde ederken 4D (Zaman planlama), 5D (maliyet planlama) 6D (sürdürülebilir yapı tasarımı) ve 7D (tesis yönetimi) olanakları ile şirketleri rekabet noktasında avantajlı kılmaktadır (Şekil 3.21) (Doğan, 2017)



Şekil 3. 21. BIM ile oluşturulmuş 4D ve 5D süreçleri animasyonu (Xiong vd, 2013).

İnşaat sektöründeki yatırımcılar, yükleniciler, ister yatırım yapsın ister yatırım yapılacak bir işin yapımını almaya istekli yüklenici olsun, farketmeksizin yatırım maliyetlerini bilmesi, zamanını doğru planlaması, işletme aşamasında karşılaşılabilecek maliyetleri ve problemleri önceden sanal ortamda görmesi son derece önemli veriler bütünüdür (Kim vd,2015).

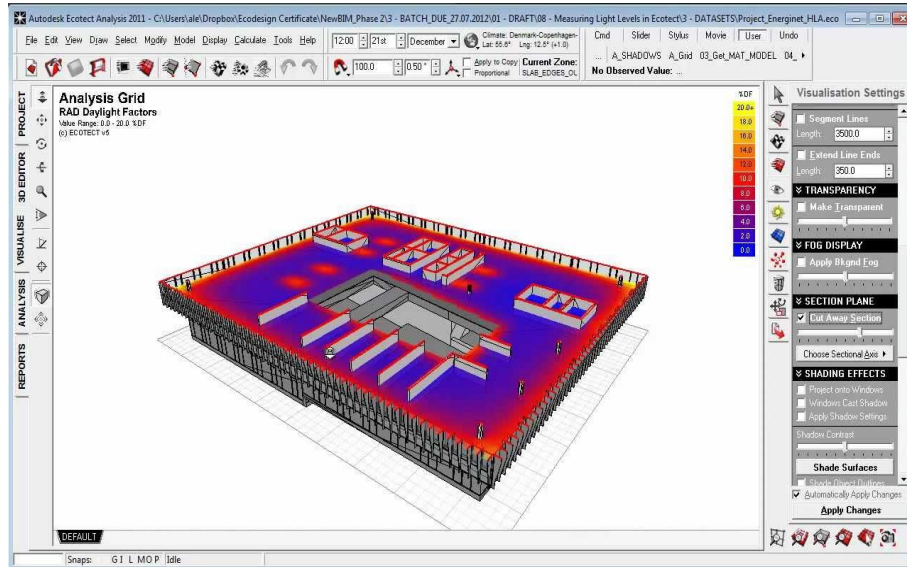
BIM, nesneleri insan algısındaki gibi bilgisayar algısına da verebildiğinden dolayı kesin metraj listelerinin alınabilmesini sağlar. Proje içindeki tüm nesnelerin BIM'deki algısı insan algısı ile örtüştüğünden dolayı doğru ve net metraj verileri elde edilmektedir (Şekil 3.22). Örneğin BIM, duvar metrajını hesaplarken duvar içindeki boşlukları (kapı, pencere vb) otomatik algılar ve metraj hesabında dikkate almaktadır (Kim vd,2013).

<TÜM BİNA METRAJ>				
A	B	C	D	E
KAT	TIP	KATEGORİ	ADET	FIYAT
KAT-1	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-1	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
KAT-2	M Fixed: 0915	Windows	1	150.00
M Fixed: 0915 x 1830mm: 10				1500.00
KAT-1	M Single-Flush: Doors		1	200.00
KAT-1	M Single-Flush: Doors		1	200.00
KAT-1	M Single-Flush: Doors		1	200.00
KAT-2	M Single-Flush: Doors		1	200.00
M Single-Flush: BÜYÜK KAPI: 4				800.00
KAT-1	M Single-Flush: Doors		1	170.00
M Single-Flush: KÜÇÜK KAPI: 1				170.00
TOPLAM MALZEME SAYISI: 15				2470.00

Şekil 3. 22. BIM ile hazırlanmış metraj ve maliyet örneği

(Bosche and Guenet, 2014).

Ayrıca daha düşük enerji kullanımlı, atık oluşumunu engelleyen, daha düşük maliyetli ve günümüzde son derece önem kazanan sürdürülebilirlik (6D) analizleri ile projenin tüm raporlamaları kolaylıkla alınabilmektedir (Aydın ve Yaman, 2018).

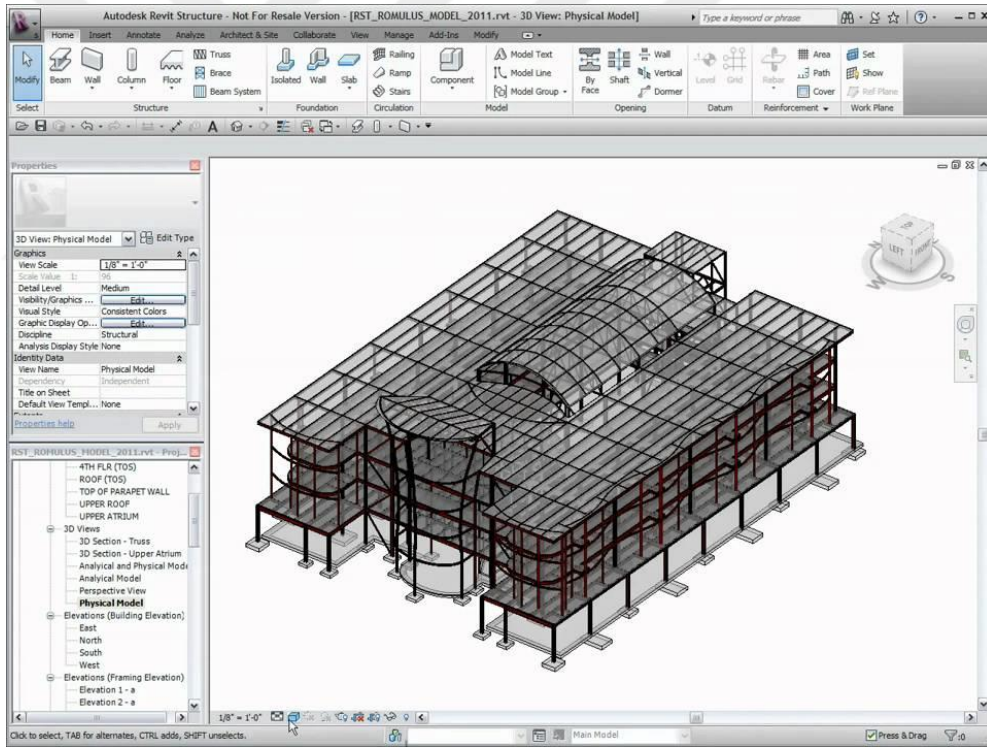


Şekil 3. 23. BIM ile modellenmiş gün ışığı analizi (Archdaily, Url-6 2022).

Bina işletme süreci yapı yaşam döngüsünün üçüncü kademesidir. İşletme aşamasındaki bakım onarım maliyetlerinin bina yaşam döngüsü içindeki tüm

maliyetlere oranının ortalama %60 dolayında olduğu yukarıda daha önceden açıklanmıştı. Böylesine önemli bir oran doğru yönetimlerle ve yöntemlerle organize edilmelidir (Sullivan, 2010) .

BIM ile elde edilen 2D, 3D, 4D, 5D, 6D ve 7D simülasyonlarının dışında inşaat sektöründe oldukça önemli bir başlık olan iş sağlığı ve güvenliği konusunda da BIM çok önemli avantajlar sunmaktadır. Yapılan diğer bilimsel araştırmalarda iş kazalarının %12'si ölümlle sonuçlanmaktadır. Bu iş kazalarının ise %35'i inşaat sahasında gerçekleşmektedir (Aksu, 2020) . Dolayısıyla inşaat sektörü iş kazalarında tüm sektörler içinde başı çekmektedir. Bu bağlamda BIM kullanımının iş güvenliği modellemesinde sağladığı kolaylıklar nedeniyle ne kadar önemli olduğu ayrıca görülmektedir.



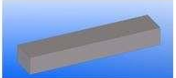
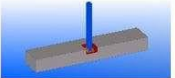
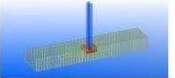
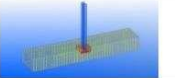
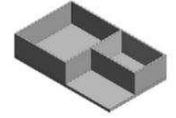
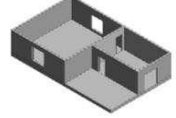
Şekil 3. 24. Yapı Bilgi Modelleme Sistemi İle Strüktür Analizi (URL-7, 2022).

3.2.6.7. BIM İçeriğinde Bulunan LOD Seviyeleri

Level of Detail (LOD) olarak adlandırılan kavram LOD kavramı AIA (American Intitue of Architecture) tarafından tanımlanmış ve literatüre koyulmuş bir kavramdır. BIM tabanlı programların içinde bulunan parametrik nesnelerin proje sürecinde nasıl

bir yöntem, detay ve içerik ile ifade edileceğini belirtmektedir. Projenin farklı süreçlerinde farklı detaylara ihtiyaç bulunmaktadır. Proje ekibi bazen karmaşadan uzak genel bir perspektiften yapıyı ya da yapı elemanını ele almak isterken bazen 1/1 ölçekte incelemek ister. Bu ihtiyaçtan dolayı LOD kavramı literatüre girmiştir (Choudhry vd, 2017) .

BIM ortamındaki parametrik nesnelerin LOD seviyeleri (Şekil 3.26) nesnenin detayına bağlı olarak LOD100, LOD200, LOD300, LOD400, LOD500 olarak adlandırılmaktadır (Atabay ve Öztürk, 2019) .

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
				
- Cubic model only - - area - - width - - height	-Width -Height -Thickness -Wall Openings -Passages	-Width -Height -Thickness -Wall Openings -Passages -Material -Color	-Width -Height -Thickness -Wall Openings -Passages -Material -Color -Manufacturer -Product Code -Product Features -Installation Date	-Width -Height -Thickness -Wall Openings -Passages -Material -Color -Manufacturer -Product Code -Product Features -Installation Date -Maintenance Date

Şekil 3. 25. BIM tabanlı bir parametrik nesnenin LOD seviyeleri (URL-8, 2022).

LOD 100: Parametrik BIM nesnesinin en basit geometrik şeklidir. Bir diğer deyişle grafik anlatımıdır. Sadece kavramsal bir bilgi modelidir.

LOD 200: Parametrik nesnenin yaklaşık olarak boyutları, yönü ve konumu tanımlanır.

LOD 300: Parametrik BIM nesnesine ait kesin boyutların, yönün, konumun ve miktarın ifade edildiği seviyedir.

LOD 400: LOD 300 seviyesine ek olarak uygulama detayları ile montaj talimatlarını içerir.

LOD 500: Bakım ve işletme sürecindeki gerekli olan bilgileri içeren LOD düzeyidir.



Şekil 3. 26. BIM ortamında hazırlanan projenin LOD 300 Seviyesindeki ifadesi (Çuhadar, 2017).

3.3. Üç Boyutlu Lazer Tarama Teknikleri

İnşaat sektöründe, BIM kullanımı artınca BIM ile entegre edilebilen akıllı denetim ve değerlendirme gereksinimleri ve arayışları da başlamıştır. Lazer tarama teknolojileri ile nesnelerin üzerine gönderilen ışınlar ile üç boyutlu nokta bulutları oluşturulur. Bu nokta bulutlar yardımıyla hedef nesne ile ilgili varılmak istenen sonuca yönelik veriler elde edilir (Kula ve Ergen, 2017). Alınan bu veriler lazer tarayıcı cihazının özelliğine ve teknolojisine bağlı olarak milimetre düzeyindeki hassasiyetle verileri alabilmektedir.

BIM ile birlikte kullanılabilen lazer tarama teknolojisi geleneksel yöntemlere göre verilerin çok daha hızlı ve hatasız alınmasını sağlayan yenilikçi bir sistemdir (Koç vd, 2015).

3.4. Üç Boyutlu Lazer Tarama Sistemleri

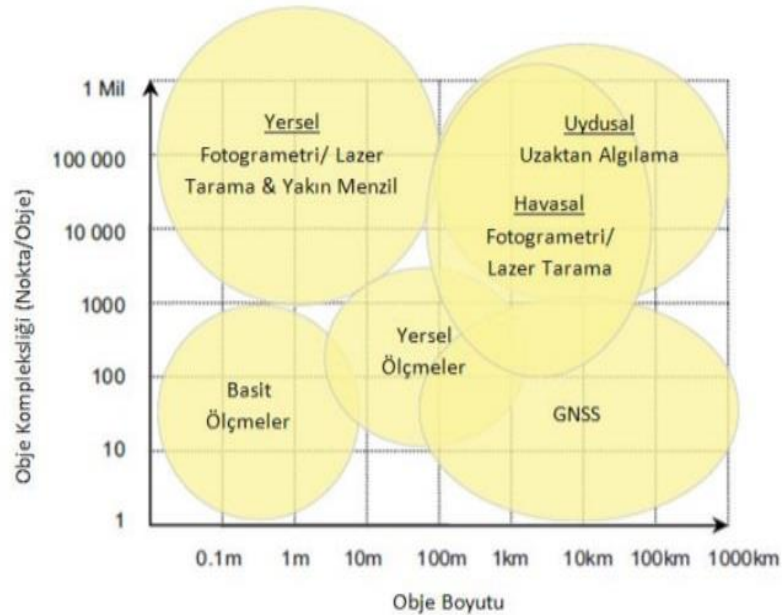
Günümüzde Lazer Tarama Sistemleri; havadan, mobil ve yersel lazer tarama olmak üzere üç farklı sistemle çalışmaktadır.

İnşaat endüstrisinde geleneksel yöntemlerde metre (şerit, lazer, çelik metre), ip vb aletler ile yapılmaktadır. Bu yöntem ile alınan veriler gerek ölçüm hassasiyeti

gerekse de doğru ve tam veri anlamında eksiklikler barındırmaktadır. Ayrıca yapı ve yapı detayı karmaşıklıklaştıkça veri toplama süreci de uzamaktadır. (Şekil 3.27) Lazer tarama sistemleri ile yapılan veri toplama sürecinde yapının niceliği, niteliği ve detay seviyesi gibi konular herhangi bir sorun oluşturmaz. Lazer tarama teknolojisi ile geleneksel metotlardan daha hızlı ve daha doğru veri toplama süreci oluşmaktadır (Karasaka, 2012).

Prensip olarak lazer tarama teknolojisi lazer tarama aleti ile hedef nesnenin arasındaki mesafe hesaplama yöntemi ile çalışmaktadır. Tarama cihazıyla hedef nesne arasındaki mesafe ölçümünde; aradaki faz farkı ölçümü, ışığın gidiş-dönüş süresi, üçgenleme ve puls gibi farklı teknikler kullanılır. Bu farklı metotların en çok kullanılan yöntemlerinden biri faz karşılaştırma diğer ise tarama cihazından giden ışının gidiş dönüş süresine göre hesaplama yöntemleridir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

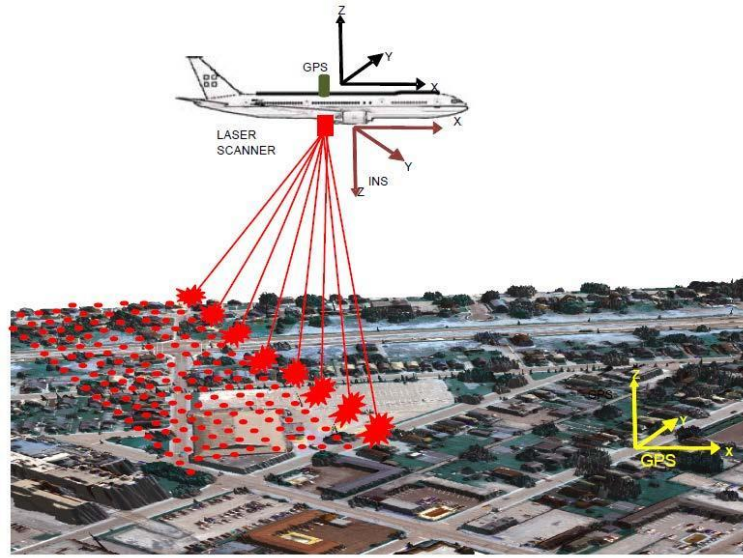
Yukarıda sayılan yöntemlerin birbirleri arasında çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tablo 3.4’de üç boyutlu model oluşturmak için lazer tarama ile alınan verilerden obje boyutu ve nokta karmaşıklığı açısından birbirlerine göre değerlendirilmesi gösterilmektedir (Gleason,2013).



Şekil 3. 27. Lazer Tarama Yöntemlerinin Obje Boyutu ve Karmaşıklığı Karşılaştırması (Gümüş ve Erkaya,2007).

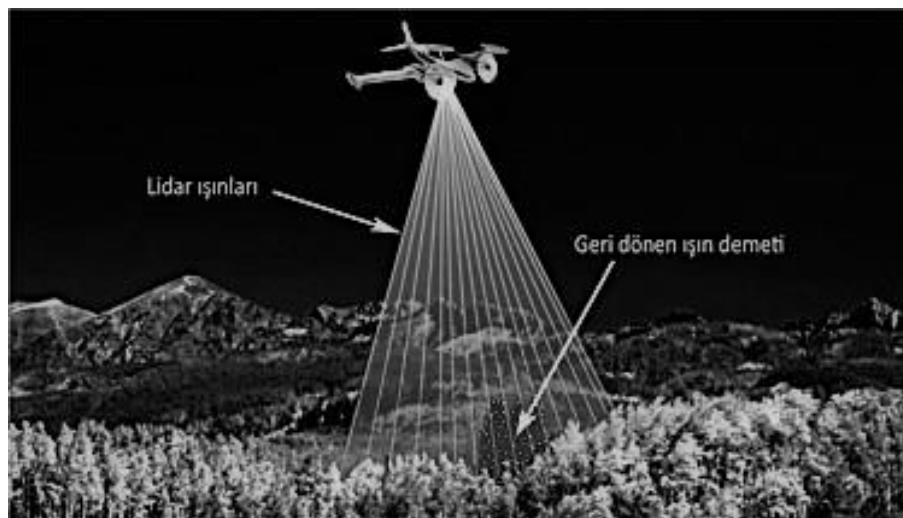
3.4.1 Havadan Lazer Tarama

Bu lazer tarama sistemi hedef nesnenin yükseklik bilgilerini içeren üç boyutlu modeller elde etmek ve bununla birlikte farklı ölçüm işleri için kullanılan sistemlerdir. (Polat ve Uysal, 2016) Havadan lazer tarama sistemleri harita, jeoloji, şehircilik, hidroloji, askeri sistemler ve risk yönetimleri alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.28) .



Şekil 3. 28. Havadan Lazer Tarama Sistemi ölçümü (Ingensand, 2006).

Havadan lazer tarama sistemleri literatürde LIDAR olarak adlandırılmaktadır. LIDAR ile günün her saatinde ölçüm yapılabilir (Torun ve Düzgün, 2016).



Şekil 3. 29. LIDAR İle Işın Gidiş Dönüşleri (Polat ve Uysal, 2016).

3.4.2. Mobil Lazer Tarama

Mobil Lazer Tarama teknolojisi hareketli taşıtların üzerine sabitlenerek ölçüm yapılan sistemlerdir. Taşıtın hızına bağlı olarak ölçümün miktarı değişkenlik göstermektedir. GPS üzerine monte edilmiş bu sistem nesnelerin, taşıtın hızına ve taşıtla nesne arasındaki mesafeye göre yüksek hassasiyete sahip binlerce noktanın tarama işlemini yapabilir. (Karasaka,2012)



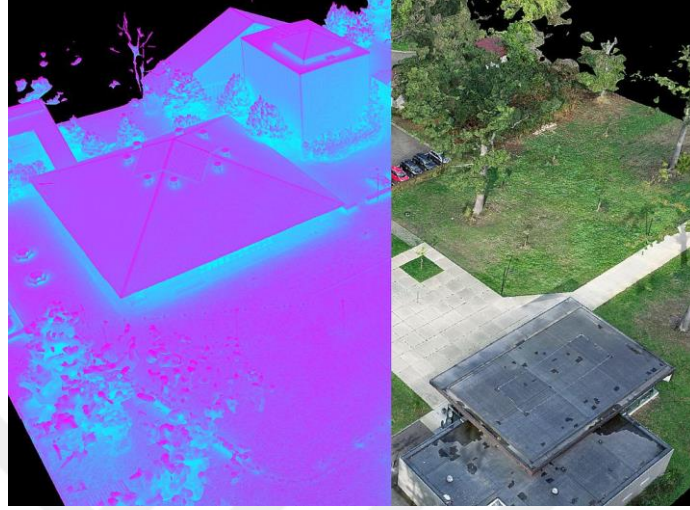
Şekil 3. 30. Mobil Lazer Tarama Sistemi (Yılmaz ve Yakar, 2006).

3.4.3. Yersel Lazer Tarama

Terrestrial Laser Scanning (Yersel Lazer Tarama sistemleri) kısaltılmış adıyla TLS sistemleri ile elde edilen tüm bilgiler gerçek ile tamamen uyumlu bir şekilde çalışır. Yersel Lazer Tarama sistemleriyle ulaşılması zorlu ve tehlikeli çalışma alanlarında bile tek seferde çalışma alanına geri dönmeye gerek kalmadan milimetrik hassasiyette ve detayda istenen veriler kolaylıkla alınabilmektedir (Hiremagalur vd, 2007).

Yersel Lazer Tarayıcı sistemleri yapılan ölçümlerde lazer tarama cihazı hedef nesnenin görünen yüzeyi ile ilgili verileri toplar. Dolayısıyla yüzey alanı genişledikçe ve yapı karmaşık hale geldikçe tarama işlemi farklı istasyonlar ile yapılır. Burada asıl önemli olan farklı istasyonlar arası ilişkinin doğru kurulmasıdır. İlk tarama istasyonundan alınan ile bir sonraki tarama istasyonundan alınan verilerin birbirine bitişik olması ve kesişmesi gerekmektedir. İkinci istasyondan bir sonraki istasyonun verilerinin de ikinci istasyon ile birleşmesi ve kesişmesi gerekir. Bu şekilde devam

eden tarama işlemleri kendinden bir önceki tarama işlemleri ile ortak nokta bulutlar içermektedir (Cömert, 2014). Şekil 3.31’de farklı istasyonların taraması ile alınan nokta bulutların karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3. 31. Bir yapıda iki istasyondan alınan verilerin karşılaştırılma örneği (Çelik, 2011).

TLS sistemleri herhangi bir yapının çalışmalarını yürüten ekibin amaçlarına göre farklı amaçlarla kullanılabilirler. Örnek olarak mimari bir çizim amaçlı alınan taramalarda kesit bazlı lazer tarama yapıp o projedeki bütün detay verilerini almak amaçlanabilirken kontrol amaçlı yapılan ölçümlerde ise denetim amaçlı alınan veriler kullanılmaktadır. Asıl önemli olan şey ise alınan taramaların doğru ve yüksek hassasiyetli alınmasıdır (Salehi, 2012).

3.4.3.1. Lazer Tarama İle Yapılan Ölçme Tekniklerinin Geleneksel Ölçüm Teknikleri İle Karşılaştırılması

Yersel Lazer Tarama sisteminin geleneksel ölçme tekniklerinde kullanılan metre vb aletler ile yapılan ölçmelere göre oldukça fazla avantajı vardır. Hedef nesnenin üç boyutlu modelini oldukça hızlı, yüksek hassasiyetli ve doğru bir şekilde veri toplayabilmesidir. Lazer tarama sistemleri ile yapılan ölçümlerin neredeyse kusursuza yakın doğrulukta ve yüksek hassasiyetle alınması ile ortaya çıkan hatasız ölçüm kullanıcıların maliyet ve zaman kaybını önlemektedir (Reshetyuk, 2009).

Yersel lazer tarama sistemi hedef nesneye ait tarama ve ölçüm işlerinin oldukça kısa zamanda yaparak zamandan tasarruf sağlamaktadır (Hajian ve Becerik-Gerber, 2009). Bununla birlikte geleneksel yöntemlerde ölçümü yapılamayan yüksekliklerin veya

yüzeylerin ölçümü uzaktan oldukça kolay şekilde yapılır. (Gümüş, 2010) Lazer tarama sistemlerinde günün hangi saatinde ölçümün yapıldığının herhangi bir önemi yoktur. Oysa ki geleneksel ölçme sistemlerinde ışığa ihtiyaç bulunmaktadır.

Lazer tarama ile yapılan ölçümlerde insan kaynaklı hataların önüne geçilir. Dolayısıyla evrensel ölçekte kalite standardına ulaşmaktadır (Kassem vd, 2015).

3.4.3.2. Lazer Tarama Sistemlerinin Parçaları

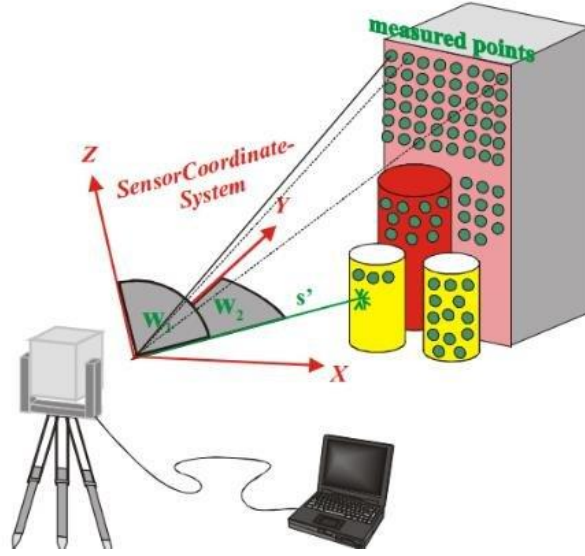
Bir yersel Lazer Tarama Sistemi (Terrestrial Laser Scanning-TLS) tarayıcı ünitesi, kontrol ünitesi, güç kaynağı ve tripod sehpadan meydana gelen dört temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.32)

Tarayıcı ünitesi tarama uygulamasını yapan optik sistemdir. Kontrol ünitesi tarama uygulaması sonucu elde edilen bilgilerin, işlenmesi için bilgisayar ortamına aktaran ünedir. Tarayıcı aletinin ölçüm ve aktarma işlemlerinin yapılması için kullanılan batarya ise güç kaynağı ünitesini oluşturur. Tarama cihazının üzerine konulduğu ünite ise tripod sehpa olarak adlandırılmaktadır (Kern, 2001).



Şekil 3. 32. Yersel Lazer Tarama Cihazı Bileşenleri (Kim vd, 2016).

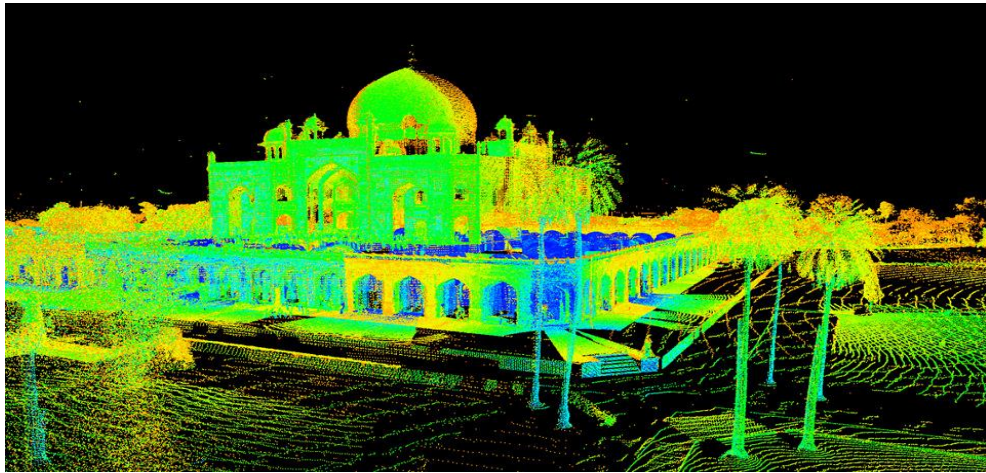
Lazer Telemetresi olarak adlandırılan lazer uzunluk ölçmesi sistemi ve Lazer Işınını Saptırma Ünitesi olarak adlandırılan mekânsal optik tarayıcılardır olmak üzere iki temel bileşenden oluşan bir yersel lazer tarama sisteminin şeması şekil 3.33 te gösterilmektedir (Kiviniemi vd, 2008).



Şekil 3. 33. Yersel Lazer Tarama Sisteminin çalışma prensibi (Kula ve Ergen, 2017).

3.4.4. Nokta Bulut Teknolojileri

Lazer tarama cihazları bünyesinde bulunan AGC bileşeni ile otomatik ve milimetrik hassasiyette milyonlarca noktanın x, y, z koordinatlarına hızlı bir şekilde ulaşılır. (Şekil 3.34) Yersel lazer tarama cihazlarının milimetrik hassasiyette topladığı milyonlarca nokta verisi kümesi, tarama işlemi boyunca nokta bulutu olarak toplanır ve bu nokta bulutları tarama işleminin yapılmaya başlandığı andan itibaren tarama programları vasıtasıyla izlenilmektedir (Lerma vd, 2008) .



Şekil 3. 34. Tarihi Bir Yapıdan Alınan Nokta Bulutu Örneği (Xuesong vd, 2012).

3.4.4.1. Nokta Bulutların Birleşim Süreci

Yukarıda detaylı olarak açıklandığı gibi tarama yapılacak nesne ya da binanın niceliği, niteliği, geometrisi, arazideki yerleşimi, barındırdığı detayları vb parametrelere bağlı olarak istasyon sayısı değişkenlik göstermektedir. Her istasyon değişiminde tarama cihazının kurulduğu yer merkez olarak algılanır. Dolayısıyla farklı istasyonların koordinat merkezleri farklıdır. Hedef nesnenin alınan nokta bulutlar ile üç boyutlu modelini oluşturmak için her bir istasyon ile alınan tarama verilerinin referans koordinat sistemine getirilip birleştirilmesi gereklidir.

Bununla beraber anlatılan bu metodun yanında tarama ile alınan nokta bulutlar jeodezik koordinat sistemiyle de birleştirilebilir. Bu sistem sayesinde farklı koordinat merkezlerine sahip farklı istasyon verilerinin sabit bir veri ile birleştirilmesi işlemi daha kolay gerçekleşir. (Zhang ve Arditi, 2013)

Hedef objenin farklı istasyonlarla alınan farklı koordinat merkezli nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemi her ne kadar farklı yöntemlerle yapılabilse de; birden fazla tekrarlayan en yakın noktaya göre, en küçük kareler kullanılarak üç boyutlu yüzey eşleştirme yöntemine göre, birleştirme işlemi bağımsız bir model yöntemine göre veya basit jeodetik koordinat sistemi yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır (Wunderlich, 2003).

3.5. Yoğun Kullanılan Lazer Tarama Cihazları ve Performansları

Dünyada ve ülkemizde kullanılan yersel lazer tarama makinaları, bu makinaların çalışma prensiplerine, hedef nesne ile ölçüm mesafelerine, ölçme hızlarına (birim zamanda aldığı nokta sayısı) tarama esnasındaki maksimum açılara ve diğer özelliklerine göre birbirinden bir takım farklılıklar barındırmaktadırlar. Tablo 3.4’de en yaygın kullanılan tarama cihazlarının özellikleri anlatılmıştır.

Tablo 3. 4. Lazer tarama cihazları ve özellikleri (Woo vd, 2002).

Marka	Model	Ölçme Mesafesi(m)	Ölçme hızı	Tarama Açısı	Mesafe doğruluğu	Konumsal doğruluk	İşinsal açıklık
Optech	Ilris 3D	3m-1500m (%80 yansıtıcı yüzey)	2500 nokta/san	310° (V) 360° (H)	7 mm @ 100 m	8 mm @ 100 m	0.00974°
Riegl	LMS-Z420	2m-1000m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000nok/san	0-80°(V) 0-360°(H)	8mm@50m	10mm@50m	0.25mrad
	LMS-Z390	1m-300m (%80 yansıtıcı yüzey)	11000nok/san	0-80°(V) 0-360°(H)	4mm@50m	6mm@50m	0.25mrad
	LMS-Z210	4m-650m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000nok/san	0-80°(V) 0-360°(H)	10mm@50m	15mm@50m	2.7mrad
Leica	Scan Station	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 nokta/san	270° (V) 360° (H)	4mm@ 50m	6mm@ 50m	4mm@50m
	HDS3000	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000nok/san	270° (V) 360° (H)	4mm@ 50m	6mm@ 50m	4mm@50m
	HDS4500 (53m)	53.5m	500000nok/san	310° (V) 360° (H)	5mm+120ppm (%100 yan.y)	13.7m@25m (%100 yan.y)	8.5mm@25m
	HDS6000	79m (%80 yansıtıcı yüzey)	500000nok/san	310° (V) 360° (H)	5mm@ 50m	10mm@ 50m	3mm+0.22mrad
Z-F	Imager5006	1m-79m	500000nok/san	310° (V) 360° (H)	0.1mm@50m	1mm@50m	0.22mrad
Faro	LS 880	1m-80m	120000nok/san	320° (V) 360° (H)	3mm	5mm	0.01°

3.4.7. Lazer Taramadan 3D Modele; Süreçler

Teknolojinin hayatımıza girmesiyle birlikte de inşaat sektöründe de kullanımı hızla artan BIM teknolojisi; modelleme işleminin yapılması ve modellemesi yapılacak objeye ait yüzeysel bilgilerin geometrik bir biçimde sanal ortamdaki bilgisayar algısıdır bir anlamda. Bir nesnenin modelleme işlemi ile o obje ile ilgili bilginin daha da saydamlaşması sağlanır. Üç boyutlu modellemenin kullanıcılara sunduğu avantajlarla beraber lazer tarama teknolojisi de hızlı bir şekilde gelişim sağlamıştır.

Yersel Lazer Tarama teknolojisi yardımıyla yapılan ölçümlerden elde edilen verilere nokta bulutu denir. Alınan nokta bulutlarının manuel olarak birleştirilmesi sürecinde bir takım hataların yapılması mümkün olabilir. Bundan dolayıdır ki hatasız ve hızlı birleştirme yapmak için iki yöntem bulunmaktadır. (Boehler ve Brandon, 2002) Bu yöntemlerden birincisi Yüzey Ağı Modelleme bir diğeri ise Geometrik Alt Yapılı Modelleme tekniğidir.

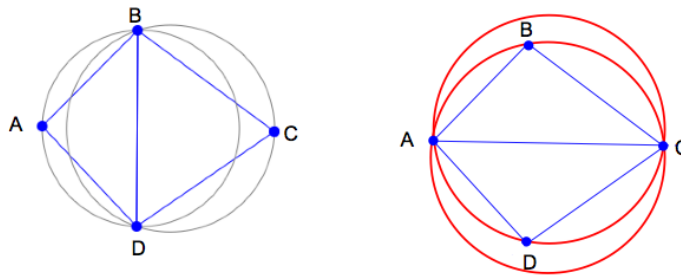
Yüzey Ağı Modelleme karmaşık geometrilere ve detaylara sahip objelerin modellenmesi için geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem daha çok fotogrametrik ve topografik alan çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki temel amaç hedef nesnenin iki boyutlu olan yüzeylerine üç boyutlu model üretmek için yükseklik bilgileri vermesidir.

Yüzey Ağı Modelleme yönteminde hedef objenin üç boyutlu modelinin oluşturulma süreci hem alınan nokta bulutların manuel işlenmesiyle hem de bazı ek programlar yardımıyla otomatik birleştirilmesiyle olabilmektedir. Ancak bu

yazılımlar henüz tam gelişim sağlayamadığından dolayı birleşim esnasında hatalar olabilmektedir. Bu hataların tespiti kullanıcı tarafından tespit edilip müdahale yapıldığında doğru model ortaya koymaktadır. (Bezelga ve Brandon, 2006).

Yüzey Ağı Modelleme tekniği ile hedef objeden alınan nokta bulutlar üç boyutlu modele dönüştürülürken öncelikle alınan nokta bulutların veri temizleme işlemi, ardından yeni bir altlıkla örnekleme, üçgenlemelerle yüzey ağlarının oluşturulması, ortaya çıkan verilerdeki hataların giderilmesi ve varsa boşlukların doldurulması ve en son da hedef nesnenin modelinin oluşturulması aşamalarından oluşturmaktadır (Becerik-Gerber vd, 2011).

Lazer tarama ile alınan nokta bulutlardan yüzeyler oluşturabilmek için nokta bulutlardan üçgenler veya dörtgenler oluşturulur. Yüzey ağlarının oluşturulabilmesi için değişik çözümler olsa da üç veya dört yüzlü Delaunay Kriterleri (3.35) en önemli algortima olarak kabul görmektedir (Bosche, 2012).



Şekil 3. 35. Delaunay algoritması ile üç ve dört yüzlü yüzey oluşturma
(Bosche, 2010)

Geometrik Alt Yapılı Modelleme sistemi ise kullanıcılara yüzey ağı modelleme sistemine nazaran daha basit yüzeylerin ve basit geometrik şekillerin modelleme işlemlerinde kullanılan bir yöntemdir. Daha çok yapı bloklarının olduğu kütsel modellemelerde kullanılmaktadır (Hardin ve McCool, 2015) .

Geometrik alt yapılı modelleme sisteminde ilk önce tarama ile alınan verilerin belirli temizlik işlemlerinin ve bazı düzenlemelerin yapılması gereklidir. Bu işlemin ardından temizlenmiş hale gelen verilerin belli segmentlere göre gruplama işlemleri

yapılmaktadır. Ardından geometrik şekillere dönüştürülen yüzeyler bazı ek programlar yardımıyla katı modele dönüştürülür ve üç boyutlu model oluşturulmaktadır (Wang vd, 2018).

3.4.8. Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanım Alanları ve Avantajları

Lazer tarama teknolojisi bir yapının kendi yaşam döngüsü içerisindeki her aşamada kullanılabilen bir sistemdir. (Tablo 3.5.)

-Henüz proje çizim sürecine başlamadan önce saha verilerinin elde edilmesinde (Wang ve Cho, 2015),

-Uygulama projelerinin uygulama sahasına olan uygunluğunun kontrol edilmesinde ve değerlendirilmesinde (Reshetyuk, 2006),

-Proje ekibince oluşturulan üç boyutlu model ile yerinde uygulanan yapının karşılaştırma ve kontrol işlemlerinde (Qu vd 2014),

-Bu karşılaştırma ile insan kaynaklı hata ve kusurların asgari düzeye indirgenerek evrensel ölçekte kalite standardının yakalanmasında (Puri ve Turkan,2016),

-Çalışması yapılan projenin mevcut durum tespitinin yapılarak yüklenicilerin ihaleye veya işe teklif verme süreçlerinde (Pundir vd, 2015)

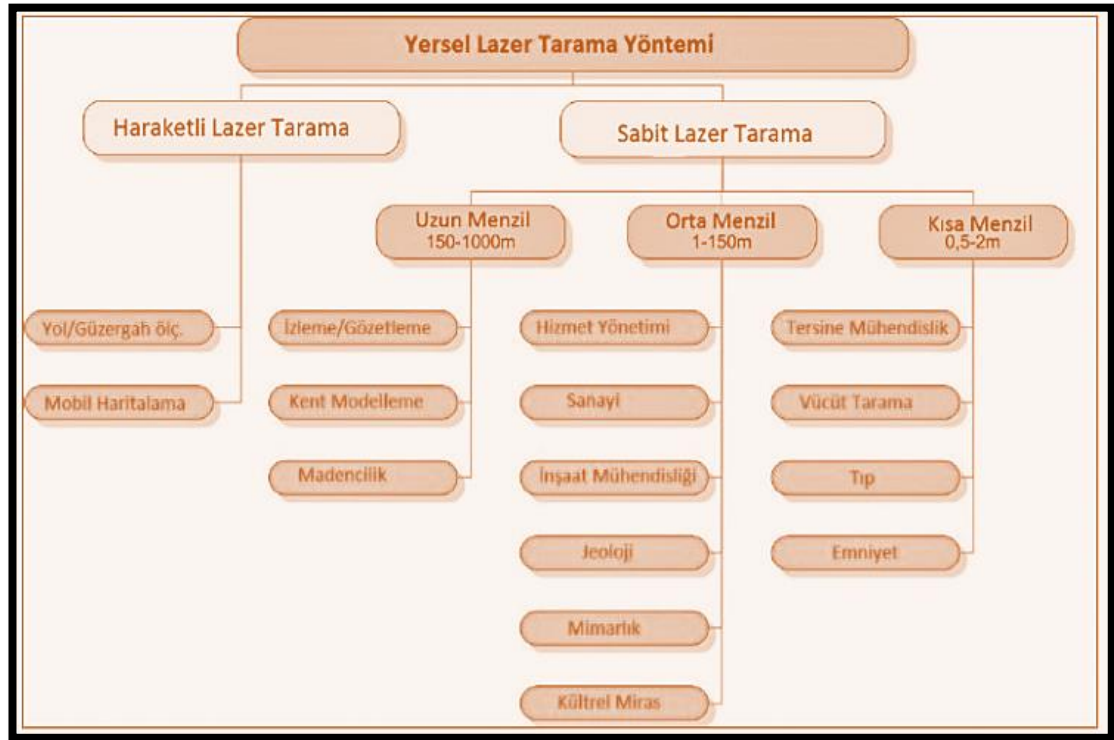
-Özellikle tarihi ve tescilli yapıların mevcut durumunun (rölövelerinin) tespitinde, hasar analizlerinin yapılarak aslına uygun restorasyon işleminin gerçekleştirilmesinde (Reshetyük, 2006),

-Mahalle, kent hatta ülke ölçeğinde yapı envanterinin oluşturulmasında

-Ana arterlerdeki şebekelerin, yolların, demir yollarının, maden ocaklarının, enerji nakil hatlarının, tünellerin, köprülerin vb tüm altyapı ve ulaşım hatlarının üç boyutlu modellenmesinde, hedef nesnelerin belirli peryotlarla ölçümlerinin yapılarak deformasyonların analizinde (Özdemir, 2014)

-Ve bunların dışında bir çok alanda kullanılabilen bir sistemdir.

Tablo 3. 5. Lazer Tarama Teknolojisi Kullanım Alanları (Maalek vd, 2019).



Yukarıda kullanım alanları anlatılan lazer tarama teknolojisinin ölçüm sürecinin çok hızlı gerçekleşmesi, ölçümü yapılacak hedef nesnenin uzaktan ölçümünün yapılabilmesi, alınan ölçümlerin başka birimlerdeki ölçümlere kolay dönüştürülmesi, insan kaynaklı hataların önüne geçilmesi, hedef nesnenin üç boyutlu modele dönüştürülmesinin kolaylığı gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Makineci, 2016) .

3.5. Yapı Bilgi Modelleme ve Lazer Tarama Teknolojisinin Birlikte Kullanımı

İnşaat sektöründe Yapı Bilgi Modelleme ortamında yapılan üç boyutlu modellemelerin yapının bütün yaşam döngüsü içerisinde kullanılan bir sistemdir. Lazer tarama teknolojisi ile alınan üç boyutlu nokta bulutlardan oluşan verilerin BIM ortamına aktarılmasıyla bu modeller de hem yapının mevcut halinin hem de yeniden yapılacak binaların tüm yaşam döngüsüne dâhil olabilmektedir.

Mevcut bir yapının ya da yapım süreci devam eden bir yapının lazer tarama ile alınan nokta bulutları le BIM ortamında hazırlanan üç boyutlu modeldeki yapı

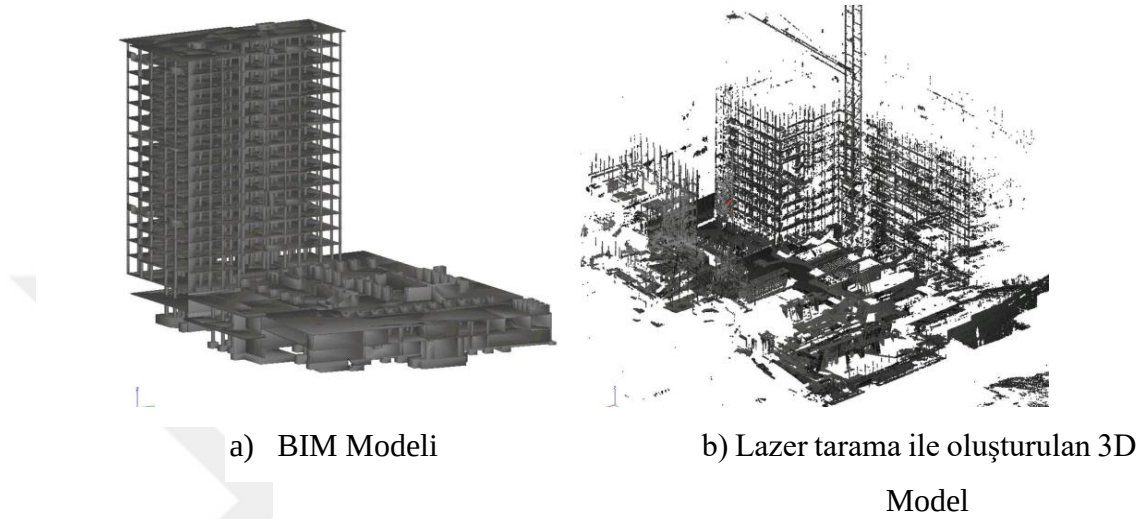
elemanlarının çakıştırma işlemiyle tasarım ve yapım süreçlerindeki farklılıkların ve kusurların tespit edilmesinde oldukça başarılı sonuçlar alınmaktadır. Bu bağlamda konu ele alındığında lazer tarama teknolojisi ile BIM sisteminin birlikte kullanımı yapım aşamasında kusursuz kalite kontrolü ve kalite yönetimi konularında yüksek derecede katkı sağlayan yeni bir sistemdir. BIM-lazer tarama teknolojisi entegrasyonunun birlikte kullanımının ortaya çıkarılmasıyla kalite kontrol işlemi yapım aşamasında bütünleşik olarak uygulanabilmektedir. Yapım aşamasındaki bir objenin ya da yapı elemanının işlevi, lokasyonu, nicelik ve niteliği, yapım sistematiki, yapımı gerçekleştiren proje ekibinin bilgi düzeyi gibi parametrelere bağlı olarak değişken kalite kontrol sonuçlarını ortadan kaldırarak belirli bir standartta sonuç alınmasını sağlar. Bu durum özellikle inşaat sektöründeki belirsizlik ve değişkenlik gösteren ürün sonuçlarının farklılıklarını ortadan kaldırarak kalite derecesini ortak bir paydaya getirmektedir.

BIM teknolojisi ile lazer tarama teknolojisinin birlikte kullanılabilmesi için öncelikle lazer tarama cihazı ile taramanın yapılarak nokta bulutlarının oluşturulması ve bu nokta bulutlarının st başlıklarda anlatılan yöntemlerle üç boyutlu modele dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun yanında BIM ortamında projenin orijinal modelinin oluşturulması ve kusursuz yapılması durumunda nasıl yapılması gerektiği modellenir. Oluşturulan BIM modeli ile lazer taramadan elde edilen modelin birbirine çakıştırma işlemi yapılmaktadır (Wang vd, 2016)

3.5.1. BIM-Lazer Tarama Ortaklığının Kalite Kontrolünde Kullanımı

Yapının kalitesi tasarım kalitesi ile yapım kalitesinin bileşimidir. Yapıda toplam kalitenin elde edilebilmesi için hem tasarım sürecinin hem de yapım sürecinin kalite anlamında başarılı bir performans göstermesi gerekir. Bir yapının projelendirme sürecinde projeyi oluşturan her bir yapı elemanının, malzemenin ve detayın yapım kuralları ve şartları belirlenir ve teknik şartname oluşturulur. İmalat aşamasına geçildiğinde belirlenen bu teknik şartnamelerdeki tolerans sınırları içerisinde kalacak şekilde kalite kontrol işlemleri yapılmaktadır. Dolayısıyla bir imalatın kalite anlamında performanslı olabilmesi için o imalatın öncül ve ardıl imalatların da benzer standarttaki kalite çerçevesinde imal edilmesi gereklidir (Polat ve Arıoğlu 2018)

Binaların yapım aşamasında önceden oluşturulan üç boyutlu tasarımının doğru, kapsamlı ve tolerans payları içerisinde kontrol ve kabul kriterlerinin olması son derece önemli bir durumdur. Yapının durumunu üç boyutlu olarak izlemek, ilerleme durumunu analiz etmek ve boyutsal anlamda kalite kontrolünü yapmak anlamında BIM-lazer tarama entegrasyonu önemli bir yer tutmaktadır (Werner, 2020).



Şekil 3. 36. Biccoca projesi verileri (Bosché, 2010).

Bir çalışmada lazer tarama teknolojisinin mühendislik, petrol, gaz gibi sektörlerle ilişkilendirilmesinin daha yoğun vurgulanmasına rağmen lazer tarama teknolojisinin inşaat sektöründeki potansiyelinin çok büyük olduğu sonucuna varılmıştır. (Laing, vd., 2015). BIM, bir ürünün (yapı, bina) bütün verilerinin depolanmasını, gerektiğinde revizyon edilebilmesini sağlayan yeni bir yaklaşımdır. Herhangi bir CAD modeli ile elde edilen BIM dokümanları bazen gerçek anlamda tüm verileri yansıtamayabilir. Böyle durumlarda lazer tarama ile elde edilen verilerden oluşturulan BIM modellere daha doğru ve gerçekçi olabilmektedir. (Tang, vd, 2010).

2021 yılında yapılan bilimsel çalışmada tarihi yapıların önce hatasız yapılması durumunda olması gereken ürünün BIM modeli yapılmış, ardından lazer tarama teknolojisi ile yapıya ait nokta bulutlar alınarak nokta bulutlardan elde edilen üç boyutlu model ile BIM modeli karşılaştırılmıştır. (Şekil 3.37) Bu karşılaştırma işleminden sonra yapının cehpesinde bulunan tüm yüzeylerin, kapı ve pencerelerin ve diğer detay elemanların kusurlu yerleri tespit edilerek bu tespitlerin hata tolerans payı içinde kalıp kalmadığı araştırılarak sonuçlar ortaya konmuştur. (Polat vd, 2021).



a) BIM Modeli



b) Lazer tarama ile oluşturulan BIM Modeli



c) Yüzey hata ve kusur düzeyleri



d) Pencere hata ve kusur düzeyleri



e) Kapı hata ve kusur düzeyleri

Şekil 3. 37. BIM-lazer tarama sonucu çıkarıştırılan yüzeylerin analizi
(Polat vd, 2021).

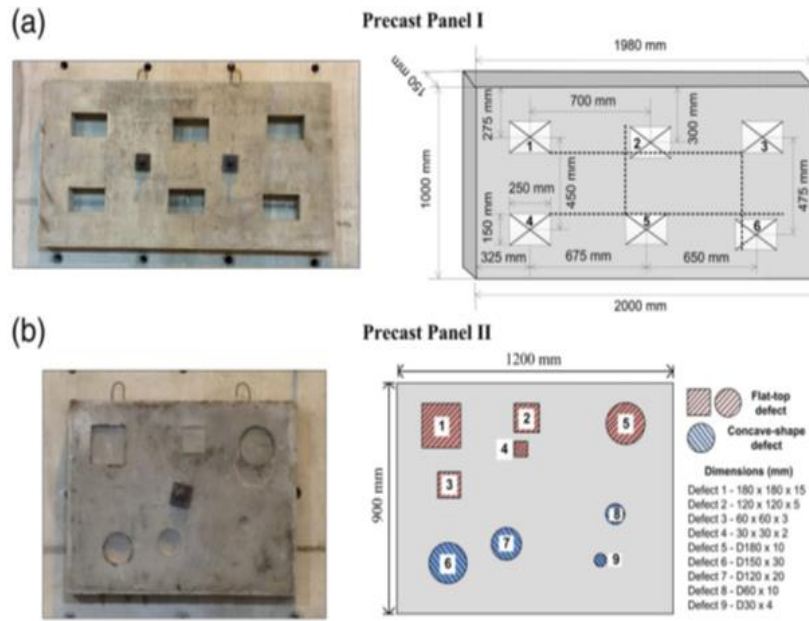
Bu alanda yapılan bir başka çalışmada da inşaatın mevcut hali üzerinden yapılan lazer tarama işlemi sonrası biten çalışmalara ait nesneler yapı bilgi modeli üzerinden gösterilerek inşaatın ilerleme yüzdesinin görsel bir çalışması yapılmıştır (şekil 3.38) (Wang, Cheng ve Sohn, 2015).



Şekil 3.38. Kaba Haldeki Bir İnşaatın İlerleme Durumunun Tesbiti
(Wang, Cheng ve Sohn, 2015)

Bir başka çalışmada ise üç boyutlu BIM modeli ile nokta bulutlardan elde edilen üç boyutlu modelleme birlikte kullanılarak projenin üç boyutlu olarak kontrolünün otomatik bir hale getirilebileceği sonucu ortaya konulmuştur. (Wang vd., 2016).

Lazer tarama ile elde edilen üç boyutlu modellerin binanın inşa aşamasındaki kullanımı ve kalite kontrol faaliyetlerindeki faydaları giderek genişleyen ve gelişen bir kavram halini almaktadır. Bu konuda yapılmış pek çok çalışma olmakla birlikte bazı özel çalışmalarda prekast betonarme elemanların montajı sırasında boyutsal kalite kontrolü için yaklaşımlar ortaya konularak ek maliyetlere neden olan boyutsal uyumsuzluk problemlerinin önüne geçilmesi açısından sonuçlar gösterilmiştir. (Oskouie vd 2016).



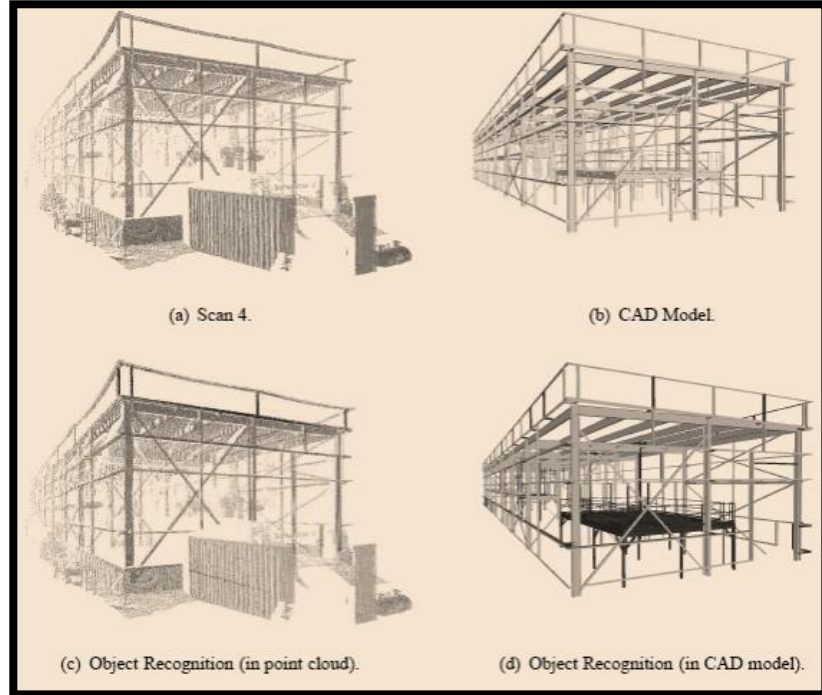
Şekil 3. 39. Boyut tahmini ve yüzey hatası karakterizasyonu için test numuneleri (O'keeffe ve Bosche, 2015)

Şekil 3.39. Boyut tahmini ve yüzey hatası karakterizasyonu için test numuneleri: (a) boyut tahmini testi için kullanılan prefabrik panel 1'in fotoğrafı ve boyutları; (b) Yüzey kusur karakterizasyon testi için kullanılan prekast panel 2'nin fotoğraf ve kusur boyutları (Ohnuma vd., 2000).

Son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan ve tartışılan bir diğer konu lazer tarama teknolojisi ile elde edilen nokta bulutların bilgisayar ortamında otomatik tanınmasına yönelik çalışmalardır. CAD nesnelerinin otomatik olarak tanınmasına ek olarak, Bosché ve Haas'ın çalışması, önerilen algoritmalarla nesnelerin boyutsal uyumlarını otomatik olarak kontrol edebilmiştir (Bosche, ve Haas, 2008).

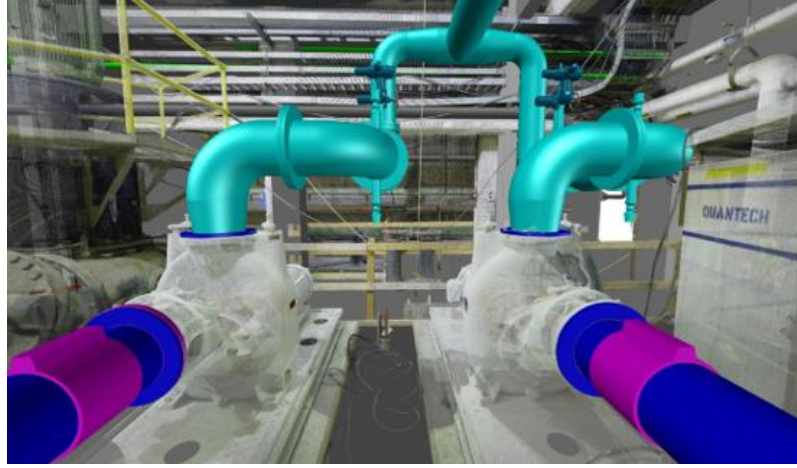
Başka bir çalışmada ise nokta bulutları içindeki silindirik MEP bileşenlerinin otomatik olarak tanınması ve yeniden yapılandırılması üzerine bir yaklaşım geliştirilmiştir (Bosche, Haas, ve Akinci, 2009).

Bir yapının inşa sürecinde BIM teknolojisi ile lazer tarama teknolojisini bir arada kullanarak kalite kontrol sürecini daha etkin ve verimli bir hale getirmek mümkündür. BIM ile lazer tarama entegrasyonu hem daha kaliteli üretim kontrolüne hem de gereksiz zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilebilir. Bu ortaklık sistemi, BIM modelindeki sanal dünya ile yapı arasında mükemmel koordinasyonu ve çift yönlü birlikte çalışabilirliği sağlayacaktır. Günümüzde lazer ve BIM verilerinin görselleştirilmesini sağlayan birkaç yazılım bulunmaktadır. Ayrıca, bu yazılımların hiçbiri açık standartlar ve araçların birleşimine dayalı değildir. Bu nedenle, bu entegre sistemin değeri ve gelişimi, araştırmacıların geliştirip test edebildiği ölçüde sınırlıdır (O'Keeffe ve Bosche, 2015).



Şekil 3. 40. Geniş alan lazer taramalarında 3B CAD model nesnelerinin otomatik olarak tanınması için önerilen yaklaşımın performansı

Şekil 3.40. Geniş alan lazer taramalarında 3B CAD model nesnelerinin otomatik olarak tanınması için önerilen yaklaşımın performansı: (a) Tarama 4; (b) Tarama ile kayıttan sonra 3D CAD modeli; (c) Nesne tanıma sonuçları taramada görüntülenir; (d) CAD modelinde gösterilen nesne algılama sonuçlarıdır (Bosché, 2010).



Şekil 3. 41. Tesis yönetimi ve kalite yönetiminde boyutsal uygunluk kontrolü için kullanılan BIM modelini güncellemek için lazer taramadan bir BIM modeli (Bosche ve Haas, 2008).

4.YENİDEN KULLANIM AŞAMASINDA OLAN BİR YAPININ ELEMANLARININ BÜTÜNLEŞİK TEKNOLOJİ KULLANILARAK BOYUTSAL KALİTE ANALİZİ; ALAN ÇALIŞMASI

Çalışmanın bu bölümden önceki bölümlerinde anlatılan BIM sistematiği ile üç boyutlu lazer tarama teknolojilerinin ve bu teknolojilerin birlikte kullanıldığında oluşturduğu avantajları irdelemek ve deneyimlemek ve BIM-Lazer Tarama birlikteliği kullanılarak kalite kontrol sürecine olan katkısını göstermek amacıyla hâlihazırda mevcut olan ve yeniden kullanım için dönüşüme hazırlanan bir yapıda saha çalışması yapılmıştır.

Dönüşüm öncesi yıllarda zeytinyağı fabrika kompleksi içerisinde imalat amacıyla kullanılan bir bina üzerinden yapılan bu alan çalışması aşağıda yazılan aşamalardan oluşur;

- Öncelikle çalışmanın amaç ve hedeflerinin ortaya konularak çalışma yapılan saha içindeki yapı grubu içinden çalışma ölçeğinin belirlenmesi,
- Çalışmanın yapılacağı binanın hangi elemanları ya da yüzeylerinin çalışma kapsamında yapılacağının kararlaştırılması,
- Çalışma yapılacak binanın rölövelerinin geleneksel metotlarla alınması,
- Rölöveleri alınan mevcut yapının BIM ortamında üç boyutlu modelinin yapılması,
- Mevcut yapının üç boyutlu lazer tarama cihazı ile taramalarının yapılması ve nokta bulut verilerinin alınması,
- Oluşturulan BIM modeli ile lazer tarama ile oluşturulan nokta bulut verilerinin eklenti yazılımlarla karşılaştırılması
- Çakıştırma sonucu olması gereken durum ile mevcut durum arasındaki boyutsal farklılıklar, kusur ve hatalar ile bozulmaların belgelenmesi çalışmalarıdır.

4.1. Saha Çalışmasının Amaçları ve Hedefleri

Saha çalışmasına konu olan yapı; yapı sahibinin isteği üzerine paylaşılamamaktadır. Bu yapı ülkemizin batısında bulunan bir ilde eski bir zeytinyağı fabrikasıdır. Yapının iç cephe yüzeylerindeki yapı elemanlarının (duvarların) boyutsal kontrolleri yapılarak geometrik hataların (gönye, şakül ve master gibi) ayrıca duvar

yüzeylerindeki bozulmaların ve deformasyonların teknolojik aletlerle ölçülerek BIM ortamında analiz edilmesi amacıyla çalışma yapılmıştır.

Çalışmanın seyri ve olgunlaşması ise yukarıda bahsedilen amaçlar çerçevesinde;

-BIM ve Üç Boyutlu Lazer Tarama birlikteliğinin halihazırda mevcut olan bir yapıda ya da halihazırda mevcut olan ve dönüşüm/renovasyon/restorasyon aşamalarına geçirilmesi planlanan bir yapının her elemanında ve her detayında çalışılabileceğini kanıtlamak,

- İnşaat sektörüne son yıllarda giren ve kullanımı yaygınlaşan bu yeni teknolojilerin her birinin tek tek ya da birlikte kullanımı sonucu analiz süreçlerinin ve kontrol süreçlerinin başarısını ortaya koymak,

- Geleneksel yöntemlerle yapılan benzer çalışmalarda insan odaklı hataların sebep olduğu ya da olabileceği kayıpların asgari düzeye indirilebilmesiyle oluşabilecek kalite, zaman ve maliyet zararlarının engellenebileceğini göstermek,

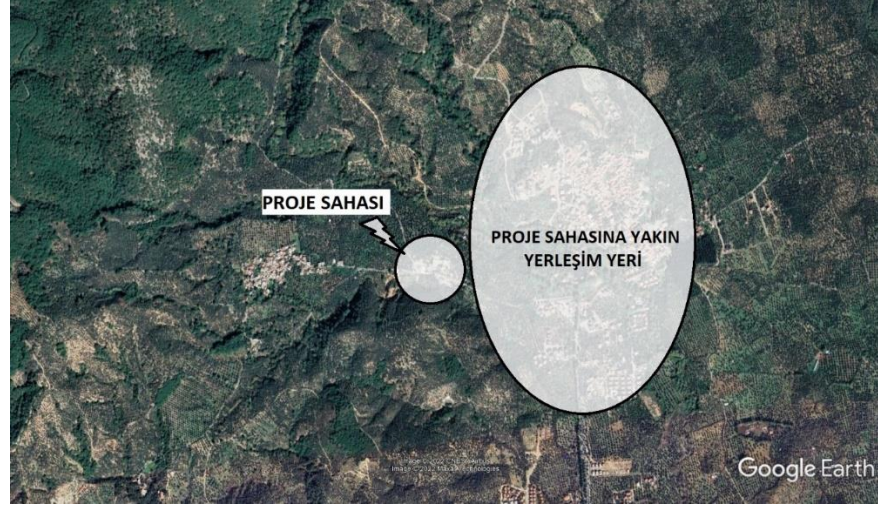
- Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi (ABD, İngiltere, Japonya) kamusal binalarda zorunlu olarak, özel projelerde ise kullanımına teşvik ve bilgi oluşturmak hedeflenmektedir.

4.2. Yapı İle İlgili Genel Bilgiler

Yapı, 1920 yılından birkaç yıl önce ülkemizin Marmara bölgesinde ve Marmara bölgesinin zeytin üretiminin yoğun olduğu bir alanında (şekil 4.1 ve şekil 4.2.) zeytinyağı üretmek amacıyla inşa edilen ve fabrika sahiplerinin beşinci kuşak neslinin aynı faaliyeti aktif olarak sürdürdüğü bir yapıdır.



Şekil 4. 1. Proje Sahasının Türkiye içindeki konumu



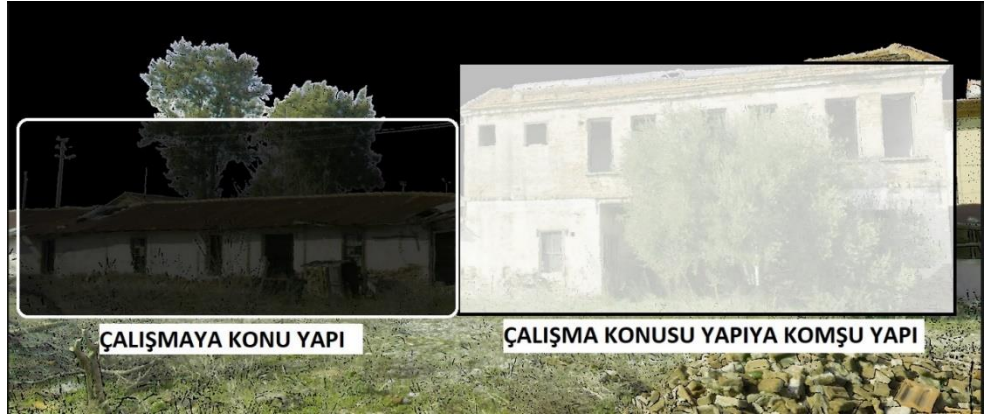
Şekil 4. 2. Proje Sahasının Yakın Çevresi

Çalışması yapılan yapının bulunduğu yapı grubu günümüzde hala taş baskı yöntemiyle soğuk sıkım zeytinyağı elde edilen fabrika kompleksi içinde bulunan bir yapıdır. (Şekil 4.3.)



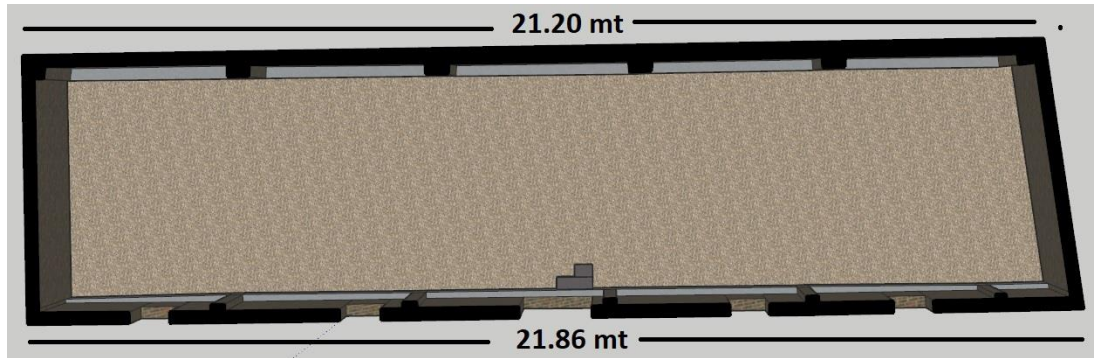
Şekil 4. 3. Proje Sahasındaki Yapı Grubu ve Çalışma Konusu Yapının Saha İçindeki Konumu

Bu yapının uygulama konusu olarak belirlenmesindeki en temel sebepler; yapının halihazırda mevcut olması, mimari açıdan tarihsel bir kimliğe sahip olması ve renovasyon sürecine başlayarak yeniden kullanımı amaçlamasından kaynaklanmaktadır. (Şekil 4.4.)



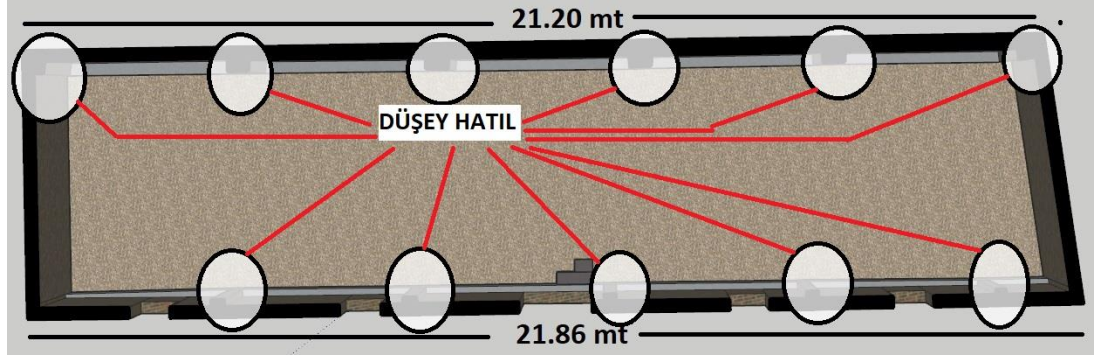
Şekil 4. 4. Proje Sahasındaki Yapı Grubu ve Çalışma Konusu Yapının Saha İçindeki Konumu

Yapı, yapıldığı dönemin tipik fabrika yapıları özelliklerini barındırmaktadır. Beton mütemadi temel üzerine harman tuğlası ile (25cm kalınlığında) ve 2,80 mt yüksekliğinde dikdörtgen plan şemalı olarak yapılan binanın ön cephesi 21.80 mt, arka cephesi 21.20 mt, sol yan cephesi 5.56mt, sağ yan cephesi ise 5.66 mt uzunluğundadır. Yapıldığı orijinal haliyle sağ yan cephesi ön ve arka cepheyle gönyesiz olarak inşa edilmiştir. (Şekil 4.5.)



Şekil 4. 5. Binanın 3D Planı

Aks aralıkları değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 3,80 mt aralıklarla yine harman tuğlasından yapılan düşey hatıllar ile desteklenerek strüktür oluşturulmuştur. (Şekil 4.6.)



Şekil 4. 6. Bina Taşıyıcı Aksları ve Hatılları

Duvar bitiminden sonra yatay bağlayıcı hatıl kullanılmamıştır. Yapı kısa kenarlarında bitişik nizamlı uzun duvarları ise dışarıya açıktır. Yapı; uzun duvarından cephe almıştır ve arka duvarı sağır duvar olarak inşa edilmiştir. Çatı konstrüksiyonu harman tuğladan imal düşey hatılların üzerine kısa eksende oluşturulan ahşap çatı makası ile imal edilmiş ve üzeri sac ile kaplanmıştır. Yapının ilk inşa edildiği zamandaki çatı örtüsü hakkında herhangi bir bilgiye ulaşılammıştır. (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8.)



Şekil 4. 7. Yapı Temeli, Taşıyıcı Duvar ile Hatılları ve Çatı Strüktürü

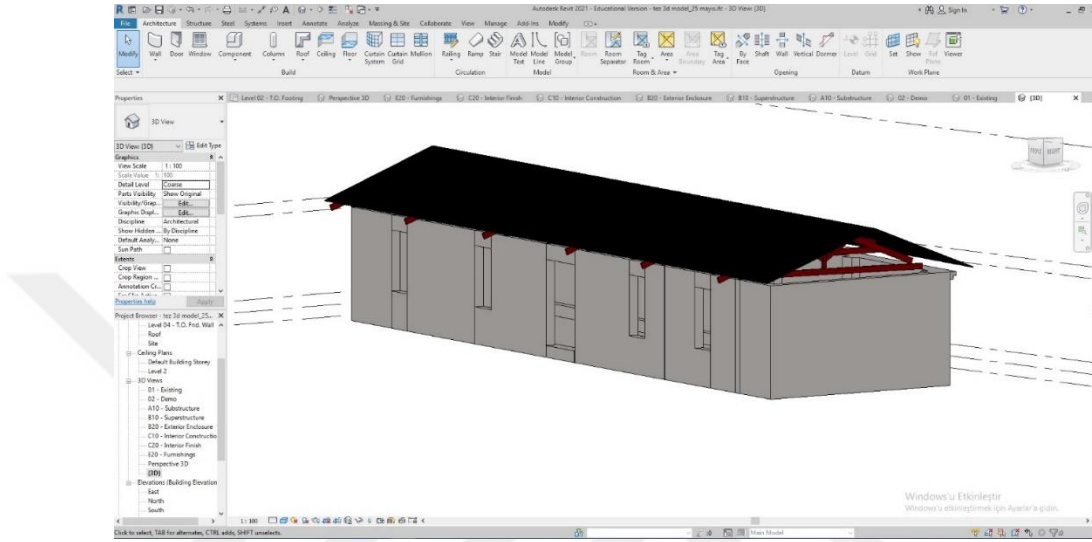


Şekil 4. 8. Yapı Temeli, Taşıyıcı Duvar ile Hatılları ve Çatı Strüktürü

4.3. Yapının BIM Ortamında Üç Boyutlu Modellenmesi

Yapı gurubu içinden çalışması yapılan bina seçildikten ve binanın hangi elemanları ya da yüzeylerinin çalışma kapsamında ele alınacağı kararlaştırıldıktan ve çalışması yapılan binanın geleneksel ölçüm metotlarıyla rölöveleri alındıktan sonra bina BIM ortamında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme yapılırken

günümüz dünyasında BIM tabanlı olarak kullanılan en yaygın programlardan biri olan Autodesk firmasına ait Revit 2021 programı tercih edilmiştir. (Şekil 4.9.) Yapıyı oluşturan beton hatıllar, harman tuğlası duvarlar, çatı konstrüksiyonunun malzemesi olan masif ahşap ve çatı kaplaması olarak kullanılan sac elemanlar programda aynen tanıtılarak gerçek zamandaki özelliklerinin bilgisayarda da algılanması sağlanmıştır.



Şekil 4. 9. Yapının Revit 2021 Programında Oluşturulan 3D Modeli

4.4. Üç Boyutlu Lazer Tarama Cihazıyla Yapının Mevcut Durumunun Modellenmesi

Çalışması yapılan yapının geleneksel metotlarda rölevelerinin alınıp BIM ortamında Revit 2021 programı ile modellenmesinden sonra bir sonraki aşamaya geçilerek yapının üç boyutlu olarak lazer tarama cihazıyla mevcut durumunun modellenmesi için tarama işlemi yapılmıştır. Buradaki temel amaç BIM ortamında oluşturulan model ile üç boyutlu nokta bulutların karşılaştırılarak kusur ve hatalarla bozulmaların tespitinin gerçekleştirilmesidir.

4.4.1. Tarama İçin Kullanılan Lazer Tarama Cihazına Ait Özellikler

Yapıya ait yüzeylerin ölçmeleri kapsamında yapılan lazer tarama çalışmasında Leica RTC360 yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Leica RTC360 üç boyutlu gerçeklik yakalama çözümü kullanıcıların veri alma ve belgelendirme imkanını verebilen bir cihazdır. Veri toplama hızı yüksek ve kullanımı kolay bir makinedir. Otomatik çalışma

yöntemleri ile sezgisel ve maksimum verim için tasarlanmış son teknoloji lazer tarayıcı çözümünü sunar. Veriler taramanın yapıldığı alanda sistem tarafından otomatik olarak birleşir. Leica RTC360 lazer tarayıcı cihaz ile saniyede 2 milyon noktaya kadar tarama oranı ve gelişmiş HDR görüntüleme sistemi ile, renklendirilmiş 3B nokta bulutları 2 dakikadan kısa sürede toplanabilmektedir.

Çalışmaya konu bina alanında çalışma yapılırken (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) yatayda 360 derece, düşeyde 270 derece ölçüm alanı kullanılabilmektedir. 10cm (0,1mt) ile 300mt mesafe aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Ölçümlerde standart sapma mesafesi her 50 mt’de maksimum 4,5mm’dir.



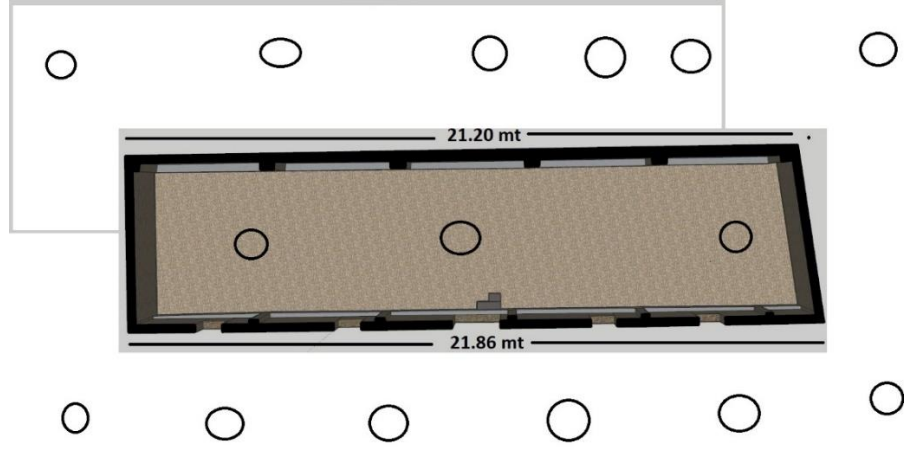
Şekil 4. 10. Lazer Tarama Cihazı İle Saha Çalışması Esnasında Alınan Görüntü



Şekil 4. 11. Lazer Tarama Cihazı İle Saha Çalışması Esnasında Alınan Görüntü

4.4.2. Sahada Çalışma Süreci ve Yapılan Çalışmalar

Leica RTC360 Lazer tarayıcı Cihaz ile yapının nokta bulut taramaları yapılırken 15 farklı istasyon taraması yapılmış (Şekil 4.12) ve tarama yaklaşık olarak yarım gün sürmüştür. Arazi koşullarının elverdiği ölçüde cephe elemanlarını en uygun açıyla görebilecek şekilde istasyonlar seçilmiş ve taramalar 6mm çözünürlükle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 12. Tarama İşleminde Kurulan İstasyonlar

4.4.3. Tarama İle Alınan Nokta Bulutlar Üzerinde Yapılan İşlemler

Leica RTC360 Lazer tarayıcı Cihaz ile yapının nokta bulut taramaları yapıldıktan sonra alınan veriler yüksek depolama kapasiteli taşınabilir harddiske kopyalanmıştır. Bu veriler çalışma ofisine taşındıktan sonra 15 farklı istasyondan alınan nokta bulutların birleştirme işlemleri yapılmıştır. Birleştirmeler sahada taramalar yapılırken belirlenen ortak referans koordinat düzleminde birbirinden farklı olan istasyonlardaki üç boyutlu nokta bulutların ortak kesişime giren nokta bulutların çakıştırılması ile yapılmıştır. Bu işlemler Cyclone yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.13.)



Şekil 4. 13. Cyclone ile Nokta Bulutların Ofis Ortamında Birleştirilmiş Hali

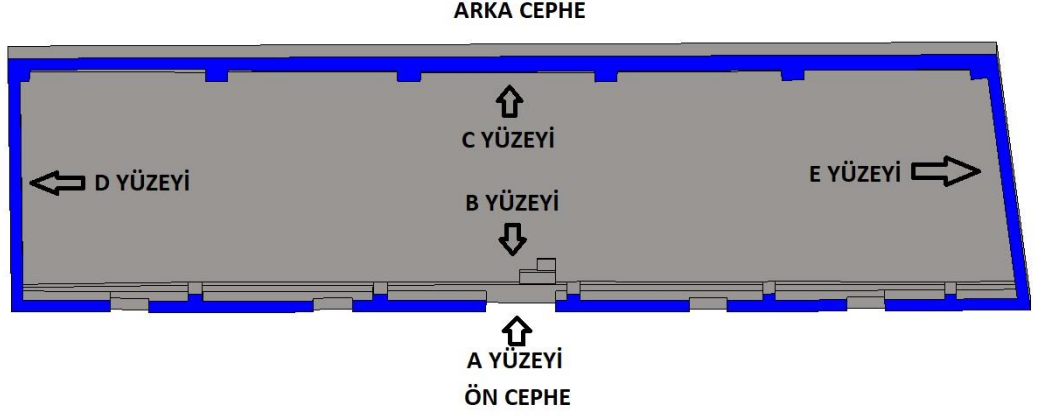
15 farklı istasyondan alınan üç boyutlu nokta bulutlar Cyclone yazılımı ile birleştirildikten sonra nokta bulutların filtreleme, temizleme işlemi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada Cycole 3DR yazılımı kullanılarak işlemlerin biraz daha hızlı olması sağlanmıştır. (Şekil 4.14.)



Şekil 4. 14. Cycole 3DR Yazılımı ile Filtreleme ve Temizleme İşlemi Yapılmış 3D Model

4.5. Autodesk Revit 2021 ile Oluşturulan BIM Modelinin Cycole 3DR Yazılımından Elde Edilen Verilerin Çakıştırılma İşlemi

Geleneksel metotlarla alınan rölöveler ile oluşturulan BIM modeliyle çalışma yapılan binada 15 farklı istasyon ile elde edilen üç boyutlu nokta bulutların birleştirilme sonrası filtreleme ve temizleme işlemlerinden sonra çakıştırma ve karşılaştırma analizi yapılması için Cyclone 3DR yazılımı kullanılmıştır. Çakıştırma sonrası karşılaştırma yapılan yüzeyler ön cephenin dış yüzü (A Yüzeyi), ön cephenin iç yüzü (B Yüzeyi), binanın arka cephesinin iç yüzeyi (C Yüzeyi), binanın sol yan cephesinin iç yüzeyi (D Yüzeyi) ve binanın sağ yan cephesinin iç yüzeyi (E Yüzeyi) olarak adlandırılmıştır. (Şekil 4.15)



Şekil 4. 15. Çakıştırma ve Karşılaştırma Yapılan Bina Yüzeylerinin Tanımlanması ve İsimlendirilmesi

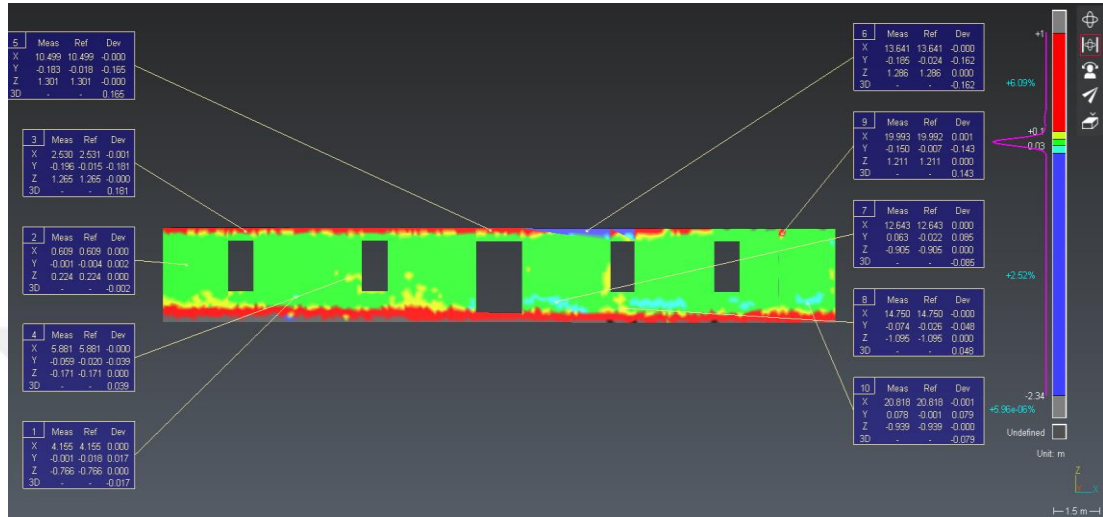
BIM modeli ile lazer tarama 3D modelinin çakıştırılması ve çakıştırma sonrası karşılaştırma analizi yapılırken $\pm 3\text{cm}$ 'i tolerans aralığı olarak kabul edilmiş ve bu değerler arasında olan yüzeyler yeşil renk ile ifade edilmiştir. $+3\text{cm}$ ile $+10\text{cm}$ aralığında olan yüzeyler sarı renk ile; -3cm ile -10cm aralığında kalan yüzeyler açık mavi renk ile ifade edilmiştir. $+10\text{cm}$ 'in üzerinde kalan değerler kırmızı renk ile -10cm 'in altında kalan değerleri ise lacivert renk ile ifade edilmiştir. (Şekil 4.16.)

	$\pm 3\text{ cm}$ tolerans aralığında kalan yüzeyler
	$+3\text{ cm}$ ile $+10\text{ cm}$ aralığında kalan yüzeyler
	-3 cm ile -10 cm aralığında kalan yüzeyler
	$+10\text{ cm}$ 'in üzerinde kalan yüzeyler
	-10 cm 'in üzerinde kalan yüzeyler

Şekil 4. 16. Çakıştırma Analizleri Renk İfade Lejandı ve Anlamları

Çalışması yapılan binanın BIM modeli ile 3D lazer tarama modelinin çakıştırılması işlemi yapılırken binanın uzun cephelerinin (A Yüzeyi, B Yüzeyi ve C Yüzeyine) her birine 10'ar adet farklı etiket kısa cephelerinin her birine ise (D Yüzeyi ve E Yüzeyine) 5'er adet farklı etiket atanmıştır.

A yüzeyinin (Binanın ön cephesinin dış yüzü) 10 farklı etiket ile analiz sonuçları şekil 4.17 de gösterilmiştir. Şekil 4.17 de görüldüğü gibi yeşil yüzeyler tolerans sınırları içerisinde kalmakla birlikte yeşil yüzeylerin dışında boyanan sarı, kırmızı, açık mavi ve lacivert renkli yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır.



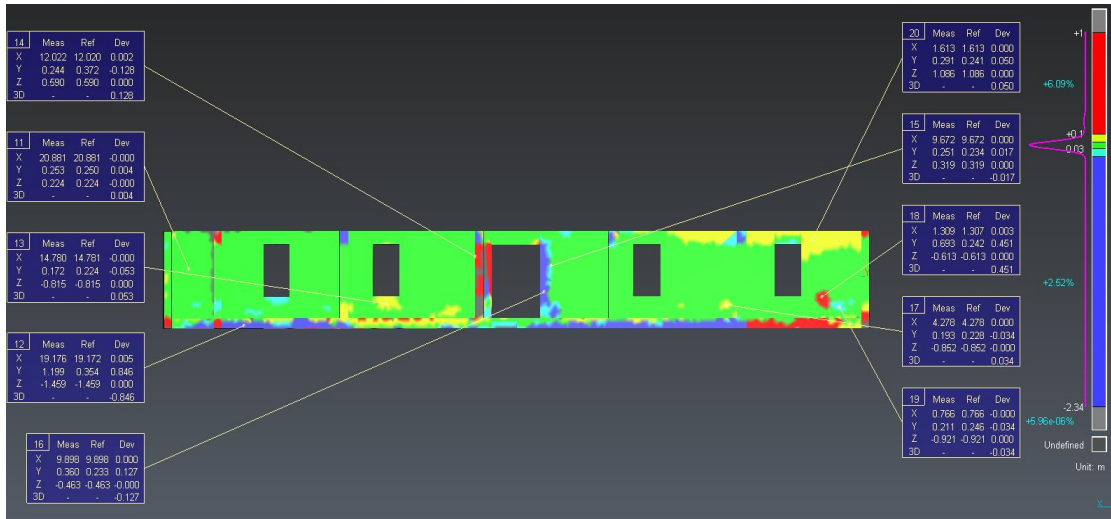
Şekil 4. 17. Bina A Yüzeyi Analiz Görseli

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bazı yüzeylerde (örneğin 10. Nokta) 20,818 cm gibi bir hata/bozulma ya da sapma görülmektedir. Yapı taşıyıcı duvarlarının 25cm kalınlıkta olduğu düşünülürse bu durum; yapının taşıyıcı duvarlarının önemli ölçüde deformasyona uğradığını göstermektedir. Çalışması yapılan yapının A Yüzeyi üzerinde etiketlenmesi yapılmış 10 farklı noktanın üç boyutlu olarak karşılaştırılma işlemi sonrasında x,y,z eksenlerinde ortaya çıkan sapmalarının sonucu tablo 4.1. de özetlenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi 2 ve 3 nolu noktalar tolerans sınırları içerisinde kalmış, ancak diğer yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır. Özellikle 9 ve 10 nolu noktalarda yüksek oranda deformasyonların mevcut olduğu görülmektedir. 1, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu noktalarda ise tolerans sınırları dışında ancak 9 ve 10 nolu noktalara oranla daha az deformasyonlar görülmektedir.

Tablo 4. 1. Bina A Yüzeyi Analiz Görseli

id	name	Meas X (m)	Meas Y (m)	Meas Z (m)	Ref X (m)	Ref Y (m)	Ref Z (m)	Dev X (m)	Dev Y (m)	Dev 3D (m)	Tol- 3D (m)	Tol+ 3D (m)
1	Label #1	4.15467	-0.00118	-0.76639	4.15465	-0.0178	-0.76639	0.00002	0.01662	-0.01662	-0.03	0.03
2	Label #2	0.60931	-0.0012	0.22379	0.6093	-0.00357	0.22379	0.00001	0.00237	-0.00237	-0.03	0.03
3	Label #3	2.52973	-0.19622	1.26479	2.53079	-0.01483	1.26479	-0.00106	-0.18139	0.18139	-0.03	0.03
4	Label #4	5.88133	-0.05872	-0.17128	5.88137	-0.01967	-0.17128	-0.00004	-0.03905	0.03905	-0.03	0.03
5	Label #5	10.49856	-0.18348	1.30137	10.49881	-0.0183	1.30137	-0.00024	-0.16518	0.16518	-0.03	0.03
6	Label #6	13.64107	-0.18517	1.28602	13.64136	-0.02363	1.28602	-0.00029	-0.16153	-0.16153	-0.03	0.03
7	Label #7	12.64309	0.06339	-0.90549	12.64294	-0.02183	-0.90549	0.00015	0.08521	-0.08521	-0.03	0.03
8	Label #8	14.74988	-0.07366	-1.09477	14.74997	-0.02564	-1.09477	-0.00009	-0.04802	0.04802	-0.03	0.03
9	Label #9	19.99295	-0.14986	1.21087	19.99234	-0.00692	1.21087	0.00061	-0.14294	0.14294	-0.03	0.03
10	Label #10	20.81789	0.07783	-0.93875	20.81843	-0.00089	-0.93875	-0.00054	0.07873	-0.07873	-0.03	0.03

B yüzeyinin (Binanın ön cephesinin iç yüzü) 10 farklı etiket ile analiz sonuçları şekil 4.18’de gösterilmiştir. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi yeşil yüzeyler tolerans sınırları içerisinde kalmakla birlikte yeşil yüzeylerin dışında boyanan sarı, kırmızı, açık mavi ve lacivert renkli yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır.

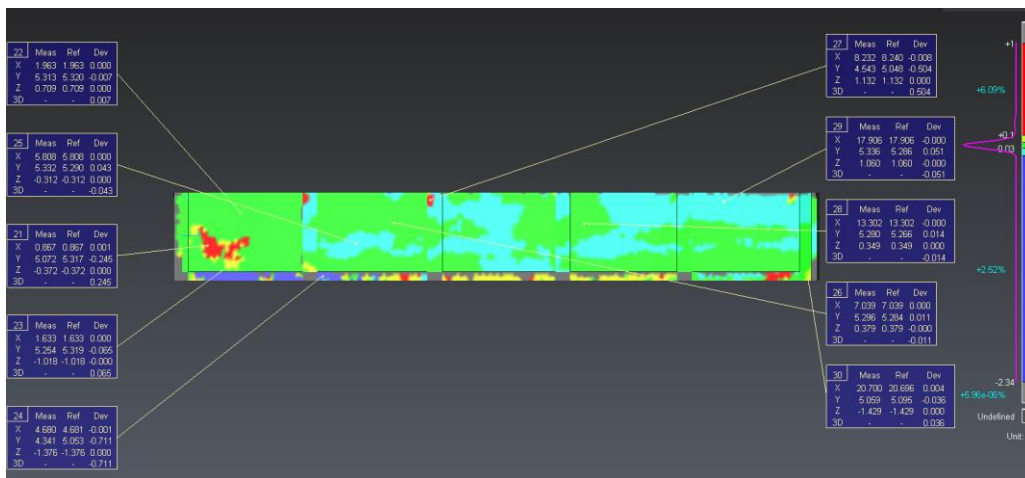


üzerinde etiketlenmesi yapılmış 10 farklı noktanın üç boyutlu olarak karşılaştırılma işlemi sonrasında x,y,z eksenlerinde ortaya çıkan sapmalarının sonucu tablo 4.2. de özetlenmiştir. Tablo 4.2’den de anlaşılacağı gibi 18,19 ve 20 nolu noktalar tolerans sınırları içerisinde kalmış diğer noktalardaki veriler ise tolerans sınırları dışında kalmıştır. Özellikle 11 ve 12 noktalarda büyük oranda deformasyonların olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 2. B Yüzeyine Ait 10 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu

id	name	Meas X (m)	Meas Y (m)	Meas Z (m)	Ref X (m)	Ref Y (m)	Ref Z (m)	Dev X (m)	Dev Y (m)	Dev 3D (m)	Tol- 3D (m)	Tol+ 3D (m)
11	Label #11	20.8814	0.25349	0.2237	20.88143	0.24955	0.2237	-0.00003	0.00394	0.00394	-0.03	0.03
12	Label #12	19.17632	1.19948	-1.45886	19.17166	0.35383	-1.45886	0.00466	0.84565	-0.84566	-0.03	0.03
13	Label #13	14.78046	0.17174	-0.81506	14.78056	0.22431	-0.81506	-0.0001	-0.05257	0.05257	-0.03	0.03
14	Label #14	12.02215	0.24403	0.59014	12.02033	0.37231	0.59014	0.00182	-0.12828	0.1283	-0.03	0.03
15	Label #15	9.67239	0.25051	0.31911	9.67235	0.23355	0.31911	0.00003	0.01697	-0.01697	-0.03	0.03
16	Label #16	9.89795	0.35995	-0.46344	9.89772	0.23314	-0.46344	0.00023	0.12681	-0.12681	-0.03	0.03
17	Label #17	4.27827	0.19348	-0.85226	4.27823	0.22772	-0.85226	0.00004	-0.03424	0.03424	-0.03	0.03
18	Label #18	1.30929	0.69349	-0.61319	1.30665	0.24235	-0.61319	0.00264	0.45114	0.45115	-0.03	0.03
19	Label #19	0.76564	0.21121	-0.92129	0.76584	0.24552	-0.92129	-0.0002	-0.03431	-0.03431	-0.03	0.03
20	Label #20	1.6134	0.29052	1.08584	1.6131	0.24055	1.08584	0.00029	0.04997	0.04997	-0.03	0.03

C yüzeyinin (Binanın arka cephesinin iç yüzü) 10 farklı etiket ile analiz sonuçları şekil 4.19’da gösterilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yeşil yüzeyler tolerans sınırları içerisinde kalmakla birlikte yeşil yüzeylerin dışında boyanan sarı, kırmızı, açık mavi ve lacivert renkli yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır.

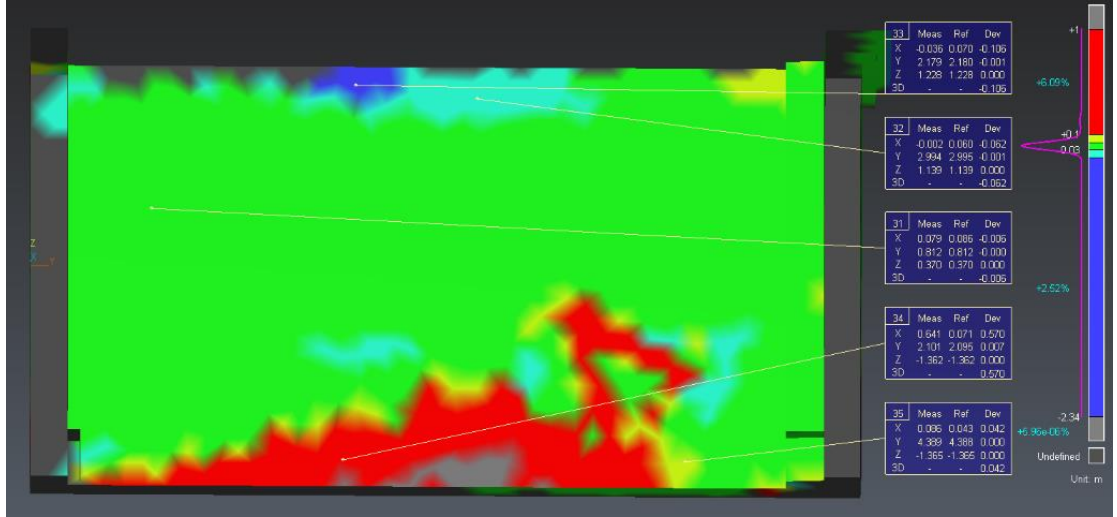


Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bazı yüzeylerde (örneğin 30. Nokta) 20,700 cm gibi bir hata/bozulma ya da sapma görülmektedir. Yapı taşıyıcı duvarlarının 25cm kalınlıkta olduğu düşünülürse bu durum; yapının taşıyıcı duvarlarının önemli ölçüde deformasyona uğradığını göstermektedir. Çalışması yapılan yapının C Yüzeyi üzerinde etiketlenmesi yapılmış 10 farklı noktanın üç boyutlu olarak karşılaştırılma işlemi sonrasında x,y,z eksenlerinde ortaya çıkan sapmalarının sonucu tablo 4.3. de özetlenmiştir. Tablo 4.3.te de görülebileceği gibi 21, 22, 23 nolu noktalar tolerans sınırları içinde kalmıştır. Ancak özellikle 28, 29 ve 30 nolu noktalarda büyük çaplı deformasyonlar görülmektedir. 24, 25, 26 ve 27 nolu noktalarda yine bozulmalar olmakla birlikte 28, 29 ve 30 nolu noktalara nispi oranda daha az deformasyonlar mevcuttur.

Tablo 4. 3. C Yüzeyine Ait 10 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu

id	name	Meas X (m)	Meas Y (m)	Meas Z (m)	Ref X (m)	Ref Y (m)	Ref Z (m)	Dev X (m)	Dev Y (m)	Dev 3D (m)	Tol- 3D (m)	Tol+ 3D (m)
21	Label #21	0.86737	5.07244	-0.37243	0.86673	5.31722	-0.37243	0.00064	-0.24478	0.24478	-0.03	0.03
22	Label #22	1.96311	5.31296	0.70888	1.96309	5.32009	0.70888	0.00002	-0.00713	0.00713	-0.03	0.03
23	Label #23	1.63285	5.25394	-1.01829	1.63268	5.31922	-1.01829	0.00017	-0.06528	0.06528	-0.03	0.03
24	Label #24	4.67983	4.34148	-1.37639	4.68056	5.05277	-1.37639	-0.00074	-0.71129	-0.71129	-0.03	0.03
25	Label #25	5.8079	5.33205	-0.31225	5.80773	5.28954	-0.31225	0.00018	0.04251	-0.04251	-0.03	0.03
26	Label #26	7.03927	5.29576	0.37864	7.03923	5.28443	0.37864	0.00005	0.01133	-0.01133	-0.03	0.03
27	Label #27	8.23213	4.54319	1.13173	8.23993	5.04759	1.13173	-0.0078	-0.5044	0.50446	-0.03	0.03
28	Label #28	13.30181	5.27996	0.34858	13.30188	5.26589	0.34858	-0.00007	0.01406	-0.01406	-0.03	0.03
29	Label #29	17.90561	5.33637	1.06037	17.90571	5.28566	1.06037	-0.0001	0.05071	-0.05071	-0.03	0.03
30	Label #30	20.69997	5.05947	-1.42862	20.69602	5.0952	-1.42862	0.00395	-0.03572	0.03594	-0.03	0.03

D yüzeyinin (Binanın sol yan cephesinin iç yüzü) 5 farklı etiket ile analiz sonuçları şekil 4.20'de gösterilmiştir. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi yeşil yüzeyler tolerans sınırları içerisinde kalmakla birlikte yeşil yüzeylerin dışında boyanan sarı, kırmızı, açık mavi ve lacivert renkli yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır.



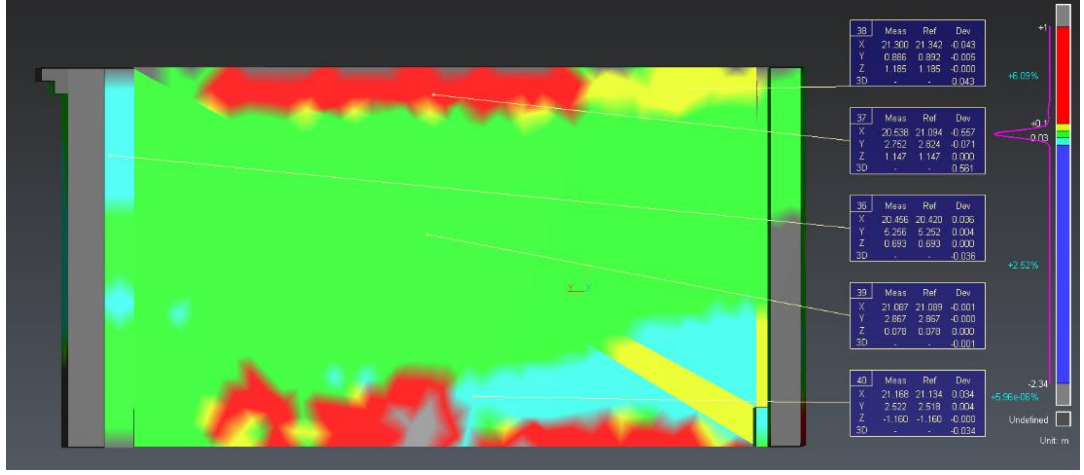
Şekil 4. 20. Bina D Yüzeyi Analiz Görseli

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bazı yüzeylerde (kırmızı, sarı, açık mavi ve lacivert renkli ifade edilen bölgeler) hata/bozulma ya da sapmalar görülse de yapının A, B ve C yüzeylerine göre bu hata ya da bozulmaların nispi olarak daha az olduğu görülmektedir. Çalışması yapılan yapının D Yüzeyi üzerinde etiketlenmesi yapılmış 5 farklı noktanın üç boyutlu olarak karşılaştırılma işlemi sonrasında x,y,z eksenlerinde ortaya çıkan sapmalarının sonucu tablo 4.4. de özetlenmiştir.

Tablo 4. 4. D Yüzeyine Ait 5 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu

id	name	Meas X (m)	Meas Y (m)	Meas Z (m)	Ref X (m)	Ref Y (m)	Ref Z (m)	Dev X (m)	Dev Y (m)	Dev 3D (m)	Tol- 3D (m)	Tol+ 3D (m)
31	Label #31	0.07948	0.8117	0.36962	0.08581	0.81177	0.36962	-0.00633	-0.00007	-0.00633	-0.03	0.03
32	Label #32	-0.00169	2.99426	1.13945	0.05997	2.99499	1.13945	-0.06166	-0.00073	-0.06166	-0.03	0.03
33	Label #33	-0.03612	2.17881	1.22838	0.06962	2.18006	1.22838	-0.10574	-0.00125	-0.10574	-0.03	0.03
34	Label #34	0.64095	2.10129	-1.36205	0.07063	2.09454	-1.36205	0.57032	0.00675	0.57036	-0.03	0.03
35	Label #35	0.08565	4.38893	-1.36497	0.04348	4.38843	-1.36497	0.04217	0.0005	0.04217	-0.03	0.03

E yüzeyinin (Binanın sağ yan cephesinin iç yüzü) 5 farklı etiket ile analiz sonuçları şekil 4.21’de gösterilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi yeşil yüzeyler tolerans sınırları içerisinde kalmakla birlikte yeşil yüzeylerin dışında boyanan sarı, kırmızı, açık mavi ve lacivert renkli yüzeyler tolerans sınırları dışında kalmıştır.



Şekil 4. 21. Bina E Yüzeyi Analiz Görseli

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bazı yüzeylerde (kırmızı, sarı, açık mavi ve lacivert renkli ifade edilen bölgeler) hata/bozulma ya da sapmalar görölse de yapının A, B ve C yüzeylerine göre bu hata ya da bozulmaların nispi olarak daha az olduğu görülmektedir. Çalışması yapılan yapının E Yüzeyi üzerinde etiketlenmesi yapılmış 5 farklı noktanın üç boyutlu olarak karşılaştırılma işlemi sonrasında x,y,z eksenlerinde ortaya çıkan sapmalarının sonucu tablo 4.5. de özetlenmiştir.

Tablo 4. 5. E Yüzeyine Ait 5 Farklı Etiketin X,Y,Z Eksenleri Analiz Sonuçları Tablosu

id	name	Meas X (m)	Meas Y (m)	Meas Z (m)	Ref X (m)	Ref Y (m)	Ref Z (m)	Dev X (m)	Dev Y (m)	Dev 3D (m)	Tol- 3D (m)	Tol+ 3D (m)
36	Label #36	20.45595	5.25618	0.69315	20.41987	5.25219	0.69315	0.03608	0.00399	-0.0363	-0.03	0.03
37	Label #37	20.53757	2.75225	1.14733	21.09425	2.82373	1.14733	-0.55668	-0.07147	0.56125	-0.03	0.03
38	Label #38	21.29967	0.8861	1.18535	21.34232	0.89158	1.18535	-0.04265	-0.00548	0.043	-0.03	0.03
39	Label #39	21.0872	2.86726	0.07755	21.08864	2.86744	0.07755	-0.00143	-0.00018	-0.00144	-0.03	0.03
40	Label #40	21.16767	2.52211	-1.15986	21.13354	2.51773	-1.15986	0.03414	0.00438	-0.03442	-0.03	0.03

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnşaat sektörü, tasarım, yapım, işletme ve bakım süreçleri ile yıkım evrelerinden oluşan, diğer sektörlerden benzersiz, zor, karmaşık ve girift bir sektördür. Son ürün olan yapı (bina) kalitesi hiç şüphe olmaksızın tasarım ve yapım aşamalarındaki kalite performansı ile doğrudan ve organik bağlarla ilişki içindedir. Yapıların gerek tasarım aşamasında gerekse de yapım sürecinin tamamlanmasının ardından ortaya çıkan kalite performansı kullanıcı ya da işveren beklentilerini ne ölçüde karşıladığının aritmetik sonucudur. Bu denklem yüzyıllar boyunca her yapıda farklı kurulmuş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanıcı beklentileri her ne kadar değişkenlik gösterse de her yapının projelendirme ve yapım süreçlerinde asgari düzeyde evrensel kalite standartlarını yakalaması beklenmektedir.

Tasarım sürecinde mekânsal, işlevsel, fonksiyonel, estetik, ekonomiklik gibi parametreler işveren ya da kullanıcıya bağlı olarak değişse de projenin doğruluğu, hatasızlığı, diğer disiplinlerle uyumu, saha uygulamalarına elverişliliği, yapım standartlarını ve genel geçer koşulları karşılaması gerekmektedir. Keza yapım sürecinde de ortaya çıkan ürünler farklı olsa dahi imalat kalitesinin tolerans sınırları içinde yapılması beklenir.

İnşaat sektöründe beklentilerin bu denli yüksek olduğu, kaynakların ise (zaman, maliyet, bütçe ve diğer olanaklar) kısıtlı olduğu gerçeği düşünülürse ortaya çıkarılması hedeflenen ürünün kalite yönetiminin ve kalite kontrolünün son derece hassas, tolerans sınırları içerisinde takibi ve sürekli kontrolü ile evrensel kalite kabul kriterleri içerisinde sonlandırılması en temel hedef olmalıdır.

Geçmişten günümüze kadar geleneksel yöntemlerle ve geleneksel ölçüm cihazlarıyla, hatta kimi zaman sezgisel ve gözlemsel olarak kalite kontrolü çoğu zaman kalite kontrolünü yapan ya da denetleyen kişinin (teknik uzman) kişisel tecrübesine, deneyimine ve bilgisine göre farklı kabullerle yapılmaktadır. Bu durumun doğal sonucu olarak inşaat sektöründe her ürününün birbirinden farklı standartlarda oluşumu, bazen kaliteli malzemelerin kötü işçiliklerle sonlandırılması sonucu hatalı ve kusurlu sonuçların ortaya çıkması, bazen bu kusurlu imalatların sökülüp yeniden yapılmasıyla ciddi miktarlarda maliyet ve zaman kayıplarıyla sonuçlandığı görülmektedir.

Teknolojinin olağandışı geliştiği son yıllarda inşaat dışı sektörlerle göre (otomotiv, beyaz eşya, elektronik cihazlar, tekstil vb) daha yavaş uyum sağlasa da inşaat sektörü teknolojik yöntemlerle çalışmaya başlamış ve özellikle gelişmiş ülkeler başta olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinde kullanılmaya başlanmış hatta ABD, İngiltere ve Japonya’da kamu binalarının tasarım ve yapım süreçlerinde BIM tabanlı çalışılması zorunlu hale getirilerek diğer ülkelere örnek teşkil edecek sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır.

Yapı Bilgi Modelleme ya da diğer adıyla Building Information Modeling (kısaltılmış haliyle BIM) olarak adlandırılan bu teknoloji ile yapıların tüm yaşam döngüsünde kullanıldığında olağanüstü çalışma koşulları ve hatasız kusursuz yönetim süreçlerinin elde edilebileceği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. BIM ve BIM ile beraber gelişimini hızlandıran üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü yersel lazer tarama teknolojisinin geliştirilmesi, bu teknolojinin BIM ile birlikte kullanımı sonucu binaların özellikle yapım aşamasında sıfır hataya yakın sonuçlar vermesi ve bu süreçleri oldukça hızlı gerçekleştirmesi ile birlikte inşaat sektöründe kalite standardının belirli ölçüde sağlanmasına altyapı oluşturmuştur. Ayrıca yapının işlev, nicelik, nitelik, lokasyon, yapım tekniği ve yapım ekibinin bilgi ve tecrübesi gibi parametrelere göre kalite puanının değişmesine neden olan faktörleri de ortadan kaldırmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan akademik araştırmalarda Yapı Bilgi Modelleme ile Üç Boyutlu Lazer Tarama Teknolojisinin birlikte kullanımı sonucunda yapım sürecinde imalatların özellikle geometrik kalite kontrollerinin (gönye, şakül, master, ölçü vb) yapılması ve tolerans sınırları içinde kalıp kalmadığı, yapıyı oluşturan yapı elemanlarının (taşıyıcı sistem, duvar, kaplamalar, doğramalar) ve yapıyı oluşturan alt sistemlerin (kanallı sistemler, borulu sistemler, bacalı sistemler vb) kalite kontrollerinin yapıldığı ve olumlu sonuçlar alındığı görülmüştür. Bu entegrasyon sisteminin yapım aşamasındaki bir yapıda kullanıldığı gibi mevcut yapılarda da kullanılabildiği ve zaman içerisindeki bozulmaların tespit edilebildiği de gözlenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde inşaat sektörü genel olarak ele alınmış, kalite kavramının ne olduğu ve inşaat sektöründeki anlamı ifade edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Bir sonraki bölümde BIM (Building Information Modeling) teknolojisi ve sistematığı anlatılmış, üç boyutlu lazer tarama teknolojilerinin teknik açıklamaları yapılmış ve sonrasında BIM ile 3D Lazer Tarama

Sisteminin birlikte çalışabilirliği konuları araştırılarak daha önceden yapılan akademik çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise mevcutta var olan ve yeniden kullanımı planlanan gerçek bir yapının geleneksel yöntemlerle rölöveleri alınarak önce BIM tabanlı çalışabilen Autodesk Revit 2021 programı ile 3D modellemesi yapılmış, ardından aynı yapı sahada lazer tarama ile 15 farklı istasyon kurulumu ile taranarak 3D nokta bulutları alınmıştır. 15 farklı istasyon kurulumu ile alınan 3D nokta bulutları Cyclone yazılımı ile birleştirildikten sonra Cyclone 3DR yazılımı ile filtreleme ve temizleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha önceden Autodesk Revit 2021 ile oluşturulan 3D model ile Cyclone 3DR yazılımından elde edilen 3D nokta bulutları Cyclone 3DR programında karşılaştırılarak karşılaştırma analizleri yapılmış ve bu analizler sonucu binanın yapısal elemanlarındaki bozulmalar ve deformasyonlar tespit edilerek yeniden kullanım aşaması öncesinde geçireceği onarım ya da renovasyonun hangi yüzeylerde ne yoğunlukta ele alınacağı sonuçları ortaya konulmuştur.

Çalışmanın tüm aşamalarında ve son bölümünde elde edilen bulgulardan anlaşılabileceği gibi;

- Gelişen BIM teknolojileri ile Lazer Tarama Teknolojisinin entegrasyonu ile yapılan çalışmalarda kalite kontrol açısından daha verimli sonuçların alındığı ve erken teşhis yapılabildiği,

- Bu yeni teknolojilerin birleşimiyle gerek tasarım aşamasında gerekse de yapım aşamasında karşılaştırma analizlerinin yapılabildiği ve tolerans sınırları dışındaki sonuçların kullanıcıya hatasız olarak verilebildiği,

- Saha verilerinin hem dijital hem de üç boyutlu olarak kayıt altına alınabildiği ve bu sayede özellikle tescilli tarihi yapıların gelecek nesillere veri aktarımının daha doğru ve sağlıklı yapılabildiği,

- Çalışması sonlandırılan yapıların “yapıldığı gibi” dokümanlarının hatasız ve eksiksiz olarak belgelenebildiği ve bu sayede yapıların işletme ve bakım onarım aşamalarındaki işlemlerin hatasız gerçekleştirilebileceği,

- Yapıların hem ana taşıyıcı elemanlarında hem de tamamlayıcı elemanlarında bu teknolojilerin ortak kullanımıyla kalite kontrolünün sorunsuz ve insan faktörü devre dışı bırakılarak objektif olarak yapılabildiği ve bu sayede evrensel kalite standartlarında ürün elde edilebileceği,

- Geleneksel metotlarla yapılan kalite kontrol süreçlerinin insana bağılı değişken sonuçlar verdiğinden gereksiz maliyet, zaman ve kaynak kayıplarına yol açtığı ve yeni teknolojilerle bu kayıpların asgari düzeye indirebileceğı sonuçları ortaya konulmuştur.

Bu çalışmadan sonraki akademik çalışmalara altlık olması açısından önem taşıyan ve pratik saha çalışmalarında da rehber olacak nitelik ve içerikteki bu çalışma sonucundan aktarılabilecek öneriler ise;

- Küresel ölçekte kalite standardını yakalamak için gelişen teknolojilerin ülkeler bazında desteklenmesi hatta önem teşkil eden yapılarda (askeri, sağlık, yönetim, eğitim, konut vb) zorunlu hale getirilmesi,
- Tarihi yapıların belgelendirilmesinde bu yeni teknolojilerin kullanımının teşvik edilmesi, gerektiğinde zorunlu hale getirilmesi,
- Ülkemiz ölçeğinde Kamu İhale Kanunu ile BIM teknolojisinin entegre edilerek sistemin daha pratik hale getirilmesi ve oluşabilecek kamu zararlarının önceden önlenmesi,
- Kent ölçeğinde kamu kurumlarının ve belediyelerin BIM-3D Lazer Tarama teknolojisi entegrasyonu ile kent altyapı ve ulaşım ağlarının dijital ortama aktarılması ve yapılacak kentleşme ve genişleme çalışmaları planlamalarının bu teknolojiler yardımıyla ile yapılması olarak aktarılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., (2016).** Yüklenici inşaat firmalarında hakediş düzenlemeleri ve yapı enformasyonu modellemesi (BIM) uygulamaları, *Yüksek lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Akkoyunlu, T., (2015).** Kentsel dönüşüm projeleri için BIM uygulama planı önerisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkaya, D., (2012).** İnşaat sektöründe yapı bilgi modellemesi hakkında inceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aksu, M. (2020).** İnşaat projelerinde düşme riskine karşı bir BIM ve artırılmış gerçeklik (AG) uygulaması önerisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Arditi, D., Günaydın, H. M., (1997).** Total quality management in the construction process. *International Journal of Project Management*, 15(4), 235-243.
- Atlı, K., (2015).** Saha imalat kontrollerinin taşınabilir aygıtlar yardımıyla iyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayda Atak Argun, (2015).** İnşaat Sektöründe BIM Kullanımı ve Avantajları
- Aydın, M., Yaman, H., (2018).** Bina Enformasyonu Modellemesi (BIM) Tabanlı Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü Literatürüne Genel Bir Bakış. *tasarım+ kuram dergisi*, 14(25), 59-77.
- Azhar, S., Brown, J., Farooqui, R., (2009).** BIM-based sustainability analysis: An evaluation of building performance analysis software. *In Proceedings of the 45th ASC annual conference* (Vol. 1, No. 4, pp. 276-292).
- Azhar, S., (2011).** Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252.
- Bahçeci, H., (2019).** Bina Yapım Sürecinde İnovatif Kalite Kontrol Tekniklerinin Firma Ölçeğine Göre Farkındalık Analizi, *Yüksek Lisans Tezi* ,Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bahçeci, H., Polat H., (2020).** İnşaat Sektöründe Teknoloji Adaptasyon Sorunlarının Araştırılması. *Online Journal of Art and Design*, 8(1).

- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Kavulya, G., Calis, G., (2011).** Assessment of target types and layouts in 3D laser scanning for registration accuracy. *Automation in construction*, 20(5), 649-658.
- Bezelga, A., Brandon, P. S., (2006).** *Management, quality and economics in building*. Routledge.
- Boehler, W., Marbs, A., (2002).** 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 6, 9-18.
- Bosché, F., (2010).** Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of As-Built dimensions for dimensional compliance control in construction, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 24, 107-118.
- Bosché, F., (2012).** Plane-based registration of construction laser scans with 3D/4D building models, *Advanced Engineering Informatics*, 26(1), 90-102.
- Bosche, F., Haas, C. T. (2008).** Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. *Automation in Construction*, 17(4), 499-512.
- Bosche, F., Haas, C. T., Akinci, B. (2009).** Automated recognition of 3D CAD objects in site laser scans for project 3D status visualization and performance control. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(6), 311-318.
- Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C.T. and Haas, R., (2014).** The value of Integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: the case of cylindrical MEP components, *Automation in Construction*, Vol. 49, 201-213.
- Bosché, F., Guenet, E., (2014).** Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models. *Automation in construction*, 44, 212-226.
- Choudhry, R. M., Hinze, J. W., Arshad, M., Gabriel, H. F., (2012).** Subcontracting practices in the construction industry of Pakistan, *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), 1353-1359.
- Cömert, R., (2014).** Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen veriler kullanılarak otomatik nesne çıkarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Çelebi, D., (2013).** İnşaat imalatı sürecinde imalat kalitesi değişkenliğinin yüklenici ve alt yüklenici personelin niteliğine göre değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelebi, D., Kuruoğlu M., (2015).** İnşaat İmalat Sürecinde, İmalat Kalitesi Değişkenliğinin, Yüklenici ve Alt Yüklenici Personelin Niteliğine Göre Değerlendirilmesi, *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-12.
- Çelik, H., (2011).** Karayolları etüt ve proje çalışmalarında mobil haritalama sistemlerinin kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çetinkaya, E. İ., (2017).** İnşaat sektöründe BIM ve dijital üretim kavramlarının birlikte çalışabilirliği üzerine bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çuhadar, F. G., (2017).** Mimarlık hizmeti kapsamında bina bilgi modelleme: "G Villa" konut projesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, O., (2017).** Yapım yönetiminde yapı bilgi modellemesi (YBM), TED Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
- Eastman, C. M., Jeong, Y. S., Sacks, R., Kaner, I. (2010).** Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *Journal of computing in civil engineering*, 24(1), 25-34.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., (2011).** BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Elmuallim, A., Gilder, J., (2014).** BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. *Architectural Engineering and Design Management*, Vol. 10, Nos. 3–4, 183–199,
- Gleason, D., (2013).** Laser Scanning for an Integrated BIM. *Constance*, October.
- Gümüş, K., Erkaya, H., (2007).** Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, 11. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 2-6 Nisan.

- Gümüş, M., (2010).** Yersel lazer tarayıcıların deformasyon ölçmelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Günet, A. F., Giritli, H. (2011).** İnşaat sektöründe toplam kalite yönetimi ve Türkiye'deki uygulamalar. *İTÜDERGİSİ/a*, 3(1).
- Güngör, S., Arslan, M. (2004).** Turizm ve Rekreasyon Stratejileri İçin Swot Analizi, Görsel Kalite Değerlendirmesi, Turizm Tesislerinin Beğenilirliği ve Turizm Tesisleri Durum Analizi Uygulaması: Beyşehir İlçesi Örneği. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 18(33), 68-72.
- Hajian, H., Becerik-Gerber, B., (2009).** A research outlook for real-time project information management by integrating advanced field data acquisition systems and building information modeling. *Computing in civil engineering*, 83-94.
- Hardin, B., McCool, D., (2015).** BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows. John Wiley & Sons.
- Hiremagalur J., Yen K., Akin K., Bui T., (2007).** Creating Standarts and Specifications for the Use of Laser Scanning in Caltrans Projects, *AHMCT Research Report*, University of California, California, U.S.A.
- Ingensand, H., (2006).** Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology. In *Proceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineeringand*, 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Işıkdag, U., (2015).** *Enhanced Building Information Models: Using IoT Services and Integration Patterns*. 13-24.
- İlhan, B., Yaman, H. (2015).** BIM ve Sürdürülebilir Yapım Bütünleşme: IFC-Tabanlı Bir Model Öneri. *Megaron*, 10(3).
- Karasaka, L., (2012).** Mobil yersel lazer tarama sistemlerinin fotogrametrik rölöve projelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kassem, M., Kelly, G., Dawood, N., Serginson, M. Lockley, S., (2015).** BIM in Facilities Management Applications: A Case Study of a Large University

Complex, *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. 5(3), 261-277

Kaya, A., (2020). Toplam Kalite Yönetimi Bağlamında Kaizen Felsefesinin Örgütlerin Maliyet, Verimlilik ve Kalite Düzeylerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 1191-1207.

Kazado, D. (2018). Add-in for a case study for integration of sensor technology with BIM for facility management using Navisworks. *Mendeley*.

Kern, F., (2001). Supplementing Laserscanner Geometric Data With Photogrammetric Images Formodelling. *In Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001*. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 454 – 461.

Kim, C., Son, H. Kim, C., (2013). Automated construction progress measurement using a 4D Building Information Model and 3D Data, *Automation in Construction*, Vol. 31, 75-82.

Kim, M. K., Cheng, J. C., Sohn, H., Chang, C. C., (2015). A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning. *Automation in Construction*, 49, 225-238.

Kim, M. K., Wang, Q., Park, J. W., Cheng, J. C., Sohn, H., Chang, C. C., (2016). Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. *Automation in Construction*, 72, 102-114.

Kiviniemi, A.; Tarandi, V.; Karlshøj, J.; Bell, H.; Karud, O.J., (2008). Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM, *Erabuild*, 128p.

Kocamış, T. U. (2017). Toplam Kalite Yönetimi (Tky) Ve İç Denetimin Tky'deki Rolü. *Sosyal Bilimler Dergisi*, (1), 1-21.

Koç, S., Taşdemir, İ. Dinç, O., (2015). Mobil haritalama yöntemi ile panorama İstanbul projesi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, Konya, 21-23 Mayıs 2015.

- Kula, B., Ergen, E., (2017).** Lazer tarayıcı teknolojisinin yapım yönetiminde kullanım alanları, *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, Samsun, 6-7 Ekim 2017.
- Kuruoğlu, M., Topkaya, E., Çelik, L. Y., Yönez, E. (2012).** İnşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması. *Journal of New World Sciences Academy*, 1A0298, 7(1), 263.
- Laing, R., Leon, M., Isaacs, J., Georgiev, D., (2015).** Scan to BIM: the development of a clear workflow for the incorporation of point clouds within a BIM environment. *WIT Transactions on The Built Environment*, 149, 279-288.
- Lerma García, J. L., Van Genechten, B., Santana Quintero, M., (2008).** 3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. Training Material Based on Practical Applications. *Universidad Politecnica de Valencia*, Spain.
- Maalek, R., Lichti, D. D., Ruwanpura, J. Y., (2019).** Automatic Recognition of Common Structural Elements from Point Clouds for Automated Progress Monitoring and Dimensional Quality Control in Reinforced Concrete Construction. *Remote Sensing*, 11(9), 1102.
- Makineci, H. B., (2016).** İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi, *Geomatik Dergisi*, 1(1), 19-23.
- Mill, T., Alt, A., Liias, R., (2013).** Combined 3D building surveying techniques—terrestrial laser scanning (TLS) and total station surveying for BIM data management purposes, *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(sup1), S23-S32
- Ofluğlu, S. (2014).** Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist*, Ocak.
- Ofluğlu, S., (2019).** Yapı bilgi modelleme: yeni nesil mimari yazılımlar. Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü. <http://www.sayisalmimar.com /yayin/ybm.pdf>, 25 Nisan 2019.
- Ohnuma, D. K., Pereira, S. R., Cardoso, F. F., (2000).** The Role of the Subcontractors in the Competitiveness of Building Companies and the Integration of Value Chains. *CIB REPORT*, 201-218.

- O’Keeffe, S., Bosche, F., (2015).** The Need for Convergence of BIM and 3D Imaging in the Open World. *Proceedings of the CITA BIM Gathering*, Dublin, Ireland, 109-116.
- Oskouie, P., Becerik-Gerber, B. Soibelman, L., (2016).** Automated measurement of highway retaining wall displacements using terrestrial laser scanners, *Automation in Construction*, Vol. 65, 86-101.
- Öktem, S., Ertuğrul, O., (2017).** Örneklerle Bim ve Kullanımı, İnşaat Mühendisleri Odası 2017 yılı meslek içi seminerleri, Karaköy
- Özdemir, S., (2014).** Yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri ile elde edilen yüksek çözünürlüklü verilerden üretilmiş üç boyutlu modellerin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane
- Özer, O. (2016).** Kalite takım çeliğine alternatif sıcak iş takım çeliğinin ısıtma işlem parametrelerinin belirlenmesi ve hadde bıçak uygulamalarındaki performansının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özer, E., Karabulut, T. (2017).** Kalite Uygulamalarının İşletme Performansı Üzerindeki Etkisi; İnşaat Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(31), 329.
- Pehlevan, E. E. (2018).** Yapı Bilgi Modellemesi, *İTÜ Açık Arşiv*, 29 Haziran 2018
- Polat, H., (2008).** Konutların Yapım Aşamasında Kalite Kontrole Yönelik Süreç Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Polat, H., (2014).** Konut İnşaatlarında Kalite Kontrol Amaçlı Kullanılabilecek Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Polat, H., Arioglu, N. (2018).** Quality Control Analysis during Housing Construction Process. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(10), 440-447.
- Polat, H., Kaya, F., Balo, F. (2021).** Control of Building Components by Building Information Modeling Technology Integration and 3D Laser Scanning Technique for Sustainable Building Quality. In *Sustaining Tomorrow:*

Proceedings of Sustaining Tomorrow 2020 Symposium and Industry Summit (p. 113-134). Springer Nature.

Polat, N., Uysal, M., (2016). Hava lazer tarama sistemi, uygulama alanları ve kullanılan yazılımlara genel bir bakış, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 679-692.

Pugh, S , (2011). *Çağdaş Konut Mimarisinden Detaylar Kitabı*, YEM Yayınevi 2. Baskı

Pundir, A., Garg, M., Singh, R., (2015). Evaluation of properties of gypsum plaster-superplasticizer blends of improved performance, *Journal of Building Engineering*, 4, 223-230.

Puri, N., & Turkan, Y., (2016). Dimensional quality control of precast concrete slabs using 3D laser scan point clouds, *6th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, Hong Kong, 11-13 December.

Qu, T., Coco, J., Rönnäng, M., Sun, W., (2014). Challenges and trends of implementation of 3D point cloud technologies in building information modeling (BIM): case studies. *Computing in Civil and Building Engineering*, 809-816.

Reshetyuk Y., (2006). Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners, *Phd thesis, in Geodesy*, Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy, Stockholm, Sweden.

Reshetyuk, Y., (2009). Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, *Doctoral thesis in Infrastructure, Geodesy*, Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy, Stockholm, Sweden.

Ross, S. S., (1999). Object Lessons, *Architectural Record*, 88(6), s.129

Sarah, W , (2020). *Çağdaş Konut Mimarisinden Detaylar Kitabı*, YEM Yayınevi 2. Baskı

- Salehi, S. A., (2012).** Integration of building information modeling and laser scanning in construction industry, *Licentiate thesis*, Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ)), Cyprus.
- Sobek, W. (2018).** Buildings as renewable power plants: active houses for the electric city. In *Urban Energy Transition* (pp. 131-138). Elsevier.
- Sullivan, K. T., (2010).** Quality management programs in the construction industry: Best value compared with other methodologies. *Journal of Management in Engineering*, 27(4), 210-219.
- 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.
- Tamke, M., Zwierzycki, M., Evers, H. L., Ochmann, S., Vock, R., Wessel, R., (2016).** Tracking Changes in Buildings over Time: Fully Automated Reconstruction and Difference Detection of 3d Scan and BIM files. In *Complexity & Simplicity: Proceedings of the 34th eCAADe Conference*, Vol. 2, pp. 643-651.
- Tekin, H., Atabay, Ş. (2019).** Building information modelling roadmap strategy for Turkish construction sector. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer* (Vol. 172, No. 3, pp. 145-156). Thomas Telford Ltd.
- Turkan, Y., Bosche, F., Haas, C.T. Haas, R., (2012).** Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies, *Automation in Construction*, Vol. 22, 414-421.
- Turkan, Y., Bosché, F., Haas, C., Haas, R., (2013).** Tracking secondary and temporary concrete construction objects using 3D imaging technologies. *Computing in Civil Engineering*, 749-756.
- Torun, A., Düzgün, Ş., (2013).** Lidar nokta bulutundan veri yönelimli teknikle bina çatılarının yatay yüzeylerinin çıkarılması, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu*, KTÜ, Trabzon, 23-25 Mayıs 2013.

- Wang, C., Cho, Y. K., (2015).** Performance evaluation of automatically generated BIM from laser scanner data for sustainability, *Analyses. Procedia Engineering*, 118, 918-925.
- Wang, J., Sun, W., Shou, W., Wang, X., Wu, C., Chong, H. Y., Sun, C., (2015).** Integrating BIM and LiDAR for real-time construction quality control. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 79(3-4), 417-432.
- Wang, Q., Cheng, J. C., Sohn, H., (2015).** Automated quality inspection of precast concrete elements with irregular shapes using terrestrial laser scanner and BIM technology, *In Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 32).
- Wang, Q., Cheng, J. C., Sohn, H., (2016.)** Automatic Reconstruction of As-built BIM from Laser Scanned Data of Precast Concrete Elements for Dimensional Quality Assessment. *In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 33, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.
- Wang, Q., Kim, M.K., Cheng, J.C.P. Sohn, H., (2016).** Automated Quality Assessment of Precast Concrete Elements with Geometry Irregularities Using Terrestrial Laser Scanning, *Automation in Construction*, **Vol. 68**, 170-182.
- Wang, Q., Sohn, H., Cheng, J. C., (2018).** Automatic as-built BIM creation of precast concrete bridge deck panels using laser scan data. *J. Comput. Civ. Eng*, 32(3).
- Werner, S (2020).** *Çağdaş Konut Mimarisinden Detaylar Kitabı*, YEM Yayınevi 2. Baskı
- Woo H., Kang, R., Wang, S., Lee, K.H., (2002).** A new segmentation method for point cloud data, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2), 167-178.
- Wunderlich, T., (2003).** Terrestrial laser scanning-an important step towards construction. *In Information FIG Working Week*, Paris, France, April 13-17.

- Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., Huber, D., (2013).** Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data, *Automation in Construction*, **31**, 325-337
- Xuesong, L., Eybpoosh, M., Akinci, B., (2012).** Developing as-built building information model using construction process history captured by a laser scanner and a camera. *In Construction research congress*.
- Yaman, K., Arslan, G. (2018).** The impact of hourly solar radiation model on building energy analysis in different climatic regions of Turkey. *Build. Simul.* 11, 483–495
- Yılmaz, H.M., Yakar, M., (2006).** Yersel lazer tarama teknolojisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Zeng, X., Tan, J., (2007).** Building information modeling based on intelligent parametric technology, *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 1(3), 367-370.
- Zhang, C., Arditi, D., (2013).** Automated progress control using laser scanning technology, *Automation in Construction*, Vol. 36, 108-116.

İNTERNET KAYNAĞI

URL-1: (<https://www.protaaltar.com/urunler/autodesk-revit>). 15 Kasım 2021

URL-2 <https://bim4turkey.com/tr/etkinlikler/bim-summit> 20 Ocak 2022

URL-3: <https://www.cadalyst.com/aec/bim-and-building-product-manufacturers> 21 Ocak 2022.

URL4:https://haraj.com.sa/1143037928/REVIT_%D8%B1%D9%8A%D9%81%D8%AA/, 21 Ocak, 2022.

URL5:<http://emlakansiklopedisi.com/wiki/building-information-managament-bim>, 21 Ocak 2022.

URL-6: https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/696/surdurulebilir-yapilar-kapsaminda-tasarim-analiz-ve-simulasyon-icin-autodesk-cozumleri_20927.html#. 22 Ocak 2022.

URL-7: <https://smartpro.com.tr/revit-programi-nedir-neler-yapilabilir/>, 28 Ocak 2022.

URL-8: <https://www.otsproje.com.tr/tr/bim/>, 30 Ocak 2022.