



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI



**MEVCUT YAPILARIN PERFORMANS
ANALİZİ VE GÜÇLENDİRİLMESİNDE 3D
LAZER TARAMA İLE YAPI BİLGİ
MODELLEMESİ TEKNOLOJİSİNİN
KULLANIMININ ÖRNEKLERLE
İNCELENMESİ**

EMRE ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2025



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI



**MEVCUT YAPILARIN PERFORMANS
ANALİZİ VE GÜÇLENDİRİLMESİNDE 3D
LAZER TARAMA İLE YAPI BİLGİ
MODELLEMESİ TEKNOLOJİSİNİN
KULLANIMININ ÖRNEKLERLE
İNCELENMESİ**

EMRE ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Furkan BİRDAL

KIRŞEHİR

2025

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

01/08/2025

Emre ŞAHİN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TABLolar DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi	3
1.2. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)	5
1.3. 3D Lazer Tarama ve YBM Entegrasyonu	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1. İnşaat Sektöründe 3D Lazer Tarama Teknolojisi	11
2.2. İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi	12
2.3. İnşaat Sektöründe 3D Lazer Tarama ve YBM Entegrasyonu	13
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Uygulaması	19
3.2. YBM ve Analiz Yazılımları.....	23
3.3. Saha Çalışmaları	25
3.3.1. Betonarme yapı örneği.....	27
3.3.2. Çelik yapı örneği	30
3.3.3. Prefabrik yapı örneği	33
3.3.4. Yığma yapı örneği	36
3.4. Modelleme Çalışmaları	39
3.4.1. Betonarme yapı modeli	40
3.4.2. Çelik yapı modeli.....	53
3.4.3. Prefabrik yapı modeli.....	63
3.4.4. Yığma yapı modeli	73
3.5. Analiz Modeli Çalışmaları.....	84
3.5.1. Betonarme yapı analiz modeli.....	85
3.5.2. Çelik yapı analiz modeli	91
3.5.3. Prefabrik yapı analiz modeli	94

3.5.4. Yığma yapı analiz modeli	97
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	101
4.1. 3D Lazer Tarama Uygulaması Verilerinin Yapısal Analizde Kullanımı	101
4.2. YBM Yaklaşımının Yapısal Analizde Kullanımı	107
4.3. 3D Lazer Tarama ve YBM' nin Birlikte Yapısal Analizde Kullanımı	111
4.4. Saha-Modelleme ve Analiz Çalışmaları Kapsamında İş Akış Diyagramı	128
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR.....	137
EKLER	143
EK-1	143
EK-2	144
EK-3	145
ÖZGEÇMİŞ.....	147

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamın her aşamasında desteğini sürekli hissettiğim değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Furkan BİRDAL hocama büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam kapsamında desteklerini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL hocama destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında ön araştırma süreçlerinde 03/02/2023 tarihli ve E-87772441-150.05-393694 sayılı tarihi yapıya ilişkin gerekli araştırma izinlerini veren T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Vakıflar Genel Müdürlüğüne saygılarımla teşekkürlerimi arz ederim.

3D lazer tarama saha uygulamalarında teknik destek ve örnek yapılara ilişkin izin süreçlerinde değerli katkıları için Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer UZUNEL hocama ve İnşaat Yüksek Mühendisi Sayın Hamdi SERT beyefendiye teşekkür ederim.

Tezimi, bugünlere gelmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman yanımda olan sevgili aileme ithaf ederim.

Ağustos, 2025

Emre ŞAHİN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

MEVCUT YAPILARIN PERFORMANS ANALİZİ VE GÜÇLENDİRİLMESİNDE 3D LAZER TARAMA İLE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMININ ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ

Emre ŞAHİN

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YAPI ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan BİRDAL
Yıl: 2025, Sayfa: 147
Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Furkan BİRDAL
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL

Deprem, doğa kaynaklı afete dönüşme potansiyeli yüksek bir tehlikedir. Bu durum şehirlerde mevcut yapı stokunun güncel teknolojiler kullanılarak hızlı ve hassas bir şekilde incelenmesi ve deprem risk analizlerinin yapılması konusunu ön plana çıkarmıştır. Ülke olarak derin bir üzüntü yaşadığımız ve asrın felaketi olarak tanımlanan Kahramanmaraş merkezli depremlerde farklı kullanım sınıfı ve taşıyıcı sistem özelliklerine sahip birçok yapıda; az – orta – ağır hasarlar meydana gelmiştir. Bu depremler mevcut yapı stokunun hızlı ve güncel teknolojiler kullanılarak değerlendirilmesi konusunu bir kez daha gündeme getirmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ‘ne göre betonarme, çelik, yığma ve prefabrik yapıların performans değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu kapsamda incelenmesi gereken mevcut yapı stoku oldukça geniştir. Bu değerlendirmelerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için modelleme aşamasının hassasiyetle tamamlanmış olması ve yapının muhtemel beklenen etkilere karşı, gerçek duruma en yakın analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapıların deprem risk analizleri öncesinde mevcut yapı modelinin hassas bir şekilde elde edilmesi analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu çerçevede 3D Lazer Tarama teknolojisi literatürde teknolojik bir yaklaşım olarak benimsenmektedir. Ancak bu teknolojinin betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapıların deprem risk analizi çalışmalarında kullanımı sınırlıdır. Günümüzde bu teknoloji daha çok tarihi yapıların belgelendirilmesi çalışmalarında tercih edilmektedir. Tez çalışması kapsamında 3D Lazer Tarama yöntemiyle nokta bulutu verileri elde edilen betonarme, çelik, prefabrik ve yığma örnek yapıların verilerinin işlenmesi aşamasından yapı analiz modeli elde edilmesi aşamasına kadar ki tüm süreçleri detaylandırılmıştır. Bu süreçlerin minimum hata ve pratik bir şekilde tamamlanabilmesi için Yapı Bilgi Modellemesi araçlarını esas alan önerilerde bulunulmuştur. Tez çalışması ile 3D Lazer Tarama teknolojisine entegre Yapı Bilgi Modellemesi araçları kullanılarak mevcut yapıların deprem risk analizlerinin hızlı ve hassas yapılabilmesi, statik güvenilirlik açısından mevcut yapısal sistemde var olan kusurların tespiti için yapılan saha uygulamalarına ve akademik araştırmalara katkı sunulabilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3D lazer tarama, Yapı bilgi modellemesi (YBM), Dijital model, Deprem risk analiz modeli, Yapısal durum değerlendirmesi

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

INVESTIGATION OF 3D LASER SCANNING AND BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGY USAGE FOR PERFORMANCE ANALYSIS AND RETROFITTING OF EXISTING STRUCTURES WITH SAMPLES

Emre ŞAHİN

KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Furkan BİRDAL
Year: 2025, Pages: 147
Juries: Assist. Prof. Dr. Furkan BİRDAL
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL

Earthquakes are natural hazards with a high potential to evolve into disasters, particularly in urban environments. This reality has underscored the importance of rapidly and accurately assessing the existing building stock using contemporary technologies and conducting seismic risk analyses. The devastating earthquakes centered in Kahramanmaraş referred to as the disaster of the century caused varying degrees of damage (minor, moderate, and severe) to numerous structures with different functional classifications and structural systems. These events have once again highlighted the urgent need to evaluate the existing building stock using up to date and precise technological methods. According to the Türkiye Building Earthquake Code (TBEC 2018), performance assessments can be conducted for reinforced concrete, steel, masonry, and prefabricated structures. The scope of the existing building stock requiring evaluation is extensive. To ensure the accuracy of these assessments, the modeling phase must be completed with high precision, and the analyses must reflect the actual conditions of the structure under anticipated seismic effects. Prior to seismic risk analysis, obtaining a highly accurate model of the existing structure is critical for the reliability of the results. In this context, 3D Laser Scanning technology has emerged in the literature as a cutting-edge approach. However, its application in seismic risk analysis of the structures remains limited. Currently, this technology is predominantly used in the documentation of historical buildings. The thesis study details the entire workflow from processing point cloud data obtained via 3D Laser Scanning to generate structural analysis models for sample reinforced concrete, steel, prefabricated, and masonry buildings. To minimize errors and enhance efficiency, recommendations based on Building Information Modeling (BIM) tools have been proposed. The primary objective of this research is to contribute to field applications and academic studies by enabling rapid and precise seismic risk assessments of existing structures through the integration of BIM tools with 3D Laser Scanning technology, and by identifying structural deficiencies that compromise the static reliability of buildings.

Key Words: 3D laser scanning, Building information modelling (BIM), Digital model, Earthquake risk analysis model, Structural condition assessment

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)' nin İnşaat Sektöründeki Verimliliği	7
Tablo 3.1. YBM' de Kullanılan Yazılımlar	24
Tablo 3.2. YBM' de Kullanılan Yazılım Uzantıları	25
Tablo 4.1. Örnek Yapılara Uygulanan Yöntem Aşamaları.....	127
Tablo 4.2. Örnek Yapılara Uygulanan Yöntem Bulguları	128



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. 3D Lazer Tarama Cihazları (Z+F IMAGER 5010 ve Leica Rtc 360).....	4
Şekil 1.2. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Yaşam Döngüsü.....	6
Şekil 1.3. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Detay (LOD) Seviyeleri.....	8
Şekil 1.4. Yapı Bilgi Modellemesi Multidisipliner Çalışma Örneği	8
Şekil 1.5. 3D Lazer Tarama Oturum Uygulamaları ve YBM Entegrasyonu	10
Şekil 3.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Uygulamaları [Çelik (a), Yığma (b), Prefabrik (c) ve Tarihi Yapı (d)].....	19
Şekil 3.2. 3D Lazer Tarama Uygulaması Oturum Düzenleme İşlemleri	21
Şekil 3.3. Kırşehir Cacabey Camii – Mevcut Tarihi Örnek Bir Yapının İç ve Dış Mekanına Ait Gerçek ve 3D Dijital Model Görüntüleri	22
Şekil 3.4. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi – Merkezi Araştırma Laboratuvarı Tek Katlı Betonarme Bir Yapının 3D Lazer Tarama Uygulaması Örneği	23
Şekil 3.5. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Saha Uygulamaları.....	26
Şekil 3.6. Mevcut Betonarme (a), Çelik (b), Prefabrik (c) ve Yığma (d) Yapıların 3D Lazer Tarama Nokta Bulut Veri Örnekleri.....	27
Şekil 3.7. Mevcut Örnek Betonarme Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları.....	29
Şekil 3.8. Mevcut Örnek Betonarme Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi.....	30
Şekil 3.9. Mevcut Örnek Çelik Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları.....	32
Şekil 3.10. Mevcut Örnek Çelik Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi.....	33
Şekil 3.11. Mevcut Örnek Prefabrik Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları.....	35
Şekil 3.12. Mevcut Örnek Prefabrik Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi	36
Şekil 3.13. Mevcut Örnek Yığma Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları.....	38
Şekil 3.14. Mevcut Örnek Yığma Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi	39
Şekil 3.15. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - X Yönü	41
Şekil 3.16. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - Y Yönü	42
Şekil 3.17. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylandırılması	42
Şekil 3.18. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli – Kolon ve Kiriş Düğüm Noktası Detaylarının Tespiti	43
Şekil 3.19. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - Duvar Detaylarının Tespiti.....	44

Şekil 3.20. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli.....	46
Şekil 3.21. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Aks Yönleri.....	46
Şekil 3.22. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Vaziyet Planı ve 1. Kat Plan Görüntüleri	47
Şekil 3.23. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - 2. ve 3. Kat Plan Görüntüleri.....	48
Şekil 3.24. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - 3D Görünümleri	49
Şekil 3.25. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri	50
Şekil 3.26. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Çerçeve Görünümü	51
Şekil 3.27. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Kesit Görünümleri	51
Şekil 3.28. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli	54
Şekil 3.29. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti	55
Şekil 3.30. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Temel Detaylarının Tespiti	56
Şekil 3.31. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti...	57
Şekil 3.32. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli – Kesit Görünümleri	58
Şekil 3.33. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli - 1.Kat, 2. Kat, Çatı Katı Plan Görüntüleri ve Temel Modeli	60
Şekil 3.34. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri	62
Şekil 3.35. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli	64
Şekil 3.36. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti	66
Şekil 3.37. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Oturum Planlamaları	67
Şekil 3.38. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Kolon, Kiriş ve Duvar gibi Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti	68
Şekil 3.39. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının 3D Revit Modeli Görünümleri	69
Şekil 3.40. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Revit Modeli 1. 2. Kat ve Çatı Kat Plan Görüntüleri	71
Şekil 3.41. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri	72
Şekil 3.42. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Dış Mekan	74
Şekil 3.43. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – İç Mekan	75
Şekil 3.44. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti	76

Şekil 3.45.	Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti..	77
Şekil 3.46.	Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Revit Modeli Görünümleri.....	79
Şekil 3.47.	Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Revit Modeli - Kemer Sistemin Modellenmesi ve Detaylarının Tespiti.....	80
Şekil 3.48.	Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli 1.Kat, 2. Kat ve Çatı Kat Plan Görüntüleri	81
Şekil 3.49.	Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri	82
Şekil 3.50.	Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli – Kesit Görünümleri	83
Şekil 3.51.	Mevcut Örnek Yapıların Modelleme ve Analizlerinin Belirlenmesi İçin İş Akış Şeması	86
Şekil 3.52.	Mevcut Örnek Betonarme Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulut, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri	87
Şekil 3.53.	Mevcut Örnek Çelik Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri	92
Şekil 3.54.	Mevcut Örnek Prefabrik Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulut, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri	95
Şekil 3.55.	Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri	98
Şekil 4.1.	Mevcut Örnek Çelik Yapının Bulon ve İmalat Detaylarının Tespiti	105
Şekil 4.2.	Mevcut Örnek Çelik Yapının Kolon ve Kuşaklarının Durum Tespiti	110
Şekil 4.3.	Mevcut Örnek Betonarme Yapının Kolonunun Plandaki Durum Tespiti	112
Şekil 4.4.	Mevcut Örnek Betonarme Yapının Kolonunun Düşeydeki Aks Kontrolü	114
Şekil 4.5.	Mevcut Örnek Çelik Yapının Köşe Koordinatlarının Tespiti	115
Şekil 4.6.	Mevcut Örnek Çelik Yapının Kolon Detaylarının ve Durumunun Tespiti	116
Şekil 4.7.	Mevcut Örnek Çelik Yapının Temel, Kolon, Bulon, Kuşak ve Bağlantı Elemanlarının Detaylarının Tespiti	118
Şekil 4.8.	Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Kolon, Kiriş ve Diğer Yapı Eleman Detaylarının Tespiti	120
Şekil 4.9.	Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Rölöve ve Detaylarının Tespiti	121
Şekil 4.10.	Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Kolonunun Düşeydeki Aks Kontrolü	122
Şekil 4.11.	Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Kirişinin Yataydaki Aks Kontrolü	122
Şekil 4.12.	Mevcut Örnek Yığma Yapının Beden Duvarlarının Düşeydeki Aks Kontrolü ...	123

Şekil 4.13. Mevcut Örnek Yığma Yapının Beden Duvarlarının Yatay Düzlemdeki Aks Kontrolü	124
Şekil 4.14. Mevcut Örnek Yığma Yapının Merdiveninin, Beden Duvarlarının, Kaçıklıklarının ve Minhalarının Tespiti	125
Şekil 4.15. Saha Modelleme ve Analize İlişkin İş Akış Diyagramı	130



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler		Açıklama
±	:	Artı Eksi
°	:	Derece
%	:	Yüzde

Kısaltmalar		Açıklama
BIM	:	Building Information Modeling
CAD	:	Computer Aided Design
IFC	:	Endüstri Temel Sınıfları
HBIM	:	Historic Building Information Modeling
LOD	:	Level of Development
RGB	:	Renk Modeli
TLS	:	Terrestrial Laser Scanner
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
3D	:	Üç Boyut
VR	:	Virtual Reality
YBM	:	Yapı Bilgi Modellemesi

1. GİRİŞ

Ülkemizde, mevcut kamu ve özel kullanım amaçlı yapıların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'ne göre deprem performans analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analizler neticesinde yapıların performans seviyelerinin sağlandığına, güçlendirilmesine veya yıkılarak dönüştürülmesine karar verilebilmektedir. Mevcut bir yapının performans analizi öncesinde yapıya ilişkin bazı verilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu süreçte ilk olarak yapının statik rölevesi çıkarılmaktadır. Statik rölöve, doğru bir analiz modeli için oldukça önemlidir. Hatalı bir rölöve yanlış bir modelin analizi ile sonuçlanabilmektedir. Bu durum, yapının deprem risk değerlendirmesi açısından da hatalara sebep olabilmektedir. Bununla birlikte geleneksel yöntemlerde yapı taşıyıcı sistemine ilişkin kusurlar gözle görülemeyebilir. Deprem risk analizi için incelenmesi gereken mevcut yapı stokunun çok fazla olduğu düşünüldüğünde ise şehirlerin deprem risk analiz çalışmaları geleneksel rölöve yöntemleri ile uzun sürebilmektedir. 3D lazer tarama teknolojisi ile mevcut yapıların hızlı ve hassas rölövelerinin elde edilmesi şehirlerin deprem risk analizlerinin de hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlayacaktır (Liu ve ark., 2018). Ayrıca 3D lazer tarama teknolojisi ile yapı bilgi modellemesi yaklaşımının da birlikte kullanımı deprem risk analizi ve yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında ve dijitalleşmede sürdürülebilir bir yaklaşım katacaktır (Liu ve ark., 2021). Statik rölöve genellikle dijital ya da manuel ölçüm ekipmanları (dijital veya çelik metre) ile gerçekleştirilmektedir. Yapıda gerçekleştirilen ölçümler teknik personel tarafından bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Böylece yapının performans analizine esas statik modeli elde edilmektedir (Massafra ve ark., 2024). Bu yöntem taşıyıcı sistemi kompleks olmayan yapılarda minimum hata ile uygulanabilmektedir. Ancak taşıyıcı sistem geometrisi ve detayları karmaşık olan yapılarda hata oranını artırabilmektedir. Muhtemel bu hatalar ise yapının performans sonucunu doğrudan etkileyen sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir.

3D lazer tarama teknolojisi ile şehirlerin ve yapıların deprem risk analizlerinin çok daha hızlı, efektif, doğru ve pratik olarak gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Ancak yapısal bir sistemin deprem risk analiz modellerinin bu teknoloji ile elde edilmesi birçok aşamayı içermektedir. Bu aşamalarındaki çalışmaların her birinde en doğru parametrelerin ve yazılımların seçilmesi, analiz sonuçları ve modellemenin doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Örneğin nokta bulutu verilerinin filtrelenmesi için farklı yöntemler bulunmaktadır (Mirzaei ve ark., 2023). Burada bilgisayar kapasiteleri de düşünüldüğünde hızlı çözüme yönelik en uygun ve efektif yöntemin seçimi oldukça önemlidir. Bununla

birlikte yapı dijital modelinin sonlu eleman modeline aktarımında uyumsuzluklar ortaya çıkabilmekte, bu durum ise doğru sonuca ulaşacak analizlerin gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Yöntemin her aşamasında farklı yazılımların kullanımı gerekli olabilmektedir. Bununla birlikte bu çalışmalarda uygulama ve analiz aşamaları detaylarının farklı tür yapılar için son kullanıcılara ulaşan bir metodoloji şekline dönüştürülmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında bu hataları minimize edebilmek ve güncel teknolojinin sunmuş olduğu imkanlardan yararlanmak için yapısal modellemede 3D lazer tarama yönteminin ve yapı bilgi modellemesi (BIM) teknolojisinin birlikte kullanılabilirliği mevcut yapısal sistem örnekleri ile irdelenmiştir. Seçilen betonarme, çelik, prefabrik ve yığma olmak üzere dört farklı mevcut yapı örneklerinin tarama ve modellemesi yapılarak 3D lazer ile saha verilerinden yapı sonlu eleman modeline kadar tüm aşama parametrelerinin en doğru sonuca ulaşmak amacıyla kalibrasyonu geleneksel yöntemlere göre karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Tez kapsamında yapılan saha çalışmaları ve bilgisayar ortamında farklı yazılımlar ile gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde sektör kullanıcılarına ve ilgili kurumların kullanımına yönelik bir çözüm ve uygulama metodolojisi ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında ilgili kurumlara, sektöre ve literatüre sunulacak bu katkı sayesinde aşağıda sıralanan çalışmaların Ülkemizde yapılabilmesi oldukça pratik bir şekle dönüşebilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalar;

- Şehirlerimizdeki yapı stokunun hızlı bir şekilde deprem performans analizlerinin yapılabilmesi,
- Mevcut yapıların modellenmesi ve analizlerinde hata oranının minimize edilmesi,
- Yapı hasar tespitinin daha detaylı ve hızlı yapılabilmesi,
- Çelik ve prefabrik yapı sistemlerinde birleşim detaylarının elde edilmesi,
- Tarihi yapıların hızlı şekilde rölöve, restorasyon, onarım güçlendirme çalışmalarına katkı sunulması,
- Yığma yapıların hızlı bir şekilde deprem performans analizleri,
- 3D lazer tarama ile yapısal stabilite analizlerinin ve düşey aks sapmalarının hızlı tespiti,
- Şehir planlama çalışmalarına katkı sunulabilmesi,
- Şehirlerin 3D detaylı dijital model verisinin elde edilmesi çalışmalarına katkı sunulması,
- BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) tabanlı çalışmalara katkı sunulması,

- Yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında mimari, mekanik ve statik uyumun bilgisayar ortamında 3D analizi olarak sıralanabilecektir.

Özet olarak tez çalışması ile mevcut yapıların deprem risk analizi çalışmalarında hızlı analiz modellerinin elde edilmesi ve deprem performans analizlerinin bu modellere göre en efektif şekilde yapılabilmesi çalışmalarına katkı sunulması hedeflenmektedir. Geleneksel yöntemlere göre 3D Lazer Tarama yöntemi hem basit taşıyıcı sistemli yapılarda hem de karmaşık taşıyıcı sistemli yapılarda minimum hata, efektif ve hızlı sonuçlar vermektedir. Karmaşık bir yapısal sistemin deprem performans çalışmasının yapılması öncesinde bilgisayar ortamında modellenmesi oldukça vakit alabilmektedir. Mevcut yapı stokumuz düşünüldüğünde bu çalışmalar on yıllar alabilecektir. Tez çalışması sonucunda örneklerle doğrulanan metodoloji ile mevcut yapısal analizlerin modelleme aşaması daha hassas ve çok daha kısa zamanda tamamlanabilecektir. Bununla birlikte elde edilecek verilerin yapı bilgi modellemesi (BIM) ile uyumlu olması incelenen bir yapının güçlendirme çalışmaların da mimari, mekanik ve statik uyum açısından birçok farklı çözüm sunması sayesinde önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmüştür.

1.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi

3D lazer tarama cihazları, modern ölçüm ve görselleştirme teknolojileri arasında önemli bir yer tutan, yüksek doğrulukla veri toplayabilen sistemlerdir. Bu cihazlar, yüzeylerin detaylı geometrik özelliklerini kaydederek bir nesnenin, yapının veya belirli bir alanın dijital modelini oluşturmak amacıyla lazer ışınlarını kullanır. Temel çalışma prensibi, lazerin taranan yüzeye gönderilip yansıtılarak cihaza geri dönme süresinin hesaplanmasıyla nokta bulutları şeklinde detaylı bir veri seti oluşturulmasıdır. Bu yöntem, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla hem zaman açısından verimli hem de yüksek hassasiyet sunan bir yaklaşım olup, mimarlık, arkeoloji, inşaat mühendisliği, otomotiv sanayi ve tersine mühendislik gibi çeşitli disiplinlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Özellikle tarihi eserlerin korunması ve belgelenmesi süreçlerinde, endüstriyel tasarım, kalite kontrol aşamalarında, mevcut yapılar üzerinde değişiklik yapılması gereken durumlarda veya kompleks geometrilere sahip objelerin dijital ortama aktarılmasında kritik bir rol oynar (Shih ve ark., 2007). Böylelikle, üç boyutlu lazer tarama teknolojisi hem mühendislik hem de sanat ve bilimsel araştırmalar için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Geleneksel ölçüm yöntemleri, dijital ve çelik metreler gibi ölçüm araçları kullanılarak gerçekleştirilmekte olup, bu tekniklerde uygulama hataları, ölçüm sapmaları ve insan kaynaklı değişkenler nedeniyle çeşitli doğruluk problemleri ortaya

ıkabilmektedir. Yapıların eşitililiği, fiziksel büyüklükleri ve karmaşıklıkları ise geleneksel yöntemlerin uygulanmasını daha da zorlaştırarak ölçüm süreçlerinin uzamasına ve hataların artmasına sebep olmaktadır. Günümüz teknolojisinin sunduğu yenilikçi çözümlerden biri olan üç boyutlu (3D) Lazer Tarama yöntemi, bu zorlukları aşmak adına daha hızlı, doğru ve etkin bir veri elde etme süreci sunmaktadır.

Nokta bulut yöntemiyle yapıların dijital modellerinin oluşturulmasına imkân tanıyan 3D lazer tarama cihazlarının teknolojik zellikleri:

- Saniyede 2.000.000 lazer nokta atımı,
- ± 1 mm mesafe hassasiyeti,
- 360° tam görüş açısı,
- Dijital kamera ile fotoğraf ekimi,
- Termal tarama tekniği,
- GPS, pusula, termometre ve barometre gibi ek sensörlere birlikte çalışma olarak tanımlanabilmektedir (Sistem Bilgisayar ve Teknik Hizmetler San. A.ř., 2025.).

3D lazer tarama teknolojisi; çevresel ve yapısal verilerin bütüncül olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknik, geleneksel yöntemlere kıyasla hem zamandan tasarruf sağlamakta hem de elde edilen verilerin güvenilirliğini artırarak, mühendislik ve mimarlık alanlarında çeşitli analizler için temel oluşturmaktadır. Bu kapsamda: Z+F IMAGER 5010 ve Leica RTC 360 lazer tarama cihazları kullanılmıştır (şekil 1.1).



a)



b)

şekil 1.1. 3D Lazer Tarama Cihazları (Z+F IMAGER 5010 ve Leica Rtc 360).

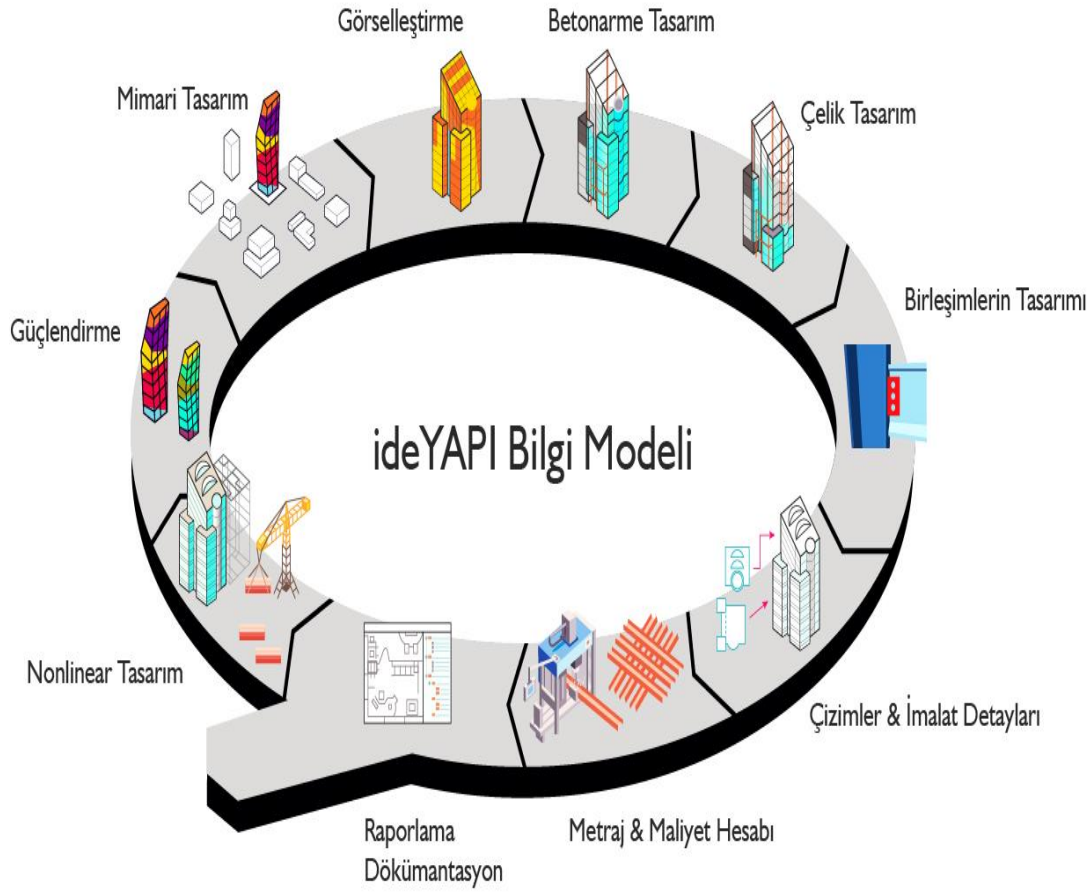
1.2. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), inşa edilmiş mevcut bir yapı veya inşa edilecek bir yapının fizibilite aşamasından ekonomik ömrünü tamamlayana kadarki süreci kapsayan bir bilgi oluşturma ve yönetme sürecidir (Atabay ve Öztürk, 2019). 3 boyutlu bir modele dayanan ve bir bulut platformu sağlayan YBM, yapının planlama ve tasarımından inşaat ve işletme aşamasına kadar uzanan, yaşam döngüsü boyunca dijital gösterimini oluşturmak için yapılandırılmış verileri bir araya getirir. YBM, proje paydaşlarıyla disiplinler arası çalışma ortamı sağlayarak süreç yönetimine olanak sağlar.

YBM, en temel tanımıyla, projelerin tasarımında, inşasında ve sürdürülmesinde görev alan kişilerin ortak olarak yararlanabileceği üç boyutlu bilgi paylaşımı ve yönetim sürecidir. Yani: YBM, bir süreçtir. Yapının yaşam döngüsü boyunca, fizibilite aşamasından ekonomik ömrünü tamamlayana kadar geçen süreçte kontrolünün sağlanması ve gerekli yapım, onarım ve bakım işlemlerinin yürütülmesini sağlar. Dolayısıyla, YBM yapı inşa aşaması için oldukça etkili bir yöntemdir. YBM'nin sunduğu yaşam döngüsü; süreç yönetimi ve işleyiş açısından da önemli faydalar sağlamaktadır (Şekil 1.2).

YBM yaşam döngüsü;

- Yenileme
- Planlama
- Ön Tasarım
- Detaylı Tasarım
- Analiz
- Dokümantasyon
- Üretim
- Yapım Detayları
- Yapım
- İşletme ve Bakım
- Yapının Ekonomik Ömrünü Tamamlaması ile gerçekleştirilmektedir (Kouider, 2018).



Şekil 1.2. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Yaşam Döngüsü (ideCAD, 2023).

YBM' nin sağladığı faydalar: projenin ilerleyen dönemlerinde oluşabilecek problemleri henüz tasarım aşamasındayken tespit etmeye olanak sağlar. Projede çalışan tüm birimlerin ortak proje üzerinde senkronize biçimde çalışmasına yardımcı olarak sürecin; bir bütün halinde ilerlemesini sağlar ve hata payını en aza indirir. Hesaplama işlemlerinde hata paylarını minimuma indirip, maliyete doğrudan katkıda bulunur. İşlerin tekrarlanmasını önleyerek zaman kaybını ve gereksiz masrafları ortadan kaldırır. Projenin tüm detaylarını mimari modelleme ve görselleştirme yoluyla görünür kılarak, tüm birimlerin motivasyonunu, verimliliğini ve üretkenliğini artırır. Projeye dair verilecek kararların netleşmesini, hızlı sonuçlanmasını kolaylaştırır. Belirsizlikleri ortadan kaldırarak tüm taraflar için şeffaf ve net bir iş akışına imkân tanıyarak verimliliği artırır (Tablo 1.1). Olası hataların en aza indirilmesine destek vererek çevreye duyarlı ve sürdürülebilir projelerin yaygınlaşmasını hızlandırır. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisi; inşaat sektöründe verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır (Alat, 2019).

Tablo 1.1. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)' nin İnşaat Sektöründeki Verimliliği

Yapı	Proje Aşaması ve İmalat Aşaması
Verimlilik	Mühendislik, Malzeme, İşçilik, Yapım Teknolojisi, Ekipmanlar, Yazılımlar, Sözleşmeler

Proje aşamasındaki tüm detayların belirlenmesi, yapının imalat hızı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Tüm detaylarıyla planlanmış bir projede, tüm paydaşlar ve çalışanlar zaman kaybetmeden çalışmalarını sürdürebilir. Detaylı projelendirilmemiş bir yapının üretim sürecinde çeşitli sorunlar ortaya çıkabilir ve bu problemler verimliliği olumsuz yönde etkileyebilir. Proje aşamasında yapılan detaylandırmalar ve öngörüler, bu sorunların azalmasına doğrudan katkı sağlayarak verimliliği artırmaktadır. Ayrıca, YBM multidisipliner bir çalışma yöntemini kapsar; mimarlık, inşaat mühendisliği, elektrik mühendisliği, makine mühendisliği, harita mühendisliği, jeoloji ve jeofizik mühendisliği gibi farklı disiplinleri ve proje paydaşlarını bir araya getirerek ortak bir çalışma ortamı sunar. Geleneksel yöntemlere kıyasla, statik ve mimari proje, elektrik ve mimari proje, mekanik ve mimari projelerde oluşabilecek hata, uyumsuzluk ve çakışma gibi sorunların tasarım aşamasında çözülmesine olanak tanır.

Detay seviyeleri (YBM);

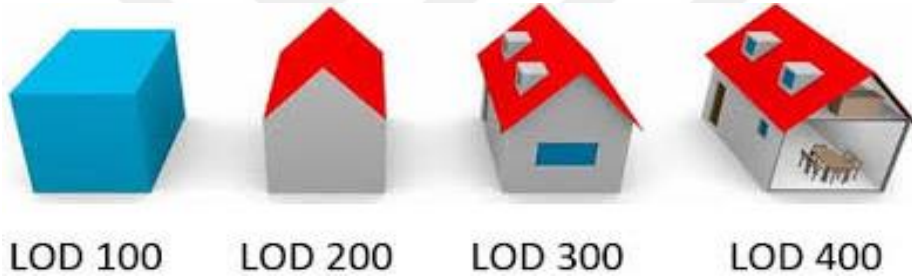
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), bir yapı projesinin farklı aşamalarında bilgilerin giderek detaylanarak gelişmesini sağlayan bir süreçtir. BIM süreci, başlangıçta temel tasarım modelleriyle başlar ve ilerleyen aşamalarda daha karmaşık sanal inşaat modellerine dönüşerek nihai olarak tamamlanmış bir yapı bilgisi modeline ulaşır. Bu gelişim sürecinde modelin farklı bileşenleri, projenin gereksinimlerine ve ilerleme durumuna bağlı olarak farklı oranlarda detaylanabilir.

YBM' nin Detay Seviyesi, LOD kavramı, bina modelinin hangi aşamada hangi düzeyde detay içereceğini belirleyen, endüstri tarafından kabul görmüş bir sınıflandırma sistemidir. LOD sistemi, 100 ile 500 arasındaki seviyelerle model öğelerinin doğruluk ve kesinlik derecesini tanımlar (Şekil 1.3).

- LOD 100 (Konsept Tasarım): Kavramsal tasarım seviyesidir; öğeler genel biçimleriyle temsil edilir ancak kesin geometrik veya niteliksel bilgiler içermez.
- LOD 200 (Şematik Tasarım): Öğeler, genel geometrik şekilleri ve yaklaşık boyutlarıyla modellenir; ancak kesin ayrıntılar henüz belirlenmemiştir.

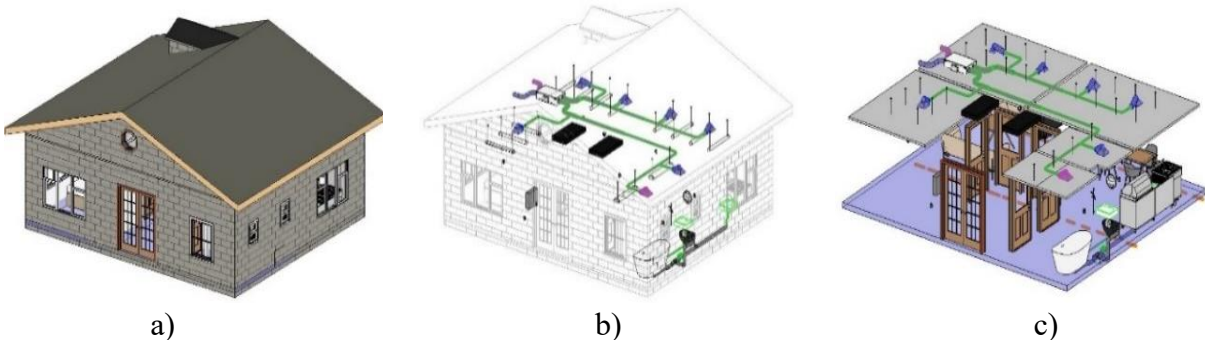
- LOD 300 (Detaylı Tasarım): Öğeler, proje belgelerine dayalı olarak ayrıntılı ve ölçülebilir şekilde modellenir.
- LOD 350 (Yapı Dokümantasyonu): Yapıyı oluşturan elemanların çeşitli sistemler ve diğer yapı elemanları ile grafik ve yazılı tanımlarla nasıl birleştiğini veya etkileşime girdiğini gösteren model detayını içerir.
- LOD 400 (İmalat ve Montaj): İmalat ve montaj detaylarını içeren yüksek doğruluklu model seviyesidir.
- LOD 500 (Yapılı Olarak): Nihai inşaat modeli olup, tamamlanmış binanın gerçeğe uygun dijital temsili olarak kabul edilir (Alat, 2019).

Bu seviyeler, proje paydaşlarının BIM modelinden beklentilerini belirlemelerine yardımcı olur ve yapı tasarımı ile inşaat sürecinde daha verimli bir iş akışı sağlar. BIM' in detay seviyelerinin doğru şekilde tanımlanması, bilgi yönetimini iyileştirirken aynı zamanda maliyet kontrolü ve süre planlamasına da olumlu katkılar sunmaktadır.



Şekil 1.3. Yapı Bilgi Modellemesi Detay (LOD) Seviyeleri (ACCA Software, 2018).

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) araçları yardımıyla çakışma analizleri gerçekleştirilerek, proje paydaşları tarafından multidisipliner olarak üretilen mimari, elektrik ve mekanik gibi projelerde oluşabilecek hata ve sorunlar önceden belirlenebilir (Şekil 1.4). YBM' ye entegre edilen ek yazılımlar, sürece kazandırılan avantajları daha da artırmaktadır. YBM, yapının fizibilite aşamasından ekonomik ömrünü tamamlayana kadar geçen süreçte etkin bir yönetim sağlamaktadır.



Şekil 1.4. Yapı Bilgi Modellemesi Multidisipliner Çalışma Örneği (Autodesk Revit).

3 boyutlu modelleme ve görselleştirme teknikleri sayesinde, tüm projeler için en gerçekçi tasarımlar oluşturularak sanal şantiye ortamı sağlanmaktadır. Sanal şantiye, yapının sanal ortamda inşa edilmesine olanak tanır. Bu süreç, ortaya çıkabilecek sorunları önceden öngörerek, üretilecek çözümlerle hem zaman hem de ekonomik açıdan önemli faydalar sağlamaktadır.

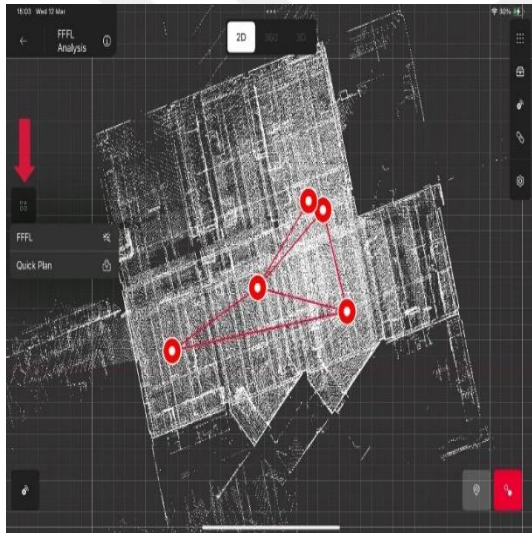
1.3. 3D Lazer Tarama ve YBM Entegrasyonu

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), yapıların tasarım, inşaat ve işletme süreçlerini dijital olarak yönetmek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. YBM' nin sunduğu veri odaklı yaklaşım, geleneksel sistemlere göre daha sürdürülebilir ve etkili bir yapı yönetimi sağlamaktadır. Ancak, mevcut yapıların YBM ortamına entegrasyonu, özellikle yapıdan elde edilecek doğru ve güncel verilere bağlıdır. Bu noktada, 3D lazer tarama teknolojisi devreye girerek yüksek doğrulukta mekânsal veriler sunmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi yazılımları, 3 boyutlu dijital modellerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Kula ve Ergen, 2017).

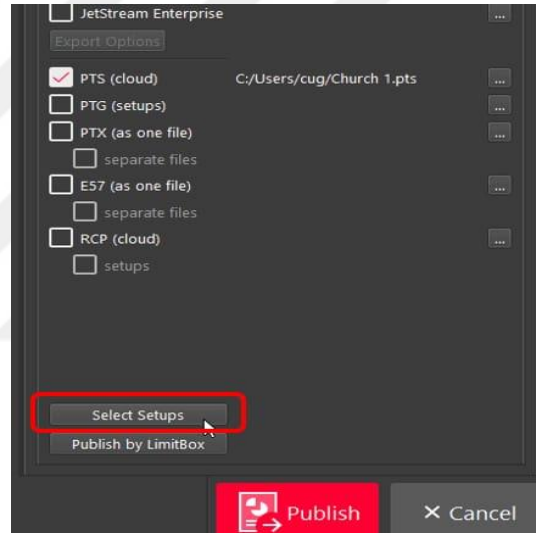
YBM ve 3D Tarama Entegrasyonu (Scan-to-BIM) süreci, lazer tarama ile elde edilen nokta bulutunun işlenerek YBM modellerine dönüştürülmesini ele almaktadır (Abreu ve ark., 2023). Bu süreç, yapının içerisinden ve dışarısından taranan verilerin toplanmasıyla başlar; Z+F, Leica BLK360, FARO Focus, Trimble X7 gibi cihazlar bu aşamada yaygın olarak kullanılan bazı cihazlardır. Toplanan veriler oturumlar düzenlenmeden önce temizlenir, hizalanır, renklendirilir ve YBM yazılımlarının kullanabileceği formatlara dönüştürülerek; Autodesk ReCap Pro gibi programlarla işlenir. Daha sonra AutoCad, Revit, ArchiCAD gibi YBM yazılımları ile nokta bulutu üzerine yapının yapısal ve mimari elemanları (kolonlar, duvarlar, kirişler, temeller, döşemeler vb.) modellenir; bu modeller, aynı zamanda malzeme, maliyet ve zaman bilgilerini içerecek şekilde de geliştirilebilir. YBM ve 3D lazer tarama teknolojileri, restorasyon ve renovasyon çalışmalarında tarihi yapıların belgelenmesi, dijital arşivlerinin oluşturulması, performans analizleri, bakım, onarım, güçlendirme ve enerji verimliliği açısından kritik bir rol oynar. Ayrıca, inşaat süreç yönetiminde projenin sahada ne kadar ilerlediğinin dijital ikiz modelleriyle takip edilmesine de olanak sağlar. Yapı Bilgi Modellemesi, 3 boyutlu taraması yapılan yapıların ekonomik ömrünü tamamlayana kadar geçen süreci kontrol edebilmektedir.

Kullanılan Yazılım ve Donanımlar, 3D lazer tarama ile BIM entegrasyonu sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Nokta bulutu verileri, Autodesk ReCap Pro,

Cyclone Register 360, Faro Scene, Z+F Scene gibi yazılımlar aracılığıyla işlenmektedir [Şekil 1.5 (a, b)]. 3D lazer tarama ile BIM entegrasyonu, Autodesk Revit, ReCap, AutoCAD, ArchiCAD gibi yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. BIM entegrasyon araçları olarak Navisworks (Autodesk, 2026), BIM 360 (Autodesk, 2026), gibi yazılımlar ile sağlanabilmektedir. 3D lazer tarama ile BIM entegrasyonu, mevcut yapıların dijitalleştirilmesinde etkili, hızlı ve doğru bir çözüm yöntemi sunmaktadır. YBM ve 3D lazer tarama (Scan-to-BIM) yaklaşımı, yalnızca tasarım ve uygulama aşamalarında değil, yapıların ekonomik ömürlerini tamamlayıncaya kadar geçen tüm yaşam döngüsünde fayda ve katma değer oluşturmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde, inşaat sektörü daha sürdürülebilir, yenilikçi ve dijital odaklı bir yapıya kavuşmaktadır [Şekil 1.5 (c)].



a)



b)



c)

Şekil 1.5. 3D Lazer Tarama Oturum Uygulamaları ve YBM Entegrasyonu (Leica Geosystems, 2023, Autodesk, ReCap 2026).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında literatür çalışmaları geçmişten günümüze incelenmiştir. Özellikle konuyla ilgili en güncel araştırmalar detaylandırılmıştır. Detaylandırılan bu çalışmalar ile tez kapsamında seçilen yöntem şekillendirilmiştir. Bu kapsamda her literatür özeti sonunda, incelenen çalışmanın tez ile ilgili detayı vurgulanmıştır.

2.1. İnşaat Sektöründe 3D Lazer Tarama Teknolojisi

Ölçümlerde toplanan ve kendi koordinat sistemleri olan nokta bulutu veri kümelerinin birbiri ile hassas bir şekilde ilişkilendirilebilmesi gerekmektedir. Bunun için iki farklı yöntem tercih edilmektedir. Birincisinde, çalışma yapılacak alanda siyah-beyaz, yüksek kontrastlı hedefler tercih edilmektedir. Bu hedefler, lazer tarayıcı programında otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Her taramaya ait 6 yöneltme parametresi bulunmaktadır. Bunların hesaplanabilmesi için her bir tarama çalışmasında en az 3 yer kontrol noktası bulunmalıdır (Yılmaz ve ark., 2006).

İkinci yöntem olan ‘cloud to cloud’ tekniğinde, ölçülen hedefler arasında büyük ortak alanların olmasına dikkat edilmektedir. Toplanan veriler, program ortamında birbiri üstüne bindirilerek birleştirilmektedir (Alptekin ve ark., 2019).

Lazer tarayıcı ile ölçülen noktalar, dahili bir koordinat sistemi içerisinde koordinatlandırılmaktadır (Bornaz ve ark., 2004).

Tez çalışmasında, farklı türde seçilen yapılarda lazer tarama cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, yapılara ait geometrik detay bilgisi oldukça hassas ve hızlı bir şekilde toplanarak işlenebilmiştir. Lazer tarama verilerinin kullanımının çıktıları açısından önemli bir tarafı da sürdürülebilir olmasıdır. Verilerin 3D ortamında toplanıyor olması, ileride meydana gelecek olası afetlerde kontrol açısından önem arz etmektedir. Yapılarda meydana gelecek hasarlarda geriye dönük olarak inceleme yapılmasına fırsat sunmaktadır. Toplanan veriler, statik rölöve için şablon olarak kullanılmaktadır. Yapının belirlenen noktalarından plan, kesit ve görünüşleri milimetre hassasiyetinde hazırlanmaktadır. Ardından, 3D çizim programlarında bu veriler işlenerek sayısallaştırılmaktadır (Uzunel ve Özdemir, 2022).

2.2. İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi

Sjah ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmada prefabrik betonarme bir hastane yapısının tasarım ve analiz aşamasının BIM ile entegrasyonunu incelemişlerdir. Çalışma kapsamında prefabrik betonarme hastane yapısının ETABS ve Revit – Robot Structural Analysis programları ile yapısal analizleri yapılmıştır. Çalışmada, yapısal analiz ile BIM entegrasyonunun sağladığı avantajlar: “Fiziksel ve analitik modeller birleştirildiği için depreme karşı daha güvenli tasarımlar yapılabilmesi, 3D görsel yeteneği sayesinde çakışma analizleri yapılabilmesi ve olası sorunların önüne geçilebilmesi, multidisipliner çalışma imkânı sayesinde hataların azaltılması.” şeklinde belirtilmiştir (Sjah ve ark., 2024).

Bu avantajlar tez kapsamında yapılan çalışmada da görülmüştür. Tez çalışmasında Revit modelinin günümüzde yapısal analizlerde en yaygın kullanılan SAP 2000 yazılımına aktarımı sağlanmıştır. Örnek yapısal sistemin deprem performans değerlendirmesi ve güçlendirme senaryoları SAP 2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Gartoumi ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada mimarlık ve mühendislik süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) kullanımını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, bir villa inşaat projesi üzerinde BIM uygulaması incelenmiştir. Revit ve Robot Structural Analysis (RSA) yazılımları kullanılarak yapının 3D modeli oluşturulmuş, yapısal analizi yapılmış ve çakışma analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak BIM’ in mimarlık ve mühendislik süreçlerini hızlandırma, geliştirme ve verimlilik açısından büyük faydalar sağladığı belirtilmiştir (Gartoumi ve ark., 2023).

Literatürde BIM süreçlerine yönelik çalışmaların genellikle yeni yapı inşası için önerildiği ve bu çalışmaların büyük bir kısmında 3D Lazer Tarama teknolojisinin yer almadığı görülmüştür. Tez çalışmasında mevcut yapıların deprem risk analizlerinde YBM süreçleri ile 3D Lazer tarama teknolojisinin entegrasyonu birlikte bir yöntem olarak sunulmuştur.

Massafra ve ark. (2024) bina performans analizleri için topolojik BIM teknolojisini yardımıyla yapıların modellenebilme işleminde geniş kapsamlı bir iş akışı oluşturarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Topolojik BIM yani TBIM kavramı öne sürülmüştür. Çalışmada; PDF Kat planı, CAD kat planı veya Point Cloud ile yapının taslağının alınarak Topolojik BIM Modelinin elde edilmesi gerçekleştirilmiş ve sonrasında Revit modelinin IFC formatında aktarımı yapılmıştır. Topolojik Model üzerinden camlar, kapılar, duvarlar gibi elemanlar gruplandırılarak çalışma tamamlanmıştır (Massafra ve ark., 2024).

Bu tez çalışmasında da Revit modelinin IFC formatında SAP 2000 programına aktarımı gerçekleştirilmiştir.

2.3. İnşaat Sektöründe 3D Lazer Tarama ve YBM Entegrasyonu

Liu ve ark. (2023) tarihi yapı bilgi modellemesi ile 3D lazer tarama yöntemini birlikte değerlendirdikleri çalışmada bir iş akış diyagramına yer vermişlerdir. Bu diyagramda öncelikle yapı bilgi modellemesinin LOD seviyesini belirleyip sahada veri elde etme aşamasına geçildiği görülmektedir. Veri elde etme aşamasında TLS tarama yöntemi kullanılmaktadır. Nokta bulutu şeklinde elde edilen veriler Autodesk ReCap ile 3D model haline getirilmektedir. Bu model Autodesk Revit'e aktararak model detayları tanımlanmakta ve model değerlendirmesi yapılmaktadır. Çalışmada buna ilişkin örnek uygulamalara yer vermişlerdir (Liu ve ark., 2023).

3D lazer tarama yöntemi sadece yapının geometrik detaylarının belirlenmesine yönelik değil yapıların, yapısal elemanların hasarları ile yapı malzemelerinin fiziksel değişimlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Örneğin Zhang ve ark. (2021) betonun içerisinde kullanılan donatının, donatı korozyonu karakteristiğini 3D lazer tarama yaklaşımı ile belirlemişlerdir. Çalışmada uniform olmayan korozyon etkisinin akma dayanımı, nihai dayanımı, elastisite modülü üzerindeki etkisi incelenmiştir. 3D lazer tarama yöntemiyle korozyona uğramış donatıların yüzey morfolojilerinin korozyon çukurlarının tespitinde etkin bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2021).

Başka bir çalışmada Olsen ve ark. (2010) lazer tarama yaklaşımı ile yapısal hasar tespiti üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada lazer tarama yönteminin 3D modellemede hızlı uzaktan algılama tekniği sağladığı, lazer tarama yönteminin kiriş deformasyonu ve mevcut yapı modellenmesinde etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. 1/1 ölçekli deneysel yapı modellerinin hasar tespiti 3D lazer tarama yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada lazer tarama uygulamasına yönelik bir iş akış diyagramına ve sonuç kısmında yapısal deformasyon, hacim değişimi ve çatlak konumu haritalaması detaylarına yer verilmiştir (Olsen ve ark., 2010).

Lazer tarama yaklaşımı farklı metotlarla birlikte yapısal analiz yöntemlerine katkı sağlamak içinde kullanılabilir. Örneğin, Yang ve ark. (2018) lazer tarama teknolojisine dayalı tepki yüzeyi metodolojisi ile betonarme yapılarda optimum sonlu eleman modelinin elde edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada lazer tarama yaklaşımının rölöve ve yapısal deformasyonun izlenmesi için çok önemli bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir (Yang ve ark., 2018).

Tez çalışmasında mevcut (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) yapıların sonlu eleman analiz modelinin 3D lazer tarama teknolojisi ile elde edilmesi detaylandırılmıştır.

Valero ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada, 3D lazer tarama cihazlarından elde edilen verilerin yapı bilgi modellemesi (BIM) sürecinde kullanımı için rehber niteliğinde bilgiler sunmuşlardır. Çalışmada 3D Lazer Tarama ve BIM 'in ortak kullanımındaki başarının elde edilen nokta bulutlarının doğruluğuna önemli ölçüde bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yüksek doğrulukta nokta bulutu verilerinin elde edilebilmesi için 10 adet temel kuraldan bahsedilmiştir. Bu kurallar: “Doğru tarayıcı tipi seçimi, hassasiyet ayarının belirlenmesi, eksiksiz ve herhangi bir engel olmadan görüşün sağlanabilmesi, kapı-pencere gibi boşlukların açık bırakılması, ayna gibi yansıtıcı yüzeylerin kapatılması, uygun çözünürlüğün seçilmesi, renkli veri tercihinin karar verilmesi, yeterli örtüşmenin sağlanması, gereksiz verilerin temizlenmesi, kayıt işleminin gözden geçirilmesi” şeklindedir. Belirtilen bu kurallar; algoritma performansını artırmak, eksiksiz ve doğru nokta bulutu verileri elde etmek açısından önemli olduğu vurgulanmıştır (Valero ve ark., 2022).

Tez çalışması kapsamında belirtilen bu 10 temel kural dikkate alınmış ve büyük ölçüde uygulanmaya çalışılmıştır.

Sadeghineko ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmada, 3D lazer tarama ve Yapı Bilgi Modellemesinin bir arada kullanımının inşaat sürecine dahil edilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, BIM teknolojisi kullanılmayan bir inşaat projesinin lazer tarama ile elde edilen veriler kullanılarak BIM modeli oluşturulmuştur. Böylece lazer tarama ve BIM' in birlikte kullanımının; bilgi yönetimi, proje yaşam döngüsü ve mevcut durum modellemesi aşamalarında sağladığı faydalar bir vaka çalışması üzerinde incelenmiştir. Çalışma kapsamında; mevcut yapı, lazer tarama yardımı ile yüksek doğrulukta haritalandırılmış ve bu veriler BIM modeline aktararak proje hata oranı azaltılmıştır. Çalışmada bu teknolojilerin geliştirilmesi ile inşaat sektöründe daha yaygın kullanılabileceği belirtilmiştir (Sadeghineko ve ark., 2024).

Tez çalışması kapsamında 3D Lazer Tarama teknolojisi ile Yapı Bilgi Modellemesi yaklaşımı birlikte ele alınmıştır.

Borkowski ve Kubrat (2024) 3D Lazer Tarama ve dijital fotogrametri teknolojilerinin BIM sürecine entegre edilmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada BIM modellerinin oluşturulmasında, lazer tarama ve fotogrametri teknolojilerinin nasıl kullanılacağı ele alınmış ve bu teknolojilerin bina tasarımı, tarihi yapıların modellenmesi, restorasyon gibi süreçlerdeki rolünden bahsedilmiştir. Lazer

tarama ile yüksek doğrulukta veriler sağlanırken fotogrametri ile görsel açıdan renkli ve detaylı sonuçlar elde edilebildiği belirtilmiştir. Böylece daha kapsamlı ve detaylı bina modellerinin elde edilmesinin sağlandığı vurgulanmıştır. Bu yöntemin özellikle karmaşık tarihi yapıların modellenmesinde (HBIM) büyük kolaylıklar sağladığı belirtilmiştir. Çalışmada 3D Lazer Tarama ile elde edilen nokta bulutları ReCap (Autodesk, ReCap 2026) yazılımı ile işlenmiş ve bu veriler Revit (Autodesk, Revit 2026) programına aktararak BIM modelleri elde edilmiştir. Böylece yapıların analizinin yapılması, restorasyon ve yapı yönetim planının oluşturulması gibi işlemlerin daha kolay hale geldiği belirtilmiştir. Sonuç olarak çalışmalarında yazarlar BIM teknolojisinin lazer tarama ve fotogrametri ile birleştirilmesinin doğru ve detaylı sonuçlar elde etmeye katkı sağladığını, modern yapılardan tarihi yapılara kadar geniş bir alanda kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Borkowski ve Kubrat, 2024).

Tez çalışmasında 3D Lazer Tarama nokta bulutu verilerinin işlenmesinde ReCap yazılımı kullanılmıştır. ReCap yazılımında filtrelenen nokta bulutu verileri Revit yazılımına aktarılmıştır.

Truong-Hong ve Lindenbergh (2022) yapmış oldukları çalışmada, inşaat projelerinde yapısal elemanlarda ve bileşenlerinde kusurlar oluşabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada yüzeydeki referans noktaları arasındaki mesafeler ölçülerek %80' lik kalite güvencesiyle bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yazarlar elde edilen nokta bulutu verilerinin bir BIM modeline entegre edilebileceğini belirtmişlerdir (Truong-Hong ve Lindenbergh, 2022).

Tez çalışmasında mevcut (betonarme, çelik, prefabrik ve yığma) yapılarda döşemeler ve duvarlar, kolonlar, birincil kirişler, ikincil kirişler vb. olmak üzere bileşenlerin nokta bulutları başarıyla çıkarılmıştır. 3D Lazer Tarama sonucu ReCap üzerinde düzenlenen nokta bulut verileri Revit yazılımına aktararak BIM modeli elde edilmiştir.

Mirzaei ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada yapısal elemanların nokta bulut verileriyle geometrik kusurlarını ölçerek geometrik kalitesinin zaman içerisindeki değişiminin tespiti için bir yöntem geliştirmişlerdir. Manuel ölçümlere göre nokta bulut verilerinden bina yapısal elemanlarının eğim sapmaları hesaplanmıştır. Kirişlerin, kolonların; sapma, sehim ve yapısal deformeleri belirlenmesi amacıyla bir metodoloji geliştirilmiştir (Mirzaei ve ark., 2023).

Tez çalışmasında kolon ve kirişlerin, kuşakların, profillerin, beden duvarlarının akslardan sapma durumu, sehim ve deformasyonları detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

Ursini ve ark. (2022) yapının 3D metrik verilerin elde edilmesi, bu veriler yardımıyla BIM modeli oluşturulması ve sonrasında da sonlu eleman analizi yapılması sürecini takip eden bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 3D metrik verilerin elde edilmesinde lazer tarama cihazı, BIM modeli oluşturmak ve sonlu eleman analizi yapmak için de farklı yazılımlar kullanılmıştır. Analiz sonucuna göre, maksimum gerilmelerin nerede olduğu, zayıf noktaların konumu ve en fazla deformasyonun çatı kirişinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Mevcut yapının durum analizi yapılmasında, restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında bu yaklaşımın kullanımı faydalı bulunmuştur (Ursini ve ark., 2022).

Tez çalışmasında 3D metrik verileri elde edilerek YBM modeli oluşturulmuştur. Sonlu eleman analizi yapmak için SAP 2000 yazılımı kullanılmıştır. Analiz sonuçları elde edilerek güçlendirme çalışmalarına da katkı sağlanabilmesi hedeflenmiştir.

Bahreini ve Hammad (2024) nokta bulutu verileri üzerinde bir segmentasyon çalışması yaparak beton kusurlarını tespit edebilmek için bir çalışma yapmışlardır. 3D model oluşturulması ve beton yüzeyi hasar tespitinde LİDAR tarayıcı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntem Montreal’de yer alan 4 adet köprü üzerinde test edilmiştir. Köprüler üzerinde LİDAR tarama yapılmış, fazlalık veriler temizlenmiş, nokta bulutu verileri sınıflandırılmış yalnızca beton yüzeyinde bulunan kusurlara yoğunlaşmıştır. Beton yüzeyi çatlakları %98,56 oranında, beton yüzeyindeki dökülmeler ise %96,50 oranında doğrulukla tespit edilmiştir. Nokta bulut verilerinden çatlaklar, parçalanmalar tespit edilmiştir ve kümeleştirilmiştir (Bahreini ve Hammad, 2024).

Tez çalışmasında nokta bulut verileri ile mevcut bir betonarme yapının modeli elde edilmiştir. Boşluklar ve kusurlar belirlenip, kümeler halinde anlamlı bir model oluşturulmuştur. Tüm bu literatür özeti değerlendirmesi neticesinde tez çalışmasına konu olan mevcut (betonarme, çelik, prefabrik ve yığma) yapıların sahada 3D Lazer Tarama aşamasından BIM modeline, BIM modelinden yapısal analiz modeline kadar tüm süreçler sunulmuştur. Bu süreçlerin detaylandırılması aşamasında yapıya ilişkin elde edilen statik kusur ve diğer tespitler ele alınmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar bir iş akış şeması olarak detaylandırılmış, taşıyıcı sistemdeki kusurlara ilişkin tespitler ise görsel olarak verilmiştir.

Jarżabek-Rychard ve Maas (2023) nokta bulutu verisi yardımıyla 3D yapı modelleme işleminde geometrik belirsizliklerinin önemini vurgulamışlardır. Jeodezik stokastik modelleme ile bu belirsizliklerin tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntem bir iç mekân nokta bulutu verisi üzerinde

uygulanmış, belirsizlikler %95 güven seviyesinde tespit edilmiş ve 1 mm hata payı ile yüksek hassasiyet sağlanmıştır (Jarzabek-Rychard ve Maas, 2023).

Tez çalışmasında mevcut (betonarme, çelik, prefabrik ve yığma) yapıların 3D Lazer Tarama işlemi gerçekleştirilerek yüksek güven seviyesi ve 1mm hata payı ile yüksek hassasiyet sağlanarak nokta bulut verileri ile yapının 3 boyutlu modelleri elde edilmiştir.

Szymczak-Graczyk ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada 3D lazer tarama ile bir tarihi yapıdaki döşeme deformasyonunun belirlenmesi ve döşeme üzerindeki yükler esas alınarak dayanım hesaplaması yapılmıştır. 3D lazer tarama yönteminin (TLS: Terrestrial laser scanning) nokta bulutu şeklinde x, y, z koordinatlarında 3D verinin hızlı bir şekilde elde edilmesi için mühendislikte kullanımının yaygınlaştığı belirtilmiştir. 3D lazer tarama yönteminin tarihi ve kültürel mirasın korunmasının yanında yapısal denetim amaçlı veya deneysel verilerinin doğrulanmasında kullanılabildiği vurgulanmıştır. Bu yöntemin geleneksel yöntemlere göre iyi bir alternatif olduğu, ancak bu çalışmalarda büyük veri setlerinin oluşmasından dolayı bilgisayar donanım gereksinimi belirtilmiştir. Çalışma sonucunda lazer tarama yönteminin yapıların veya yapısal elemanların geometrilerinin, yapısal elemanların yapı içerisindeki konumlarının ve deformasyonlarının belirlenmesi için yapılan analizlerde çok etkili bir yöntem olduğu ifade edilmiştir (Szymczak-Graczyk ve ark., 2022).

Literatürde yapısal analiz kapsamında var olan çalışmaların ise genellikle sadece rölöve, modelleme veya hasar tespit amaçlarından birine yönelik gerçekleştirildiği belirlenmiştir. 3D lazer tarama yöntemi sadece yapının geometrik detaylarının belirlenmesine yönelik değil yapıların, yapısal elemanların hasarları ile yapı malzemelerinin fiziksel değişimlerinin belirlenmesinde de kullanılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında, literatürde incelenen çalışmaların yöntem ve sonuçları incelenmiştir.

Tez çalışması ile mevcut (betonarme, çelik, prefabrik ve yığma) yapılar üzerinde detaylı çalışmalar başarıyla tamamlanarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda literatür çalışmalarında kullanılan yöntem, yazılım ve metodoloji hassasiyetle irdelenerek, tez kapsamında kullanılan materyal ve metot detaylandırılmıştır.

3D lazer tarama teknolojisi ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) entegrasyonu kullanılarak mevcut (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) yapısal sistemlerin analiz modelinin elde edilmesi metodolojisi, yapı hasar tespiti, performans analizi ve

güçlendirme senaryolarının daha efektif uygulanabilmesi tez çalışmasının özgün yönünü oluşturmaktadır.



3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışması kapsamında; örnek yapılara ilişkin gerçekleştirilen saha, nokta bulutu verilerinin filtrelenmesi, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve yapısal analiz modelinin elde edilmesi çalışmaları bu bölümde detaylandırılmıştır.

3.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Uygulaması

3D Lazer Tarama Teknolojisinin uygulama süreci üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar tarama uygulamasının planlanması, verilerin depolanması ve verilerin işlenmesi şeklindedir. Öncelikle taraması yapılacak alan, yapı veya nesne belirlenir, kullanılacak cihaz ve teknoloji seçilir, nokta yoğunluğu, çözünürlük ve tarama süresi planlanır, ardından alan veya yapının erişilebilirliği kontrol edilir. Tez çalışması kapsamında betonarme, çelik, prefabrik, yığma ve tarihi yapıların 3D lazer tarama teknolojisi uygulama yaklaşımı detaylıca incelenmiştir (Şekil 3.1).

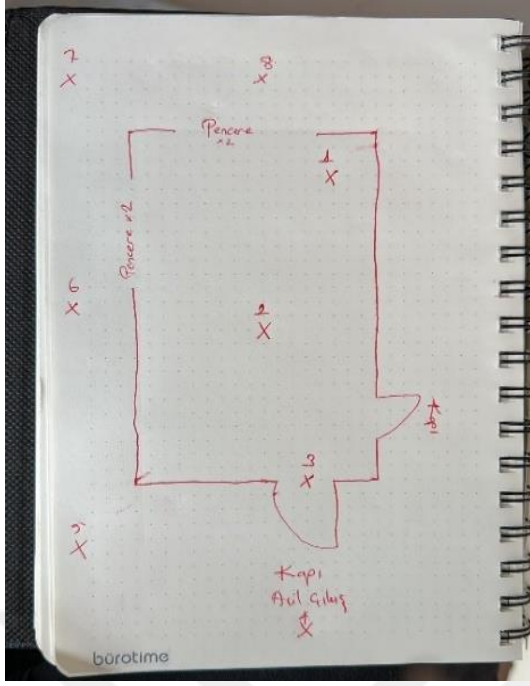


Şekil 3.1. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Uygulamaları [Çelik (a), Yığma (b), Prefabrik (c) ve Tarihi Yapı (d)] (Zoller + Fröhlich, 2025), (Leica Geosystems, 2021).

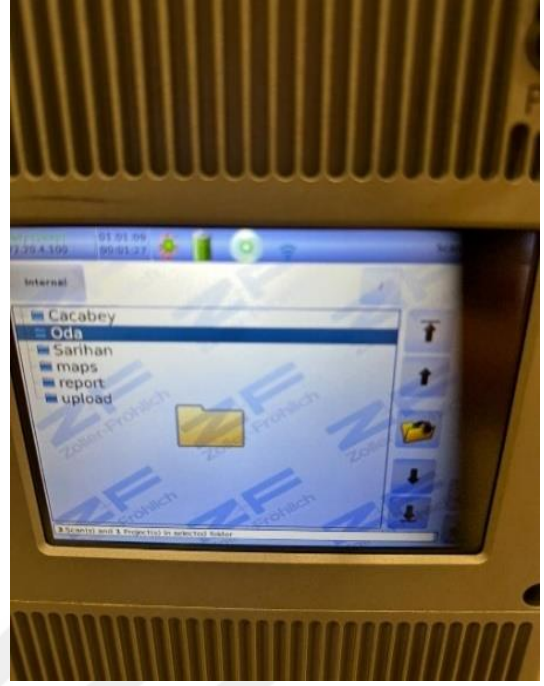
Veri toplama aşamasında tarayıcı, tripod veya sabit bir platform üzerine yerleştirilerek büyük alanlar veya karmaşık yapılar için birden fazla konumdan oturum düzenlenir. Tarama başlatıldığında lazer ışınları yüzeye gönderilir, geri yansıyan sinyaller alınarak milyonlarca veri noktası toplanır; ayrıca tarayıcı fotoğraf çekebilir veya termal görüntüleme yapabilir. Birden fazla oturum gerektiğinde, hedef ve referans noktaları belirlenerek haritalandırma işlemi gerçekleştirilir, böylece veriler hizalanır ve gerçek, renkli üç boyutlu modeller elde edilir. Son aşamada veriler bilgisayar ortamında işlenerek nesnelerin, yapıların veya alanların dijital ortamda daha detaylı analiz edilebilmesi sağlanır. Böylece mühendislik, mimari ve diğer teknik alanlarda yüksek doğrulukta 3D modeller oluşturmak için ilk aşama tamamlanmış olur.

Veri işleme ve modelleme aşamasında, 3D lazer tarama işlemi tamamlandıktan ve veriler depolandıktan sonra bu verilerin belirli filtreleme işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada yüksek kapasiteli bilgisayar gereksinimi ortaya çıkabilir veya iş istasyonu kullanılabilir. Veri işleme amacıyla özelleşmiş yazılımlar kullanılarak büyük hacimdeki nokta bulut verileri filtrelenmektedir. Nokta bulut verileri anlamlı bir yöntemle birleştirilerek farklı konumlardan elde edilen taramalar, tek bir koordinat sistemine aktarılır. Bu koordinat noktaları, yapının gerçek konumunu doğru şekilde yansıtmalıdır. Gürültü temizliği aşamasında, gereksiz, hatalı veya fazla veriler ayıklanarak veri seti optimize edilir. Ardından ağ oluşturma işlemi gerçekleştirilir ve nokta bulutu, üçgen yüzeylerle bağlanarak 3D modele dönüştürülür. Tarama yapılacak yüzeylerin yansıtıcı, saydam veya koyu renkli olması ölçüm doğruluğunu etkileyebileceğinden, taramadan önce bu faktörlerin değerlendirilmesi önemlidir.

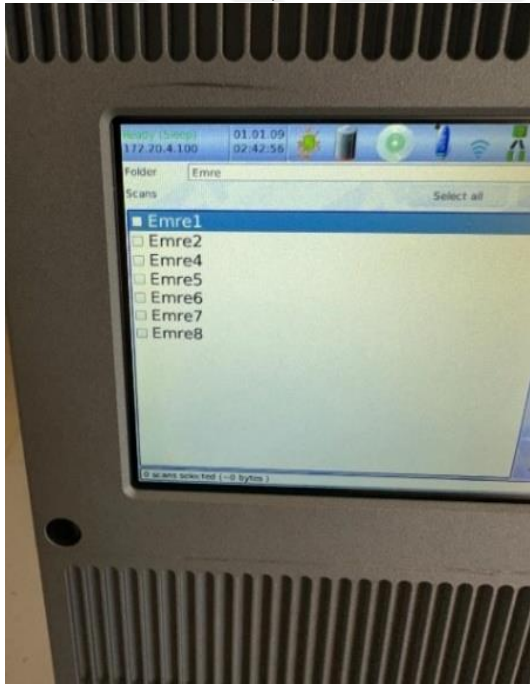
Tarama sürecinde hem cihazın hem de çevrenin güvenlik önlemlerinin alınması gerekir. Cihazın doğru tarama yapabilmesi için etrafta canlı veya hareketli cisimlerin bulunmaması önemlidir. Çünkü etrafta bulunan insan veya hareketli nesneler lazer ışınlarının yapı üzerine yansıtılmasının önüne geçebilir ve yapının en önemli 3D model kısmının oluşmamasına neden olabilir. Her oturumdan önce cihazın kalibrasyonu yapılmalı, veri kaydının düzgün olması için güçlü bir depolama alanı ve yedek batarya sağlanmalıdır. Kurulum sırasında cihazda bulunan mıknatıslar ve diğer parçalar dikkatle kontrol edilmelidir. Son olarak cihazın yazılım ayarları güncel tutulmalı ve teknik olarak doğru biçimde yapılandırılmalıdır. Oturumlar, belirlenen aralıklarla ve plana uygun şekilde düzenlenerek tarama işlemi gerçekleştirilmelidir (Şekil 3.2).



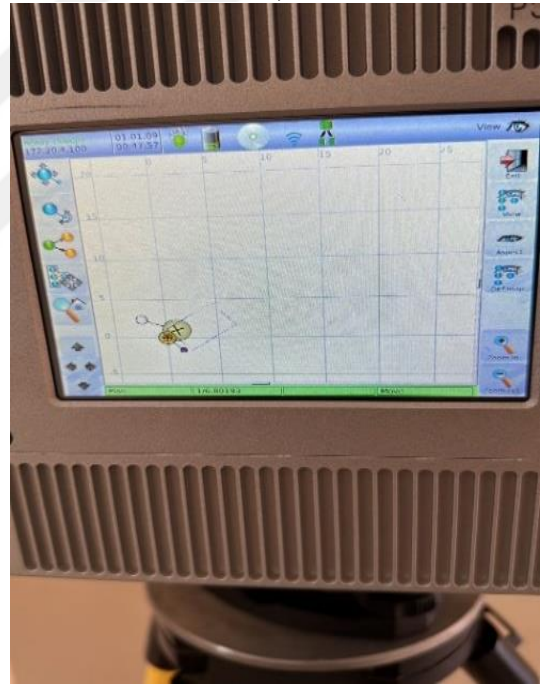
a)



b)



c)



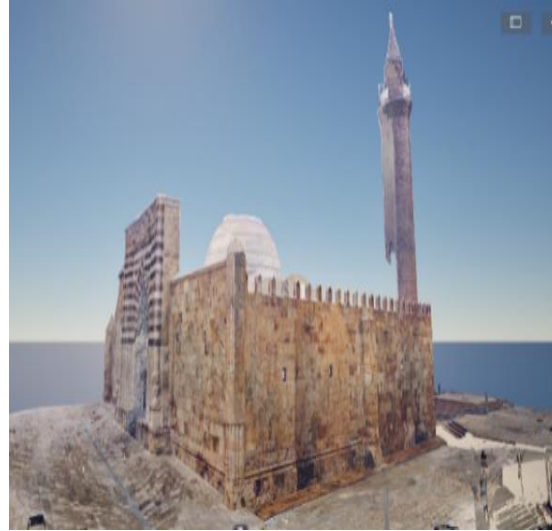
d)

Şekil 3.2. 3D Lazer Tarama Uygulaması Oturum Düzenleme İşlemleri (Zoller + Fröhlich, 2025).

Tez çalışması kapsamında gerekli izinler alınarak Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kültürel Miras Belgeleme Eğitim, Uygulama ve Araştırma Merkezlerinde bulunan 3D lazer tarama cihazları yetkili uzmanların gözetiminde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle Kırşehir ilinde bulunan bir tarihi yapı (Cacabey Cami) incelenmiştir (Şekil 3.3).



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.3. Kırşehir Cacabey Camii – Mevcut Tarihi Örnek Bir Yapının İç ve Dış Mekanına Ait Gerçek ve 3D Dijital Model Görüntüleri (Epic Games, 2025).

Bu tarihi yapının 3D lazer tarama uygulaması sonrası twinmotion görselleri oluşturulmuştur (Epic Games, 2025). Daha sonra tek katlı betonarme bir örnek yapı (Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı) üzerinde ön çalışmalar gerçekleştirilmiş, tez kapsamında analiz modeli oluşturulan betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapı modellemeleri öncesinde 3D lazer tarama teknolojisi ve veri işleme uygulamaları tüm detayları ile anlaşılmıştır (Şekil 3.4).



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.4. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi – Merkezi Araştırma Laboratuvarı Tek Katlı Betonarme Bir Yapının 3D Lazer Tarama Uygulaması Örneği (Zoller + Fröhlich GmbH, 2025).

3.2. YBM ve Analiz Yazılımları

Bir yapının dijital modeli iki farklı şekilde oluşturulabilir: YBM uyumlu yazılımlar kullanılarak sıfırdan bir yapı inşa edilebilir ya da mevcut bir yapı, 3D lazer tarama cihazlarıyla taranarak üç boyutlu dijital modeli elde edilebilir. YBM, günümüz teknolojisinde kullanılan programlar arasında entegrasyon sağlayarak bir yapının dijital ikizinin oluşturulmasında birçok imkân sunmaktadır. 3D lazer tarama cihaz yazılımları; SAP 2000, Abaqus, Recap, Revit, AutoCAD gibi yazılımlarla uyumlu bir şekilde çalışarak ortak bir model üzerinden projelerin detaylandırılmasına imkân tanımaktadır (SAP 2000 Structural Analysis and Design, CSI), (Dassault Systèmes Abaqus, 2025) (Autodesk, ReCap 2026) (Autodesk, Revit 2026) (Autodesk, AutoCAD 2026). Bu

yazılımlar, mevcut yapıların performans analizleri, 3D dijital modelleri ve yapıların güçlendirilmesi süreçleri gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. 3D lazer tarama cihazlarının da uyumlu olduğu yazılımlar aracılığıyla nokta bulut verileri elde edilmektedir. Çalışmalar sonucu elde edilen büyük veriler için bir iş istasyonu ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. İş istasyonlarında elde edilen büyük ölçekli veriler, gerekli düzenleme işlemlerinden geçirilerek sadeleştirilir, renklendirilir ve anlamlı bir 3D dijital modele çevrilir. Bu sayede elde edilen veriler YBM araçları ile nokta bulutu verisinden model verisine dönüştürülmüş olur. Tez kapsamında Revit ve ReCap YBM araçları kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.1). Bu araçlar dışında birçok farklı YBM araçlarını da kullanmak mümkündür.

Tablo 3.1. YBM’ de Kullanılan Yazılımlar

Yapı Bilgi Modellemesi Koordinasyon Araçları	AUTODESK		AutoCAD
	AUTODESK		Revit
	AUTODESK		ReCap
	CSI		SAP 2000
	SIMULIA		Abaqus
	LEICA		Cyclone Register 360

Çalışma kapsamında Cyclone Register 360 (Leica Geosystems, 2023) programından elde edilen pts uzantılı anlamlı veriler, Autodesk ReCap' a yüklenerek üç boyutlu model olarak görüntülenmiş ve kaydedilen model, Revit yazılımında Yükleme – Nokta Bulutu seçeneklerinden programa doğru formatta aktarılarak açılmıştır. Nokta bulut verileri, üç boyutlu dijital model oluşturulmak üzere altlık olarak kullanılmakta ve Autodesk Revit üzerinde altlığa uygun bir şekilde modellenerek mevcut yapının ölçüm, rölöve alma, güçlendirme ve performans analizi gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Dijital model oluşturulduktan sonra, yapının analiz ve güçlendirme süreçleri için SAP 2000 yazılımı kullanılabilir. Burada yapı bilgileri girilerek yapının performans analizleri gerçekleştirilir. Tüm programlar arasında yazılım çalışmaları uyumlu ve doğru bir şekilde yürütülerek çalışma dosyalarının güvenli bir şekilde dışa aktarımı sağlanır. Yazılımlar arası entegrasyon sayesinde 3D dijital model, çeşitli formatlarda dışarıya aktarılabilir (Tablo 3.2). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisi, mevcut yapının ekonomik ömrü boyunca tüm yapım süreçlerinin multidisipliner bir yaklaşımla yürütülmesini sağlar ve ara yazılımların entegrasyonu sayesinde süreç yönetimine önemli katkılar sunar. Tüm disiplinler, aynı üç boyutlu dijital model üzerinde doğru, hızlı ve verimli bir şekilde

çalışarak ortak çıktılar elde edilebilir ve bu entegrasyon, süreç yönetiminin daha etkin ve koordineli ilerlemesine yardımcı olur.

Tablo 3.2. YBM’ de Kullanılan Yazılım Uzantıları

Yapı Bilgi Modellemesi Koordinasyon Araç Uzantıları	AUTODESK	AutoCAD	.dwg
	AUTODESK	Revit	.rcp
	AUTODESK	ReCap	.rvt
	CSI	SAP 2000	.sdb
	SIMULIA	Abaqus	.inp
	LEICA	Cyclone Register	.pts
360			

3.3. Saha Çalışmaları

Günümüzde inşaat sektörü, teknolojik gelişmelerin etkisiyle büyük bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Dijital teknolojilerin entegrasyonu ve gelişimi, yapı sistemlerinin tasarım ve uygulama süreçlerinde verimliliği artırarak hata payını düşürmektedir. Bu kapsamda; betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapı sistemlerinde Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve 3D lazer tarama teknolojilerinin birlikte kullanılması, saha çalışmalarının daha etkin yönetilmesine olanak tanımaktadır (Şekil 3.5). Her yapı türü, kendine özgü teknik detaylar, uygulama yöntemleri ve saha kontrol süreçleri içermektedir. Betonarme yapılar, genellikle yaygın olarak tercih edilmekte olup, projelendirme ve inşa süreçleri dijital teknolojilerin entegrasyonu sayesinde daha hassas ve sürdürülebilir hale getirilebilmektedir. Çelik yapılar, esneklik ve montaj kolaylığı ile öne çıkarken, YBM tabanlı uygulamalar sayesinde üretim ve montaj süreçlerinde zaman tasarrufu sağlanmaktadır. Prefabrik yapı sistemleri, fabrikasyon üretim süreçlerinin optimize edilmesiyle hızlı ve kontrollü inşa süreçleri sunarken, 3D lazer tarama teknolojisi sayesinde montaj öncesi doğruluk analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Yığma yapılar ise özellikle tarihi ve geleneksel yapılar açısından değerlendirilmekte olup, restorasyon süreçlerinde dijital teknolojilerin sağladığı hassas ölçüm ve hızlı rölöve olanaklarından yararlanılmaktadır. Bu teknolojik entegrasyonlar, inşaat sektöründe daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir projelerin hayata geçirilmesine veya katkı sağlamasına imkân tanımaktadır.



a)



b)



c)

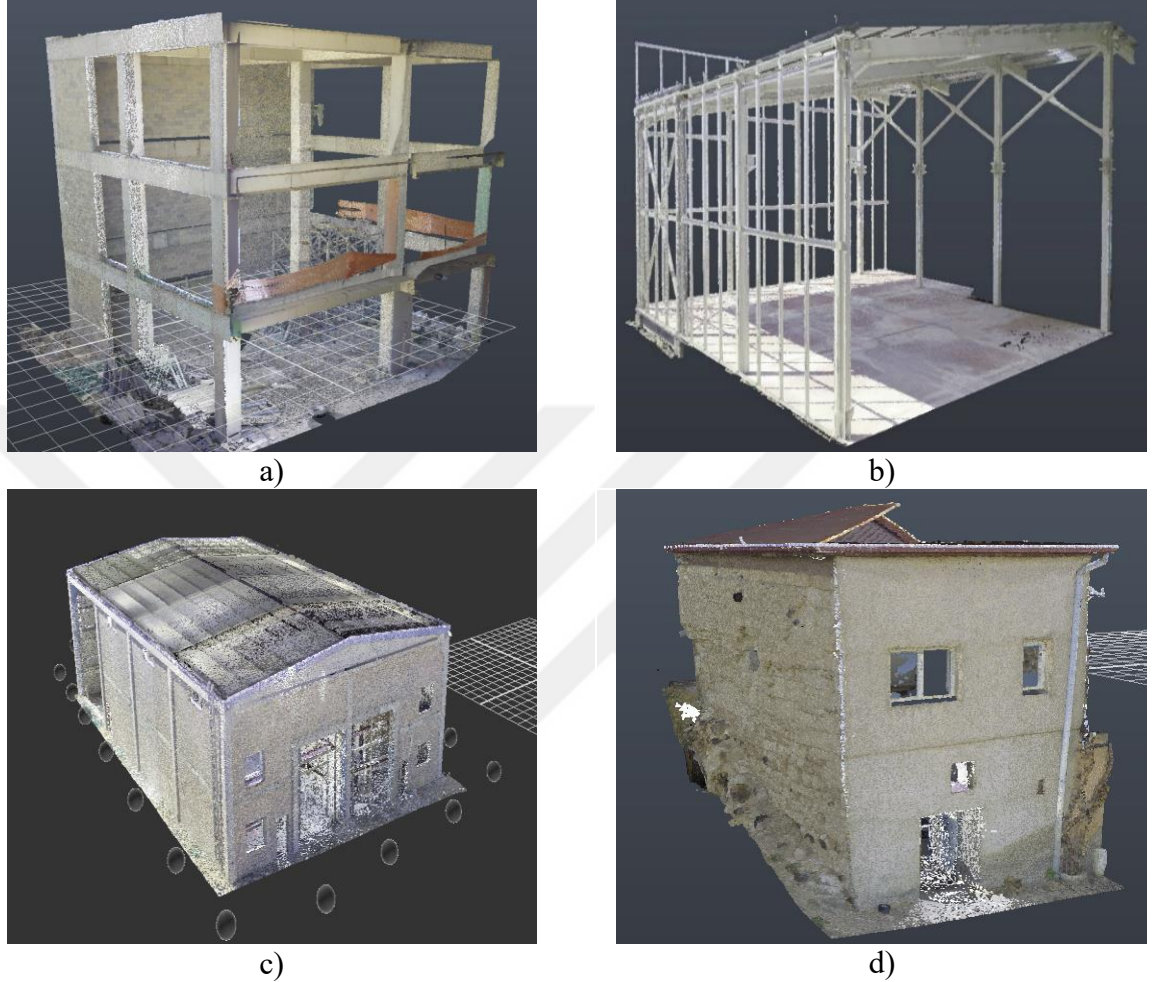


d)

Şekil 3.5. 3D Lazer Tarama Teknolojisi Saha Uygulamaları (Leica Geosystems, 2021.), (Zoller + Fröhlich, 2025).

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve 3D lazer tarama teknolojisinin entegrasyonu, tüm yapı türlerinde saha uygulamalarının daha şeffaf ve izlenebilir olmasını sağlayarak proje yönetimini kolaylaştırmaktadır. YBM, tasarım aşamasından uygulamaya kadar tüm süreçleri dijital ortamda koordine ve kontrol etmeye imkân tanırken, 3D lazer tarama teknolojisi yapının yüksek doğrulukta modellenmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede, tasarım ve uygulama arasındaki uyumsuzluklar erken tespit edilerek yapım süreçlerinde meydana gelebilecek hatalar en aza indirilmektedir. Bu tez kapsamında dört farklı yapı türü için gerçekleştirilen saha çalışmalarına odaklanılarak, dijital teknolojilerin entegrasyonu sonucu elde edilen kazanımlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapı türlerine özgü saha uygulamaları ve kontrol mekanizmaları değerlendirilerek, YBM ve 3D lazer tarama teknolojisinin sağladığı avantajlar ortaya konulmuş ve dijital entegrasyonun inşaat sektöründe kaliteyi artırarak süreçleri daha ekonomik ve

sürdürülebilir hale getirdiği gözlemlenmiştir. Tez çalışmasında mevcut betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapıların performans analizleri, 3D dijital modelleri ve güçlendirilmesi senaryoları örneklerle incelenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Mevcut Betonarme (a), Çelik (b), Prefabrik (c) ve Yığma (d) Yapıların 3D Lazer Tarama Nokta Bulut Veri Örnekleri (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.1. Betonarme yapı örneği

Betonarme yapılar günümüzde en yaygın kullanılan yapı sistemleri arasında yer almaktadır. Betonarme yapıların doğru projelendirilmesi kadar sahada uygulamanın da doğru yapılması statik güvenilirlik ve yapının ömrü açısından önemlidir. Örneğin kalıp uygulaması esnasında ortaya çıkabilecek hatalar, akstan sapmalar yapısal sistemin projede ön görüldüğü şekilde davranmamasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte günümüzde performans analizi yapılması gereken oldukça fazla mevcut yapı stoku bulunmaktadır. TBDY 2018' e göre mevcut betonarme yapıların performans analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analizlerde en önemli ve ilk aşama mevcut yapının saha verilerinin elde edilmesi aşamasıdır. Saha verileri ve yapıda yerinde inceleme taşıyıcı

sistemin projesine uygun inşa edilip edilmediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte TBDY 2018' e göre yapının deprem performansına esas modelinin oluşturulması için sağlıklı bir rölöve çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu çerçevede teknolojinin sağlamış olduğu imkanların betonarme yapıların projesine uygun inşa edilip, edilmediğinin tespiti ve hızlı analiz modellerinin elde edilmesinde kullanımı çok önemli hale gelmiştir. Ayrıca betonarme bir yapının günümüz teknolojisinin imkanlarından yararlanılarak dijital ikizinin oluşturulması sadece statik açıdan değil mimari, elektrik, mekanik vb. açılardan da birçok avantaj ortaya çıkarabilmektedir. Örneğin güçlendirilmesine karar verilen betonarme bir yapının taşıyıcı sistemine ilave güçlendirme uygulamalarının mimari, elektrik ve mekanik açıdan yerinde ne gibi değişikliklere yol açabileceğini uygulama öncesinde bilgisayar modeli üzerinden tespit edilmesi çok büyük süre ve ekonomik kazançlar ortaya çıkaracaktır. Teknolojinin gelişmesi ile sanal gerçeklik gözlükleri (VR) gibi ilave ekipmanlar ile yeni betonarme bir yapının inşa sürecinin ilgili kontroller tarafından yerinde daha efektif bir şekilde denetiminde de dijital ikiz modellerin kullanımı ve bu teknolojinin saha uygulamalarına entegrasyonu gittikçe önem kazanacaktır. Özellikle yapay zekâ teknolojisinin de gelişmesi ile sahadan elde edilen dijital modelin farklı varyasyonlarının da tasarımının oldukça kolay hale gelebileceği görülmektedir.

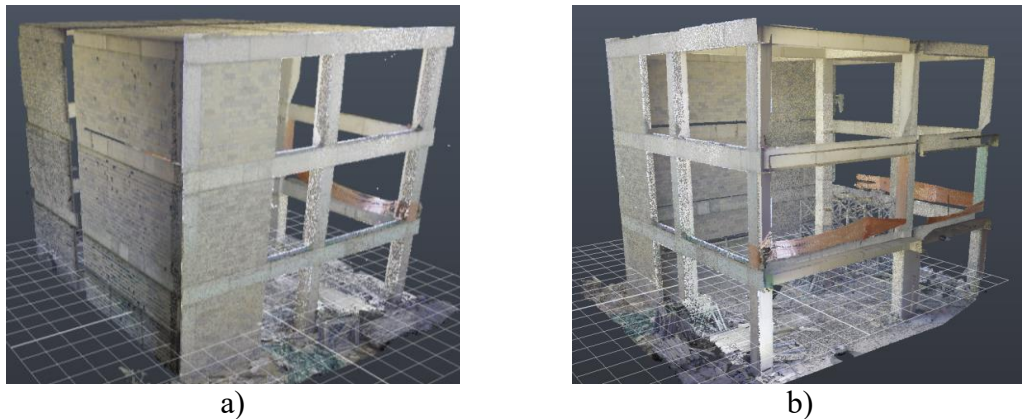
Tez çalışması kapsamında bu motivasyondan yola çıkarak mevcut betonarme örnek bir yapının YBM ve 3D lazer tarama uygulamasının birlikte kullanımı sahada titizlikle incelenmiştir. Yapının mimari ve mühendislik özellikleri detaylıca irdelenmiştir. Mevcut betonarme örnek yapının 3D lazer tarama ve Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) entegre yazılımlar aracılığıyla saha uygulamasının incelenmesi, 3D dijital modellenin oluşturulması ve performans analizine esas analitik modelin elde edilmesi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde performans analizine ve yapının güçlendirilme uygulaması varyasyonlarına esas statik model elde edilebilmiştir.

3.3.1.1. Betonarme yapı 3D lazer tarama uygulaması

Tez çalışması kapsamında 3D lazer tarama teknolojisi, örnek betonarme bir yapı için inşaat sahasında yapının detaylı incelenmesi, deprem performansına veya güçlendirilmesine esas analiz modelinin elde edilmesi gibi amaçlar için kullanılmıştır. Kolon, kiriş, duvar, döşeme ve diğer yapısal bileşenlerin geometrik ölçüleri yüksek hassasiyetli lazer tarayıcılarla dijital olarak ölçülmüştür. Bu yöntem, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla daha hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Tarama işlemleri öncesinde, mühendislik yaklaşımı çerçevesinde oturum planlaması yapılmış ve sistematik bir yöntem izlenerek 3D lazer tarama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tarama öncesinde, cihazın optimum performans göstermesi ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanması amacıyla yapının çevresi en az beş metre mesafeyle sınırlandırılarak koruma altına alınmıştır. Tarama işlemlerini yapan teknik personeller gerekli güvenlik önlemlerini alarak çalışmaya başlamıştır. Yapının iç ve dış mekanlarında, belirlenen metodoloji doğrultusunda 10 farklı oturum gerçekleştirilmiştir. Tarama sırasında, kullanılan cihazın üzerine monte edildiği tripodların sağlam bir zemine yerleştirilmesi, cihaz güvenliği açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Oturumlar düzenlenirken, cihazın bir konumdan diğerine taşınması sırasında yüksek dikkat ve özen gösterilmesi gerekmektedir. Ani hareketler veya düşme sonucu cihazda mekanik hasarlar, kırılmalar veya kalibrasyon hataları meydana gelebilir. Bu tür olası aksaklıkların önlenmesi amacıyla, taşıma sürecinde gerekli güvenlik önlemlerinin alınması ve hassas ekipmanların korunmasına yönelik titiz bir yaklaşım benimsenmiştir.

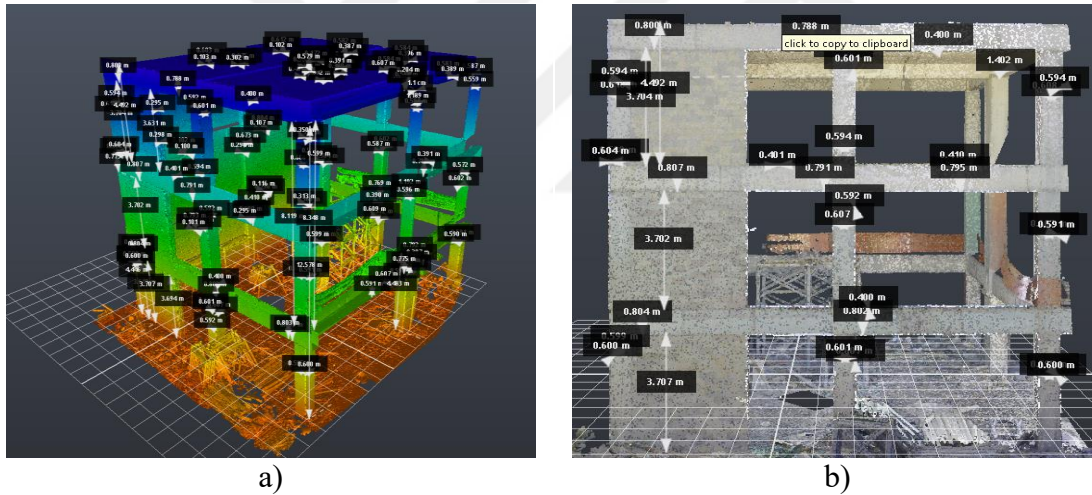
Sürecin başarısı açısından, kullanılan 3D lazer tarama cihazının kalibrasyon ayarlarının doğruluğu büyük önem taşımaktadır. 3D lazer tarama cihazının batarya durumu sürekli olarak kontrol edilmiştir. Olası bir batarya tükenmesi durumunda veri kaybı veya tarama hataları oluşmaması için gerekli önlemler alınarak yedek batarya temin edilmiştir. Veri bütünlüğünün korunması adına yeterli depolama alanı sağlanmış ve her tarama için ayrı dosyalar oluşturularak veri çakışması riski ortadan kaldırılmıştır. Sonuç olarak, mevcut betonarme yapının kolon, kiriş, duvar, döşeme ve kolon-kiriş düğüm noktaları başarıyla tespit edilerek nokta bulutu formatında kayıt altına alınmıştır. Mevcut betonarme yapının 3D tarama işlemleri sonucunda nokta bulut verileri oturumlar halinde başarıyla elde edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Mevcut Örnek Betonarme Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.1.2. Betonarme yapı nokta bulutu verilerinin işlenmesi

Tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri (Point Cloud) oturumların birleştirilmesi sonucu düzenlenerek anlamlı bir model haline getirilmiştir. Nokta bulutu verileri üzerinden gürültü giderme işlemleri gerçekleştirilerek temiz bir görüntü elde edilmiştir. Elde edilen ilk veriler üzerindeki anlamsız noktalar temizlenerek düzenlenme işlemi yapılmıştır. Tarama verileri sonucu elde edilen nokta bulut modeli üzerinde renklendirme işlemleri yapılmıştır. Renklendirme işlemleri sonrası mevcut betonarme yapının nokta bulut modeli başarıyla elde edilmiştir. Tez kapsamında incelenen betonarme yapı örneği, BIM ve 3D lazer tarama entegrasyonunun pratikte nasıl uygulandığını gösteren önemli bir çalışma niteliğindedir. Bu aşamadan sonra nokta bulutu verileri yapının taşıyıcı sistemi haricindeki tarama verilerinden de arındırılarak, YBM açısından en efektif görüntü elde edilmiştir. Bu veri üzerinden yapının taşıyıcı sistemine yönelik tüm detay ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Mevcut Örnek Betonarme Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi(Autodesk, ReCap 2026).

3.3.2. Çelik yapı örneği

Çelik yapılar hızlı montaj süreci ve esnek tasarım imkânları sayesinde modern inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen yapı sistemlerindendir. Çelik yapıların doğru mühendislik hesaplarıyla projelendirilmesi kadar, sahada yapılan montaj işlemlerinin standartlara uygun gerçekleştirilmesi de statik güvenlik ve yapının servis ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin bağlantı noktalarında oluşabilecek montaj hataları, yapı sisteminin tasarımda öngörülen davranış biçiminden sapmasına neden olabilmektedir.

Çelik yapı performans analizlerinde ilk ve en kritik aşama, sahada elde edilen verilerin doğruluğudur. Saha gözlemleri ve yerinde yapılan incelemeler, yapının çelik profiller ve birleşim detayları bakımından projesine uygun imal edilip edilmediğini ortaya koyar. Ayrıca deprem performansına esas modelleme süreci için detaylı bir rölöve çalışması gerekmektedir. Bu bağlamda, teknolojinin sunduğu dijital araçlar sayesinde çelik yapıların mevcut durumlarının belirlenmesi, sanal modellerinin oluşturulması ve analiz süreçlerinin daha hızlı ve güvenilir şekilde yürütülmesi sağlanabilmektedir. Özellikle çelik yapılarda dijital ikiz modellemeler aracılığıyla bağlantı detaylarının, rijitlik koşullarının ve yük aktarım yollarının sayısal ortamda önceden incelenmesi, güçlendirme süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Sanal gerçeklik (VR) uygulamaları ile yeni inşa edilecek çelik yapıların denetimi daha etkili hale gelirken ileri teknolojik yazılımlar ile analiz ve varyasyon üretim süreçleri hız kazanacaktır.

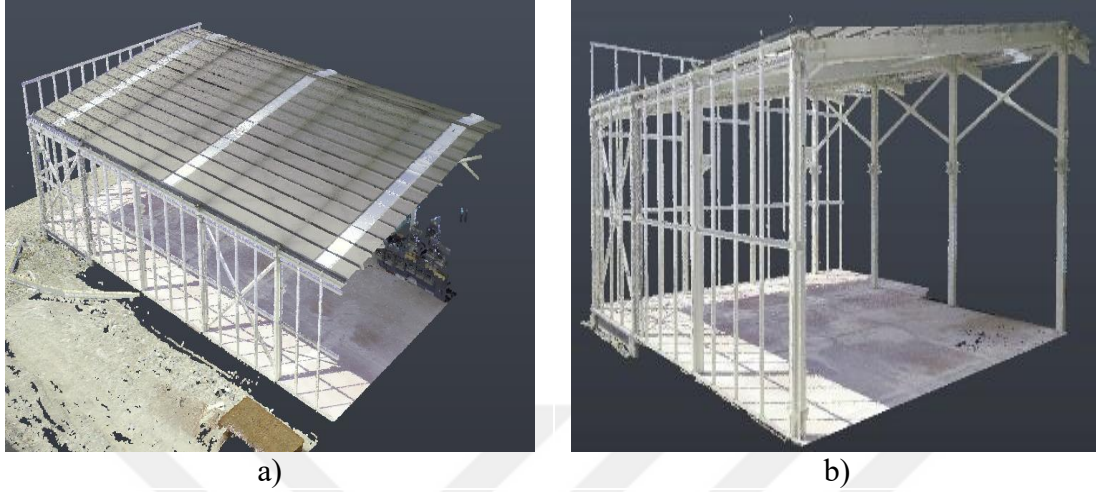
Tez çalışması kapsamında bu doğrultuda örnek mevcut bir çelik yapının 3D lazer tarama ve Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulamaları bir arada kullanılarak saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapının mühendislik ve montaj özellikleri, yapısal elemanların ölçüleri ve kat planları, montaj sonrası yapı elemanlarının hizalama kontrolü, sapma analizi, tolerans dışı montaj tespiti, burkulma analizi, kaynak ve bulon bağlantıları gibi detaylı biçimde analiz edilmiş, dijital ortamda 3 boyutlu modeli oluşturulmuş ve performans analizine esas teşkil edecek analitik model elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapının güçlendirme senaryolarına yönelik statik analiz modeli başarıyla elde edilmiştir.

3.3.2.1. Çelik yapı 3D lazer tarama uygulaması

Tez çalışması kapsamında 3D lazer tarama teknolojisi, örnek bir çelik yapının mevcut durumunun sahada detaylı biçimde analiz edilmesi, yapının deprem performansına ve güçlendirme senaryolarına esas statik modelinin oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Taşıyıcı profiller, çapraz elemanlar, bağlantı plakaları, kuşaklar ve diğer yapısal bileşenlerin geometrik özellikleri yüksek hassasiyetli lazer tarayıcılarla nokta bulutu formatında dijital olarak kaydedilmiştir. Bu yöntem, özellikle bağlantı detaylarının netleştirilmesinde ve geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan birleşim bölgelerinin detaylarının tespitinde önemli avantajlar sağlamıştır.

Tarama işleminden önce yapısal sistemin doğru nokta bulutu verilerinin elde edilmesi için oturum planlaması yapılmış, yapının iç ve dış mekânlarında toplam 16 farklı oturumda sistematik bir çalışma yürütülmüştür (Şekil 3.9). Cihazın stabil ve güvenli çalışmasını temin etmek amacıyla, tarama alanı çevresinde güvenlik sınırı oluşturulmuş

ve tripodlar rijit zeminlere yerleştirilmiştir. Cihazın taşıma sürecinde sarsıntı veya ani hareketlerden kaynaklanabilecek kalibrasyon bozulmalarının önüne geçmek üzere titiz bir taşıma prosedürü uygulanmıştır.



Şekil 3.9. Mevcut Örnek Çelik Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları (Autodesk, ReCap 2026).

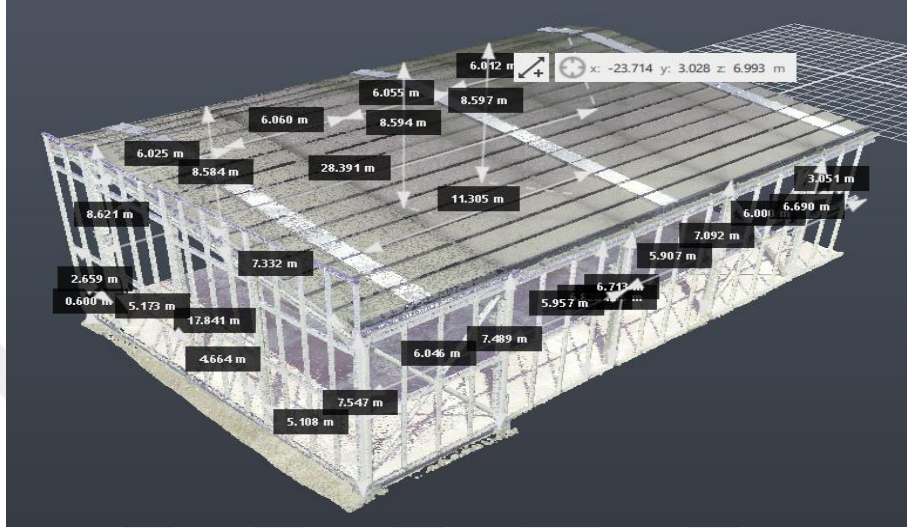
Tarama sürecinde cihazın kalibrasyon ve batarya kontrolleri düzenli olarak yapılmış, veri güvenliği açısından yeterli depolama alanı sağlanmış ve her oturum için ayrı veri klasörleri oluşturularak karışıklık riski en aza indirilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verileri, profiller arası bağlantı noktaları, birleşim plakaları ve rijitlik elemanları gibi kritik yapısal detayların dijital ortamda modellenmesine olanak tanımıştır.

3.3.2.2. Çelik yapı nokta bulutu verilerinin işlenmesi

Tarama süreciyle elde edilen nokta bulutu (Point Cloud) verileri, farklı oturumlardan alınan kayıtların birleştirilmesiyle bütüncül bir dijital model haline dönüştürülmüştür. İlk aşamada, ham verilerde bulunan gürültüler çeşitli filtreleme teknikleriyle ortadan kaldırılarak temiz bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri işleme sürecinden sonra, elde edilen model üzerine renklendirme işlemleri uygulanmış; böylece yapısal öğelerin dijital ortamda daha net ve ayırt edilebilir biçimde temsil edilmesi sağlanmıştır.

Mevcut örnek bir çelik yapıya ait nokta bulutu modeli, taşıyıcı sistemin profiller, bağlantı plakaları ve çapraz elemanlar gibi bileşenlerini açıkça yansıtacak şekilde başarıyla belirlenmiştir. Bu bağlamda mevcut örnek çelik yapı, 3D lazer tarama ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) entegrasyonunun çelik yapılardaki saha uygulamalarına etkili biçimde aktarılabilceğini göstermektedir.

Modelleme sürecinin devamında, taşıyıcı sistem dışındaki ikincil yapı detayları dijital modelden ayrıştırılmış; bu sayede analitik modellemeye odaklanılmış ve optimize edilmiş bir örnek çelik yapı modeli formu elde edilmiştir. Bu arındırılmış veri seti üzerinden yapının taşıyıcı sistemine ilişkin boyutsal analizler ve ölçümler detaylı biçimde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Mevcut Örnek Çelik Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.3. Prefabrik yapı örneği

Prefabrik yapılar, ön üretimi tamamlanan yapı elemanlarının şantiyeye taşınarak kısa sürede monte edilmesiyle oluşturulan sistemlerdir. Hızlı yapım süreci, maliyet etkinliği ve kalite kontrol avantajları nedeniyle modern yapı sektöründe yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ancak prefabrik yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının (paneller, kolonlar, kirişler, bağlantı elemanları vb.) sahada doğru şekilde birleştirilmesi, yapının performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Montaj esnasında ortaya çıkabilecek yerleşim veya bağlantı hataları, sistemin deprem davranışını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu bağlamda TBDY 2018 kapsamında mevcut prefabrik yapıların performans analizleri önemli hale gelmiştir. Bu analizlerde ilk adım, yapıdan sahada elde edilen verilerin doğruluğudur. Yerinde yapılan incelemeler ve saha ölçümleri, ön üretilmiş elemanların yerleşim ve bağlantı detaylarının projeye uygun olup olmadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, analiz sürecinin temelini oluşturan yapının deprem performans modelinin hazırlanması için kapsamlı bir rölöve çalışması gereklidir.

Bu çerçevede, dijital teknolojilerin kullanımı prefabrik yapıların değerlendirilmesinde de önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi

(YBM) ve 3D lazer tarama yöntemleriyle yapının dijital ikizinin oluşturulması, montaj doğruluğunun tespitinde, yük taşıma yollarının analizinde ve olası güçlendirme senaryolarının değerlendirilmesinde etkin çözümler sunmaktadır. Özellikle sahaya özgü detaylar, sanal ortamda modellenerek yapı davranışı öngörülebilmektedir. İleri düzey teknolojik çözümler ile dijital ikiz modelleri veya sanal gerçeklik (VR) uygulamaları gibi yaklaşımlarla prefabrik yapıların denetimi daha kontrollü ve verimli hale gelmiştir.

Tez çalışması kapsamında bu yaklaşım doğrultusunda, mevcut bir prefabrik yapının 3D lazer tarama ve YBM uygulamalarıyla dijital ikiz modeli oluşturulmuş; montaj elemanları ve yapısal bileşenleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Elde edilen sayısal model, performans analizine esas teşkil edecek analitik modele dönüştürülmüş ve yapı için olası güçlendirme senaryoları sayısal ortamda incelenmesine olanak sağlanmıştır. Ancak prefabrik yapı sisteminde 3D lazer tarama teknolojisi ile bağlantı detaylarının belirlenebilmesi mümkün olmamıştır. Çünkü 3D lazer tarama cihazı ile sadece cihazın gördüğü yüzeyin geometrisi belirlenebilmektedir.

3.3.3.1. Prefabrik yapı 3D lazer tarama uygulaması

Tez çalışması kapsamında 3D lazer tarama teknolojisi, örnek bir prefabrik yapının inşa sahasında detaylı biçimde incelenmesi ve yapının deprem performansına veya güçlendirme gereksinimlerine yönelik analiz modelinin oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Fabrikada ön üretimi tamamlanan kolon, kiriş, duvar paneli, döşeme plakası ve bağlantı elemanları gibi yapısal bileşenleri yüksek hassasiyetli lazer tarayıcılar aracılığıyla tespit edilmiştir. Bu yöntem, prefabrik elemanların montaj sırasında karşılaşılan tolerans hatalarının belirlenmesi açısından geleneksel ölçüm yöntemlerine göre daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar sağlamıştır.

Tarama işlemleri öncesinde mühendislik esaslı bir oturum planlaması gerçekleştirilmiş, toplamda 35 oturum olacak şekilde iç ve dış mekânlarda sistematik taramalar yapılmıştır. Yapının çevresi, cihazın optimum verimle çalışmasını sağlamak ve güvenli alan oluşturmak amacıyla en az beş metre mesafe ile sınırlandırılarak kontrollü bir tarama alanı oluşturulmuştur. Tripodlar rijit zeminlere yerleştirilmiş; cihaz taşıma sürecinde fiziksel hasar, kalibrasyon kaybı veya titreşim kaynaklı hataların önüne geçmek üzere titizlikle taşınmıştır.

Sürecin her aşamasında cihazın kalibrasyon ve batarya durumu kontrol edilmiş, veri bütünlüğü açısından yeterli depolama alanı sağlanarak her oturum ayrı klasörlerde tutulmuştur. Böylece veri çakışmaları ve kayıplar önlenmiştir. Elde edilen nokta bulutu

verileriyle prefabrik yapı elemanlarının yerleşimi ve düşey-yatay birleşim bölgeleri sayısal ortamda başarıyla belirlenmiştir (Şekil 3.11). Tarama sonuçları, prefabrik yapının mevcut durumunun değerlendirilmesine ve analitik modelin oluşturulmasına sağlam bir zemin hazırlamıştır.



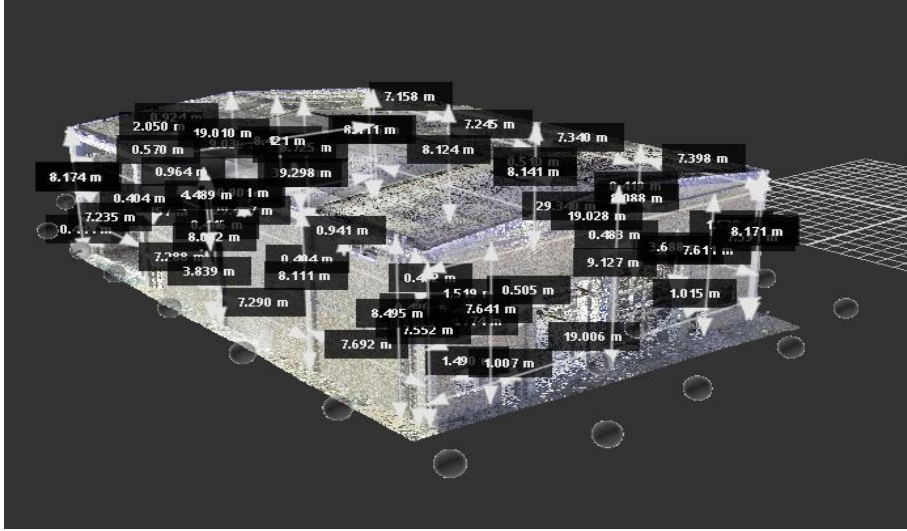
Şekil 3.11. Mevcut Örnek Prefabrik Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.3.2. Prefabrik yapı nokta bulutu verilerinin işlenmesi

Saha çalışmaları sonucunda elde edilen nokta bulutu (Point Cloud) verileri, gerçekleştirilen oturumların birleştirilmesiyle derlenmiş ve dijital ortamda bütüncül bir model haline getirilmiştir. Ham veriler, ilk olarak sistematik bir gürültü giderme sürecinden geçirilmiş; bu sayede yanlış, dağınık ya da yapısal modelleme açısından anlamsız olan noktalar temizlenerek daha anlamlı net bir veri seti oluşturulmuştur. Temizlenen veriler üzerinde yapılan renklendirme çalışmaları sayesinde prefabrik yapı elemanlarının dijital modeli daha ayırt edilebilir hâle gelmiştir.

Elde edilen bu model, ön üretimli taşıyıcı bileşenlerin (kolon, panel, döşeme ve birleşim detayları) yerleşim ve bağlantı durumlarını ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur (Şekil 3.12). Bu bağlamda, tez çalışmasında kullanılan örnek prefabrik yapı, 3D lazer tarama ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisinin saha uygulamalarında nasıl bir arada çalışabileceğini gösteren anlamlı bir örnek teşkil etmektedir.

İzleyen aşamalarda, yapının taşıyıcı sistemine doğrudan katkısı olmayan bileşenler dijital modelden ayrıştırılmış; böylece taşıyıcı sisteme odaklanan yalın ve verimli bir veri yapısı elde edilmiştir. Bu düzenlenmiş veri seti üzerinden, prefabrik yapı bileşenlerine ilişkin ölçümler gerçekleştirilmiş ve analiz sürecinde kullanılmak üzere detaylı bir dijital altyapı hazırlanmıştır.



Şekil 3.12. Mevcut Örnek Prefabrik Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.4. Yığma yapı örneği

Yığma yapılar, tarih boyunca farklı coğrafyalarda yaygın olarak kullanılan ve taşıyıcı sistemi genellikle tuğla, taş ya da briket gibi dolgu malzemelerinden oluşan duvarların oluşturduğu yapılardır. Bu yapı türü, özellikle geleneksel yerleşim alanlarında hâlen yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yığma yapıların performansı, kullanılan malzemelerin özellikleri kadar, duvar kalınlığı, harç tipi, yatay ve düşey hatılların durumu gibi parametrelere bağlıdır. Taşıyıcı sistemin kolon ve kiriş gibi elemanlar yerine, doğrudan duvarlarla sağlanması, yapı davranışını özellikle deprem etkileri açısından hassas hale getirmektedir. Bu sebeple yığma yapıların modellenmesinde çok daha fazla detaylar ortaya çıkabilmektedir. Bu detayların her biri analiz sonucu direk etkilemektedir. TBDY 2018 kapsamında mevcut yığma yapıların da performans analizine tabi tutulması gerekmekte olup, bu tür yapılarda analizlerin en kritik aşaması, yerinde elde edilen verilerin doğruluğudur.

Yığma yapıların projelerine uygun inşa edilip edilmediğinin tespiti, taşıyıcı duvarların konumu, açıklıklar, pencere ve kapı boşlukları ile hatılların varlığı gibi detayların sahada dikkatli şekilde incelenmesini zorunlu kılar. Bu noktada, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve 3D lazer tarama teknolojilerinin birlikte kullanımı, yapı bileşenlerinin sanal ortamda doğru biçimde modellenmesine olanak sağlar. Özellikle yığma duvarlardaki süreksizlikler, çatlaklar, malzeme ayrışmaları gibi hasarlar dijital modeller aracılığıyla detaylı biçimde analiz edilebilmektedir. Elde edilen bu modeller, yapının deprem performansına esas analitik modelinin oluşturulmasında temel teşkil eder.

Ayrıca güçlendirme senaryoları için üretilecek varyasyonlar, dijital ikiz modeli üzerinden değerlendirilerek hem ekonomik hem de yapım süresi açısından kazanımlar sağlar.

Tez çalışması kapsamında, bu yaklaşım doğrultusunda seçilen mevcut bir yığma yapıya ait saha çalışmaları detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiş; 3D lazer tarama ve YBM uygulamaları entegre edilerek yapının dijital ikizi oluşturulmuştur. Yapının taşıyıcı duvar sistemine ilişkin tüm yapısal özellikler sayısal ortamda analiz edilmiş, performans analizine esas analitik model elde edilmiştir.

3.3.4.1. Yığma yapı 3D lazer tarama uygulaması

Tez çalışması kapsamında, 3D lazer tarama teknolojisinden yararlanılarak mevcut örnek bir yığma yapının mevcut durumunun detaylı biçimde incelenmesi ve deprem performansı ya da olası güçlendirme gereklilikleri doğrultusunda sayısal analiz modelinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Tuğla, taş veya briket gibi malzemelerle inşa edilmiş taşıyıcı duvarların geometrik özellikleri, yüksek çözünürlüklü lazer tarayıcılar ile ölçülerek nokta bulutu formatında dijital olarak kaydedilmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla bu teknik, özellikle çatlaklar, yapı süreksizlikleri ve malzeme bozulmalarının tespiti açısından daha net ve verimli sonuçlar sunmuştur.

Tarama uygulamasına geçmeden önce, yapısal sistemin uygun biçimde ayrıntılı bir oturum planı hazırlanmış; yapı çevresi en az beş metre çapında bir güvenlik alanı ile sınırlandırılarak sahada kontrollü bir ortam oluşturulmuştur. Ancak bu oturum planları oluşturulmadan önce yapının taşıyıcı sistemi anlaşılmaya çalışılmış, modelleme aşaması düşünülerek uygun oturum konumları belirlenmiştir. Yapının iç ve dış bölümlerinde toplam 24 oturum gerçekleştirilmiş, tripod sistemlerinin sağlam zeminlere yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Cihazın konum değişiklikleri sırasında oluşabilecek hasar ya da kalibrasyon kayıplarının önüne geçmek amacıyla, ekipman taşınırken azami özen gösterilmiştir.

Tarama süresi boyunca cihazın batarya seviyesi ve kalibrasyon ayarları sürekli kontrol altında tutulmuş, her oturumun verisi ayrı klasörlerde güvenle saklanmıştır. Veri kaybı riskine karşı yeterli yedekleme ve depolama stratejileri uygulanmıştır. Elde edilen nokta bulutu verileri sayesinde taşıyıcı duvarların konumu, pencere ve kapı boşlukları, hatıl durumu ve olası hasar bölgeleri sayısal ortamda net bir biçimde belirlenmiştir (Şekil 3.13). Bu çalışmalar neticesinde analitik modele esas teşkil edecek kapsamlı ve güvenilir dijital veri setleri elde edilmiştir.



Şekil 3.13. Mevcut Örnek Yığma Yapıya Ait 3D Lazer Tarama Uygulamaları (Autodesk, ReCap 2026).

3.3.4.2. Yığma yapı nokta bulutu verilerinin işlenmesi

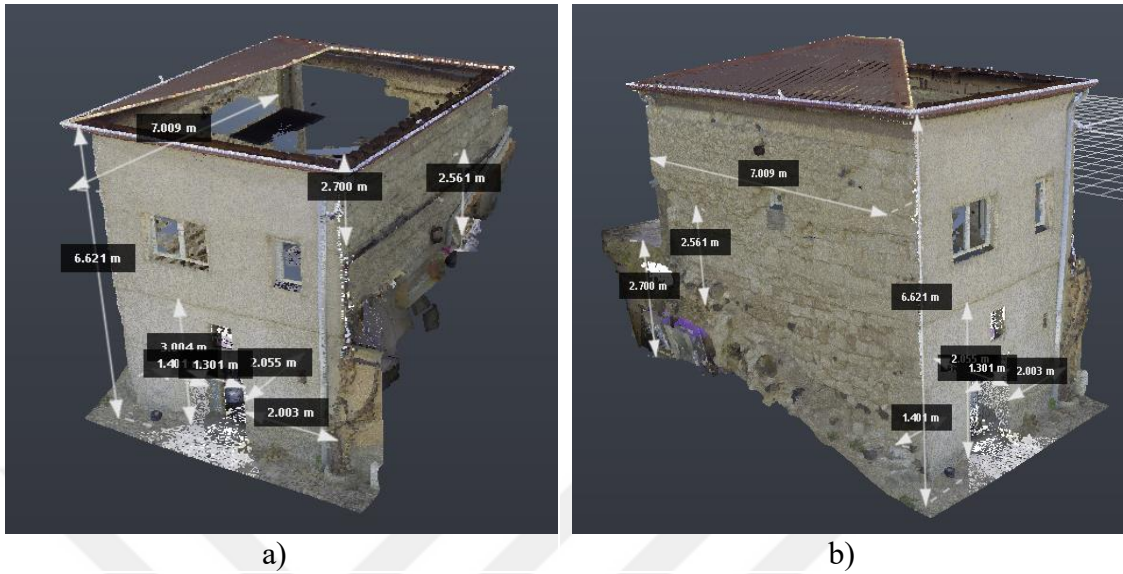
Yığma yapıların, özellikle tarihi değer taşıyan örneklerinde, özgün malzeme karakteristikleri ve özgün mimari detaylar korunarak değerlendirme yapmak büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, saha uygulamaları sonucu elde edilen nokta bulutu (Point Cloud) verileri, gerçekleştirilen çoklu oturumların bütünleştirilmesi ile anlamlı bir dijital model haline getirilmiştir. İlk ham veriler üzerinde yapılan gürültü temizliği işlemleri sayesinde yapıya ait olmayan ya da tarama hatasından kaynaklı düzensiz noktalar ortamdaki arındırılmıştır. Bu işlemler neticesinde, dijital modelin genel geometrik doğruluğu artırılmış ve yorumlanabilirliği güçlendirilmiştir.

Renklendirme uygulamaları ile yığma duvarların malzeme dokusu, açıklık bölgeleri (pencere, kapı vb.) ve taşıyıcı hatları daha görünür hale getirilmiştir. Özellikle tarihi yığma yapılarda, özgün mimari bezemeler, minhalar, kemer açıklıkları ve benzeri detaylar da bu taramalar sayesinde yüksek doğrulukla dijital ortama aktarılmıştır.

İşleme sürecinin devamında, yapısal sisteme doğrudan katkı sağlamayan iç mekân detayları veri kümesinden ayıklanmış, sadece taşıyıcı sistem öğelerini kapsayan sadeleştirilmiş bir 3D dijital model belirlenmiştir (Şekil 3.14). Böylece, hem yapısal analizlere esas teşkil edecek net bir geometri sağlanmış hem de veri yoğunluğu azaltılarak analiz süreleri daha verimli hâle getirilmiştir.

Sonuç olarak, mevcut örnek bir yığma yapıya yönelik tarama verileri, analitik modellemeye uygun biçimde detaylandırılmış; taşıyıcı duvarların konumu, açıklık oranları, çatlak görüntüleri ve malzeme ayrışmaları sayısal ortamda dikkatlice analiz edilebilir bir forma dönüştürülmüştür. Bu bağlamda, tez çalışmasında incelenen mevcut

örnek bir yığma yapı hem koruma odaklı belgelenme süreçleri hem de performansa yönelik mühendislik analizleri açısından anlamlı bir uygulamaya zemin hazırlamıştır.



Şekil 3.14. Mevcut Örnek Yığma Yapıya Ait Nokta Bulut Verilerinin İşlenmesi (Autodesk, ReCap 2026).

3.4. Modelleme Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında, örnek olarak seçilen Betonarme, Çelik, Prefabrik ve Yığma yapı sistemlerinin 3D modelleme çalışmaları ayrıntılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir yapı sistemi için özgün olarak oluşturulan modeller, ilgili yapı türünün teknik özellikleri ve tasarım prensipleri doğrultusunda ayrı ayrı detaylıca incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, her bir mevcut örnek yapının modelleme sürecinde izlenen yöntemler açıkça ortaya konmuş, kullanılan yazılımlar ve modelleme yaklaşımları detaylı şekilde açıklanmıştır. Böylelikle, farklı yapı sistemlerine ait modelleme tekniklerinin benzerlikleri ve farklılıkları incelenerek, mevcut örnek yapı sistemlerinin (Betonarme, Çelik, Prefabrik ve Yığma) dijital ortamda nasıl temsil edilebileceğine dair kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur. Bu modelleme yaklaşımında 3D lazer tarama ve Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) entegrasyonu esas alınmıştır. Literatür araştırmalarında daha çok tarihi yapıların modellenmesinde kullanılan bu yaklaşım günümüz mevcut yapısal sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yaptığımız araştırmalarda 3D lazer tarama ve YBM yaklaşımının ayrı ayrı bu kapsamda kullanılabildiği görülmüştür. Tez çalışmasında, tez amacı doğrultusunda bu teknolojilerin entegrasyonu araştırılmıştır. Bu yaklaşımların her biri kendi içerisinde birçok detay aşama içermektedir. Bu aşamaların her biri modelleme doğruluğunu etkilemektedir. Bu teknolojik yaklaşımlarda birçok detayın bulunması saha

uygulamalarında tasarımcı mühendislerin bu yöntemleri kullanımına yönelik tereddütler ortaya çıkarmaktadır. Tez çalışmasında bu aşamalar ele alınarak tasarımcı mühendislere yönelik bir metodoloji sunulmuştur. Bununla birlikte yapay zekâ gibi güncel teknolojilerin bu entegrasyonu nasıl ileriye taşıyabileceği araştırılmıştır. Bu çerçevede daha ileri teknolojik ekipmanlar ile yapısal değerlendirme ve güçlendirme süreçlerinin nasıl pratik hale gelebileceği irdelenmiştir.

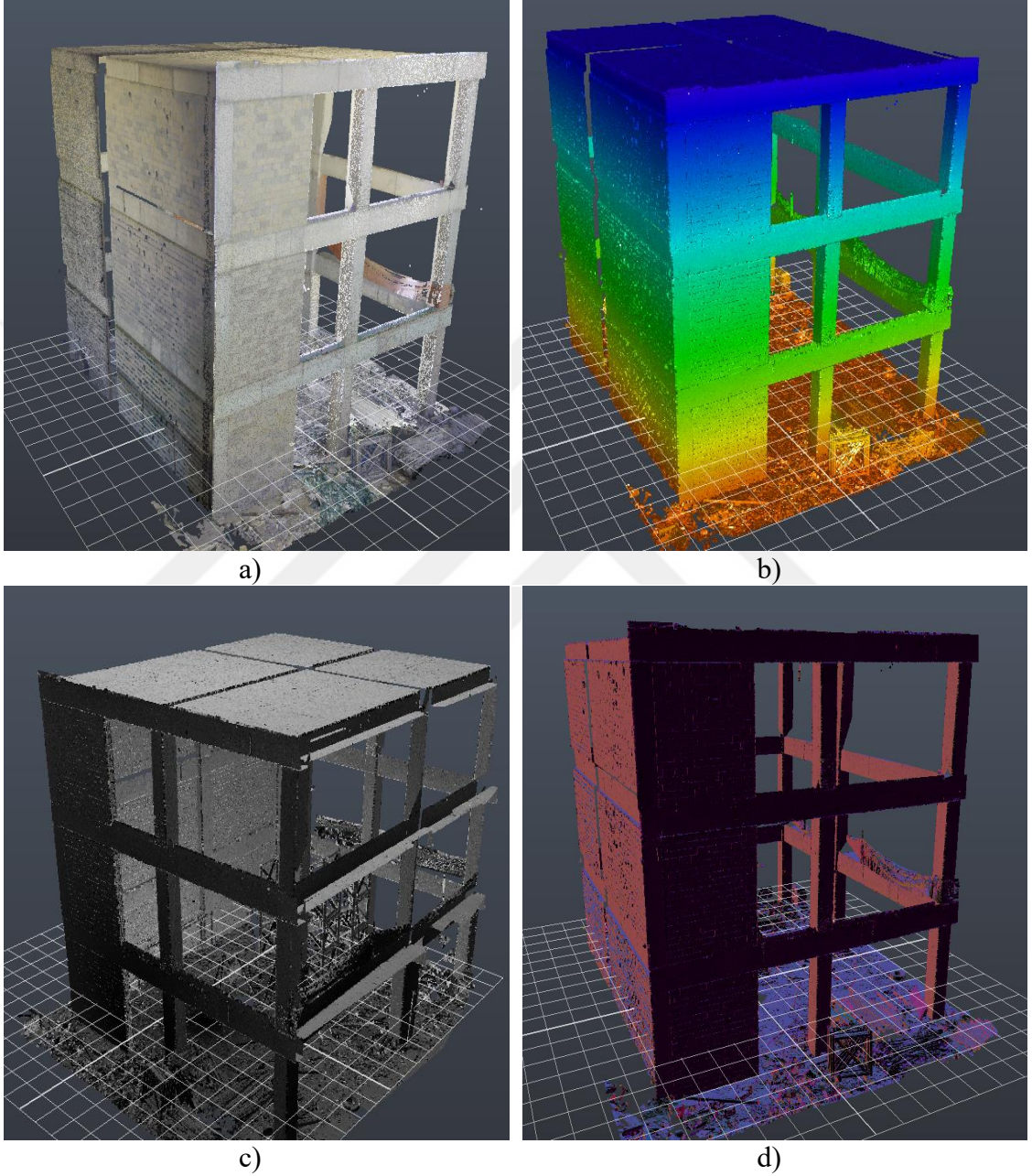
3.4.1. Betonarme yapı modeli

Betonarme yapı için geliştirilen 3D model; kolon, kiriş, döşeme, perde ve temel sistemleri gibi ana taşıyıcı elemanların ölçüleriyle dijital ortamda modellenmesi sağlanmıştır. Modelleme sürecinde, 3D lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu verileri referans alınmış; bu veriler Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yazılımlarıyla işlenerek mimari ve statik detaylar ayrıntılı bir şekilde modellenmiştir. Özellikle kolon-kiriş düğüm noktaları, donatı yerleşimleri ve taşıyıcı sistem geometrisi, analizlere temel teşkil edecek doğrulukla oluşturulmuştur. Betonarme yapının Revit ile modellenmesi hem yapının mevcut durumunun incelenmesi hem de güçlendirme senaryolarının sayısal ortamda test edilebilmesi açısından önemli bir aşama olmuştur.

3.4.1.1. Betonarme yapı YBM recap modeli

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisi, inşaat projelerinin tüm yaşam döngüsünü yönetmeye olanak tanıyan, 3 boyutlu dijital bir modelleme sürecidir. Tez kapsamında değerlendirilen örnek betonarme yapının bu süreçte elde edilen nokta bulut modeli, YBM entegre yazılımları aracılığıyla detaylandırılarak anlamlı, temiz ve düzenlenmiş bir hale getirilmiş ve uygun bir uzantıyla (.pts) kaydedilmiştir (Leica Geosystems, 2023). Nokta bulut verilerinin bulunduğu dosya, AutoDesk ReCap yazılımına yüklenerek görüntü kalitesi açısından işlem görmüştür (Autodesk, ReCap, 2026). Yükleme işleminin ardından örnek betonarme yapı üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. ReCap yazılımı kullanılarak, yapının tarama anındaki durumunu, üç boyutlu dijital modelini, deformasyonlarını, renkli (RGB) görüntülerini, yapı ve yapı elemanlarının ölçümlerini, detaylı kesitlerini, rölövelerini ve diğer teknik verileri elde edilmiştir (Şekil 3.15, Şekil 3.16). Mevcut betonarme yapıdan alınan hassas ölçüler sayesinde, yapının 3D modeli ve analiz modelinin elde edilmesi ile mevcut yapının detaylı incelenmesine yönelik bir veri seti elde edilmiştir (Şekil 3.17). ReCap üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar tamamlandıktan sonra düzenlenmiş nokta bulut verisi, ReCap

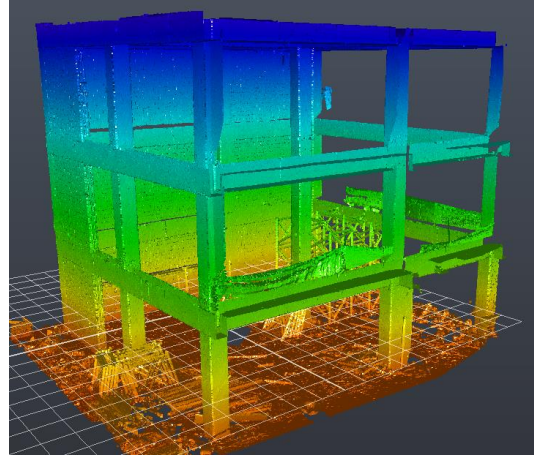
formatında (.rcp) yeniden kaydedilmiştir. Ardından, detayları belirlenmiş 3D dijital görüntü modeli ReCap üzerinden dijital arşiv oluşturacak şekilde kayıt altına alınmıştır. Bu sayede Revit modeli öncesinde yapı taşıyıcı sistemi detayları ile anlaşılmış ve modelleme açısından en etkili görünüm elde edilmiştir (Şekil 3.18, Şekil 3.19).



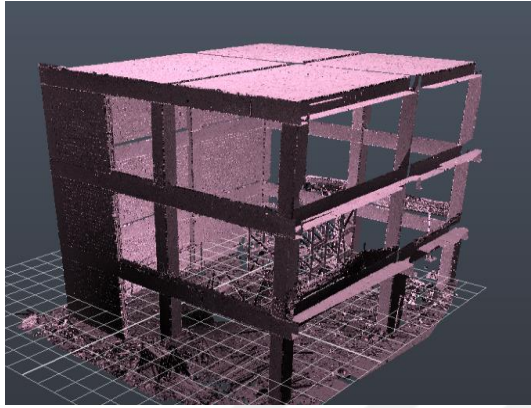
Şekil 3.15. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - X Yönü (Autodesk, ReCap 2026).



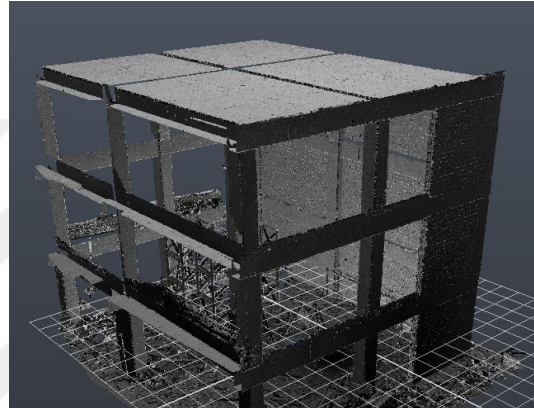
a)



b)

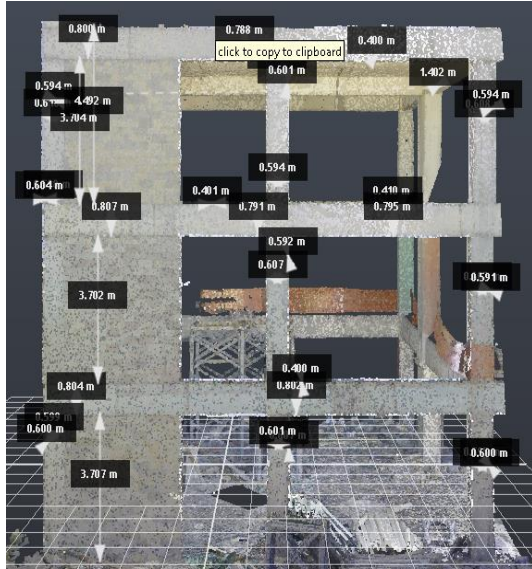


c)

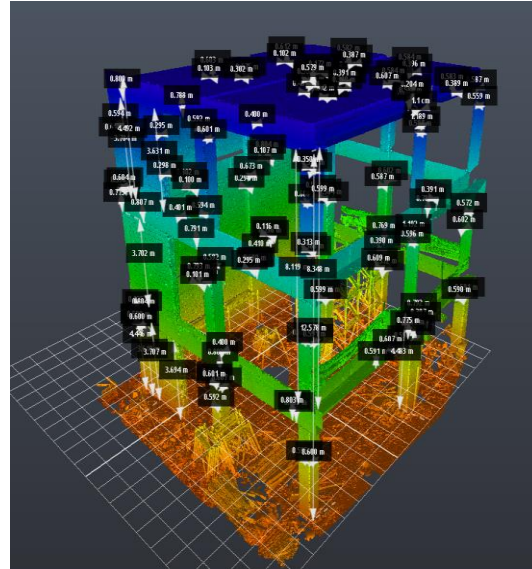


d)

Şekil 3.16. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - Y Yönü (Autodesk, ReCap 2026).



a)

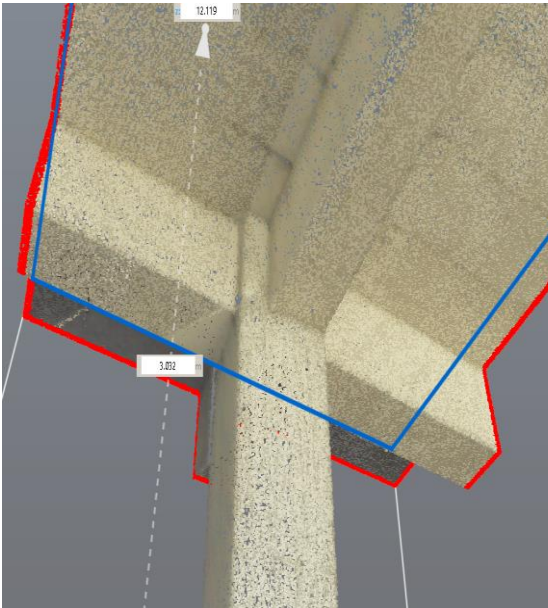


b)

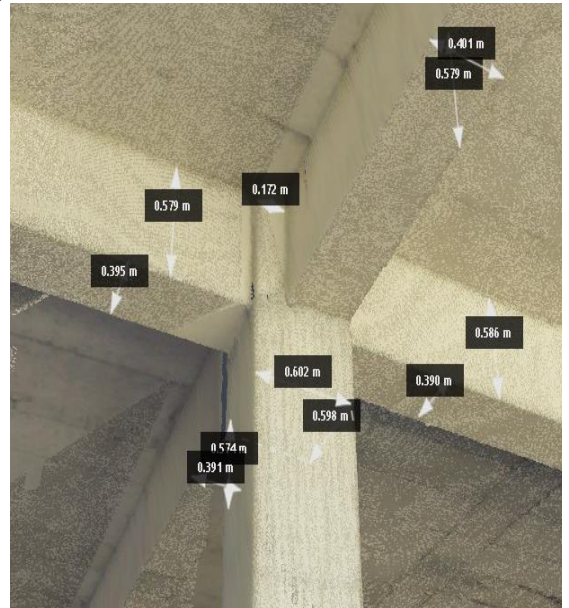
Şekil 3.17. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylandırılması (Autodesk, ReCap 2026).



a)



b)



c)

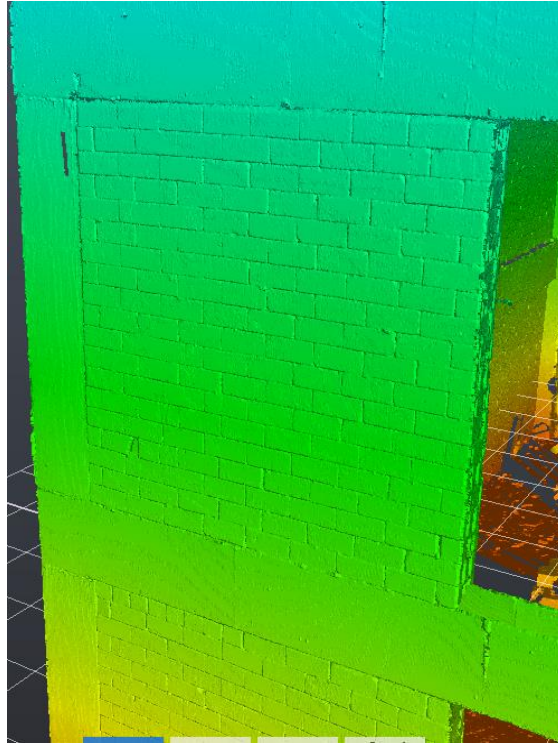
Şekil 3.18. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli – Kolon ve Kiriş Düğüm Noktası Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).



a)



b)



c)

Şekil 3.19. Mevcut Örnek Betonarme Yapının ReCap Modeli - Duvar Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

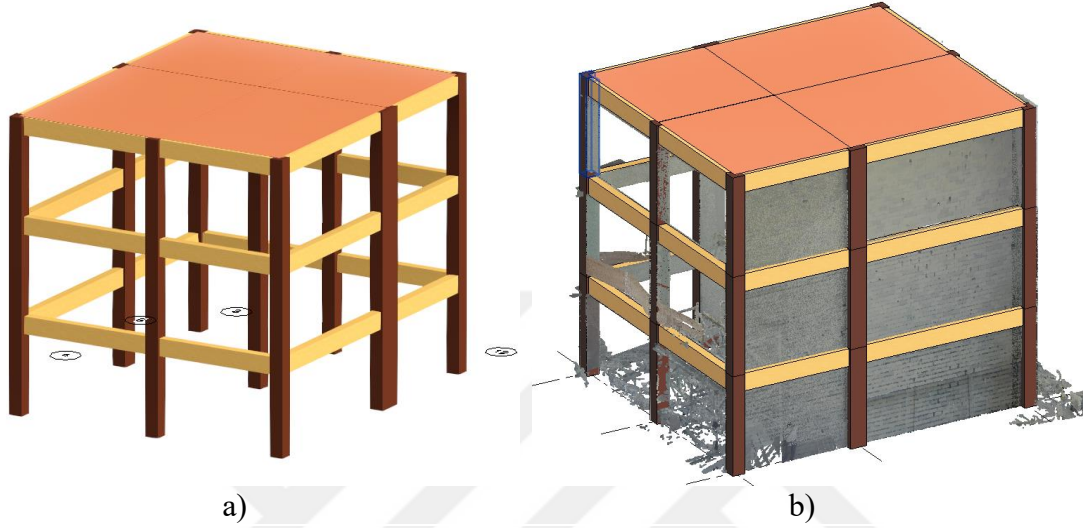
3.4.1.2. Betonarme yapı YBM revit modeli

ReCap yazılımı üzerinden kaydedilmiş (.rcp uzantılı), düzenlenmiş ve yapı detayları bulunan veriler, 3D dijital model üzerinde belirlenmiştir (Autodesk, ReCap 2026). Revit yazılımına, YBM uyumlu yazılımların entegrasyonu özelliği ile doğru ve hızlı bir şekilde betonarme yapı şablon olarak yüklenmiştir (Autodesk, Revit 2026). Bu entegrasyon, mühendislik ve mimarlık alanlarında önemli avantajlar sağlayarak, mevcut yapıların 3D modellenmesi ve verimliliğini de oldukça arttırmaktadır.

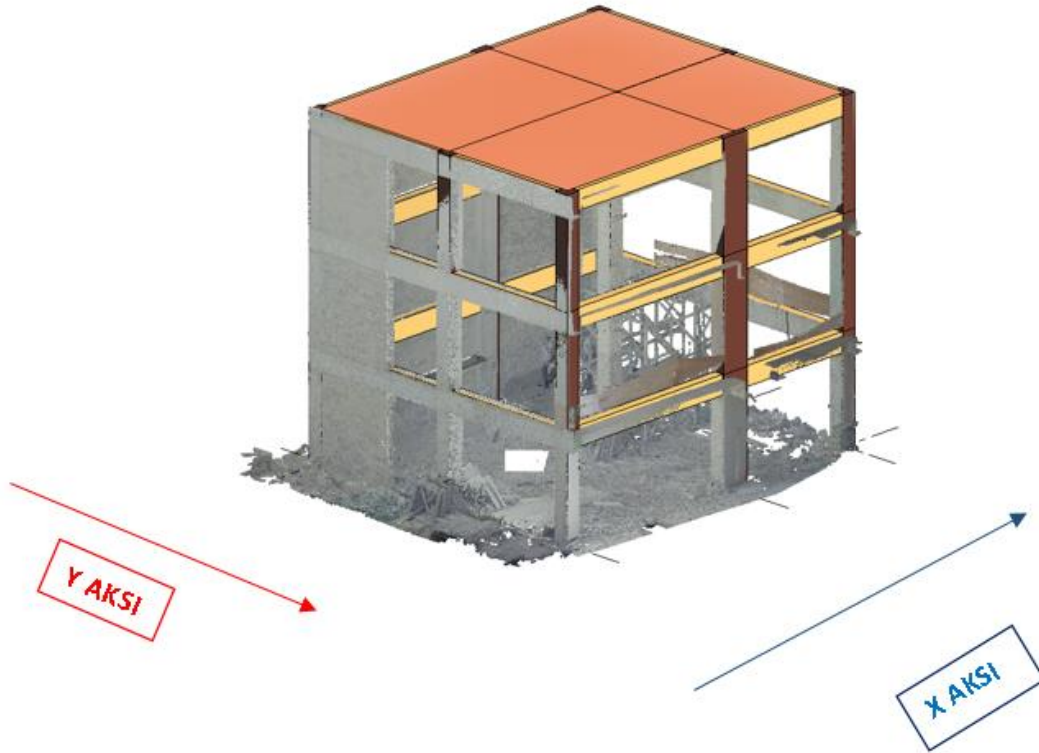
Revit üzerinden gerekli yükleme işlemi gerçekleştirildikten sonra mevcut betonarme yapının modellenmesi aşamasına geçilmiştir. Sahada elde edilen mevcut betonarme yapının düzenlenmiş nokta bulut verileri, AutoDesk Revit yazılımına yüklenerek mevcut yapının modellenmesi için bir şablon görevi görmüştür. Revit üzerinde düzenlenmiş nokta bulut verileri, zemin kat üzerinde bulunan mühendislik açısından gerekli olmayan detayların kaldırılması ile kat planları elde edilmiştir. Mevcut yapıya ait tüm kat planları Revit üzerinde şablon olarak belirlenmiştir. Mevcut betonarme yapının modellemeye esas ölçüleri için ReCap görüntüsü ve nokta bulutu verisi kullanılmıştır.

Revit üzerinden elde edilen kat planları şablonları kullanılarak örnek betonarme yapının saha çalışması sonuçları esas alınarak yapı elemanlarının ölçülerine göre modelleme işlemleri detaylıca gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20). Tüm kat planları için bu çalışma metodolojisi uygulanmış ve mevcut betonarme yapının 3 boyutlu dijital modeli elde edilerek x ve y yönlerinde her aşamada modelleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21). Elde edilen model ile düzenlenen 3 boyutlu nokta bulut görüntüsü, Revit üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 3.22, Şekil 3.23). Böylece sahadaki 3D lazer tarama ile elde edilen ve düzenlenmiş nokta bulut verisinin hızlı, hassas, doğru ve 3 boyutlu dijital modeli oluşturulmuştur. Revit yazılımında elde edilen 3 boyutlu dijital model üzerinden mevcut betonarme yapının geometrik özellikleri, mevcut yapının 3D görünümü (Şekil 3.24), cephe görünümü (Şekil 3.25), düşey veya yatay aks durumları, çerçeve görünümü (Şekil 3.26), kesit görünümü (Şekil 3.27), kat planları, birleşim detayları, genel yapısal eleman özellikleri, vaziyet planı, ölçüleri ve rölöveleri elde edilmiştir. Hem model hem de düzenlenmiş nokta bulutu verilerinin tam bir şekilde üst üste karşılaştığı görülmüştür. Dolayısıyla örnek betonarme yapının statik analizine esas model öncesi dijital ikiz modeli Revit üzerinde oluşturulmuştur. Bu modelden statik analize esas model elde edilebileceği gibi yapının güçlendirilme senaryosunda ise güçlendirme elemanlarının mimari detaylar ile çakışması 3D model üzerinden rahatlıkla gerçekleştirilebilecektir. Dolayısıyla tez

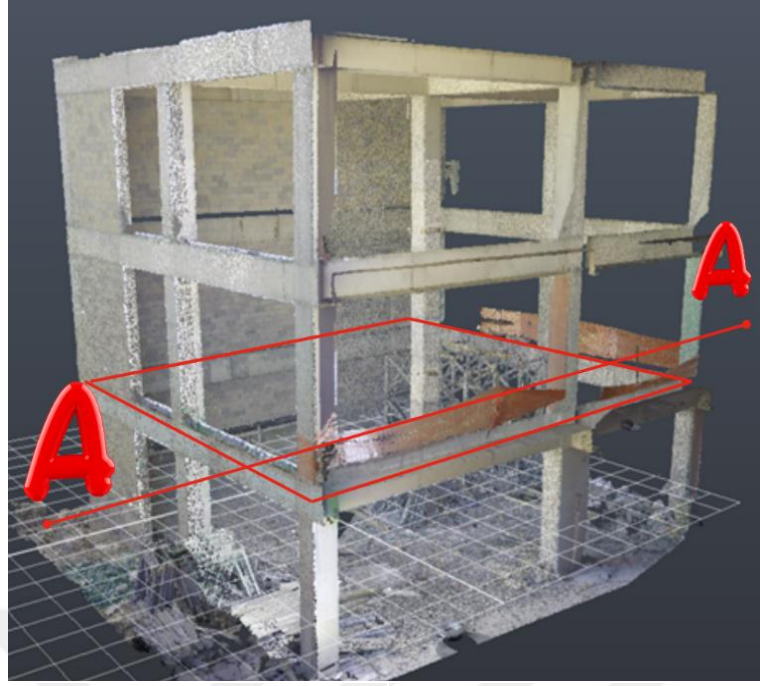
alışmasında rnek betonarme bir yapının performans analizi ve güçlendirilme senaryosu üzerinde 3D lazer tarama teknolojisinin ve YBM araçlarının uygulanabilirliği bu aşamada sağlanmıştır. Bu çerçevede tez çalışması ile geleneksel performans analizi ve güçlendirme çalışmalarına Yapı Bilgi Modellemesi yaklaşımının entegrasyonu sağlanabilmiştir.



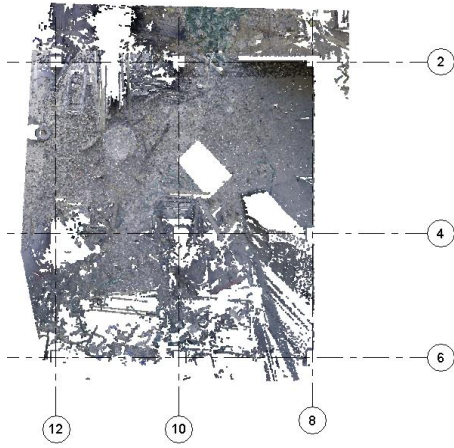
şekil 3.20. Mevcut rnek Betonarme Yapının Revit Modeli (Autodesk, Revit 2026).



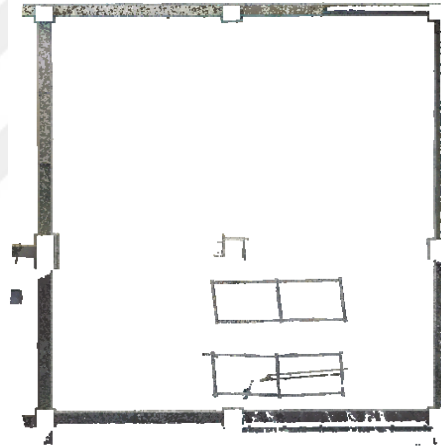
şekil 3.21. Mevcut rnek Betonarme Yapının Aks Ynleri (Autodesk, Revit 2026).



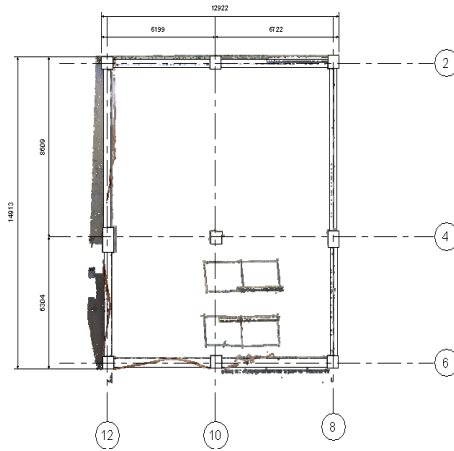
a)



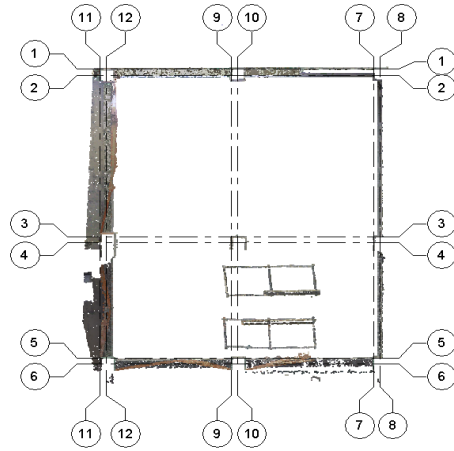
b)



c)

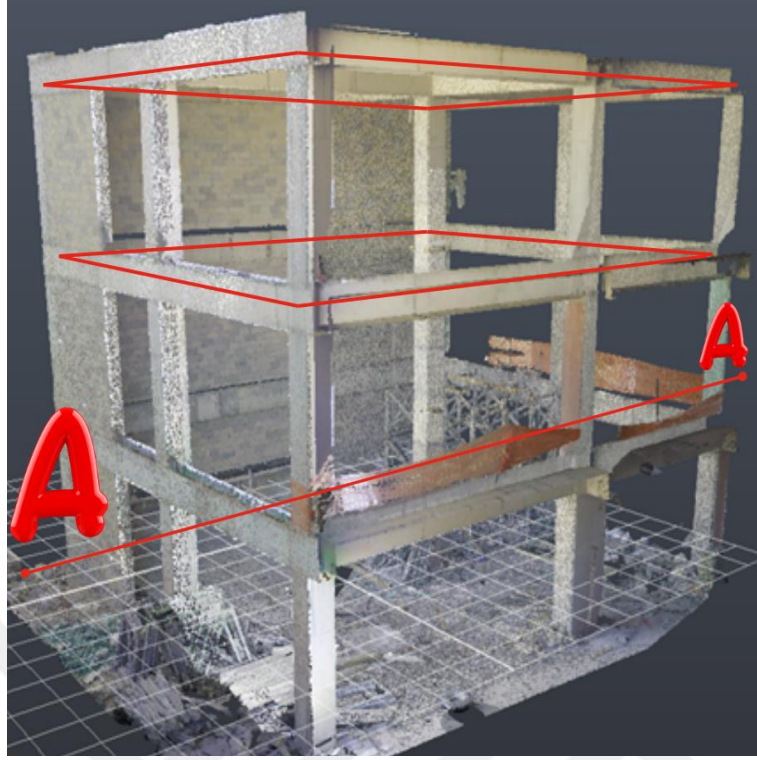


d)

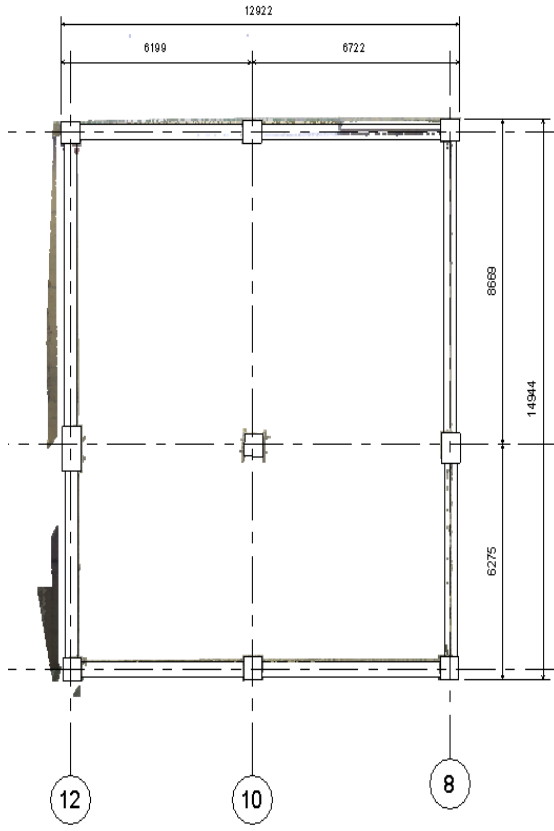


e)

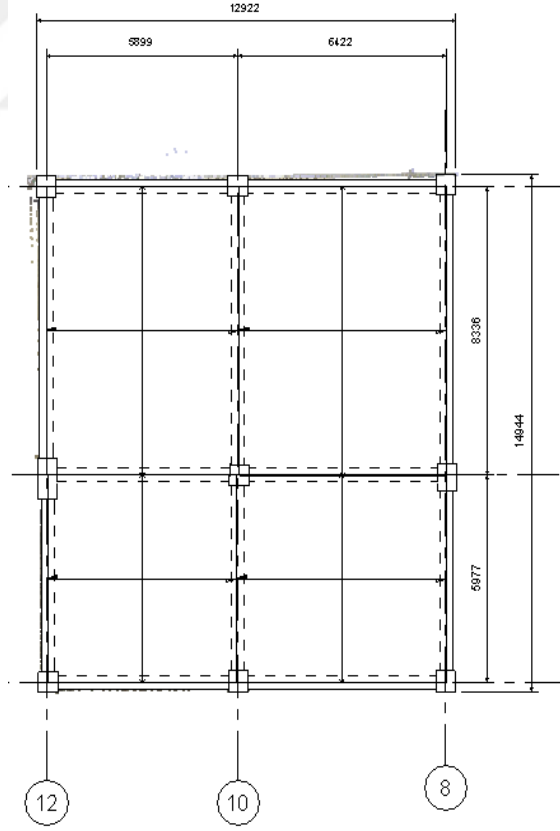
Şekil 3.22. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Vaziyet Planı ve 1. Kat Plan Görüntüleri (Autodesk, Revit 2026).



a)

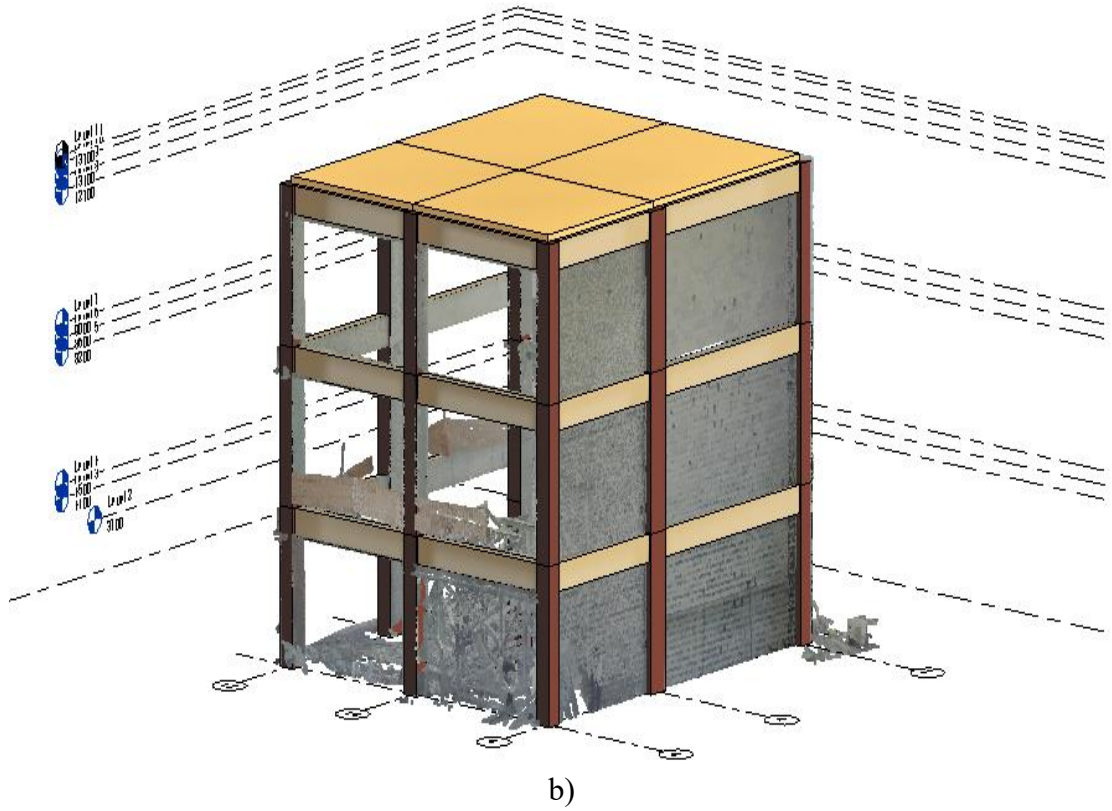
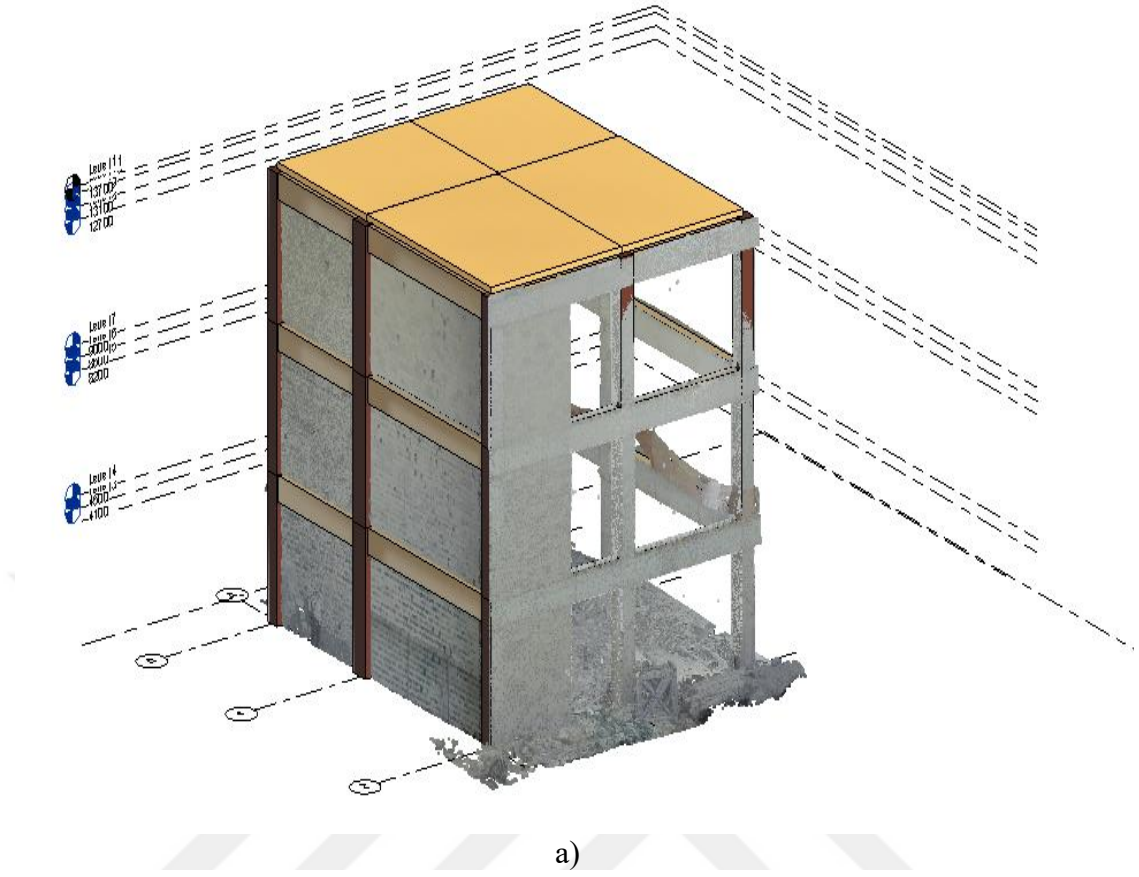


b)

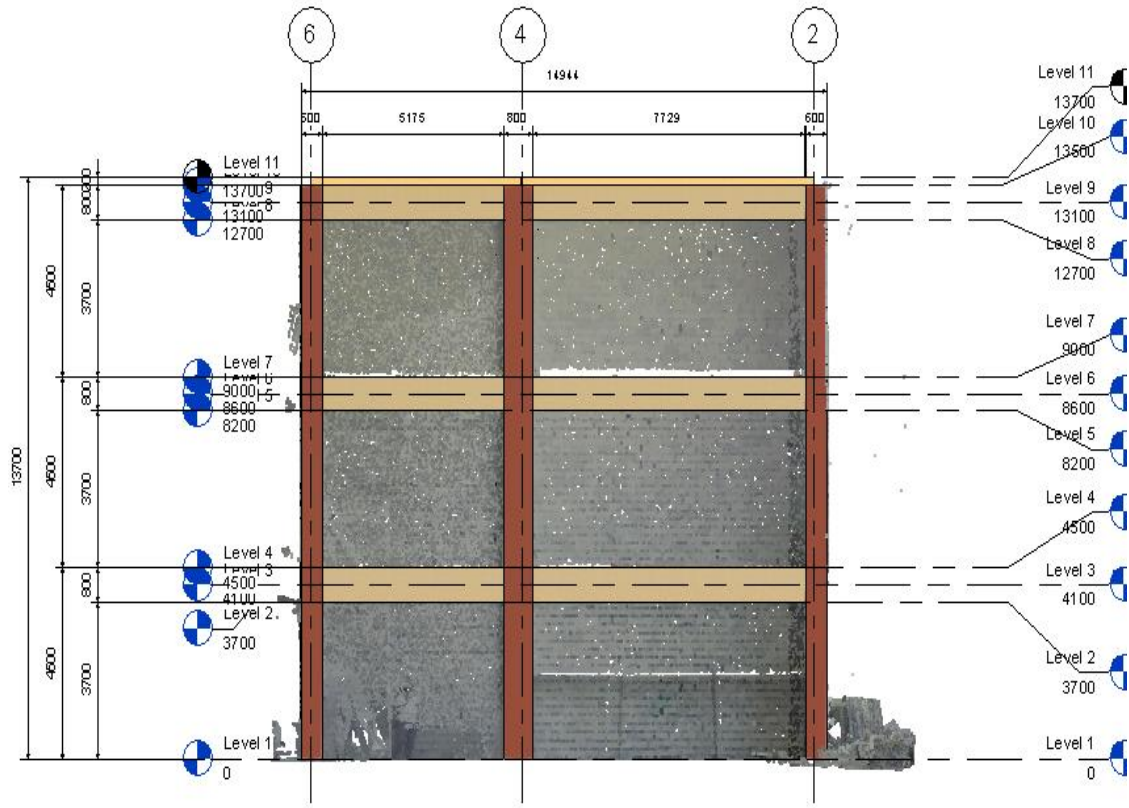


c)

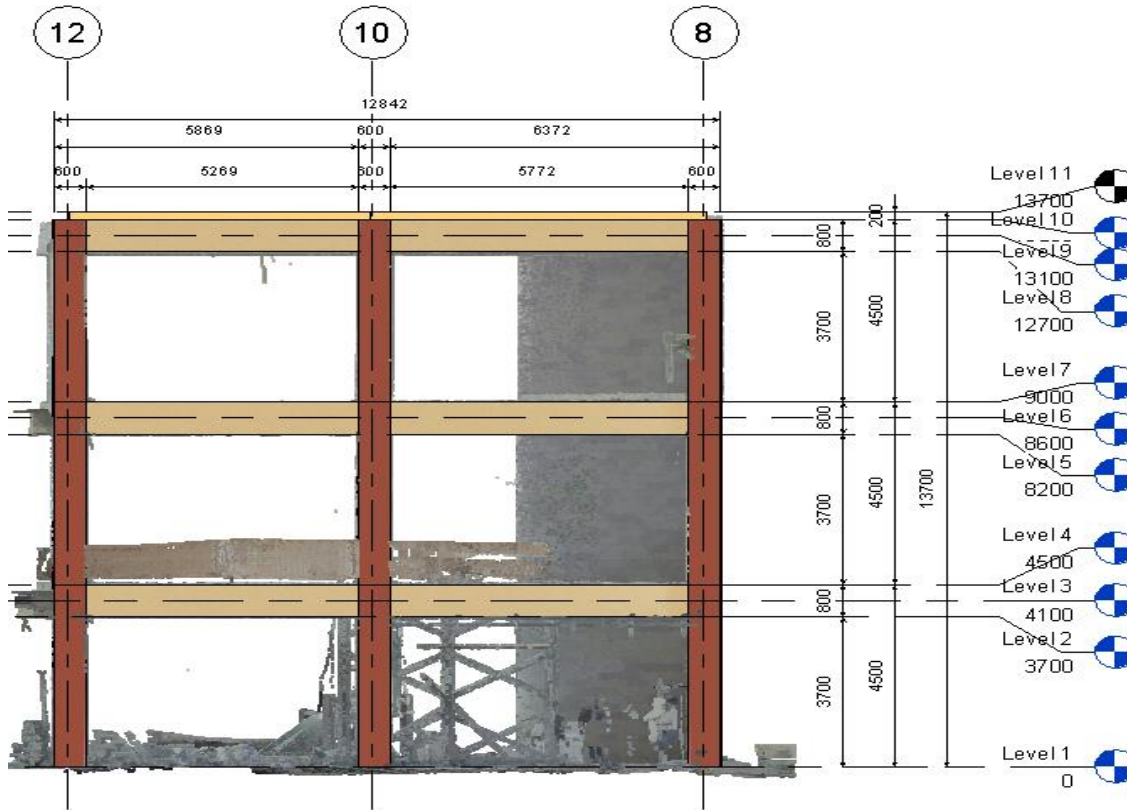
Şekil 3.23. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - 2. ve 3. Kat Plan Görüntüleri (Autodesk, Revit 2026).



Şekil 3.24. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - 3D Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

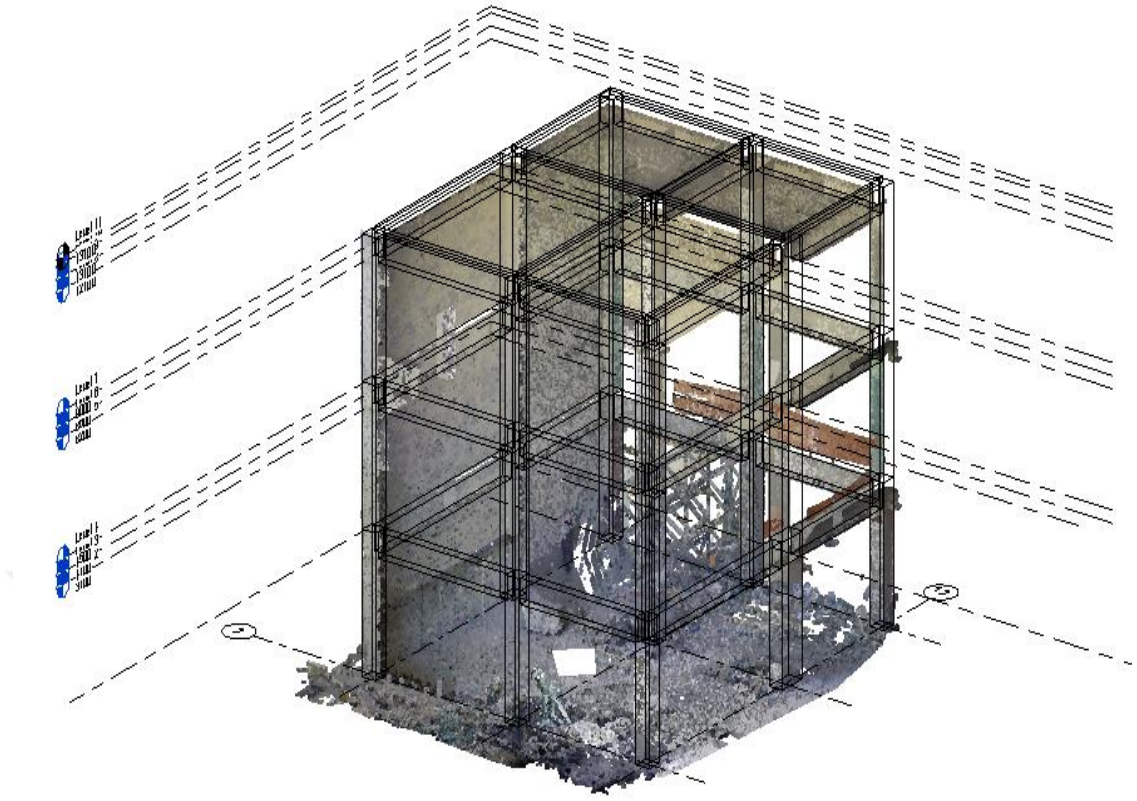


a)

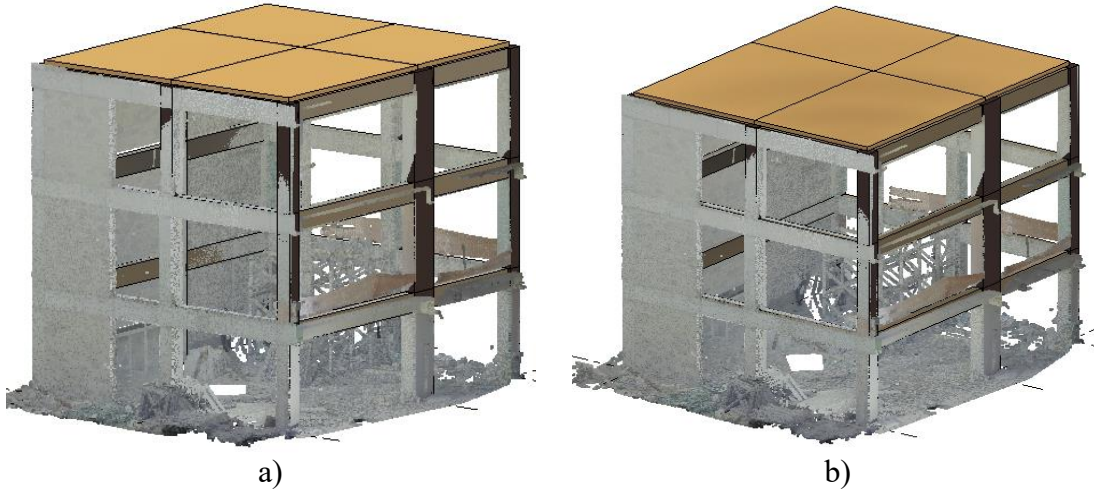


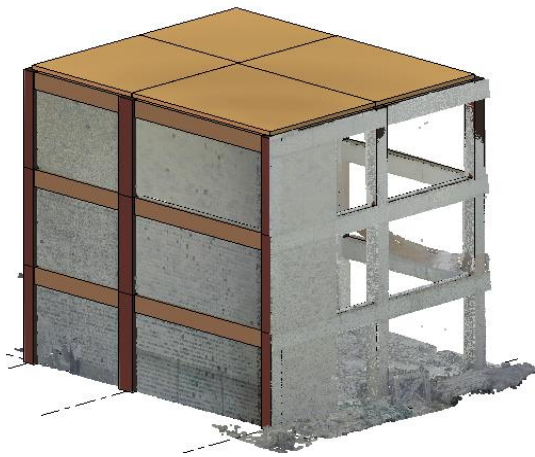
b)

Şekil 3.25. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

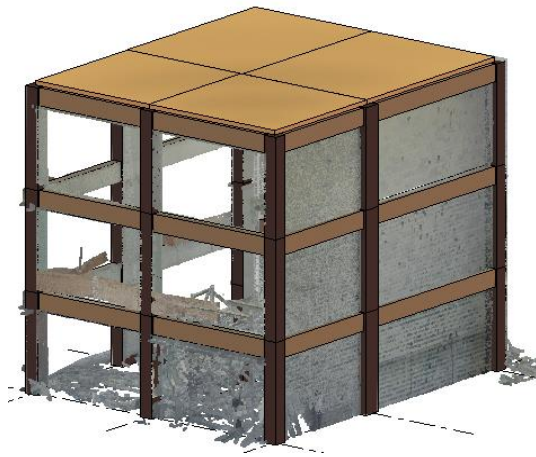


Şekil 3.26. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli – Çerçeve Görünümü (Autodesk, Revit 2026).

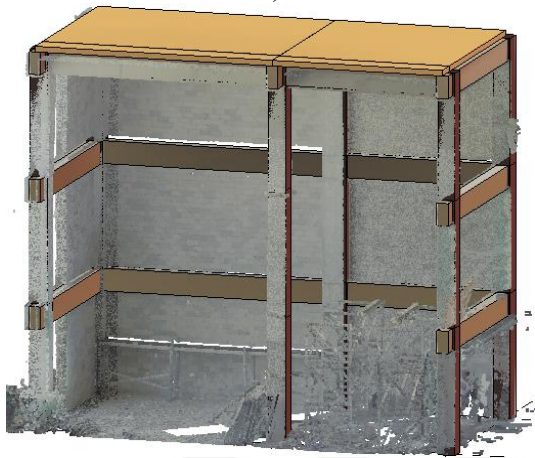




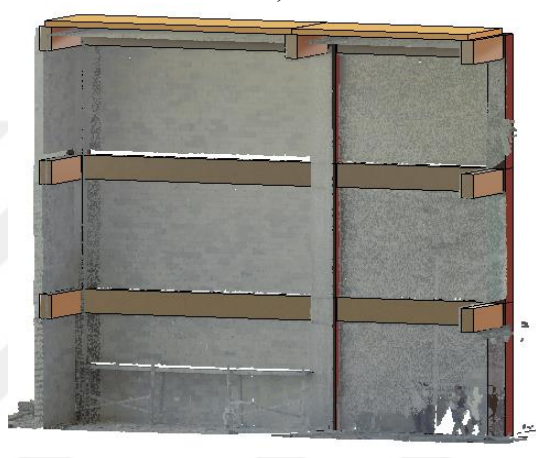
c)



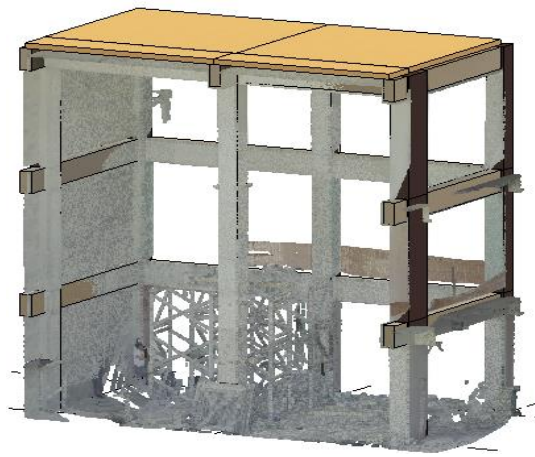
d)



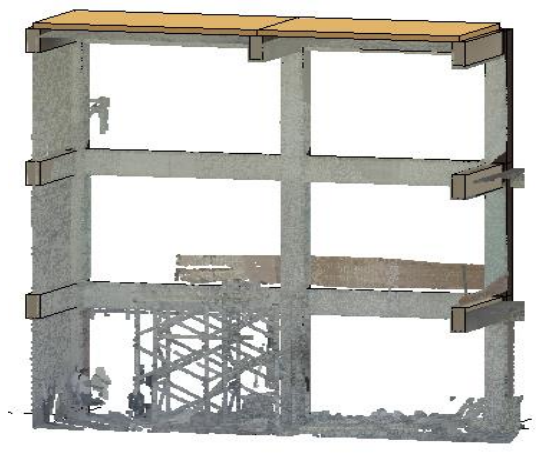
e)



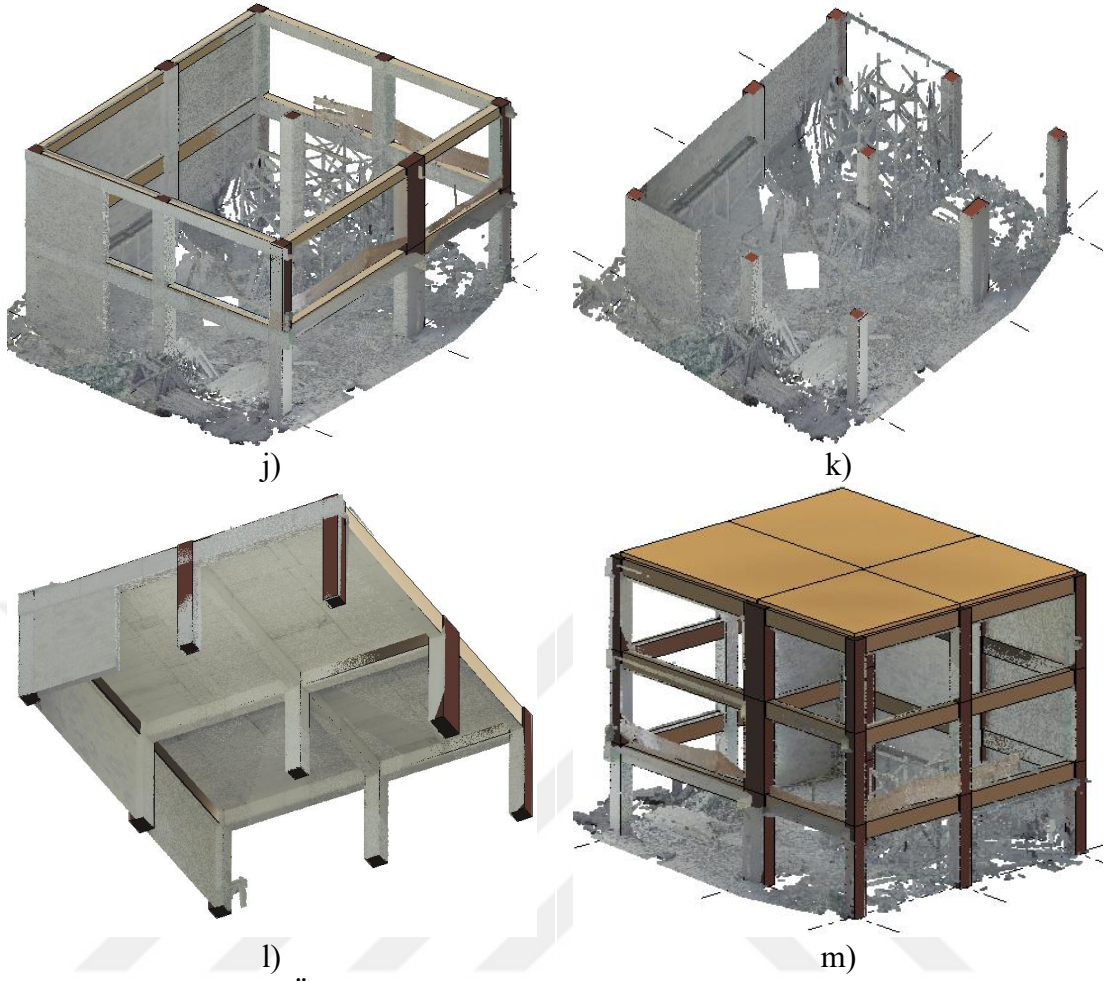
f)



g)



h)



Şekil 3.27. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Revit Modeli - Kesit Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

3.4.2. Çelik yapı modeli

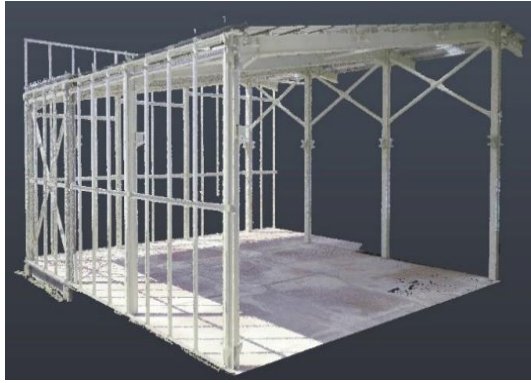
Çelik yapı sistemi için oluşturulan dijital model, profil elemanlarının (H, I, U tipi kesitler), birleşim plakalarının, bulon detaylarının ve çapraz kuşak sistemlerinin özgün biçimde modellenmesini içermektedir. Elde edilen tarama verileri doğrultusunda; taşıyıcı çerçeveler, rijit bağlantı noktaları ve düşey-yatay stabilite elemanları 3D ortamda detaylandırılmıştır. Modelleme, bağlantı rijitliği ve yük aktarım yolları açısından statik analizlerin temelini oluşturacak düzeyde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca YBM destekli platformlarda yapılan bu modelleme, üretim-montaj senaryolarının ön izleme imkânını da sunmuştur. Böylece çelik sistemin davranışı sadece analiz düzeyinde değil, aynı zamanda tasarım ve uygulama süreçleri açısından da değerlendirilebilir hale gelmiştir.

3.4.2.1. Çelik yapı YBM recap modeli

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), çelik yapılara özel bağlantı detaylarının ve montaj hassasiyetlerinin doğru biçimde temsil edilebilmesi için kritik önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda, yapılan 3D lazer taramalar sonucunda elde edilen nokta bulutu verileri, AutoDesk ReCap yazılımı aracılığıyla düzenlenmiş, filtrelenmiş ve anlamlı bir yapısal veri setine dönüştürülmüştür (Autodesk, ReCap 2026). Nokta bulut dosyaları uygun formatta (.pts) sisteme aktarılmış ve 3D model üzerinde deformasyon analizi, birleşim bölgelerinin görselleştirilmesi, profil elemanlarının konumsal doğruluğu ve ölçüm raporlamaları yapılmıştır (Leica Geosystems, 2023).

ReCap yazılımı üzerinden yürütülen çalışmalar sayesinde, örnek çelik yapı sisteminin rijit bağlantı noktaları, profil kesit değişimleri ve taşıyıcı sistem geometrisi detaylandırılmıştır. Renkli (RGB) veri bütünleşimi ile hem genel yapı algısı hem de taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan eleman farklılıkları belirgin hale getirilmiştir (Şekil 3.28). Tarama verileri tamamlandıktan sonra düzenlenmiş nokta bulutu çıktısı uygun formatta kaydedilerek 3D dijital görüntü modeli arşivlenmiştir. Mevcut örnek çelik yapı elemanlarının detayları (Şekil 3.29), temel detaylarının tespiti (Şekil 3.30), köşe koordinatlarının tespiti (Şekil 3.31) belirlenmiştir. Böylece, Revit yazılımına aktarım öncesi hazırlanan bu 3D görüntü modeli ile çelik yapının taşıyıcı sistemin teşkili net bir şekilde anlaşılmış ve sonraki 3D dijital modelleme aşaması için temel oluşturmuştur.



a)



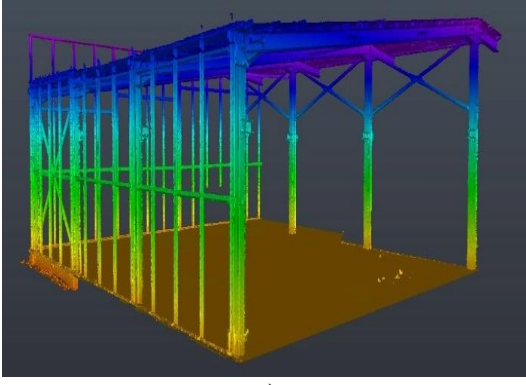
b)



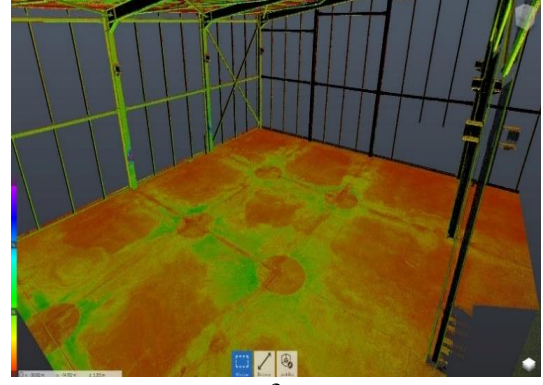
c)



d)

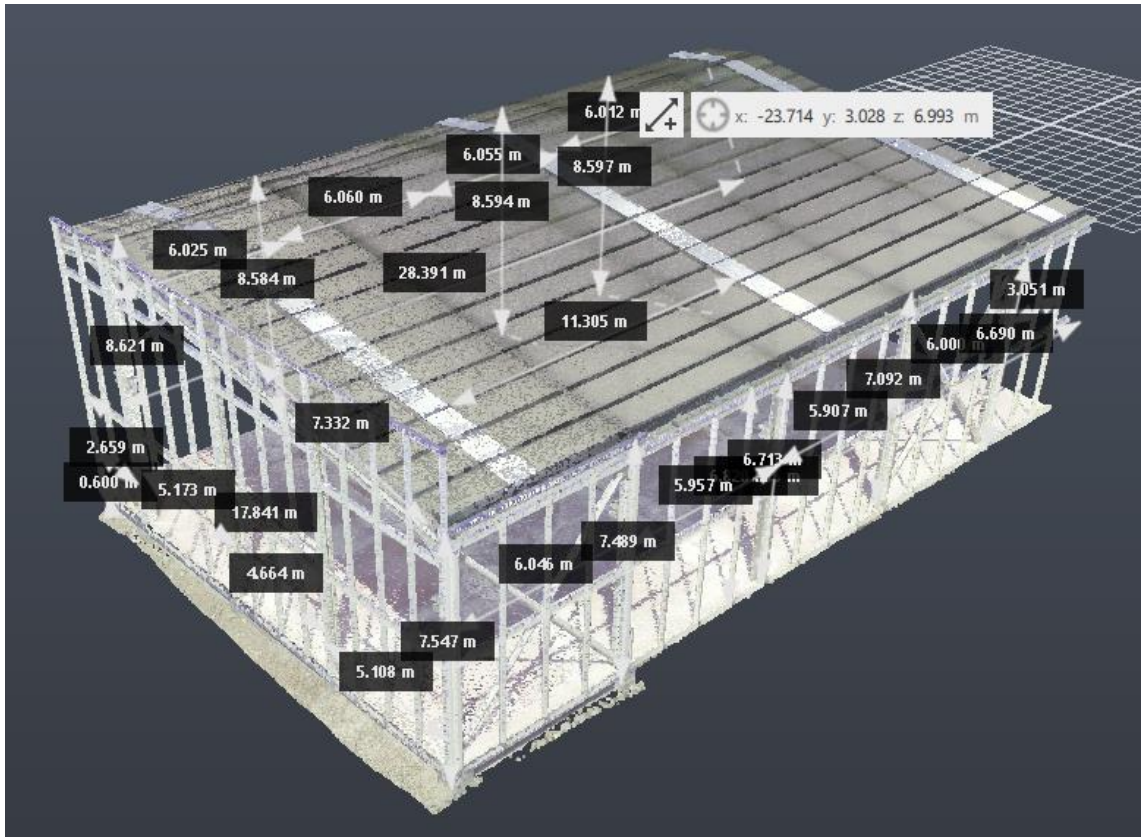


e)

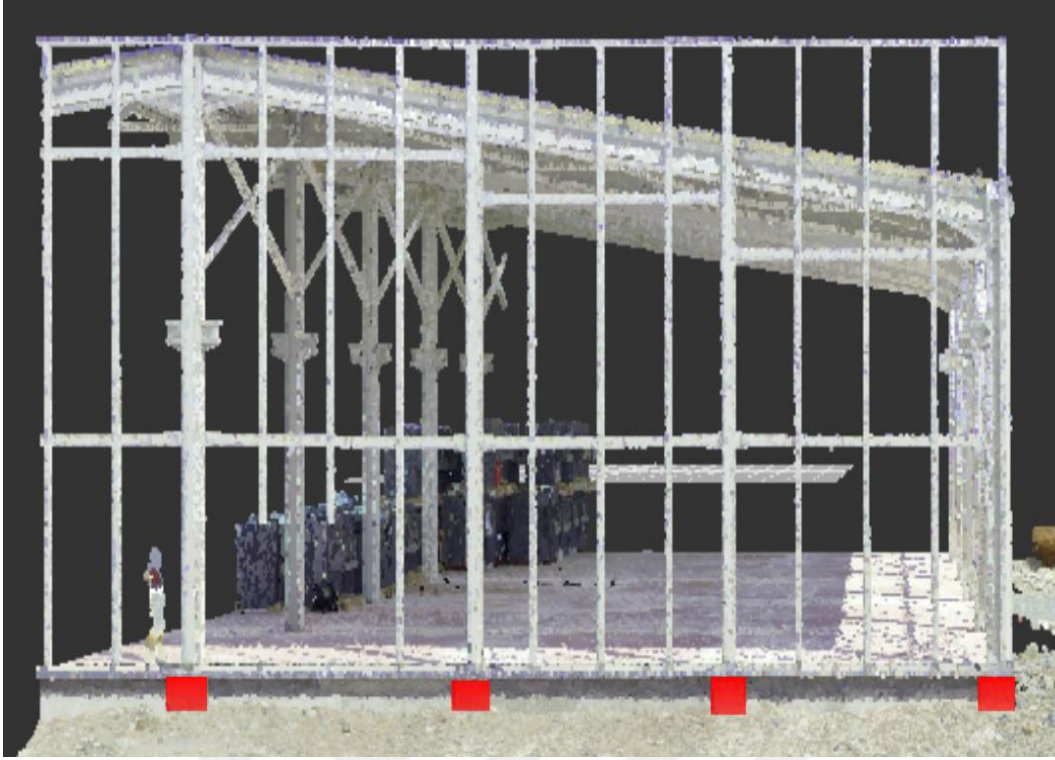


f)

Şekil 3.28. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli (Autodesk, ReCap 2026).



Şekil 3.29. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

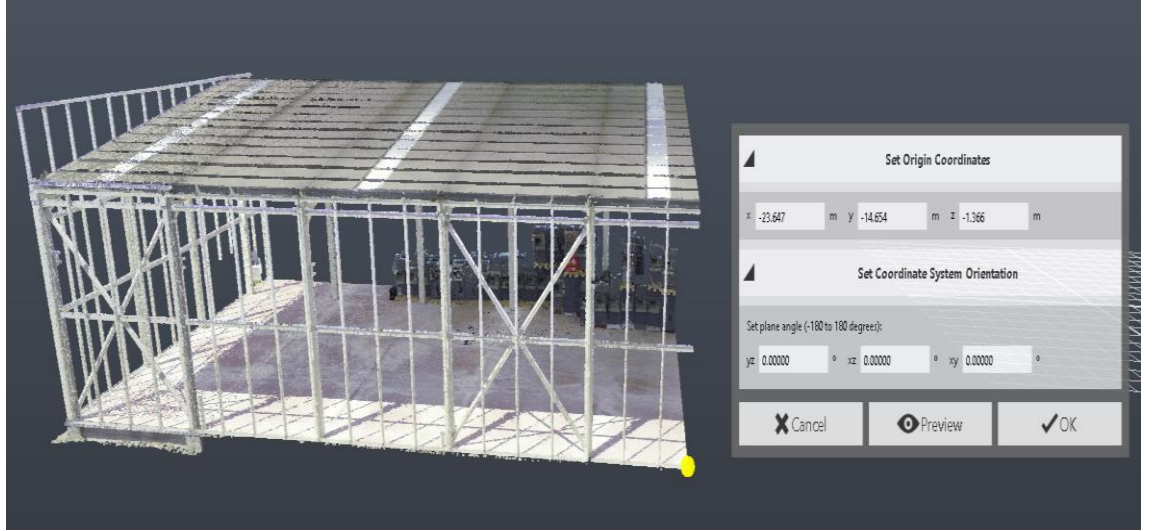


a)



b)

Şekil 3.30. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Temel Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).



a)



b)

Şekil 3.31. Mevcut Örnek Çelik Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

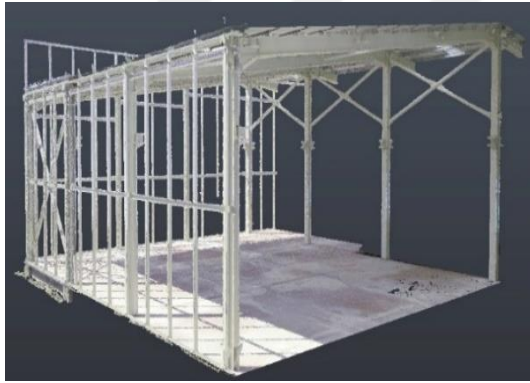
3.4.2.2. Çelik yapı YBM revit modeli

3D dijital görüntü modeli, YBM uyumlu yazılımların sağladığı entegrasyon desteğiyle Revit platformuna eksiksiz ve doğru bir biçimde aktarılmıştır (Autodesk, ReCap 2026). Bu geçiş, çelik yapıların dijital ortamda detaylandırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamış; mühendislik ve tasarım süreçlerinde verimliliği arttıracak bir zemin oluşturmuştur.

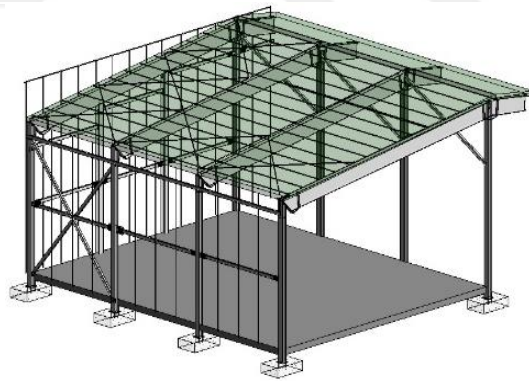
3D modelleme süreci boyunca, sahada elde edilen nokta bulutu verileri referans alınarak Revit ortamında örnek bir çelik yapı sistemi modellenmiştir (Autodesk, Revit 2026). Nokta bulut verileri, taşıyıcı olmayan kısımlar temizlenerek zemin kat üzerinden başlamak suretiyle kat planlarının çıkarılmasında şablon olarak kullanılmıştır. Elde edilen

tüm kat planları, mevcut yapının dijital temsilde baz alınmış ve taşıyıcı sistemin yerleşimi bu kat planları üzerinden tanımlanmıştır.

Modellemeye esas eleman ölçümleri hem ReCap görselleri hem de nokta bulutu verilerinden faydalanılarak belirlenen mevcut çelik yapının rijit çerçeve düzeni, profil yerleşimleri, birleşim noktaları ve kuşak sistemleri Revit yazılımı üzerinde detaylı biçimde modellenmiştir. Her kat planı için bu yöntem tekrar uygulanarak mevcut örnek çelik yapının 3D dijital modeli oluşturulmuştur. 3D model ile nokta bulutu eşleşmeleri Revit ortamında birebir uyumlu olacak şekilde sağlanmıştır. Oluşturulan 3D model üzerinden, taşıyıcı elemanların boyutsal özellikleri, düşey ve yatay aks konumları, kesit görünüşleri (Şekil 3.32), kat planları ile temel modeli (Şekil 3.33), cephe görünüşleri (Şekil 3.34), birleşim detayları, plan çizimleri, rölöve bilgileri ve genel mühendislik verileri elde edilmiştir. Böylelikle, sahadan elde edilen lazer tarama verileri aracılığıyla örnek çelik yapıya ait detaylı bir dijital ikiz üretilmiş; bu model hem performans analizi öncesi statik değerlendirmelere hem de olası güçlendirme çözümlerinin mimari düzlemle çakışma analizlerine temel teşkil edecek nitelikte olmuştur. Sonuç olarak bu tez çalışmasında, örnek çelik yapı özelinde, YBM teknolojisinin geleneksel mühendislik süreçlerine entegrasyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir.



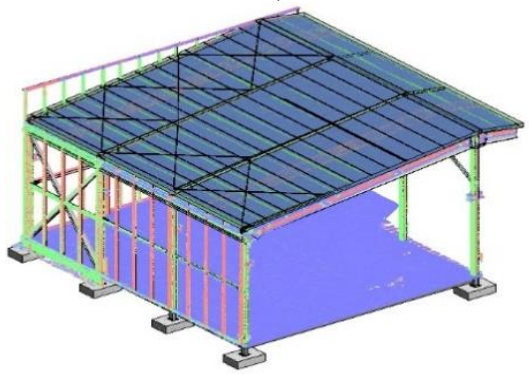
a)



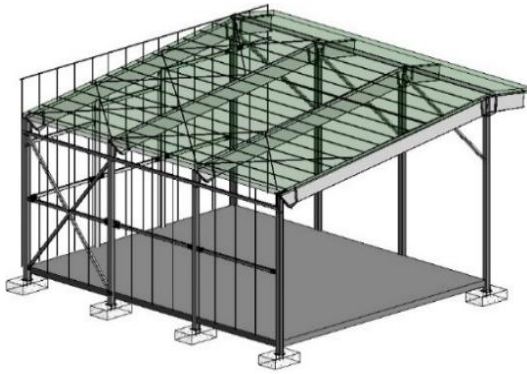
b)



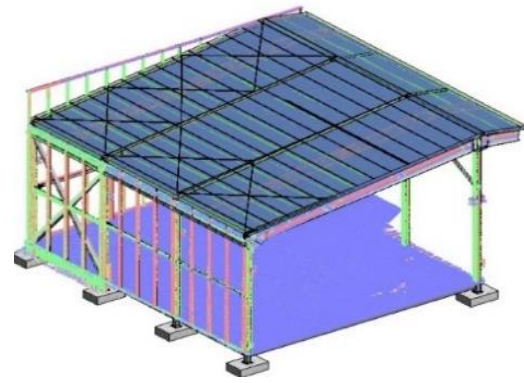
c)



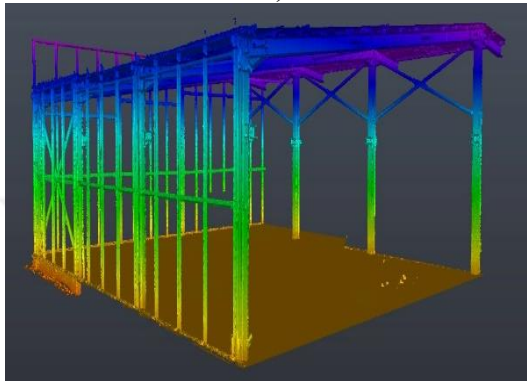
d)



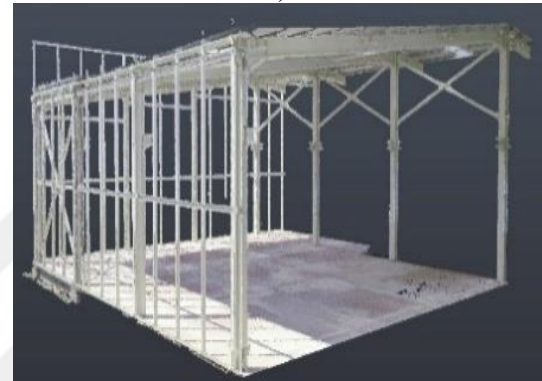
e)



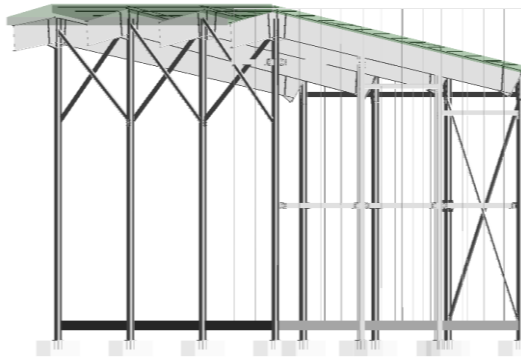
f)



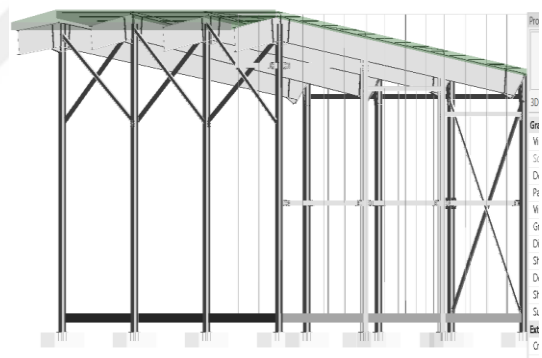
g)



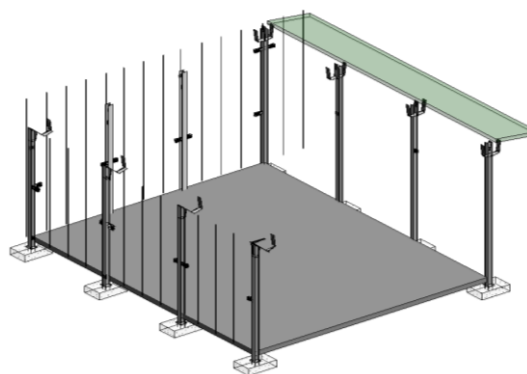
h)



j)



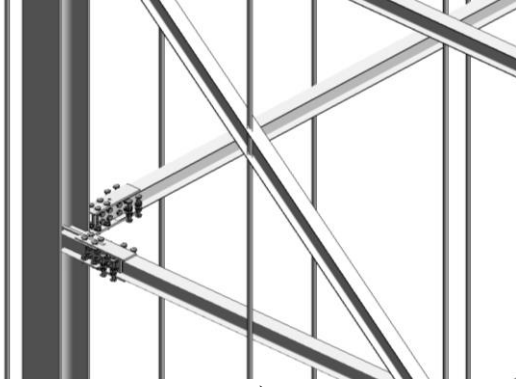
k)



l)



m)

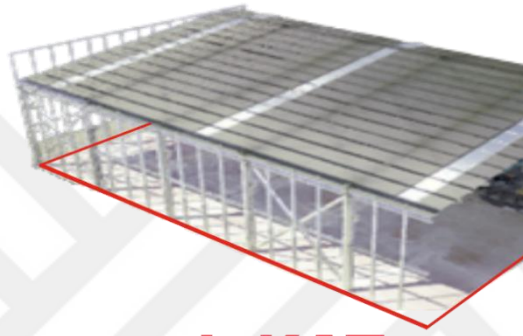


n)



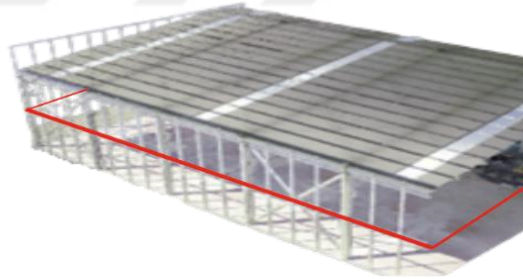
p)

Şekil 3.32. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli – Kesit Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).



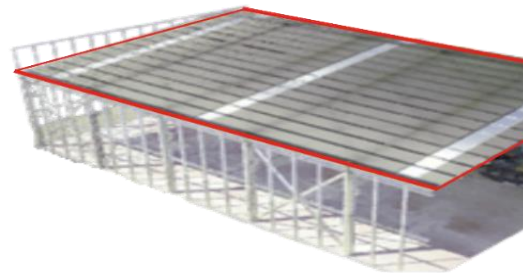
1. KAT

a)



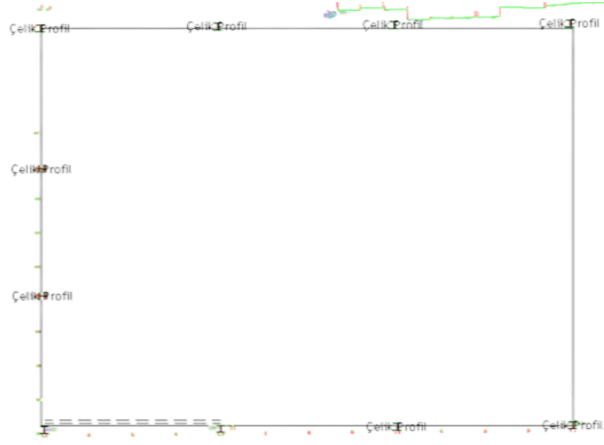
2. KAT

b)

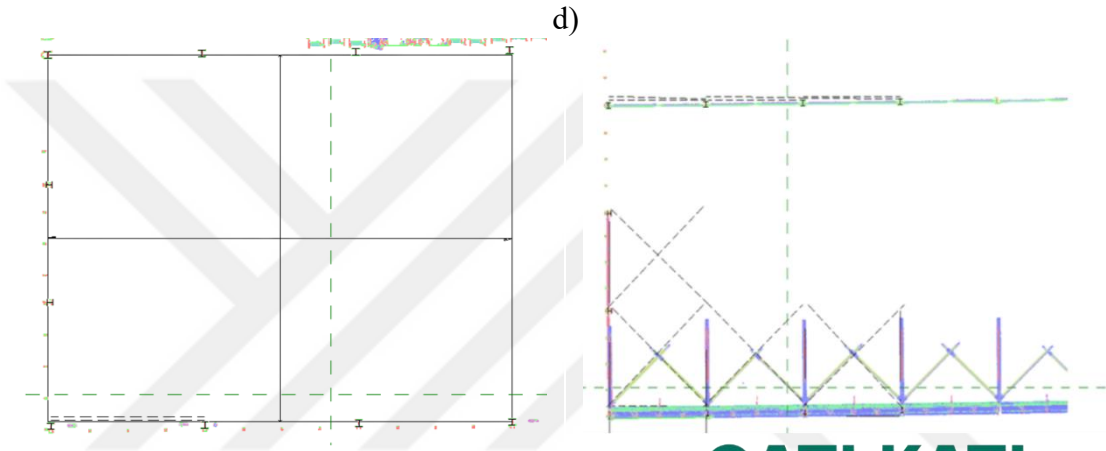


ÇATI KATI

c)



1. KAT PLANI

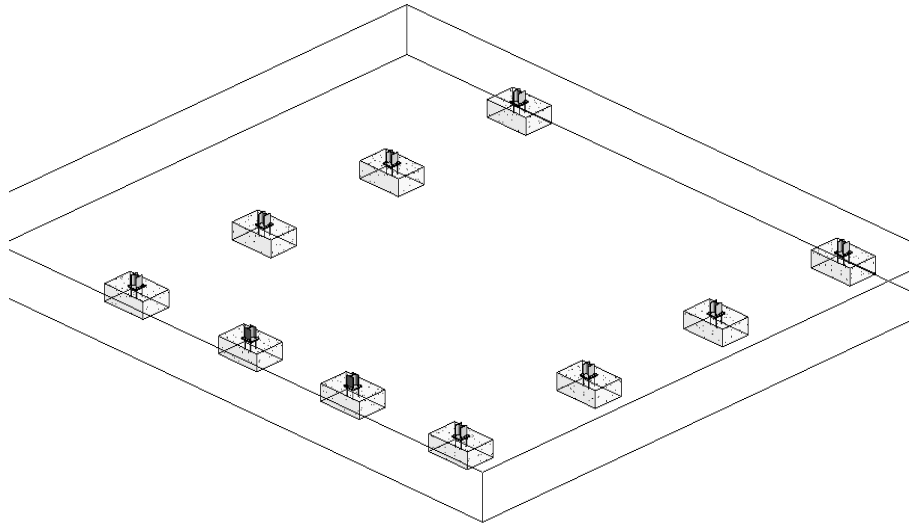


2. KAT PLANI

ÇATI KATI PLANI

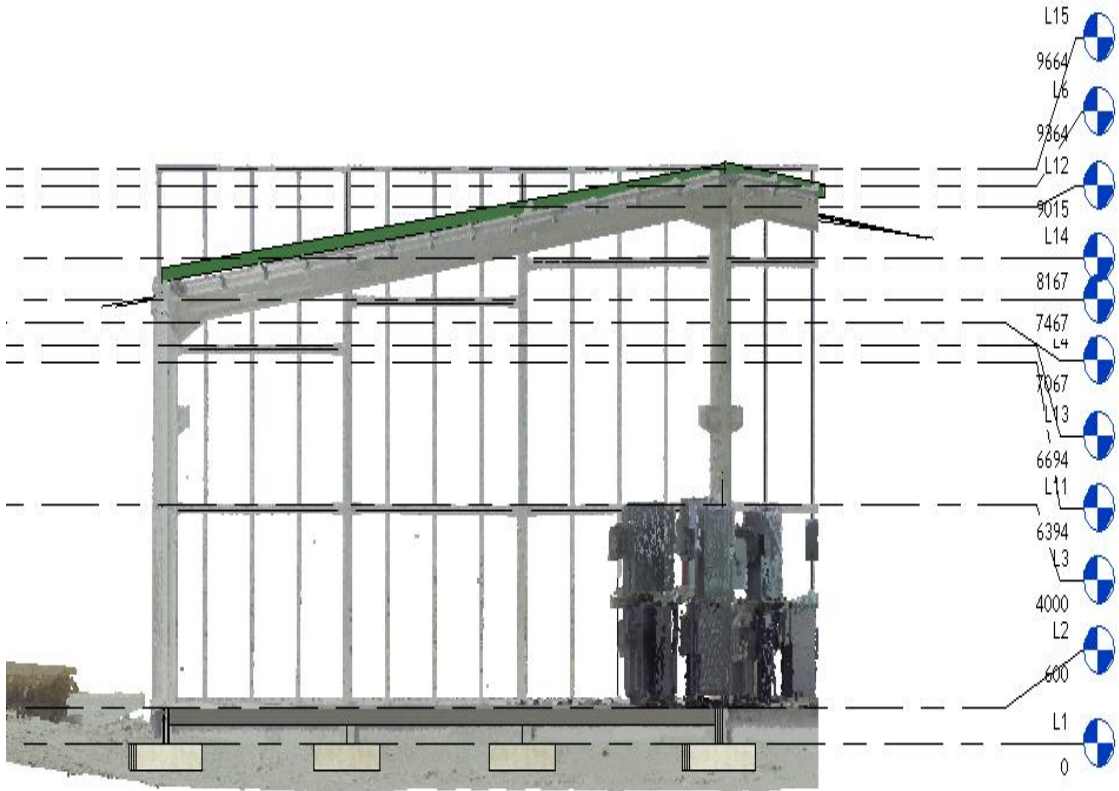
e)

f)

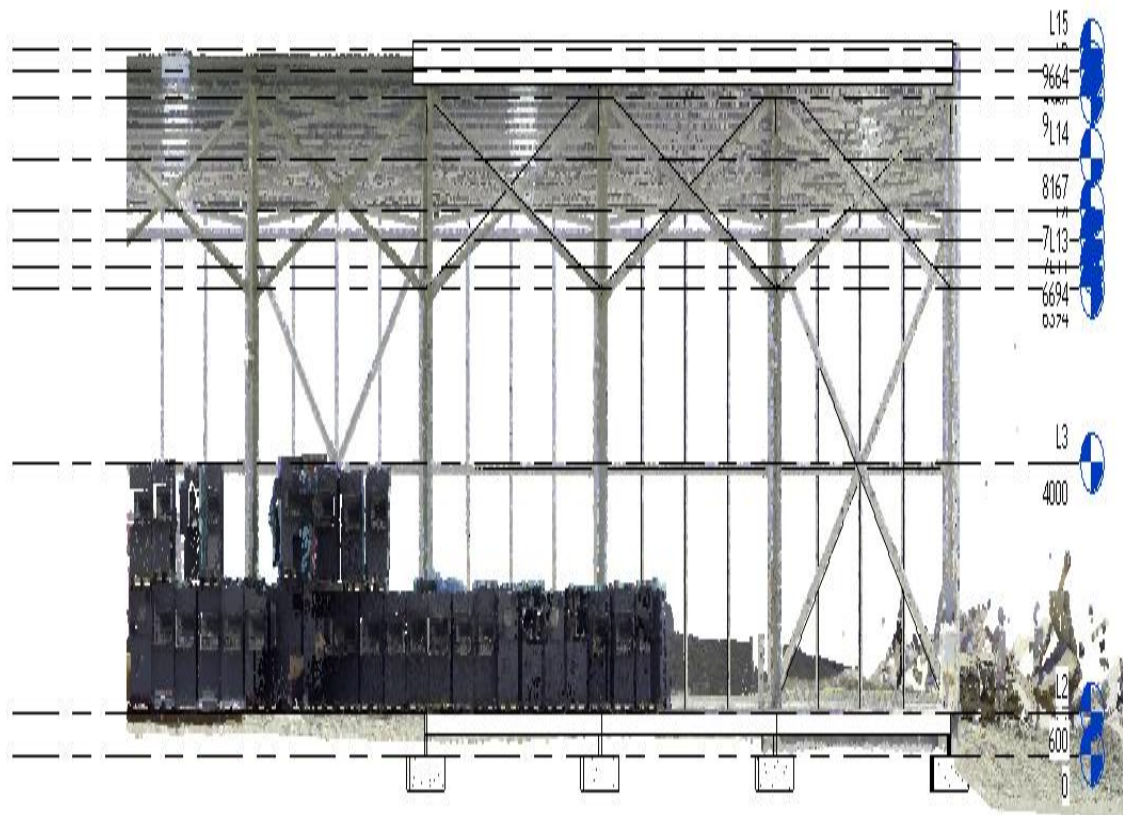


g)

Şekil 3.33. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli - 1.Kat, 2. Kat, Çatı Katı Plan Görüntüleri ve Temel Modeli (Autodesk, Revit 2026).



a)



b)

Şekil 3.34. Mevcut Örnek Çelik Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

Yapılan çalışma ile betonarme örnek yapı modelinden farklı olarak birleşim detaylarının da belirlenebilmesinin yapısal değerlendirme açısından önemli bir avantaj sunacağı düşünülmüştür. Çünkü mevcut çelik bir yapının deprem performans değerlendirmesinde taşıyıcı elemanların yeterliliklerinin yanında düğüm noktalarının uygun biçimde teşkili önem arz etmektedir. Genellikle mevcut çelik yapıların değerlendirilmesinde yapı yüksekliği de dikkate alındığında her düğüm noktasının teşkilinin tespiti mümkün olamayabilmektedir. 3D lazer tarama ile YBM entegrasyonu sayesinde çelik yapılara yönelik birleşim noktalarının teşkili detaylandırılabilmiştir. Ayrıca çelik yapı sistemlerinde kolon yüksekliklerinin fazla olması ve yapısal elemanların narinliğinden dolayı burulma ve burkulma etkileri meydana gelebilmektedir. Çelik yapı sistemlerinin sünek tasarımlar olması sebebiyle bu etkiler gevrek bir yapı taşıyıcı sistemine oranla belli bir sürece yayılabilmektedir. 3D lazer tarama teknolojisi ile mevcut taşıyıcı elemanlarda bu etkilerin geometrik ve çatlak modeli olarak tespit edilebilmesi yapısal değerlendirmede saha verilerinin önemle dikkate alınabilmesi imkanını sunmaktadır.

3.4.3. Prefabrik yapı modeli

Prefabrik yapıların modelleme sürecinde, modüler yapı elemanlarının (panel duvarlar, döşeme plakaları, ön üretimli kolon ve kirişler) konum, boyut ve birleşim detayları esas alınmıştır. Her bir yapı bileşeni, üretim sonrası şantiye montaj sırasına göre modellenmiş ve arayüz yüzeyleri dikkatlice tanımlanmıştır. Tarama verilerinden elde edilen geometrik veriler doğrultusunda oluşturulan dijital model, montaj doğruluğunu kontrol etme ve hatalı birleştirme risklerini önceden analiz etme imkânı sunmuştur. Kullanılan yazılımlar aracılığıyla, taşıyıcı sistem dışındaki bölümler de ayrıştırılarak analitik odaklı bir model formu geliştirilmiştir. Mevcut örnek prefabrik yapı özelinde bu yaklaşım, üretim, tasarım ve saha koordinasyonunun sağlanmasına katkı sağlamıştır. Çelik yapı örneğinden farklı olarak taşıyıcı eleman bağlantı detayları görülemediğinden dolayı 3D lazer tarama ile görüntülenmesi mümkün olmamıştır.

3.4.3.1. Prefabrik yapı YBM recap modeli

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), prefabrik yapılarda hem üretim hem montaj süreçlerinin dijital olarak izlenmesine olanak tanıyan önemli bir teknolojidir. Bu tez çalışması kapsamında, sahada elde edilen nokta bulutu verileri AutoDesk ReCap yazılımına aktarılmıştır (Autodesk, ReCap 2026). Düzenlenmiş .pts uzantılı nokta bulut

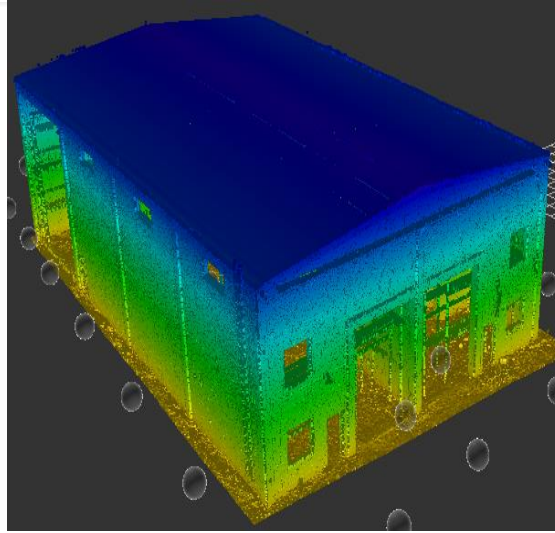
verileri uygun formatta yüklenerek, modellenenebilir bir hale getirilmiştir (Leica Geosystems, 2023). ReCap ortamında, panel duvarlar, döşeme plakaları, kolon ve kiriş gibi ön üretimli elemanlar detaylıca analiz edilmiş; birleşim yüzeyleri, hizalama doğruluğu ve montaj boşlukları üç boyutlu olarak görselleştirilmiştir.

Tarama sırasında kaydedilen renkli (RGB) veriler yardımıyla, prefabrik elemanların konumu, geometrisi ve yüzey özellikleri detaylı biçimde yorumlanmış; 3D görüntü modelin genel yapısı mühendislik çalışmalarına uygun olacak şekilde temizlenip sadeleştirilmiştir (Şekil 3.35). ReCap üzerinde yapılan çalışmalarda; köşe koordinatlarının tespiti (Şekil 3.36), oturma planlamaları (Şekil 3.37), montaj kalitesi, taşıyıcı eleman yerleşimleri, kolon, kiriş ve duvar gibi yapı elemanlarının detaylarının tespiti (Şekil 3.38) gibi hususların değerlendirilmesi sağlanmış, böylelikle analiz aşamasına şablon oluşturulmuştur.

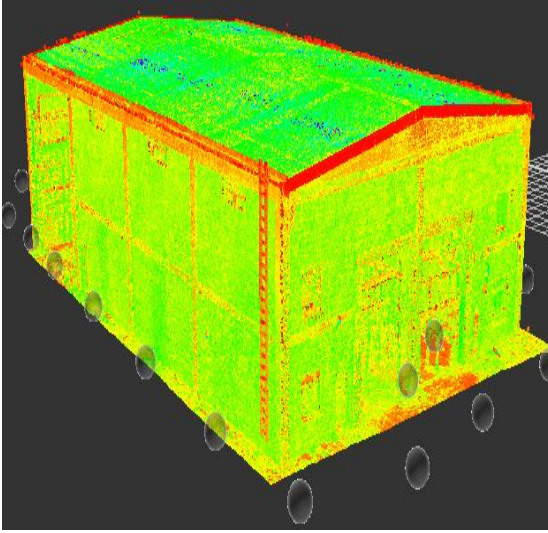
Düzenlenen nokta bulutu verileri .rcp formatında arşivlenmiş ve Revit modellemesi öncesinde, mevcut örnek prefabrik yapının taşıyıcı sistemi hakkındaki tüm detaylar net biçimde ortaya konmuştur. Bu yaklaşım, üretimden uygulamaya kadar olan sürecin dijital entegrasyonunu destekleyen önemli bir uygulama örneği niteliği taşımaktadır.



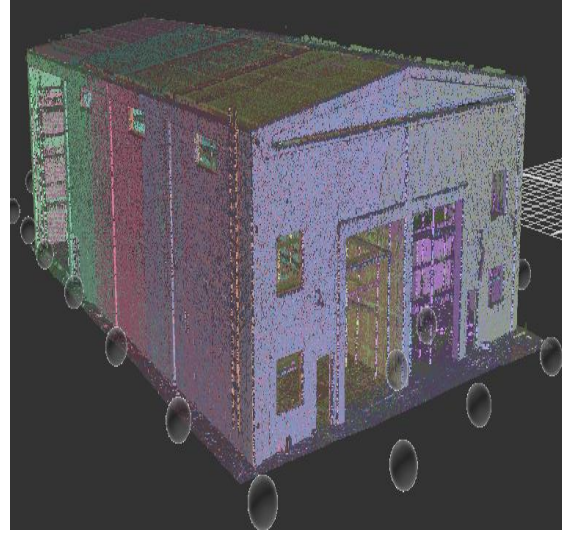
a)



b)



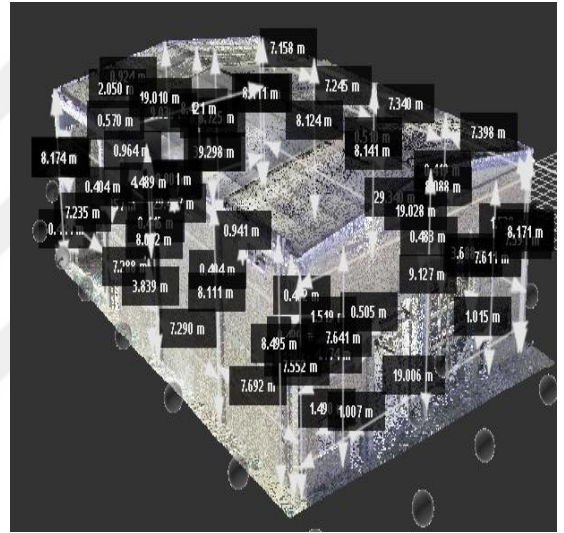
c)



d)



e)



f)

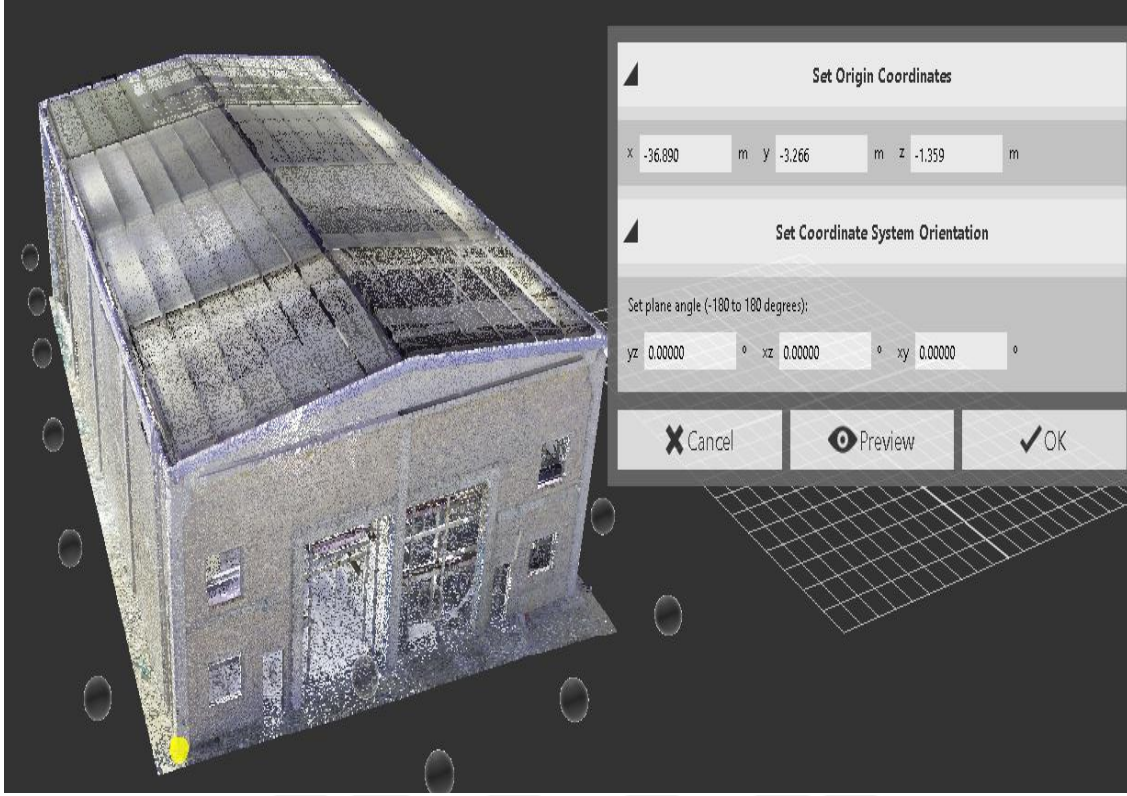


g)

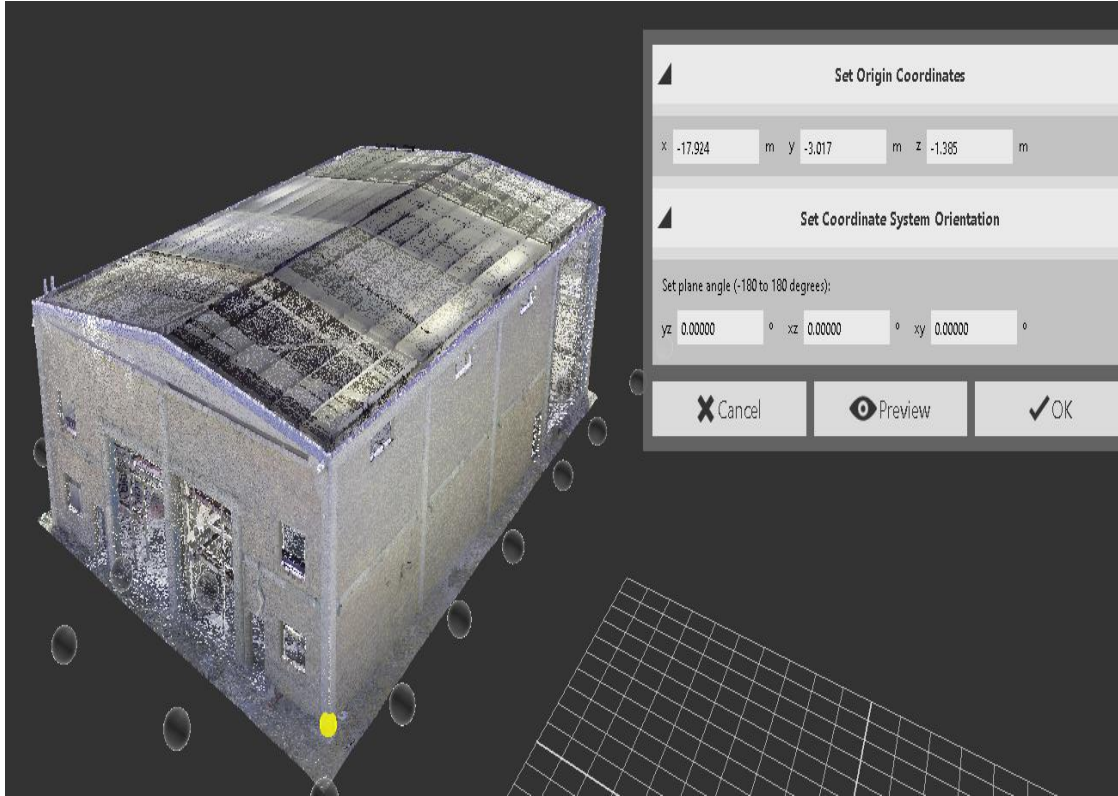


h)

Şekil 3.35. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli (Autodesk, ReCap 2026).

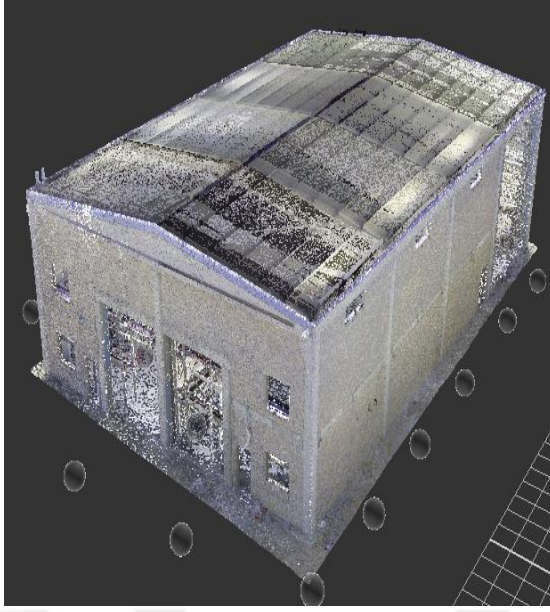


a)



b)

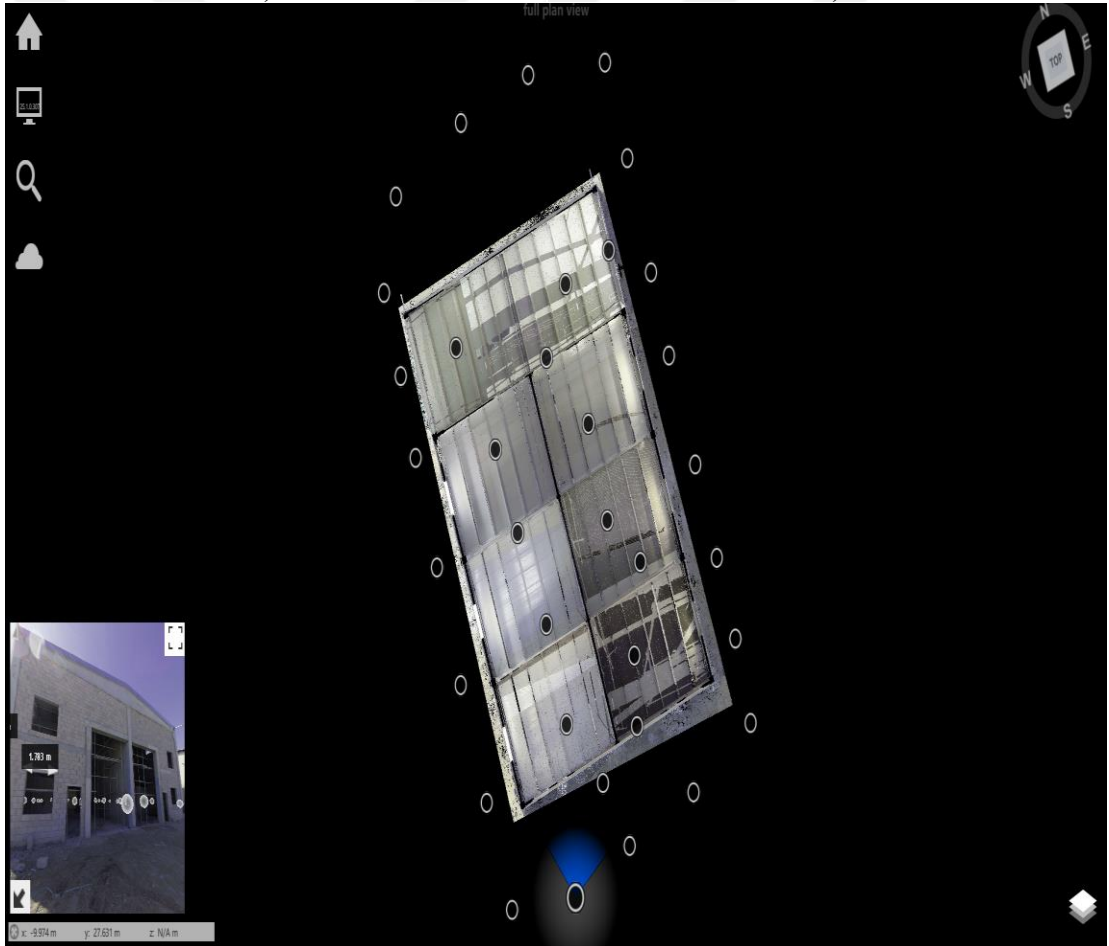
Şekil 3.36. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).



a)

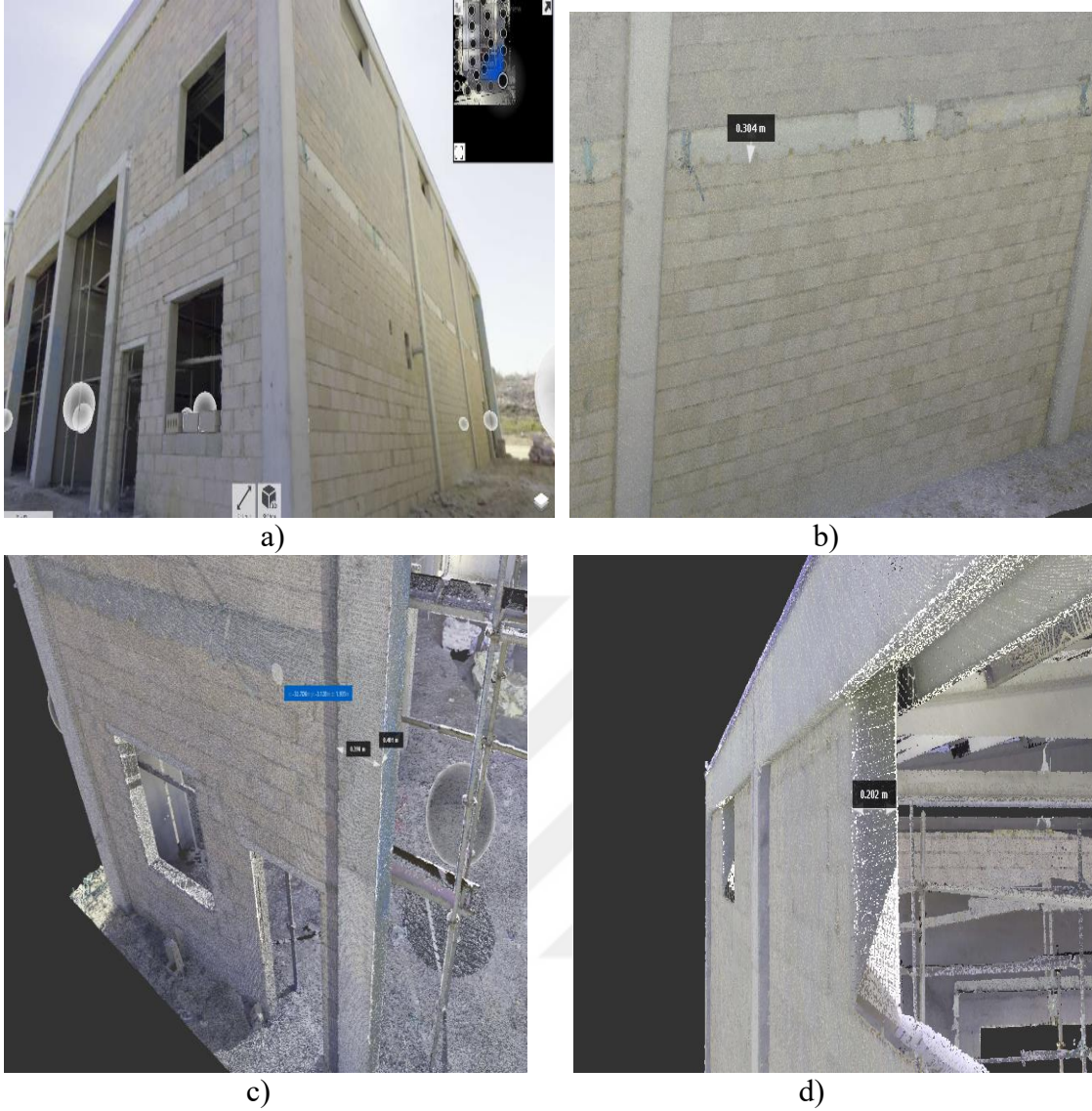


b)



c)

Şekil 3.37. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Oturum Planlamaları (Autodesk, ReCap 2026).



Şekil 3.38. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının ReCap Modeli – Kolon, Kiriş ve Duvar gibi Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

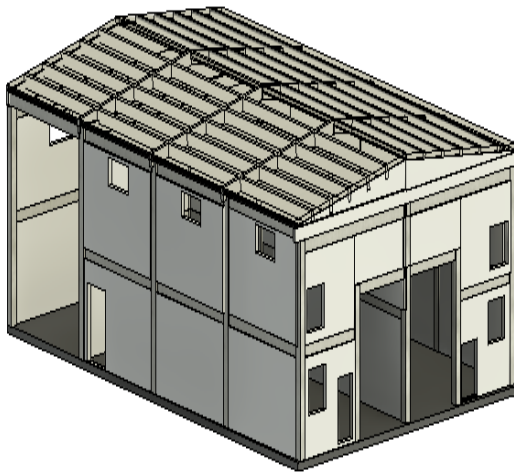
3.4.3.2. Prefabrik yapı YBM revit modeli

ReCap yazılımıyla düzenlenip .rcp uzantısıyla kaydedilen üç boyutlu dijital görüntü modeli, YBM uyumlu yazılımlar arasındaki entegrasyon yetenekleri kullanılarak AutoDesk Revit ortamına hızlı ve hatasız bir biçimde aktarılmıştır (Autodesk, ReCap 2026). Bu sayede mevcut örnek prefabrik yapının montaj sonrası mevcut durumu, Revit platformunda yeniden işlenmek üzere modelleme sürecine dâhil edilmiştir (Autodesk, Revit 2026).

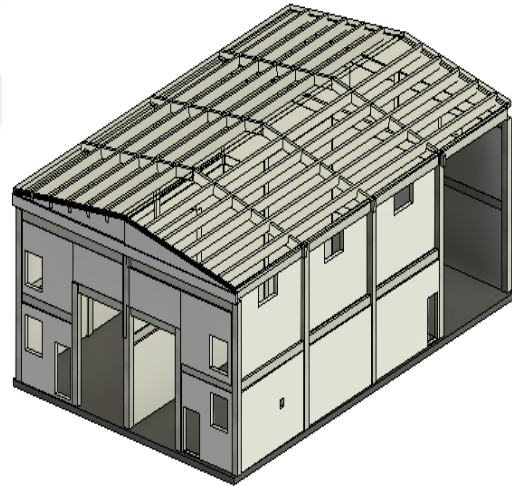
Revit'e aktarılan düzenlenmiş nokta bulutu, taşıyıcı olmayan kat içi detaylar temizlenerek mimari kat planlarının çıkarılmasına olanak tanımıştır. Elde edilen kat planları, ön üretimli elemanların boyut ve konum detaylarını içerecek şekilde referans

olarak kullanılmıştır. Bu referanslar doğrultusunda prefabrik yapı bileşenleri model üzerinde konumlandırılmış ve elemanlara ait boyutlandırmalar detaylandırılmıştır.

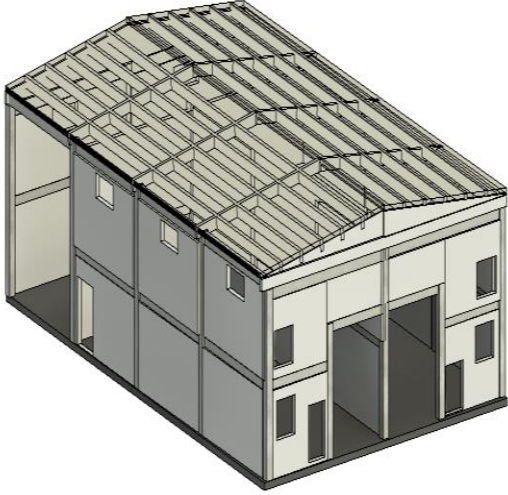
Hazırlanan 3D model ile ReCap'tan aktarılan görüntüler başarılı şekilde eşleştirilmiş, yapı elemanları ile nokta bulutu katmanlarının birebir çakıştığı görülerek modellenmiştir (Şekil 3.39). Modelleme süreci boyunca ReCap nokta bulutu verisi ve görselleri baz alınarak tüm kat planları üzerinde sistematik bir çalışma yürütülmüş; sonuçta prefabrik yapının 3D dijital modeli tam bütünlük içinde oluşturulmuştur (Şekil 3.40). Elde edilen bu model, prefabrik sistemin taşıyıcı karakteristiğini, kat düzlemlerini, birleşim bölgelerini, düşey-yatay konumlamalarını, rölöve ve ölçü bilgilerini sayısal olarak sunmuş; hem performans analizine hem de alternatif güçlendirme senaryolarının dijital ortamda test edilmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen Revit modeli üzerinden cephe görünümü de detaylandırılmıştır (Şekil 3.41). Böylece bu tez çalışması kapsamında analiz süreçlerine YBM'nin sunduğu dijital doğruluk entegre edilmiştir.



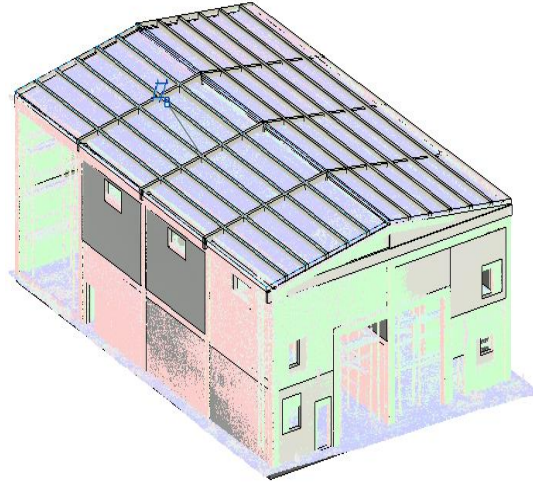
a)



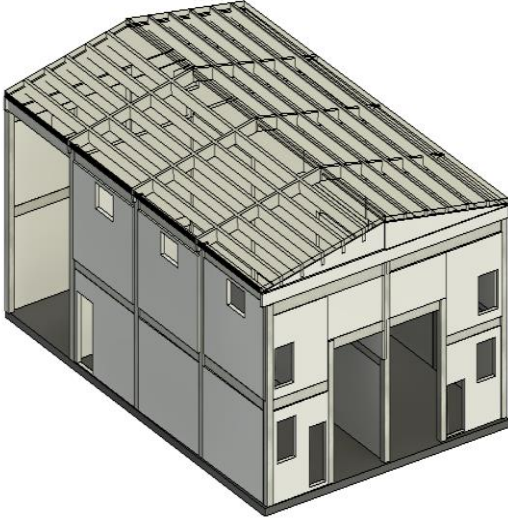
b)



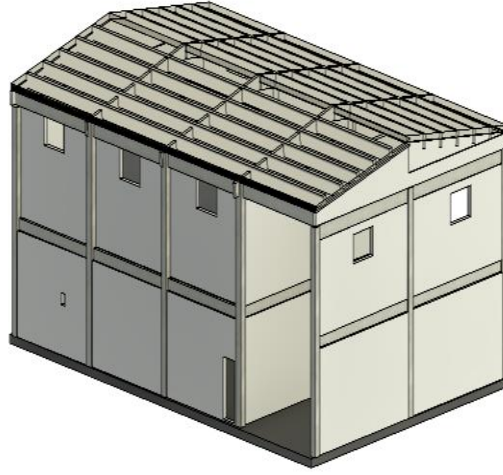
c)



d)



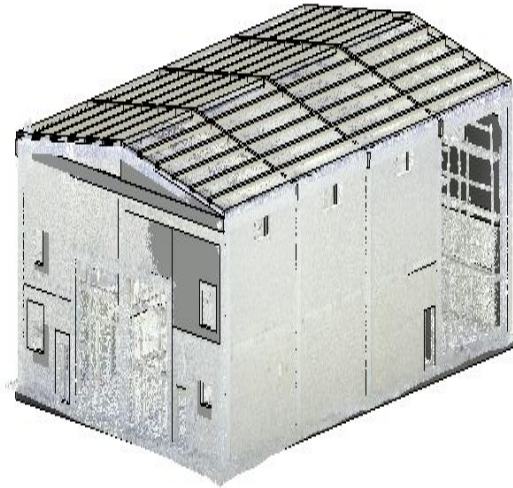
e)



f)

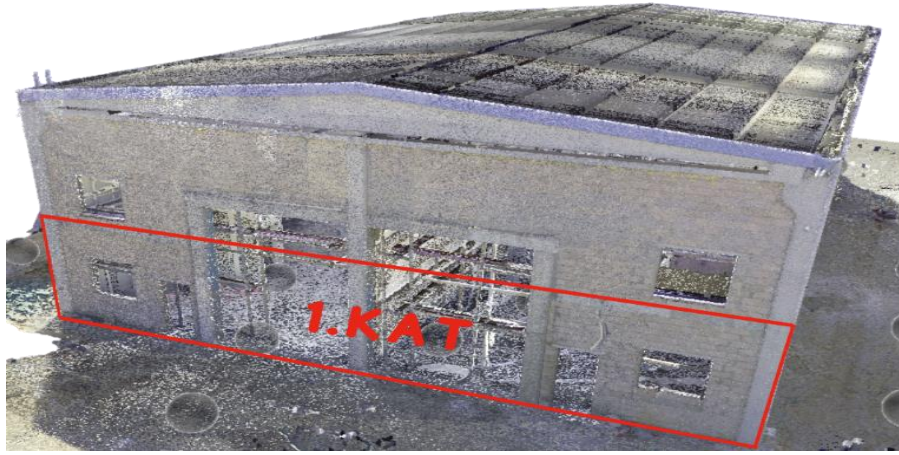


g)



h)

Şekil 3.39. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının 3D Revit Modeli Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).



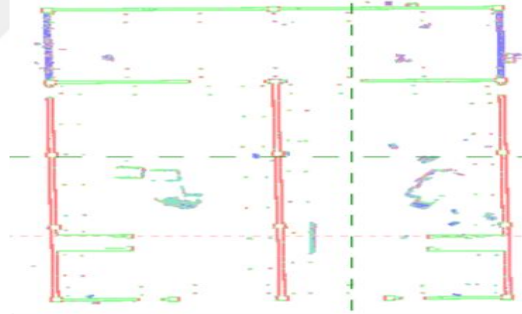
a)



b)

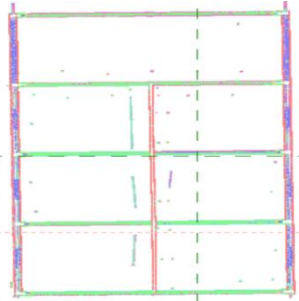


c)

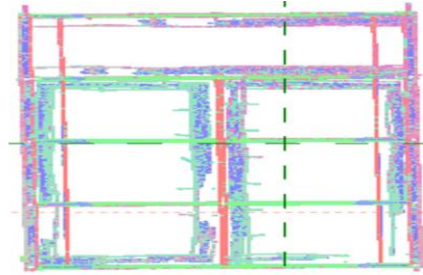


1. KAT PLANI

d)



2. KAT PLANI

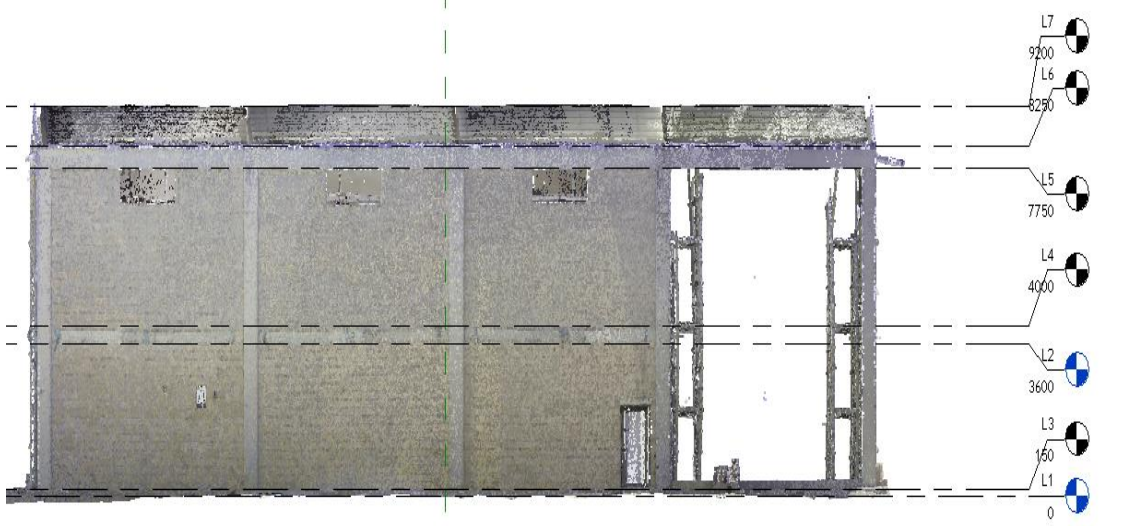


ÇATI KATI PLANI

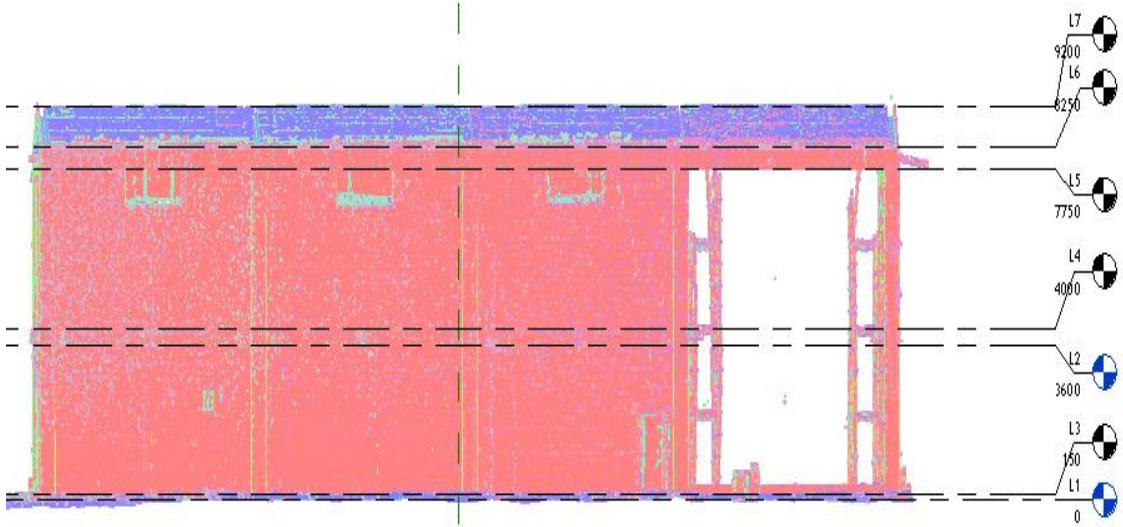
e)

f)

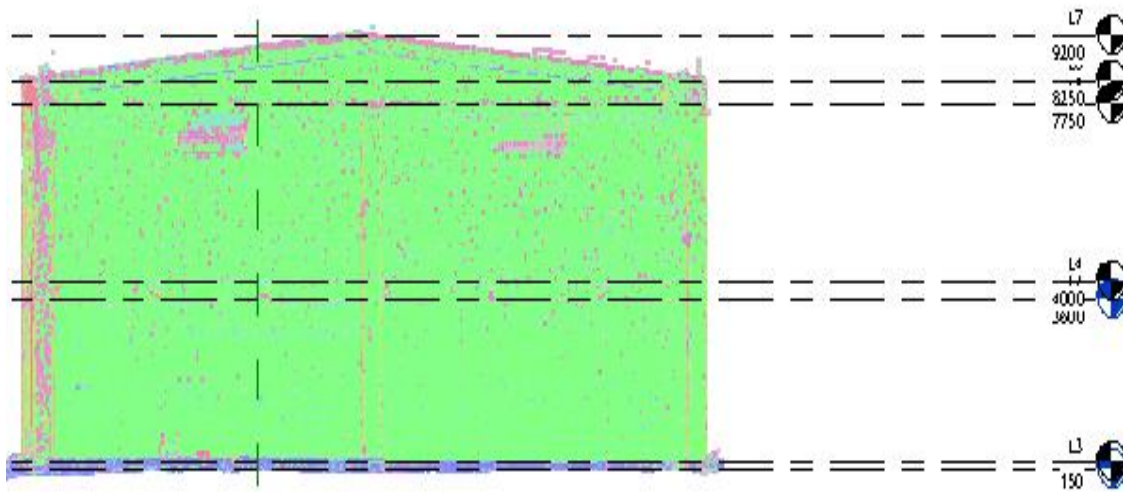
Şekil 3.40. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Revit Modeli 1. 2. Kat ve Çatı Kat Plan Görüntüleri (Autodesk, Revit 2026).



a)



b)



c)

Şekil 3.41. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

3.4.4. Yığma yapı modeli

Yığma yapıların, özellikle tarihi nitelik taşıyan örneklerinde, malzeme özelliklerinin ve geleneksel mimari detayların aslına uygun biçimde korunarak modellenmesi büyük önem taşır. Nokta bulutu verileri üzerinden yapılan çalışmalarda; taşıyıcı duvar hatları, taş, tuğla, harç, kemer geçişleri, açıklık konumları ve mimari detaylar gerçek durumu birebir gösteren verilerle dijital ortama başarıyla aktarılmıştır. Bu süreçte, yük akışının taşıyıcı duvarlar ile sağlandığı prensibi esas alınarak modelleme yaklaşımı şekillendirilmiştir.

Bu tez kapsamında mevcut örnek bir yığma yapının, yapı dokusuna zarar vermeden modellenmesi amacıyla 3D lazer tarama ölçüm cihazı kullanılmıştır. Böylelikle yapının mevcut taşıyıcı sistemi hem koruma amaçlı belgelenmiş hem de analiz sürecinde kullanılabilecek nitelikte sayısal bir model oluşturulmuştur.

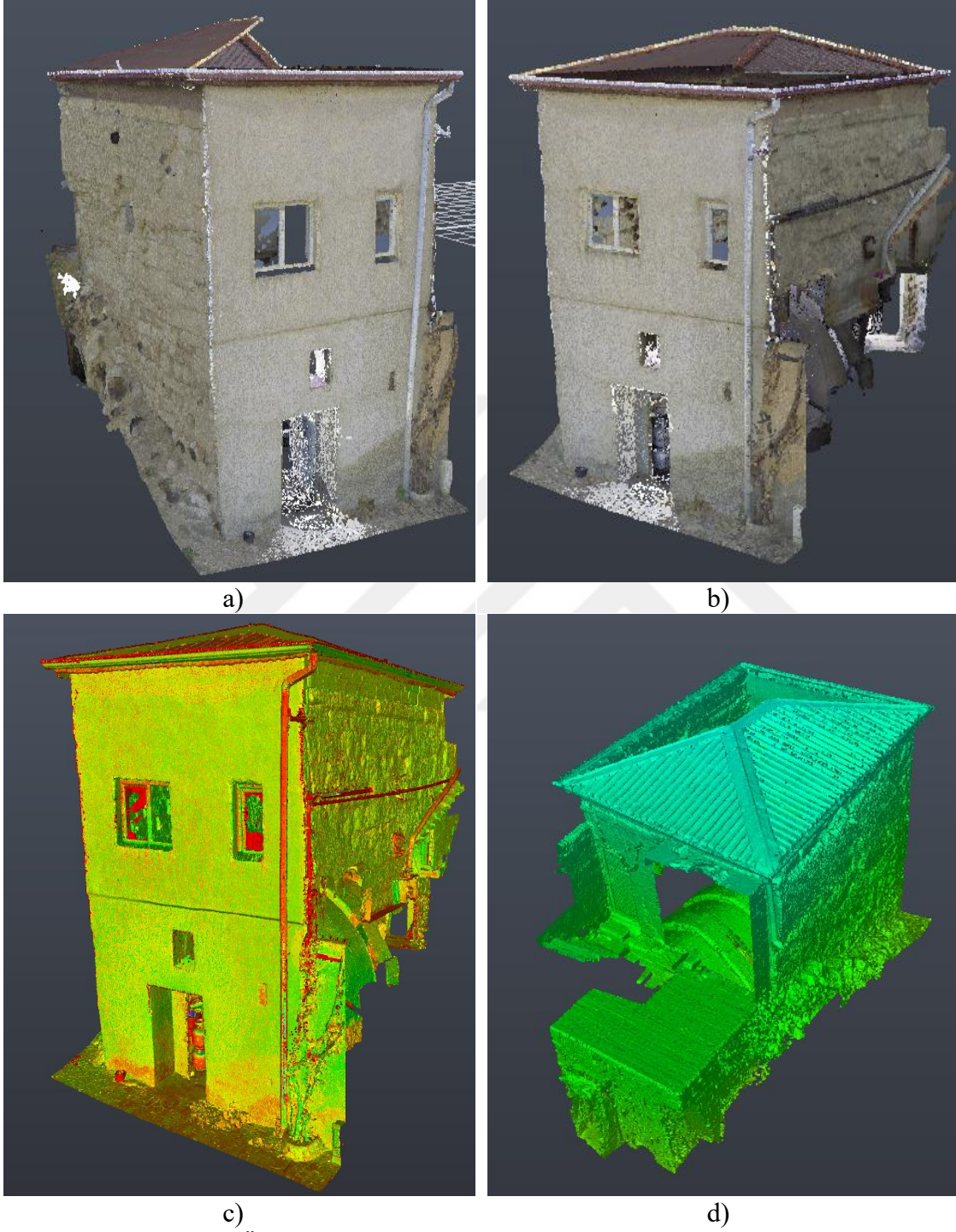
3.4.4.1. Yığma yapı YBM recap modeli

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), özellikle yığma ve tarihi yapılarda, fiziksel etki olmadan mevcut durumun detaylı biçimde belgelenmesine olanak sağlayan etkili bir dijital teknolojidir. 3D modelleme süreci .pts uzantılı uygun formatta Cyclone Register 360 üzerinde başlatılmıştır (Leica Geosystems, 2023). Bu tez çalışması kapsamında, saha çalışmaları sonucu elde edilen nokta bulutu verileri AutoDesk ReCap yazılımına entegre edilmiştir (Autodesk, ReCap 2026). ReCap üzerinden yürütülen işlemlerle; yığma yapının dış mekan (Şekil 3.42), iç mekan (Şekil 3.43), yapı elemanlarının detayları (Şekil 3.44) ve köşe koordinatlarının tespiti (Şekil 3.45) gerçekleştirilmiştir. Yığma yapının duvar hatları, kemer açıklıkları, minhalar, tonozlar gibi özgün mimari detayları renkli (RGB) görsellerle desteklenerek üç boyutlu olarak belirlenmiştir.

Yığma yapı dokusunun korunmasına yönelik hassasiyetle yürütülen bu dijitalleştirme süreci sayesinde, yapı üzerindeki çatlaklar, yüzey bozulmaları ve malzeme ayrışmaları da ayrıntılı olarak tespit edilmiştir. ReCap arayüzünden alınan ölçümler ve kesit verileri, hem mevcut durumun belgelenmesine hem de ileri analiz çalışmalarına temel oluşturmuştur.

3D model üzerinde gereksiz ya da taşıyıcı sisteme doğrudan katkı sağlamayan detaylar ayıklanmış, sadeleştirilmiş veri yapısı .rcp uzantılı uygun bir formatta kaydedilerek dijital arşive eklenmiştir. Böylece, yığma yapıların taşıyıcı sistem karakteristikleri Revit modellemesine geçmeden önce anlaşılır hale gelmiş, mimari ve

mühendislik açıdan detaylandırılmış, analiz ve koruma çalışmaları açısından bütüncül bir dijital içerik üretilmiştir.



Şekil 3.42. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Dış Mekan (Autodesk, ReCap 2026).



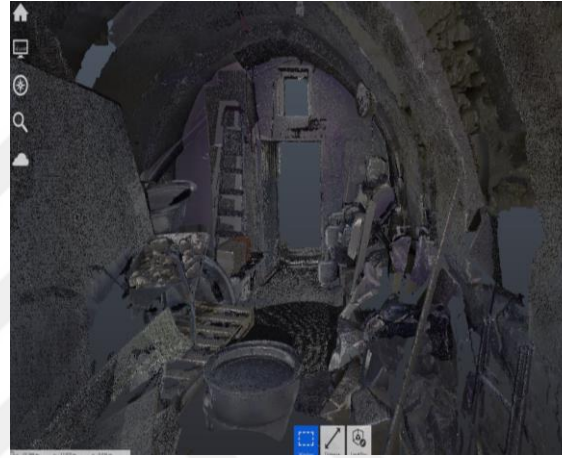
a)



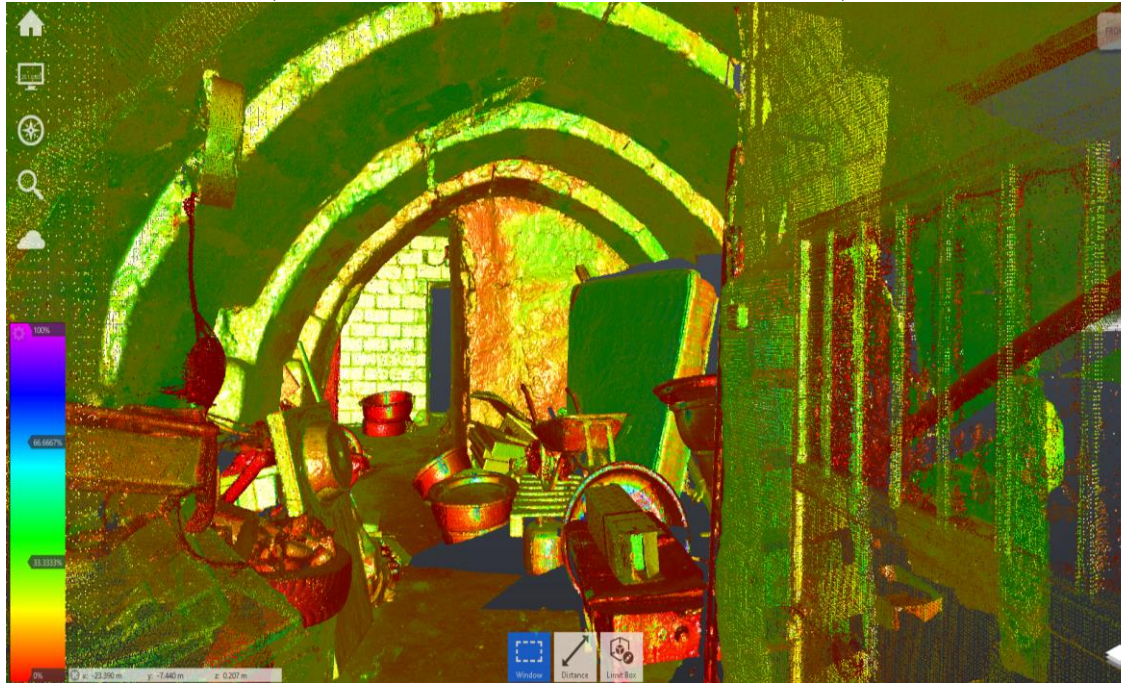
b)



c)



d)

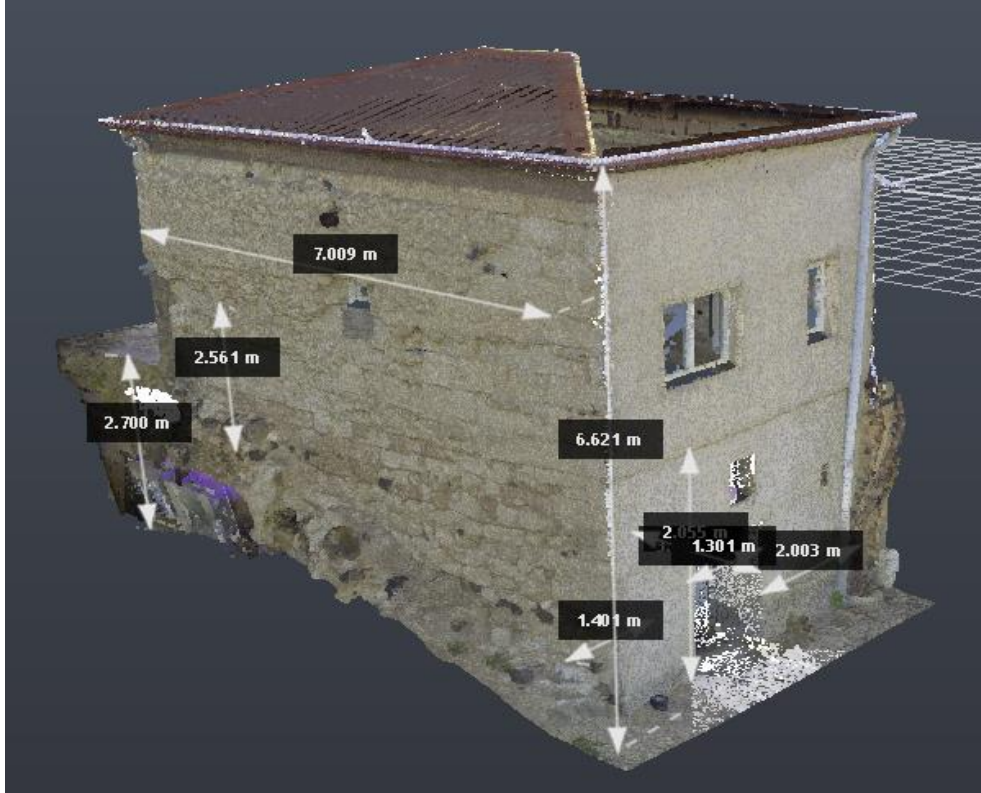


e)

Şekil 3.43. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – İç Mekan (Autodesk, ReCap 2026).



a)

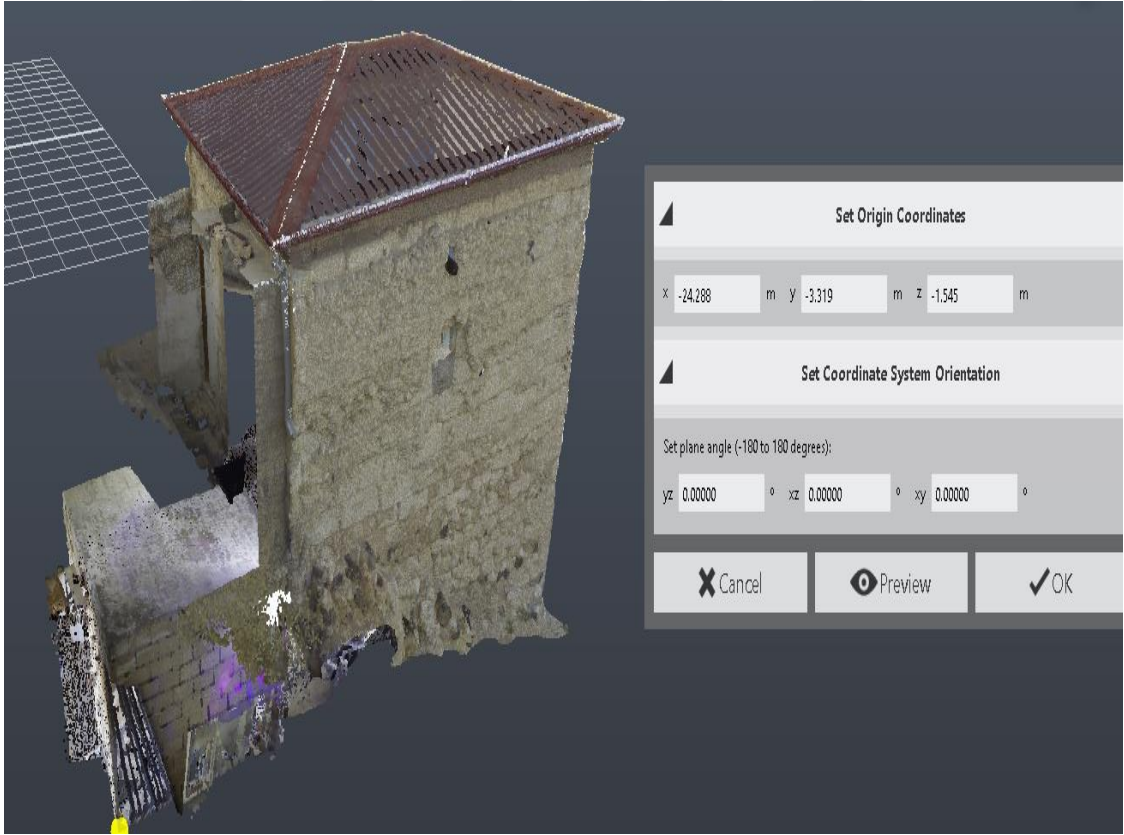


b)

Şekil 3.44. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Yapı Elemanlarının Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).



a)



b)

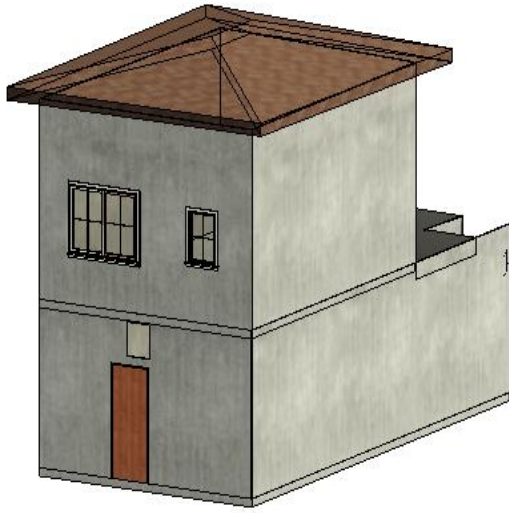
Şekil 3.45. Mevcut Örnek Yığma Yapının ReCap Modeli – Köşe Koordinatlarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

3.4.4.2. Yığma yapı YBM revit modeli

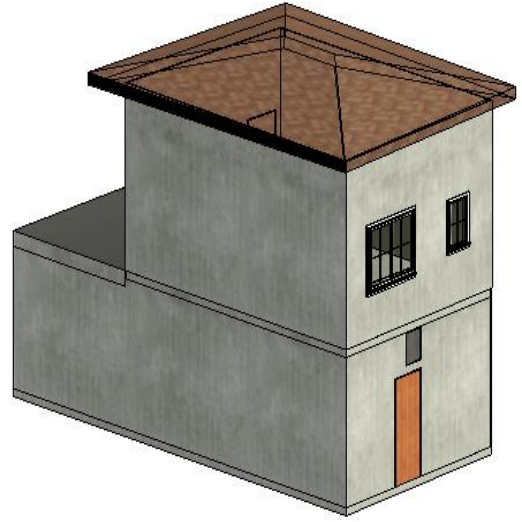
3D dijital görüntü modeli, YBM uyumlu araçlar sayesinde Revit yazılımına doğru, eksiksiz ve hızlı biçimde aktarılmıştır (Autodesk, ReCap 2026). Bu aktarım sayesinde, tarihî veya yığma yapıların mevcut durumları dijital ortamda yeniden düzenlenerek kapsamlı bir üç boyutlu modelleme süreci başlatılmıştır. Revit yazılımına yüklenen düzenlenmiş nokta bulutu verileri, yapının mimari olarak taşıyıcı sisteme dâhil olmayan elemanları ayıklanarak zemin kattan itibaren kat planlarının oluşturulmasına temel teşkil etmiştir (Autodesk, Revit 2026). Kat planları, yığma duvarların konumu, kalınlığı, minhaları (kapı, pencere) yapıya özgü özellikleri esas alınarak modellenmiştir (Şekil 3.46). Bu süreçte, ReCap verileri ve elde edilen görsellerden faydalanılarak, özgün yapı elemanlarının ölçüleri belirlenmiş ve dijital temsil sağlanmıştır. Yığma yapıya ait taşıyıcı kemer sistemi de Revit yazılımı üzerinde modellenmiştir (Şekil 3.47).

Her kat planı için aynı metodoloji uygulanarak yığma yapının üç boyutlu dijital modeli geliştirilmiştir (Şekil 3.48). Revit modeli ile nokta bulutu verisi üst üste çakıştırılarak modelin doğruluğu ve tarama verilerine uyumluluğu incelenmiştir. Elde edilen 3D dijital model aracılığıyla yapı elemanlarının geometrik nitelikleri, aks çizgileri, cephe görünümleri (Şekil 3.49) ve kesit görünümleri (Şekil 3.50), duvar doluluk oranları, ölçüler, rölöve verileri ve genel planlamalar çıkarılmıştır.

Böylelikle, tarihî ya da yığma özellikteki yapının statik analizine temel olacak dijital ikiz modeli oluşturulmuştur. Aynı zamanda, olası güçlendirme senaryolarında yapılacak uygulamaların, mevcut mimari detaylarla kesişme riskleri bu model üzerinden önceden değerlendirilerek avantaj sağlayacağı düşünülmüştür. Neticede, bu tez kapsamında performans analizi ve restorasyon kararlarının dijital yöntemlerle modellenmesi mümkün kılınmıştır. Geleneksel yöntemlerle sınırlı kalınmadan YBM teknolojileri sürece başarıyla dâhil edilmiştir.



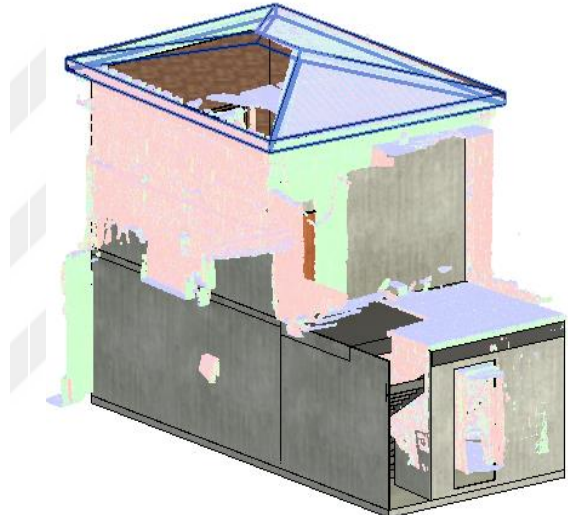
a)



b)



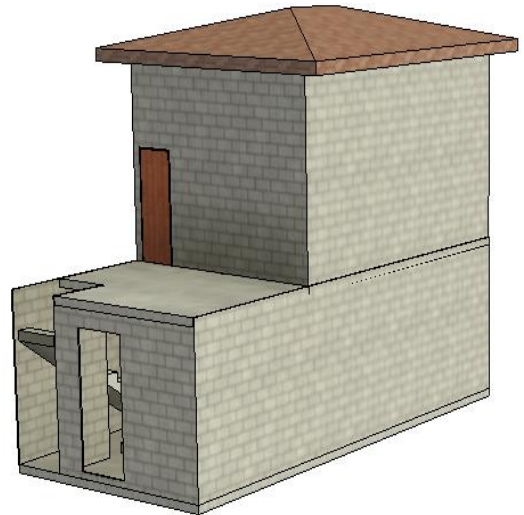
c)



d)

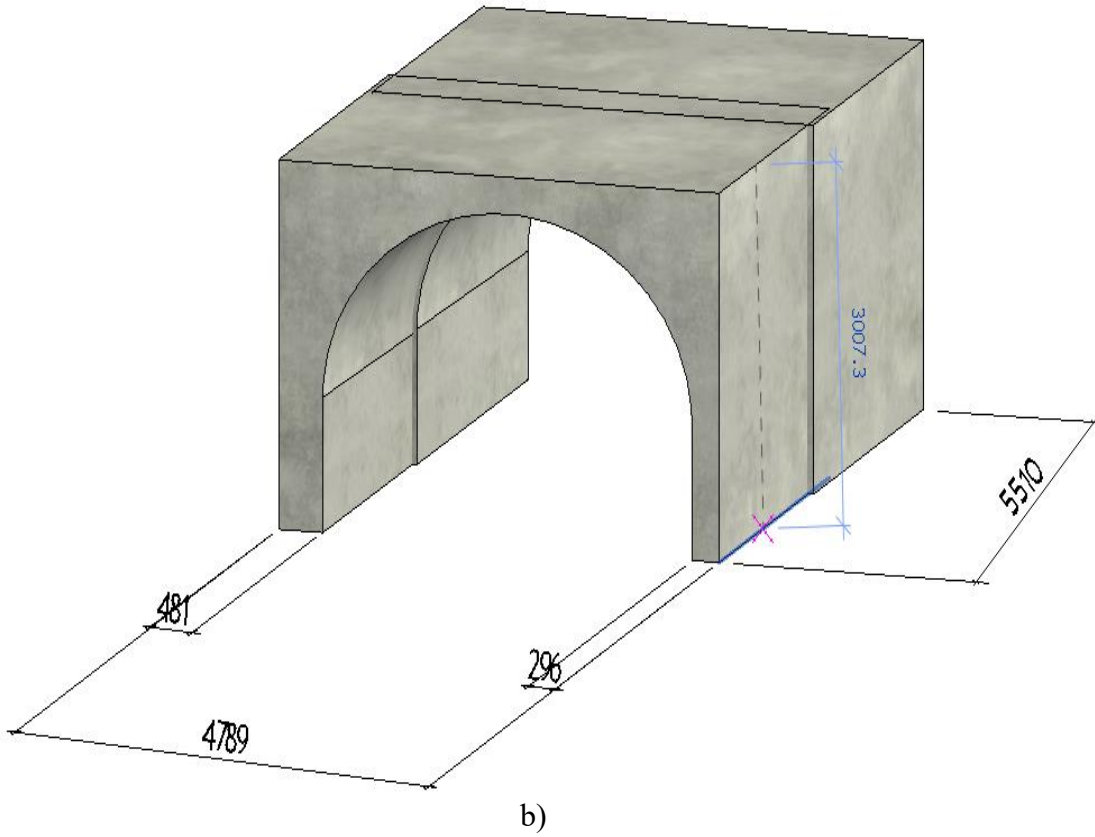
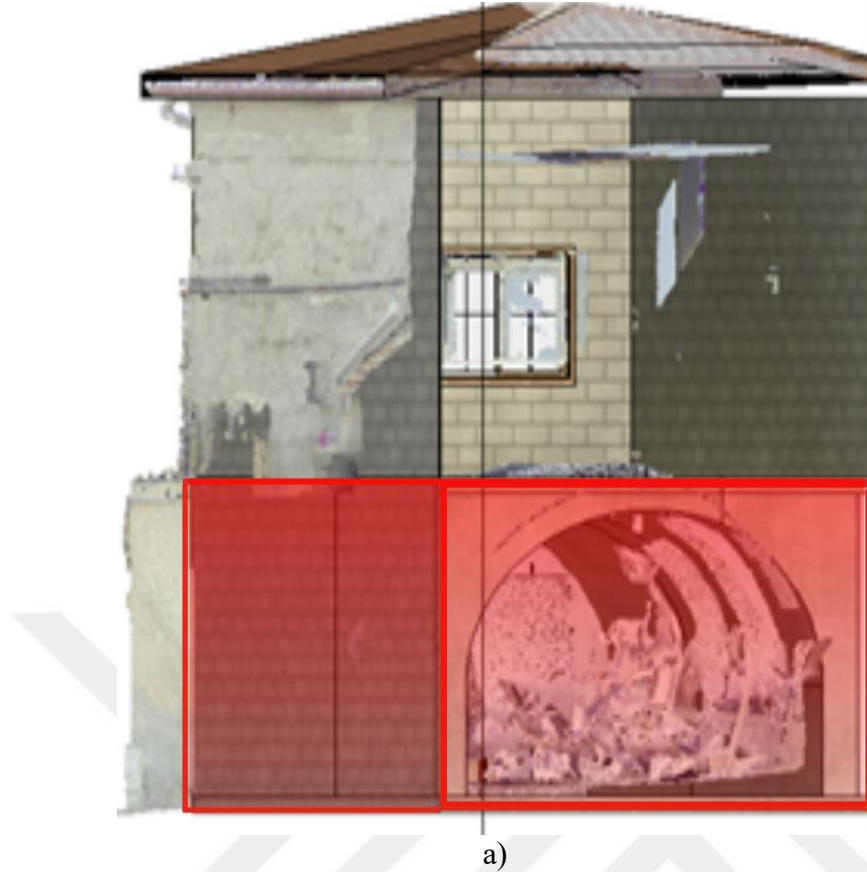


e)

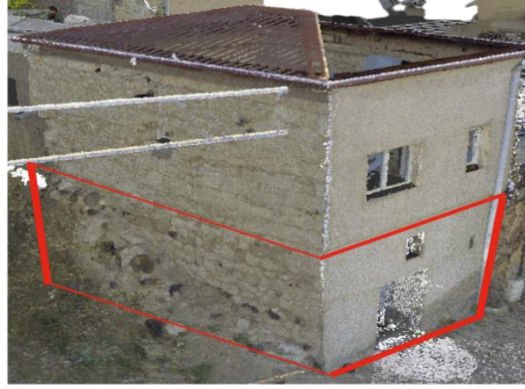


f)

Şekil 3.46. Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Revit Modeli Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

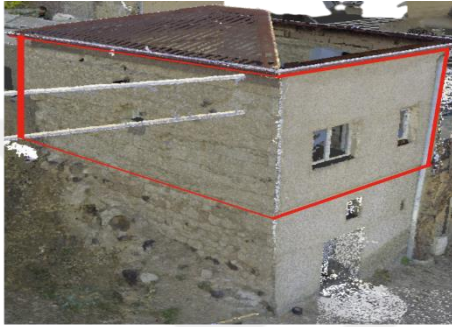


Şekil 3.47. Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Revit Modeli - Kemer Sistemin Modellenmesi ve Detaylarının Tespiti (Autodesk, Revit 2026).



1. KAT

a)



2. KAT

b)



ÇATI KATI

c)



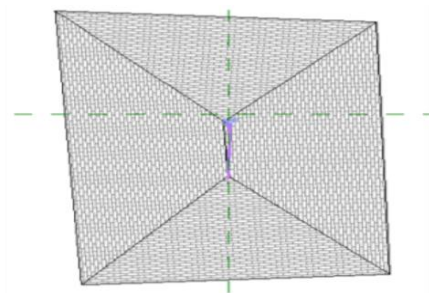
1. KAT PLANI

d)



2. KAT PLANI

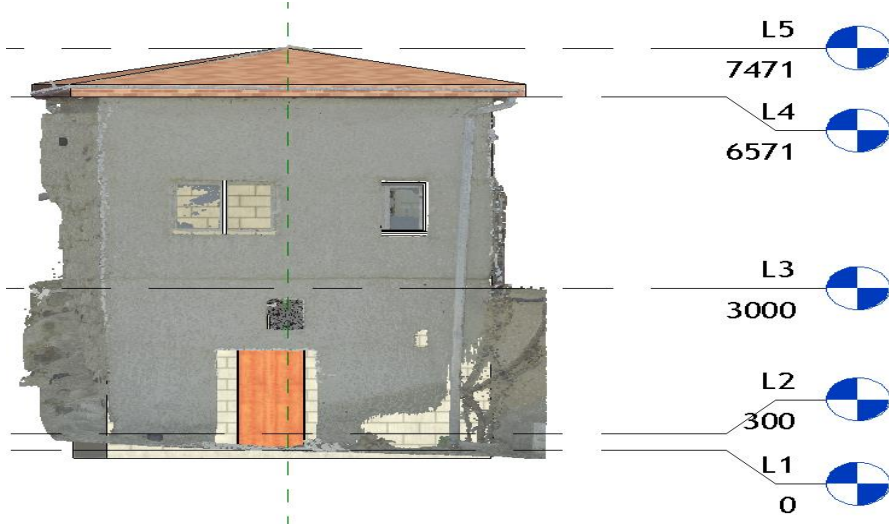
e)



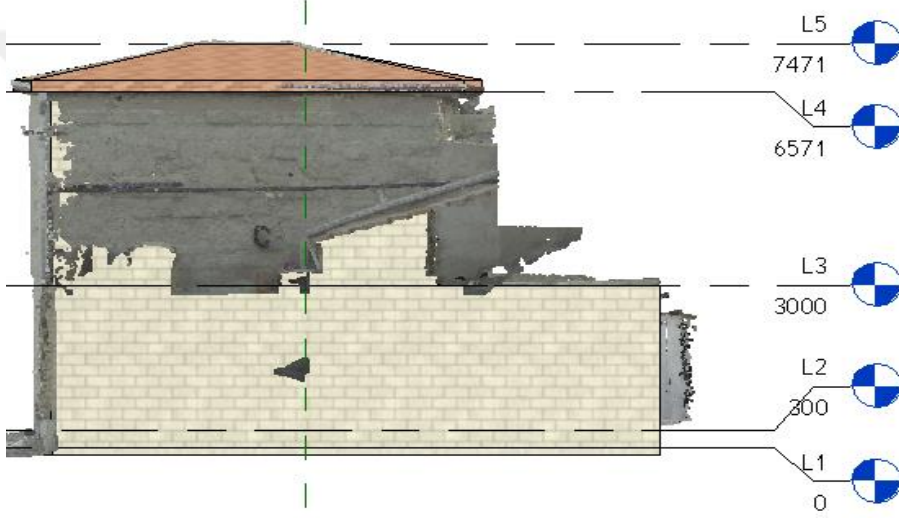
ÇATI KATI PLANI

f)

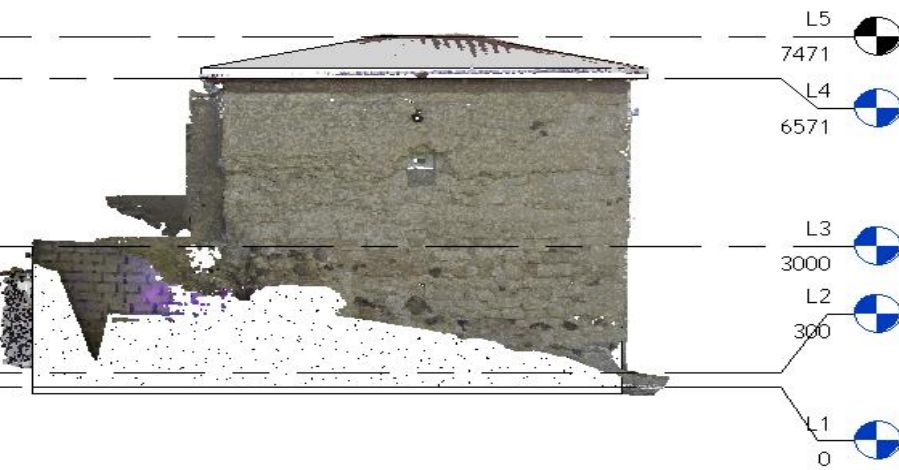
Şekil 3.48. Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli 1.Kat, 2. Kat ve Çatı Kat Plan Görüntüleri (Autodesk, Revit 2026).



a)

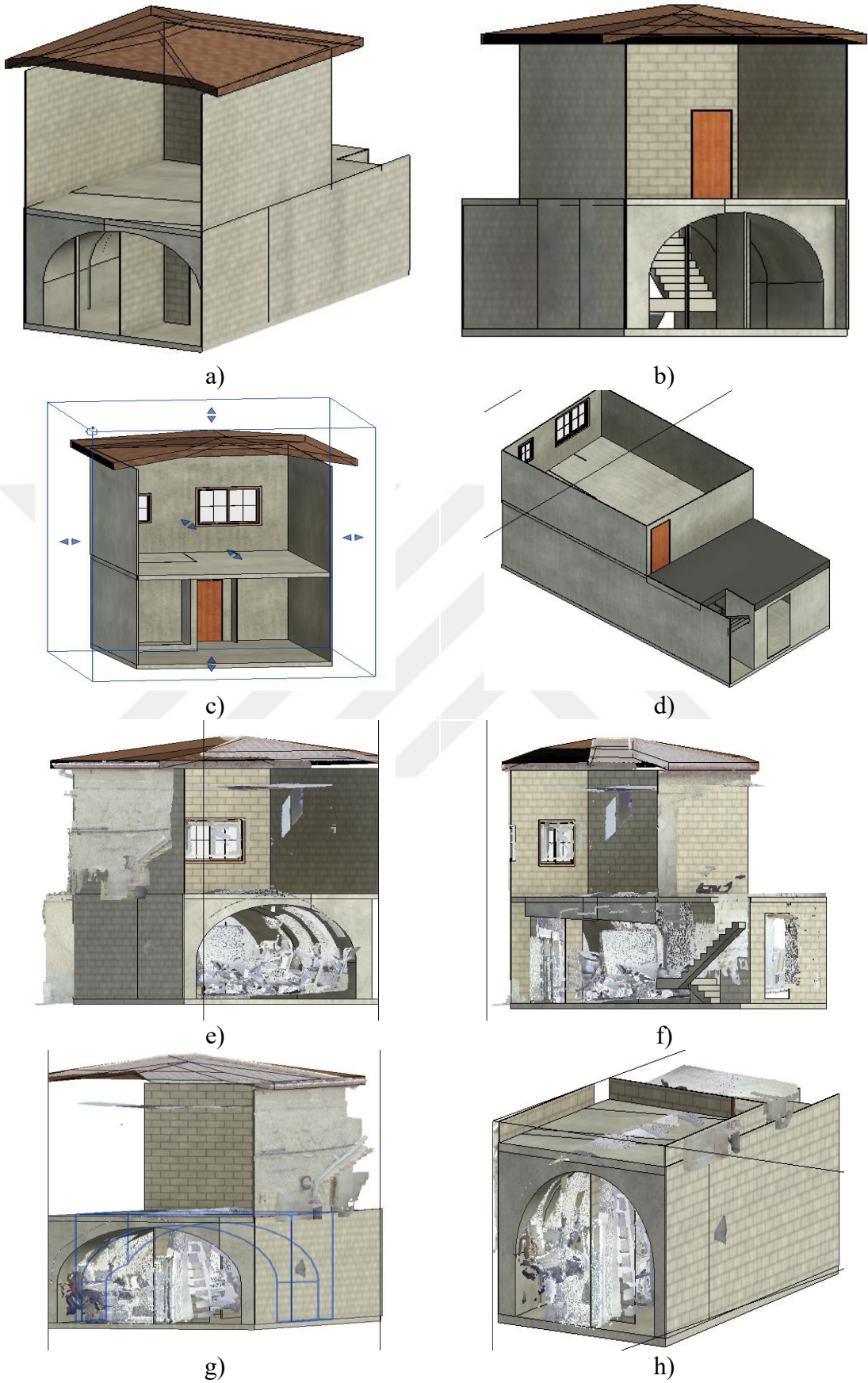


b)



c)

Şekil 3.49. Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli - Cephe Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).



Şekil 3.50. Mevcut Örnek Yığma Yapının Revit Modeli – Kesit Görünümleri (Autodesk, Revit 2026).

3.5. Analiz Modeli Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında 3D lazer tarama verisi kullanılarak elde edilen Revit modelleri yardımıyla mevcut yapıların (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) deprem performansı analizlerine veya güçlendirilmesine esas statik analiz modelleri belli bir metodoloji kullanılarak oluşturulmuştur (Autodesk, Revit 2026). 3D lazer tarama verileri ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) araçları yardımıyla (Autodesk Revit, ReCap vb.) 3D modelleme işlemleri başarıyla gerçekleştirilmiştir (Autodesk, ReCap 2026). Elde edilen 3D Revit modelleri, statik analize esas kullanılan yazılımlara farklı uzantılara dönüştürülerek aktarılabilir. Tez çalışmasında bu kapsamda ilk olarak SAP 2000 yazılımı tercih edilmiştir (SAP 2000 Structural Analysis and Design, CSI). Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) diğer yazılımlara entegrasyonu sonucunda 3D model verisi statik analiz programlarına doğru ve hassas bir şekilde yüklenebilmektedir. Tez çalışması kapsamında elde edilen 3D dijital model, IFC formatında SAP 2000 programına başarıyla yüklenmiştir. SAP 2000 programı üzerinden mevcut yapıların (betonarme, çelik, prefabrik) güçlendirilmesi ve performansına esas analiz modelleri başarıyla elde edilebilmiştir. 3D lazer tarama ile Yapı Bilgi Modellemesi entegrasyonu sonucu mevcut yapıların (betonarme, çelik, prefabrik, yığma); Autodesk ReCap ile 3D lazer tarama verilerinin düzenlenmiş nokta bulut verileri sayesinde mevcut durum analizleri, ölçümler, deformasyon tespiti ve model doğrulama işlemleri gibi sonuçlar elde edilirken, Autodesk Revit üzerinden; parametrik ve veri tabanlı modelleme altyapısı, kat planları, kesit ve cephe görünümleri gibi yapısal analizler için güçlü bir zemin sağlanmıştır. Bununla birlikte mevcut yapıların SAP 2000 programına doğru ve hassas bir şekilde aktarılması ile performans analizleri ve güçlendirme çalışmalarına esas modellemeler başarıyla tamamlanmıştır. Böylece bu modeller üzerinden mevcut yapıların sahadaki durumunu en gerçekçi yansıtan analiz modelleri üzerinden statik ve dinamik analizleri daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca dijital ikizi modeli üzerinden elde edilen değerlendirme verileri de analiz verileri ile birleştirilerek yapı hakkında en sağlıklı değerlendirme raporları hazırlanabilecektir. Bu yöntem sayesinde elde edilen yapı değerlendirme ve performans raporlarının kontrolü aşamasında da teknik personele yapıyı 3D model üzerinden gezme, raporda belirtilen hususları dijital veri üzerinden de inceleme fırsatı sunacaktır. Bu kapsamda tez çalışması ile mevcut yapıların deprem performansı analizi ve güçlendirilmesinde çalışmaların mühendislik, kontrol, mimari çakışma, mekanik ve elektrik detay çakışma, hassas model elde edilmesi ve süre optimizasyonu açısından bütünleşik bir katkı sağlanmıştır.

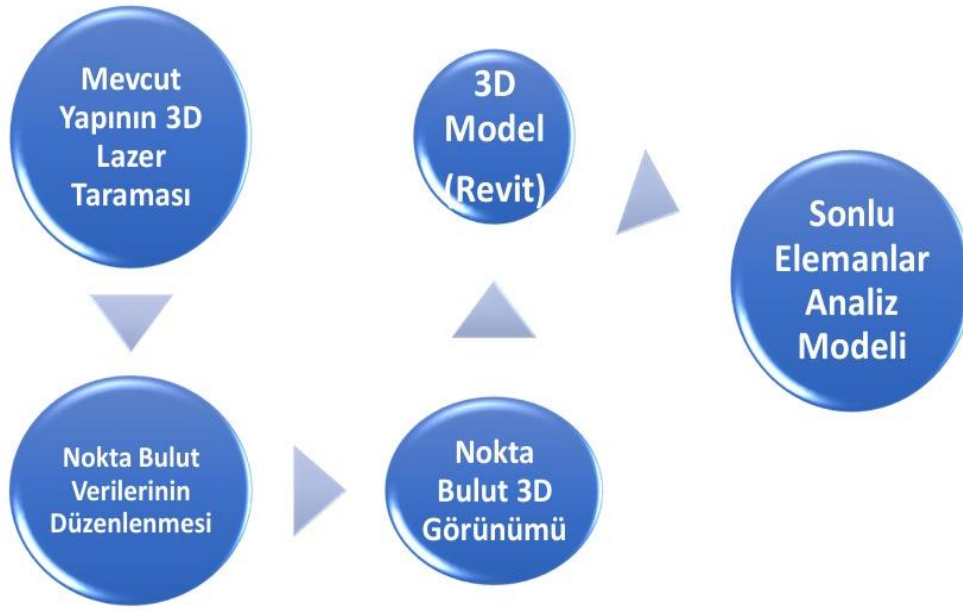
Bu metodoloji, kompleks ve karmaşık projelerde birbirine entegre yazılımların eş zamanlı ve multidisipliner bir yaklaşım ile kullanım sağlayabilmesi sayesinde mühendislik analizlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine ve uygulama çalışmalarının verimliliğinin artırılmasına önemli katkı sunmaktadır. Birbirine uyumlu yazılımların entegrasyonu, mühendislik süreçlerinin doğruluk ve tutarlılığını güçlendirerek yapıların uzun vadeli yönetimini daha etkin hale getirmekte, aynı zamanda tasarım ve planlama aşamalarında daha hızlı, hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu metodoloji ile mevcut yapıların (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) büyüklüğü veya kompleksliği değişken olmadan veriye dayalı olarak karar alma süreçlerini hızlandırarak fayda sağlanmaktadır. Mevcut yapıların değerlendirilmesi açısından bu metodolojinin, mühendislik projelerinin tasarım süreçlerinin sürdürülebilirlik ve güvenilirlik açısından en yüksek verimlilikle yürütülmesine katkı sunacağı düşünülmüştür.

Sonuç olarak, bu metodoloji ile 3D lazer tarama ve Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) entegrasyonu ile ileri düzey yapısal analiz tekniklerinin eş zamanlı kullanımı, mühendislikte yenilikçi ve teknolojik yaklaşımların kullanılması ile güncel, veri odaklı ve optimize edilmiş tasarım süreçlerini sektör uygulamalarına yönelik olarak teşvik etmektedir. Bu çok yönlü entegrasyon sayesinde, mevcut yapıların (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) güvenliğinin hızlı tespiti, YBM süreçlerine uygun olarak yaşam döngülerinin izlenmesi, inşaat sektörü için dijitalleşme ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda daha verimli bir çalışma ortamı sunması gibi ilave faydalar sağlamaktadır. Tez çalışması kapsamında bu çerçevede dört farklı yapı örneği (betonarme, çelik, prefabrik, yığma) ile ön çalışmalarda bir tarihi ve betonarme yapı örneği detaylandırılmıştır.

3.5.1. Betonarme yapı analiz modeli

Tez çalışması kapsamında mevcut örnek bir betonarme yapının 3D lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulut verileri filtrelenmiş nokta bulut verilerine dönüştürülmüştür. Elde edilen düzenlenmiş nokta bulut verileri Autodesk ReCap yazılımına yüklenerek 3D dijital model elde edilmiştir (Autodesk, ReCap 2026). Elde edilen 3D dijital model üzerinden mevcut örnek betonarme yapının tarama anındaki durumu, üç boyutlu dijital modeli, deformasyonları, renkli (RGB) görüntüleri, yapı ve yapı elemanlarının ölçüleri, detaylı kesitleri, rölöveleri ve diğer teknik verileri elde edilmiştir. Autodesk ReCap üzerinde kayıt altına alınan 3D dijital model daha sonrasında

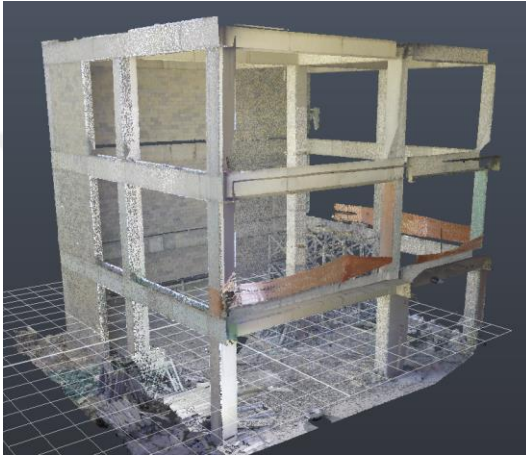
Revit yazılımına aktarılmıştır (Autodesk, Revit 2026). Revit modelini oluşturabilmek için ReCap üzerinden alınan şablon yardımıyla 3D modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dijital model üzerinden mevcut betonarme yapının geometrik özellikleri, düşey veya yatay aks durumları, kesit görüntüleri, cephe görünümleri, kat planları, birleşim detayları, genel yapısal eleman özellikleri, vaziyet planı, ölçüleri, rölöveleri ve mevcut yapının 3D görüntüleri başarıyla tespit edilmiştir. Revit yazılımında oluşturulan 3D dijital model IFC formatına dönüştürülerek SAP 2000 yazılımına aktarılmıştır (SAP 2000 Structural Analysis and Design, CSI). Bu yöntem uygulanırken, tüm sürecin sistematik ve düzenli bir şekilde ilerlemesini sağlamak amacıyla bir iş akış şeması geliştirilmiştir (Şekil 3.51). Örnek betonarme yapıya ilişkin; 3D lazer tarama, düzenlenmiş nokta bulutu, 3D dijital model ve 3D analiz model verileri elde edilebilmiştir (Şekil 3.52).



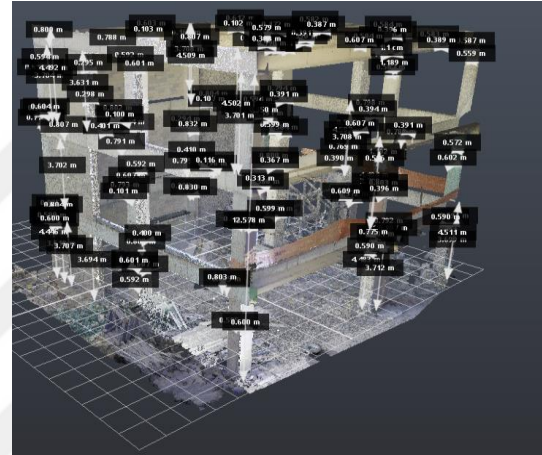
Şekil 3.51. Mevcut Örnek Yapıların Modelleme ve Analizlerinin Belirlenmesi İçin İş Akış Şeması (Şahin ve Birdal, 2023).

SAP 2000 programına verilerin doğru ve hassas bir biçimde aktarılmasıyla, performans analizleri ve güçlendirme çalışmalarına temel teşkil eden modellemeler başarıyla tamamlanmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan modeller, mevcut yapıların sahadaki gerçek durumunu yansıtan analiz temsilleri olarak statik ve dinamik analizlerin daha ayrıntılı ve güvenilir bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca dijital ikiz modelleme yöntemiyle elde edilen değerlendirme verilerinin analiz sonuçlarıyla bütünleştirilmesi, yapı hakkında en kapsamlı ve sağlıklı değerlendirme raporlarının

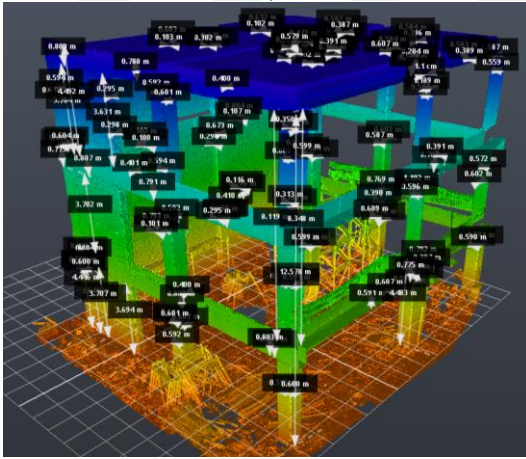
hazırlanmasına katkı sunmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, elde edilen yapı değerlendirme ve performans raporlarının incelenmesi sürecinde teknik personele, üç boyutlu model üzerinden yapıyı sanal ortamda gezme ve raporda belirtilen kritik noktaları dijital verilerle karşılaştırarak değerlendirme imkânı tanımaktadır. Tez kapsamında geliştirilen bu bütünsel yöntem, mevcut yapıların deprem performanslarının analiz edilmesi ve güçlendirme stratejilerinin oluşturulması sürecinde mühendislik yaklaşımı, kontrol mekanizmaları, mimari ve tesisat çakışmaları, hassas model üretimi ve süre optimizasyonu açısından önemli bir katkı sunmaktadır.



a)



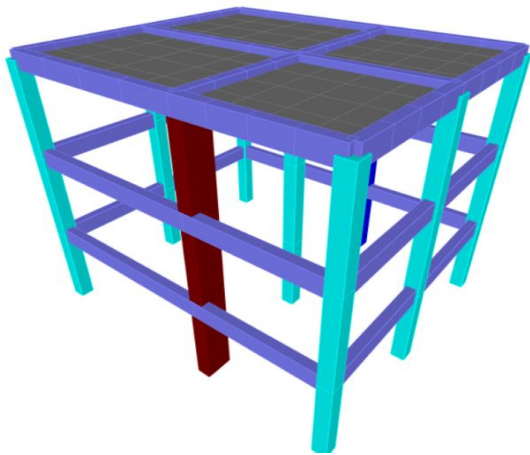
b)



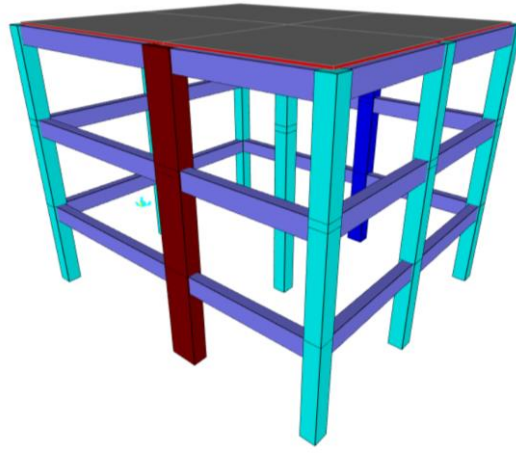
c)



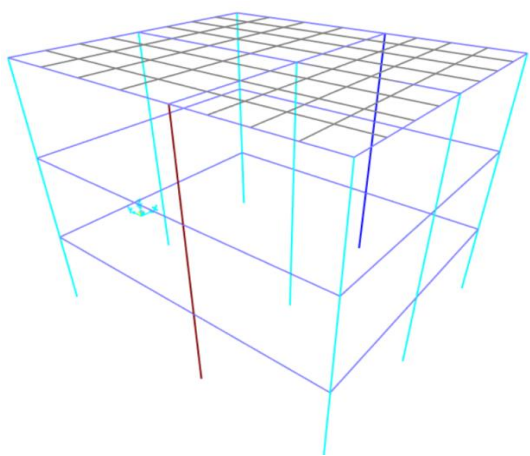
d)



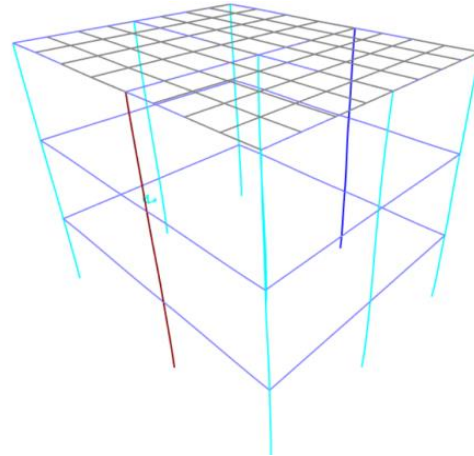
e)



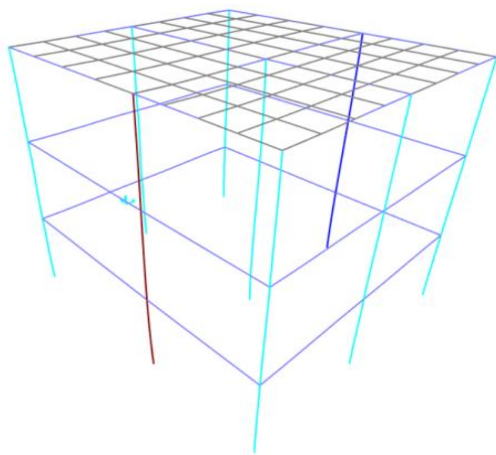
f)



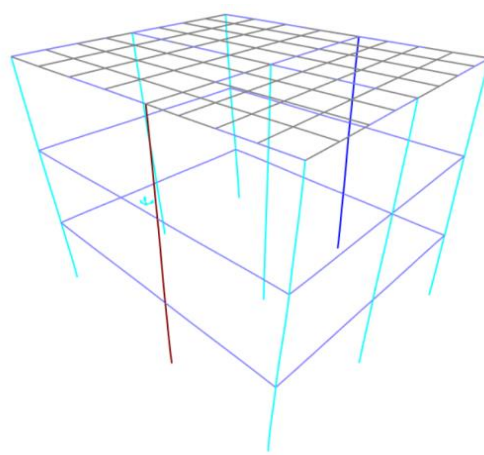
g)



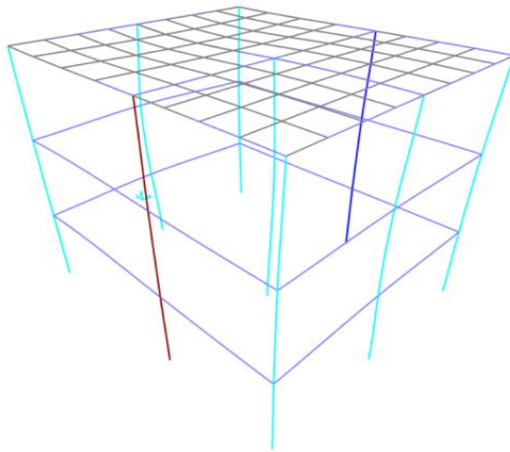
h)



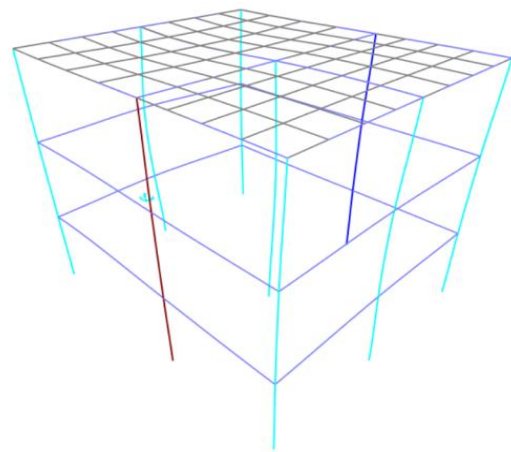
j)



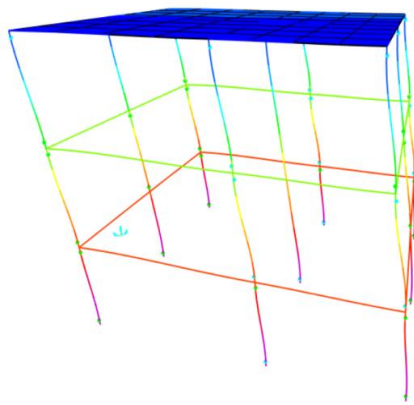
k)



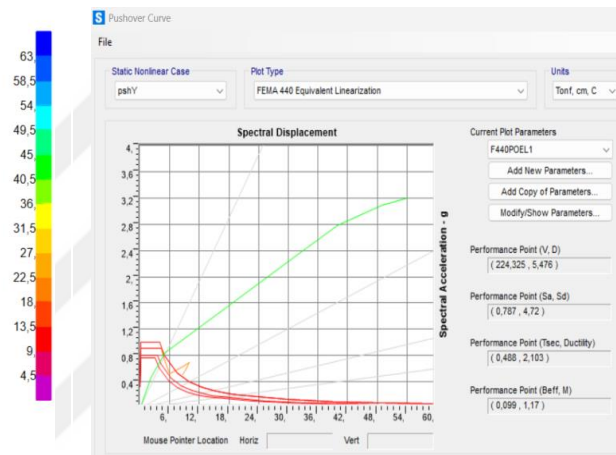
l)



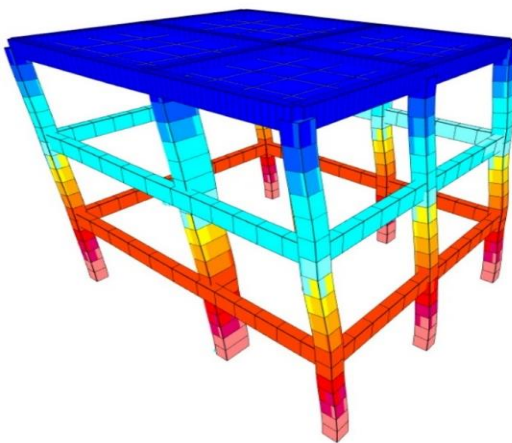
m)



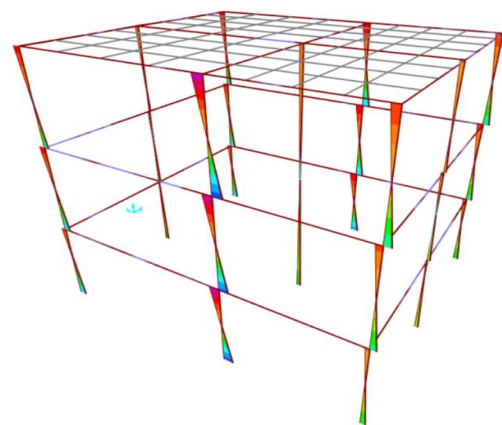
n)



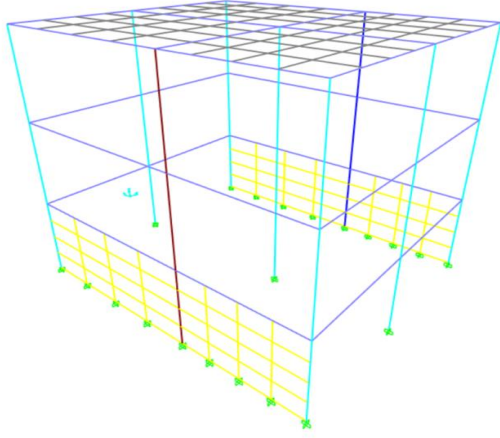
p)



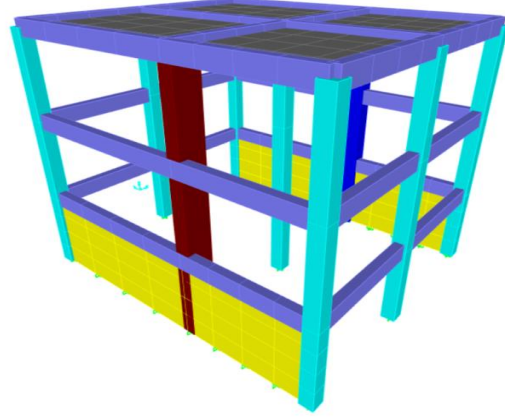
r)



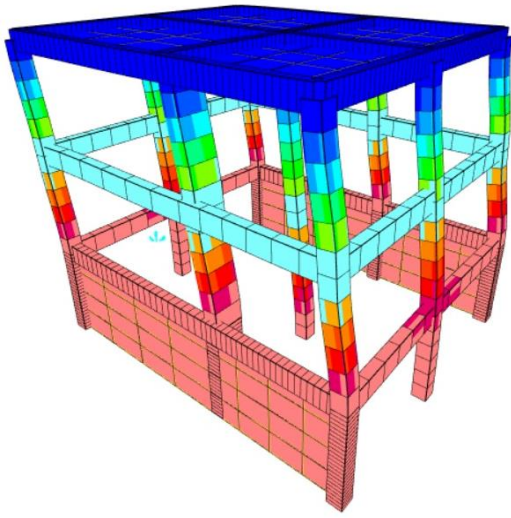
s)



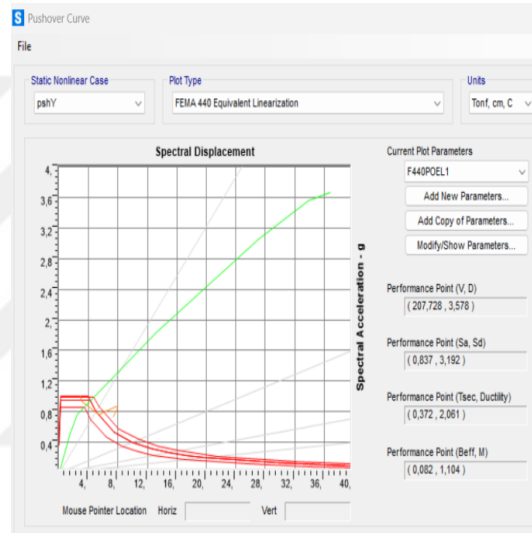
t)



u)



v)



w)

Şekil 3.52. Mevcut Örnek Betonarme Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri.

Tez çalışması kapsamında, mevcut bir betonarme yapının üç boyutlu analiz modeli üzerinde itme (pushover) analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yöntem sayesinde, mevcut betonarme yapıların analiz edilmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarına dijitalleşme ile doğrudan katkı sağlanmıştır. Ayrıca, ileri düzeyde gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalara yönelik olarak bu yöntemin geçerliliği ve uygunluğu başarılı sonuçlarla ortaya konmuştur. Bu doğrultuda, mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesine yönelik farklı yöntemlerin de bu analiz yaklaşımıyla uygulanabilir olduğu açıkça gösterilmiştir. Bununla birlikte yapısal sisteme uygulanan güçlendirme yaklaşımlarının Revit modelleri üzerinden mimari, tesisat vb. detaylar ile birlikte 3D olarak değerlendirilebilmesi saha uygulamalarının verimliliğinin artırılmasında önemli bir avantaj sunacağı düşünülmüştür.

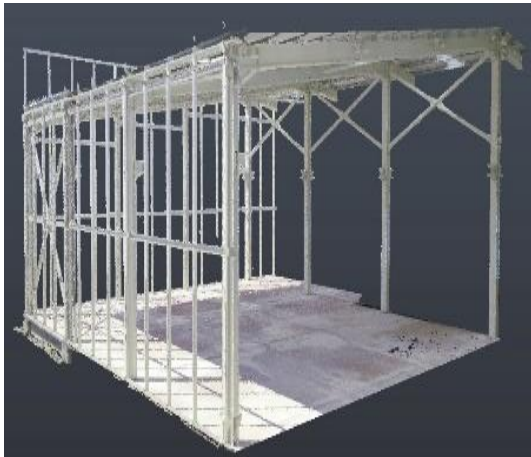
3.5.2. Çelik yapı analiz modeli

Tez kapsamında incelenen mevcut örnek bir çelik yapının analiz modellemesi süreci, sahada gerçekleştirilen 3D lazer taramalarla elde edilen nokta bulutu verilerinin düzenlenmesiyle başlatılmıştır. Çelik yapı sistemlerinde mühendislik analizi hem yapısal elemanların tasarımı hem de birleşim detaylarının tasarımı açısından önemlidir. ReCap üzerinden gerçekleştirilen montaj sonrası hizalama kontrolü, kolon, kuşak ve diğer bağlantı noktalarının hassas konumlarının doğruluğunun tespiti yapısal değerlendirme açısından gereklidir (Autodesk, ReCap 2026). Çalışmada modellenen çelik yapısal sistemde analiz modelinin elde edilmesinin yanı sıra birleşim detaylarının, taşıyıcı eleman boyutlarının ve konumlarının değerlendirilebilmesi hassas bir şekilde yapılmıştır. Bu yöntem sayesinde yapı elemanlarının tasarım projelerine uygun montajı kontrol edilebilmekte ve gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir. Sapma analizleri, çelik elemanların yatay ve düşey eksenlerde projeden ne ölçüde farklılaştığını belirlemek için kullanılmaktadır. Tez çalışmasında bu kapsamda da değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen veriler, çeşitli düzenleme ve filtreleme adımlarıyla analize uygun hale getirilmiş ve AutoDesk ReCap yazılımına yüklenerek üç boyutlu dijital bir model belirlenmiştir. Oluşturulan model yardımıyla mevcut örnek çelik yapının tarama anındaki fiziksel durumu, geometrik yapısı, düğüm noktaları, profil tipleri, deformasyon alanları ve yüzey görselleri dahil olmak üzere teknik bileşenleri elde edilebilmiştir.

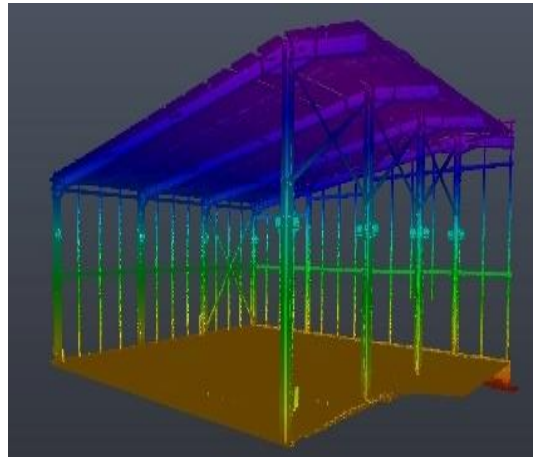
ReCap yazılımında oluşturulan dijital görüntü modeli, AutoDesk Revit yazılımına entegre edilmiş ve mevcut çelik yapının taşıyıcı sistemini yansıtacak şekilde parametrik modelleme süreci gerçekleştirilmiştir (Autodesk, Revit 2026). Revit üzerinde düzenlenen nokta bulutu verileri şablon olarak kullanılmış; kat planları, düşey-yatay akslar, çerçeve sistemleri, bağlantı detayları ve genel yapısal detaylar sayısal ortama taşınmıştır. Elde edilen üç boyutlu model hem geometrik anlamda hem de analiz uyumluluğu açısından veri temelli doğrulama sürecinden geçirilmiştir. Revit ortamında tamamlanan modelleme süreci sonrasında, dosya IFC formatına dönüştürülmüş ve SAP 2000 analiz yazılımına başarıyla aktarılmıştır (SAP 2000 Structural Analysis and Design, CSI). Verilerin doğru ve hassas biçimde aktarılabilmesi için belirli bir iş akışı planı takip edilmiştir. Bu iş akışı sayesinde aktarım süreci esnasında oluşabilecek veri kayıplarının ve uyumsuzlukların önüne geçilmiş; analiz süreci tutarlı bir şekilde yapılandırılmıştır.

SAP 2000 üzerinde oluşturulan analiz modelinde hem statik hem de dinamik analizler gerçekleştirilebilmekte, yapısal performans değerlendirilebilmekte ve güçlendirme opsiyonları analiz edilebilmektedir. Ayrıca dijital ikiz yaklaşımıyla

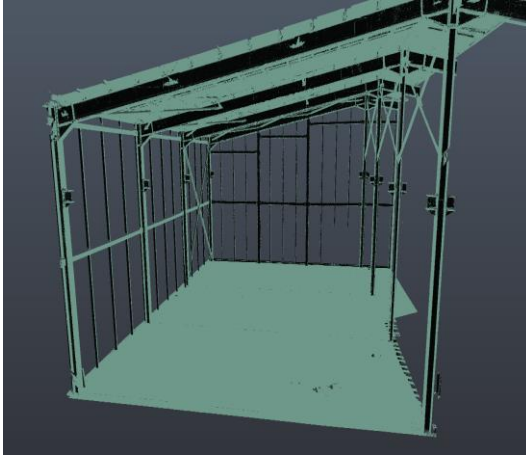
oluşturulan veriler, analiz çıktılarıyla entegre edilerek mevcut örnek çelik yapı hakkında değerlendirme yapılabilmektedir. Teknik personeller için, bu üç boyutlu model üzerinde sanal inceleme imkânı sunulmuş; analiz sonuçlarında belirlenen kritik noktaların dijital ortamda detaylı şekilde gözlemlenmesi mümkün kılınmıştır. Uygulanan bu bütünlük analiz yöntemi, mevcut çelik yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının daha hassas bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacak ve olası güçlendirme senaryoları için tüm detayların göz önüne alındığı efektif bir uygulama yaklaşımı sunacaktır. Ayrıca montaj sonrası hizalama kontrolü, sapma analizleri, tolerans dışı montaj tespiti, kaynak ve bulon bağlantı detayları, profillerin ölçüleri ve detayları belirlenebilmiştir. Aynı zamanda mühendislik, mimarlık ve kontrol disiplinleri arasında kesintisiz bir veri aktarımı sağlanarak optimize edilmiş bir modelleme ve analiz süreci gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen bu bütünlük yöntem, mevcut yapıların deprem performanslarının analiz edilmesi ve güçlendirme stratejilerinin oluşturulması sürecinde mühendislik yaklaşımı, kontrol mekanizmaları, mimari ve tesisat çakışmaları, hassas model üretimi ve süre optimizasyonu açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Ayrıca diğer yapılardan farklı olarak çelik yapılarda yerinde gözle tespit edilemeyebilen bağlantı detaylarının oldukça hassas değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Çünkü çelik yapıların performans analizinde taşıyıcı elemanların kapasiteleri yanında bağlantı detaylarının da uygunluğu, yapısal değerlendirme açısından oldukça önemlidir. Tez kapsamında 3D lazer tarama ve YBM entegrasyonu ile örnek mevcut çelik bir yapının hem analiz modeli elde edilmiş hem de yapısal değerlendirmeye esas diğer tüm detaylar dijital veri üzerinden incelenebilmiştir. Mevcut örnek çelik yapının 3D lazer tarama, düzenlenmiş nokta bulutu, 3D dijital model ve 3D analiz model görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 3.53).



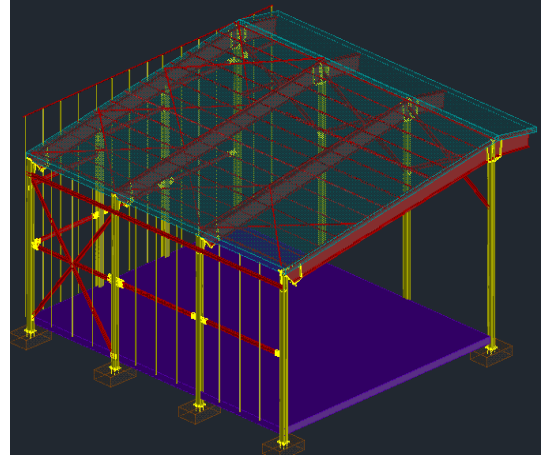
a)



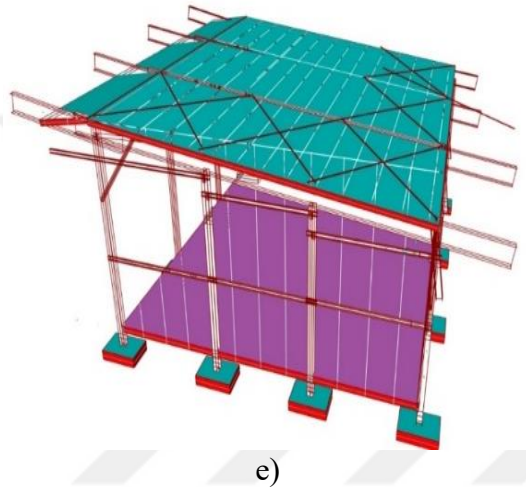
b)



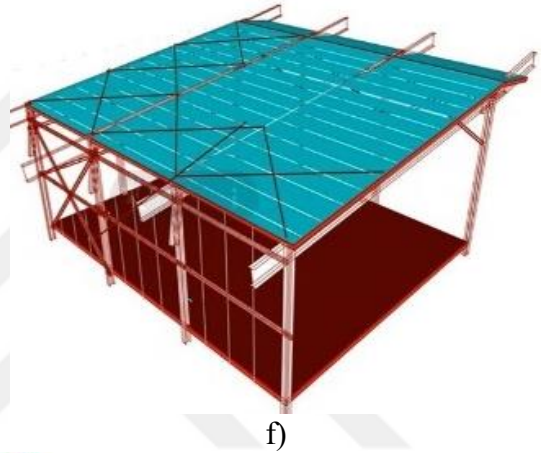
c)



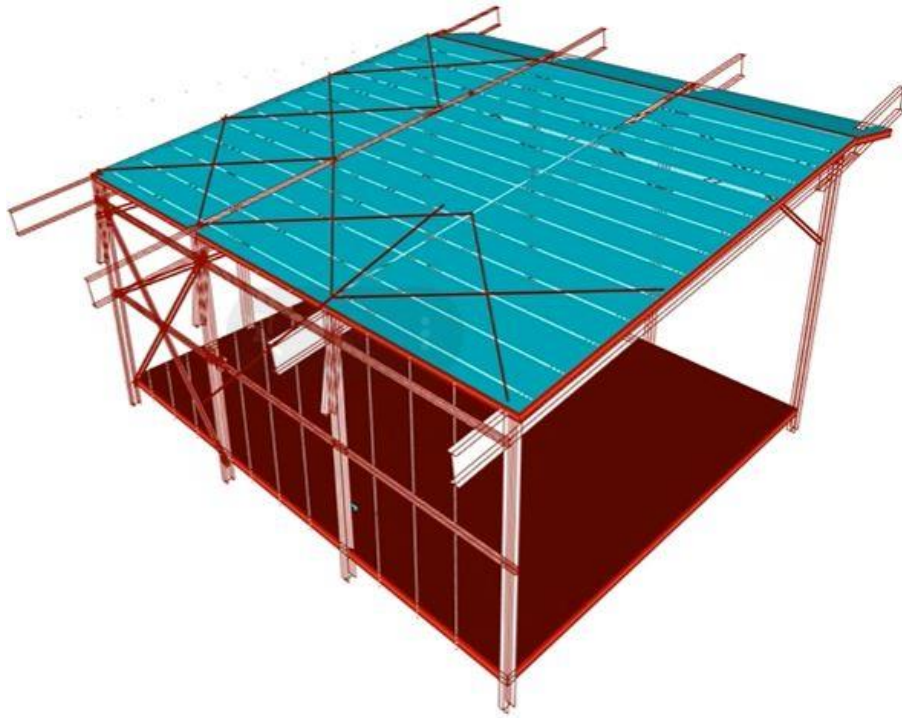
d)



e)



f)



g)

Şekil 3.53. Mevcut Örnek Çelik Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri.

3.5.3. Prefabrik yapı analiz modeli

Tez çalışmasında örnek olarak seçilen prefabrik yapıya ilişkin analiz süreci, sahada gerçekleştirilen 3D lazer taramalarla başlamıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen ham nokta bulutu verileri, belirli düzenleme adımları ve yöntemler doğrultusunda analizlerde kullanılabilir filtrelenmiş veri kümelerine dönüştürülmüştür. AutoDesk ReCap yazılımına aktarılan bu veriler, mevcut örnek prefabrik elemanların birebir konumlarını, birleşim yüzeylerini, montaj hassasiyetlerini, yüzey deformasyonlarını ve diğer yapısal bileşenlerini üç boyutlu dijital formatta ortaya koymuştur (Autodesk, ReCap 2026).

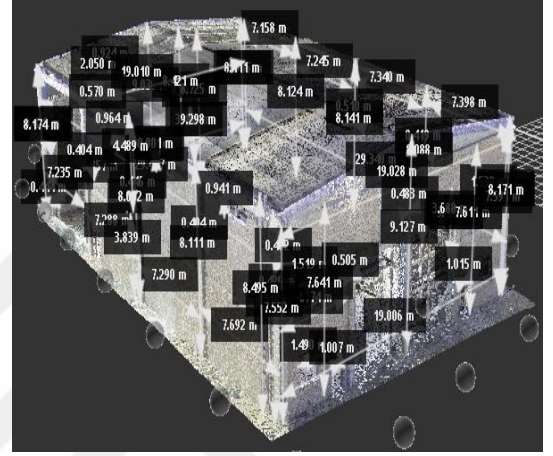
Elde edilen bu dijital görüntü modeli, mevcut örnek prefabrik yapının tarama anındaki durumunu detaylı biçimde yansıtırken; yüzey görüntüleri, açıklık bilgileri, eleman ölçüleri gibi verilerde sunmaktadır. Hazırlanan bu dijital görüntü modeli, Revit platformuna aktarılmış ve burada parametrik modelleme süreci başlatılmıştır (Autodesk, Revit 2026). Revit yazılımında düzenlenmiş nokta bulut verisi şablon olarak kullanılmış; taşıyıcı olmayan detaylar ayıklanarak kat planları çıkarılmış ve yapı bileşenleri yapısal analiz uyumluluğuna göre oluşturulmuştur. Revit ortamında tamamlanan bu detaylı modelleme işleminden sonra 3D model, IFC formatına dönüştürülerek SAP 2000 yapısal analiz yazılımına aktarılmıştır (SAP 2000 Structural Analysis and Design, CSI). Bu yöntemle süreç boyunca oluşabilecek veri aktarım sorunlarını ortadan kaldırmış ve tüm süreçlerin düzenli bir şekilde ilerlemesine olanak tanımıştır. Böylece prefabrik sistemde yer alan ön üretimli elemanların konumları, bağlantı yüzeyleri ve taşıyıcı sistemleri SAP 2000 platformunda analiz edilebilir hale getirilmiştir.

SAP 2000'e aktarılan model üzerinden statik ve dinamik analizlerin yapılabileceği görülmüştür. Bu modellemeler ile prefabrik bir yapının performans analizinin yapılabileceği, dijital modelden elde edilen detay veriler ile de yapının mevcut durumunun değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Çelik yapılarda olduğu gibi prefabrik yapılarda da bağlantı detayları önem arz etmektedir. 3D lazer tarama yönteminde çelik yapılarda bağlantı detayları çok hassas belirlenebilirken prefabrik yapı örneğinde bu detay kısmen elde edilebilmiştir. Çünkü 3D lazer cihazı gördüğü geometrilerin detaylarını belirleyebilmektedir. Prefabrik sistemlerde pin bağlantıları görünür olmadığı için 3D lazer tarama ile bunların tespiti mümkün olmamıştır. Ancak prefabrik yapıların taşıyıcı eleman boyutlarının modellenmesi, yerinde yapısal detayların ve ölçülerin değerlendirilmesi, yerinde yapıda ölçümü çok zor olan detayların tespiti gibi hususlarda yöntem büyük kolaylıklar sunmuştur. Mevcut örnek prefabrik yapıda uygulanan bu

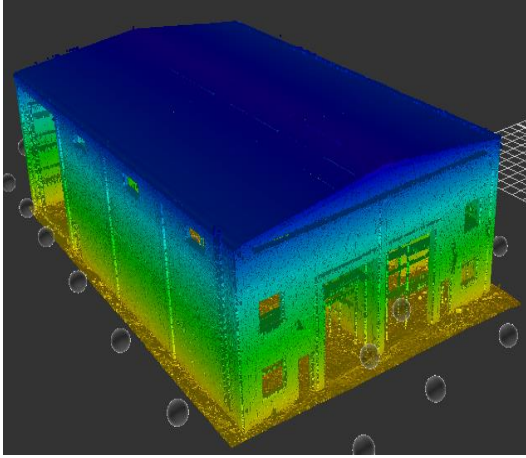
bütünleşik analiz modellemesiyle, 3D lazer tarama teknolojisi ile Yapı Bilgi Modellemesi uyumlu bir zeminde bir araya getirilmiş; mühendislik doğruluğu, model hassasiyeti, montaj sonrası hataların tespiti, yapısal elemanların ölçüleri ve detayları, kat planları, güçlendirme stratejisi oluşturma süreci ve analiz aşaması optimize edilmiştir. Mevcut örnek prefabrik yapının 3D lazer tarama, düzenlenmiş nokta bulutu, 3D dijital model ve 3D analiz model görünümüleri elde edilmiştir (Şekil 3.54).



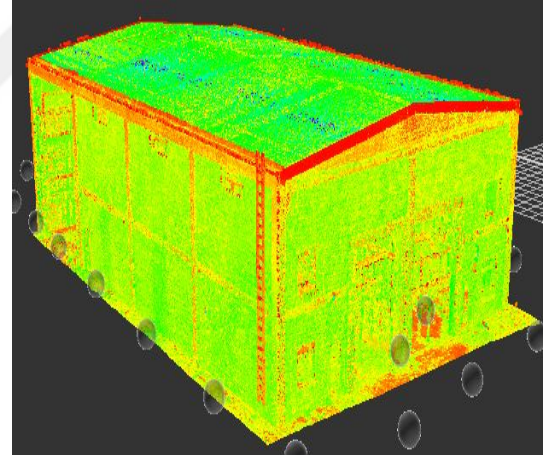
a)



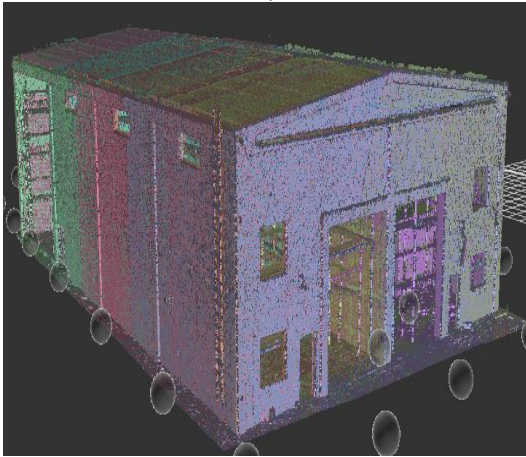
b)



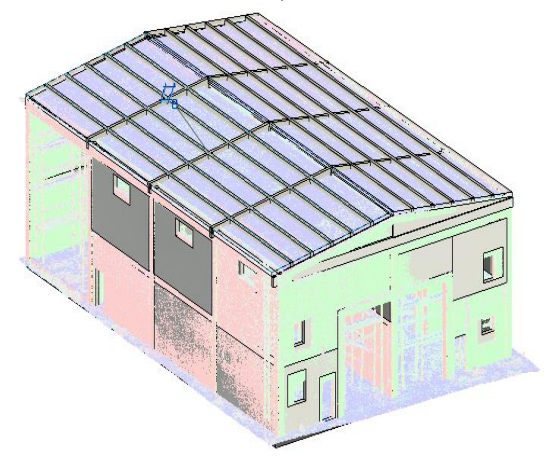
c)



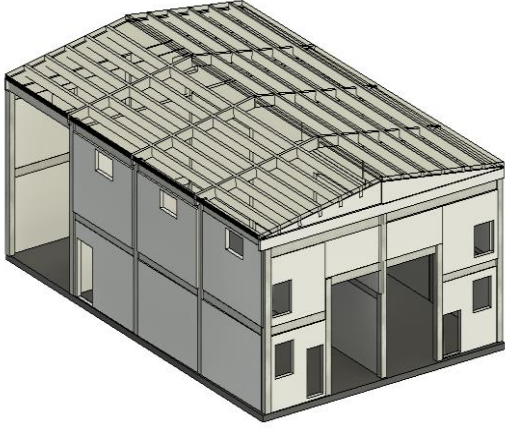
d)



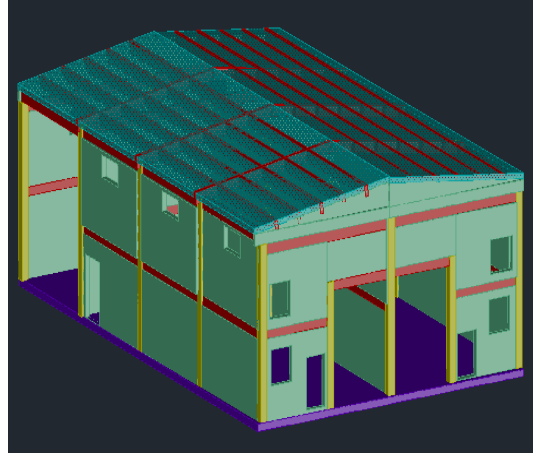
e)



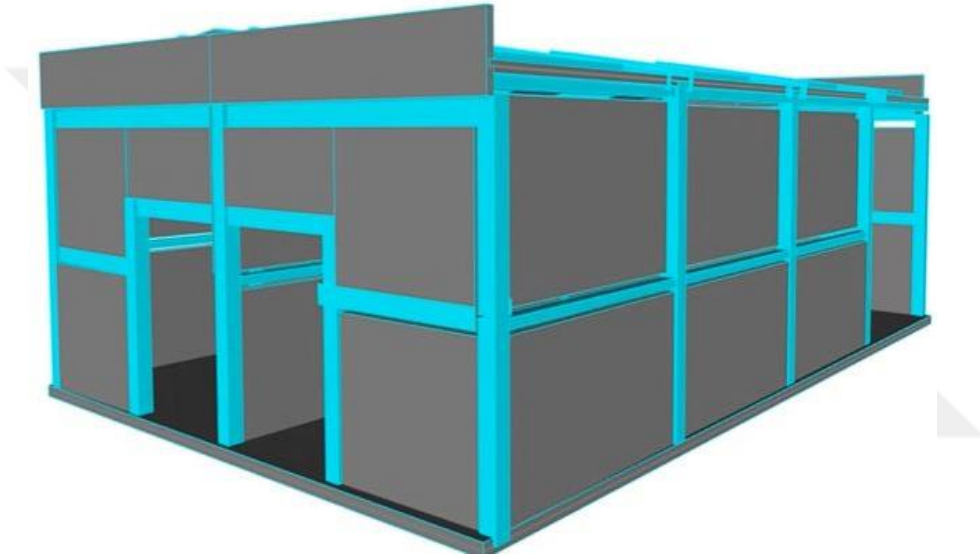
f)



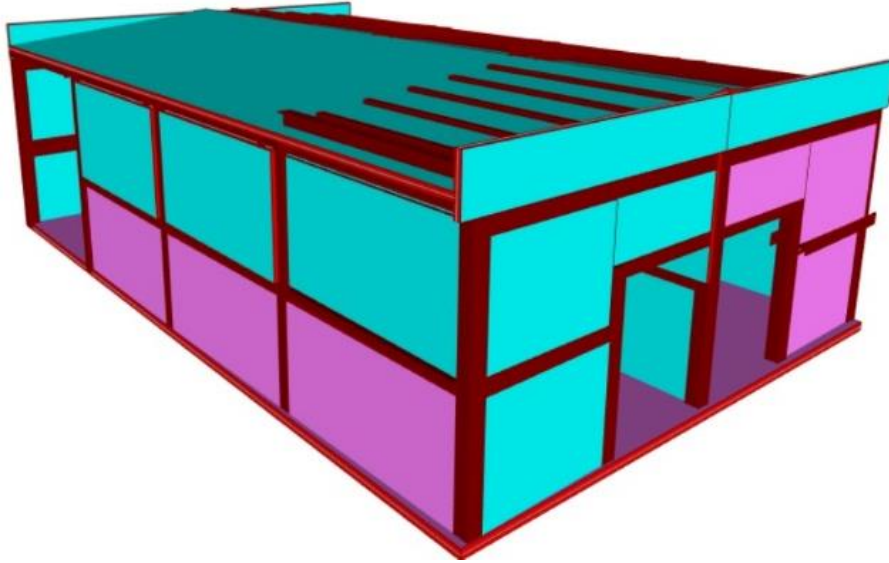
g)



h)



j)



k)

Şekil 3.54. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri.

Tez kapsamında yürütülen çalışmada, mevcut bir prefabrik yapıya ait üç boyutlu statik analiz modeli elde edilebilmiştir. Elde edilen modeller ile prefabrik yapı sistemlerinin performans analizleri yapılabileceği gibi gerekli olması halinde uygulanacak güçlendirme opsiyonlarının hızlı bir şekilde detaylandırılması, bu opsiyonların mevcut yapıdaki durumunun dijital model üzerinden 3D olarak görülebilmesi sağlanabilecektir. Ancak prefabrik yapı Revit modeli oluşturulurken yazılım kütüphanesinin prefabrik yapı sistemine ilişkin kesit verilerini içermesi gerekmektedir.

3.5.4. Yığma yapı analiz modeli

Tez çalışmasında örnek olarak seçilen mevcut bir yığma yapının analiz süreci, sahada gerçekleştirilen 3D lazer tarama verilerinin işlenmesiyle başlamıştır. Tarama sonucunda elde edilen nokta bulutu verileri, çeşitli dijital düzenleme teknikleriyle analiz amaçlı kullanılabilecek biçime getirilmiş ve bu sayede yapının taşıyıcı duvar sistemi, açıklık ölçüleri, mimari detayları ve olası deformasyonları detaylandırılmıştır. Geliştirilen bu düzenlenmiş veri seti AutoDesk ReCap yazılımına aktarılmış ve bu platformda üç boyutlu dijital görüntü modeli elde edilmiştir (Autodesk, ReCap 2026). RGB veri desteği ile malzeme dokusu ve özgün mimari öğeler detaylandırılarak sayısallaştırılmıştır. Bu üç boyutlu dijital model, daha sonra Revit platformuna aktarılmış ve burada yapı bilgi modellemesi prensiplerine uygun olarak parametrik modelleme süreci yürütülmüştür. Nokta bulutu verileri, özellikle taş, tuğla ya da karışık malzeme düzenine sahip yığma duvarların kalınlıkları, açıklık oranları, pencere-kapı yerleşimleri, tonoz, kemer ve minha gibi öğelerin modellenmesinde şablon niteliğinde kullanılmıştır. Revit üzerinde elde edilen tüm kat planları, cephe kesitleri, aks şemaları ve rölöveler özgün geometriye birebir uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır (Autodesk, Revit 2026).

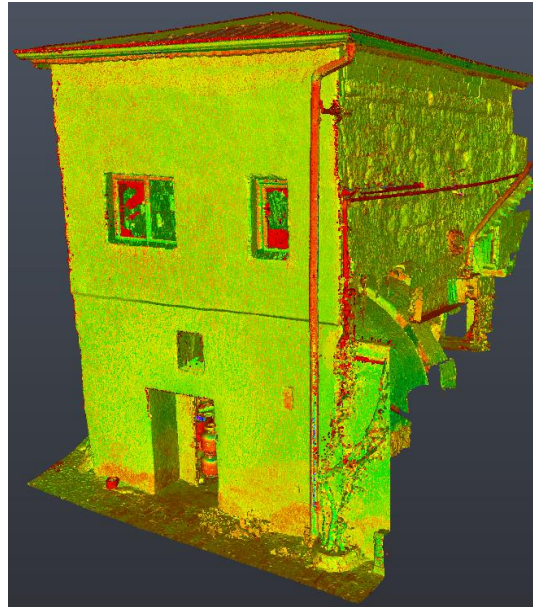
Revit'te oluşturulan bu üç boyutlu dijital model, SIMULIA Abaqus yazılımına başarıyla aktarılmıştır (Dassault Systèmes Abaqus, 2025). Model aktarım süreci, hata olasılığını en aza indirmek adına belirli bir iş akış planına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Abaqus yazılımında yapılan çalışmalar, mevcut yığma yapı sisteminin deprem performansına ilişkin analizlerin gerçekleştirilmesine imkân tanımıştır. Ayrıca Revit üzerinden elde edilen dijital ikiz model yardımıyla, analiz bulguları ile geometri arasında güçlü bir bağ kurulmuş; hem teknik personelin sanal ortamda yapıyı gezerek rapor bulgularını incelemesi hem de güçlendirme detaylarının

görselleştirilmesi mümkün olmuştur. Tarama verisiyle elde edilen deformasyon izleri, çatlak başlangıçları veya malzeme bozulmaları dijital model üzerinde görülebilmektedir.

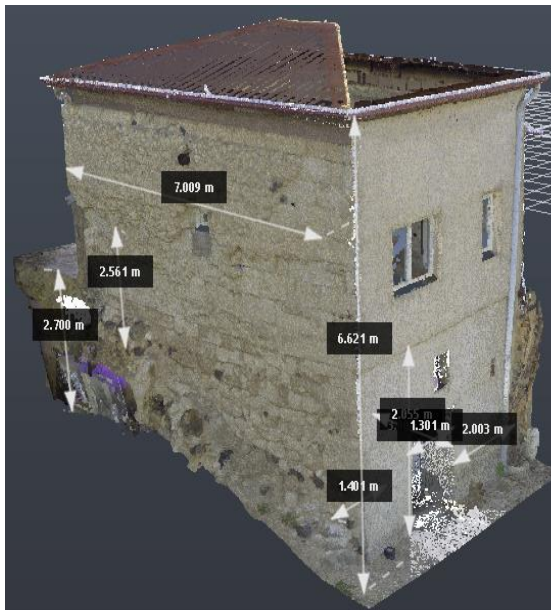
Mevcut örnek yığma yapı analizi, 3D lazer tarama teknolojisi ile YBM araçlarının entegre biçimde kullanımı sayesinde hem mevcut durumun eksiksiz belgelenmesini hem de mühendislik değerlendirmelerinin yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Tarihi nitelik taşıyan yapılarda özgünlüğün bozulmadan korunabilmesi için geliştirilen bu yaklaşım, yapı çatlak ve deformasyonların tespiti, yapının rijitliği ve göçme senaryoları, geometrik bozulma analizleri, güvenliğini değerlendirmesi, güçlendirme çözümleri, koruma ve restorasyon kararlarını yönlendirme ve olası güçlendirme opsiyonlarının sahaya aplikasyonundan önce analiz etme açısından kapsamlı bir dijital temel oluşturmuştur. Örnek yığma modelinde diğer yapı örneklerinden farklı olarak taşıyıcı sistem içerisinde bir kemer yapısının varlığı tespit edilmiştir. Bu kemer sistem 3D lazer tarama yöntemiyle ölçülmüştür, Revit yazılımında hassasiyetle modellenmiş ve sonlu elemanlara dayalı analiz programına başarıyla aktarılmıştır. Geleneksel ölçüm teknikleriyle oldukça zor olan bu detayın modellenmesi aşaması tez kapsamında ele alınan süreçler ile hassas ve pratik bir şekilde detaylandırılabilmiş, yapısal analize hazır hale getirilmiştir. Mevcut örnek yığma yapının 3D lazer tarama, düzenlenmiş nokta bulutu, 3D dijital model ve 3D analiz model görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 3.55).



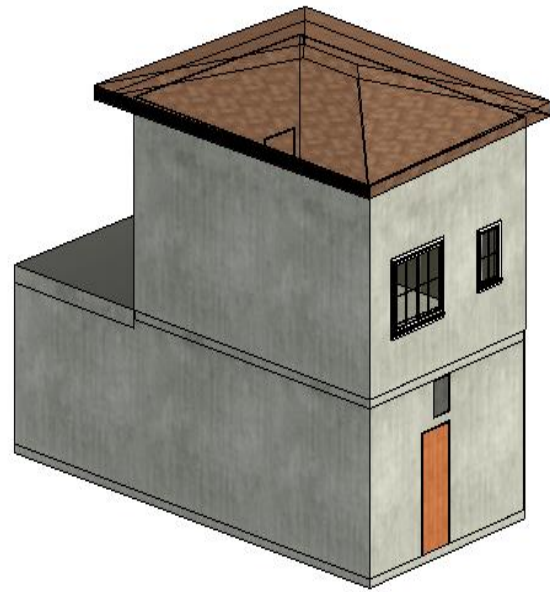
a)



b)



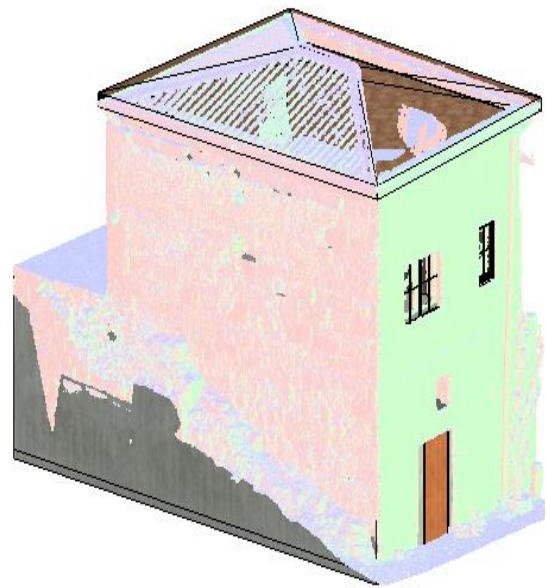
c)



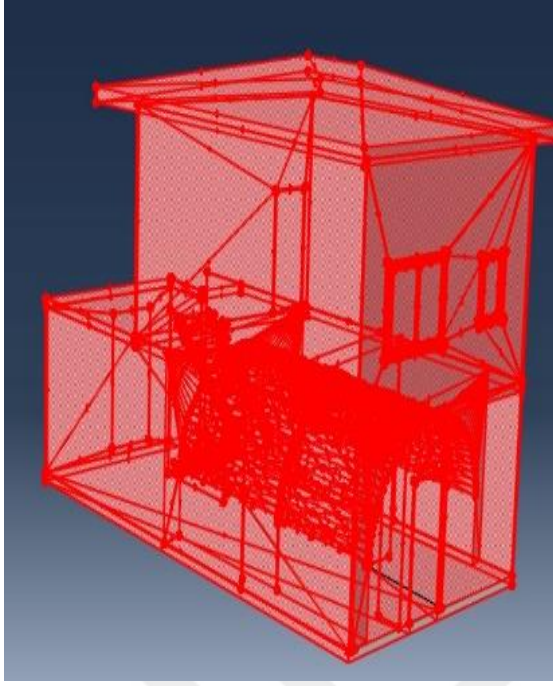
d)



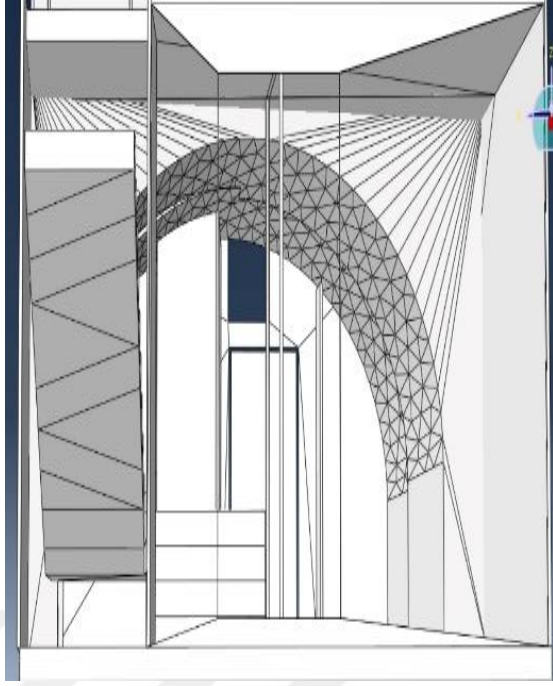
e)



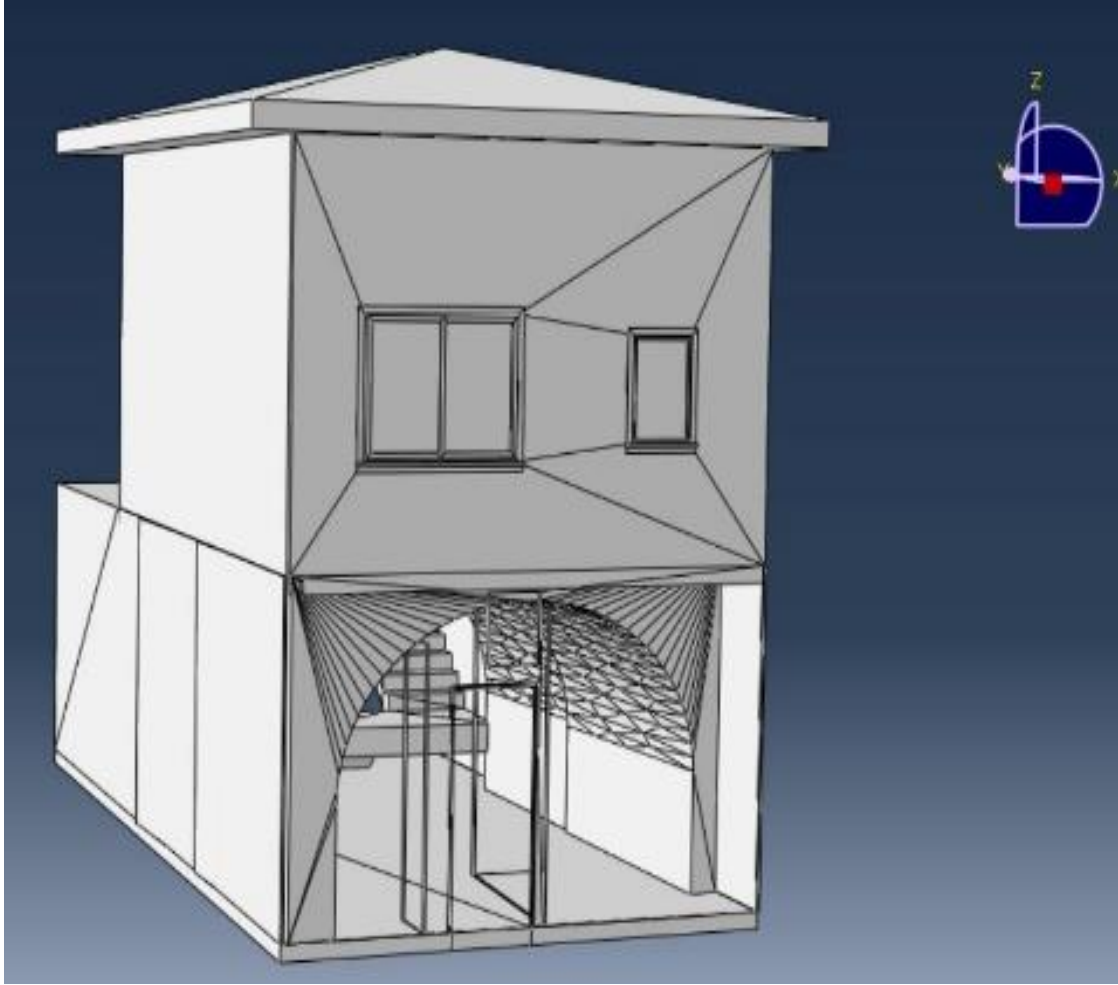
f)



g)



h)



j)

Şekil 3.55. Mevcut Örnek Yığma Yapının 3D Lazer Tarama, Düzenlenmiş Nokta Bulutu, 3D Dijital Model ve 3D Analiz Model Görünümleri.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında mevcut betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapıların 3D lazer tarama uygulaması ve elde edilen verilerin YBM' ye entegrasyonu ile statik analize esas modellerin elde edilmesi yapılabilmektedir. Ayrıca tarihi bir yapının da saha tarama verilerinden Revit modeli tamamlanmıştır. Bununla birlikte tarama verilerinden elde edilmiş dijital Revit modelleri üzerinden mevcut yapılara ilişkin detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Tüm bu analizler ve değerlendirmeler sonucunda mevcut yapıların performans analizi ve güçlendirilmesinde 3D lazer tarama teknolojisi ile YBM entegrasyonunun kullanımına yönelik detaylar elde edilmiştir. Bu bölümde saha çalışmalarından analiz modelinin elde edilmesine ve mevcut yapıların tez kapsamında detaylandırılan yaklaşımla değerlendirilmesi aşamalarına kadar tüm bulgular sunulmuştur.

4.1. 3D Lazer Tarama Uygulaması Verilerinin Yapısal Analizde Kullanımı

Yapılan saha çalışmaları sonucunda, 3D lazer tarama yöntemiyle elde edilen nokta bulutu verileri, yapıların mevcut geometrik durumunu yüksek hassasiyetle ortaya koymuştur. Özellikle taşıyıcı elemanların kesit boyutları, konumsal düzeni ve yüzey deformasyonlarına dair veriler detaylı biçimde tespit edilmiştir. Bu verilerin ReCap yazılımı üzerinden görsel ve sayısal modellere dönüştürülmesi, dijital modellemede hassasiyeti arttırmıştır. Tüm bu süreçler çok kısa sürede gerçekleştirilebilmiştir. Çalışma ile yerinde tespit edilmesi çok zor olan birçok detay tarama verilerinden elde edilebilmiştir.

Yapısal analizlerde kullanılan geometrik modelin, sahadaki gerçek duruma yakınlaştırılmasında tarama verilerinin önemli bir katkı sunduğu gösterilmiştir. Analiz modeline girilen ölçülerin sahaya dayalı olması, performans analizlerinin güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca deformasyonların dijital ortamda tespit edilebilmesi, güçlendirme gereksinimlerinin erken fark edilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu sonuçlar çerçevesinde, yapısal analiz çalışmalarında 3D lazer tarama teknolojisinin kullanılması hem modelleme doğruluğunu artırmakta hem de bakım, onarım ve güçlendirme karar süreçlerinde mühendislik tasarımlarına ve analizlerine önemli bir veri kaynağı sunmaktadır. Bu kapsamda tez çalışmasında örneklendirilen yapılara ilişkin elde edilen bulgular aşağıda detaylandırılmıştır.

Örnek mevcut betonarme yapıya ilişkin bulgular:

- Kolon, kiriş ve döşeme sistemlerinin geometrik ölçüleri nokta bulutu verileri üzerinden yüksek doğrulukla tespit edilebilmiştir (Şekil 3.8). Bu kapsamda yerinde ilave ekipmanlarla ölçülebilecek detaylar dijital veri ve model üzerinden tanımlanabilmiştir. Mevcut yapının yerinde ulaşılması çok zor olan noktalarında dahi hassas ölçümler ve gözlemler yapılabilmiştir (Şekil 3.18, Şekil 3.19).
- Mevcut betonarme yapıdaki muhtemel deformasyonlar veya yapısal kusurlar, akstan sapmalar (Şekil 4.4), yapısal elemanların detayları ölçüleri (Şekil 3.23, Şekil 3.25), ve uygulama hataları (Şekil 4.3) belirlenebilmiştir. Bununla birlikte sahada tarama işlemi devam ederken bu detayların birçoğunun anlık görülebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür [3.5 (b)].
- 3D lazer tarama teknolojisi ile yapısal değerlendirmede en önemli detay tarama öncesinde uygulama için efektif bir oturum planlaması olduğu şeklindedir (Şekil 3.2). Çünkü nokta bulutu verileri oldukça büyük hacimde veri içermektedir. Efektif tarama oturumları ile birleştirilemeyen veriler sahadan tekrar uygulama yapma gereksinimini ortaya çıkarabilmektedir. Bununla birlikte nokta bulutu verilerinin işlenmesine olanak sağlayan bir yazılımla verilerin filtrelenmesi gerekmektedir (Şekil 1.5). Aksi durumda bir sonraki aşama olan Revit' te modelleme oldukça güçleşmektedir. Standart bir kapasiteye sahip bilgisayar ile bu süreçlerin hızlı bir şekilde sağlanması nokta bulutu verilerinin uygun bir şekilde filtrelenmesi ile mümkün olabilmektedir (Şekil 3.6).
- Çalışma kapsamında elde edilen betonarme yapı saha verilerinden oluşturulan görsellerden farklı renk yoğunluğu ayarlamaları ile taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapısal eleman ayrımı yapılabilmiştir (Şekil 3.15, Şekil 3.16). Tez çalışmasında örnek seçilen yapıların bir kısmı inşaat aşaması devam eden yapılardır. Dolayısıyla mimari detaylandırmalar henüz tam oluşmamıştır. Mimari detaylarıyla birlikte tamamlanmış bir yapıda bu yaklaşımın uygulanmasında renk yoğunluğu ayarlamaları tasarımcıya bir fikir oluşturmaktadır. Ancak bu kapsamda yapılan araştırmalarda en efektif yaklaşımın 3D lazer tarama verisine entegre termal veri ile sağlanabileceği belirlenmiştir. 3D lazer tarama cihazları

termal kamera uyarlama özelliğine sahiptir. Bu çerçevede mimari detaylandırmaları tamamlanmış bir yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan eleman ayrımı yapılabilecektir. Termal veri sadece tasarımcıya bu açıdan değil yapıdaki ısı verimliliği parametrelerini değerlendirmede, güçlendirme yanında yapıda mevcut ısı geçişlerinin önlenmesi hususunda değerlendirme imkânı sağlayacağı belirlenmiştir.

- Betonarme yapılar inşa edilirken taşıyıcı elemanların düşeyde aynı aks üzerinde bulunması önemlidir. Kalıp aşamasında sahada bunun için ilave uygulamalar yapılmaktadır. Ancak yapı inşa edildikten sonra yapının düşey akstan bir sapmasının bulunup bulunmadığının tespiti gözle çok zordur. Bunun için günümüzde farklı teknolojik uygulamalar mevcuttur. 3D lazer taramaya entegre YBM uygulaması yaklaşımı bu sapmaların tespiti içinde oldukça efektif bir çözüm olmuştur (Şekil 4.4). Bu sapmalar saha uygulamalarından oluşabilecek hatalardan kaynaklanabileceği gibi deprem gibi yatay yük etkilerinde kalıcı deformasyon şeklinde de ortaya çıkabilmektedir. Bu ayrımın yapılması tasarımcı mühendisin tecrübesine ve yapının geçmişine bağlıdır. Eğer yapıda yatay yükler veya zemin deformasyonları gibi etkilerden kalıcı deformasyonlar mevcutsa, bu deformasyonlar ilerliyorsa bunun hassas bir şekilde tespiti ancak 3D lazer tarama teknolojisi ile mümkün olabilecektir. Bu kapsamda yapı içerisindeki taşıyıcı elemanların birbirine olan rölatif yer değiştirmelerinin de belirlenmesi, katlar arası yatay ötelenme oranlarının tespiti, sahada yapının mevcut durumu hakkında çok önemli veriler sunacaktır (Şekil 4.3). Tez çalışmasında yapılan analizlerde bu hususlara ilişkin örneklemeler sunulmuştur.

Örnek mevcut çelik yapıya ilişkin bulgular:

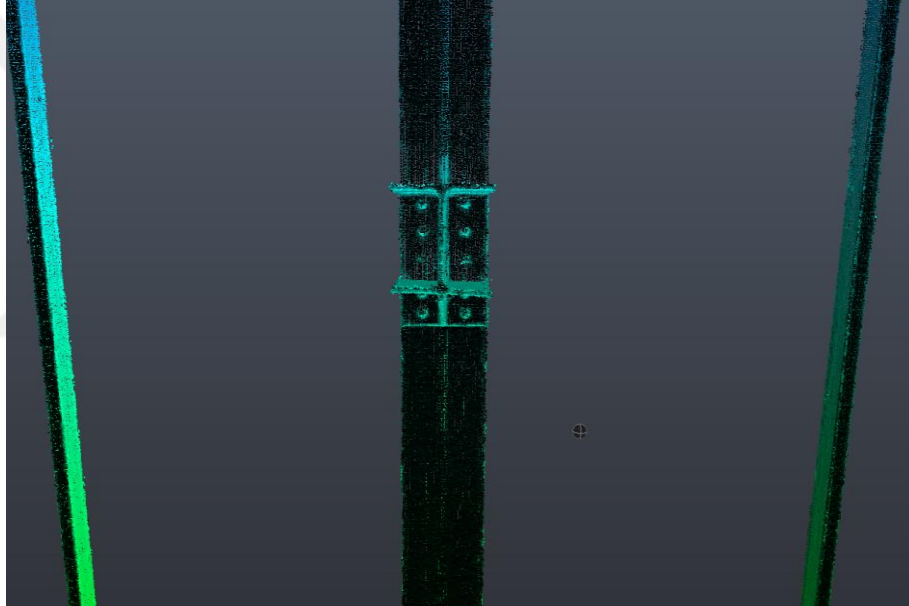
- Tez çalışmasında taraması gerçekleştirilen mevcut çelik yapıda profil kesitleri, bulonları, çapraz elemanların konumu, bağlantı detaylarının teşkili ve birleşim plakaları net şekilde görselleştirilmiş montaj ve uygulama durumları detaylı değerlendirilebilmiştir (Şekil 4.1). Çelik yapıların performans analizinde kesit yeterliliklerinin yanı sıra bağlantı detaylarının durumunun değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Mevcut saha analizlerinde genellikle endüstri yapısı olarak kullanılan çelik

sistemlerde kat yüksekliğinin fazla olmasından dolayı kolon giriş birleşim noktalarındaki bağlantı detaylarının belirlenebilmesi çok zor olmaktadır. Bununla birlikte bağlantı teşkilinin projesine uygunluğunun tespiti ve analizi yapının mevcut durumu hakkında veya güçlendirme opsiyonları için oldukça önemli bir veri oluşturmaktadır. 3D lazer tarama teknolojisi çelik yapılarda sadece bağlantı detaylarının tespiti değil düğüm noktalarında bulunan kaynak, bulon kalınlıklarının ölçülendirilmesinde hassas bir çözüm metodolojisi sunmaktadır.

- Saha taraması verilerine göre çelik yapı örneği üzerinde yapılan değerlendirmelerde aynı betonarme sistemlerde olduğu gibi yatayda ve düşeyde akstan sapmalar, taşıyıcı elemanların konumu, yapısal kusurlar gibi veriler elde edilebilmiştir (Şekil 4.2). Dolayısıyla 3D lazer tarama teknolojisi çelik yapılarda da sadece performans ve güçlendirmeye esas analiz modelinin elde edilmesinde değil, mevcut yapının yerindeki durumunun değerlendirilmesinde de oldukça efektif veri sunmuştur. Çelik yapılarda taşıyıcı elemanların burulma ve burkulma etkinlerine karşı hassas olduğu bilinmektedir. Bu teknoloji ile mevcut yapısal elemanlarda burulma ve burkulma durumlarının tespiti de mümkündür. Ancak tüm bu değerlendirmelerin yapılabilmesi 3D lazer tarama verilerinden elde edilen sonuçların mühendislik tecrübesiyle yorumlanabilmesine bağlıdır. 3D lazer tarama verisi tasarımcıya mevcut yapının gerçek durumunu birebir yansıtan detayları ve dijital model üzerinden yapının her noktasını değerlendirebilme imkânı sunmaktadır.



a)



b)

Şekil 4.1. Mevcut Örnek Çelik Yapının Bulon ve İmalat Detaylarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

Örnek mevcut prefabrik yapıya ilişkin bulgular:

- Tez kapsamında ele alınan prefabrik yapıda gerçekleştirilen saha taramalarında yapısal elemanların boyutları, yapı geometrisi, açıklıklar, yapı yüksekliği, taşıyıcı olmayan detaylar gibi veriler elde edilebilmiştir (Şekil 3.12). Bu verilerde diğer örneklerde olduğu gibi yerinde ulaşılması mümkün olmayan noktalarda dahi ölçümler gerçekleştirilebilmiştir. Ancak prefabrik sistemlerde tam bağlantı detaylarının tespiti 3D lazer teknolojisi ile belirlenememiştir. Çünkü 3D lazer tarama teknolojisi

gördüğü yüzeyleri görselleştirebilmektedir. Pin bağlantı detayları iki yapısal eleman arasında görünmediğinden bunun tespiti yapılamamıştır. Bununla birlikte mevcut yapının yerinde değerlendirilmesine ilişkin tüm detaylar elde edilebilmiştir.

- Örnek mevcut prefabrik yapı taramasında yapının birleşim noktalarında herhangi bir çatlak gelişimi (Şekil 4.9), düşey aksında (Şekil 4.10), yatay aksında (Şekil 4.11) bulunup bulunmadığı, taşıyıcı elemanların birbirlerine göre rölatif konumları gibi önemli veriler gözlemlenebilmiştir. 3D lazer tarama teknolojisi bu çerçevede sadece yapının bütününde değil taşıyıcı eleman bazında da detaylı değerlendirme ve incelemeye imkân sunmaktadır. Kritik öneme sahip kesitlerde görüntüleme sağlanarak gelişen çatlaklar kesit tesirleri açısından yorumlanabilmekte ve buna ilişkin alınabilecek önlemler değerlendirilebilmektedir. Prefabrik yapılarda yük aktarımı bağlantı detayları ile sağlandığından sağlıklı bağlantı teşkili oldukça önemlidir. Bu çerçevede bu teknoloji taşıyıcı elemanlar arasındaki bağlantının tam teşkil edilip edilmediği gibi önemli verileri tasarımcıya sunabilmektedir. Örneğin bir prefabrik kirişin, prefabrik kolona tam oturup oturmadığı görüntünün yüksek çözünürlükte yakınlaştırılması ile mümkün olabilmektedir.

Örnek mevcut yığma yapıya ilişkin bulgular:

- Tez kapsamında ele alınan yığma yapıda gerçekleştirilen tarama verilerinden yapının taşıyıcı sistemi, yapıda bulunan kemer detayları elde edilebilmiştir (Şekil 3.47). Ayrıca taşıyıcı duvarların boyutları, kalınlıkları, belirlenebilmiştir (Şekil 3.14). Bu veri yığma sistemlerin analizinde tasarımcıya çok önemli bir veri sunmaktadır. Çünkü yığma sistemlerin sahada rölövesi uzun süreler alabilmektedir. Yapının durumuna göre detaylı (mikro modelleme) modellenmesi gerektiğinde bu süreç çok uzamaktadır. 3D lazer tarama teknolojisi ile bu süreçler saatler içerisinde tamamlanabilmektedir.
- 3D lazer tarama teknolojisi yığma sistemlerde yapıda muhtemel taşıyıcı duvar deformasyonları (Şekil 4.13), derz açılmaları, yığma birimlerdeki çatlak gelişimi, minhalar (Şekil 4.14), zemin deformasyonları ve bu deformasyonların taşıyıcı duvarlar üzerindeki etkileri gibi yapı için hayati

öneme sahip verileri sunmaktadır. Tez çalışması kapsamında buna ilişkin örneklemeler yapılmıştır. Yerinde geleneksel ölçüm yöntemleriyle geometrisi oldukça zor modellenebilecek bir kemer sistemi nokta bulutu verisinden hızlı bir şekilde modellenebilmiştir (Şekil 3.47). Ayrıca tarama verilerinden yığma taşıyıcı duvarın yapı boyunca sürekliliği elde edilen kat planı görünümünden tespit edilebilmiştir (Şekil 3.48). Tüm bu hususlar yığma yapıların performansı ve efektif güçlendirilmesi açısından mühendise çok önemli veriler sunmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler neticesinde 3D lazer tarama teknolojisinin mevcut (betonarme, çelik, prefabrik ve yığma) yapıların sadece hızlı ve hassas performans ve güçlendirme analiz modellerinin elde edilmesinde değil, mevcut yapının yerindeki durumunun, bağlantı detaylarının, deformasyonların, yapısal kusurların, mimari detayların, yapının projeye uygunluğunun belirlenmesinde oldukça efektif bir teknoloji olduğu tespit edilmiştir. Ancak 3D lazer tarama teknolojisi tez kapsamında detaylandırıldığı şekilde belli bir metodoloji uygulanarak ve bu kapsamda özelleşmiş yazılımlarda yetkinlik sağlanılarak kullanılabilir. Bu yetkinlik ise belirli bir süreçte örnek yapıların taranması ve buna ilişkin bulguların elde edilmesiyle mümkün olabilmektedir. Tez kapsamında örnek taramalar ile bu çerçevede belirli seviyede yetkinlik kazanılmıştır.

4.2. YBM Yaklaşımının Yapısal Analizde Kullanımı

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), nokta bulutu verilerinden statik analiz modeline geçişte mevcut yapıların dijital ikizlerinin yüksek doğrulukla oluşturulmasını mümkün kılmıştır. Özellikle taşıyıcı sistem elemanları; kesit geometrileri, genel malzeme tanımları ve konum bilgileriyle birlikte parametrik olarak modellenmiş, bu sayede her yapı türü için özgün ve analize esas üç boyutlu dijital modeller elde edilmiştir. Revit platformunda oluşturulan modeller; kat planları, cephe kesitleri ve birleşim detaylarını eksiksiz şekilde yansıtmaktadır. ReCap verilerinden elde edilen nokta bulutu ile modelleme birlikte iletilemiştir.

YBM yaklaşımının, analiz süreci için gerekli geometrik doğruluğun sağlanmasında ve veri bütünlüğünün korunmasında etkin rol oynadığını ortaya konmuştur. Ayrıca analiz yazılımlarıyla entegrasyonun sağlandığı IFC formatındaki modeller aracılığıyla, performans değerlendirmeye esas analiz modelleri ve güçlendirme senaryolarında güçlendirme elemanlarının diğer yapısal olmayan elemanlar ile çakışma

durumlarının tespiti mümkün olmaktadır. YBM süreçleri birçok disiplinin bir arada bir model üzerinden değerlendirme yapmasına imkân sunmaktadır. Bu modelin 3D model olmasından dolayı saha uygulama aşamasına geçilmeden önce tüm detayların bilgisayar modeli üzerinden incelenmesi ve bu sayede sahada karşılaşılabilecek problemlerin en aza indirilmesi sağlanabilecektir. 3D lazer tarama teknolojisinin YBM süreçlerine entegrasyonu ile performans analizi yapılmış ve sonrasında güçlendirme gereksinimi ortaya çıkmış bir yapıda farklı senaryoların saha uygulamalarında nasıl detaylandırılacağı, bunların maliyet analizleri yapılabilecektir. Çünkü YBM ile modellenen bir yapının incelemesi yapılırken yerine gitmeden dijital nokta bulutu verisi üzerinden yapıya ilişkin tüm detaylandırmaların görselleştirilebilmesi çalışmalarda görev alan mühendis ve mimarlar açısından çok efektif bir değerlendirme yaklaşımı sunacaktır. Burada YBM sadece yapısal sistemin statik analiz modelinin elde edilmesine ulaşan geçiş süreçlerinde değil yapısal güçlendirme sonrasında elde edilen verilerle güçlendirmenin sahada uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde de önemli rol oynamaktadır. YBM süreçlerinde arazinin topografyası da tanımlanabildiğinden güçlendirme uygulamasının tüm detayları ile sahada planlanması yapılabilecektir.

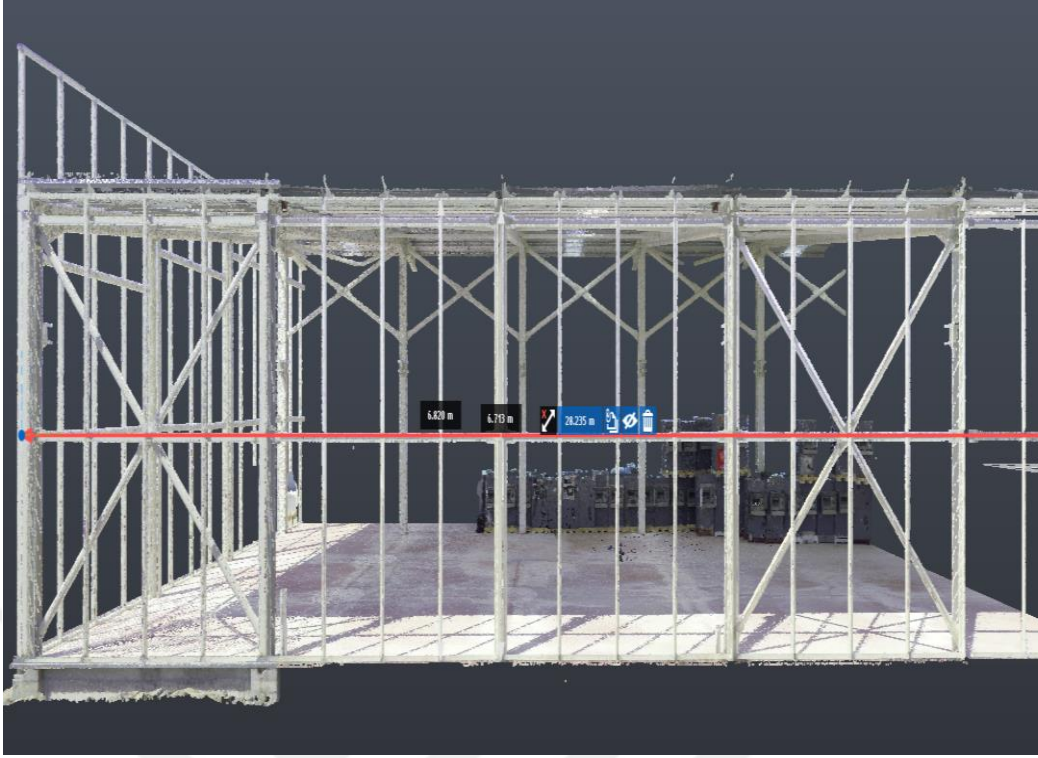
Bu sonuçlar doğrultusunda, YBM yaklaşımının yapısal analiz süreçlerine entegrasyonu, hem zaman yönetimi hem de veri güvenilirliği açısından yüksek katkı sunmakta; analiz öncesi dijital doğrulama ve sonrasında güçlendirme kararlarının rasyonel biçimde alınmasını kolaylaştırmaktadır. Tez kapsamında örnek mevcut yapılara ilişkin nokta bulutu verileri Revit modellerine aktarılabilmiş ve bu modeller statik analize esas modellere dönüştürülebilmıştır. Bu çerçevede kullanılan yazılımlar içerisinde bulunan birçok uzantı ile farklı birçok yazılıma aktarıma uyumludur. Revit modellemesinde yapısal sistemlere ilişkin elde edilen en önemli veri kat planlarının hızlı bir şekilde çıkarılabilmesi, yapı sisteminin düşey kesitlerinin alınabilmesi ve bu verilerin nokta bulutu verileri ile karşılaştırılabilmesi olmuştur. Ancak 3D lazer tarama uygulamalarında olduğu gibi burada da bu modellemelerin gerçekleştirilebilmesinde yazılımlar açısından bir yetkinliğe sahip olunması gerekmektedir. Tez kapsamında ortaya konulan iş akışı ve sunulan detaylı örneklendirmeler ile bu yetkinlik belirli seviyede kazanılmıştır. Örnek olarak sunulan uygulamalar ile sektörel ve akademik çalışmalara katkı sunulabilmesi hedeflenmiştir. İlerleyen çalışmalarda daha kompleks yapısal sistemlerin değerlendirilmesine yönelik bir metodoloji oluşturulmuştur. Tez kapsamındaki YBM süreçlerine ilişkin bazı bulgular ve örnekler aşağıda verilmiştir.

Örnek mevcut betonarme yapıya ilişkin bulgular:

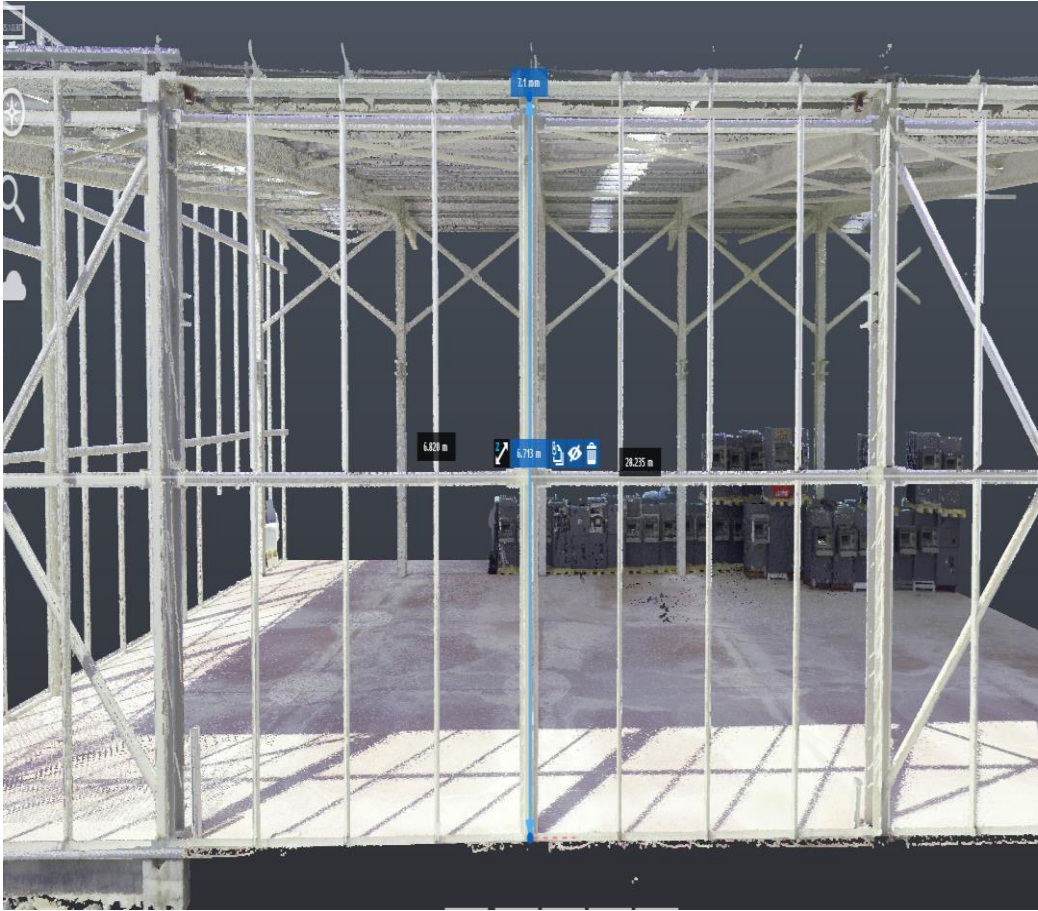
- Nokta bulutu verileri ReCap aracılığıyla düzenlenerek Revit yazılımına aktarılması ile hazırlanan parametrik model, aks sistemleri (Şekil 3.21), kat planları (Şekil 3.22, Şekil 3.23) ve diğer detaylar (Şekil 3.25, Şekil 3.26) modellenerek; SAP 2000'e geçişe uygun hale getirilmiştir. Yapısal sistemin Revit' te doğru modellenip modellenmediğinin tespiti için her aşamada nokta bulutu verileriyle karşılaştırılması önemlidir. Ayrıca bu husus yapının statik analiz modelinin de oluşturulmasında etkilidir. YBM ile sistemin dijital ikizinin oluşturulmasında yapının sahadaki durumuna ilişkin detay verilerde görülebilmektedir. Örneğin betonarme modellemede taşıyıcı sistemdeki bir kolonun yaklaşık 2⁰ planda sapmasının olduğu belirlenmiş ve model buna uygun olarak oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Dolayısıyla nokta bulutu verilerinin YBM ile modellenmesi, mühendise hem yapıyı hassas bir şekilde tanıması ve yerinde mevcut durumların gözlemlenebilmesini dijital ortamda mümkün kılmaktadır. Modellemede yaşanabilecek herhangi bir problemde tekrardan yapıya gitmek yerine dijital model üzerinden tüm değerlendirmeleri yapabilme ve bu değerlendirmeleri muhatabına sunabilme imkânı verebilmektedir.

Örnek mevcut çelik yapıya ilişkin bulgular:

- Profil sistemleri ve bağlantı noktaları nesne tabanlı modelleme ile ayrı ayrı tanımlanmış; yapısal çözümleme için rijitlik tanımları parametrik biçimde aktarılmıştır (Şekil 3.32). Bu sayede geleneksel yöntemlerle yerinde çok zor olan ölçümler yapılabilmiş ve bu ölçümler esas alınarak yapının dijital modeli oluşturulmuştur. Burada da yapıya ilişkin yerindeki tüm detaylar Revit modeli oluşturulurken tanımlanabilmiş, nokta bulutu verileri ile karşıtırmalar yapılarak efektif modelin elde edilmesi sağlanmıştır. Mevcut çelik yapının yatay ve düşeyde kolon ve kuşaklarının durumu tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



a)



b)

Şekil 4.2. Mevcut Örnek Çelik Yapının Kolon ve Kuşaklarının Durum Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

Örnek mevcut prefabrik yapıya ilişkin bulgular:

- Taşıyıcı eleman detayları, yerindeki ölçüler dikkate alınarak 3D olarak modellenenmiştir (Şekil 3.39). Eleman tiplerine özel veri kütüphaneleri kullanılarak birleşim detayları standardize edilebilmiştir. Burada sadece çelik yapılardan farklı olarak birleşim detaylarının tespiti mümkün olamamıştır. Ancak yapı taşıyıcı sisteminin detayları, taşıyıcı eleman kesitleri ve taşıyıcı olmayan duvarlar modellenenmiştir.

Örnek mevcut yığma yapıya ilişkin bulgular:

- Taş veya tuğla duvarlar, pencere yerleşimleri, kemer geometrisi gibi detaylar modellenenmiş, yapıda bulunan kemer sistem modele aktarılabilmiş ve kat planları elde edilebilmiştir (Şekil 3.50). Tarama verisinden yığma bir sistemin Revit modelinin elde edilmesi performans değerlendirmesi, güçlendirme senaryoları ve sonradan yapının işlevselliği açısından dijital model üzerinden çalışmaları yürüten tüm disiplinlere çok kullanışlı bir model sunmaktadır. Tez kapsamındaki yaklaşım ile yığma ve tarihi yapıların restorasyon ve güçlendirilmesinde tüm proje paydaşlarına üzerinde değerlendirme yapabilecekleri bütünsel 3D bir model sunmaktadır (Şekil 3.46). Ayrıca YBM modellemesi süreçleri, statik değerlendirmeyi yapacak mühendise yapının yerindeki durumu hakkında oldukça önemli veriler oluşturmaktadır. Tez kapsamında örnek çalışma ile bu husus belirlenebilmiştir.

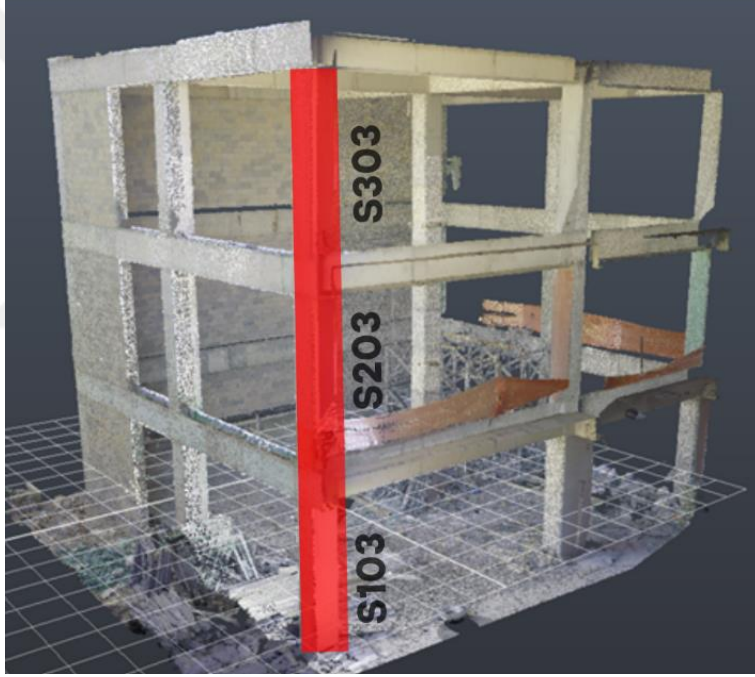
4.3. 3D Lazer Tarama ve YBM' nin Birlikte Yapısal Analizde Kullanımı

Çalışmada entegre olarak kullanılan 3D lazer tarama teknolojisi ve Yapı Bilgi Modellemesi yazılımları, yapıların analiz modellerinin elde edilmesinde yüksek doğrulukta bir dijital köprü oluşturmuştur. Nokta bulutu verilerinden elde edilen geometrik bilgiler, ReCap üzerinden Revit ortamına aktarılarak dijital modelleme süreci desteklenmiş; Revit üzerinde oluşturulan parametrik modeller analiz yazılımı olan SAP 2000 ve Abaqus' e aktarılabilmiştir. Bu süreçte her yapı türü özelinde analiz için gerekli olan düşey ve yatay aks sistemleri, yapı elemanlarının kesit boyutları ve birleşim detayları sahaya dayalı doğrulukla modellenmiştir.

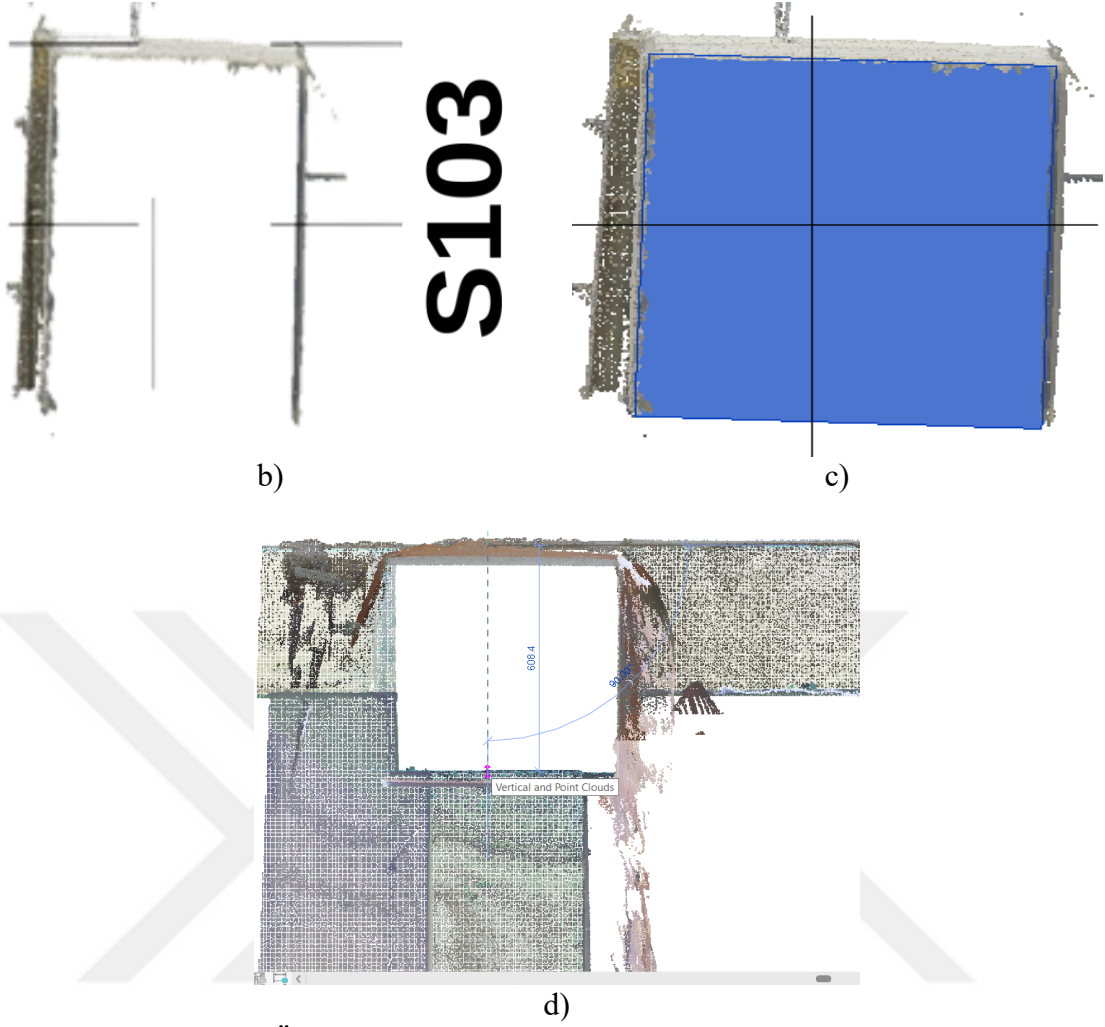
Elde edilen bulgular, 3D lazer tarama verisi ile YBM modellemesinin birlikte kullanılması sayesinde, analiz modellerinin sahadaki durumla tutarlı biçimde

geliştirilebildiğini ve nokta bulutu destekli dijital modellerin performans analizlerine doğrudan uyarlanabildiğini göstermektedir. Bu bütünleşik yaklaşım, güçlendirme ihtiyaçlarının tespitinden deformasyon analizine kadar her aşamada veri tabanlı karar alma sürecini desteklemiştir. Bu veriler çerçevesinde, 3D lazer tarama teknolojisinin YBM süreciyle entegre biçimde kullanılması, geleneksel modelleme ve analiz yöntemlerinin ötesinde bir hassasiyet ve kontrol sağlamaktadır. Özellikle yapı türü fark etmeksizin bu entegrasyonun uygulanabilir olması, yapıların performans analizi ve güçlendirilmesinde bütünleşik dijital dönüşümün temelini oluşturmaktadır.

Bu tez kapsamında 3D lazer tarama ile YBM entegrasyonu sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Örneğin Şekil 4.3' te tez kapsamında taranan örnek betonarme yapıda bulunan bir kolonun kat plandaki 2^0 açısız kaçıklığı belirlenebilmiştir.

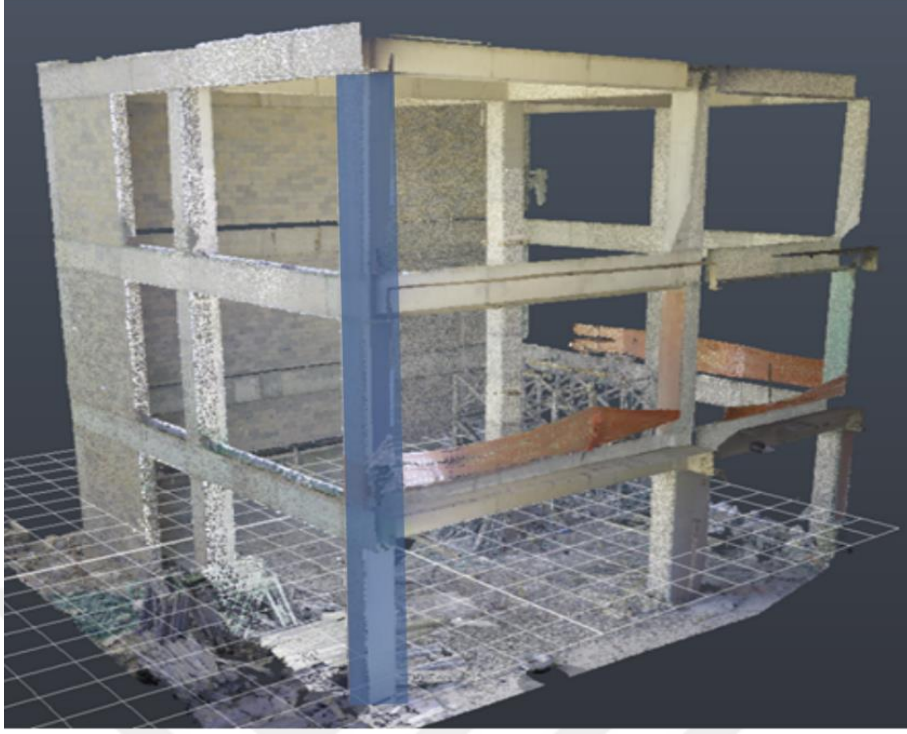


a)

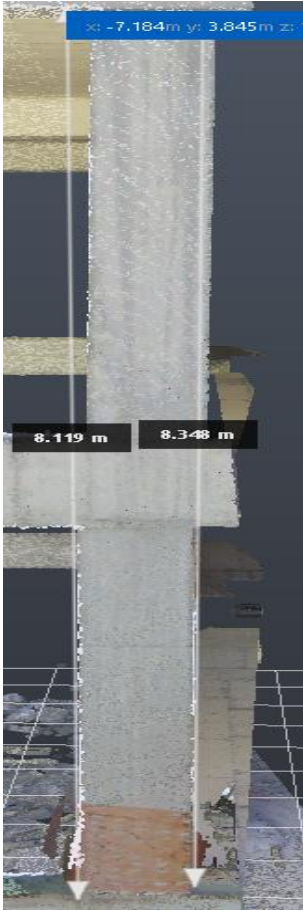


Şekil 4.3. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Kolonunun Plandaki Durum Tespiti (Autodesk, ReCap 2026), (Autodesk, Revit 2026).

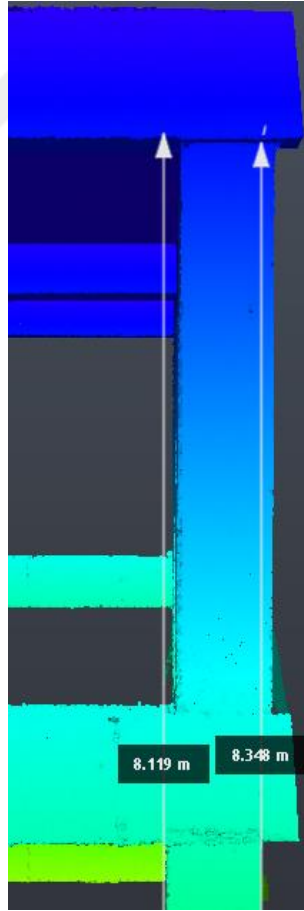
Şekil 4.4’ te yapının düşey akstan katlara göre değişiklikler göstererek toplam 10 – 70 mm aralıklarında sapma belirlenmiştir. Bu hususun yapısal bir kusur olabileceği gibi, sonradan da oluşabilme ihtimali değerlendirilmiştir. Ayrıca düşey aks çizgisinin model üzerinde kullanımı eski mevcut yapılarda yukarıya doğru değişen kolon boyutlarının tespitinde de kullanılabilecektir.



a)



b)



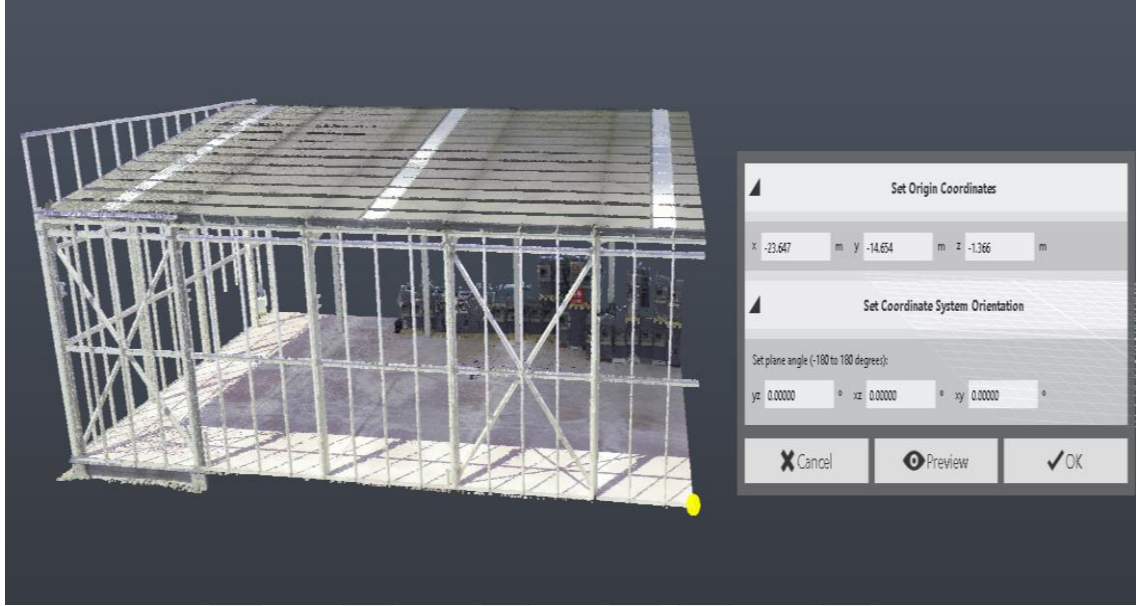
c)



d)

Şekil 4.4. Mevcut Örnek Betonarme Yapının Kolonunun Düşeydeki Aks Kontrolü (Autodesk, ReCap 2026).

Çelik yapı örneğinde ise, Şekil 4.5’ te görüleceği üzere ReCap 3D görüntü modeli üzerinden çelik yapının tüm koordinatları başarıyla tespit edilebilmiştir. Bu husus yapının geometrik ölçülerinin belirlenmesinde ve yapısal elemanların yüksekliklerinin tespitinde önemli bir veri sunmaktadır.



a)



b)

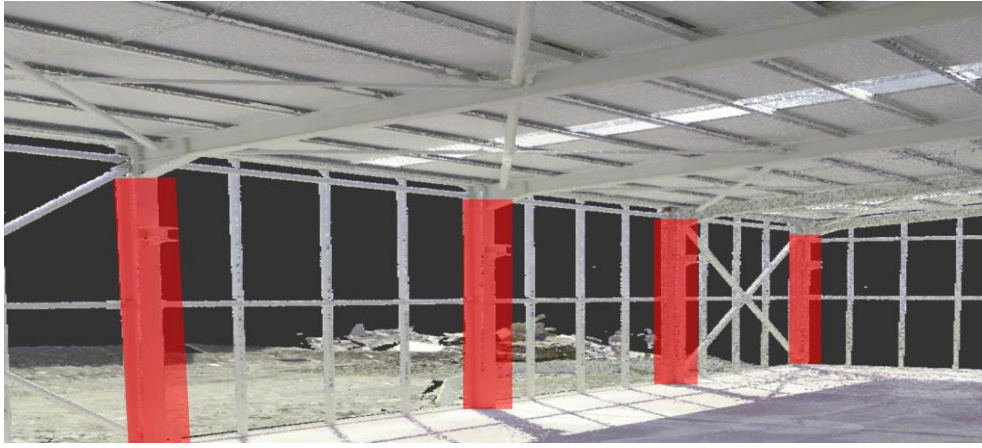
Şekil 4.5. Mevcut Örnek Çelik Yapının Köşe Koordinatlarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

Bununla birlikte endüstri yapısı şeklinde tasarlanan çelik yapıda, imalat aşamasında saha betonunda kot farklılıklarının tespiti de bu veri ile detaylandırılabilir. Tez çalışmasında her yapı modeli için tarama verilerinden kat planları çıkarılabilmektedir. Şekil 4.6’ da örneklendirilen mevcut çelik yapının kat planları

görülmektedir. Ayrıca burada çelik yapıya ait taşıyıcı sistem elemanları detayları ve profil ölçüleri tespit edilmiştir. Bu kapsamda çelik profile ait tespit edilen boyutlar; $b=283.1\text{mm}$, $t_f=15\text{mm}$, $t_w=15\text{mm}$, $h=270.1\text{mm}$ ve $h_i=240.6\text{mm}$ olarak belirlenmiş ve bu profilin HE 280 profil olduğu görülmüştür. Bu metodoloji ile çelik yapıya ait kat planları başarıyla Revit yazılımı üzerinden modellenmiştir. Elde edilen 3D dijital model ile çelik yapıya ait kolon veya kuşaklardaki akslardan sapma durumları da belirlenebilmiştir.



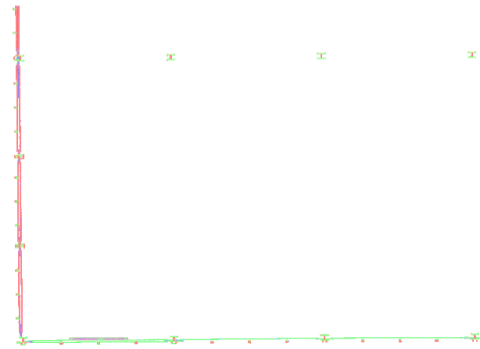
a)



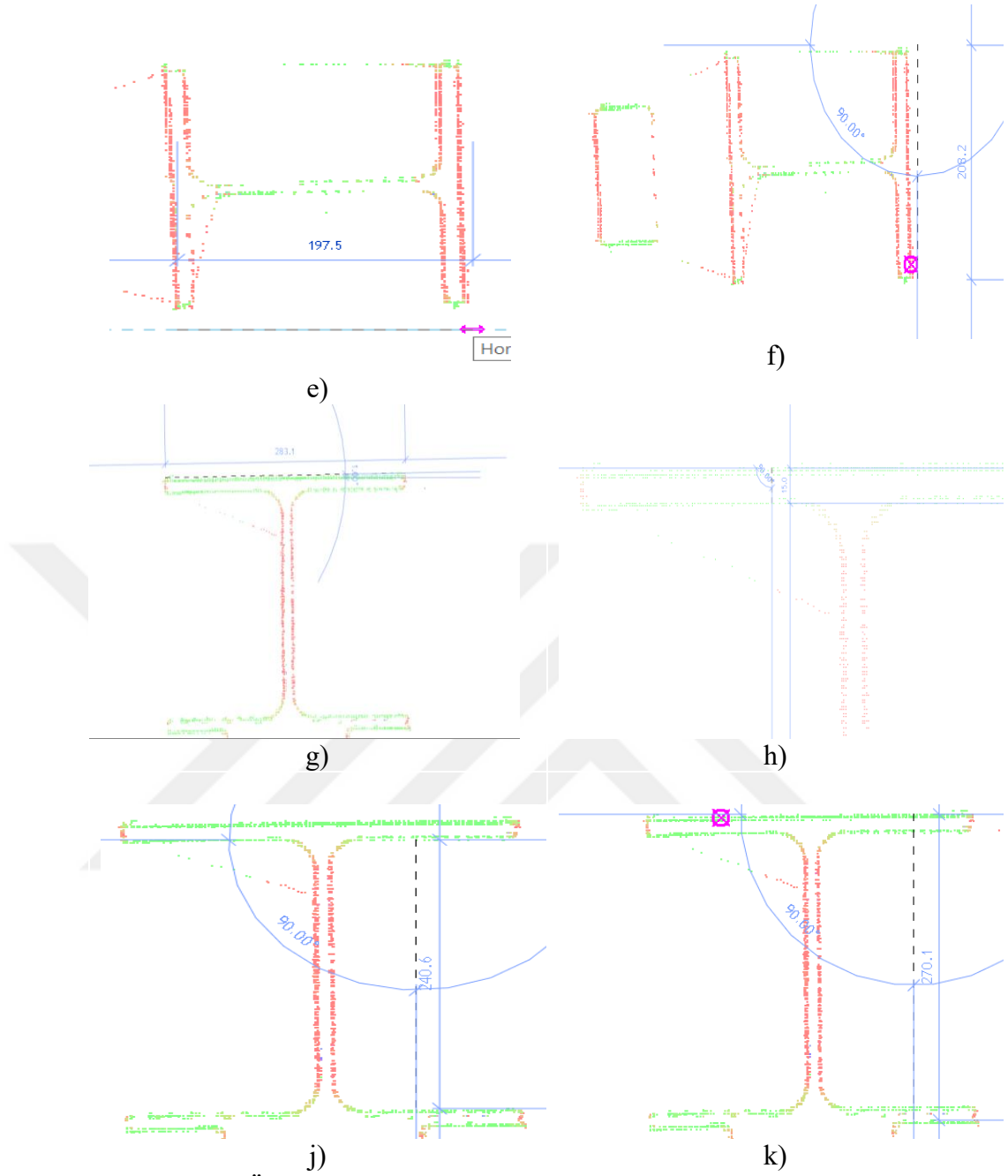
b)



c)

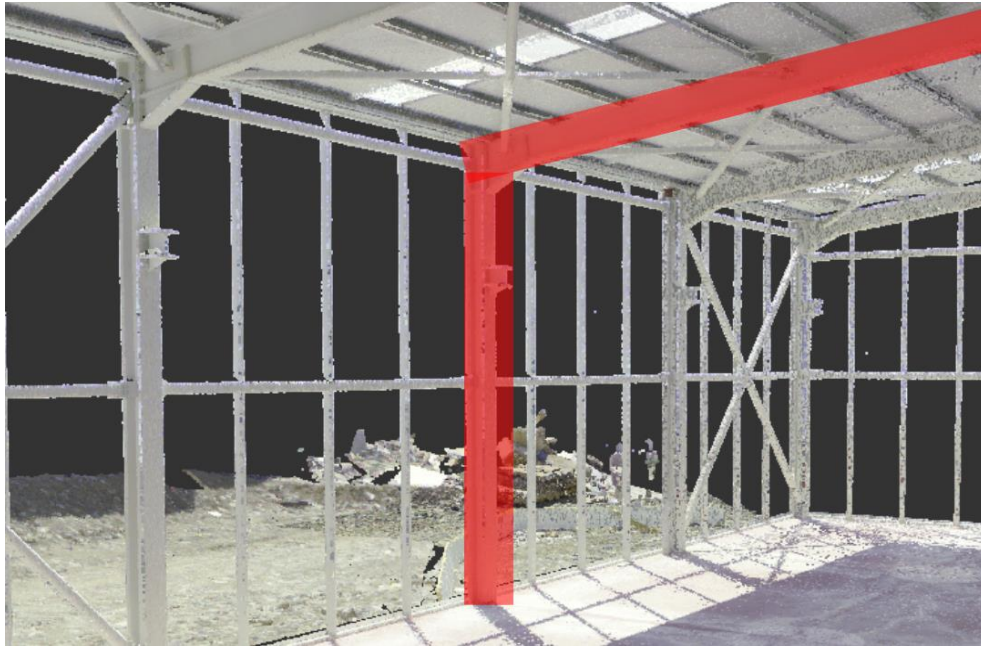


d)

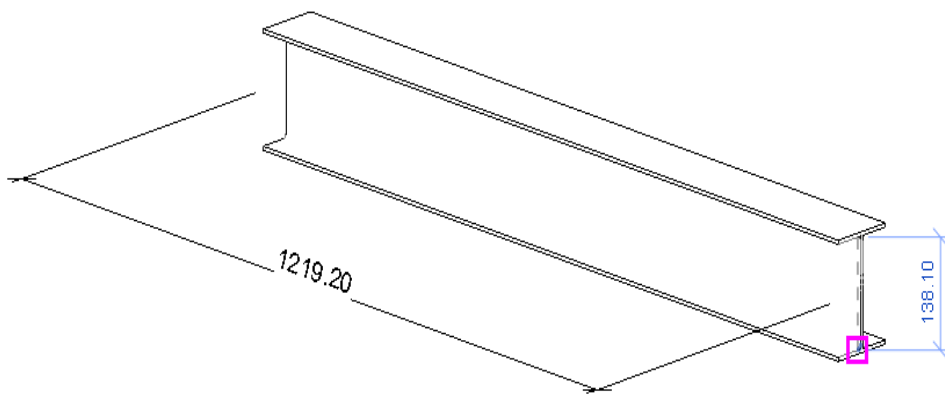


Şekil 4.6. Mevcut Örnek Çelik Yapının Kolon Detaylarının ve Durumunun Tespiti (Autodesk, ReCap 2026), (Autodesk, Revit 2026).

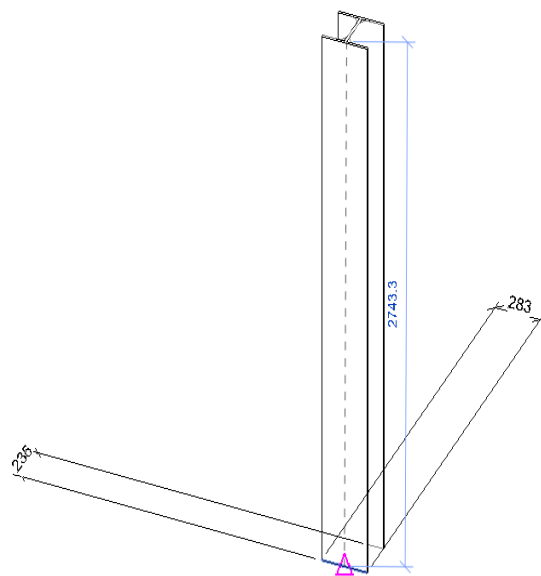
Ayrıca çelik yapının kolon ve kirişlere ait detaylı ölçüler gösterilmiştir [(Şekil 4.7 (a, b, c))]. Bu detaylardan HE 280 kolonun yüksekliği 2743,3 mm ve IPN 140 kirişin boyu 1219,20 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca çelik yapı birleşim detayları nokta bulutu verisinden tespit edilerek Revit’ te modellenmiştir [(Şekil 4.7 (d, e, f))]. Mevcut çelik yapıya ilişkin temel yüksekliği 600 mm olarak yapı dışından alınan tarama verisi ile belirlenmiş ve Revit yazılımında modellenmiştir [(Şekil 4.7 (g))].



a)

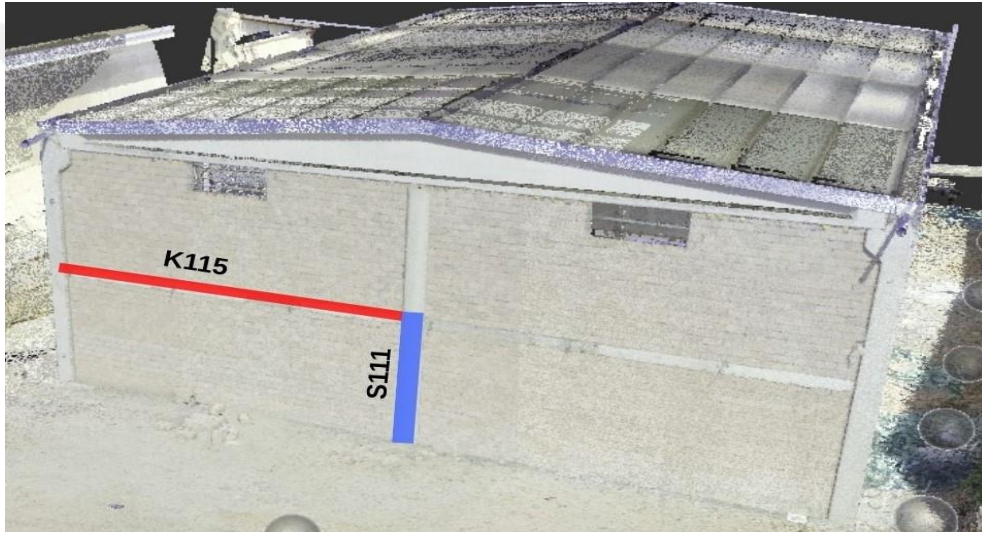


b)

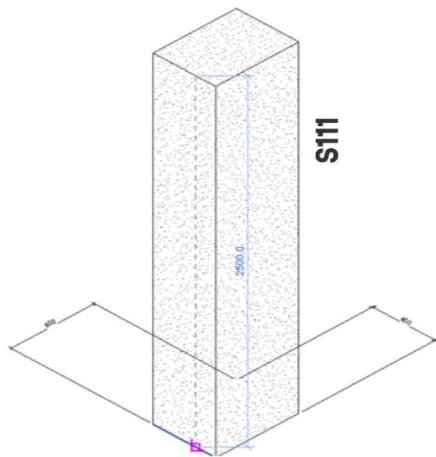


c)

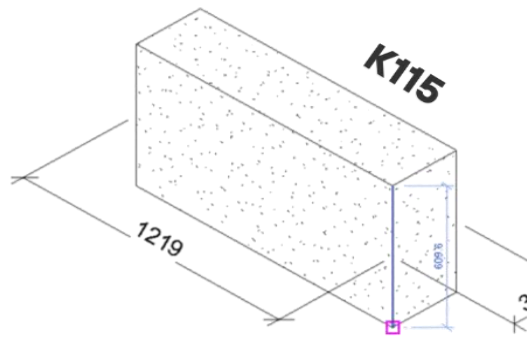
3D dijital model ile prefabrik örnek yapının yapısal eleman ölçüleri, panel yüzeyleri, birleşim hatları ve düşey aks sürekliliği belirlenmiştir. Prefabrik yapının kat yüksekliği 2500 mm, kolon boyutları 600 mm ve 450 mm ve kiriş boyutları 1219 mm ve olarak tespit edilmiştir [Şekil 4.8 (b, c)]. Prefabrik yapının düzgün geometriye sahip kolon, kiriş ve diğer yapı elemanlarının detayları tespit edilerek prefabrik yapının kat plan detayı elde edilmiştir [Şekil 4.8 (d, e)]. Ancak ana kiriş gibi detay geometriye sahip yapı elemanları için Revit kütüphanesinin güncellenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda nokta bulutu verileri Revit modeline aktarılmadan önce yapı taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik özelliklerinin belirlenmesi ve buna ilişkin Revit kütüphanesinin güncellenmesi önemlidir.



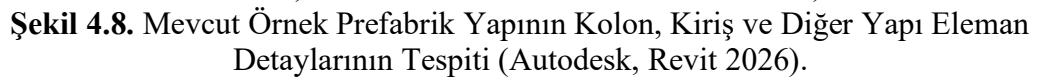
a)



b)



c)



Mevcut örnek prefabrik yapının şablon ile modelde ki kolon ve kirişlerin düşey - yatay düzlemleri ile gerçek düzlemin çakışmama durumu tespit edilmiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Prefabrik yapıda ortalama düşeyde 5cm ve yatayda toplam 2cm' lik kayma meydana geldiği belirlenmiştir.

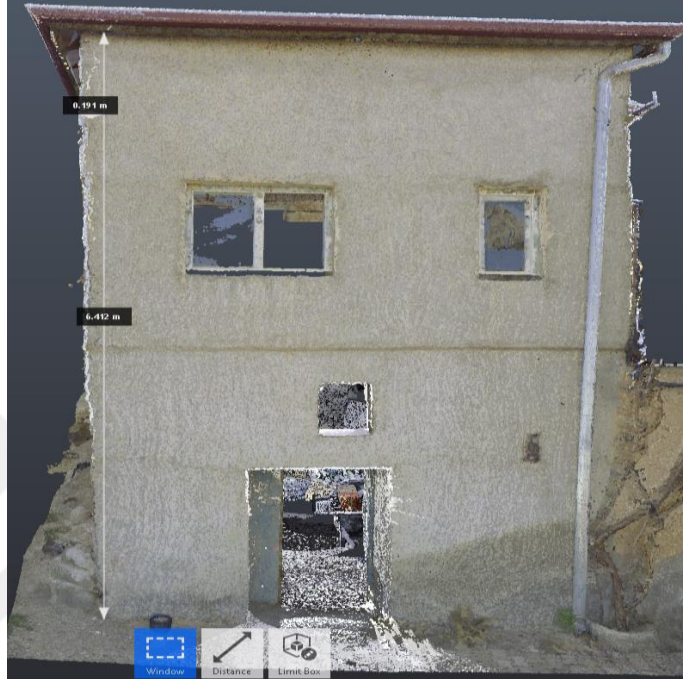


Şekil 4.10. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Kolonunun Düşeydeki Aks Kontrolü (Autodesk, ReCap 2026).



Şekil 4.11. Mevcut Örnek Prefabrik Yapının Kirişinin Yataydaki Aks Kontrolü (Autodesk, Revit 2026).

Mevcut örnek yığma yapının şablon ve modelde ki beden duvarlarının düşey düzlemi ile gerçek düzlemin çakışmama durum değerlendirmesi yapılmıştır. Yığma yapının beden duvar ölçüleri güney cephede düşeyde 6412 mm iken kuzey cephede 6186 mm olarak ölçülmüştür. Beden duvar ölçülerinin düşeyde güney cephe ve kuzey cephelerde ki farkı 226 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



a)



b)

Şekil 4.12. Mevcut Örnek Yığma Yapının Beden Duvarlarının Düşeydeki Aks Kontrolü (Autodesk, ReCap 2026).

Beden duvar ölçülerinin yatayda ise 1. katta 4435 mm iken 2. Katta 4930 mm olduğu görülmüştür. Beden duvar ölçülerinin yatayda 1. ve 2. katlardaki fark 495 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Yerinde ölçümü oldukça zor olan tüm bu ölçümler 3D dijital model üzerinden hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.13. Mevcut Örnek Yığma Yapının Beden Duvarlarının Yatay Düzlemdeki Aks Kontrolü (Autodesk, ReCap 2026).

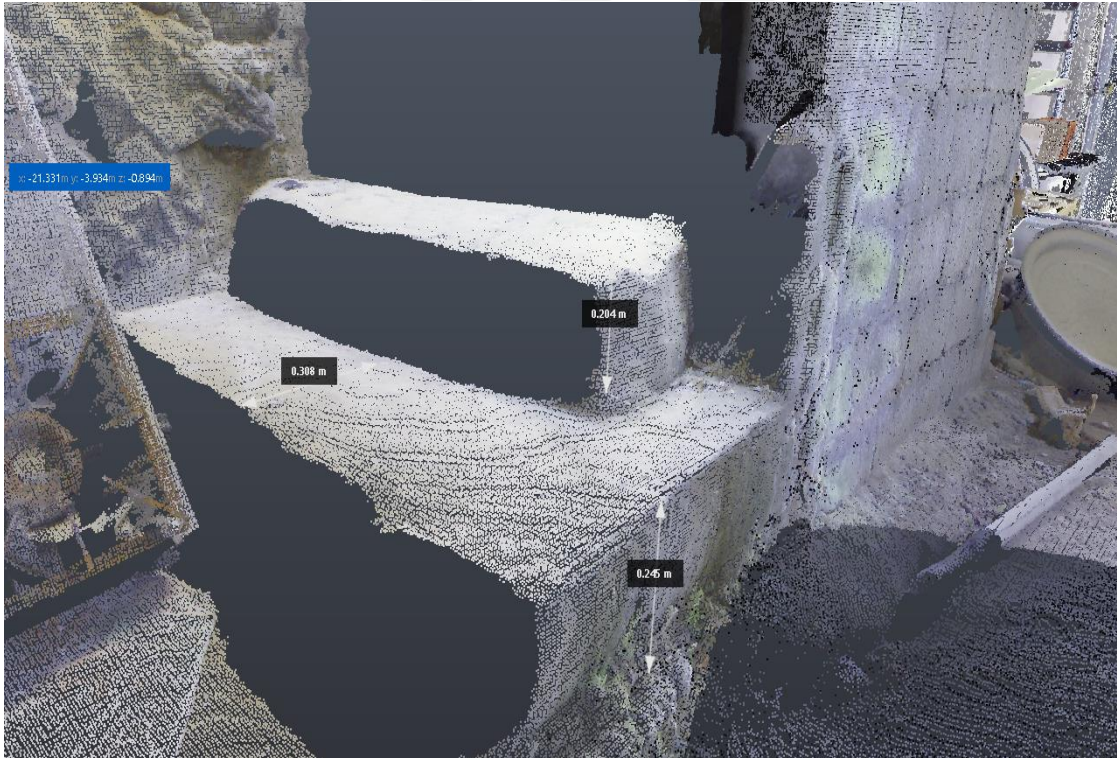
Yığma yapıya ait beden duvarlarında düşeyde 8 cm ve yatayda 11 cm' lik kayma tespit edilmiştir (Şekil 4.14). Yığma yapıya ait geleneksel elemanlar (beden duvarları, kemer, minha, tuğla ve harç vb.) ReCap ve Revit senkronizasyonu ile modellenmiş, yığma yapının 3D dijital modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bu verilerin incelenmesi sonucu yığma yapının içerisinde bulunan taşıyıcı kemer sistemi tespit edilmiştir (Şekil 3.47). Yığma yapının kemer ölçüleri sağ ve sol mesnetlerinin ölçüleri 481 mm ve 296 mm olup genişliği 4789 mm, derinliği 5510 mm ve yüksekliği 3007mm olarak tespit edilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 4.14. Mevcut Örnek Yığma Yapının Merdiveninin, Beden Duvarlarının, Kaçıklıklarının ve Minhalarının Tespiti (Autodesk, ReCap 2026).

Mevcut örnek yığma yapının merdiven ve minhalarının ölçüleri tespiti edilmiştir. Yığma yapının merdiven ölçüleri 204 mm, 245 mm ve 308 mm olarak, minha ölçüleri ise 293 mm ve 596 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14). Örnek yapılara uygulanan yöntem aşamaları ve YBM araçlarına göre elde edilen bulguları tablolar halinde verilmiştir (Tablo 4.1, Tablo 4.2).

Tablo 4.1. Örnek Yapılara Uygulanan Yöntem Aşamaları

Verilerin Kullanımı	Betonarme	Çelik	Prefabrik	Yığma
1. 3D Lazer Tarama Verilerinin Kullanımı	Eleman boyutları ve deformasyonlar yüksek hassasiyetle tespit edildi.	Profil hizaları, birleşim detayları ve montaj sonrası sapmalar sayısallaştırıldı.	Panel yerleşimleri, bağlantı yüzeyleri ve montaj hassasiyeti ölçüldü.	Duvar sürekliliği, açıklık oranları ve çatlak izleri RGB destekli görselleştirilebildi.
2. YBM Yaklaşımının Kullanımı	Kat planı, düşey akslar ve birleşim detayları eksiksiz modellendi.	Rijit bağlantılar, çapraz elemanlar ve profil dizinleri parametrik modelle tanımlandı.	Ön üretimli bileşenler üretim dizilimine uygun sıralandı; birleşim nesneleri tanımlandı.	Kemer, tonoz, minha gibi geleneksel öğeler geometrik formunu koruyacak biçimde sayısallaştırıldı.
3. 3D Tarama + YBM Birlikte Kullanımı	ReCap-Revit-SAP 2000 geçişi sorunsuz sağlandı; analiz modeli sahaya uygun oluşturuldu.	ReCap-Revit-SAP 2000 geçişi sorunsuz sağlandı; analiz modeli sahaya uygun oluşturuldu.	ReCap-Revit-SAP 2000 geçişi sorunsuz sağlandı; analiz modeli sahaya uygun oluşturuldu.	ReCap-Revit-Abaqus geçişi sorunsuz sağlandı; analiz modeli sahaya uygun oluşturuldu.
4. İş Akışı Diyagramının Uygulanması	İş akışı net biçimde işletildi; her adımda doğruluk kontrolüyle, analiz modeli performans ve güçlendirme senaryolarına hazır hale getirildi.	Tarama, modelleme, analiz aşamaları etaplar hâlinde işletildi; çelik sisteme özgü bağlantılar iş akışına entegre edildi.	Montaj ve modelleme süreçleri iş akışı içinde entegre edildi; sahaya uygunluk kontrolü simüle edildi.	3D belgeleme ve analiz adımları tek süreçte birleştirildi; restorasyon öncesi dijital planlama iş akışına dahil edildi.

Tablo 4.2. Örnek Yapılara Uygulanan Yöntem Bulguları

Özellik / Yapı Türü	Betonarme	Çelik	Prefabrik	Yığma
1.Nokta Bulutu Kullanımı	Kolon, kiriş, döşeme ve düğüm noktaları detaylı tarandı.	Profil, kuşak ve birleşimler özenle detaylandırıldı.	Ön üretilmiş elemanların yerleşim ve bağlantı kontrolü yapıldı.	Taşıyıcı duvarlar, kemerler ve mimari detaylar kayıt altına alındı.
2.ReCap Kullanımı	RGB görüntüleme ve detay ölçülendirmeler yapıldı.	Birleşim bölgeleri detayları ve ölçüleri görselleştirildi.	Eleman hizalama ve montaj doğruluğu incelendi.	Malzeme ayrışması ve minha verileri görselleştirildi.
3.Revit Kullanımı	Kat planları oluşturuldu, yapı elemanları ayrı ayrı tanımlandı.	Rijit çerçeve sistemi ve birleşimler 3D olarak oluşturuldu.	Uygun taşıyıcı eleman bileşenleri Revit kütüphanesinden yüklendi.	Mimari öğeler ve açıklıklar orijinal dokuyla uyumlu olarak modellendi.
4.Modelin Katkısı	Yapısal analiz değerlendirme ve güçlendirme senaryoları gerçekleştirilebildi.	Yapısal analiz modeli oluşturuldu. Bağlantı detayı görselleştirilmesi gerçekleştirilebildi.	Yapısal analiz modeli oluşturuldu. Bağlantı detayı görselleştirilmesi gerçekleştirilemedi.	3D belgeleme ve analiz odaklı dijital ikiz model arşivi oluşturuldu.

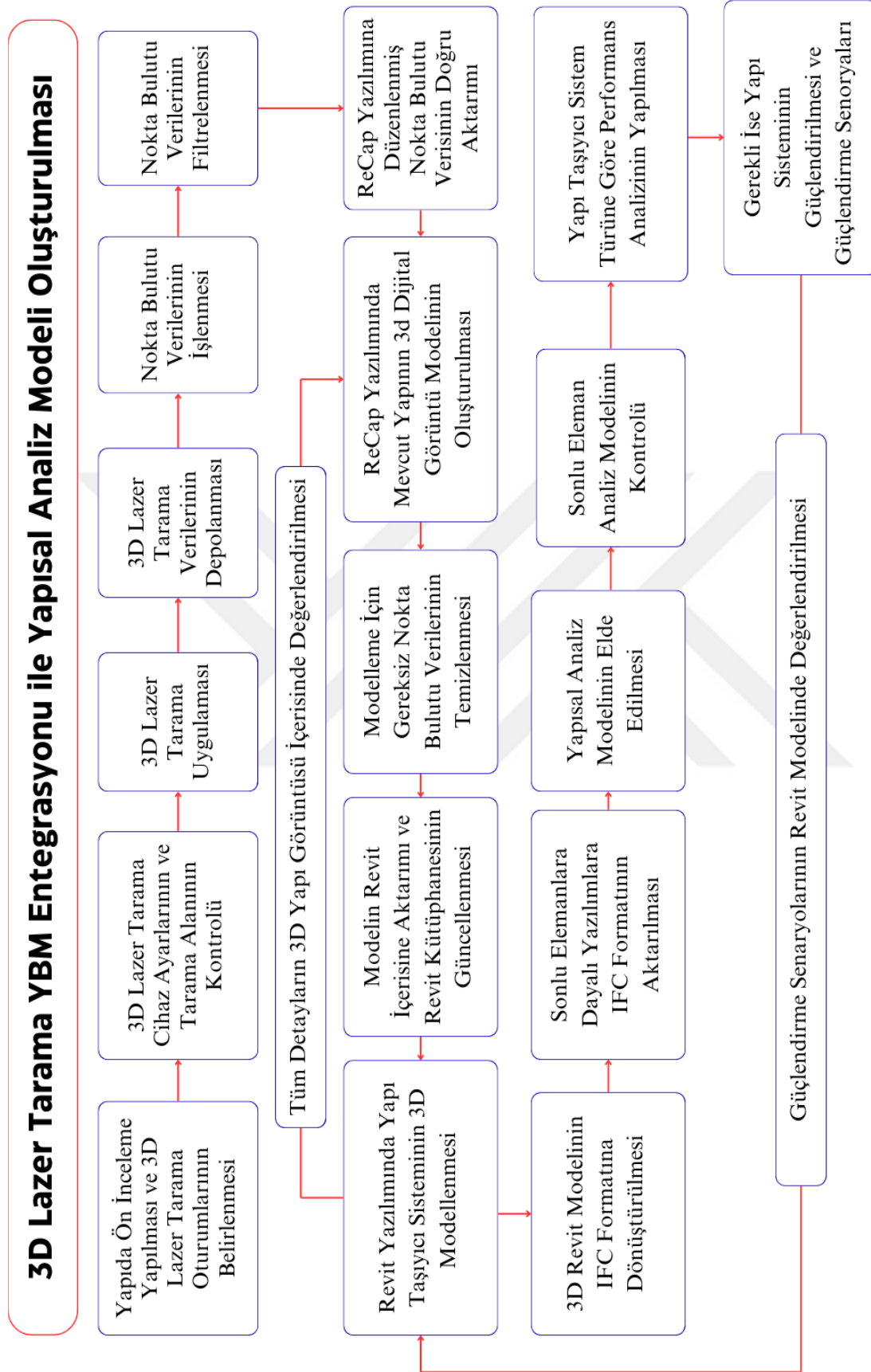
4.4. Saha-Modelleme ve Analiz Çalışmaları Kapsamında İş Akış Diyagramı

Tez çalışması kapsamında 3D lazer tarama verisinin saha ortamında elde edilmesinden başlayarak analiz modelinin tamamlanmasına kadar geçen tüm süreç, sistematik bir iş akışı çerçevesinde yapılandırılmıştır. Tarama verilerinin ReCap yazılımında düzenlenmesi, Revit ortamında parametrik modelleme yapılması ve son aşamada SAP 2000 veya Abaqus' e aktarımı, her adımda doğruluk ve tutarlılık esas alınarak gerçekleştirilmiştir. İş akışının net tanımlı olması, dört farklı yapı türü için benzer modelleme ve analiz senaryolarının uygulanabilmesini mümkün kılmıştır.

Mevcut bir yapının deprem risk analizi, statik rölöve aşamasından başlayıp yapının 3D modellenmesi, analizi ve değerlendirilmesi süreciyle tamamlanmaktadır. Rölöve aşaması, yapının modellenmesini direkt olarak etkilemektedir. Bina deprem performansı, yapı hakkında en önemli değerlendirme parametresidir. Bu değerlendirmelerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için modelleme aşamasının hassasiyetle tamamlanmış olması ve yapının beklenen etkilere karşı, gerçek duruma en yakın analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında seçilen farklı

geometrik ve taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapıların 3D lazer tarama yöntemi ile taşıyıcı sistem detaylarının nokta bulutu verileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu veri farklı yazılımlar ile dijital yapı modeline dönüştürülmüştür. Son aşamada nokta bulutu verilerinden elde edilen dijital yapı modelinin, deprem risk analizlerine esas sonlu eleman modeline dönüştürülmesi sağlanmıştır. Ancak aşamaların her birinde çok farklı sorunlar ve kalibrasyon problemleri ortaya çıkabilmektedir. Tez çalışmamızda örnek 6 farklı yapı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda her aşamaya ilişkin detaylar bütünleşik bir formata dönüştürülmüş ve bir metodoloji haline getirilmiştir.

Elde edilen bulgular, disiplinler arası koordinasyonun sağlanması, veri kayıplarının önlenmesi ve modelleme süresinin optimize edilmesi açısından iş akışının planlı yürütülmesinin belirleyici olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda SAP 2000 veya Abaqus analiz yazılımlarına aktarılan yapı geometrilerinin, Revit üzerinden doğrudan alınması veri kaynağı sürekliliğini desteklemiş, performans analizlerinde modelleme kaynaklı sapmaların önüne geçilmiştir. Bu sonuçlara göre, yapı türüne özel olarak uygulanabilir iş akışlarının (metodolojinin) oluşturulması ile dijital modelleme ile yapısal analiz süreçlerinin bütünleşik olarak yönetilmesine ve özellikle karmaşık yapı sistemlerinin değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde mühendislik kararlarının hassasiyetinin artırılmasına katkı sunulabilmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Saha Modelleme ve Analize İlişkin İş Akış Diyagramı.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında mevcut yapıların deprem performans analizi ve güçlendirilmesinde 3D lazer tarama teknolojisi ve Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) entegrasyonunun sunabileceği avantajlar örnek saha çalışmaları ile irdelenmiştir. Çalışmada öncelikle gerekli izinler alınarak tarihi ve tek katlı betonarme bir yapı üzerinde 3D lazer tarama teknolojisi ve detayları anlaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan saha çalışmalarında 3D lazer tarama teknolojisinin yapısal değerlendirme açısından önemli veriler sunabileceği, yapısal modellemede hassasiyeti artırabileceği ve bununla birlikte yapı performans değerlendirme süreçlerinde hız katabileceği görülmüştür. Bu aşamadan sonra, tez çalışmasında 3D lazer tarama teknolojisinin yapı sektöründe kullanımına yönelik literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda günümüzde bu teknolojinin daha çok tarihi yapıların belgelendirilmesinde ve arkeolojik çalışmalarda kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çerçevede mevcut yapı stokumuzun yapısal performansının değerlendirilmesinde kullanımının ise oldukça sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma ile bu teknolojinin mevcut yapı stokumuzun deprem performans değerlendirilmesinde nasıl kullanılabilirliği irdelenmiştir. Bu noktada 3D lazer tarama teknolojisinin Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yaklaşımı ile entegrasyonunun sağlanabileceği belirlenmiştir. Ancak hem 3D lazer tarama teknolojisi hem de YBM yaklaşımının kendi içerisinde birçok detayının olduğu incelenmiştir. Bu kapsamda, tez çalışması hedefi doğrultusunda farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapılarda örnek saha taramaları ve modelleme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Tez çalışmasındaki ön saha uygulamaları sonrasında gerekli izinler alınarak mevcut betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapı örnekleri sahada belirlenmiş ve bu yapılar üzerinde tez metodolojisi uygulanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) çerçevesinde betonarme, çelik, prefabrik ve yığma yapı sistemlerinin performans analizleri gerçekleştirilmektedir. Bir yapının performans analizinde ilk aşama yapı taşıyıcı sisteminin belirlendiği rölöve aşamasıdır. Eğer yapının projesi mevcutsa yapının bu projeye uygun olarak yerinde inşa edilip edilmediği incelenmektedir. Statik rölöve aşaması dikkate alınarak yapısal sistem bu kapsamda özelleşmiş yazılımlarda modellenmektedir. Rölöve aşaması taşıyıcı sistemi kompleks olmayan yapılarda birkaç teknik personelin manuel ölçüm ekipmanlarıyla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak yapı kompleksleştikçe rölöve zorlaşabilmekte ve uzun vakit alabilmektedir. Deprem performans analizi yapılması gereken mevcut yapı stokunun fazlalığı göz önüne alındığında rölöve aşamasının pratik ve hassas bir şekilde yapılabilmesi bu çerçevede gerçekleştirilen çalışmalara oldukça avantaj sunacaktır. Yapı

taşıyıcı sisteminin rölövesi yapı analiz modelini direkt olarak etkilemektedir. Bununla birlikte rölöve aşamasında mevcut yapıya ilişkin yerinde tespit edilen hususlar yapısal değerlendirmede önemli bilgiler sunmaktadır. TBDY 2018' e göre performans analizi yapılan mevcut yapıların, performans kriterini sağladığına, güçlendirilmesine veya yıkılmasına karar verilebilmektedir. Bir yapı sisteminin güçlendirilmesi bir optimizasyon problemidir. Bilgisayar ortamında analizi yapılan güçlendirme varyasyonunun sahada uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi yapısal güçlendirme açısından büyük öneme sahiptir. Buna ilave olarak bir yapı sisteminin güçlendirilmesinde birçok varyasyon ortaya çıkabilmektedir. Tüm bu varyasyonların bilgisayar ortamında 3D olarak tüm proje paydaşlarının katılımı ile değerlendirilmesi sahada karşılaşılabilecek problemleri minimize etmektedir. Dolayısıyla tez kapsamında ele alınan 3D lazer tarama teknolojisi yapısal performans değerlendirmesinde, yapı bilgi modellemesi yaklaşımı ise yapısal güçlendirmede önemli katkılar sunacağı düşünülmüştür. Bu kapsamda tez çalışmasında belirlenen hedef doğrultusunda bu iki güncel ve teknolojik yaklaşımın entegrasyonunun inşaat sektöründe sağlayacağı faydalar örnek çalışmalarla incelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak örnek mevcut betonarme bir yapı ele alınmıştır. Sahada yapının 3D lazer tarama uygulaması gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler filtrelenmiş ve yapı bilgi modellemesi yazılımları ile yapının sahadaki durumu bire bir modellenmiştir. Günümüz yazılım teknolojisinin sunduğu avantajlar kullanılarak yapı bilgi modellemesi sonucu elde edilen model, sonlu elemanlara dayalı analiz yazılımlarına aktarılabilmektedir. Tez kapsamında aynı metodoloji izlenerek mevcut çelik, prefabrik ve yığma taşıyıcı sistemli yapılar modellenmiştir. Tez kapsamında her bir yapının lazer tarama aşamasından sonlu eleman analiz modeli aşamasına kadar ki tüm süreçleri detaylandırılmış, teknolojik yaklaşımların tez amacı doğrultusunda sunabileceği avantajlar ve dezavantajlar irdelenmiştir. Bu kapsamda mevcut yapıların performans analizi ve güçlendirilmesinde 3D lazer tarama ile YBM modellemesi teknolojisinin kullanımının sağlayacağı faydalar ve dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Örnek betonarme yapı saha taraması sonucunda yapının deprem performansına esas analiz modeli pratik bir şekilde ve yüksek hassasiyetle elde edilebilmiştir. Bununla birlikte mevcut yapının yerindeki durumuna ilişkin kusurlar, detaylı ölçüler, kat planları, cephe görünümleri, kesit görünümleri, her bir taşıyıcı elemanın detayları, yerinde gözle tespit edilemeyen detaylar, yüzey deformasyonları, sıva çatlakları, aks' dan

sapmalar gibi tüm hususlar 3D lazer tarama teknolojisi ile tespit edilmiştir. Yapı sisteminin YBM araçları ile sonlu eleman analiz modeline dönüşümü sağlanmıştır. Sonlu eleman analiz modelinde yapısal sisteme statik itme analizi uygulanmış ve bir güçlendirme yaklaşımı örnek olarak modellenmiştir. Betonarme yapı için tüm bu süreç hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Bu kapsamda yapının saha taraması 2 saat sürmüştür, sonlu eleman analiz modeline kadar geçen süreçler ise 1 günde tamamlanabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli hususu süre optimizasyonu açısından saha taraması yapılırken efektif 3D lazer tarama oturumlarının belirlenmesi oluşturmaktadır. Diğer husus nokta bulutu verisinin modelleme için gereksiz verilerden olabildiğince filtrelenmesi oluşturmaktadır. YBM araçlarının sunduğu avantajlar ile taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan eleman ayrımı yapılabilmektedir. Ancak 3D lazer tarama teknolojisinin bir cismin sadece geometrik modellenmesinde kullanılabileceği, bu teknoloji ile cismin katmanlarının görüntülenemeyeceği unutulmamalıdır. Tüm mimari detayları tamamlanmış bir yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan eleman ayrımının yapılmasında YBM' nin sunduğu renk yoğunluğu (RGB) yanında, 3D lazer tarama cihazlarına entegre edilebilecek termal kameraların kullanılabileceği değerlendirilmiştir. 3D lazer tarama teknolojisi kullanılarak elde edilen bir analiz modelinin yük aktarımı açısından da yapının mod şekilleri üzerinden kontrolü önemlidir. Çünkü birçok ara süreçten geçen modelleme çalışmasında model kusurları oluşabilmekte, bu kusurlar analizlerde yanlış değerlendirmelere de sebep olabilmektedir. Bu sebeple tez çalışmasında bir metodoloji sunulmuştur. 3D lazer tarama uygulamasından yapısal performans değerlendirme ve güçlendirme aşamasına kadar tüm aşamaları içeren bu metodolojide her bir başlığın hassasiyetle ele alınması gerekmektedir. Bu durum ise birçok yazılımında yeterli yetkinliğe sahip olmayı gerektirebilmektedir. Bununla birlikte nokta bulutu verileri oldukça büyük hacimde veriyi içermektedir. Bu işlemler gerçekleştirilirken yüksek kapasiteli bilgisayar gereksinimi ortaya çıkabilmektedir. Tez çalışmasında betonarme bir yapının performans değerlendirmesinde ve güçlendirilmesinde iki yaklaşımın entegrasyonunun yapının saha verilerini de içerecek şekilde

değerlendirmeyi yapan mühendise çok önemli avantajlar sunabileceği gösterilmiştir. Bu kapsamda dijital ikizi modeli de elde edilen bir yapısal analizde pratik bir şekilde tüm güçlendirme varyasyonları yapının yerindeki durumunu esas alarak değerlendirilebileceği güçlendirme uygulamasının YBM araçları ile planlanabileceği olası çakışmaların ön görülebileceği mimari, mekanik ve tesisat projeleri açısından yapıya gitmeden tüm detaylandırmaların bilgisayar ortamında yapılabilmesi ve ilgili proje paydaşlarına sunulabileceği değerlendirilmiştir.

2. Tez kapsamında örnek çelik ve prefabrik yapı çalışmalarında betonarme yapı için detaylandırılan tüm verilerin elde edilebildiği belirlenmiştir. Çelik yapı örneğinde ilave olarak taşıyıcı sistem, profil boyutları, taşıyıcı sistem elemanlarının konumları gibi yapısal sistem açısından önemli verilerde nokta bulutu modelinden elde edilmiştir. Çelik yapı sistemlerinde taşıyıcı elemanlarının kapasitelerinin değerlendirilmesinin yanında birleşim detaylarının da analizi oldukça önemlidir. Tez çalışması kapsamında ele alınan metodoloji ile yerinde tespiti çok zor olan birleşim detaylarının nokta bulutu verileri üzerinden bilgisayar modeli kullanılarak belirlenebileceği gösterilmiştir. Dolayısıyla 3D lazer tarama ile YBM entegrasyonu mevcut çelik yapıların, yapısal değerlendirilmesinde diğer taşıyıcı sistemlerde olduğu gibi büyük kolaylıklar ve avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte çelik yapı sistemlerinin hızlı analiz modellerinin elde edilmesinde bu metodoloji oldukça etkilidir. Yerinde yapısal kusurların tespitinde yapı taşıyıcı sisteminin projeye uygunluğunun incelenmesinde bu yöntem çok önemli katkılar sunmaktadır. Bulon çaplarının, adetlerinin ve konumlarının belirlenmesinde, kaynak detaylarının incelenmesinde bu teknolojik araçlar değerlendirmeyi yapan mühendise sahadan mevcut yapıya ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Prefabrik sistemler için de bu durum geçerlidir ancak prefabrik sistemlerde pin bağlantı detayları görünür olmadığından dolayı bu detayların bu teknoloji ile tespiti yapılamamaktadır. Her iki yapı taşıyıcı sisteminde de Revit modeli oluşturulurken Revit kütüphanesinin taşıyıcı sistem detaylarına ilişkin güncel olması gerekmektedir. Sonlu eleman analiz modellerinin yük aktarımı açısından kontrolü burada da önemlidir. Prefabrik ve çelik taşıyıcı sistemli yapıların genellikle endüstri yapısı

şeklinde sahada uygulandığı düşünüldüğünde bu taşıyıcı sisteme sahip yapıların yapısal değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde tez kapsamında ele alınan metodolojinin saha çalışmalarına büyük verimlilik sağlayacağı öngörülmüştür.

3. Tez çalışması kapsamında yığma taşıyıcı sistemli tarihi ve konut tarzı yapılara ilişkin yapılan inceleme sonucunda bu iki teknolojik yaklaşımın diğer taşıyıcı sistemli yapılardan daha fazla avantajlar sunacağı görülmüştür. Tarihi yapılarda yapısal sistemin tüm detaylarının hassasiyetle modellenmesi yapısal değerlendirme açısından kritik öneme sahiptir. Bu yapılarda taşıyıcı sistem içerisinde taş yığma duvarlar ile ahşap kirişler, payandalar, kemerler, kubbeler bulunabilmektedir. Dolayısıyla bu sistemler birkaç farklı yapısal sistemin kombinasyonundan oluşabilmektedir. Tüm bu detayların hassasiyetle modellenmesi, analizi, olası güçlendirme varyasyonlarının tespiti ve bu varyasyonların ilgili kurumlarda sunumu süreçleri çok büyük vakit alabilmektedir. 3D lazer tarama teknolojisi ile YBM entegrasyonu yığma taşıyıcı sisteme sahip tarihi ve konut tarzı yapıların yapısal değerlendirilmesinde ve güçlendirme varyasyonlarının analizinde önemli katkılar sunacaktır. Ancak bu sistemlerin sonlu eleman analiz modellerinin elde edilmesinde daha ileri yazılımlara gereksinim duyulabileceği görülmüştür.

Tez kapsamında detaylandırılan bulgular ve sonuçlar çerçevesinde mevcut yapıların performans analizi ve güçlendirilmesinde 3D lazer tarama ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisinin saha uygulamalarında hız, hassasiyet ve pratik çözüm sunacağı değerlendirilmiştir. Tez kapsamında farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapılar ele alınmıştır. Bu teknolojilerin sunacağı faydalar ve dikkat edilmesi gereken hususlar detaylandırılmıştır. Gelişen teknoloji ile bu yöntemlerin mevcut yapı stokumuzun değerlendirmesinde önemli bir konuma sahip olacağı düşünülmüştür. Çalışmamız ile bu çerçevede gerçekleştirilen sektörel ve akademik araştırmalara katkı sunulabilmesi hedeflenmiştir. Tez çalışmasında bu teknolojileri kullanarak yapısal performans değerlendirmesi ve güçlendirme çalışmaları gerçekleştiren mühendislere yönelik bir iş akışı (metodoloji) sunulmuştur. Her bir taşıyıcı sistem türüne ilişkin bir yapının ele alınması ile yöntemin aşamaları, her aşama içerisindeki önemli detaylar ortaya konulmuştur. Daha fazla yapısal sisteme bu yaklaşımların uygulanması ile yöntemin daha da geliştirilebileceği, ara aşamalardaki modelleme kalibrasyonlarının daha pratik

yapılabileceği, yapay zekâ gibi günümüz teknolojisi ile bu yöntemin entegrasyonu ile değerdendirmeyi yapan mühendise ve yapısal değerdendirme süreçlerine daha ileri katkıları sunulabileceği düşünölmüştür.



KAYNAKLAR

- Abreu, N., Pinto, A., Matos, A. & Pires, M. (2023). Procedural point cloud modelling in scan-to-BIM and scan-vs-BIM applications: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(7), 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070260>
- ACCA Software. (2018). Understanding LOD and LOIN in BIM: Definitions and applications. *Biblus by ACCA Software*. https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-and-what-are-they-for/?utm_medium=legge-mobilita-ciclistica-in-vigore-dal-15-febbraio-2018/
- Alat, H. (2019). *Konut Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımı: Örnek Vaka Çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi.
- Atabay, Ş., & Öztürk, M. B. (2019). Yapı bilgi modellemesi (YBM) uygulama planı üzerine inceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 418–430. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/744566>
- Autodesk. (2026). *AutoCAD 2026* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com/products/autocad/>
- Autodesk. (2026). *Autodesk Navisworks 2026* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>
- Autodesk. (2026). *Autodesk Revit 2026* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com/products/revit/>
- Autodesk. (2026). *Autodesk ReCap Pro 2026* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com/products/recap/>
- Autodesk. (2026). *BIM 360* [Bulut tabanlı yazılım - Öğrenci versiyonu]. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com/bim-360/>
- Bahreini, F., & Hammad, A. (2024). Dynamic graph CNN based semantic segmentation of concrete defects and as-inspected modeling. *Automation in Construction*, 159, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105282>
- Borkowski, A. S., & Kubrat, A. (2024). Integration of laser scanning, digital photogrammetry and BIM technology: A review and case studies. *Eng*, 5(4), 2395–2409. <https://doi.org/10.3390/eng5040125>
- Bornaz, L., & Dequal, S. (2004). The solid image: An easy and complete way to describe 3D objects. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXV(B5), 183–188.

- CSI (Computers and Structures Inc.). (2004). *SAP2000 structural analysis and design*. [Bilgisayar yazılımı – Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi için lisanslıdır]. Computers and Structures Inc.
- Dassault Systèmes. (2025). *Abaqus user documentation* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. Dassault Systèmes Simulia Corp. <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>
- Epic Games. (2025). *Twinmotion* [Bilgisayar yazılımı - Öğrenci versiyonu]. <https://www.twinmotion.com/en-US>
- Idrissi Gartoumi, K., Zaki, S., & Aboussaleh, M. (2023). Building information modelling (BIM) interoperability for architecture and engineering (AE) of the structural project: A case study. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.408>
- ideCAD Forum. (2023). [Forum gönderisi]. <https://forums.idecad.com.tr/forum/threads/en-%C3%87ok-tercih-edilen-statik-program.16920/>
- Jarżabek-Rychard, M., & Maas, H. G. (2023). Modeling of 3D geometry uncertainty in scan-to-BIM automatic indoor reconstruction. *Automation in Construction*, 154, 105002. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105002>
- Kouider, T. (2018). A review of building information modelling (BIM) implementation in Nigeria and its potential. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 12(11), 1113-1119. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2021965>
- Kula, B. & Ergen, E. (2017, Ekim). Lazer tarayıcı teknolojisinin yapım yönetiminde kullanım alanları, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, Türkiye., https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18232_27_04.pdf
- Leica Geosystems AG. (2021). *Leica RTC360 3D laser scanner*. Hexagon. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- Leica Geosystems. (2023). *Cyclone REGISTER 360* (Version 2023.1.1) [Bilgisayar yazılımı – Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi için lisanslıdır]. Leica Geosystems AG. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360>.
- Liu, J., Zhang, Q., Wu, J., & Zhao, Y. (2018). Dimensional accuracy and structural performance assessment of spatial structure components using 3D laser scanning.

- Automation in Construction*, 96, 324–336.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.09.026>
- Liu, J., Xu, D., Hyyppä, J., & Liang, Y. (2021). A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the life cycle of buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 5627–5637.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3068796>
- Liu, J., Azhar, S., Willkens, D., & Li, B. (2023). Static terrestrial laser scanning (TLS) for heritage building information modeling (HBIM): A systematic review. *Virtual Worlds*, 2(2), 90–114. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2020006>
- Massafra, A., Jabi, W., & Gulli, R. (2024). Topological BIM for building performance management. *Automation in Construction*, 166, 105628.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105628>
- Mirzaei, K., Arashpour, M., Asadi, E., Feng, H., Mohandes, S. R., & Bazli, M. (2023). Automatic compliance inspection and monitoring of building structural members using multi-temporal point clouds. *Journal of Building Engineering*, 72, 106570.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106570>
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Yersel lazer tarama teknolojisi. *Teknolojik Araştırmalar: Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 43–48.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/206924>
- Olsen, M. J., Kuester, F., Chang, B. J., & Hutchinson, T. C. (2010). Terrestrial laser scanning-based structural damage assessment. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(3), 264–272. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000028)
- Sadeghineko, F., Lawani, K., & Tong, M. (2024). Practicalities of incorporating 3D laser scanning with BIM in live construction projects: A case study. *Buildings*, 14(6).
<https://doi.org/10.3390/buildings14061651>
- Shih, N.-J., Wang, H.-J., Lin, C.-Y., & Liao, C.-Y. (2007). 3D scan for the digital preservation of a historical temple in Taiwan. *Advances in Engineering Software*, 38(7), 501–512. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2006.09.014>
- Sistem Bilgisayar ve Teknik Hizmetler San. A.Ş. (2025). *Leica RTC360* [Hardware]. Sistem A.Ş. Retrieved July 13, 2025, from <https://sistemas.com.tr/urundetay?ktg=lazer-tarayicilarvealt=tarayicilarvek=1veurn=leica-rtc360vesyf=1>

- Sjah, J., Sulistian, R., Rarasati, A. D., & Trigunarsyah, B. (2024). Seismic assessment of precast concrete hospital structures integrated with building information modeling (BIM) in Indonesia. *Journal of Civil Engineering Research ve Technology*, 6(4), 1–7. [https://doi.org/10.47363/JCERT/2024\(6\)161](https://doi.org/10.47363/JCERT/2024(6)161)
- Szymczak-Graczyk, A., Walczak, Z., Ksit, B., & Szyguła, Z. (2022). Multi-criteria diagnostics of historic buildings with the use of 3D laser scanning (a case study). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 140373. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.140373>
- Şahin, E., & Birdal, F. (2023). 3D yapısal modellemede lazer tarama ve BIM teknolojisinin birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması. *Sivas 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Sivas, Türkiye.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Truong-Hong, L., & Lindenberg, R. (2022). Extracting structural components of concrete buildings from laser scanning point clouds from construction sites. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101490. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101490>
- Ursini, A., Grazzini, A., Matrone, F., & Zerbinatti, M. (2022). From scan-to-BIM to a structural finite elements model of built heritage for dynamic simulation. *Automation in Construction*, 142, 104518. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104518>
- Uzunel, Ö., & Özdemir, B. Ş. (2022). Somut kolektif hafızanın kayıt altına alınmasında çağdaş teknolojilerin kullanımı: Lazer tarayıcılar. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 12, 270–286. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1125202>
- Valero, E., Bosché, F., & Bueno, M. (2022). Laser scanning for BIM. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 486–495. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.023>
- Yang, H., Xu, X., & Neumann, I. (2018). Optimal finite element model with response surface methodology for concrete structures based on terrestrial laser scanning technology. *Composite Structures*, 183(1), 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.012>
- Yazar, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (n.d.). Türkiye Lidar Dergisi Üçayak Örenyeri'nin yersel lazer tarayıcı kullanılarak modellenmesi.

Modelling of Üçayak Archeological Site with Using Terrestrial Laser Scanner.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/melid>

Zhang, J., Huang, J., Fu, C., Huang, L., & Ye, H. (2021). Characterization of steel reinforcement corrosion in concrete using 3D laser scanning techniques. *Construction and Building Materials*, 270, 121402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121402>

Zoller + Fröhlich GmbH. (2025). *Z+F IMAGER® 5010 series – 3D laser scanner* [Hardware]. Retrieved July 13, 2025, from <https://www.zofre.de/en/products/imager-5010-series.html>





EKLER

EK-1

Kongre Kabul Mektubu;



Ref : AFHRU5780011
opic : Letter of Acceptance

01/09/2023

Dear: "Emre ŞAHİN

Furkan BİRDAL"

Herewith, the international scientific committee is happy to inform you that the peer-reviewed entitled < Investigation Of The Laser Scanning And Bim Technology Together Usage In 3d Structural Modeling > has been accepted for oral presentation as well as inclusion in the conference proceedings of **SIVAS II. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC AND INNOVATION RESEARCH** to be held in Sivas, Turkey during September 15-17, 2023 that will take place at the Sivas University of Science and Technology conference room and Zoom Online Meeting Program.

We are looking forward to hearing from you.
With Warmest Regards

Prof. Dr. Tolga KARAKÖY
Head of Conference
(Sivas University of Science and Technology)

www.iksadkongre.com
instituteispec@gmail.com

EK-2

Kongre katılım belgesi;



EK-3

T.C. Kltr ve Turizm Bakanlığı – Vakıflar Genel Mdrlğ Araştırma İzin Belgesi;

	T.C. KLTR VE TURİZM BAKANLIğI Vakıflar Genel Mdrlğ Kayseri Vakıflar Blge Mdrlğ
Sayı : E-86118660-150.05-414143	17.03.2023
Konu : Araştırma İzinleri	
Sayın Emre şAHİN Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dr.Öğr. Görevlisi 2.Kat Furkan Birdal	
Kırşehir İli, Cacabey Medresesin'de yüksek lisans tezinde kullanmak üzere lazer tarama alışması (Eserin Yapısına Zarar Vermeden) gerçekleştirme talebiniz , yapılacak çalışmanın bir suretinin Kültür ve Tescil Daire Başkanlığı ile Basın ve Halkla İlişkiler Müşavirliğine gönderilmesi şartıyla uygun görülmüş olup gerekli izin belgesi yazı ekindedir. Bilgi gereğini rica ederim.	
Murat SEÇİLİR Bölge Müdürü	
Ek: 03/02/2023 tarihli E-87772441-150.05-393694 sayılı yazı.	



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı	Emre ŞAHİN
Uyruğu	T.C.
Orcid Numarası	0009-0006-5985-2103

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite	Erciyes Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2019
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2025

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler Şahin, E., & Birdal, F. (2023, 15–17 Eylül). 3D yapısal modellemede lazer tarama ve BIM teknolojisinin birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması. <i>Sivas 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi</i> , Sivas, Türkiye.