



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YERSEL LAZER TARAMA VERİSİNİN
MİMARİ VEKTÖREL ÇİZİMLERDEKİ
KULLANILABİLİRLİĞİ VE MİMARİ
BELGELEMeye KATKISI

Neslişah ULUTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Neslişah ULUTAŞ tarafından hazırlanan “YERSEL LAZER TARAMA VERİSİNİN MİMARİ VEKTÖREL ÇİZİMLERDEKİ KULLANILABİLİRLİĞİ VE MİMARİ BELGELEMEYE KATKISI” adlı tez çalışması 20/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Ferruh YILDIZ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

.....

Üye

Prof. Hacı Murat YILMAZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Neslişah ULUTAŞ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YERSEL LAZER TARAMA VERİSİNİN MİMARİ VEKTÖREL ÇİZİMLERDEKİ KULLANILABİLİRLİĞİ VE MİMARİ BELGELEMeye KATKISI

Neslişah ULUTAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

2022, 51 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

Tarihi ve kültürel mimari miras potansiyeli taşıyan önemli eserler toplumlar için paha biçilemez kaynaklardır. Çevresel ve insan kaynaklı çeşitli faktörler tarafından tehdit edilen bu eserlerin gelecek nesillere aktarılabilmesi mimari belgeleme süreçlerinin tamamlanması ve iyi bir şekilde muhafaza edilmesine dayanır. Günümüzde mimari belgeleme araştırmaları için 3B yersel lazer tarama ve fotogrametri gibi yöntemlerde kullanılan teknolojiler, özellikle büyük ve karmaşık yapıların yüksek geometrik doğruluk ile temsil edildiği güçlü veriler sunar. Mimari dokümantasyon çalışmaları kapsamında 3 boyutlu (3B) belgelemenin daha erişilebilir olması sebebiyle nokta bulutu modellerine dayalı çıkarımlar mimari belgeleme çalışmaları için önemli bir veri niteliği taşımaktadır. Ancak elde edilen nokta bulutu verisinin işleme sürecinin fazla zaman alması ve lazer tarama cihazlarının yüksek maliyetli olması bu yöntemin temel dezavantajlarındandır.

3B modellerin yapı bilgi modellemesi (YBM) süreçlerine dâhil edilmesi yapıların belgeleme ve yenileme süreçlerine farklı perspektifler katmaktadır. Mimari belgeleme süreçlerine YBM teknolojisinin entegre edilmesi ise tarihi yapıların yönetim ve belgeleme çalışmaları için etkili bir yöntem olan Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (TYBM)'ni ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizde henüz yaygın bir teknoloji olmayan YBM, 3B modelleme tekniği ve bilgi yönetimini tek bir çatı altında toplaması sayesinde kültürel miras belgeleme çalışmalarını titizlikle yürütebilmeyi sağlar. Genellikle 2 boyutlu (2B) gerçekleştirilen belgeleme çalışmalarının YBM kapsamında 3B modellenmesi sayesinde yapının hem dijital bir ikizinin oluşturulması hem de geometrik detaylarının ve içerdiği parametrik nesnelere ötürü zengin bir akıllı modelinin oluşturulması sağlanmış olur. Bu modelleme sonucunda yapıların hem 3B hem de 2B plan, görünüş ve kesitleri doğru bir şekilde elde edilebilir.

Bu tez çalışması nokta bulutu verisi üzerinden vektörel çizimlerin gerçekleştirilmesi ile TYBM kapsamında 3B bir model yaratmaya odaklanmıştır. Çalışma alanı olarak İsmetpaşa İlkokulu tarihi eğitim binası seçilmiştir. Uygulama kapsamında nokta bulutu üzerinden manuel olarak elde edilen parametrik nesnelere 3B modele entegre edilmesi ve nesne kütüphanesinde arşivlenmesi ile oluşan 3B modelin mimari belgeleme süreçlerindeki katkısı, yöntemin uygulanabilirliği, oluşan TYBM model hakkında yorumlamalar ve YLT yönteminin bu amaçla kullanımına dair sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mimari Belgeleme, Yersel Lazer Tarama, YBM, TYBM

ABSTRACT

MS THESIS

USABILITY OF TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA IN VECTOR DRAWINGS AND ITS CONTRIBUTION TO ARCHITECTURAL DOCUMENTATION

Neslişah ULUTAŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA

2022, 51 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**

Important works with the potential of historical and cultural architectural heritage are invaluable resources for societies. The transfer of these artifacts, which are threatened by various environmental and human-induced factors, to future generations depends on the completion of the architectural documentation processes and their good preservation. Technologies used in methods such as 3D terrestrial laser scanning and photogrammetry for architectural documentation research today provide powerful data, especially in which large and complex structures are represented with high geometric accuracy. As 3D documentation is more accessible within the scope of architectural documentation studies, inferences based on point cloud models are important data for architectural documentation studies. However, the processing time of the obtained point cloud data and the high cost of laser scanning devices are the main disadvantages of this method.

The inclusion of 3D models in building information modeling (BIM) processes adds different perspectives to the documentation and renovation processes of buildings. Integrating BIM technology into architectural documentation processes reveals Historical Building Information Modeling (HBIM) which is an effective method for the management and documentation of historical buildings. BIM which is not yet a widespread technology in our country, enables to carry out cultural heritage documentation studies meticulously thanks to its 3D modeling technique and information management under a single roof. Thanks to the 3D modeling of the documentation works, which are generally carried out in 2D, within the scope of BIM, both a digital twin of the building and a rich smart model are created due to the geometric details and parametric objects it contains. As a result of this modeling, both 3D and 2D plans, views and sections of the structures can be obtained accurately.

This thesis focuses on creating a 3D model within the scope of TYBM by performing vector drawings on point cloud data. İsmetpaşa Primary School historical education building was chosen as the study area. Within the scope of the application, the contribution of the 3D model, which is formed by integrating the parametric objects obtained manually through the point cloud into the 3D model and archiving them in the object library, in the architectural documentation processes, the applicability of the method, the interpretations about the HBIM model formed and the results of the use of the TLS method for this purpose were evaluated.

Keywords: Architectural Documentation, Terrestrial Laser Scanning, BIM, HBIM

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; Yersel Lazer Tarama yönteminin tarihi ve kültürel mirasların kayıt altına alınması amacıyla sıkça kullanıldığı mimari belgeleme çalışmalarındaki işlevi, lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu verisinin kullanılması üzerine hazırlanmış örnek bir uygulama ile desteklenmiştir.

Seminer sürecimde seçtiğim konu üzerinde çalışmama fırsat tanıyan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen ve çalışkanlığını daima örnek aldığım Sayın Hocam Dr. Öğretim Üyesi Lütfiye Karasaka' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu süreçte bir an olsun desteklerini esirgemeyen biricik aileme sonsuz minnettarım. Çalışmamın her safhasında yanımda olan Harita Mühendisi Ahmet Tanrıverdi'ye, görsellerin hazırlanmasında yardımcı olan Şehir Plancısı Ezgi Ulutaş'a; Mimari bilgi ve birikimlerinden sonsuz faydalandığım sevgili arkadaşlarım Y. Mimar Elif Nur Yüksel, Y. Mimar Gökçenur Orhan, Y. Mimar Neslihan Ataş ve Mimar Nida Aytaç'a teşekkürü bir borç bilirim...

Neslişah ULUTAŞ

KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. 3B LAZER TARAMA VE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ	8
3.1. Lazer teknolojisi ve tarihsel süreci	8
3.1.1. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi	8
3.1.2. Yersel lazer tarayıcı mesafe ölçme prensipleri	9
3.1.2.1. Uçuş zamanlı mesafe ölçme prensibi.....	10
3.1.2.2. Faz karşılaştırma prensibi	11
3.1.2.3. Üçgenleme Yöntemi	12
3.1.2.4. Nokta bulutu	12
3.1.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları	13
3.2. Mimari Belgeleme Çalışmalarında YLT Kullanımı	14
3.2.1. Yapı bilgi modellemesi (YBM)	16
3.2.2. Tarihi yapı bilgi modellemesi (TYBM).....	21
4. MATERYAL VE METOT	24
4.1. Çalışma Alanı	24
4.2. TYBM Çalışma Metodolojisi	25
4.3. Yersel Lazer Tarayıcı: Faro Focus 3D X 330 ve Teknik Özellikler.....	26
4.4. Kullanılan Yazılımlar; Autodesk Revit 2022 ve As-Built for Revit 2021	28
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	29
5.1. TYBM Modeli Oluşturma	29
5.1.1. Nokta bulutunun Revit yazılımına aktarılması	29
5.1.2. Level seviyeleri (kat planları)	30
5.1.3. Duvar ve zemin nesnesini oluşturma	31
5.1.4. Pencere ve kapı nesnelerini oluşturma.....	32
5.1.5. Çatı nesnesini oluşturma	37
5.2. Render görüntü alımı	40
5.3. Tartışma	43
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	Elektromanyetik radyasyonun hızı
R	A ve B noktaları arasındaki mesafe
Δt	Ölçülen zaman aralığı
D	Lazer tarayıcı ve nesne arasındaki mesafe
Θ	Faz farkı
f	Frekans

Kısaltmalar

2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
AIA	American Institute of Architects
BIM	Building Information Modelling
CAD	Computer Aided Design / Bilgisayar Destekli Tasarım
CH	Cultural Heritage
GPS	Global Positioning System
HBIM	Historical Building Information Modelling
IMU	Inertial Measurement Unit
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
TYBM	Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi
TLS	Terrestrial Laser Scanning
TLSS	Terrestrial Laser Scanning System
TOF	Time-of-flight
YLT	Yersel Lazer Tarama
YBM	Yapı Bilgi Modellemesi

1. GİRİŞ

Tarihi ve kültürel miras yapılarının korunması çalışmaları günümüz toplumlarının kültürel yaşamlarında esastır. Bu yüzden mevcut mirasların dijitalleştirilmesi adımları, yapıların doğru şekilde korunması, yönetimi ve yenilenmesi için bir ön koşul teşkil etmektedir (Moyana ve ark., 2022; URL-1, 2022). Günümüzdeki modern yapılar çeşitli olaylara karşı dayanıklı şekilde tasarlanmış olsa da miras yapıları günümüze kadar birçok doğal ya da insan kaynaklı hasarlara uğramıştır. Geçmişten günümüze taşınmış bu nadide eserlerin aktarımı için mimari belgeleme çalışmaları, yapının yeniden inşası ve korunması adına etkili ve yararlı bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır (Kushwaha ve ark., 2020). Dijital belgeleme çalışmaları, obje veya yapıya ilişkin fiziksel detayların kayıt altına alınmasında kesinlik sağlayan bir yöntem olmakla birlikte mirasın herhangi bir zarar görmesi durumunda arşivlediği verileri restorasyon süreci için kullanır. Bu belgeleme çalışmalarının bilimsel doğrular çerçevesinde yürütülebilmesi, korunması ve kayıt altına alınması istenen kültürel miras yapısının hassas ölçüm aletleri ile tespitinin yapılması ve rölelerinin oluşturulmasına bağlıdır. (De Fino ve ark., 2019; Danesh ve Rajabi, 2022).

Teknolojik gelişmelerin ölçme alanında sağladığı yenilikler ve fotogrametrinin mimari uygulamalara entegrasyonu sayesinde yersel lazer tarayıcılar, bugün özellikle kültürel mirasların mevcut durumuna ilişkin detayların belirlenmesi, hasar tespiti ve değerlendirmesinin yapılması, ilerleyen zaman içinde muhafaza edebilmek amacıyla eseri kayıt altına almak ve herhangi bir sebepten ötürü miras yapı veya objesi hasar aldığı veya yıkıma uğradığında gelecekte istenen bir zaman diliminde restorasyonunu gerçekleştirebilmek adına önemli bir potansiyele sahiptir (Url-9, 2021; Gümüş, 2007; Murphy ve ark., 2009). Yapıların ölçümünde YLT tekniğinin kullanılması, bir nokta bulutunun oluşturulması ve bu nokta bulutundan faydalanarak taranan nesnenin YBM modelini oluşturmayı mümkün kılan dijital belgelere erişmemizi sağlar (Izabela ve ark., 2022).

Tarihi ve kültürel yapı veya objelerin mimari belgeleme süreçleri röleve, restitüsyon ve restorasyon süreçlerini kapsar. Söz konusu süreçler, zaman alıcı ve revizyonları sık olan aşamalardan oluşur (Okuyucu ve Çoban, 2019). Bu noktada Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yaklaşımı, yoğun nokta bulutlarından yapıya dair bilgilerin çıkarımı ve artırılmış süreçlerin yönetimi için ilgi çeken bir yaklaşım haline gelmiştir (Bruno ve ark., 2018; Bastem, 2021; Brumana ve ark., 2017).

YBM teknolojisi, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektör alanlarında otomasyon düzeyini arttırmak için önemli bir potansiyel taşımaktadır ve birçok ülkede giderek standart hale dönüşmeye başlamıştır (Izabela ve ark., 2022). YBM, bir yapı projesinin başlangıcından bitim ve faaliyet aşamalarına kadar her evrede proje paydaşlarına disiplinler arası çalışmayı 3B bir ortamda sunmakla birlikte geriye dönük verilerin takibini de kolaylaştıran bir süreç olarak karşımıza çıkar (Baik, 2017; Özorhon, 2018; Aburamadan ve ark., 2021; Moyano ve ark., 2021). YBM'nin farklı disiplinlerle sunduğu işbirliği, veri paylaşımı, veri entegrasyonu ve parametrik nesnelere kendi kütüphanesinde depolayabilmesi mimari özellikteki yapılar için YBM kullanımını teşvik etmektedir (Bayar, 2019; Underwood ve Işıkdag, 2009). Günümüzde YBM metodolojisinin, yeni binaların tasarım ve yapım aşamalarında karşımıza daha çok çıktığı görülmektedir fakat mevcut binaların yönetim çalışmalarında ise nadiren kullanıldığı bilinmektedir.

YBM metodolojisinin, tarihi yapılarla entegrasyonu Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (TYBM) adını almaktadır. Bu yaklaşımla birlikte tarihi yapılara ilişkin rekonstrüksiyon çalışmalarında yapıya ait geometrik bilgiler, semantik veriler ile zenginleştirilerek modellenme imkânı bulmaktadır (Duran, 2017). Günümüzde TYBM kapsamında tarihi yapılar için semantik olarak zenginleştirilmiş 3B modeller üretmeye yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir (Bassier et al 2019; Angulo-Fornos ve ark., 2020).

Bu tez çalışması, ileri teknolojik yöntemlerden biri olan YLT optik-mekanik ölçme yönteminin, mimari belgeleme çalışmaları kapsamında sunmuş olduğu avantajların değerlendirilmesi, nokta bulutu verisinden elde edilecek vektörel çizimlerin 3B mimari rölöve ve belgeleme çalışmalarına olan katkılarını ve uygulanabilirliğini ele almayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, YBM ve TYBM metodolojileri ayrı ayrı ele alınıp sonuç ürünün bu metodolojilere göre incelenmesi ve ayrıntı düzeyleri kapsamında sonuç ürünün değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuç ürünün TYBM kapsamında ele alınması sonucunda renkli nokta bulutu verisinin TYBM çalışmaları için nitelikli bir veri olduğu ve TYBM yaklaşımını geliştirecek potansiyelde olduğu görülmüştür. Ayrıca nokta bulutu verisi ile yapı elemanlarını oluşturabilmenin mümkün olduğu ve bu elemanların çeşitli yöntemlerle zenginleştirilebileceği de görülmüştür. İncelenen çalışmalar neticesinde özellikle son yıllarda YLT yönteminin, YBM rekonstrüksiyon uygulamalarında sağlamış olduğu hızlı veri toplama yeteneği ve milimetre düzeyinde doğruluk sağlaması neticesinde ön plana çıkan bu teknolojinin yeni binaların yapım ve tasarım aşamasında daha çok tercih edildiği fakat mevcut binaların yönetiminde daha nadir kullanıldığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında 3B modelleme için Autodesk Revit yazılımı tercih edilmiştir. Revit yazılımının kullanılmasının sebebi diğer çizim programlarına kıyasla çizim esnasında gerçek dünyadakine benzer bloklar kullanması ve çeşitli şablonlar içermesinden kaynaklanmaktadır. Tarama verisinin elde edilmesi kapsamında Faro Focus 3D X 330 lazer tarayıcısı kullanılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kültürel miras belgeleme çalışmaları kapsamında hazırlanmış örnek bir çalışmada 3B belgeleme süreçleri için çalışma alanı olarak Saint Barbara Kilisesi seçilmiş ve YLT yöntemi ile veri toplanmıştır. Çalışmada nokta bulut verisinin TYBM kapsamındaki uygulanabilirliği ele alınmıştır. Bunun için de uygulama kapsamında Revit yazılımı tercih edilmiştir. TYBM kapsamında binaya ait nesnelere tek tek modelleme yoluna giderek 3B bir model oluşturulmuştur (Duran, 2017).

3B nokta bulutu verisinin TYBM modelinin oluşturulması ve tarihi yapıların belgelenmesi çalışmaları kapsamında irdelenen bir diğer çalışmada ise yazarlar çalışma yapılacak binaya ait lazer tarama verisini elde edip Revit programına aktarmıştır. Çalışma esnasında ilaveten fotoğraf alımı yaparak bunları nesnelere çizimleri için kullanmış ve TYBM kapsamında 3B model elde etmiştir. Elde ettikleri bu modelin mimari belgeleme kapsamında ve diğer proje paydaşları açısından kullanılabilir faydalı bir veri olduğunu ortaya koymuşlardır. Farklı amaçlar doğrultusunda kullanılacak olan bu modelin ana veri kaynağının nokta bulutu verisi olmasına ayrıca değinilmiştir. (Özeren ve Korumaz 2021).

Nokta bulutunun mimari belgeleme süreçlerindeki kullanımına dayalı farklı bir çalışmada ise 3B modelleme süreçlerini basitleştirip restorasyon ve yeniden inşa projelerinin bir parçası olması ele alınmıştır. Çalışmada nokta bulutu verisini TYBM çalışması kapsamında ArchiCAD yazılımında kullanmışlardır. Çalışma alanı olan Masseria Don Cataldo bünyesinde YLT ile elde edilen bulut verisi, As-Built yazılımı kullanılarak yarı-otomatik bir şekilde katı modelleme yapılmıştır. Yapının nesnelere 3B bir şekilde üretilip depolanmış ve yapının TYBM süreci için kullanılmıştır (Moyana ve ark., 2021).

Çalışma alanı olarak seçilen Suudi Arabistan'ın Cidde kentindeki miras binaları için TYBM metodolojisinin incelendiği farklı bir çalışma ise 2017'de yapılmıştır. Çalışma kapsamında tarihi binanın 3B TYBM tasarımını gerçekleştiren yazar, Revit yazılımını kullanarak Hijazi Architectural Object Library (HAOL) kullanımına ek olarak hem manuel hem de yarı otomatik modelleme yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmasını 3 ana bölüme ayıran yazar ilk olarak, menzil/görüntü tabanlı yöntemler kullanılarak yerinde veri yakalama; ikinci olarak, LIDAR veri işleme ve son olarak, nesnelere kütüphanesini kullanarak tarihi evi YBM ortamında betimleme ve modelleme yapmıştır (Baik, 2017).

Ortaçağ zamanından kalma ilginç ve değerli bir dini yapının belgeleme çalışması için YLT tekniğinin kullanıldığı farklı bir çalışmada, tarama sonucunda elde edilen 3B model ile yapıya ait geometrik ölçüler, farklı irtifalarda planlar, enine ve boyuna kesitler ve duvar yükseklikleri gibi niteliksel ve niceliksel bilgilerin elde edildiği 3B dijital bir kopya elde edilerek yapının yeniden inşasında çeşitli tasarım süreçleri için faydalı veri elde edildiği ortaya konulmuştur (Dario ve ark., 2021).

İtalya'da bulunan tarihi bir köprü'nün belgeleme çalışması kapsamında 3B nokta bulutu, Rhinoceros adlı CAD yazılımında Arena4D plugin'i aracılığıyla modellenmiştir. Köprüye ait her bir yapı detayı farklı katmanlarda çizilmiştir. Oluşturulan model, yeniden yapılandırma sürecinde yapının mevcut deformeleri hakkında fikir sahibi olabilmek için önemli bir veri niteliği taşımaktadır. Ayrıca modelin daha sonra gerçekleştirilecek restorasyon çalışmasında da kullanıldığı bilinmektedir (Pepe ve Costantino, 2021).

Yazarın temelde nokta bulutunu mimari belgeleme süreçleri için ele aldığı bir diğer çalışmada, envanter ölçümleri ve bina yer değiştirmelerinin tespitini analiz etme amacı yatmaktadır. Bu çalışma genel olarak YLT metodunun, yapıların yer değiştirmelerinin ölçümü, meydana gelen deformasyonların takibi, tasarım durumlarındaki davranışları, binaların muayenesi ve mimari yeniden yapılandırma dokümantasyonlarının kullanılabilirliğini ele almaktadır. Çalışma kapsamında Su kulesi tarihi binası için Leica ScanStation C10 lazer tarayıcısı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Cyclone, CloudCompare ve AutoCAD yazılımları yer almıştır (Kuczyńska ve Stawska, 2021).

Elazığ ili tarihi ve kültürel eserlerinden biri olan Harput Kale Hamamı için rölöve, restitüsyon ve restorasyon amaçlı bir belgeleme çalışması hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında Riegl18 VZ 400 lazer tarayıcısı kullanılmıştır. Dijital verilerin işlenmesi ile taş örüntülerin şemaları, sıva boşlukları plan ve kesit düzleminde AutoCAD ortamında çizilerek yapının en boy ve tüm kesitlerinin alınabilmesi sağlanmış olup yapıya ilişkin kat planları ve rölöve çizimleri gerçekleştirilmiştir (Uzun ve Spor, 2019).

Nokta bulutunun mimari vektörel çizimlerdeki kullanımına dayalı çalışma kapsamında Konya ili tarihi ve kültürel eserlerinden biri olan Ali Efendi Muallimhanesi'ne ait 3B CAD çizimleri lazer tarayıcıdan elde edilen yüksek çözünürlüklü 3B nokta bulut verisinden ve bu veriden elde edilen ortofotolar sayesinde oluşturulmuştur. Nokta Bulutu üzerinden gerçekleştirilen 2B ve 3B çizimler için AutoCAD yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kültürel binaya ait mimari çizimler elde edilmiştir (Karasaka ve Ulutaş, 2021).

Bir diğerk makale çalışmasında yazarlar, Focus 3B S120 lazer tarayıcısını kullanarak bir dini yapının belgelenmesi için YLT yöntemini kullanmıştır. Yazarlar bu çalışma ile koruma, restorasyon ve bozulma süreçlerinin izlenmesi ile ilgili ihtiyaçlar için yüksek çözünürlüklü ve metrik doğrulukta bir 3B model oluşturmayı hedeflemişlerdir. Ayrıca elde edilen dijital kopya verisi ile sanal tur ve artırılmış gerçeklik uygulamaları için ürün oluşturmuşlardır. Tarama sonucunda yapıya ilişkin geometrik ölçüler, farklı yüksekliklerdeki planlar, enine ve boyuna kesitler, duvar yükseklikleri gibi niteliksel ve niceliksel bilgilerin çıkarılabileceği 3B bir dijital kopya elde etmişlerdir(Giuffrida ve ark., 2021).

Yazarlar bu çalışmalarını ile YBM ortamında 3B model etmek için bir prosedür gerçekleştirmişlerdir. 3B modele ait nokta bulutundan Revit ortamında direkt bir şekilde katı modeli elde ederken her bir yapı elementini nesne kütüphanesinde sınıflandırmış ve modellemiştir. Bu sayede BIM yazılımının tarihi modelleri ve karmaşık elementleri parametrik bir şekilde modelleyebileceğini vurgulamıştır (Fregonese ve ark., 2015).

Tarihi yapıların belgelenmesi üzerine hazırlanmış farklı bir çalışmada, çalışılan tarihi camiye ait kubbenin rekonstrüksiyon işlemi için YLT tekniğine başvurulmuştur. Binanın iç kubbesine ait elde edilen 3B taramalardan oluşan belgeleme çalışmasında ana hedef caminin dış kubbesinin aşırı ağırlığı altında dengesiz bir şekilde çökmüş olduğunu ortaya koymak olduğu görülmektedir. Çalışmada kubbenin ağırlığını azaltmak için kubbeye ait dış tabakasının yeniden inşa edilmesi gerekliliği mevcut olduğu için bina çökme parametreleri ve iç kubbenin alt tabakasının geometrisinin ölçümü YLT ile tamamlanmış ve doğru sonuçlar verdiği çalışmanın sonuçlarında ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında cami anıtı hakkında bilgi yaymak ve onu dijital bir 3B model şeklinde erişilebilir hale getirmek amacıyla Altın Camii'nin iç kısmının dijital bir 3B modeli oluşturulmuştur (Kesik ve ark., 2021).

Antik bir ahşap mimari yapının hassas bir formatta ölçümü, 3B modellenmesi ve rekonstrüksiyonu amacıyla YLT tekniğine başvuru bu çalışma ile nokta bulutu verisinden oluşturulan clipboxlar kullanılarak plan çizimleri, cephe çizimleri, kesit çizimleri ve kapı ve pencere çizimleri gibi mimari çizimler yapılmıştır. Çizimler AutoCAD yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak ise YLT yaklaşımının 3 mm doğrulukta antik mimarinin ince ölçümünü ve 3B dokümantasyonunu uygun şekilde ortaya koyduğunu kanıtlamışlardır (Hu ve ark., 2016).

Bir diğerk çalışma kapsamında elde edilen verilerin CAD ortamında değerlendirilmesi sonucunda cephe ve planlara ait çizimler elde edilmiş ve YLT-

yönteminin miras dokümantasyonundaki kullanılabilirliği üzerine bir araştırma çalışması yapmak amaçlanmıştır. Uygulama kapsamında Leica ScanStation C10 yersel lazer tarayıcı ve Leica Cyclone 8.1 yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan CAD yazılımının ise AutoCAD olduğu görülmektedir. Cephe planlarının çizilmesi ve son olarak klasik yöntemlerle alınmış birkaç detaya ait ölçülerin AutoCAD yazılımı üzerinden alınan ölçülerle karşılaştırılmasının yapıldığı görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda gerçek bina üzerinden alınan ölçülerle 3B lazer tarama ölçümleri arasında sadece 2-3 mm arasında farklar olduğu görülmüştür (Safkan ve ark., 2014).

Çin'in Shang Shu Di in Fujian şehrindeki bir yapının 2B modellenmesi amacıyla YLT tekniği kullanılmıştır. Cyclone yazılımında düzenlenen nokta bulutu AutoCAD ortamında yapının cephelerini ve yapıya ait en ince detay süslemelerinin çizimlerinin yapıldığı görülür. YLT tekniğinin bina bilgilerinin yakalanması ve analizi konusunda entegre teknolojilerin de katkısıyla 2B ve 3B çizimlerinin Bina Bilgi Modelleme (YBM) teknolojileri için yeni olanaklar sunacağı ortaya konulmuştur (Zhang ve ark., 2015).

3. 3B LAZER TARAMA VE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

3.1. Lazer teknolojisi ve tarihsel süreci

Radyasyonun uyarılmış emisyonu ile ışın güçlendirilmesi anlamına gelen Lazer kavramı, Albert Einstein tarafından 1916 yılında ortaya atılan bu kavram 1958 yılına gelindiğinde ilk lazerin üretilmesi ve 1971’de ticari amaçla kullanımı ile hayat bulmuştur. Lazer ışını temelde atom ve moleküllerin enerji seviyelerindeki geçişlerdir. Lazer ışığını normal ışık kaynaklarından ayıran fark tek bir frekansa sahip olması ve dar bir çaptan oluşmasıdır. Bu sayede yoğun bir hüzme halinde ve prizmatik aparatlarla yönlendirilebilir nitelik kazanırlar. Lazer ışığı, diğer ışık kaynaklarından farklı olmak üzere kaynağından ayrıldıktan sonra dağılmadan ilerleme gösterir. Çarptığı yüzeyde meydana gelen elektromanyetik ışınım dalgaları dairesel ve eliptik yörüngelerde rasgele dağılım gösterir. Bu dağılım sonucunda belli miktardaki foton tarayıcıya geri yansır ve kaydedilir. Bu işlem sonucunda yansıyan lazer ışığı faydalı bir veriye dönüşür ve birçok farklı disiplinde kullanım alanı bulur (Osmani, 2019).

3.1.1. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi

YLT, yapı veya objelerin doğrudan, hassas ve otomatik bir şekilde 3B koordinat bilgilerinin (x,y,z) elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Lazer tarayıcıdan gönderilen lazer darbelerinin uçuş süresine bağlı olarak mesafeleri hesaplamak için lazer sinyalleri yayan aktif bir sensördür (Costabile ve ark., 2021; Beg, 2018; Bonfanti ve ark., 2013; Beraldin ve ark., 2007). Mevcut sistemde tarayıcılar, yatay ve düşey eksenlerde hedefe lazer ışınları gönderebilen yapısal bir donanıma sahiptir. Tarayıcının kaynağından çıkan lazer ışını, tarayıcının gövde kısmında bulunan ve bir mil etrafında dönen aynaya çarparak ayna yüzeyinden yansır ve yatay bir açı ile tarayıcıdan ayrılıp hedefe doğru ilerler. Lazer tarayıcı, düşey eksen etrafında dönerek işlem boyunca tarama yapar. Tarama sonucunda elde edilen sonuç ürün; nokta bulutudur (Şekil 3.1). Kutupsal koordinatlara sahip her bir nokta tarayıcı yazılımı aracılığıyla kartezyen noktalara (x,y,z) dönüştürülür. Oluşan nokta bulutu, objeye ait temel geometrik öğelerin bir koleksiyonudur (Kemeny ve Turner, 2008; Hassan ve ark., 2019; Suveren, 2019).

Dünyada lazer teknolojisinin başlangıcı 1960’lı yıllara kadar uzanmakta iken o tarihlerden günümüze kadar sensör teknolojisi ve ilgili yazılımların gelişen teknoloji ile-

beraber gösterdiği gelişmeler sonucunda, mühendislik çalışmaları başta olmak üzere tarihi ve kültürel eserlerin belgelenmesi, 3B modelleme çalışmaları, arkeolojik çalışmalar, deformasyon analizleri, madencilik çalışmaları vb. birçok farklı disiplinlerde geometrik verinin elde edilebilmesi amacıyla kullanılan etkin bir yöntem olmuştur.

Tarama sonucunda elde edilen 3B veri ile temel ölçme verileri elde etme, ortofoto görüntü çıkarımı, 2B veya 3B çizimler elde edebilme, katı yüzey modelleme, 3B animasyonlar oluşturma, doku giydirilmiş 3B model çıkarımı vb. birçok çalışmada kullanılabilir. Aktif ve güncel bir veri toplama yeteneğine sahip lazer tarayıcılar, ölçme işlemini gerçekleştiren teknik personel ve bu veriden faydalanacak olan kullanıcılara teknik anlamda önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).



Şekil 3. 1. YLT yönteminden elde edilen 3B nokta bulutu verisi

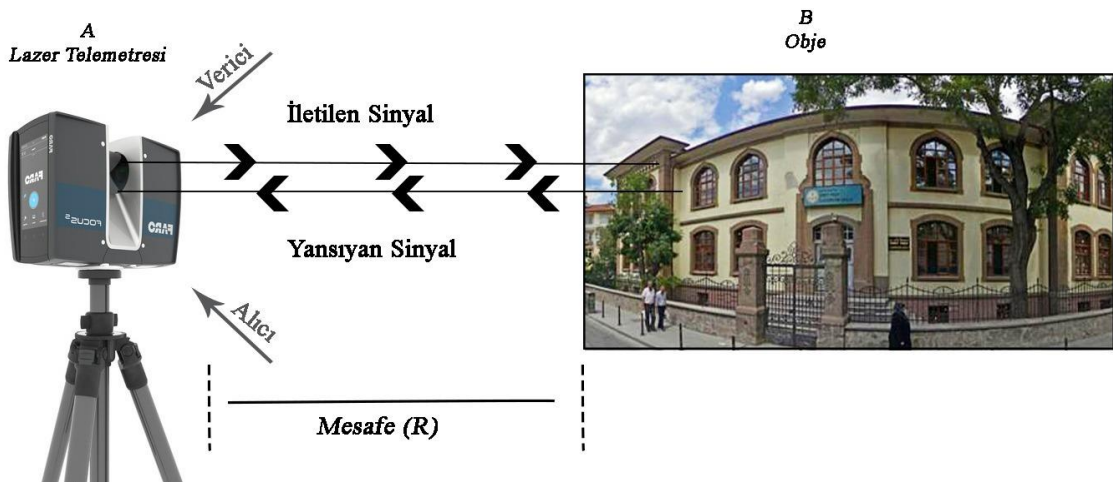
3.1.2. Yersel lazer tarayıcı mesafe ölçme prensipleri

YLT cihazları 3 farklı mesafe ölçme prensibine sahiptir. Bunlar (Ozdemir, 2014);

- Uçuş zamanlı mesafe ölçme prensibi esas alınarak işlem gören tarayıcılar.
- Faz karşılaştırma yöntemiyle işlem gören tarayıcılar.
- Üçgenleme yöntemiyle işlem gören tarayıcılar.

3.1.2.1. Uçuş zamanlı mesafe ölçme prensibi

YLT teknolojisinde en etkin kullanılan mesafe ölçme yöntemi, uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemi esastır. Bu yöntemde temel prensip; lazer tarama cihazından çıkan bir lazer sinyalinin hedef obje yüzeyine çarptıktan sonraki gidiş dönüş süresini hesaplamak üzerine kuruludur. Işığın bir saniyede boşlukta aldığı hız değeri “c” bilindiğinden lazer sinyalinin gidiş dönüş mesafesi de belirlenebilir (Eşitlik 3.1). Uçuş zamanlı mesafe ölçme prensibi ile çalışan tarayıcılar, oluşacak sapmaları kendi bünyelerinde yer alan dönme araçları vasıtasıyla önleyebilirler. Bu sayede tarayıcıların sapma oranları birkaç mm’yi geçmemektedir. Ayrıca lazer tarama cihazı ve taraması yapılacak hedef obje arasındaki mesafe azaltıldığında oluşacak sapma değeri hedef objenin tüm yüzeyi boyunca eşitlik gösterecektir. Dolayısıyla uzun menzilli taramalarda gerçekleştirilen işlemlerde en çok tercih edilen yersel lazer tarayıcı türü olmaktadır. Şekil 3.2’de uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemini kullanan lazer tarayıcıların çalışma prensibi ifade edilmektedir (Karasaka, 2012; Boehler ve Marbs, 2002).



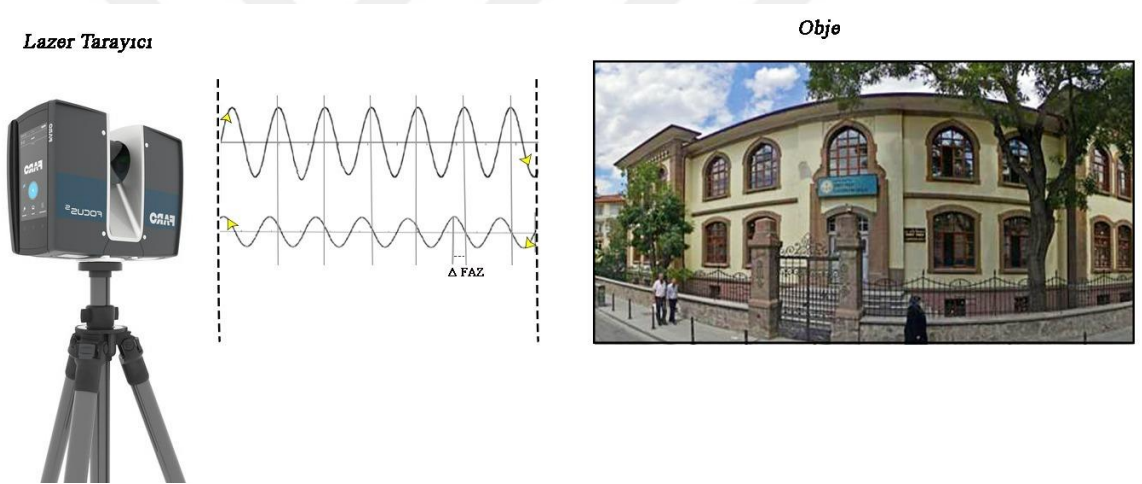
Şekil 3.2. TOF yönteminin temel çalışma prensibi

$$\Delta R = c \frac{\Delta t}{2} \quad (3.1)$$

- R: A ve B noktaları arasındaki mesafe
- c: Elektromanyetik radyasyonun hızı
- Δt : Ölçülen zaman aralığı

3.1.2.2. Faz karşılaştırma prensibi

Bu yönteminde, tarayıcı ile ölçülecek hedef obje veya yüzey arasındaki mesafe, yayılan ve geri yansıyan dalgalar arasındaki faz farkının hesaplanması prensibine dayanır (Şekil 3.3). Kullanıcılar yönünden bu prensibin, uçuş zamanı prensibinden pek farkı yoktur. Bu yöntem kapsamlı bir sinyalizasyon yapısı taşıdığından ötürü diğer yöntemlerle çalışan lazer tarayıcılara göre daha doğru ve hassas sonuçlar sunar. Faz karşılaştırma yöntemi ve uçuş zamanlı yöntem kıyaslandığında faz karşılaştırma yönteminin kısa zamanda daha fazla bilgi topladığı, neredeyse 10 kat daha hızlı çalışma performansı gösterdiği görülmektedir. Lazer ışığının gidiş geliş zamanına göre işlem yapan uçuş zamanlı yöntemin ise mesafe yönünden daha avantajlı olması sebebiyle genellikle topoğrafik ve dış mekân ölçümlerinde tercih edildiği görülür (Kaya, 2020).



Şekil 3.3. Faz karşılaştırma yönteminin temel çalışma prensibi

Faz karşılaştırma yönteminin matematiksel formülü Eşitlik 3.2' de verilmiştir. Bu formüle göre;

$$D = \frac{c \cdot \theta}{4\pi f} \quad (3.2)$$

- D: Lazer tarayıcı ve ölçülen hedef arasındaki mesafe
- c: Elektromanyetik radyasyonun hızı
- θ : Faz farkı
- f : Frekans

3.1.2.3. Üçgenleme Yöntemi

Bu prensip ile mesafe ölçme, bilinen ve bilinmeyen parametreler arasında kurulan üçgen bağıntılarını ele alan bir prensibe dayanır (Karasaka, 2012). Üçgenleme yöntemi ile çalışan lazer tarama cihazlarında tek kamera ve çift kamera çözümü olmak üzere iki farklı şekilde konum belirleme işlemi yapılır.

Tek kamera çözümüne dair çalışma prensibi incelendiğinde, bir ışın yayma düzeneğinden oluşan bu yöntemde tarayıcı, mekanik aletin bir ucundan hedef objeye doğru değişen ve artan açılarla gönderilen ışınlar ve bu ışınların sapmalarını sezebilen bir CCD kamera vasıtasıyla çalışır. Nesnelerin 3B konum bilgileri, CCD kamera, hedef obje ve lazer tarayıcısı arasında oluşan sonuç üçgeninden elde edilir. Mesafe arttıkça sağlıklı sonuçlar alınamayacağından bu tarayıcılar kısa mesafelerde ve küçük nesnelerin taraması için daha kullanışlı olma özelliği gösterir.

İki kamera çözümüne dayanan prensip incelendiğinde ise bu yöntemin tek kamera çözümünden farkı; ışınların sapmasını sezebilen tek değil iki adet CCD kameranın varlığıdır. Bu yöntemde hedef obje üzerindeki bölgelerin ve noktaların belirtilmesi, ölçme özelliği bulunmayan bir ışık düzeneği yardımıyla elde edilir. Tek kamera çözüm yöntemi ile aynı hassasiyette sonuçlar verirken mesafenin artması durumunda sağlıklı sonuç üretmektedir (Kaya, 2020).

3.1.2.4. Nokta bulutu

Temel bir referans sistemi dâhilinde bir nesne veya alanın mekânsal dağılımının ifade edilmesini sağlayan XYZ koordinatlarının toplamı nokta bulutunu oluşturur. Nokta bulutları, ölçülen alanı gerçek ölçülerinde temsil ettiğinden hedef objenin 1:1 ölçekli 3B modeli olarak da düşünülebilir (Altuntaş ve Yıldız, 2008). Nokta bulutu, yoğunluk ve RGB (kırmızı-yeşil-mavi) değerleri gibi ek bilgileri de kapsamaktadır. Bir nokta bulutu verisi, söz konusu objenin geometrisini ifade eden ve çevredeki diğer nesnelere ile olan mekânsal ilişkisini ifade eden metrik bilgiler ve nesne yüzeyinin özelliklerini tanımlamak için görsel veya tematik bilgiler olmak üzere iki tür bilgi içerir (Mills ve Barber, 2003; Karasaka, 2012).

3.1.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları

YLT sistemleri günümüzde farklı proje paydaşları tarafından farklı amaçlar doğrultusunda kullanım imkânı barındıran bir teknolojidir. Burada önemli olan tarama işlemi gerçekleştirilmeden önce taramanın amacını belirleyebilmektir.

Örneğin bir mimar lazer tarama sonucunda elde edilen veriyi kesit bazlı bir projede detayları görebilmek için kullanmak isterken bir kontrol elemanı ise yapılan işin kalitesini denetlemek amacı güdebilir. Ancak en önemlisi amaca uygun doğruluk ve detayda tarama verisi elde edebilmektir (2007; Kaya, 2020). YLT yönteminin birbirinden farklı kullanım alanları incelendiğinde, ulaşım ve altyapı uygulamaları, afet izleme uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, madencilik uygulamaları, kıyı uygulamaları, deformasyon ölçümleri vb. alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Mimari yapıların belgelenmesi çalışmalarında özellikle bina cephe ölçüm uygulamaları, tarihi yapı veya alanların belgelenmesine dayanan uygulamalarda YLT cihazları kullanım alanı taşımaktadır. Bina cephe uygulamaları kapsamında lazer tarama verilerinden elde edilen 3B veriler mimari çalışmalar yürüten kullanıcılar tarafından bina ve cephe modelleme çalışmalarında sıkça kullanılır. YLT cihazlarının geniş görüş alan kapasitesi, yüksek doğruluktaki lazer verisi ve yüksek çözünürlüklü renkli sayısal fotoğrafların bileşiminden meydana gelen veriler bina ve cephe modellemesinde maksimum fayda sağlayan ideal verilerdir. Elde edilen nokta bulut verisinin CAD ortamına transferi ile çeşitli sanal modeller, kaliteli ortofotolar, bu alanda sağlıklı çalışmalar yapabilmeye imkân tanımaktadır. Taraması yapılan nesne veya alana ait yatay ve düşey kesitler, alan ve hacim hesaplamaları, konum bilgisi elde etme ve bunlar gibi amaçlar doğrultusunda veriler üzerinde çalışma olanağı sunar. Sokak sağlıklılaştırma uygulamaları kapsamında ise tek bir yapı değil de sokak boyunca var olan binaların sokağa bakan cepheleri ile birlikte yan ve arka cepheleri de dahil olacak şekilde rölövelerinin çıkarılması ve bunlar üzerinden yapının tarihi orijinal dokusuna göre restitüsyon ve restorasyon işlemlerinin yürütülebilmesi çalışmaları yapılır (Uray ve ark., 2015; Varlık ve ark., 2016).

Yersel lazer tarayıcıların ülkemizde ve dünyada kullanımının en yoğun olduğu alan mimari ve arkeolojik ölçme uygulamalarıdır. YLT teknolojisi bu çalışma alanlarında hedef obje veya alanın modellenmesi, arşivlenmesi, deformasyon takibi, restorasyon çalışmaları vb. birçok farklı amaç doğrultusunda kullanılmak üzere en ideal ve etkili teknolojik yöntemlerden biri olmuştur. Günümüzde YLT tekniğini benimseyen mimarlar veya dokümantasyon işlemini gerçekleştirecek kullanıcılar sayesinde de bu yöntem

ülkemizde popüler bir dönüşüm yaşamıştır. Şekil 3.4'te Marmara Üniversitesinin dış kapısına ait bir cephe rölovesi yer almaktadır.



Şekil 3.4. Marmara Üniversitesi dış cephesine ait 2B rölöve örneği.

3.2. Mimari Belgeleme Çalışmalarında YLT Kullanımı

Kültürel mirasların korunması, dünyadaki tüm medeniyetler için asil bir görevdir (Moussa ve ark., 2013). Tarihi ve kültürel eserlerin nesilden nesile aktarılması herhangi bir medeniyetin köklerini ve gelişimini korumak adına son derece gereklidir. Ülkelerin turizm, ekonomi ve ekoloji parametreleri günümüz toplumlarında kültürel miras değerlerinin bir sonucudur. Bu nedenle yetkili kişi ve kurumlar aracılığıyla bu eserlerin korunması zorunludur (Oliveira ve ark., 2014). Savaşlar, kontrolsüz gelişmeler, insan kaynaklı afetler, kötü kullanım vb. gibi nedenler ve bunların yanı sıra çeşitli doğal afetler, doğa olaylarının meydana gelmesi ve ayrıca mimari ve arkeolojik kültürel miras alanlarının yavaş dokümantasyon süreci de düşünüldüğünde kültürel miras değerlerinin yok olması kaçınılmaz hale gelmektedir (Amons ve ark., 2013).

Geleneksel yöntemlerle yapılacak bir mimari rölöve çalışmasında fazla zaman harcanması ve maliyetin artması istenmeyen durumlardır. Ölçüm teknolojilerindeki yenilikler ve fotogrametrinin mimari uygulamalardaki uyumlu iş birliği neticesinde-

geleneksel yöntemlere kıyasla fazla zaman harcanmadan, maliyetten tasarruf sağlanarak ve hassasiyetten ödün vermeden seri ve pratik çalışmalar yapılabilmesi lazer tarama yöntemini popüler bir yöntem haline getirmiştir (Karasaka ve Ulutaş, 2021; Okuyucu ve Çoban, 2019). Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen istenilen sıklıktaki 3B noktalar (x,y,z koordinatlarına sahip) ölçülmesi hedeflenen objeye veya mekâna dair veriyi temsil eder.

Günümüzde 3B veriler, kültürel mirasların biçimini kalıcı olarak kaydedebilmek ve gelecek nesillere aktarabilmek için kritik bileşenlerdir. 3B veriler tarihsel dokümantasyon çalışmalarında birçok farklı amaç (dijital koruma, çapraz karşılaştırmalar, şekil ve renklerin tespiti ve izlenmesi, yaşlanma ve bozulmaların tespit ve simülasyonu, sanal gerçeklik çalışmaları, bilgisayar ve grafik uygulamaları 3B-katologların hazırlanması, web tabanlı coğrafi sistemler, bilgisayar destekli restorasyon çalışmaları, müze sergileri, görselleştirmeler vb. için kullanılabilir (Remadino, 2011). 3B modelleme araştırmalarındaki hızlı yükseliş, yeni sensörlerin veri yakalama metodolojilerinin ve çok çözünürlüklü 3B temsillerinin sürekli gelişimi, anahtar nokta algılama ve eşleştirmedeki son gelişmeler, masaüstü ve mobil cihazların bu alandaki kullanım özelliklerinin artışı, dijital fotoğrafçılığın yaygınlaşması, büyük veri setlerinin kullanılabilirliği, kültürel mirasları belgeleme alanında yeni gelişmeler için iyimser yaklaşımları arttırmıştır (Toldo ve ark., 2015).

Günümüzde nokta bulutu üzerinden çalışma yapmaya fırsat sunan birçok yazılım (AutoCAD, Sketchup, Revit, ArchiCAD, Rhino vb.) mevcuttur. Örneğin AutoCAD yazılımı nokta bulutu üzerinden çalışırken belirli iyileştirmeler ve geliştirmeler sağlar. Nokta bulutu eklentisi sayesinde kırpma araçları kullanılarak bulut üzerindeki mevcut bir alana odaklanabilir ve noktalar yardımıyla kırpılmış alan üzerinde çizimler yapılabilir. Kırpılmış alan, kırpma sınırı ile birlikte bu alan içinde kalan nesnelere içerir. Ayrıca bu kırpılan alanlar artık birer kesit özelliği gösterdiği için nokta bulutları üzerinden bulutun sıklığına bağlı olarak nesne yaratmaya olanak sağlar. Bir diğer çizim yöntemi ise dinamik kullanıcı tanımlı koordinat sistemini çizim yapılacak hedef yüzey üzerinde doğru tanımlamak şeklindedir (Karasaka ve Ulutas, 2021; URL-10, 2020).

YLT yöntemi bugün birçok mühendislik dallarında olduğu gibi mimarlık alanında da özellikle tarihi ve kültürel yapıların ya da doğal miras alanlarının rölöve, restitüsyon ve restorasyon gibi belgeleme çalışmalarında Türkiye’de ve dünyada pek çok mimarlık ofisleri YLT yöntemini aktif şekilde kullanmaktadır (Gumilar ve ark., 2020; URL-4, 2020).

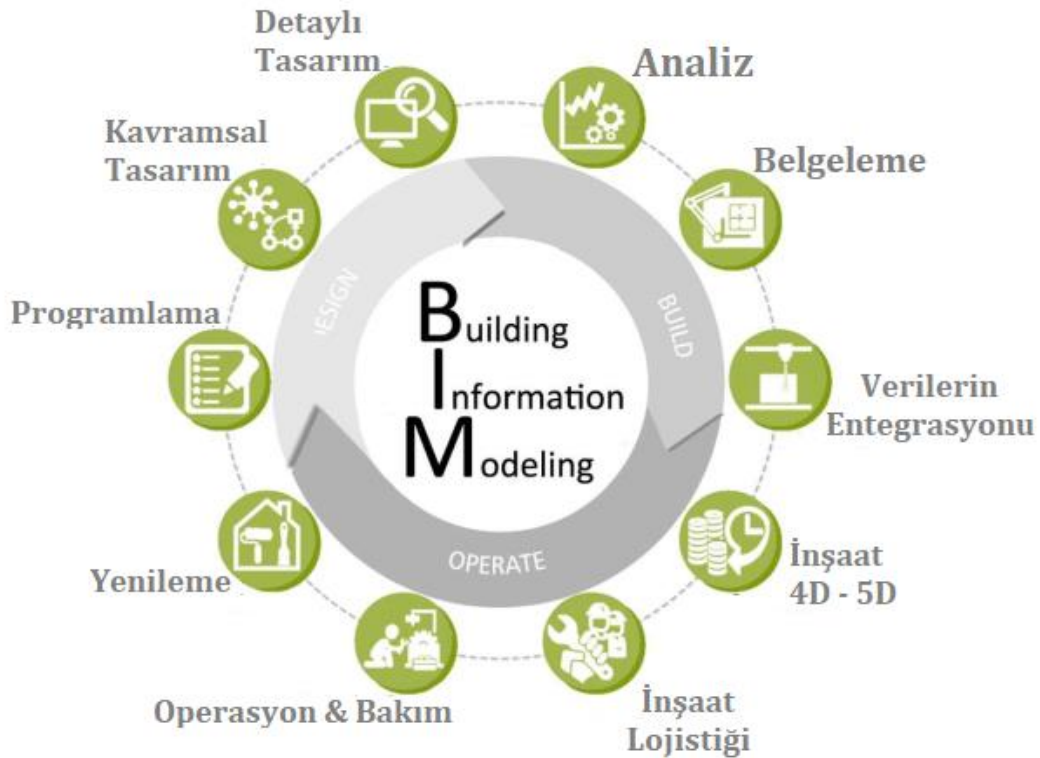
Bir yapının belgeleme sürecinde yersel lazer tarayıcılar milimetre (mm) düzeyinde doğruluk sağladığı için mimari cephe taramalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Yapıyı temsil eden bu nokta bulut verisi sayesinde rölövesi zor olan obje veya yapılara ait 3B koordinatlı veriler elde edilebilir. Lazer tarama cihazları koordinatlı veriye ilaveten RGB renk değerlerini de kayıt altında tutar. Bu sayede renkli nokta bulut verisi sağlanır. Lazer tarayıcılar, çok miktarda nesne noktası toplayarak nokta bulutlarını oluştururlar fakat lazer tarayıcıların sahip olduğu sınırlı görüş alanı sebebiyle farklı konumlardan görülebilen nesneye ait yüzeyler için birden fazla tarama yapmak gerekir. Daha sonra her oturumdan gelen nokta bulut verisi bilgisayar ortamında uygun lazer verisi işleme yazılımında tek bir nokta bulutu haline getirilerek değerlendirilir (Okuyucu ve Çoban, 2019; Kersten ve ark., 2009; Hassan, 2019).

Mimari belgeleme çalışmaları belirli standartlar dâhilinde yapılır (Uluengin, 2013). Kayıt altına alınması istenen herhangi bir nesne ya da alana ait 3B nokta bulut verileri ile yapılacak rölöve çalışmaları ileriki dönemlerde yapılacak restitüsyon ve restorasyon çalışmalarına altlık veri özelliği gösterir. Bu çerçevede rölöve, restitüsyon ve restorasyon terimlerinin ayırıcılığına varmamız gerekir. Rölöve, bir yapının, kent dokusunun ya da arkeolojik kalıntıların incelenmesi ve mimarlık tarihi açısından değerlendirilmesinin sağlanması, yapının özgünlüğüne bağlı kalınarak mevcut durumun ölçekli bir şekilde çeşitli bilimsel araçlar ve yöntemler sayesinde belgelenmesidir (Sansoni ve ark., 2009; Gumilar ve ark., 2020; URL-4, 2020; URL-11, 2021). Bu rölövelerin sağlıklı bir şekilde alınması gelecekte yapılabilecek restitüsyon ve restorasyon çalışmalarında kullanabilmek adına önemlidir. Restitüsyon çalışması, rölöve çalışmalarının altlık olarak kullanıldığı, yapının geçmişi hakkında bilgiler toplayarak sonradan değişikliğe uğramış öğelerin günümüze kadar ki serüveninde geçirdiği değişimleri ortaya koyan ve bunları plan, kesit, görünüş ve maketlerle destekleyip anlatmaya dayanan projelerdir (URL- 4, 2020). Restorasyon çalışması ise Kültürel mirasların korunup geleceğe aktarılması için nesne veya yapıların deformeye uğrayan veya tahrip olan bölümlerinin daha fazla tahribata uğramasını önlemek amacıyla özgün haline bağlı kalınarak yapılması gereken yenileme çalışmalarıdır (URL- 6, 2021).

3.2.1. Yapı bilgi modellemesi (YBM)

YBM, bir yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin temsil edildiği dijital bir modelin yürütülme sürecine verilen isimdir.

Yapı projesinin başlangıcından bitim ve faaliyet aşamalarına kadar her evrede proje paydaşlarına disiplinler arası çalışmayı 3B bir ortamda sunmakla birlikte geriye dönük verilerin takibini de kolaylaştıran bir süreçtir (Baik, 2017; Özorhon, 2018; Aburamadan ve ark., 2021; Moyano ve ark., 2021). YBM, National Institute of Building Science' a göre "Bir yapının fiziki ve fonksiyonel karakterinin re-prezantasyonu" olarak tanımlanır. Bu anlamda yapının bütün yaşam döngüsü süresince doğru kararlar alabilmek adına güvenli ve paylaşılabilir bir bilgi kaynağı görevi üstlenir. Bilim, teknoloji ve inovasyon ışığı altında daha iyiyi inşa edebilmek YBM teknolojisinin temel hedefidir (Miettinen ve Paavola 2014; Kömürcü ve Yıldız, 2021; Aburamadan ve ark., 2021). TYBM'nin farklı disiplinlerle sunduğu iş birliği, veri paylaşımı, veri entegrasyonu ve parametrik nesnelere kendi kütüphanesinde depolayabilmesi mimari özellikteki yapılar için YBM kullanımını özellikle son yıllarda sıklıkla teşvik etmektedir (Valero ve ark., 2022; Bayar, 2019; Underwood and Işıkdag, 2009).



Şekil 3.5. Bir binanın yaşam döngüsünde YBM metodolojisinin kullanımı (Bayar, 2019)

YBM, mimari rekonstrüksiyon ve restorasyon adımları için yeni çalışma perspektifleri ve görsel ortamlar üretir.

Yapı veya objenin iki kere inşa edilmesi anlamına gelen bu sürecin ilk adımı sanal ortamda binayı oluşturmak iken ikincisi ise sahada fiziksel olarak yapıyı oluşturmaktır. İlk aşamada binanın 3B modeline gerekli detayları ve bilgileri ekleyip çeşitli analizler gerçekleştirilir. Bu sayede çeşitli problemler sanal model üzerinden çözüme kavuşturulmuş olur ve sahaya geçildiğinde büyük kolaylık ve fayda sağlar (URL-6, 2022). Bu kapsamda YBM teknolojisi devrim niteliğinde bir yaklaşım olup sürecin verimliliğini arttıran bir olgudur. Yeni binalar için inşaat süreçlerinde kalite kontrolü ve mümkün olan maksimum süreyi azaltmayı; bütçe konusunda ise maliyet fazlalığını engellemeyi amaçlar. YBM metodolojisi, multidisipliner işbirliği uygulamalarıyla kombinasyona imkân tanır. Günümüzde ABD, Norveç, Finlandiya, Danimarka, Singapur, Kore, İngiltere, gibi gelişmiş ülkelerde çıkarılan YBM yönetmelikleri ülkelerin YBM uygulama stratejilerini oluşturmaya başladıklarını ve ilerleyen zamanlarda belirlenen standartların zorunlu hale geleceğini ortaya koymaktadır (Duran, 2017). Türkiye’de ise son birkaç yıldır YBM teknolojisi aktif olarak raylı sistemlerde zorunlu olmaya başlamıştır. Özellikle Kabataş-Mahmutbey-Mecidiyeköy metro hattında YBM kullanılırken; Emar Square alışveriş merkezi ve 3. Havalimanı projelerinde de YBM metodolojisinin kullanıldığı görülmektedir. Fakat yine de Türkiye’de uygulanmakta olan zorunlu ve standart YBM protokollerinin olmayışı Türk inşaat sektörünü küresel pazardan geri bırakmaktadır.

Çağımızda 3B veriler kültürel mirasların biçimini kalıcı olarak kaydedebilmek ve gelecek nesillere aktarabilmek için kritik bileşenlerdir fakat tarihi bir yapının olduğu gibi modellenmesi yapının bileşenlerine ait teknik bilgilerin yanı sıra anlamsal bilgilerle de ilgilidir. TYBM metodolojisi kapsamında araştırma ve uygulama sonucunda elde edilen veriler hem anlamsal verileri (semantik veri) hem de geometrik verileri kapsamaktadır (Wang ve ark., 2015). Semantik veriler, yapıya ait gerçekleştirilen araştırmalar ve gözlemler sonucunda elde edilir. Bu veriler, tarihi veri, yapıya ait malzemenin türü, yapım tekniği, fiziksel özellik verileri ve arşiv verilerinden oluşur. Semantik verinin toplanması sayesinde yapıları doğru yorumlama ve analiz edebilme kolaylaşır ve ilerleyen süreçlerde yapı ile ilgili alınan kararlara yön verir. Toplanan bu veriler geometrik verilere entegre edilerek bir YBM oluşturulur. Yapılardan alınan metrik ölçümler ise geometrik verileri elde edebilmemizi sağlar. Gelişen teknolojik ölçüm metotları sayesinde geometrik verinin elde edilebilmesi için fotogrametri ve yersel lazer tarama cihazları kullanılmaktadır. Günümüzde birçok çalışma YBM kapsamında nokta bulutunun yönetimi ve uygun bir çalışma akışı oluşturabilme amaçlarına odaklanmış vaziyettedir (Bassier ve ark., 2019).

YLT'den elde edilen 3B nokta bulut verisi, YBM ile uyumlu çalışmalar sağlayabilecek nitelikte bir veridir (Antonopoulou ve Bryan, 2017; Ali ve ark., 2018; Brumana ve ark., 2017; Bastem, 2021).

Yapıların YBM kapsamında modelleme çalışmaları için farklı metotlar ve yazılımlar izlenebilir. YBM metodolojisinde yapılar için nesne tabanlı birçok parametrik model mevcuttur. Bu nesnelere genel olarak duvarlar, zemin, tavan, pencereler, kapılar, kolonlar gibi bir yapının temel öğelerinden oluşur. Nesnelere önceden tanımlı şekilde mevcut bulursa da kullanıcılar bu nesnelere değiştirebilir, özelleştirebilir veya doğrudan kullanabilir. Söz konusu nesnelere, parametrik fonksiyonlar olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma sonucunda uygulama süreçleri kolaylaşır ve gerekli standartların sağlanması kolaylaşır. Birçok nesne sınıfının kütüphanelerde saklanmasıyla erişilebilirlik artar ve uygulama süreçlerini kolaylaştırır (Arayıcı et al., 2015; Underwood and Isıkdağ, 2009; Gehrig and Chen, 2011; Eastman et al., 2011).

YBM model elemanlarının, projenin tasarım aşamasından inşaat aşamasına kadar olan süreç içerisinde hangi seviyede ve hangi detay düzeyinde içerik tanımlayacağı Level of Detail (LOD) kavramı ile ifade edilir. LOD, proje paydaşlarına YBM hakkındaki merak ettiklerini en yalın formatta yanıtlayan referans ifadedir. Yapı elemanlarının içerdiği geometrik bilgi içerikleri LOD seviyeleri üzerinden anlaşılır ve disiplinlerin gereksinimlerini birbirlerine iletebilecekleri bir yoldur. LOD kavramının kullanılmasının ana sebebi bilgilerin nasıl ilerleyeceğini açıklamak ve karışıklıkları gidererek daha kaliteli ve yetkin projeler üretmeyi sağlamaktır. LOD tabloları doğru, anlaşılır ve uluslararası standartlara uygun olarak hazırlanmalıdır. Her model için oluşturulan LOD tabloları birbirinden farklı özellikleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu seviyelerin tanımlanması çerçevesinde, AIA (Amerikan Mimarlar Enstitüsü) komitesi projenin her bir unsurunun farklı gelişim düzeyini temsil eden standart bir çerçeve önermek ve aralarında iletişim ve veri alışverişini kolaylaştırmak için AIA G202-2013 Bina Bilgi Modelleme Protokolü için bir LOD çerçevesi yayınladı. Belirledikleri seviyeler: LOD100, LOD200, LOD300, LOD400 ve LOD500 seviye sınıfları olarak belirlendi (URL-11, 2022). Bu seviyelere genel olarak bakıldığında LOD100 seviyesi yapı projesinin ihale aşamasındaki durumu temsil ederken modele veri eklendikçe LOD300, 400, 500 seviyeleri meydana gelir. Gereksinimlere bağlı olarak LOD 250 ve LOD 350 seviyeleri de kullanılarak daha detaylı çalışmalar yürütülebilmektedir (Varlık ve Dursun, 2022; Özorhon, 2018; Şahinkaya, 2019; URL-4;URL-5, 2022).

LOD100: Bu seviye inşaat evresinin ilk aşamasıdır. Tasarım ve şematik aşamayı ifade eder. Bu seviyede üretilen detaylar temel kütle oluşturma, çizgiler ve 3B geometri esaslıdır. Bu seviye genelde bir binanın yapısının özetle nasıl görüneceği hakkında bilgi verir. LOD100’de kapı veya pencere gibi detaylar yoktur.

LOD200: Bu seviyede, model elemanları model içinde yaklaşık özellikler, miktarlar, boyut, şekil, konum ve yönelim ile genel bir sistem veya nesne olarak grafiksel şekilde temsil edilir. LOD 200 seviyesinde mekânlar, duvarlar, yükseklik ve kolonlar gibi sınırlayıcı unsurlarla modellenir. LOD 200 seviyesindeki öğeler ile türetilen herhangi bir bilgi yaklaşık olarak kabul edilmelidir. Bu seviye ile tanıtıcı bir sunum modeli yapılabilir. Bu seviyede kapı, pencere şekilleri, boyutu, temel ve genel mobilya yerleşimleri vb. hakkında fikir üretilebilir. Yani örneğin kapı ve pencere yerleri belirlidir. LOD 200 modelleri tasarım amaçlı modellerle başlayan ve farklı işlevler için çeşitlendirilebilen Mimari YBM hizmetlerinin önemli bir parçasıdır.

LOD300: Modelin diğer aşamaları LOD300 ile başlar. Bu seviyede oluşturulan 3B geometri modelin yalnızca sunumdan ibaret olmadığını gösterir. LOD300, modelin detaylandırılması, imalat, montaj ve kurulum bilgileriyle birlikte doğru miktar, boyut, konum, yönlendirme içereceği bir seviyedir. Bu modelde genel ve parametrik Revit nesne aileleri kullanılabilir.

LOD400: LOD300’ün bir üst seviyesidir. LOD300’e ek olarak kolonlar, kirişler, çaprazlar, köşebent plakaları, bağlantılar, takviye plakaları ve köşebentler, dökme durdurucular, metal ızgaralar, sismik veya ikincil destekler ve giriş geçişleri dâhil tüm elemanlar bu seviyede yer alır. Model ayrıca, her bir elemanı uygun şekilde montaj sırası ile ilişkilendiren ve yapısal elemanın boyutunu tanımlayan grafik olmayan bilgileri de içerecektir.

LOD500: Bu seviye, YBM modelleme aşamasının son aşamasıdır. Bu seviyeden oluşan model, daha sonraki bir aşamada tesis yönetimi ve bina yenilenmesi için korunur. Bu model ayrıca bina verimliliğinin etkin analizlerinde kullanılır. Modelin bu seviyesi, bina yaşam döngüsünün operasyonlarını ve bakımını desteklemek için tüm uygun geometri ve bilgilere sahip olacaktır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6. Ayrıntı düzeyleri kavramı (LOD - Level of Detail)

3.2.2. Tarihi yapı bilgi modellemesi (TYBM)

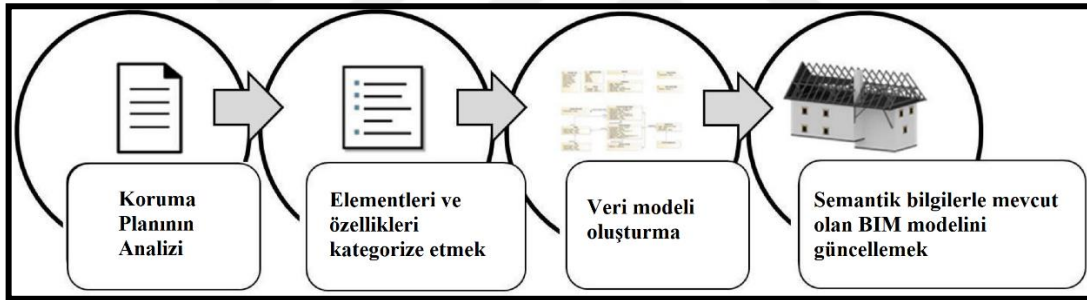
TYBM, tarihi yapıların modellenmesi için nokta bulutlarını kullanarak YBM geometrisi elde eden araçlardır. Bu araçlar YLT cihazlarından veya fotogrametriden sağlanan veriler ile çalışır (Murphy, 2012). YBM teknolojisinin tarihi binalara entegre edilmesiyle TYBM olarak tanımlanan miras yapılarına uygun çalışma metodolojisi gelişmiştir. TYBM, tarihi yapıların geometrisinin yönetilmesine ve özellikle restorasyon sürecinin planlanmasına olanak sağlar. TYBM yaklaşımı, bina yıpranması ve çürümesi veya çeşitli olaylarda malzeme ve inşaat karakterizasyonu ve koruma müdahalesine ilişkin alınacak önleme yardımcı olmak için edinilen bilgilerin analizi hakkındaki bilgileri yönetir. TYBM ortamında çalışmanın amacı, 2B çizimlerden daha gelişmiş nitelikte modeller üretmektir (Baik, 2017).

Tarihi yapıların yönetimi, belgelenmesi, temsil edilmesi ve bunlarla birlikte bilgilerin ilişkilendirilmesine imkan tanıyan çeşitli restorasyon faaliyetlerine büyük kolaylık sağlamasının yanı sıra TYBM kapsamında şu faydaları da saymamız mümkündür (Barrile ve ark., 2022):

- Tarihi belgeleri kaydedebilme
- Tüm verileri tek bir tabanda toplayabilme
- Teknik analizler yapabilme
- Restorasyon ve koruma projelerinin organizasyonunu gerçekleştirme ve stratejisine yarar sağlama
- Bakım müdahalelerini planlama olanağı

- Modellerin web paylaşımları ile arttırılmış veya sanal gerçeklik yoluyla görselleştirilmesine olanak tanımak
- Yapıya veya modele ait bozulmaların takibini kolaylaştırma
- Doğal veya insan kaynaklı müdahalelere karşı önlem alabilmek adına yapısal davranışları simülasyonlar aracılığıyla gözlemleyebilme

Kültürel mirası koruma ile ilgili çalışmalar bütüncül ve kolektif çalışmaların bir sonucudur. Bu süreçte ilk adımı belgeleme aşaması oluştururken, ardından gerekli verilerin toplanması, elde edilen verilerin yorumlanması ile üretim aşamalarını kapsayan bir süreç gerçekleşir (Şekil 3.7). Diğer bir ifade ile yapının mevcut durumu ile çevresinin raporlar, çizimler ve fotoğraflar ile kayıt altına alınması süreci söz konusudur. TYBM metodolojisi bahsi geçen süreçlerin hızlı ve etkin ilerlemesini sağlar. Ayrıca esnek çalışma imkânı tanıdığından proje kapsamındaki farklı paydaşların gerek duyduğu bilgilere erişebilmelerini mümkün kılar (Doreni, 2013; Kömürcü ve Yıldız, 2021).



Şekil 3. 7. TYBM İş akışı (Rebec ve ark., 2022)

TYBM'nin çalışma metodolojisi şu şekildedir: grafik, semantik, morfolojik ve tipolojik verilerle ilgili bilgilerin toplanmasıyla ilk safha başlar. 3B lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri kullanılarak grafik veriler elde edilir. Bu yöntemlerle taranan obje yüzeylerinin geometrik düzleme aktarılmasını sağlayan nokta bulutları oluşur. Semantik, morfolojik ve tipolojik verilere ulaşmak için ise yazılı ve tarihi belgeler kullanılır. Bu bilgiler, yapının malzeme ve yapım teknikleri, mimari özellikleri, yapının yapıldığı ilk zamanlardan günümüze gelene kadar geçirdiği dönüşümler hakkında bilgi verir.

Çalışma metodolojisinin ikinci aşaması ise toplanan bütün bilgilerin bir veri tabanında kullanılmasına dayanır. Elde edilen nokta bulutlarını parametrik bir şekilde modellemek için otomatik veya manuel yöntemler tercih edilir. Otomatik yöntem, düz-

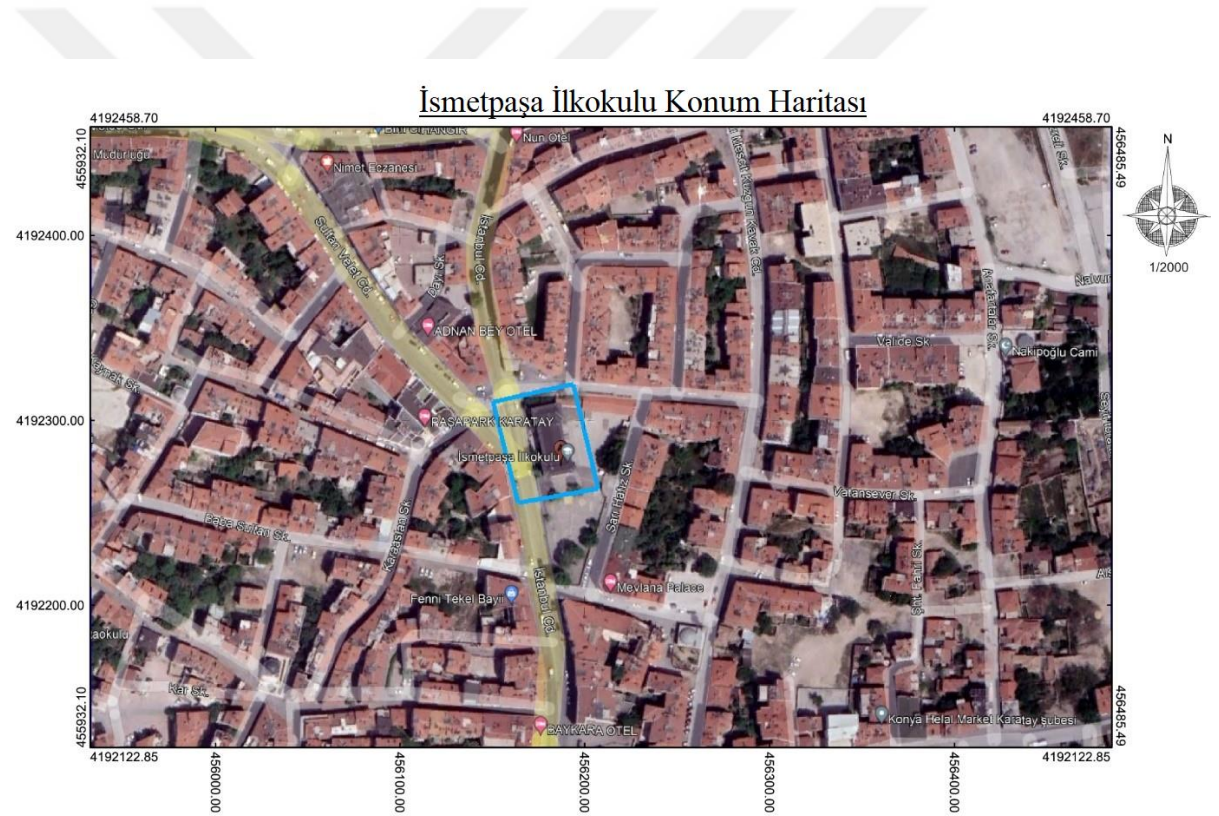
yüzeyley veya ilkel geometriler için mümkün olan belirli algoritmalar ve yazılım eklentileri kullanılarak nokta bulutlarından otomatik segmentasyon ve parametrik nesnelerin oluşturulmasından meydana gelir. Manuel yöntemde filtrelenmiş nokta bulutları doğrudan YBM ortamlarına entegre edilmelidir (Duran, 2019).



4. MATERYAL VE METOT

4.1. Çalışma Alanı

Bu bölümde çalışma alanı olarak seçilen Konya ili Karatay İlçesinde mevcut bulunan İsmetpaşa ilkokul tarihi eğitim binasına ait tarama verisinin Autodesk Revit yazılımı aracılığıyla vektörel çizimleri gerçekleştirilmiştir. Tarama verisi Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından temin edilmiştir. 1929 yılında inşa edilen bu eğitim binası günümüzde aktif bir şekilde eğitim hizmeti amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de çalışma materyali olan binaya ait yerbulduru haritasına yer verilmiştir. Şekil 4.2’de ise yapının dış görünüşüne ait güncel bir fotoğrafına yer verilmiştir.



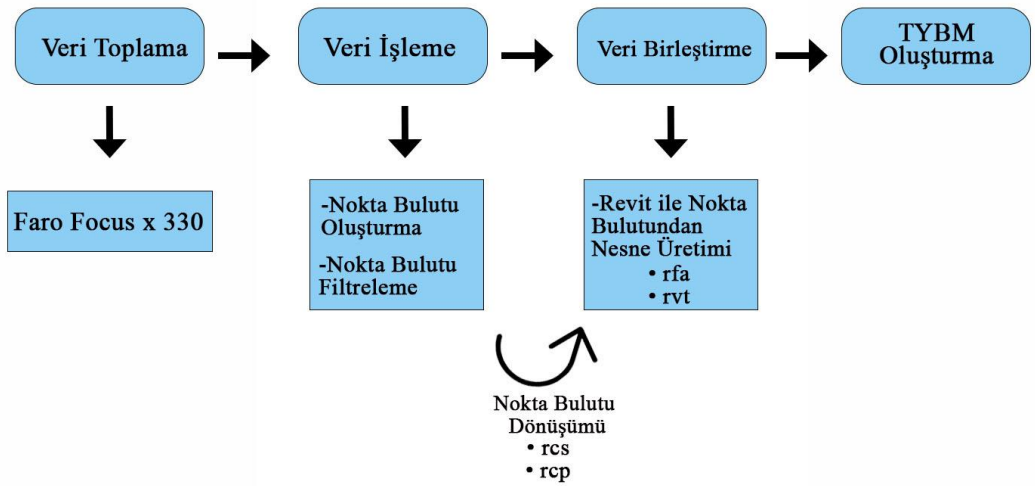
Şekil 4.1. Çalışma Alanı, İsmetpaşa İlkokulu tarihi eğitim binasına ait Google Earth görüntüsü



Şekil 4.2. Çalışma Alanı, İsmetpaşa ilkokul tarihi eğitim binası dış görünüşü

4.2. TYBM Çalışma Metodolojisi

TYBM kapsamında uygulanan iş akışına ait diyagram Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. İşakış diyagramı

4.3. Yersel Lazer Tarayıcı: Faro Focus 3D X 330 ve Teknik Özellikler

Bu çalışma esnasında “Faro Laser Scanner X-330 HDR” yersel lazer tarayıcısı kullanılmıştır. FARO Laser Scanner Focus3D X 330, fotoğraf gerçekliğinde 3B görüntüler oluşturan hassas bir ölçüm cihazıdır. Küçük boyut avantajı ve hafif taşınabilirliği, ekstra uzun menzil özelliği, doğrudan güneş ışığında tarama imkânı ve entegre edilmiş GPS alıcısı ile kolay konumlandırma, ölçüm uygulamalarında kullanılacak ideal veri oluşturma özellikleri ile iç ve dış mekan uygulamaları için tasarlanmış bir cihazdır (Windham ve ark., 2019; URL-7, 2020).

HDR görüntüleme ve HD fotoğraf çözünürlüğü sayesinde yüksek veri kalitesinde detaylı ayrıntılara kadar tarama sonuçları elde edebilme imkânı sunar. Faro Laser Scanner X-330 HDR cihazı 3B dokümantasyon çalışmalarında ve arazi etütlerini gerçekleştirebilmek için uygun bir cihazdır. Birinci sınıf alman patentli bir yersel tarayıcı olup arttırılmış menzil ve tarama kapasitesi sayesinde ölçüm sonrası yapılacak işlemleri en minimum çabada gerçekleştirecek yeteneğe sahiptir (URL-7, 2020).

Çizelge 4.1 FARO Focus3D X 330 lazer tarayıcısına ait teknik özellikler

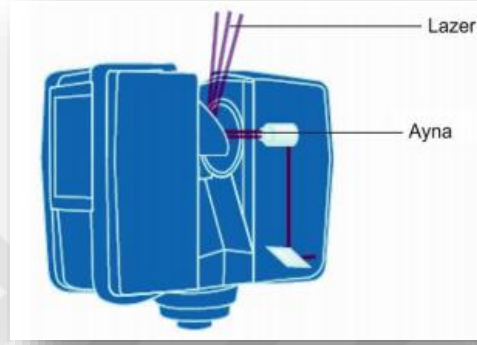
Tarama Mesafesi	0.6 - 330m
Boyut	240 x 200 x 100mm
Ağırlık	5,2 kg
Ölçme Hızı	976,000 nokta / saniye
Doğruluk	± 2mm
Kamera	70 megapixels
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32

FARO® Laser Scanner Focus3D X 330 cihazına ait teknik özellikler başlıca şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek kesinlik ve çözünürlük
- Yüksek hız
- Dokunmatik ekran aracılığıyla sezgisel kontrol yeteneği
- Küçük boyut avantajı, hafif taşınabilirliği ve 4.5 saatlik pil ömrü
- 3D renkli taramalar yapabilme
- Tarama verilerini seviyelemek için çift eksenli kompensatörü
- Tarayıcı pozisyonununa ait bilgi sağlaması için entegre edilmiş GPS sensörü.

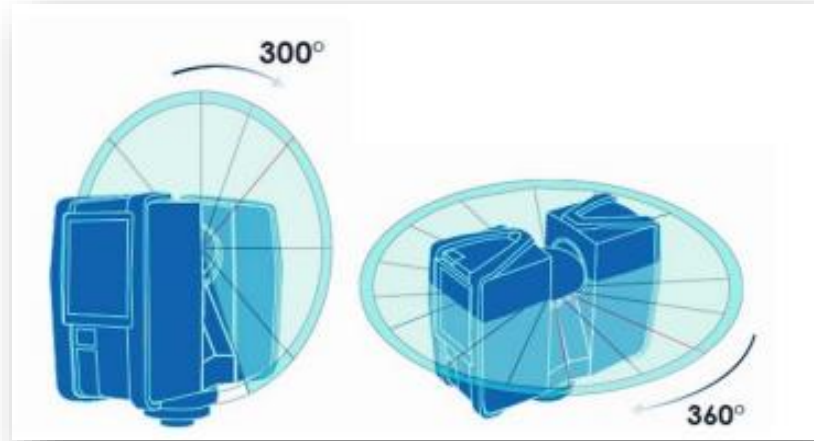
- Taramalara yükseklik ve yön bilgisi atamak için entegre halde bulunan pusula ve altimetre
- WLAN bağlantısı aracılığıyla uzaktan kontrol imkânı

Focus3D X-330 döner bir aynanın merkezine kızılötesi lazer ışınının gönderilmesine dayanan bir çalışma prensibi sunar. Bu aşamada ayna, lazeri, taranan ortamın çevresinde dikey bir dönüşle saptırır ve çevredeki nesnelere saçılan ışık tekrar tarayıcıya yansıtılır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4. Lazer saptırma

Focus3D X-330, mesafeyi ölçmek için faz değişim teknolojisini kullanır. Bu teknoloji, lazer ışınının farklı uzunluklardaki sabit dalgalarla modüle edilmesini sağlar. Tarayıcının nesneye olan uzaklığı, kızılötesi ışık dalgalarındaki faz değişimlerinin ölçülmesiyle kesin bir şekilde belirlenir. Hypermodulationtm, modüle edilen sinyalin, sinyal-gürültü oranını, özel bir modülasyon teknolojisinin yardımıyla büyük ölçüde artırır. Focus3D X-330'nin ayna dönüşünü ve yatay dönüşünü ölçmek için açı şifreleyiciler kullanarak her noktanın X, Y, Z koordinatları hesaplanır. Bu açılar mesafe ölçümüyle eş zamanlı olarak kodlanır. Mesafe, dikey açı ve yatay açı bir kutupsal koordinat oluşturur (δ , α , β), ardından bu koordinat Kartezyen koordinata çevrilir (x, y, z). Yatayda 360 derece dikeyde 300 derecelik açılar ile tarama gerçekleştirir (Şekil 4.5) (URL-7,2020).



Şekil 4. 5. Dikey ve yatay dönüş

4.4. Kullanılan Yazılımlar; Autodesk Revit 2022 ve As-Built for Revit 2021

Autodesk firması tarafından üretilen Revit yazılımı, 2B ve 3B modelleme unsurlarını bir arada kullanabilen; kavramsal tasarım, görselleştirme ve analizden imalat ve inşaata kadar tüm proje yaşam döngüsü boyunca verimlilik ve doğruluk elde etmek amacıyla YBM projeleri kapsamında kullanılmaktadır (URL-3, 2022). TYBM kapsamında çalışmaya imkân tanıyan Revit yazılımı bir 3B vektörel çizim programıdır. Çeşitli kullanıcılara parametrik modelleme ve çizim elemanları ile tasarım yapmaya imkân veren bir yazılımdır. Revit tüm mimari, mühendislik ve inşaat disiplinlerini birleşik bir modelleme ortamında toplayan; daha verimli ve uygun maliyetli projeler üretmeyi sağlar. Revit gibi YBM platformlarında nokta bulutu ham dosyası (.rcp) veya (.rcs) formatında indekslendikten sonra Revit tarafından okunabilir. Bu veri formatları Autodesk Recap üzerinden temin edilir (Demchack ve ark., 2009).

As-built for Revit ise Faro firmasının üretmiş olduğu bir Revit yazılım eklentisidir. Mimarların ve mühendislerin, CAD ve YBM sistemleriyle tamamen uyumlu, kesin olarak tamamlanmış verilere dayalı bina tasarımlarını verimli bir şekilde oluşturmasını sağlar. As-Built, nokta bulutu verilerinden bilgi çıkarma süresini kısaltır ve işin doğru yapılmasını sağlar (URL-8, 2022).

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. TYBM Modeli Oluşturma

5.1.1. Nokta bulutunun Revit yazılımına aktarılması

Bina verisinin Revit programına aktarılması için Autodesk Recap yazılımı aracılığıyla (.rcp) formatında (.rcp veya .rcs) dosya dönüştürme işlemi tamamlandı. Çalışma materyali olan binaya ait 3B nokta bulutu verisi yazılıma aktarıldı. Şekil 5.1 'de 3B nokta bulutuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 5.1. Nokta Bulutu verisi “İsmetpaşa İlkokulu”,Konya

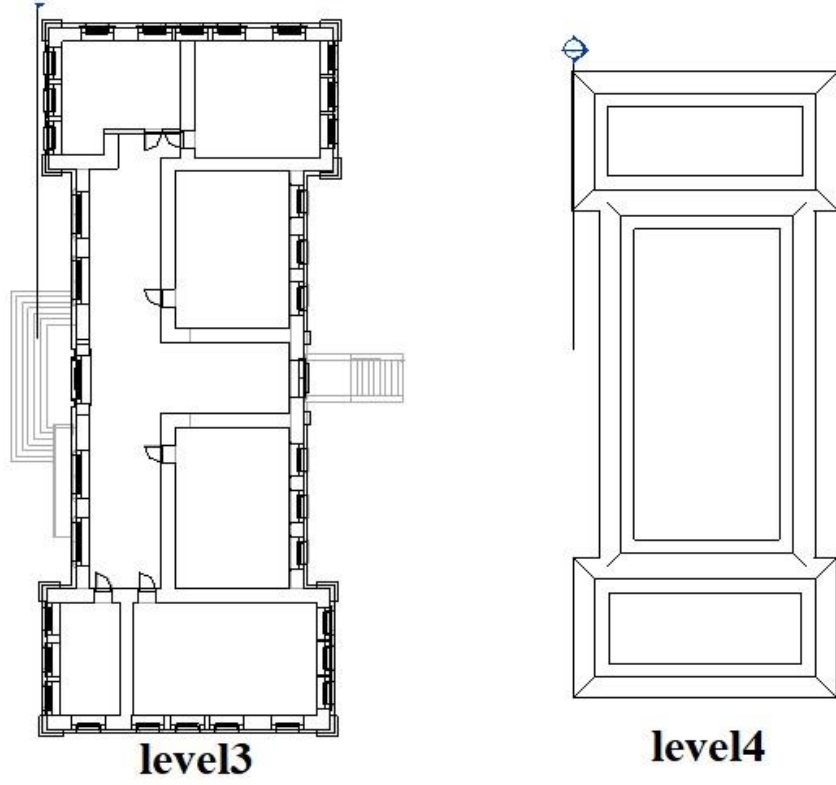
5.1.2. Level seviyeleri (kat planları)

Çalışmada, Level seviyeleri nokta bulutu üzerinde binadaki mevcut katların tavan ve taban sınırları baz alınacak şekilde belirlendi. Level seviyeleri binanın her bir kat planını ifade etmektedir (Şekil 5.1; Şekil 5.2).

Level 1 zemin kat; Level 2 birinci kat; Level 3 ikinci kat; Level 4 ise çatıya aittir. Oluşturulan Level'lerden faydalanarak her bir kata ait kat yükseklik değerleri girildi. Ayrıntı düzeyleri kapsamında duvarların çizimi ve binanın içinde ve dışında bulunan kapı ve pencere nesnelerinin yerlerinin belirlenmesi ile model LOD 200 seviyesinde hazırlandı.



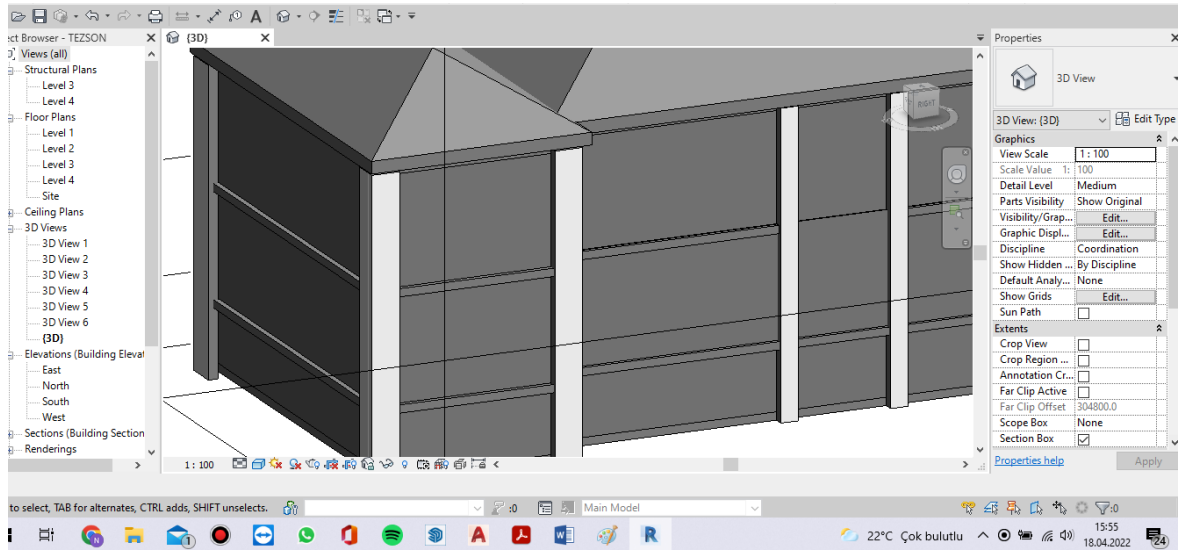
Şekil 5.2. Level 1 ve Level 2'ye ait görüntüler



Şekil 5.3. Level 3 ve Level 4'e ait görünümler

5.1.3. Duvar ve zemin nesnesini oluşturma

Duvarlar binanın tüm yükünü taşıdığı için bir yapının en temel bileşenidir. Diğer tüm bileşenler duvara bağlıdır. Bu yüzden duvar nesnesi, bir binanın inşası için ilk ve en önemli nesnelere sahiptir. Buna bağlı olarak ilk başta bir duvar ailesi tipinin seçilmesi gerekir. Duvar ailesinin tipi duvar hakkında genel özellikleri kapsar. Örneğin duvarın kalınlığı, malzeme atamak için duvar tipi özellikleri, iç veya dış duvar özellikleri vb. (Duran, 2017). İlk aşamada nokta bulutu yardımıyla duvar kalınlıkları dikkate alınarak ince/kalın duvarlar çizilir. Model oluştururken dikkat edilmesi gereken husus, farklı kalınlıklara ve geometrik özelliklere sahip duvar çeşitlerini saptayabilmektir. Farklı tipteki duvarlar özelliklerine göre modellenirse sınıflandırmak ve erişim daha kolay olmaktadır (Özeren ve Korumaz, 2021). Çalışmada Basic Wall CW 102-50-100p aile tipi nesnesi kullanılmıştır. Aile tipinin belirlenmesinin ardından duvarın çizim aşaması başlar ve burada nokta bulutu referans veri özelliği taşır. İç ve dış duvarları ayırt ederek bulut üzerinden çizimler gerçekleştirilir. Bu aşamada, duvar kalınlığı 550 mm olarak tahmin edilmiştir. Ardından duvara atanan malzeme binanın orijinalliğine bağlı kalınarak taş (stone) olarak seçilmiştir.



Şekil 5.4. Duvar nesnesinin oluşturulması

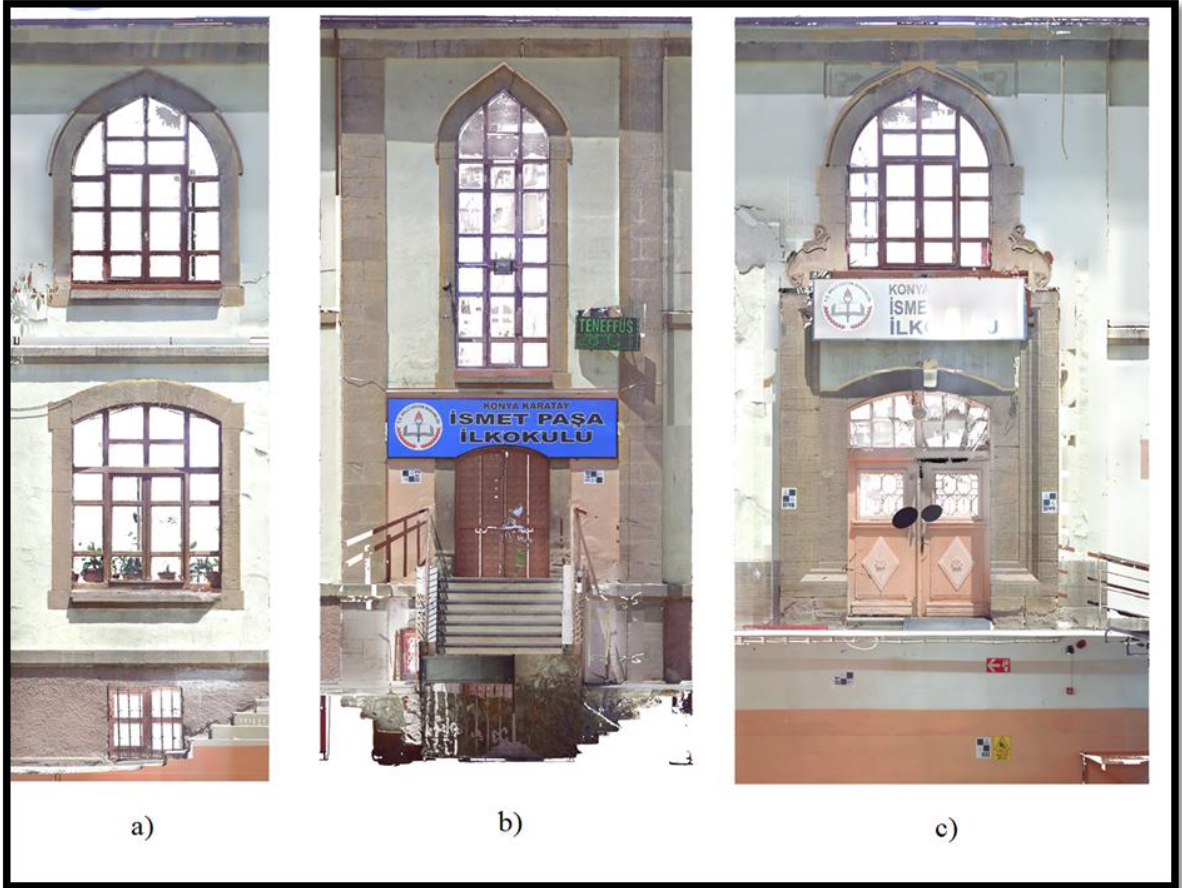
Ardından bir diğer temel bileşen olan zemin (floor) tayin etme adımına geçilir. Zemin, bir odanın alt taban yüzeyini ifade eder. Leveller yani kat planları kullanılarak zemin nesnesi çalışmaya eklenebilir. Çalışmada Floor Generic 150 mm nesne tipi seçilmiş olup kalınlık olarak 330 mm uygun görülmüştür.

5.1.4. Pencere ve kapı nesnelerini oluşturma

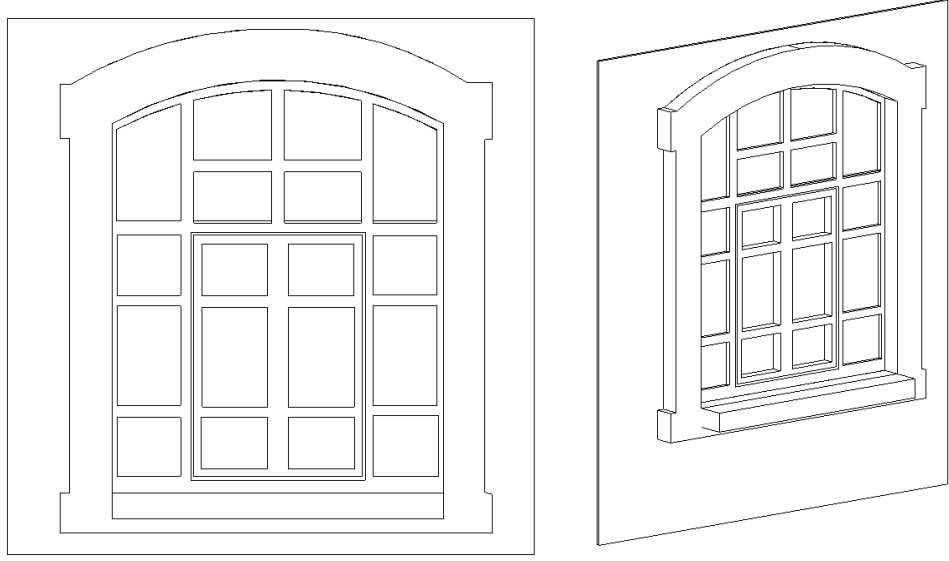
Bina kapsamında kapı ve pencere nesnelerinin oluşturulması için As-Built yazılımı kullanıldı. Yazılım üzerinden bina cephelerine ait ortofotolar olarak kapı ve pencere nesnelere çizildi. Ardından 3B derinlik detayları, nokta bulutu üzerinden hazırlandı. Revit ve As-Built yazılımları sayesinde kapı ve pencere nesnelere oluşturulup Revit family kütüphanesine kaydedildi. Böylece bu nesnelere daha sonraki gerekli aşamalarda ihtiyaç durumunda tekrar kullanılmak üzere depolandı. Kapı ve pencere nesnesi, çatı nesnesi ve merdiven ile rampa gibi yapı nesnelerinin eklenmesi ile LOD 300 seviyesinde sonuç ürün elde edilir.

Şekil 5.5 'de nokta bulutu üzerinden alınan pencere ve kapı nesnelere ait ortofotolar görülmektedir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de görülen pencere nesnelerinin ortofoto üzerinden çizimini gerçekleştirmek için New Family > Metric Window ve Insert > Import Image komutları takip edildi. Ardından Revit'e aktarılan ortofoto, Creat > Model Line komutları izlenerek nesneye ait detay çizimleri programda mevcut çizim komutları ile tamamlandı. Ardından Extrusion komutu ile nokta bulutu referans alınacak şekilde

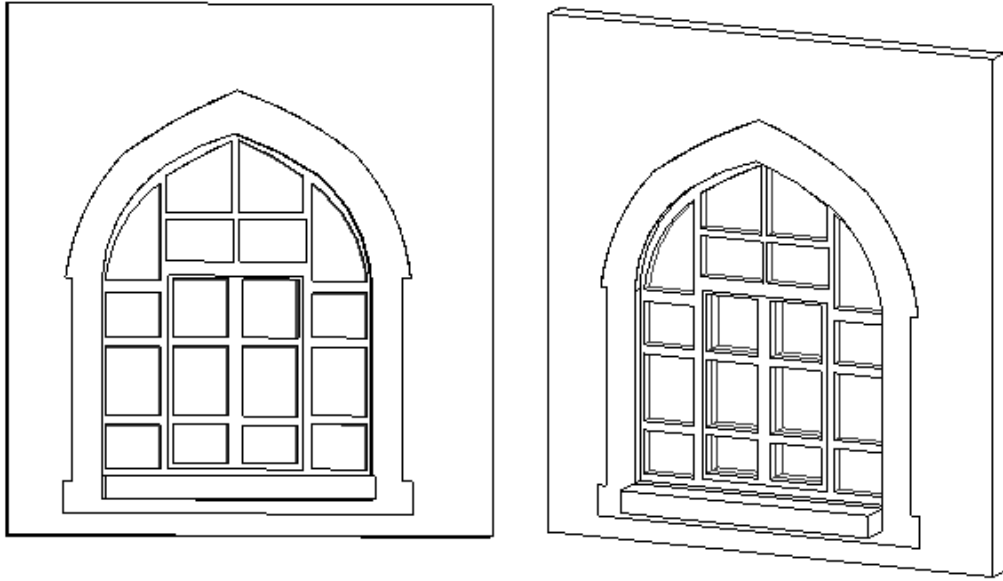
derinlik ataması yapıldı. Elde edilen öğelerin çizimleri modele eklenmeden evvel Family kütüphanesine kayıt edildi. Aynı işlemler zemin kat penceresi ve bina üzerinde yer alan uzun boylu pencere nesnesi için de gerçekleştirildi. Ardından pencere ve kapı nesnelere yapının orijinal nesnelere uygun malzeme ataması yapıldı. Şekil 5.8’de pencere nesnesinin kütüphaneye kayıtlı hali görülürken; Şekil 5.9, 5.10, 5.11 ise oluşturulan çizimler, pencere nesnelere son halini temsil etmektedir.



Şekil 5.6. As-Built yazılımı ile nokta bulutu üzerinden elde edilen ortofotolar. a)Yapıya ait Pencere; b) Arka kapı ve Uzun Pencere; c) Ön kapı ve pencere



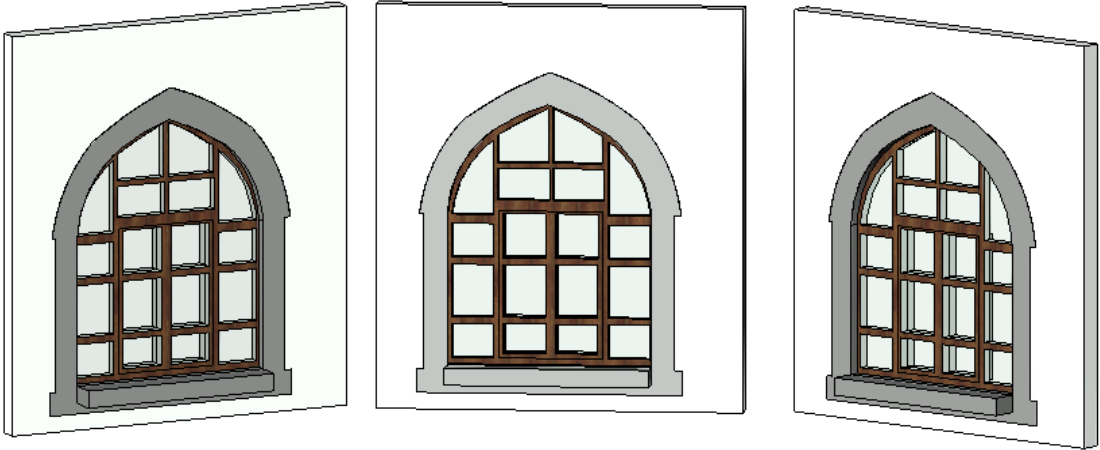
Şekil 5.7. Level 2 seviyesine ait pencere nesnesinin ortofoto ve nokta bulutu üzerinden gerçekleştirilen manuel çizimi



Şekil 5.8. Level 3 seviyesine ait pencere nesnesinin ortofoto ve nokta bulutu üzerinden gerçekleştirilen manuel çizimi



Şekil 5.9. Level 2 seviyesindeki pencere nesnesinin malzeme atanmış ve family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali



Şekil 5.10. Level 3 seviyesindeki pencere nesnesinin malzeme atanmış ve family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali

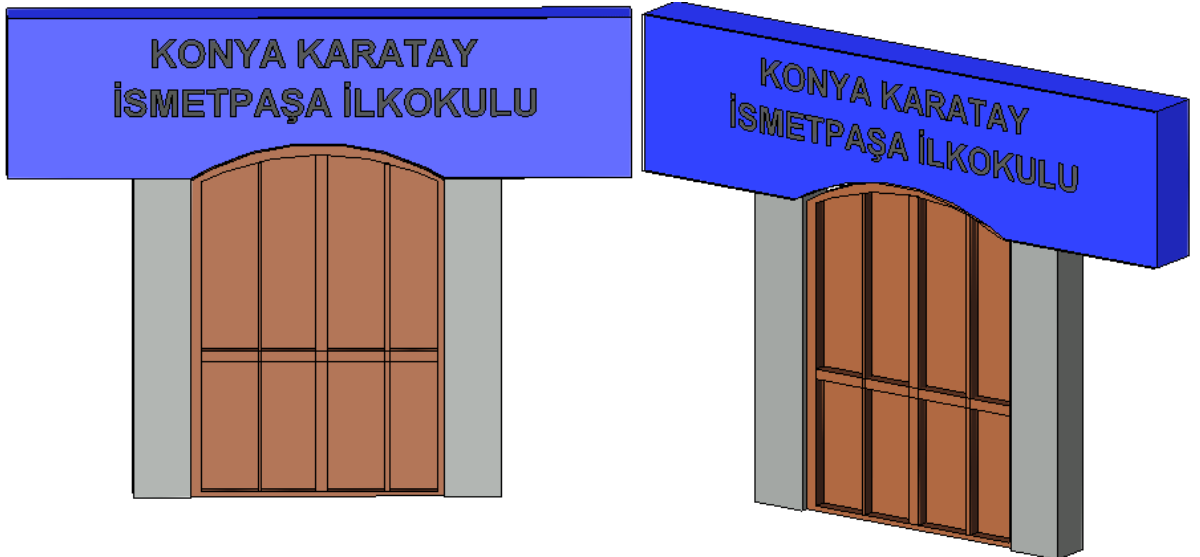


Şekil 5.11. Oluşturulan pencere nesnesinin family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali



Şekil 5.12. Oluşturulan pencere nesnesinin family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali

Kapı nesnesinin çizimi için ise pencere çiziminde verilen komutlar takip edildi. Tek fark yeni bir family sınıfı oluştururken “Metric Door” seçeneğinin tercih edilmiş olmasıdır. Ayrıca gerçekleştirilen çizimler nokta bulutu üzerinden birebir ölçüleri teyit edilerek gerçekleştirildi.



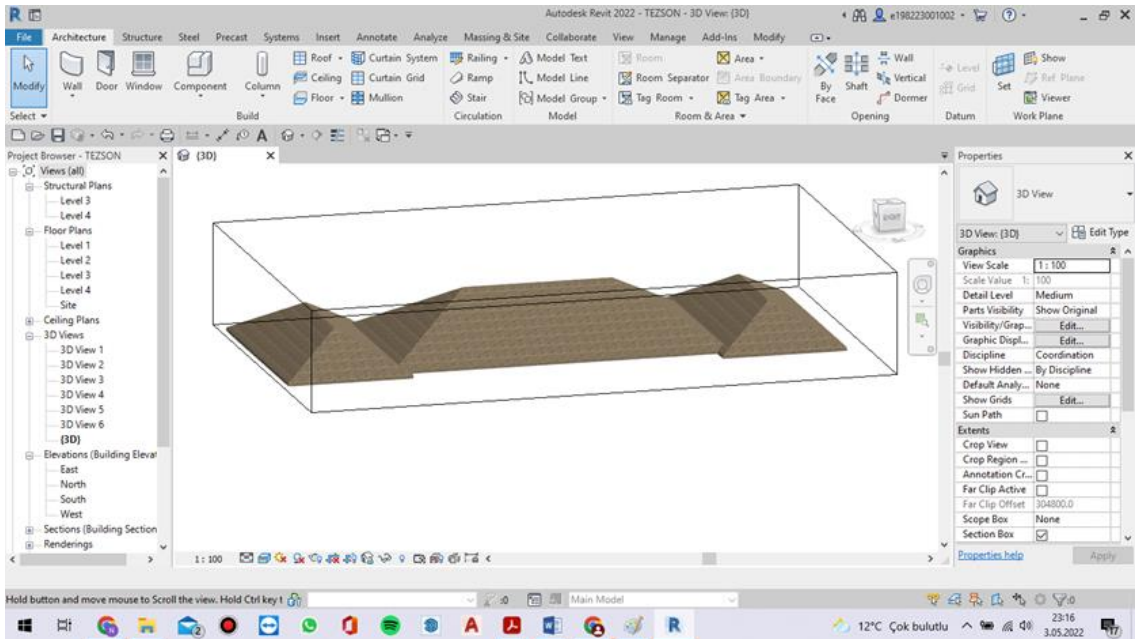
Şekil 5.13. Oluşturulan kapı (arka) nesnesinin family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali



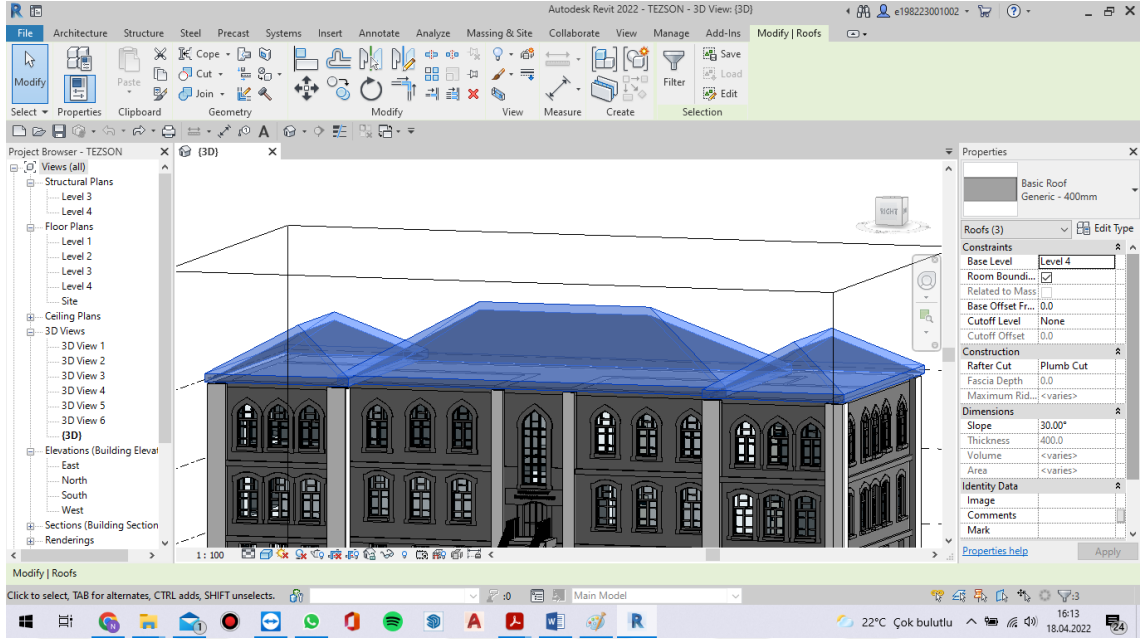
Şekil 5.14. Oluşturulan kapı (ön) nesnesinin family kütüphanesine kayıt edilmiş son hali

5.1.5. Çatı nesnesini oluşturma

Çatı, bir binanın temel parçalarındandır ve her bina farklı tipte fiziksel çatılardan oluşur. Çatıların şekilleri bölgeden bölgeye ve yapının türüne bağlı olarak değişim gösterir. Özellikle karmaşık yapılar birden fazla çatı içerebilir. Çalışma materyalimiz olan bina tek bir çatı tipi içermektedir. Bu sebeple çatı nesnesi için Basic Roof Generic 400 mm aile tipi nesnesi binaya uygun tayin edildi (Şekil 5.15) .

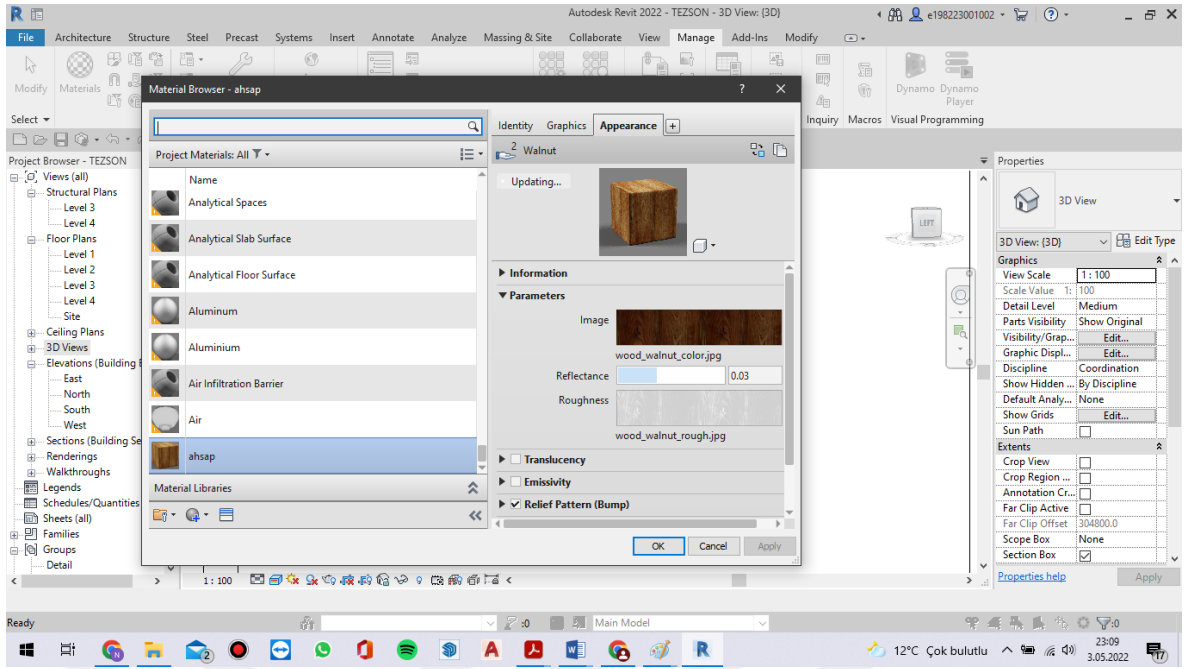


Şekil 5.15. Geleneksel kırma çatı nesnesinin oluşturulması



Şekil 5.16. Çatı nesnesinin modele eklenmesi

Bina verisi üzerinde mevcut olan 4 farklı pencere ve 2 farklı kapı nesnesi 3B şekilde modellenerek hassas bir şekilde yerlerine yerleştirildi. Ayrıntı düzeyleri kapsamında duvarların çizimi ve binanın içinde ve dışında bulunan kapı ve pencere nesnelerinin yerlerine yerleştirilmesi ile model LOD 300 seviyesinde hazırlandı. Ardından oluşturulan modele Revit kütüphanesinde hazır bulunan materyaller aracılığıyla malzeme ataması yapıldı. Malzeme atamasının yapılması için Menage > Material sekmesi aracılığıyla Revit kütüphanesinde mevcut bulunan malzemelerden uygun olanı seçildi (Şekil 5.17). Örneğin pencere için ahşap modelleri, duvar için taş modeller veya korkuluk nesnesi için demir malzemeler seçildi.



Şekil 5.17. 3B modele revit kütüphanesinden malzeme atanması

Yapıya ait merdiven nesnelerinin oluşturulması için Revit üzerinden Stair komutu takip edildi. Merdiven çizimi için direkt olarak nokta bulutu üzerinden çizim yapıldı. Korkuluk detayı için Railing ve okula giriş rampası için ise Ramp komutu üzerinden uygun çizimler gerçekleştirildi. Tüm bu aşamaların sonucunda binaya ait kat planları, yapı detayları, cephe görünüşleri ve 3B mimari röleve çizimi elde edilmiş oldu.



Şekil 5.18. Merdiven, Rampa ve Korkuluk nesnelerinin manuel çizimi (Shaded Görünüm). a)

Merdiven ve korkuluk detayları; b) Giriş rampası ve merdiven nesnesi



Şekil 5.19. Malzeme eklenmiş nesnelerin 3B model üzerindeki görünümü (Realistik Görünüm)

5.2. Render görüntü alımı

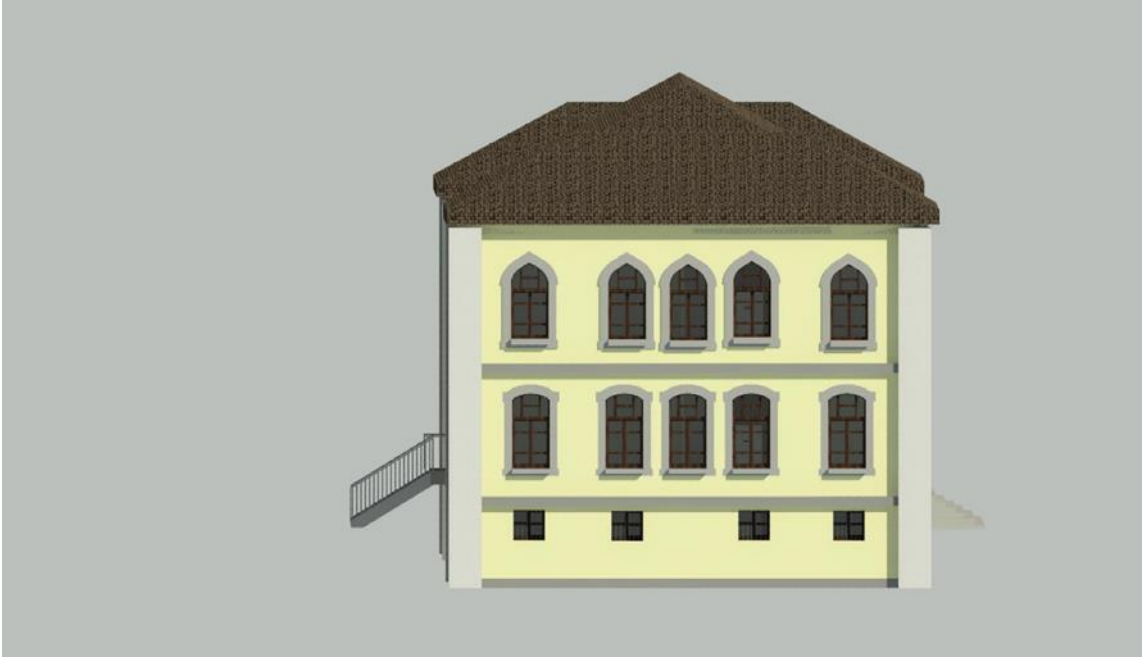
Çalışmanın son aşamasında oluşturulan model üzerinden Render alımı gerçekleştirildi. Tasarım aşamasında kullanılan yazılım içerisinde her ne kadar gerekli ışık kaplamaları, renk, obje gibi opsiyonlar bulunsada bunlar elde edilmek istenen son görüntüyü kullanıcıya vermez. Render işlemi sonrasında tasarımı yapılan görüntü son haline gelmiş olur. Tasarım ve efekt programlarında tasarım yapılırken ışık, obje ve renkler en yüksek kalite veya kaplamaya sahip değildir. Çünkü bu aşamada gerçek zamanlı olarak tasarım sahnelerinin işlenmesi ve oluşturulması birçok bilgisayarın kapasitesinin üstünde bir işlemdir. Sonuçta tasarım son hale geldiğinde render işlemi yapılarak görüntü yüksek kalite ve kaplamalara sahip bir şekilde çıktı olarak elde edilir. Bu şekilde hem zamandan hem de bilgisayar maliyetinden tasarruf edilmiş olur (URL- 5, 2022).



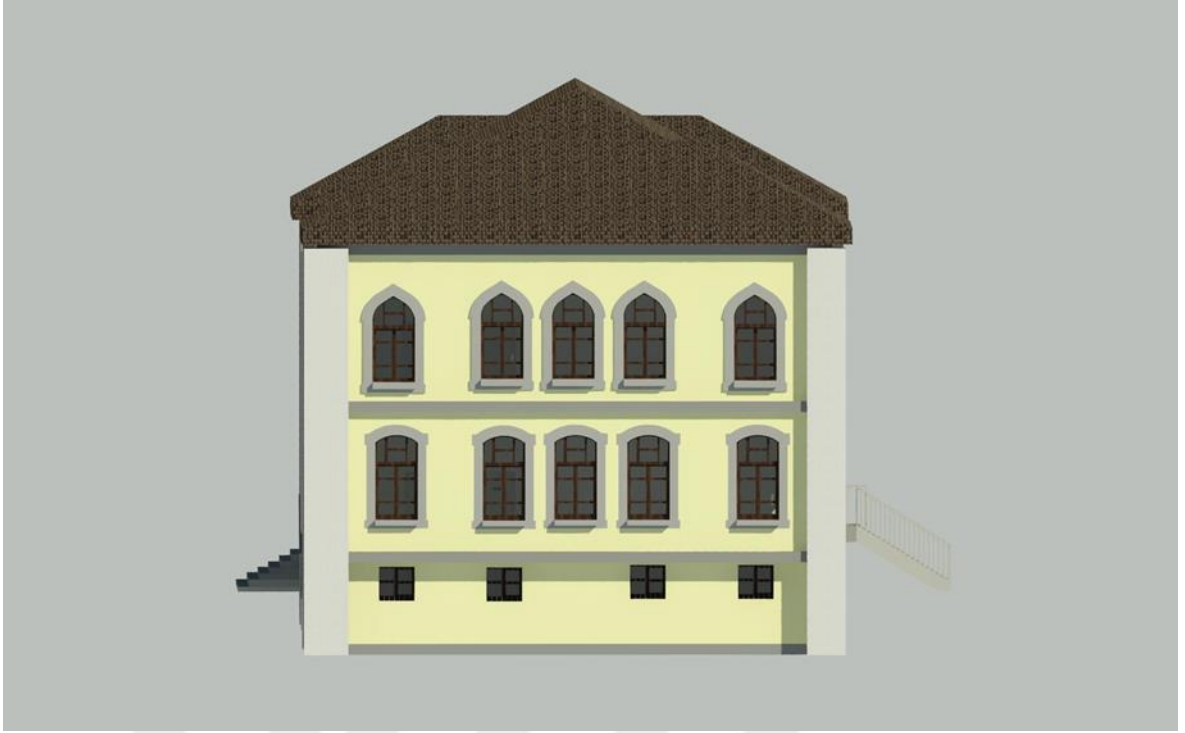
Şekil 5.20. Ön cephe Render görüntüsü



Şekil 5.21. Arka cephe Render görüntüsü



Şekil 5.22. Modelin sağ cephesine ait Render görüntüsü



Şekil 5.23. Modelin sol cephesine ait Render görüntüsü

Sonuç ürün Revit yazılımı üzerinden nokta bulutu referans alınarak oluşturulmuş 3B bir veridir. Sonuç ürünün 3B sayısal veriler olması sayesinde istenilen yerlerden yatay ve düşey kesitler alınabilir ve böylece 2B mimari rölöve çalışmalarında görülmeyen detayların belirlenmesi kolaylaşır. Elde edilen bu model ileriki süreçlerde restitüsyon ve restorasyon çalışmaları gibi mimari belgeleme süreçlerine katkı sağlayacak ürünler olarak elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuç ürün, çeşitli analiz ve simülasyon programları kapsamında da kullanılabilir. Örneğin enerji verimliliğine dair çalışmalarda bu modeller kullanılarak binaların ihtiyaç duyduğu ve tükettiği enerji miktarları hesaplanabilmektedir. Farklı proje paydaşları bu modelleri kendi yazılımlarında bozulma analizleri ve çeşitli haritalamalar için de kullanabilirler (Özerener ve Korumaz, 2021). Tüm bu analizlerin gerçekleştirilmesinde temel veri kaynağı 3B nokta bulutu verisi olup bu verinin kullanılması sayesinde bireysel ölçüm hataları en aza indirgenmiş olup TYBM kapsamında değerlendirildiğinde işlevsel bir ürün elde edilmiştir.

5.3 Tartışma

Ülkemizde gerçekleştirilen miras koruma ve yenileme çalışmaları standart bir biçimde 2B mimari belgeleme çalışmaları kapsamında sürdürülmektedir. Bu durum Dünyada tam aksine 3B teknolojilerin sunmuş olduğu imkânlar dâhilinde son derece ileri bir noktadadır. YLT teknolojisi, mimari belgeleme süreçleri için yeni bir kavram değildir fakat elde edilen nokta bulutu verisinden yararlanma olanakları gelişen yazılımlar sayesinde artmaktadır. Mimari belgeleme çalışmaları kapsamında bir yapının koruma veya restorasyon çalışması yapılacaksa geleneksel ortografik veya 3B mühendislik çizimleri önemli bir veri kaynağı sunar. Lazer taramalı incelemelerde mühendislik çizimleri, vektörlerin nokta bulutu üzerinde eşlenmesiyle oluşturulur. Nokta bulutunun veri boyutu genellikle çok büyük olduğundan ve 3B uzayda bir nokta bulutuna eşleme yapmak zor olduğundan bu karmaşık bir süreçtir (Murphy, 2009; Artese ve ark., 2018).

Tarihi yapılara ait parametrik nesnelere son derece karmaşık ve eşsiz nesne geometrilerinden oluştuğu için direkt nokta bulutu üzerinden geometrik ve semantik verinin otomatik olarak çıkarımı mümkün olmamaktadır. Bu sebeple tez kapsamında da olduğu gibi manuel bir şekilde nesne çıkarımı yapmak gerekmektedir. Bu anlamda değerlendirildiğinde, TYBM yazılımını kullanırken, kaliteli ve işlevsel modellerin üretilebilmesi için kullanıcının yetkinliği önem taşımaktadır. Lazer tarama ve TYBM model oluşturma esnasında verilerin yönetimi, nokta bulutunu doğru kullanabilmek ve yorumlamak için yazılım becerilerinin yanı sıra mimari uzmanlık becerileri de gerekmektedir. Çalışma kapsamında Revit 2022 yazılımı kullanılarak yapı elemanlarının mimari tasarımı manuel bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımın, diğer çizim yazılımlarından farkı gerçek dünyaya ait bilgiler ile donatılmış geometrik çizimler için kullanılmasıdır. Fakat Autodesk Revit yazılımı üzerinde çalışmak diğer Autodesk tabanlı veya diğer çizim programlarına kıyasla daha kapsamlı ve karmaşıktır. Yazılım, çalışma boyunca, TYBM kapsamında modellenen yapıların dijital bir şekilde modellenmesine, yapıya ait nesnelere oluşturulmasına ve nesnelere derinliğin daha iyi görülebilmesine olanak sağlamıştır. As-Built Faro 2022 yazılımı ise nesnelere oluşturup Revit kütüphanesine kaydedebilmemiz için ortofoto alımına imkân tanımıştır.

TYBM kapsamında temel amaç tarihi veya kültürel miras yapısının birebir nesnelere ile birlikte yansıtmak söz konusu olduğu için çalışılan yapı üzerinde yapıya ait nesnelere çıkarılması ve modellenmesi şarttır. Bunun için AutoCAD yazılımı üzerinden veya bu çalışmada olduğu gibi As-Built gibi ikinci bir yazılım üzerinden ortofotolar

kullanılarak 2B çizimler gerçekleştirilir. Ardından nokta bulutu sayesinde 3B derinlik algısı nesneye eklenebilir. Ayrıca çalışmada modelleme referansı olarak kullanılan nokta bulutu verisinin RGB renk değerlerini kayıt altına alma avantajından ötürü binanın gerçek görünümüne kavuşmak özellikle malzeme ataması ve nesne tiplerinin seçilmesinde önemli rol oynamıştır. Bu anlamda tarama cihazının teknik özelliklerinin önemi bir kez daha öne çıkmaktadır (Duran, 2017).

Gelişmiş ülkeler sahip olduğu YBM standartları ve protokolleri sayesinde inşaat sektöründe ve küresel YBM uygulamaları kapsamında büyük ilerlemeler kaydetmektedir. Fakat ülkemizde bu alanda herhangi bir YBM standartlarına yönelik yönetmelik veya protokoller içeren kurallar olmamasından dolayı ülkemizdeki inşaat sektörü için bu teknolojinin kullanımını geride bırakmaktadır (Yiğiter, 2020).



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında lazer tarama verisinin kullanılmasıyla TYBM kapsamında 3B model oluşturma ve geometrik nesne tayini için renkli nokta bulutu verisinin kullanımı ile İsmetpaşa İlkokulu tarihi eğitim binasının rekonstrüksiyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıntı düzeyleri kapsamında elde edilen sonuç ürün LOD300 seviyesindedir.

Sonuç ürünü değerlendirdiğimizde, oluşturulan mevcut vektörel çizimler koruma ve restorasyon projeleri kapsamında mimarların yararlanabileceği 3B dijital veriler sınıfında yer alacak kıymetli veriler niteliğini taşımaktadır. Ayrıca elde edilen veri öncelikli olarak ölçekli bir veri olması sebebiyle rölöve niteliği taşımaktadır. Buradaki ölçüler gerçek binaya ait olduğu için restitüsyon ve restorasyon amaçlı mimari belgeleme çalışmalarına temel altlık veri niteliği taşımaktadır. Sonuç ürünün 3B sayısal veriler olması sayesinde istenilen yerlerden yatay ve düşey kesitler alınabilir, kat planları ve cephe görünüşleri elde edilebilir. Semantik bilgilerin de entegre edilmesi ile birlikte restitüsyon aşamasında yapının geçmişten bugüne kadar olan yaşam süreci değerlendirilebilir, yeni eklemeler yapılabilir. Böylece tasarım süreci eldeki verilerle doğru orantılı bir şekilde gelişmiş olur ve tarihi yapının gelişim süreci hakkında analizler ve değerlendirmeler yapılabilir. Restorasyon aşamasında ise tüm bu eldeki verilerin kullanımına dayalı olarak aslına uygun bir şekilde belgeleme süreci tamamlanabilir.

Gelişen teknoloji akabinde herhangi bir yapı projesine ait 3B verilerin dijital bir formatta oluşturulup yönetildiği süreç YBM teknolojisine aittir. TYBM ise tarihi ve kültürel miras yapılarına ilişkin dijital belgeler oluşturmak, mimari belgeleme süreçlerini hızlandırmak ve yüksek doğrulukta çalışmalar yapabilmeye imkân tanıyan bir YBM uzantısıdır. Bu anlamda, YBM ve TYBM arasındaki temel farkı ortaya koyacak olursak yapı veya projeye gerçekleştirilecek müdahalenin amacı ve yöntemi olduğunu görmekteyiz. YBM’de yeni bir yapının tasarım aşamasından itibaren yapının yıkım sürecine kadar olan süreç söz konusu iken; TYBM kapsamında önceden tasarlanmış bir yapı söz konusudur. YBM sürecinde yeni bir yapının modeli her aşamada zenginleştirilebilirken; TYBM de mevcut olan yapının temel modelini oluşturmak esastır ve bunun için yapının mevcut bilgilerine ihtiyaç duyulur. TYBM kapsamında da süreçler vardır ve her aşamada eklenen yeni bilgi ile süreç güncellenir (Bastem, 2021; Banfi, 2020; Antonopoulou ve Bryan, 2017; Arayıcı, 2015). Çalışma sonucunda TYBM teknolojisinin daha etkin ve aktif kullanımı için mimari belgelenmesi istenen yapılarda bu teknolojinin

kullanımının yeni eklentiler veya nesne kütüphanelerine yapılacak yeniliklerle geliştirilebilecek olduğu kanısına varılmıştır. Çalışma sonucunda nokta bulutu verisinin TYBM kapsamında yapı elemanlarının modellenmesi için kullanımının son derece faydalı olduğu, TYBM yaklaşımının gelişimi için önemli bir potansiyel teşkil ettiği görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Aburamadan, R., Trillo, C., Udeaja, C., Moustaka, A., Awuah, K. G., & Makore, B. C. 2021, Heritage conservation and digital technologies in Jordan. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 22, e00197.
- Ali, M., Ismail, K.M., Hashim, K.S., Suhaimi, S. ve Mustafa, M.H. 2018, Historic Building Information Modelling (HBIM) For Malaysian *Construction Industry, Planning Malaysia*, 16(7).
- Altuntaş C., Yıldız F., & Scaioni M. 2016, Laser scanning and data integration for three-dimensional digital recording of complex historical structures: The case of Mevlana museum”, *ISPRS Int J Geo-Information* , 5 , 18. <https://doi.org/10.3390/ijgi5020018>
- Amans, O. C., Beiping, W., Ziggah, Y. Y., & Daniel, A. O., 2013, “The need for 3D laser scanning documentation for select nigerian cultural heritage sites. *European Scientific Journal*, 9(24), pp. 75-91.
- Angulo-Fornos, R., & Castellano-Román, M. 2020. HBIM as support of preventive conservation actions in heritage architecture. Experience of the renaissance quadrant facade of the cathedral of seville. *Applied Sciences*, 10(7), 2428.
- Antonopoulou, S. and Bryan, P. 2017, BIM for Heritage -Developing a Historic Building Information Model, Historic England.
- Artese, S., Achilli, V., Zinno, R. 2018, Monitoring of bridges by a laser pointer: Dynamic measurement of support rotations and elastic line displacements: Methodology and first test. *Sensors*, 18, 338.
- Baik, A. 2017, “From point cloud to jeddah heritage BIM nasif historical house–case study”. *Digital applications in archaeology and cultural heritage*, 4, 1-18.
- Banfi F, 2020, HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins hbim, dibujo 3D realidad virtual aplicados a sitios arqueológicos y ruinas antiguas 3d drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins, *Virtual Archaeol. Rev.* 16–33, <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>.
- Barber, D., Mills, J., and Voysey, S. S., 2008, Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* (63) 2008, 128-141.
- Barrile, V., Bernardo, E., & Bilotta, G. 2022, An experimental hbim processing: innovative tool for 3D model reconstruction of morpho-typological phases for the cultural heritage. *Remote Sensing*, 14(5), 1288.
- Bassier, M. Hardy, G.; Bejarano-Urrego, L.; Drougkas, A.; Verstryngge, E.; Van Balen, K.; Vergauwen, M. 2019, Semi-automated Creation of Accurate FE Meshes of Heritage Masonry Walls from Point Cloud Data. In *Structural Analysis of Historical Constructions*; Springer: Cham, Germany, pp. 305–314.
- Bastem, S. S. (2021). Tarihi yapılarda yapı bilgi modeli uygulamalarının sistematik literatür tarama yöntemiyle değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Bayar Yılmaz, M P. (2019), Bina yapım süreçlerinde yapı bilgi modellemesi kullanımının değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Manisa.
- Beg, A. (2018). 3 Boyutlu Modellemede Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları Verilerinin Entegrasyonu ve Kilistra Antik Kenti Örneği. (Yüksek Lisans Tezi), *T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Beraldin, A., Rioux, M., Cournoyer, L., Blais, F., Picard, M., Pekelsky, J. Traceable 2007, 3D imaging metrology. *Proc. SPIE*. 6491, B.1–B–11.

- Bruno, S., De Fino, M., & Fatiguso, F. (2018). Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. *Automation in Construction*, 86, 256-276.
- Boehler, W. & Marbs, A., 2002, 3D Scanning Instruments. *Proc. Of The CIPA WG6 Int. Workshop On Scanning For Cultural Heritage Recording*. <http://www.isprs.org/commission5/workshop/>
- Bonfanti, C., Chiabrando, F., Rinaudo, F., 2013, TLS Data For 2D Representation and 3D Modeling. Different Approaches Tested In The Case Of San Giovanni In Saluzzo (Cn) Italy. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. II5/W1. 37-42.10.5194/isprsannals-II-5-W1-37-2013
- Brumana, R., Dellatorre, S., Oreni, D., Previtali, M., Cantini, L., Barazzetti, L., Franchi, A., Banfi, F. 2017, HBIM challenge among the paradigm of complexity, tools and preservation: the Basilica di Collemaggio 8 years after the earthquake (L'Aquila), 26th International CIPA Symposium 2017, cilt 42, s.97–104.
- Costabile, P., Costanzo, C., Lorenzo, G., De Santis, R., Penna, N & Macchione, F., 2021, Terrestrial and airborne laser scanning and 2D modelling for 3D flood hazard maps in urban areas: new opportunities and perspectives. *Environmental Modelling & Software*, 135. 104889. 10.1016/j.envsoft.2020.104889.
- Danesh M.M., Rajabi A. 2022, "Importance of Digital Techniques of Documentation for the Conservation of Cultural Heritage. In: Versaci A., Bougdah H., Akagawa N., Cavalagli N. (eds) Conservation of Architectural Heritage", *Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74482-3_32
- De Fino M., Galantucci R. A., & Fatiguso F. 2019, "Remote diagnosis and control of the heritage Architecture by photorealistic digital environments and models", *SCIRES-IT-SCientific REsearch and Information Technology*, 9(2), 1-16.
- Doreni, O. 2013, "From 3D content models to HBIM for conservation and management of built heritage". *Computational Science and Its Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39649-6_25.
- Duran, Z. (2017). "From Point Cloud To Hbim: Investigating The Possibilities Of Using High Resolution Data Acquisition Techniques". (Yüksek Lisans Tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Geomatik Mühendisliği Bilim Dalı*, İstanbul
- Engin, İ. C. & Maerz, N., 2016, Patlatma Sonuçlarının Analizinde Yersel Lazer Tarayıcıların (Lidar) Kullanımı. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 55(1), 35 - 43.
- Fregonese, L. Achille, C. Adami, A. Fassi, F., Spezzoni, A., Tarelli, L. 2015, BIM: An integrated model for planned and preventive maintenance of architectural heritage. *Digit. Herit.* 2, 77–80.
- Gumilar, I., Hawaari, T., Sidiq, T P., Lukmanulhakim, A., 2020, As-built drawing generation of LFM building ITB using terrestrial laser scanner. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 500. 012053. 10.1088/1755-1315/500/1/012053.
- Gümüş, K., Erkaya, H., 2007, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2 – 6 Nisan, Ankara.
- Gümüş, M. (2010), "Yersel Lazer Tarayıcıların Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma" (Yüksek Lisans), *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Hassan, A T. & Fritsch, D., 2019, Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation – A Review. *Applied Science and Technology Magazine*.
- Izabela Skrzypczak, Grzegorz Oleniacz, Agnieszka Leśniak, Krzysztof Zima, Maria Mrówczyńska & Jan K. Kazak. 2022. *Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements, Building Research & Information*, DOI: 10.1080/09613218.2021.2011703
- J. Wang, W. Sun, W. Shou, X. Wang, C. Wu, H.Y. Chong, Y. Liu, C. Sun. 2015. Integrating BIM and LiDAR for real-time construction quality control, *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* 79 417–432, <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0116-8>.
- Karasaka, L. & Ulutaş, N. 2021, CAD-Based Modeling Using Three Dimensional Point Cloud Data . *Türkiye Lidar Dergisi* , 3 (1) , 25-30 . DOI: 10.51946/melid.922892
- Kaya, F. (2020), “Geleneksel Yapıların X,Y,Z Düzlemindeki Yapısal Bozukluklarını BIM Teknolojisi ve Lazer Tarama Yardımıyla İnceleyen Bir Alan Çalışması”, (Yüksek Lisans Tezi), *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Kemeny, J., & Turner, K. 2008, Ground-based lidar: rock slope mapping and assessment (No. FHWA-CFL/TD-08-006). United States. Federal Highway Administration. Central Federal Lands Highway Division.
- Kersten, T. P., Hinrichsen, N., Lindstaedt, M., Weber, C., Schreyer, K., & Tschirschwitz, F. 2014, “Architectural historical 4d documentation of the old-segeberg town house by photogrammetry”, *Terrestrial Laser Scanning and Historical Analysis Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, Springer, Heidelberg, pp. 35-47.
- Kömürcü, E., & Yıldız, N. B. 2021, Historic Building Information Modelling (HBIM). 4th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2021)
- Kuczyńska, G. and Stawska, M., 2021, “Modern Applications Of Terrestrial Laser Scanning”. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):160-169. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-160-169.
- Kushwaha, S K., Dayal, K R., Sachchidanand, Raghavendra, S., Pande, H., Tiwari, PS, Agrawal, S. ve Srivastava, S K., 2020, 3D Digital Documentation of a Heritage Site Using a Terrestrial Laser Scanner, A Case Study.
- Lichti, D. D., and Gordon, S.J., 2004, Error “Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording”, *Proceedings of FIG Working Week*, Athens, Greece.
- Miettinen, R., & Paavola, S. 2014, Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>.
- Moussa, W., Wenzel, K., Rothermel, M., Abdel-Wahab, M. & Fritsch, D. 2013, complementing tfs point clouds by dense image matching. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(3), pp. 453-470.
- Moyano J, Juan E. Nieto-Julián, Lara M. Lenin & Silvana Bruno 2021, “Operability of Point Cloud Data in an Architectural Heritage Information Model”, *International Journal of Architectural Heritage*, DOI: [10.1080/15583058.2021.1900951](https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1900951)
- Moyano J., Gil-Arízón I, Juan E., Nieto-Julián, Marín-García D. 2022, “Analysis and management of structural deformations through parametric models and hbim workflow in architectural heritage”, *Journal of Building Engineering*, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103274>.

- Murphy, M., McGovern, E. and Pavia, S. 2009, Historic building information modelling (HBIM), *Structural Survey*, Vol. 27 No. 4, pp. 311-327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>
- Okuyucu, Ş., Çoban, G., 2019, Afyonkarahisar Dinar Bademli Köyü Cami Röleve Projesinin Lazer Tarama Yöntemiyle Hazırlanması . *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 9(2),249-262. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tojdac/issue/44330/547817>
- Oliveira, A., Oliveira, J F., Pereira, J M., De Araújo, B R. & Boavida, J., 2014, “3D modelling of laser scanned and photogrammetric data for digital documentation: the Mosteiro da Batalha case study”. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4), pp. 673-688.
- Optech., 2006, The basics: LIDAR, or laser radar: <http://optech.ca/aboutlaser.htm>
- Osmani, İ. (2019), “Yersel Lazer Tarama Yönteminde Farklı Meslek Gruplarının Mimari Rölöve Çizimine Etkisi”, (Yüksek Lisans Tezi), *Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul
- Ozdemir, S. (2014), “Yersel Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametri ile Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Verilerden Üretilmiş Üç Boyutlu Modellerin Karşılaştırması”, (Yüksek Lisans Tezi), *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Gümüşhane
- Özeren, Ö., & Korumaz, M. (2021). Lidar to HBIM for Analysis of Historical Buildings. *Advanced LiDAR*, 1(1), 27-31.
- Özorhon, B. (2018). Yapı Bilgi Modellemesi, İBB İstanbul Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri. AbaküsYayıncılık
- Pepe, M., Costantino, D., & Restuccia Garofalo, A. (2020). An efficient pipeline to obtain 3D model for HBIM and structural analysis purposes from 3D point clouds. *Applied Sciences*, 10(4), 1235.
- Rebec, K. M., Deanovič, B., & Oostwegel, L. 2022, “Old buildings need new ideas: Holistic integration of conservation-restoration process data using Heritage Building Information Modelling”. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 30-42.
- Sabuncu, A. & Özener, H., 2020, Mimari Dokümantasyonda Yersel Lazer Tarama Teknolojisi Kullanımı: Tarihi Sismoloji Binası Örneği . *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 45-52. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/rsgis/issue/50577/681463>
- Sansoni, G., Trebeschi, M. & Docchio, F. 2009, State-Of-The-Art And Applications Of 3D İmaging Sensors İn İndustry, Cultural Heritage, Medicine, And Criminal Investigation. *Sensors*, 9(1), pp. 568-601.
- Santamaría-Peña, J., Rojo-Vea, S., & Sanz-Adán, F. 2021,. BIM Workflows in the Classroom: A Topographical and Earthworks Experience with Autodesk Revit® and AutoCAD Civil3D®. In International conference on The Digital Transformation in the Graphic Engineering (pp. 358-365). *Springer*, Cham.
- Scaioni, M., 2005, Direct georeferencing of tIs in surveying of complex sites, *The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciencies*, Vol.36, Part 5/W17, s.on CD.
- Suveren, İ. (2019), “Lazer Sensörlerle İç Mekan Haritalama”, (Yüksek Lisans Tezi), *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kayseri.
- Şahinkaya, G. (2019) “Yapı Bilgi Modellemesi'nin Türkiye İçin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” (Yüksek Lisans Tezi), *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.

- Toldo, R., Gherardi, R., Farenzena, M. & Fusiello, A. 2015, Hierarchical Structure-And-Motion Recovery From Uncalibrated Images. *Computer Vision and Image Understanding*, 140, pp. 127-143.
- Uluengin, N. B., 2013, Rölöve, *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*, İstanbul
- Underwood, J. ve Isikdag, U. (2009). Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies: Concepts and technologies, IGI Global.
- Uray, F., Metin, A., Varlık, A. 2015, Sokak Sağlıklaştırma Projelerinde Lazer Tarayıcı ile Mimari Rölöve Alımı: Sille Mahallesi Örneği, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Uzun, T., & Spor, Y. (2019). Yersel lazer (nokta bulut) tarama yöntemi ile rölöve–restitüsyon-restorasyon projesi hazırlama süreci ve bir örnek: Elazığ Harput Kale Hamamı. *Tasarım+ Kuram*, 15(28), 1-26.
- Varlık, A., Uray, F., Metin, A. 2016, “Sokak Sağlıklaştırma Projelerinde Yersel Lazer Tarayıcı ile Mimari Rölöve Alımı: Afyonkarahisar Kentsel Sit Alanı Örneği”, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 8, No: 2, 2016 (141-150).
- Varlık, Abdullah., Dursun, İsmail. 2022. Generation and Comparison of Bim Models with Cad to Bim and Scan to Bim Techniques. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4120050> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4120050>
- Valero E, Bosché F, Bueno M (2022). Laser scanning for BIM, *ITcon* Vol. 27, pg. 486-495, <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.023>
- Windham, J., Elder, J., Bobbitt, J., & Hubbard, T. 2019. Creating 3D Models With The Faro Scanner. WM Symposia, Inc., PO Box 27646, 85285-7646 Tempe, AZ (United States).
- Yiğiter, F. (2020). An assessment of building information modeling (BIM) implementation for the Turkish transportation infrastructure industry (Doctoral dissertation, Institute of Science and Technology).

İnternet Kaynakları

- URL-1:** Kültür ve Turizm Bakanlığı Resmi Sitesi <https://kvmgm.ktb.gov.tr> [Erişim Tarihi: 17.02.2022]
- URL-2:** Zan Mimarlık <https://www.zanmimarlik.com.tr/pages/3d-lazer-tarama> [Erişim Tarihi: 05.11.2020]
- URL-3:** Autodesk Resmi websitesi. <https://www.autodesk.com.tr/> [Erişim Tarihi : 14.03.2022]
- URL- 4:** Mimarlar Odası. <http://www.mimarlarodasi.org.tr/> [Erişim Tarihi: 24.05.2021]
- URL-5:** United BIM. <https://www.united-bim.com/> [Erişim Tarihi: 17:03:2022]
- URL-6:** Business BIM Object. <https://business.bimobject.com/> [Erişim Tarihi: 05.05.2022]
- URL-7:** Faro Resmi websitesi, <https://www.faro.com/en-gb/news/the-new-faro-laser-scanner-focus3d-x-330-the-perfect-instrument-for-3d-documentation-and-land-surveying-2/>
Erişim Tarihi: 11.09.2020]
- URL-8:** Faro As-Built Resmi websitesi, <https://www.faro.com/en/Products/Software/As-BuiltTM-Software> [Erişim Tarihi: 26.03.2022]
- URL- 9:** Koyuncu Harita. <http://www.lidarharita.com/> [Erişim Tarihi: 24.05.2021]
- URL-10:** Prota Altar. <https://www.protaaltar.com/> [Erişim Tarihi: 13.12.2020]
- URL-11:** Mimarlık ve BIM <https://biblus.accasoftware.com/> [Erişim Tarihi: 15.08.2022]