

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ BÖLGELERDE ÜÇ BOYUTLU BİNA MODELLEMESİ:
İSTANBUL FATİH BÖLGESİ TAŞHAN ÖRNEĞİ

ERKUT ER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE

2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ BÖLGELERDE ÜÇ BOYUTLU
BİNA MODELLEMESİ: İSTANBUL FATİH
BÖLGESİ TAŞHAN ÖRNEĞİ

ERKUT ER
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

GEBZE
2022

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

**THREE DIMENSIONAL MODELLING OF
HISTORICAL SITES: ISTANBUL FATİH
REGION TASHAN SAMPLE**

ERKUT ER

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODETIC AND GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES**

**THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. CUMHUR ŞAHİN**

GEBZE

2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30/06/2022 tarih ve 2022 /33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/07/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Erkut ER'in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Doç. Dr. Cumhuri ŞAHİN

ÜYE

: Doç. Dr. Bahadır ERGÜN

ÜYE

: Prof. Dr. Himmet KARAMAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle beraber verilerin kolaylıkla toplanıp işlenebilmesi ve de görsel sunum olanağı ile 3 Boyutlu (3B) modellerinin üretilmesi amacıyla yersel lazer tarayıcılar iç cephelerde, İnsansız Hava Araçları (İHA) dış cephelerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu ölçme tekniklerinin kullanıldığı en önemli alanlardan biri de kültürel alanların belgelendirilmesi amacıyla modellenmesidir. Kültürel alanlardan en önemlisi olan tarihi yapıların gerek restorasyon gerekse dokümantasyonu için 3B modellerinin çıkarılması günümüzde oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu çalışmanın konusu olan model yapı, İstanbul il sınırlarında bulunan ve tarihi yarımada olarak adlandırılan Fatih ilçesinden seçilmiştir. Fatih ilçesindeki kadastro çalışmaları 1920'li yıllarına dayandığından tarihi hanlarda kadastral sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu kadastral sorunların birinin yaşandığı tarihi Taşhan bu çalışmada örnek model olarak belirlenmiştir. Taşhan'ın bina modellemesinde İHA ile oluşturulan nokta bulutu ve fotoğraflar ile yersel fotogrametri teknikleri kullanılmıştır. Çalışma verileri DJI Phantom 4RTK İHA ile uçuşlar yapılarak toplanmış, verilerin değerlendirilmesi ise ContextCapture Mater programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ise CityGml formatında LOD0, LOD1 ve LOD2 seviyelerinde katı model oluşturulmuştur. Buna ek olarak, çalışmaya konu tarihi handa daha önce kadastro tutanaklarında ve tapu kütüğünde tespiti tarif ile mevcut olmasına rağmen herhangi bir kadastral ölçüsü mevcut olmayan bodrum katta bulunan 32 nolu odanın cephe ölçülerinin alımı için yersel lazer tarayıcı olarak Faro X130 cihazı kullanılmış ve bu odanın 3B modellemesi Scene programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yersel lazer tarama ile oluşturulan model sonucunda 32 nolu oda için sınırlandırma ve ölçü krokileri düzenlenmiş ve alanı 31.57 m² olarak tespit edilmiştir. Başarıyla oluşturulan 3B modellerin, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nün 3B kadastro projesine katkı sağlaması ve tarihi hanlarda mevcut olan benzer kadastral sorunların çözümünde öncü olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3B Modelleme, Lazer Tarama, Kadastro, İHA, Taşhan.

SUMMARY

The recent development of technology has advanced the data procession and visual presentation for the production of 3 dimensional (3D) models through the application of terrestrial laser scanners for interiors and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for exteriors. One of the most significant application areas of these measurement techniques is the documentation of cultural heritage. Among culture heritages, historical buildings have the utmost importance to be produced of 3D models for either restoration or documentation purposes. In this study, the historical building model was chosen from Fatih District, which is located within the borders of Istanbul and called the historical peninsula. Since the cadastral works in Fatih district date back to the 1920s, cadastral problems are very common for historical inns. The historical Taşhan, where similar cadastral problems were experienced, was studied as an exemplary model. In 3D modelling of Taşhan, point cloud and photographs created by UAV, and terrestrial photogrammetry techniques were used. The study data were collected by flying with the DJI Phantom 4RTK UAV, and the evaluation of the data was carried out using ContextCapture Mater program. As a result of the study, a solid model was created at LOD0, LOD1 and LOD2 levels in CityGml format. Addition to that, the facade measurements of room 32 located in basement of Taşhan was performed using Faro X130 device as a terrestrial laser scanner. According to cadastral records, there was no cadastral measurement for Room 32 before. As a result of the 3D model created by terrestrial laser scanning, delimitation and measurement sketches for room 32 were drawn up and its area was determined as 31.57 m². It is expected that the successfully created 3D models will contribute to the 3D cadastre project of the General Directorate of Land Registry and Cadastre and be a pioneer in solving similar cadastral problems in historical inns.

Key Words: 3D modelling, Laser Scanning, Cadastre, UAV, Taşhan.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteği ile, değerli fikirlerini esirgemeyen, çalışmam boyunca beni yönlendiren tez danışmanım Doç.Dr. Cumhuri ŞAHİN'e, yine yüksek lisans eğitimim boyunca eğitimime yaptığı desteklerden dolayı Doç Dr.Bahadır ERGÜN'e,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, tez çalışmalarında kullanmış olduğum verilerin elde edilmesine katkıda bulunan Projist Müh.Dan.İnş. Şti. çalışanları Emre ŞENER ve Alpaslan YILMAZ'a,

ve göstermiş olduğü desteklerinden dolayı ailem, İstanbul Kadastro Müdürlüğü çalışanları ve özellikle sevgili eşim Elif ÖZTÜRK ER ile küçük kızım Eylül Asya ER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. FOTOGRAMETRİ ve İHA KAVRAMI	3
2.1. Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	3
2.1.1. Fotoğrafın Bulunmasından Önceki Gelişmeler	3
2.1.2. Fotoğrafın Bulunmasından Sonraki Gelişmeler	4
2.1.3. Klasik Fotogrametri Dönemi	10
2.1.4. Modern Fotogrametri Dönemi	11
2.2. İHA Kavramı	12
2.2.1. İHA Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	12
2.2.2. İHA' ların Sınıflandırılması	13
2.2.3. İHA' ların Karşılaştırılması	17
2.2.4. İHA Kullanımının Avantajları ve Sınırlamaları	19
3. 3B MODELLEMEDE VERİ ÜRETİMİ	21
3.1. Fotogrametrik Veri Toplama Yöntemleri	22
3.1.1. Hava Fotogrametrisi	22
3.1.2. Yersel Fotogrametri	23
3.1.3. Uzaktan Algılama	23
3.1.4. Lazer Tarama	24
3.1.5. Lazer Tarayıcıların Gelişimi	25
3.1.6. Lazer Tarayıcılarda Mesafe Ölçme Yöntemi	25

3.1.7 Lazer Tarama Yöntemleri	27
3.1.7.1 Hava Lazer Tarama	27
3.1.7.2 Yersel Lazer Tarama	28
4. 3B MODELLEMEDE AYRINTI DÜZEYİ KAVRAMI	33
4.1. CITYGML Standartı	33
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YERİ	39
6. UYGULAMA	43
6.1 Taşhan Hakkında Genel Bilgi	43
6.2. Materyal ve Yöntem	48
6.2.1 İHA ile 3B Modelleme	50
6.2.1.1 Taşhan'ın Ayrıntı Seviyelerinde Modellemesi	55
6.2.1.2 Yersel Lazer Tarama Verilerinin Taşhan 32 Numaralı Oda İçin İşlenmesi	61
7. SONUÇLAR VE YORUMLAR	72
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80
EKLER	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

dm	: Desimetre
kg	: Kilogram
m	: Metre
m ²	: Metrekare
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
CCD	: Charge-Coupled Device
GML	: Coğrafya İşaretleme Dili
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
GTU	: Gebze Teknik Üniversitesi
IMU	: Atalet Ölçüm Birimi
INS	: Atalet Seyrüsefer Sistemi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LIDAR	: Light Detection and Ranging
LOD	: Level Of Detail
RTK	: Real Time Kinematic
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TIFF	: Tagged Image File Format
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
VRLM	: Virtual Reality Modeling Language
YLT	: Yersel Lazer Tarama

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İğne deliği kamera modeli.	3
2.2: Hauck tarafından çizilen fotogrametrik izdüşüm.	4
2.3: 1827 yılında çekilmiş ilk fotoğraf.	4
2.4: Balon ile fotoğraf çekimi.	5
2.5: Nadar'ın balondan çektiği ilk hava fotoğrafı.	5
2.6: Uçurtma ile fotoğraf çekimi.	6
2.7: Stereo-autograph.	7
2.8: Güvercin ile fotoğraf çekimi.	7
2.9: Hava fotoğrafı çekimi.	8
2.10: 1906 depremi sonrasında San Francisco'nun durumu.	8
2.11: Goddard ve ilk roketlerinden biri.	9
2.12: Roketten çekilen ilk hava fotoğrafı.	9
2.13: Fotogrametrinin gelişim evreleri.	10
2.14: Kelsh çizicisi.	11
3.1: 3B veri toplama yöntemlerinin şematik gösterimi.	21
3.2: a) Aktif Üçgenleme Yöntemi b) Uçuş Zamanlı Yöntem c) Faz Karşılaştırma Yöntemi.	26
3.3: MENSİ GS 100 Yersel Lazer Tarama Sistemi.	29
3.4: Uçuş zamanı prensibi.	30
3.5: Triangulasyon prensibi: Tek kamera çözümü.	31
3.6: Triangulasyon prensibi: Çift kamera çözümü.	32
4.1: CityGML'deki ayrıştırma düzeyleri.	34
4.2: CityGML standartlarına göre 3B kent modellenmesinde 5 gösterim seviyesi.	35
4.3: Farklı LOD seviyelerinde örnekler.	38
4.4: Farklı LOD seviyelerini bir arada bulandıran 3B harita.	38
6.1: 1936 yılına ait Aksaray Kemalpaşa Mahallesi Pervititch Haritası.	44
6.2: 1936 yılına ait Aksaray Kemalpaşa Mahallesi Pervititch Haritasında Taşhan.	44
6.3: 1939 yılına ait Taşhan'ın üstten görünümü.	45

6.4:	1939 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü.	45
6.5:	1939 yılına ait Taşhan giriş kapısı.	46
6.6:	1939 yılına ait Taşhan giriş kapısı ve arkasında Laleli Cami görüntüsü.	46
6.7:	2022 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü.	47
6.8:	2022 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü ve arkasında Laleli Cami.	47
6.9:	Taşhan'ın konumu.	48
6.10:	İHA ile fotoğraf çekimi.	50
6.11:	ContextCapture iş akışı.	51
6.12:	Proje oluşturma.	52
6.13:	Fotoğrafların birleştirildiği yazılım ekran görüntüsü.	52
6.14:	Bağlantı noktalarının gösterimi.	53
6.15:	Üretilen 3B meshin farklı açılardan görselleri a) b) c).	54
6.16:	Üretilen 3B meshin farklı açılardan görselleri d) e).	55
5.17:	Taşhan'ın bulunduğu arazinin LOD0 seviyesinde uydu görüntüsü ile ilişkilendirilmesi.	56
6.18:	Taşhan'ın LOD0 seviyesindeki modeli.	57
6.19:	Taşhan'ın LOD1 seviyesindeki modeli.	58
6.20:	Taşhan'ın LOD2 düzeyindeki modeli.	58
6:21:	Taşhan'ın LOD3 seviyesindeki modelinin farklı açılardan gösterimi a) yandan b) arkadan.	59
6.22:	Taşhan'ın LOD3 seviyesindeki modelinin farklı açılardan gösterimi c) ön-yandan d) arkadan (devamı).	60
6.23:	Taşhan için oluşturulan modelin farklı açılardan tüm LOD seviyelerindeki gösterimi.	61
6.24:	Oturumların Cloud to Cloud yöntemiyle birleştirildiğini gösteren yazılım ekran görüntüsü.	63
6.25:	Hata raporu.	64
6.26:	Nokta bulutu ile oluşturulan ilk model.	64
6.27:	Gereksiz detayların elimine edildiği 3B model görünümü.	65
6.28:	Taşhanın zemin kat giriş ve bodrum görünümü.	65
6.29:	32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat önden görünümü.	66
6.30:	32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat arka görünümü.	66
6.31:	32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat yandan görünümü.	67

6.32: Lazer tarama ile alınan ortofoto.	67
6.33: CAD programına aktarım amacıyla alınan kesitlerin yazılım ekran görüntüsü.	68
6.34: AutoCAD ile zemin kat ve bodrum kat oturumu.	68
6.35: NetCAD ile cephelendirme.	69
6.36: Sınırlandırma krokisi.	69
6.37: Ölçü krokisi.	71



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İHA' ların tarihsel gelişimi.	13
2.2: İHA' ların görev, motor türü ve aerodinamik yapısına göre sınıflandırılması.	14
2.3: İHA' ların seyir süresi ve irtifa uzunluğuna göre sınıflandırılması.	14
2.4: İHA' ların havadan daha hafif ve havadan daha ağır olmasına göre sınıflandırılması.	15
2.5: İHA' ların boyut, sensörler ve sensör yeteneklerine göre sınıflandırılması.	16
2.6: Avustralya Sivil Havacılık Güvenliği Otoritesi İHA sınıflandırması.	16
2.7: Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA sınıflandırması.	17
2.8: Çeşitli İHA türlerinin menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyetleri bakımından karşılaştırılması.	18
2.9: Çeşitli İHA türlerinin yük, rüzgar direnci, minimum hız, otonom uçuş, taşınabilirlik ve iniş mesafesi bakımından karşılaştırılması.	19
4.1: CityGML standartının ayrıntı düzeylerinin detaylı özeti.	36
5.1: DJI Phantom 4RTK teknik özellikleri.	49
5.2: Faro Focus3D X130 teknik özellikleri.	49

1. GİRİŞ

Günümüzde dijital yaklaşımların kültürel miras ile entegrasyonu, kültürel mirasın belgelenmesi, korunması ve restorasyonu için oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Lazer tarama ve İnsansız Hava Araçları (İHA) ile görüntüleme ve veri işleme teknolojilerinin ilerlemesi, bu sistemlerin diğer birçok alanda olduğu gibi kültürel mirasın korunması ve yönetimi alanında da öncü dijital yaklaşımlar olmasını sağlamıştır [1].

Sayımsız medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan ve medeniyetlerin beşiği olarak nitelendirilen topraklarımızda sahip olduğumuz kültürel miras zenginliğinin yeni nesillere aktarılması için kültürel mirasımızın detaylı belgelenmesi büyük önem teşkil etmektedir. Geleceğe aktarmaya çalıştığımız ve kültürel mirasımızın belkemiğini oluşturan tarihi yapılar, savaş, doğal afet, insani ihmaller ya da fiziksel yıpranma nedeniyle birçok tahribata maruz kalmaktadırlar. Bu tahribatlar, tarihi yapılarımız üzerinde geri dönülemez sonuçlar doğurmakta ve kültürel miras aktarımını olumsuz etkilemektedirler. Tüm bu sebeplerle, tarihi yapıların 3 boyutlu (3B) eksiksiz belgelerinin oluşturulmasının ve arşivlenmesinin gerekliliği yadsınamaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

Tarihi yapıların dijital belgelenmesinin önemli bir kısmını geometrik veri toplama oluşturmaktadır. Bu kapsamda, özellikle son on yılda Yersel Lazer Tarama (YLT) ve İHA fotogrametrisi gibi veri toplama tekniklerinin kullanılması tarihi yapıların dijital hafızalarının oluşturulması adına mükemmel sonuçlar vermiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla bu yöntemler; yüksek kaliteli 3B modellerin eldesine bağlı olarak yüksek doğruluk ve kısa çalışma süresi sunmaktadırlar [1].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

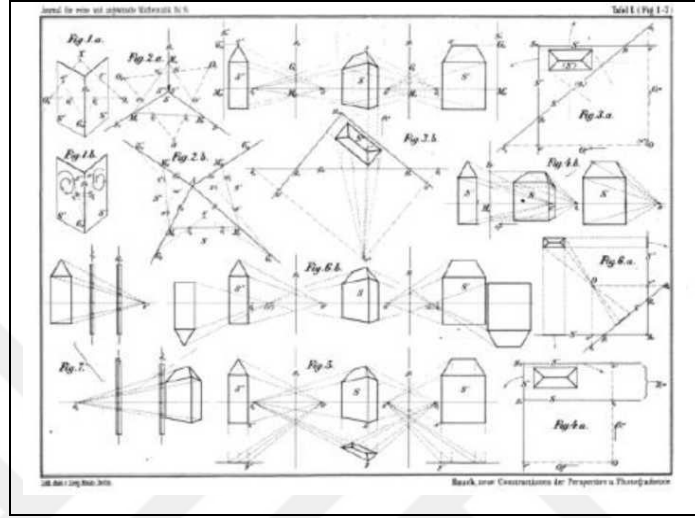
Günümüzde kültür mirası olarak adlandırdığımız insanoğlunun var oluşundan beri inşa ettiği eserlerin korunması ve gelecek nesillere aktarılması tüm insanların bir görevi olmakla beraber, bir şekilde zarar görmüş ya da deformasyona uğramış kültür mirası olan tarihi yapıların tekrar onarımını gerçekleştirmek de insanoğlunun gelecek nesillere karşı en önemli sorumluluğundan biridir. Arkeolojik, tarihi yapıların hem mimari olarak hem de yapısal olarak anlaşılabilmesi amacıyla restorasyon,

sağlamlaştırma ve koruma amacıyla sürekli yeni teknikler geliştirilmiştir. Bu çalışmalar yapılırken ilk olarak yapılan çalışma rölelerin hazırlanmasıdır. Röleler ilk zamanlarda klasik ölçüm yöntemleri ile uzun sürelerde zahmetli ve maliyetli bir şekilde yapılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel belgeleme yöntemleri yerini dijital yöntemlere bırakmıştır. Elektronik aletler ile yapılan ölçümlerde artan doğruluk, ölçüm hızı ve azalan maliyetler, kültürel mirasın eksiksiz korunmasını sağlayan dijital veri toplama tekniklerini popüler hale getirmiştir. Dijital kamera ile donatılan İHA'lara, YLT, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi ve LIDAR (Light Detection and Ranging) gibi farklı yenilikçi sistemlerin erişebilir araçlar olmasıyla birlikte 3B modelleme çok hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Fotogrametri uygulamalarının bu denli gelişimi ile 3B modelleme yöntemi ile birçok problem eskisinden oldukça hızlı bir şekilde çözümlenmektedir.

Bu problemlerden biri de 1920'li yıllara dayanan kadastral ölçümler sırasında tapu kütüğünde tarifî mevcut fakat ölçümleri yapılamamış tarihi yapıların kadastral ölçümlerinin yapılması sırasında ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, İHA ile tarihi yapılardan biri olan Taşhan'ın 3B modelinin üretilmesidir. Ayrıca kadastral sorunu bulunan bodrum katta bulunan bir odanın ölçümlerinin yersel lazer tarayıcı sistemi ile gerçekleştirilmesidir. Bu çalışma ile özellikle İHA sistemleri ve de yersel lazer tarayıcıların kullanımının kadastral sorunların giderilmesinde ve mimari restorasyon ile belgeleme alanında bu sistemlerin kullanım potansiyelleri ortaya konulmuştur.

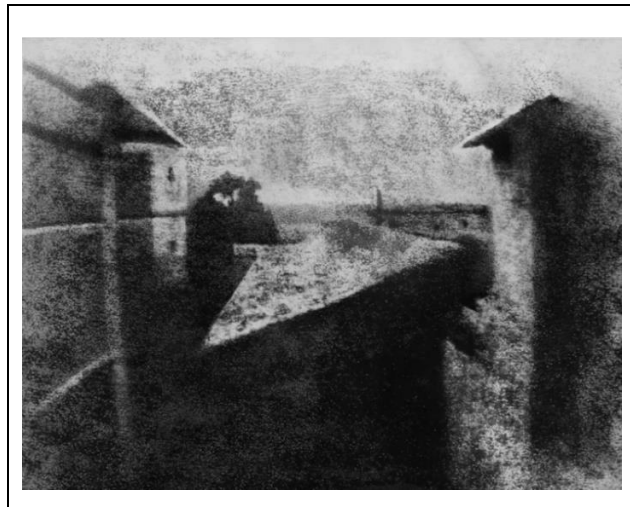
Girard Desargues 1625'te izdüşümsel geometriyi keşfetmiş, Johan Heinrich Lambert ise 1759'da perspektif görüntünün matematiksel ilkelerini geliştirmiştir. Guido Hauck ile R. Sturms, 1883 yılında fotogrametrinin izdüşümsel geometri ile olan ilişkisini ortaya koymuştur [6]. Hauck tarafından çizilen fotogrametrik izdüşüm Şekil 2.2'de gösterilmiştir [7].



Şekil 2.2: Hauck tarafından çizilen fotogrametrik izdüşüm.

2.1.2. Fotoğrafın Bulunmasından Sonraki Gelişmeler

8 saatlik bir pozlama süresiyle ilk fotoğraf 1827 yılında Joseph Nicéphore Niepce tarafından çekilmiştir. Tarihte çekilen ilk fotoğraf Şekil 2.3'de gösterilmiştir [8].



Şekil 2.3: 1827 yılında çekilmiş ilk fotoğraf.

Fotoğrafın kullanılmasından sonra Guido Schreiber, yeryüzünün havadan görüntülenebileceği fikri üzerine çalışmalar yapmıştır. Jacques Mandé Daguerre, Dagerreyotipi ismini verdiği bir işlem ile ilk uygulanabilir fotoğrafı üretmiştir. Hippolyte Bayard, 1839 yılında pozitif görüntüyü bulmuş; 1840 yılında ise François Jean Arago Dagerreyotipi kullanarak topografik harita üretiminde fotoğraftan yararlanmıştır. 1844 yılında David Brewster'ın stereoskobu bulması ile ilk stereoskopik baskılar gerçekleştirilmiştir. 1855 yılında Nadar (Gaspard Felix Tournachon) 80 metre yükseklikten bir balondan ilk hava fotoğrafını çekmiştir. Balon ile yapılan ilk fotoğraf çekimi Şekil 2.4'te, balondan çekilen ilk hava fotoğrafı ise Şekil 2.5'te verilmiştir [9].

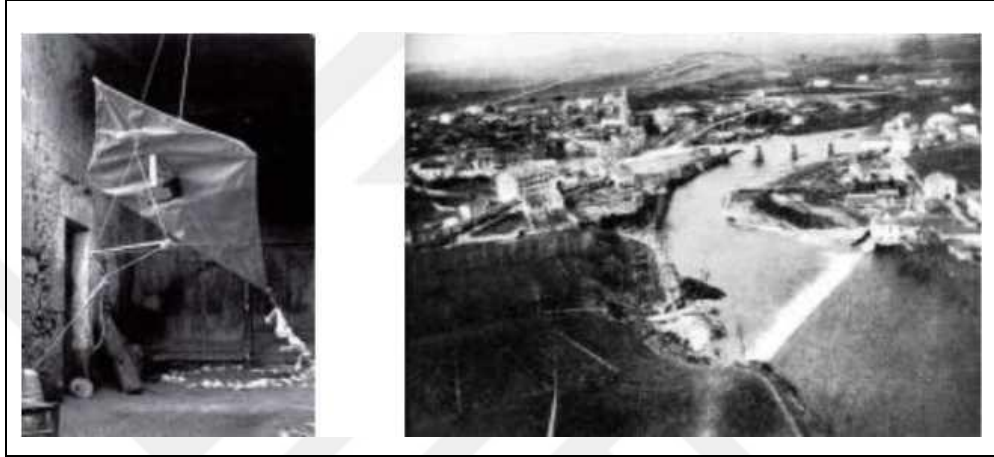


Şekil 2.4: Balon ile fotoğraf çekimi.



Şekil 2.5: Nadar'ın balondan çektiği ilk hava fotoğrafı.

Optik ve Jeodezi mühendisi olan Paulo Ignazo Pietro Porro takimetreyi 1839 yılında keşfetmiştir. Fotogrametri alanındaki lens distorsiyonunun giderilmesi için 1865'te foto gonyometrenin tasarımını yapmıştır. 1882 yılında meteoroloji uzmanı İngiliz uyruklu E.D. Archibald uçurtma ile fotoğraf elde etmiştir. Ayrıca yine 1888 yılında Fransız M Arthur Batut uçurtma ile hava fotoğrafı elde etmiştir [9]. Uçurtma ile yapılan fotoğraf çekimi Şekil 2.6'da verilmiştir [10].



Şekil 2.6: Uçurtma ile fotoğraf çekimi.

1884 yılında cylindrographe P. Moëssard tarafından bulunarak panoramik fotoğraf elde edilmiştir. Aime Laussedat, 1849 yılında topografik haritaların üretilmesinde yersel fotoğraflar kullanmıştır [11]. Ayrıca birçok fotogrametrik aleti keşfedip; bu aletleri kullanarak iconometry (görüntü bilimi ve ölçme tekniği) adını verdiği tekniği icat etmiştir [12].

Kersten isimli coğrafyacının 1855 yılında Fotogrametri ismini kullanması ve 1867 yılında Albert Meydenbauer'in resmiyete dökmesiyle Fotogrametri ismi literatüre girmiştir. 1888 yılında ise Sebastian Finsterwalder geliştirdiği fototeodoliti kullanarak Alp buzullarının ölçümünü yaparak yersel fotogrametri ile haritasını üretmiştir. Analitik fotogrametrinin temellerini oluşturarak çift fotoğraf fotogrametrisinin temel kurallarını belirlemiştir [13].

C. B. Adams 1893 yılında bindirmeli fotoğraf çekme hipotezini oluşturarak balon ve uçurtma kullanarak çekilmiş stereo fotoğrafları kullanılabilmesi için Theodor Scheimpflug'un 1897 yılındaki "Optik-Mekanik Çakıştırma" çalışmasına öncü olmuş ve böylece optik izdüşüm stereo değerlendirme düşüncesi gelişmiştir [14].

1900'lü yıllara gelindiğinde ise Carl Pulfrich'in 1901 yılında geliştirdiği stereokompratör ve Henry Fourcade'in bu alet ile çalışmalar yapmasıyla fotoğrafta üç boyuta geçilmesinin önü açılmış, 1908 yılında ise E.V Orel tarafından eşyükselti eğrilerinin otomatikleşmesi için ilk olan stereo-autograph geliştirilmiştir [15]. Kraliyet Hava Kuvvetleri'nin 1941-1945 yılları arşivlerinden alınan stereo-autographa ait fotoğraf Şekil 2.7'de gösterilmiştir [16].



Şekil 2.7: Stereo-autograph.

Julius Neubranner 1903'de güvercinlerin göğsüne 70 gr. ağırlığındaki fotoğraf makinalarını monte ederek tasarladığı hava kamerası sistemi Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Neubranner daha sonra bu tasarımının patentini almıştır [17].



Şekil 2.8: Güvercin ile fotoğraf çekimi.

Wright kardeşlerin 1903 yılında uçağı icat etmesinden 6 yıl sonra 1909'da İtalya Centocelli üzerinde uçaktan ilk fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Bu ilk uçaktan fotoğraf çekimine ilişkin fotoğraf kaydı Şekil 2.9'da verilmiştir. Haritalama maksadıyla hava fotoğrafını ilk kullanan insanın ise Yüzbaşı rütbeli Cesare Tardivo'nun olduğu düşünülmektedir. Tardivo, Viyana'daki uluslararası fotogrametri birliğinin toplantısında 1/4000 ölçekli İtalya'nın Bengasi kentinin mozaik görüntüsünü sunmuştur [18].



Şekil 2.9: Hava fotoğrafı çekimi.

G.R. Lawrance, 1906 yılında gerçekleşen San Francisco depreminden sonra deprem sonrası kentin durumunu görmek amacıyla yedi uçurtmaya asılmış kamera ile şehrin hava fotoğrafını çekmiştir. Bu görüntü kaydı Şekil 2.10'da verilmiştir [19].



Şekil 2.10: 1906 depremi sonrasında San Francisco'nun durumu.

I. Dünya Savaşı ile hava fotoğrafları düşman bölgesinin ve askeri yerleşmelerin görülebilmesi amacıyla sistemli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Oskar Messter 1915 yılında otomatik film kamerasını geliştirmiş daha sonra 1917 yılında Sherman Fairchild savaş sırasında kullanılabilmesi amacıyla ilk hava kamerasını geliştirmiştir. Böylece şeritsel fotoğrafların çekimi mümkün olmuştur [20]. Şekil 2.11’de gösterildiği üzere, 1926 yılında ilk sıvı yakıtlı roket Dr. Robert H. Goddard tarafından icat edilmiştir. 1929 yılında fırlatılan ikinci rokete fotoğraf makinası montajı sonrası çekilen hava fotoğrafı Şekil 2.12’de verilmiştir [9].

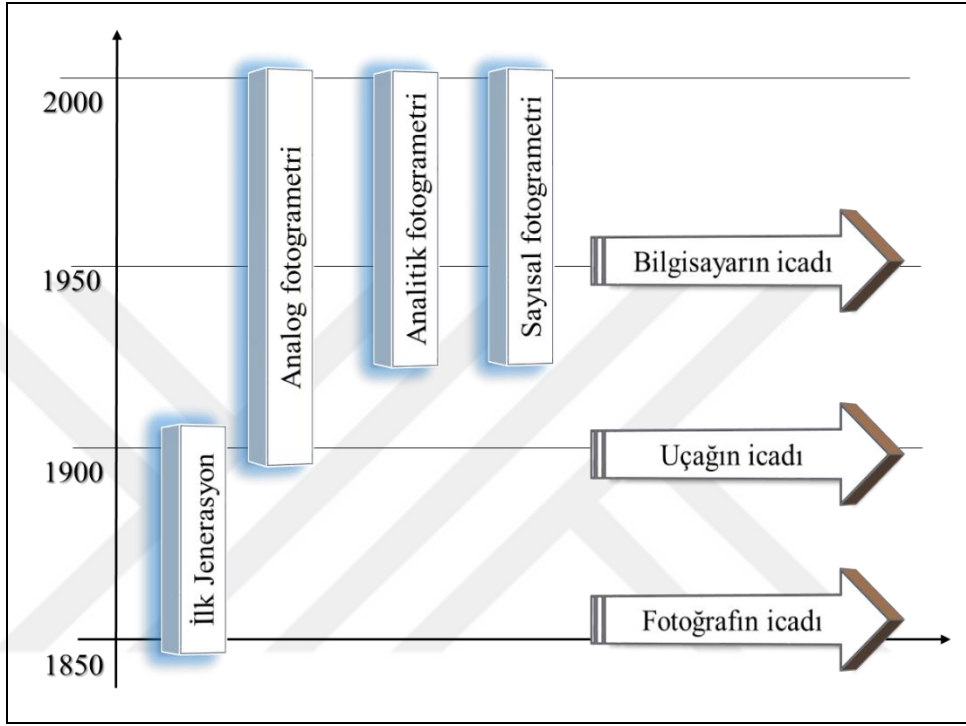


Şekil 2.11: Goddard ve ilk roketlerinden biri.



Şekil 2.12: Roketten çekilen ilk hava fotoğrafı.

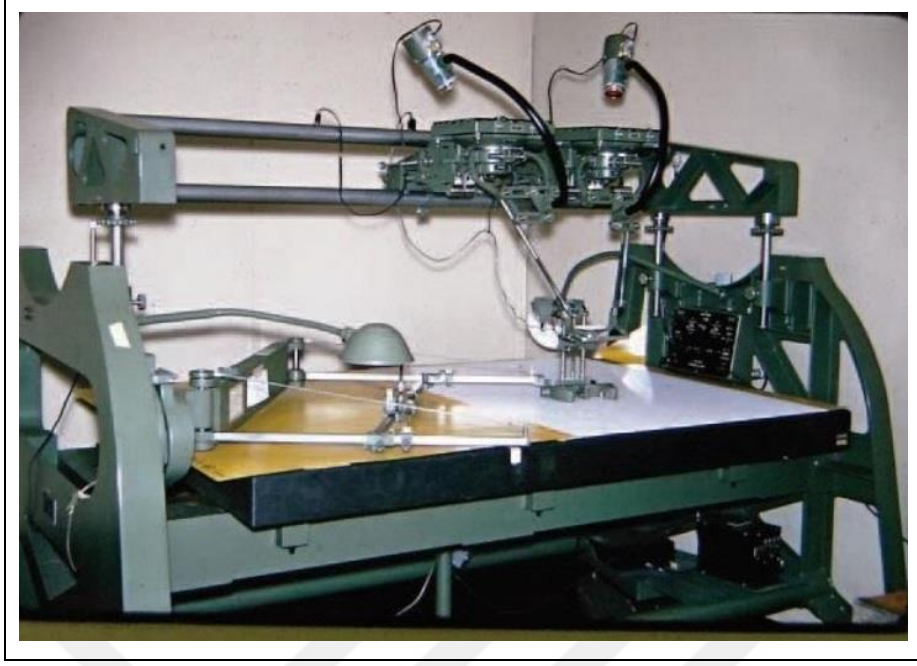
Teknoloji ve bilim alanındaki gelişmelere bağlı olarak fotogrametrinin de gelişimi sürmüştür. 1850 yılından günümüze gelene kadar fotogrametrideki gelişmeler dört evre olarak birbirini takip etmiştir. Bu evreler yaklaşık olarak 50 yılda bir ilerleyen teknoloji ile birlikte önemli gelişme kaydetmiştir. Fotogrametrinin 50 yıllık döngüler ile gelişim evreleri Şekil 2.13'te şematik olarak gösterilmiştir [21].



Şekil 2.13: Fotogrametrinin gelişim evreleri.

2.1.3. Klasik Fotogrametri Dönemi

Ülkelerin II. Dünya Savaşının etkilerinin geçmesi ile birlikte refaha ermesi ve gelişme dönemlerine girmeleri nedeniyle haritalara olan ihtiyaç artmış ve bu ihtiyacı gidermek amacıyla analog stereo değerlendirme yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır. Harry Kelsh, fotogrametrik haritaların üretilmesi için 1948 yılında Kelsh çizicisini geliştirmiştir [22][3]. Kelsh çizicisi Şekil 2.14'te gösterilmiştir [3]. Klasik fotogrametri döneminde, ortofotolar ve sayısal haritalar üretilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.14: Kelsh çizicisi.

2.1.4. Modern Fotogrametri Dönemi

Teknolojide geline son noktada yüksek çözünürlüğe sahip distorsiyonu azaltılmış fotoğrafların elde edilmesiyle ve de uçuşların daha az maliyetle çabuk bir şekilde yapılabilmesi sayesinde sayısal fotogrametrik sistemler gelişmiştir. Bununla birlikte, çoklu fotoğraf kaynaklarından oluşan fotogrametrik modelleri işleyebilen kullanıcı dostu yazılım ve donanımlar bu sistemlerin yaygınlaşmasına öncü olmuştur. Bilgisayar destekli algoritmaların uygulanması ile birlikte seri halinde çakışan fotoğraflar, 3B veri kümelerinin ve yönlendirilmiş kamera pozisyonlarının üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Nicel ve nitel olarak doğruluğu arttırılmış yüzey modellerinin üretimi, foto-realistik ve detaylı tasarımı mümkün kılarak diğer modelleme seçeneklerini geride bırakmıştır [23].

Teknik açıdan karmaşık görünse de, günümüzde kullanılan yazılımların büyük çoğunluğu etkin kullanıcı ara yüzleri sayesinde 3B veri kümeleri üretiminde iş akışını oldukça kolay hale getirmektedir. Buna ek olarak, üretilen modellerin İnternet üzerinden aktif erişimi ile uzaktan çalışma da mümkün olmaktadır [23].

2.2. İHA Kavramı

2.2.1. İHA Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

İHA, bir pilot tarafından otomatik veya elle kontrol edilebilen, uçuş planına bağlı ya da bağımsız olarak bir istasyondan hareket ettirilip kumanda edilen ölçüm aracıdır [24]. Nispeten yeni bir terminoloji olan İHA fotogrametrisi ise içerisinde fotogrametrik bir ölçüm platformunun entegre edildiği, pilotsuz uzaktan kontrol edilen, yarı ya da tam otonom sistemleri ifade etmektedir. Bu ölçüm platformu küçük ya da orta ölçekli kamera sisteminin yanında termal, kızılötesi kamera sistemlerini, havasal LIDAR sistemini ya da bunların bir kombinasyonunu içerebilmektedir. Hâlihazırdaki İHA teknolojileri sensör yönlendirmesi ve pozisyon takibi ve kaydını yerel ya da küresel koordinatlara göre yapabilmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında İHA fotogrametrisi yeni bir fotogrametrik ölçüm aracı olarak ortaya çıkmaktadır. İHA fotogrametrisi, klasik havasal fotogrametriye daha düşük maliyetli bir alternatif oluşturmakla birlikte havasal ve yersel fotogrametrinin birleştirilebildiği kısa mesafeli arazilerde yeni gerçek zamanlı uygulamaların da önünü açmaktadır [25]. İHA'ların uçabilmesi için öncelikle bir güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Fotogrametrik verilerin toplanabilmesi için de fotogrametrik olan sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. İHA'ların fotogrametrik olarak bileşenleri Lazer Tarama, sayısal kameralar ile Küresel Konumlama Sistemi/ atalet ölçüm birimi (GPS/IMU) sistemleridir.

Günümüzde internet arama motorlarında ve günlük yaşam dilinde İHA ya da İngilizce ismiyle Unmanned Aerial Vehicle (UAV) olarak kullanılmasından çok erkek arı anlamına gelen Drone kelimesi kullanılmaktadır. İHA'ların tarihsel gelişimi Tablo 2.1'de özetlenmiştir [26].

Tablo 2.1: İHA'ların tarihsel gelişimi.

Yıl	İHA Gelişimi
1849	Avusturyalılar İtalya'nın Venedik şehrini bombalamak için balon kullanmışlardır. İlk İHA olarak kabul görmektedir.
1861	Balonlar ABD iç savaşında konfederasyon tarafından keşif görevi için kullanılmıştır.
1918	Günümüzde İHA öncüsü olarak kabul edilen Kettering Bug, 40 hp gücünde ve dört silindirli motor tarafından desteklenmektedir.
1931	İngiliz deniz donanması tarafından düz parçalardan geliştirilen Fairy Quenn ilk radyo kontrollü İHA'dır.
1959	ABD ordusu Vietnam savaşında gözetleme amaçlı Ryan Model 147 Lighting Bug'ı kullanmıştır.
1995	Azılı katil diye tabir edilen MQ-1 Predator isimli İHA 2000 yılında silahlandırılarak üretilmiştir.

2.2.2. İHA'ların Sınıflandırılması

Tablo 2.1'de özetlendiği üzere İHA teknolojisindeki dramatik değişimler/gelişimler İHA'ların yeniden sınıflandırılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. İHA'lar için literatürde çeşitli sınıflandırmalar yer almaktadır. Nex, F. ve Remondino'ya göre İHA'ların motor gücü sistemlerine göre görevlerine göre ve de aerodinamik ile fiziksel özelliklerine göre sınıflandırması Tablo 2.2'de verilmiştir [27]. Austin tarafından yapılan sınıflandırmaya göre ise İHA'ların seyir süreleri ile çıkabildikleri irtifa dikkate alınmıştır. Seyir süresi ve irtifa uzunluğuna göre yapılan sınıflandırma Tablo 2.3'te verilmiştir [28].

Tablo 2.2: İHA' ların görev motor türü ve aerodinamik yapısına göre sınıflandırılması.

Görevlerine Göre	Motor Gücü Sistemine Göre	Aerodinamik ve Fiziksel Özelliklerine Göre
Taktiksel İHA	Motorlu İHA	Havadan Daha Hafif İHA
Stratejik İHA	Motorsuz İHA	Döner Kanatlı İHA
Özel Görevli İHA		Sabit Kanatlı İHA

Tablo 2.3: İHA' ların seyir süresi ve irtifa uzunluğuna göre sınıflandırılması.

1.Grup	2. Grup	3. Grup	4.Grup	5. Grup	6. Grup
15000 m irtifa	2400-3000m irtifa				
24 saat seyrüsefer süresi	12 saat seyrüsefer süresi		1-3 saat seyrüsefer süresi	1 saat seyrüsefer süresi	40 dakika seyrüsefer süresi
100 km üzeri menzil	100 km menzil	30 km menzil	30 km menzil	10 km menzil	100 m menzil

Eisenbeiss ise yaptığı çalışmada İHA' ları sınıflandırmada 2 farklı yöntem kullanmıştır. İlk yöntemde havadan hafif ya da ağır olmalarına göre ikinci yöntemde ise boyut, sensörler ve sensör yeteneklerine göre sınıflandırma yapmıştır. Ağırlıklarına göre yapılan ilk sınıflandırma Tablo 2.4'te, boyut ve sensörlere göre yapılan sınıflandırma ise Tablo 2.5'de listelenmiştir [25].

Tablo 2.4: İHA' ların havadan daha hafif ve havadan daha ağır olmasına göre sınıflandırılması.

İHA Türü	Havadan Ağır			
	Havadan Hafif	Sabit Kanatlı	Döner Kanatlı	Esnek Kanatlı
Motorsuz	Balon	Yelken Kanatlı	Planörlü	Pervaneli
		Yamaç Paraşütü		
		Uçurtmalar		
Motorlu	Zeplin	Yamaç Paraşütü	Pervaneli	Tek Pervaneli (Helikopter)
			Jet Motorlu	Ortak Eksenli
				4 Pervaneli
				Çok Pervaneli

Tablo 2.5: İHA' ların boyut, sensörler ve sensör yeteneklerine göre sınıflandırılması.

İHA Kategorisi	Sensör Yönelmesi	RTK Yeteneği	Uygulama Gereksinimleri	Sensörler
Açık Kaynak Kodlu, Manuel Kontrollü İHA	Uçuş sonrası işleme	0	Düşük Doğruluk (m)	GPS / INS (Atalet Seyrüsefer Sistemi)sensörü yok
Mikro ve Mini İHA	Uçuş sonrası işleme / doğrudan	+	Orta Derece Doğruluk (dm)	GPS / düşük sınıf INS
Ağır Yüklü İHA (Yük kapasitesi 5 kg dan fazla)	Uçuş sonrası işleme / doğrudan	++	Yüksek Doğruluk (cm)	Navigasyon ve taktiksel sınıf INS

Tablo 2.5'de yer alan “+” gösteriminin sayısı daha güçlü Real Time Kinematic (RTK) yeteneğine sahip olduğunu; “0” gösterimi ise RTK yeteneğine sahip olmadığını temsil etmektedir. 2001 yılına gelindiğinde Avustralya Sivil Havacılık Güvenliği Otoritesi sistem ağırlığını baz alan bir sınıflandırma türü belirlemiştir. Bu sınıflandırmada, İHA'lar ağırlıklarına göre Mikro, Küçük ve Büyük İHA'lar olarak ayrılmıştır. Sınıflandırma detayı Tablo 2.6'da sunulmuştur [29][25].

Tablo 2.6: Avustralya Sivil Havacılık Güvenliği Otoritesi İHA sınıflandırması.

Sınıf	Sınıf I Mikro İHA'lar	Sınıf II Küçük İHA'lar	Sınıf III Büyük İHA'lar
Özellikler	Uçuş toplam 100 gr ağırlığı	Uçuş toplam 150 kg'dan az ağırlığı	Uçuş toplam 150 kg'dan fazla ağırlığı

Ülkemizde ilk İHA sınıflandırması Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında yapılmıştır. Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün 22.02.2016

tarihinde yayımladığı 05.07.2019 tarihinde değişiklik yaptığı İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı'nda İkinci Bölüm Madde 5'de yaptığı sınıflandırma Tablo 2.7'de verilmiştir [30].

Tablo 2.7: Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA sınıflandırması

Sınıf	İHA0	İHA1	İHA2	İHA3
Özellikler	Azami kalkış ağırlığı 0.50 (dâhil) – 4.0 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 4.0 (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar

Tablo 2.7'de görüldüğü üzere, ülkemizde İHA'lar azami kalkış ağırlığı aralıklarına göre 0.5-4.0 kg, 4.0-25 kg, 25-150 kg ve 150 kg ve üzeri olmak üzere 4 kategoride toplanmış ve bu kategoriler sırasıyla İHA0, İHA1, İHA2 ve İHA3 olarak tanımlanmıştır.

2.2.3. İHA'ların Karşılaştırılması

İHA'ların birbirlerine göre yeteneklerini belirlemek için teknik özellikleri değerlendirilmektedir. Eisenbeiß, H., 2009 yılında çeşitli İHA türlerini menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyeti parametreleri bakımlarından karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 2.8'de özet halinde sunulmuştur [25].

Tablo 2.8: Çeşitli İHA türlerinin menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyetleri bakımından karşılaştırılması.

İHA Türü	Menzil	Dayanıklılık	Hava Koşullarına Bağımlılık	Manevra Kabiliyeti
Balon	0	++	0	0
Zeplin	++	++	0	+
Paraşüt/Uçurtma	+	0	0	0
Sabit Kanatlı Paraşüt	++	+	+	+
Pervaneli ve Jet Motorlu	++	++	+	+
Pervaneli	++	+	0	+
Tek Pervaneli (Helikopter)	+	+	+	++
Ortak Eksenli	+	++	+	++
Dört Pervaneli	0	0	0	++
Çok Pervaneli	+	+	+	++

Tablo 2.8’de yer alan “+” gösteriminin sayısı daha güçlü yeteneğe sahip olduğunu; “0” gösterimi ise yeteneğe sahip olmadığını temsil etmektedir. Buna göre, tüm parametreler bakımından en güçlü İHA’lar sabit kanatlı paraşütler, pervaneli ve jet motorlu, tek pervaneli, ortak eksenli ve çok pervaneli İHA’lar olarak öne çıkmaktadır.

Nex, F. ve Remondino, F., tarafından 2014 yılında yapılan karşılaştırmada ise yük, rüzgar direnci, minimum hız, otonom uçuş, taşınabilirlik ve iniş mesafesi parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelere göre yapılan karşılaştırma Tablo 2.9’da özetlenmiştir. Bu değerlendirmede 1 en düşük, 5 en yüksek yeteneği temsil etmektedir [27].

Tablo 2.9: Çeşitli İHA türlerinin yük, rüzgar direnci, minimum hız, otonom uçuş, taşınabilirlik ve iniş mesafesi bakımından karşılaştırılması.

Yetenek	Uçurtma/Balon	Sabit Kanatlı İHA		Döner Kanatlı İHA	
		Elektrikli	ICE Motorlu	Elektrikli	ICE Motorlu
Yük	3	3	4	2	4
Rüzgar Direnci	4	2	4	2	4
Minimum Hız	4	2	2	4	4
Otonom Uçuş	X	3	5	2	4
Taşınabilirlik	3	2	2	3	3
İniş Mesafesi	4	3	2	4	4

Tablo 2.9’da görüldüğü üzere ICE motorlu döner kanatlı ve sabit kanatlı İHA’lar özellikle otonom uçuş, yük ve rüzgar dayanımı bakımından en yüksek performanslı araçlar olarak öne çıkmaktadırlar. Döner kanatlı İHA’lar taşınabilirlik ve iniş mesafesi bakımından sabit kanatlı İHA’lara göre üstün özellik göstermektedirler.

2.2.4. İHA Kullanımının Avantajları ve Sınırlamaları

İHA’ların fotogrametri alanında kullanımında sağladığı avantajlar aşağıda özetlenmektedir [31]:

- Ulaşılması güç bölgelere risksiz bir şekilde ulaşım sağlanabilmektedir.
- İnsan yaşamı için tehlikeli olabilecek olan bölgelerden (volkanik hareketlenme, yangın ve deprem gibi afet bölgeleri) verilerin toplanabilmesi mümkün olmaktadır.
- Mevsim koşullarından daha az etkilenmektedirler.
- Doğruluğu yüksek konum hassasiyeti sunmaktadırlar.
- Veriler hızlı işlenebilmektedir.
- Maliyet ve işletim giderleri düşüktür.
- Personel ve organizasyon kolaylığı sağlamaktadırlar.

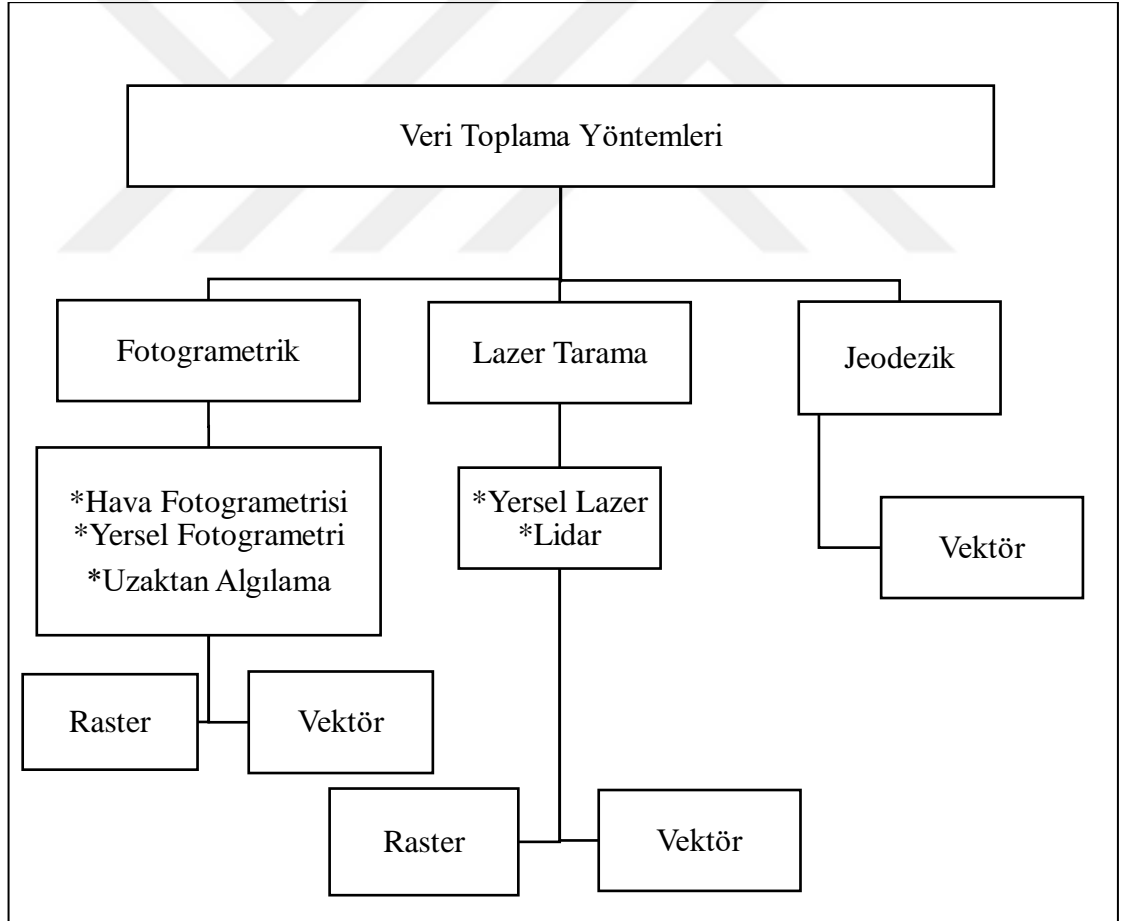
İHA'lar ile uçuş yapılmadan önce bazı kriterler göz önüne alınmalıdır. Bunlardan bazıları;

- Proje amacı, bütçesi ve süresi
- Meteorolojik koşullar
- Arazi koşulları
- Uçuş yapılacak ülkenin sivil havacılık mevzuatı
- Hedeflenen hassasiyet ile doğruluk değerleri

olarak sıralanabilmektedir. Tüm bu kriterler çalışma öncesi detaylı tasarlandığında maksimum düzeyde çalışma verimi elde edilebilmektedir. Bununla birlikte İHA kullanımında çeşitli sınırlamaların da mevcut olduğu göz önüne alınmalıdır. Kapanan bölgeler (Doğal ya da yapay olarak), elverişsiz hava koşulları (Yağmurlu, toz bulutlu, şiddetli rüzgârlı ve puslu havalar), İHA'ların taşıyabileceği yükün limitli olması ve uçuş yapacak pilotun sertifikaya sahip olması ve gerekli izinlerin alınmış olması bu sınırlandırmalardan bazılarıdır.

3. 3B MODELLEMEDE VERİ ÜRETİMİ

3B bir model üretilirken sayısal olarak verilerin toplanması gerekmektedir. 3B kent modeli ya da bina modeli fark etmeksizin 3B model çalışmalarında en fazla zaman, emek ve para sayısal verilerin toplanması sırasında harcanmaktadır. 3B modelleme genel olarak fotogrametrik ve jeodezik çalışmaları da içeren ölçüm, klasik yöneltme, değerlendirme ve de son olarak çizim aşamalarından meydana gelmektedir (Ergun, 2010). 3B modellemede veri toplama, fotogrametrik, lazer tarama ya da jeodezik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Fotogrametrik yöntemler, hava ve yersel fotogrametrik ya da uzaktan algılama yöntemlerini; lazer tarama, yersel lazer ya da lidar, jeodezik yöntemler ise vektörü içermektedir. Veri toplama yöntemleri ve alt başlıkları şematik olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir [32].



Şekil 3.1: 3B veri toplama yöntemlerinin şematik gösterimi.

Mekansal veriler vektör ve raster olarak iki temel formattadır. Vektör formatın çizgi, poligon ve nokta gibi yapıtaşları vardır. Raster formatta ise görüntü en küçük birim olan grid hücrelerden oluşmaktadır [33][32].

Raster veri 3B kent veya bina modellemesinde gerçekçi bir model oluşturabilmek adına görüntü olarak doku kaplamasında kullanılmaktadır. Nokta bulutu verisi nokta koordinatlarının baz alındığı nokta bulutu olarak isimlendirilen lazer tarayıcı tarafından oluşturulan veriler olup vektör veri yapısındadır. Raster veriler ise genellikle görüntü tabanlı veridir. Vektör veriler ölçüm ile oluşturulan çizgisel verilerdir [32].

3B modellemede bu üç veri aynı anda kullanılabilir. Modelin oluşturulup saklanması vektör veri ile mümkün olurken, modelin görselleştirilmesinde gerçekçilik katmada ve kaplamada raster veriden yararlanılmaktadır. 3B modelin tamamında kullanılan tüm verilerde yükseklik bir öznelik olup üçüncü boyut bilgisi mevcuttur.

3.1. Fotogrametrik Veri Toplama Yöntemleri

Fotogrametrik yöntemler, hava fotogrametrisi, yersel fotogrametri ve uzaktan algılama olarak sıralanabilmektedir. Tüm bu yöntemler alt bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.1. Hava Fotogrametrisi

Fotogrametrinin ilk örnekleri yersel fotogrametri ile oluşturulmuştur fakat bu yöntem zamanla yerini daha avantajlı bir yöntem olan hava fotogrametrisine bırakmıştır. Hava fotogrametrisi ile geniş alanların haritalanması daha ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleşebilmektedir. Hava fotogrametrisi gökyüzünde belirli bir yükseklikten uçan hava araçları yardımıyla elde edilen fotoğrafların kullanıldığı tekniktir. Arazide belirlenmiş yer kontrol noktaları ile fotoğraf koordinatları arasındaki ilişki demet dengelemesi (ışın demetlerinin dengelenmesi) ile sağlanmaktadır. Hava fotogrametrisi ile ayrıca ofis çalışması sonrası gerekli düzeltmeler yapılarak ürün olarak ortofoto, 3B Model, Nokta Bulutu, Dem veya katı model alınmaktadır [34].

3.1.2. Yersel Fotogrametri

Fotogrametride ilk örnekler yersel fotogrametri ile verilmiştir. Fotoğrafın bulunmasından sonra Meydenbauer 1858 yılında fotoğrafın nesnel olarak içeriğini ölçme tekniği ile birleştirerek, yıkılmış bir kilisenin onarımını yapmıştır [35]. Fotogrametrinin topografik olmayan alanlarında yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Yersel fotogrametrinin uygulanabilmesi için arazinin açık ve yeterince yükseklik farkının olması gerekmektedir. Yersel fotogrametri, fotoğraf çekimi, yönlentmelerin belirlenmesi ve de fotoğrafların üzerinde belirlenen koordinatların 3B cisim koordinatlarının hesaplanması olarak 3 ana işlemde oluşmaktadır.

Yersel fotogrametri kameranın hareketine ve de fotogrametrik yöntemde konu olan cismin durumuna göre statik, yarı statik ve dinamik olarak türlere ayrılmaktadır:

- Statik fotogrametri ile duran cisimlerin fotoğrafları,
- Yarı statik fotogrametri ile hareket eden kameralarla duran cisimlerin fotoğrafları,
- Dinamik fotogrametri ile hareket eden kameralarla hareket eden cisimlerin fotoğrafları

incelenmektedir. Yersel fotogrametride büyük alanların haritalarının üretimi için çok fazla yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulduğundan, üretim zamanı ve maliyeti artmaktadır. Öte yandan, yersel fotogrametri arkeoloji, madencilik, mimarlık, endüstri, su yapıları, deformasyon ölçümleri, tıp, taşıt yollarının inşası, veterinerlik, coğrafi bilgi sistemleri, kriminoloji ve trafik kazaları gibi alanlar başta olmak üzere çeşitli alanlarda halen aktif olarak uygulanmaktadır [36].

3.1.3. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama atmosfere ya da uzaydaki belirli alanlara yerleştirilmiş olan ölçüm aletleri ile yeryüzünden bilgi alma tekniğidir. Uzaktan algılama görüntüsü spektral, zamansal, mekânsal ve radyometrik çözünürlük olmak üzere 4 ana çözünürlükten oluşmaktadır. Uzaktan algılama görüntülerinin analizinde görsel analiz ve sayısal görüntü işleme olmak üzere iki yol kullanılmaktadır.

- Görsel analiz: Yüksek çözünürlükte insan beyninin en iyi yorumlayıcı olması avantajken, tüm spektral özellikleri yorumlamanın mümkün olmaması, eğitim zaman ve maliyet yükü getirmesi de dezavantajdır [32].
- Sayısal görüntü işleme: Spektral karakterlerin çoğunluğunun yorumlanabilmesi, hızlı işlem ve analiz sağlayabilmesi avantajken, uygun yazılımlara erişim zorluğu, kodlama ve de algoritma geliştirme gerekliliği de dezavantajlarıdır [32].

3.1.4. Lazer Tarama

Lazer tarama bir yüzeyin Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini kısa adıyla LİDAR teknolojisi ile taranması işlemidir. Lazer tarama cihazı ve taranacak olan obje arasındaki mesafe lazer ışını sayesinde belirlenebilmektedir. Lazer ışınını normal ışıktan ayıran birçok farklı özellik bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yansıma, ırsaklama, yoğunluk, tek renkli olması, uyumluluk ve yönlendirilebilir olmasıdır. Bu özellikler sayesinde objelerin boyutu ve şekli ile ilgili olan veriler elde edilip bu verilerin analizi yapılabilmektedir. Lazer tarayıcıların içerisindeki tarama mekanizması olarak adlandırılan optik aynaların lazer ışınını düşey ve yatay olarak yönlendirmesi ile nesnenin taraması gerçekleştirilmektedir. Lazer tarayıcının teknik bilgilerinde bulunan görüş açısı, lazer ışınını düşey ve yatay doğrultuda saptırabilme kapasitesini ifade etmektedir. Herhangi bir nesnenin 3B modelini elde edebilmek için birden çok tarama istasyonu farklı görüş açıları ile kullanılmalıdır. Lazer tarama ile elde edilen sonuç ürün nokta bulutudur. Bu nokta bulutu ölçüm mesafesi ile orantılı olan milyonlarla ifade edilebilecek nokta sayısıdır. Nokta bulutu verisi içerisinde bulunan bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Yoğunluk (intensity) bilgisi,
- Konum bilgisi,
- Red, Green, Blue (RGB) değerleri,
- Yansıma sayısı,
- Tarama açısı,
- Yansıma boyu, vb.

LİDAR sistemleri aktif sistemler olmalarından dolayı gün ışığına bağımlı olmadan, ihtiyaç halinde gece de kullanılabilirler [37]. Lazer tarama kullanımının en önemli avantajlarından biri de kısa bir sürede yüksek doğruluk içeren yoğun nokta konum bilgisi içermesidir. Lazer tarama ile toplanan veriler, birçok uygulamada yer alan sayısal iki boyuttan oluşan çizimlerde ve 3B model oluşumunda kullanılabilir [38] [39].

3.1.5. Lazer Tarayıcıların Gelişimi

Lazer tarama tarihi Arthur Schawlow ve Charles Townes tarafından 1958 yılında uzun yol alan, yönlendirilebilen yoğunluğu oldukça fazla olan monokromatik radyasyonun potansiyel varlığının ortaya konması ile gelişime başlamıştır. 1966 yılında ilk lazerle mesafe ölçen alet, 1971 yılında ise ilk hizalama yapabilen alet satışa sunulmuştur. Çağımızda lazer ölçme aletleri üç kategoride geniş bir kullanım alanına sahip olup bu üç kategori döner ışın demeti, sabit ışın demeti ve mesafe ölçerler olarak sıralanabilmektedir [38] [39].

3.1.6. Lazer Tarayıcılarda Mesafe Ölçme Yöntemi

Bir nesnenin yüzeyini 3B olarak ölçebilmek için üç ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

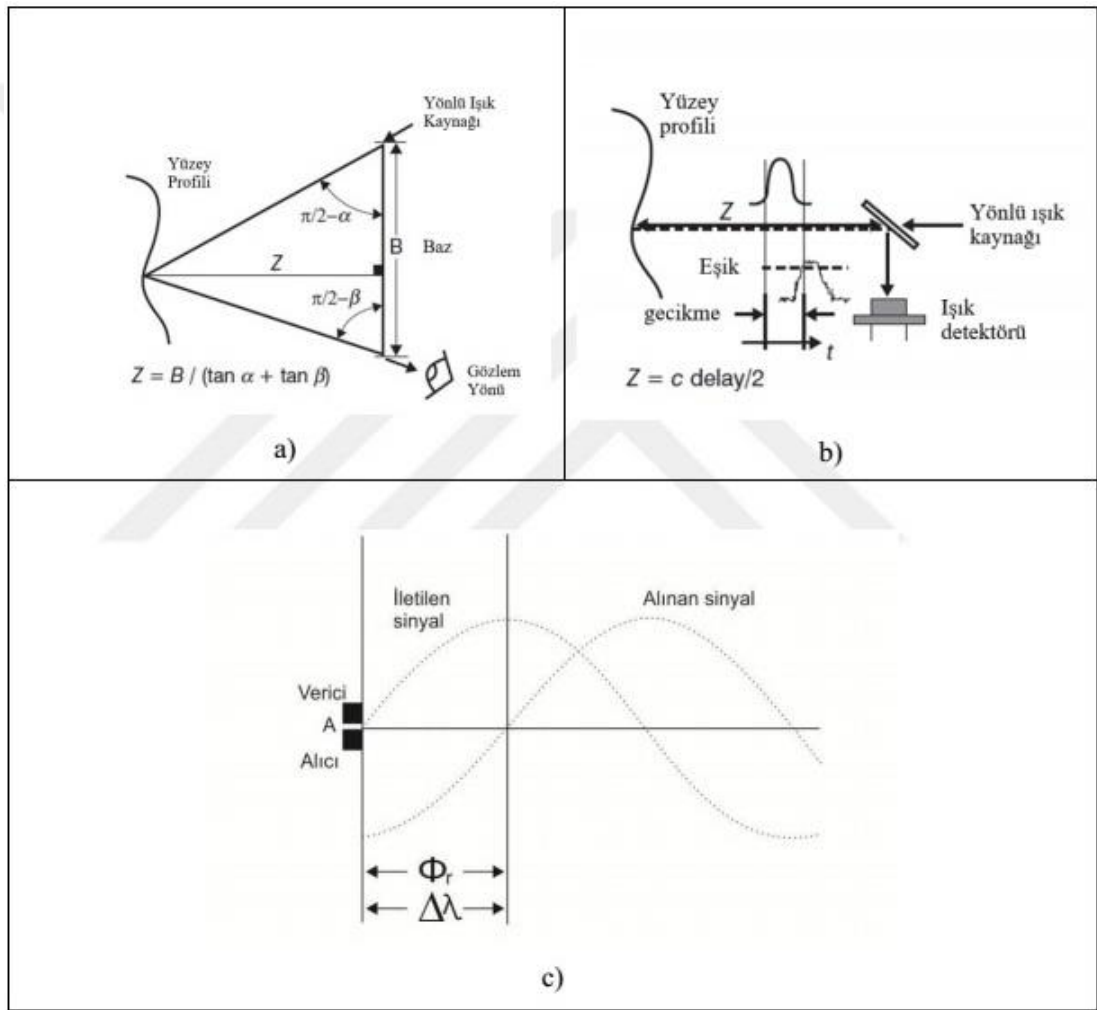
- Uçuş zamanlı,
- Faz karşılaştırma,
- Üçgenleme yöntemleridir.

Uçuş zamanlı uzaklık ölçüm yöntemi ile nesne üzerindeki yüzeyden yansıyan lazer ışının gidiş ve dönüş süresine göre ölçüm yapılmaktadır. Bu yöntemde, lazer ışının nesne yüzeyine çaptığı ve geri döndüğü hızı belirlemek ana esas olmakla beraber bu yöntem aynı zamanda hava, uydu ve yersel platformlarda çok uzun mesafeleri ölçmek için de aktif olarak kullanılmaktadır.

Faz karşılaştırma yönteminde birden çok lazer ışının faz farkından yararlanarak genlik modülasyonuna göre ölçüm yapılmaktadır. Faz karşılaştırma yöntemi de dolaylı uçuş zamanlı mesafe ölçüm tekniğidir. Bu yöntem ile lazer cihazı tek sinyal yerine

devamlı lazer ışını göndermektedir. Bu yöntem ile lazer ışınının aralık değeri iletilen ve alınan sinüzoidal dalga modelin çeşidine göre karşılaştırmalı şekilde elde edilmekte ve böylece aralarındaki faz farklı ölçülmektedir.

Üçgenleme yönteminde lazer ışını kosinüs teoremine göre belirli bir açı ile iletilmektedir. Yansıyan bu ışın alıcıya tekrar geri geldiğinde mesafe hesaplanmaktadır. Üçgenleme yöntemi aktif ve pasif yöntem olarak ayrılmaktadır. Aktif üçgenleme yönteminde ışık kaynağı olan ve yansıyan ışığı alan iki sensör mevcuttur. Pasif üçgenleme yönteminde ise uzaklığı bulunacak olan nesne üzerinde iki tane sensör tarafından gözlem yapılmaktadır [40].



Şekil 3.2: a) Aktif Üçgenleme Yöntemi b) Uçuş Zamanlı Yöntem c) Faz Karşılaştırma Yöntemi.

3.1.7. Lazer Tarama Yöntemleri

Lazer ışınına yönelik araştırmalar 1960 yılından beri süregelenmektedir. 1990'lı yıllarda elektronik takeometrelerde (totalstation) lazer ışınları kullanılmaya başlanmıştır. Taranan alanın büyüklüğüne, ekipman maliyetine, istenilen ölçüm aralığına göre farklı alanlarda farklı veriler kullanılması gerektiğinden özelliklerine göre farklı türde tarayıcılar kullanılmaktadır[40]. Bu tarayıcılar yersel lazer tarama ve hava lazer tarama sistemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.1.7.1. Hava Lazer Tarama

Hava lazer taramada LİDAR sistemi uçak ya da İHA'lara monte edilmiş lazer tarayıcı ile yeryüzünü 3B nokta bulutu şeklinde betimleyen yöntemdir. Bu yöntem sayısal hava fotogrametrisine alternatif olarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında, yüksek çözünürlüklü nokta sıklığı ile yüksek doğrulukla ve zorlu arazi şartlarında kısa sürede veri elde edilmesinde kullanılmaktadır. Fotogrametriye göre en büyük avantajı nokta bulutu verisinden bitki örtüsü yansımalarını filtre edilerek, sit alanı, yol ve nehir gibi coğrafi yapıları temsil edecek şekilde yüzeyin sayısal modelinin oluşturulması sayılabilmektedir. Hava LİDAR'ı ile yüksek irtifada yapılan uçuşlarda elde edilen verilerin doğruluğunda ve nokta yoğunluğunda bir azalma gerçekleşmektedir. Hava LİDAR'ı batimetrik modellerin yaratılması için sığ sularda kullanılmaktadır [41].

Hava LİDAR'ı fotogrametri ve haritacılıkta yükseklik bilgisinin elde edilmesinde alternatif yöntem haline dönüşen ve gittikçe önem kazanan bir aktif uzaktan algılama teknolojisidir. Bu teknoloji ile yeryüzünün, binaların ve bitki ağaç yüksekliklerinin doğru bir şekilde ölçümü gerçekleştirilebilmektedir.

Hava lazer tarama sisteminde kinematik GPS ve IMU mevcuttur. Böylece bu sistem geçmişten günümüze hızla gelişmiş olup bu sistemler ile gerçekleştirilen ölçümlerin gerek düşey gerekse yatay doğrulukları fotogrametrik yöntemleri yakalamıştır.

3.1.7.2. Yersel Lazer Tarama

Kiliseler, saraylar, kaleler gibi tarihi mirası oluşturan yapıların detaylı durumunun incelenmesi, hasar durumunun değerlendirilip restorasyonun gerçekleştirilmesi ve de gelecek nesillere bu tarihi ve kültürel mirası aktarabilmek için muhafaza edilebilmesi için gereken belgelendirme yersel lazer tarama sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Kültür mirası olan tarihi yapıların yersel lazer tarama sistemleri ile 3B modellenmesi yapılarak internet aracılığıyla dünyadaki tüm insanlara sanal tur ile ziyaret edilebilme olanağı sunulmaktadır [42].

3B modeli oluşturulan nesne hakkındaki geometrik ve görsel bilgiye daha az maliyetle ve hızlı bir şekilde ulaşmak lazer tarama teknolojisi ile gerçekleştirilmektedir. Klasik jeodezik ölçüm yöntemlerinde tek tek nokta ölçümleri gerçekleştirildiğinden ölçüm işlemi daha uzun sürelerde gerçekleştirilmektedir. Özellikle kültürel ve tarihsel mirası belgelemede ve mimari ölçümlerde kullanılan dijital fotoğrafçılık yönteminin de yersel lazer tarama yöntemine göre eksiklikleri mevcuttur. Bu eksikliklerden biri yeterli olmayan aydınlatma ve toz gibi çok elverişsiz koşulların olduğu dış ortamlarda dijital fotoğrafçılığın elverişsiz olmasıdır. Bir diğeri ise modelin analiz edilmesinde kullanılacak olan resim işleme ve yönlendirme tekniklerinden dolayı datadan bilgi elde edilmesinin uzun sürede gerçekleşmesidir [42].

Yersel lazer tarayıcılar;

- Tarama ünitesi (tarayıcı),
- Kontrol ünitesi,
- Güç kaynağı,
- Tripod ve Sehpa

olarak sıralanabilmektedir [42]. Yersel lazer tarama sistemine örnek Şekil 3.3'te verilmiştir [43].



Şekil 3.3: MENSİ GS 100 Yersel Lazer Tarama Sistemi.

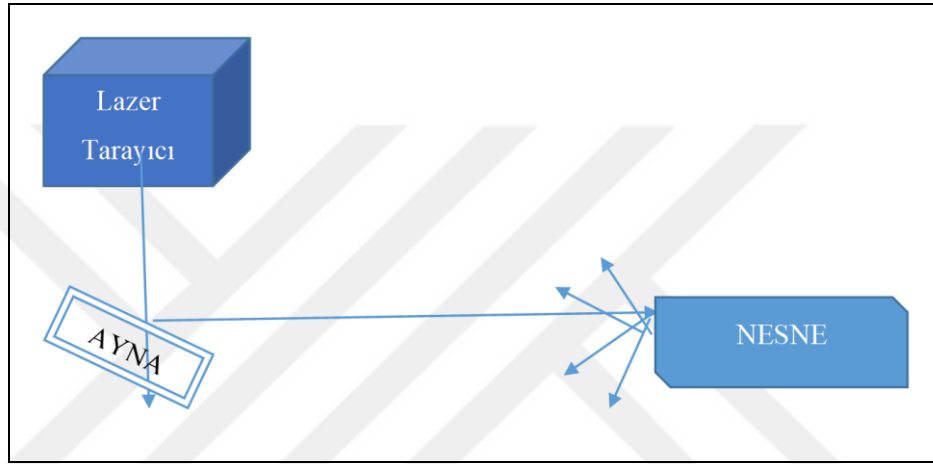
Yersel lazer tarayıcılara motorize total istasyon da denilebilmektedir. Lazer tarayıcılar ile taraması gerçekleşen nesnenin yüzey verisi 3B koordinat olarak elde edilmektedir. Tarama işlemi ile binlerce noktanın x, y, z koordinatlarına saniye gibi kısa sürede sistematik ve otomatik şekilde ulaşmak mümkündür. Yersel lazer tarama yöntemiyle yüksek yoğunluklu noktalar kümesi nokta bulutu şeklinde toplanmakta ve bu nokta bulutu tarama programında tarama işlemi ile aynı zamanda görüntülenebilmektedir [42, 44].

Yersel lazer Tarayıcıları klasik ölçüm tekniklerinden ayıran birçok özellik bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı;

- 3B nesne geometrisini hızlı bir şekilde direkt ve detaylı yakalaması,
- mali açıdan giderlerinin düşük olması,
- kısa proje tamamlama süresi,
- tarama işleminin ışığa bağımlı olmaması,
- taramanın kapsamlı bir şekilde eksiksiz yapılması ve
- elde edilen verinin doğruluğunun güvenilir olması

olarak sıralanabilmektedir. Yersel lazer tarayıcıların 3 farklı çalışma ilkesi mevcuttur.

- i. Bir lazer ışının geliş-gidiş zamanıyla işlem yapan lazer tarayıcılar: Total istasyonların çalışma prensibidir. Lazer ışını objeye gönderilmektedir. Gönderici ile objenin yüzeyi arasındaki mesafe, sinyalin iletimi ve alımı arasındaki zaman ile ölçülmektedir. Bu sistemin çalışma prensibi Şekil 3.4'te şematik olarak gösterilmiştir. Tarayıcılar uzunluk hesaplamaları için basit algoritmalardan ve lazer ışınının açısal sapması için küçük dönüş aletlerinden yararlanmaktadır. Uzunluk ölçümlerin standart sapmaları birkaç milim olup, 3B doğruluk ışının açısal noktalama doğrulundan etkilenmektedir [42, 45].

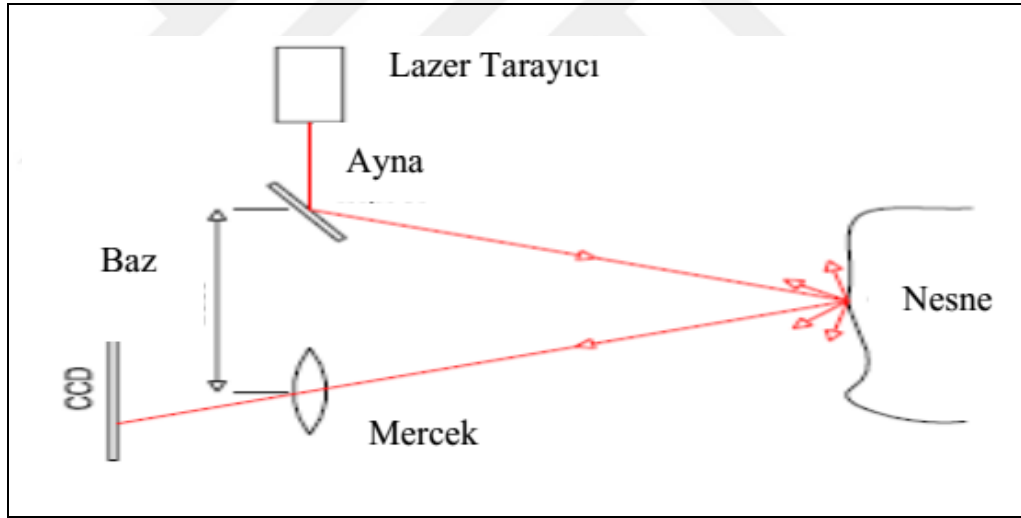


Şekil 3.4: Uçuş zamanı prensibi.

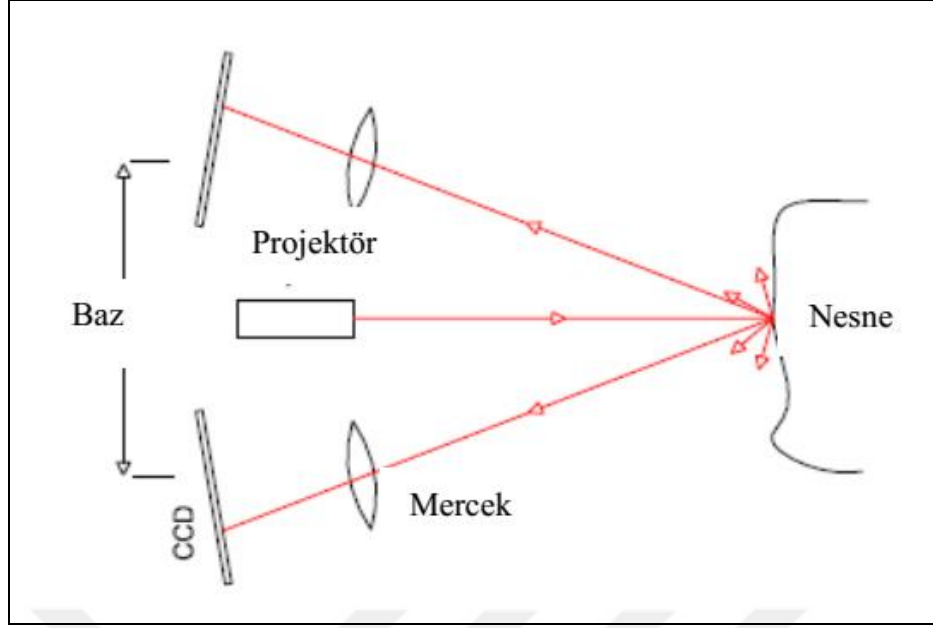
- ii. Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar: Bu metot da total istasyonlardan bilinmektedir. Mesafe iletilen ve alınan dalgalar arasından oluşan faz farkı ile hesaplanmaktadır. Daha karışık sinyal analizi sebebiyle çıkan sonuçlar daha doğru olmaktadır. Faz karşılaştırma yöntemini kullanan tarayıcılar kısa mesafelerde daha etkilidir [42, 45].
- iii. Triangulasyon metoduyla işlem yapanlar: Bu sistemler, tek kamera ve iki kamera çözümü olarak ikiye ayrılmaktadır:
- Tek kamera çözümü: Bu tarayıcı objeye lazer noktalarını algılayan CCD kamerası ile artan ve değişen açılarla lazer ışını göndermektedir. Bu tarayıcının çalışma prensibi Şekil 3.5'te verilmiştir. Tarayıcı basit ışın yayma düzeneğinden oluşmaktadır. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3B konumları sonuç üçgeni ile elde edilmektedir. Tek kamera çözümü menzil buluculardan

yararlanıldığı araştırmada önceliğe sahiptir. Bu sebepten tarayıcı ve obje arasındaki mesafenin doğruluğu uzunluk alanıyla beraber ifade edilmektedir. Tek kamera çözümünü kullanan tarayıcılar özellikle doğruluğunun yüksek olması istenilen hassas çalışmalarda ufak nesnelere ile kısa mesafelerde önemli bir rol oynamaktadır [42].

İki Kamera Çözümü: İki Charge-coupled device (CCD) kamera kullanılmaktadır. Bu sistemin çalışma prensibi Şekil 3.6'da şematik olarak sunulmuştur. Hiçbir ölçme fonksiyonu olmadan ayrı bir ışık projektörü ile incelenecek bölge veya nokta üretilmektedir. Geometrik çözüm olarak aynı doğruluk sonuçlarını veren tek kamera çözümü ile aynıdır. Projeksiyon, hareketli şerit bölümlerinin ışık çizgisinden ulaşmaktadır. Çift kamera kullanan aletlerin hepsi gerçek zamanlı 3B koordinat üretmemektedirler. Fakat yüksek nokta oranları ve gerçek zaman süreci sağlanırsa, yukarıda belirtilen diğer tarama cihazlarına bir alternatif olabilmektedirler [42].



Şekil 3.5: Triangulasyon prensibi: Tek kamera çözümü.



Şekil 3.6: Triangulasyon prensibi: Çift kamera çözümü.

4. 3B MODELLEMEDE AYRINTI DÜZEYİ KAVRAMI

3B binalarda ölçek, ayrıntı düzeyleri olan LOD (Level of Detail) kavramıyla ifade edilmektedir. 2B haritalarda belirli ölçeklerde standart olarak belirlenmiş ayrıntı düzeyleri mevcutken, 3B binalar için bu şekilde kabul edilmiş bir standart ayrıntı düzeyinden bahsedilememektedir. LOD seviyesindeki ayrıntı düzeyleri ile 3B şehir modellemede kullanılacak olan verilerin kullanımında ve elde edilmesinde maliyetlerin en az indirilmesine katkı sağlamaktadır.

4.1. CITYGML Standartı

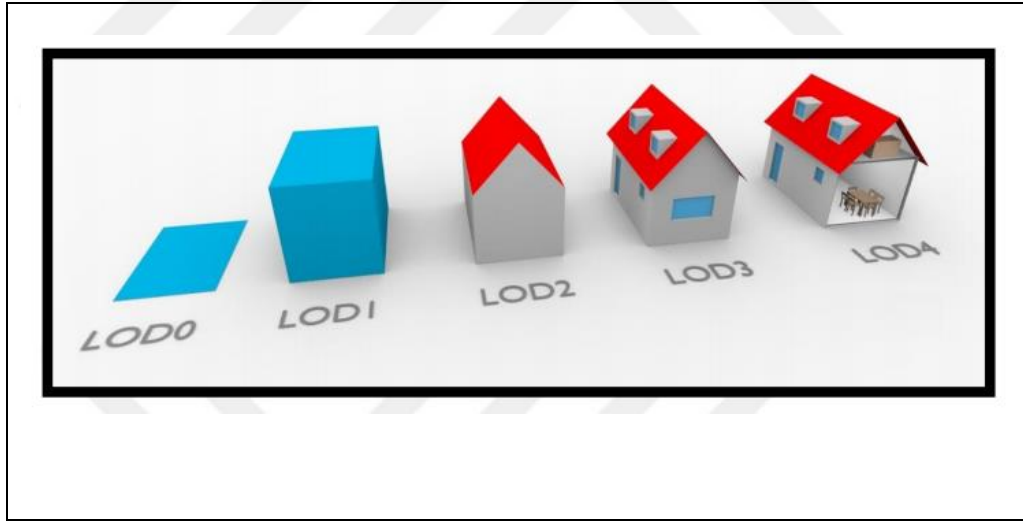
CityGML 3B şehir modellerinin sanal olarak depolanması için kullanılan XML tabanlı ücretsiz bir şekilde yararlanılabilen açık veri modelidir. CityGML ile 3B şehir modeli içindeki ilişkiler, temel varlıklar ve özniteliklere yönelik ortak bir anlayış ve tanıma ulaşımları amaçlanmaktadır. CityGML mekânsal veri alışverişi için OGC ve ISO TC211 tarafından yayımlanan genişletilebilen uluslararası standarttır [46]. CityGML OGC standartlarına göre binanın dış yüzeyleri, kapı ve pencere gibi açıklıklarını, masa ve sandalye gibi iç mekândaki eşyalarını ve bunlara benzer binanın farklı bileşenlerini değişen ayrıntı düzeylerinde modellenmesini ve gösterilmesini sağlayan modelleme aracıdır. CityGML ile 3B şehir modelleri için aşağıdaki veri standartları geliştirilmiştir:

- 3B bina modellerinde kullanılacak olan ayrıntı düzeylerinde CityGML dilinin kullanılması
- Mimari 3B bina modellerinde 3D-Studio VRLM (Virtual Reality Modeling Language) dosya formatının kullanılması
- Topoloji (Bina sınırları arasında bulunan geometrik ilişki) içeren verilerde ESRI shape dosya formatının kullanılması
- 2B bina ve parsel sınırları ile bina yükseklik bilgilerinin bulunduğu CBS verilerinde ESRI shape dosya formatının kullanılması gerekmektedir.

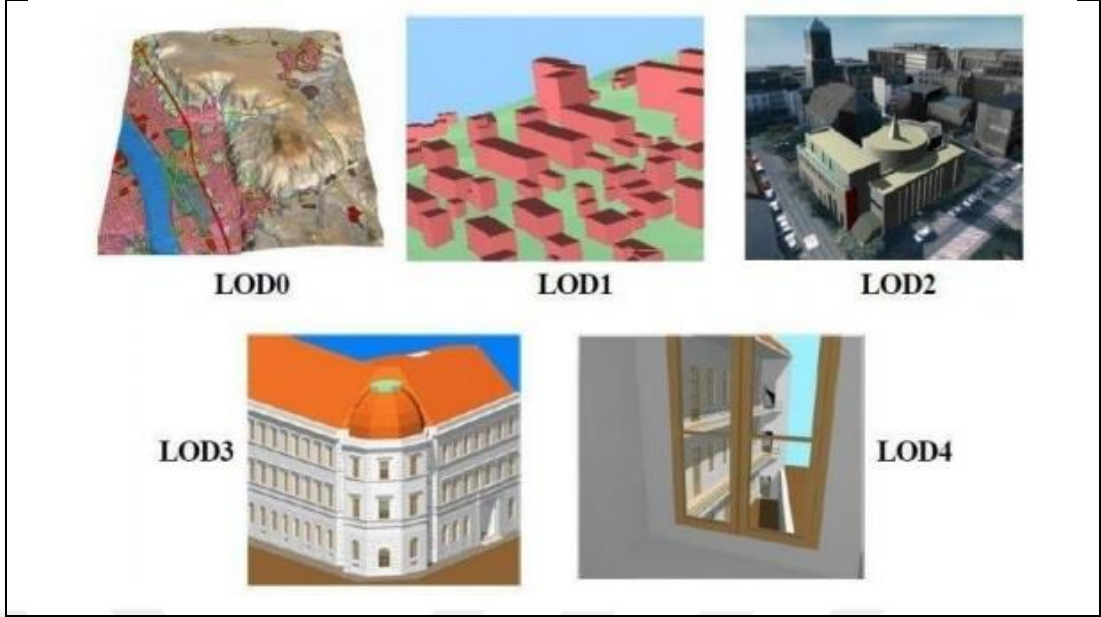
Semantik, coğrafi referanslama ve web kullanımı desteği sebebiyle büyük ölçekte CityGML standartı mekânsal veri altyapısı çalışmalarında tercihen

kullanılmaktadır. CityGML veri modeli şehir yaşamındaki kavramların ve nesnelerin temsillerinde ve veri değişimlerinde kullanılması amacıyla tasarlanmıştır [47]. CityGML topoloji ile geometriyi temsil etmek amacıyla coğrafya işaretleme dili (GML) tarafından sağlanan standart bir model kullanmaktadır. Bu şekilde veri bütünleştirilmesi geometrik gösterim düzeyinde kolaylaşmaktadır. CityGML detayları tanımlayabilmek için GML mekanizmalarını kullanmaktadır. Bundan dolayı CityGML GML uygulama şeması olarak adlandırılmaktadır. Mekânsal veri düzenlenmesi ve verilerin değişimi coğrafi web servisleri aracılığıyla daha da önemli olacağından CityGML mekânsal veri altyapı kavramına çok iyi şekilde uymaktadır [47].

CityGML dili LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 ve LOD4 olmak üzere objenin farklı çözünürlükteki görünüşlerini baz alarak beş farklı ayrıntı düzeyi ile nesnelerin gösterimi ve görselleştirilmesine bir standart getirmek için geliştirilmiştir. CityGML'deki ayrıntı düzeyleri Şekil 4.1'de ve her düzey için örnek gösterim Şekil 4.2'de gösterilmiştir [48][49].



Şekil 4.1: CityGML'deki ayrıntı düzeyleri.



Şekil 4.2: CityGML standartlarına göre 3B kent modellenmesinde 5 gösterim seviyesi.

Gröger ve arkadaşları CityGML standartının ayrıntı düzeylerini 2007 yılında Tablo 4.1' deki gibi özetlemişlerdir [50, 51].

Tablo 4.1: CityGML standartının ayrıntı düzeylerinin detaylı özeti.

	LOD0	LOD1	LOD2	38	LOD4
Modellin Kullanıldığı Alan	Bölge, İl	Kent, Şehir	İlçe, Mahalle	Mimari Modeller (Bina Dışı)	Mimari Modeller (Bina İçi)
Model Çözünürlük Düzeyi	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Mutlak 3B Nokta Doğruluğu (konum/yükseklik)	Lod1'den daha düşük	5m/ 5m	2m/ 2m	0.5m/ 0.5m	0.2m/ 0.2m
Genelleştirme (konum/yükseklik)	Yoğun Genelleştirme	Genelleştirilmiş Nesne Blokları; >6mx6m/3m	Genelleştirilmiş Nesnelere >4mx4m/2m	Gerçek Boyutlu Nesnelere >2mx2m/1m	Yapı Elemanları
Yapı Donatıları	-	-	-	Dış Elemanların Gösterimi	İç Elemanların Gösterimi
Çatı Şekilleri	-	Düz	Basit Yapıda	Basit Yapıda	Gerçek Görünümde
Saçaklar	-	-	Henüz Yok	Henüz Yok	Var
Dış mekan nesnelere	-	Önemli Nesnelere	Prototipler	Prototipler	Gerçek Görünümde
Ağaçlar, Büyük Bitkiler	-	Önemli Nesnelere	Prototipler (6m'den yüksek)	Prototipler (2m'den yüksek)	Prototip, Gerçek Görünümde
Bitki Örtüsü	-	>50mx50m	>5mx5m	>LOD2	>LOD2

LOD0 seviyesi ayrıntı düzeyinin en az olduğu düzey olmakla beraber sadece 3B sayısal arazi modelinden oluşmaktadır. Oluşturacak 3B model alanına ait sayısal yükseklik modeli (SYM) harita veya hava fotoğrafı ile ilişkilendirilmektedir. Bu seviyede binalar 3B olarak gösterilemediği için şehir modeli 2.5B, arazi modeli ise

3B'dir. SYM üretimi; hava fotoğrafları, takeometrik ölçümler, hâlihazır haritalar, LIDAR verisi ve stereo uydu görüntüleri kullanılarak üretilmektedir [32].

LOD1 seviyesi, özellikle halihazır haritalar aracılığıyla elde edilen bina verileri yardımıyla oluşturulan katı modelin LOD0 seviyesine eklenmesiyle elde edilmektedir. LOD1 seviyesi, yersel lazer tarama ve hava LİDAR verisi ile elde edilebildiği gibi; ayrıca uydu görüntülerinin sınıflandırılıp sayısallaştırılması ile de elde edilebilmektedir. Özellikle halihazır haritalar ile bina verisi elde edilmektedir [51].

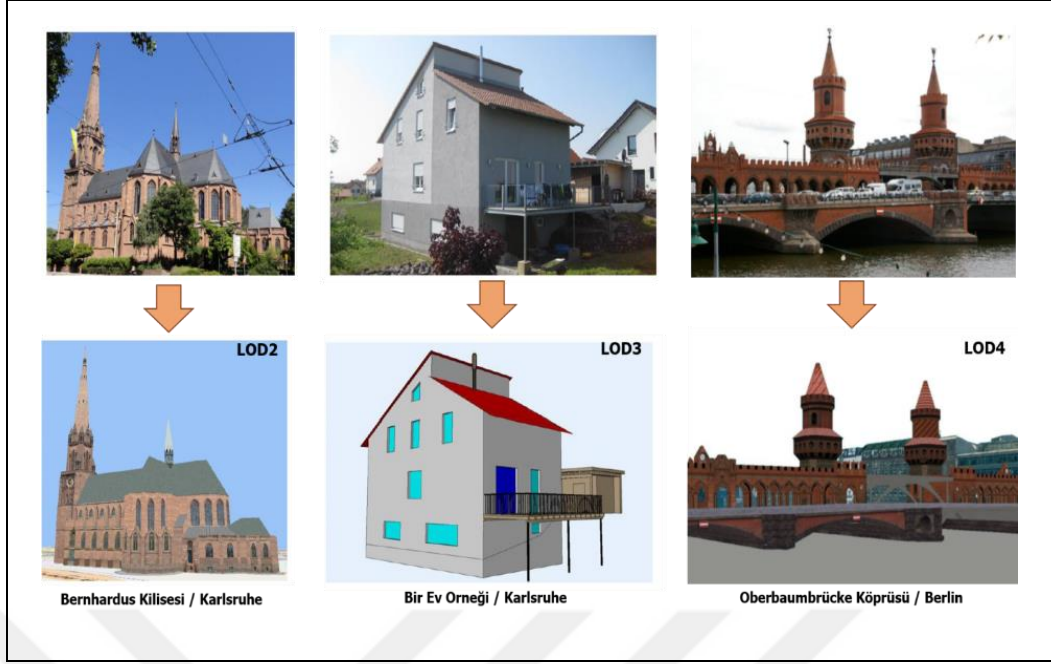
LOD2 seviyesi, LOD1 seviyesindeki verilere çatı detayları eklenerek oluşturulmaktadır. Çatı detayları LİDAR verisi, stereo uydu görüntüleri, klasik ölçümler kullanılarak oluşturulmaktadır.

- Fotogrametri (Stereo Görüntüler): Görüntü çiftlerinin bindirilmesi ile elde edilen stereo çiftler program vasıtasıyla 3B çizimde çatı detaylarında kullanılmaktadır.
- Klasik ölçümler: Çatı detayları ölçülmekte ve bina köşe noktalarından çakıştırılarak elde edilmektedir.
- LİDAR verisi: LİDAR teknoloji ile nokta bulutu olarak elde edilen çatı detayları üzerinden gerekli çizimler gerçekleştirilmektedir.

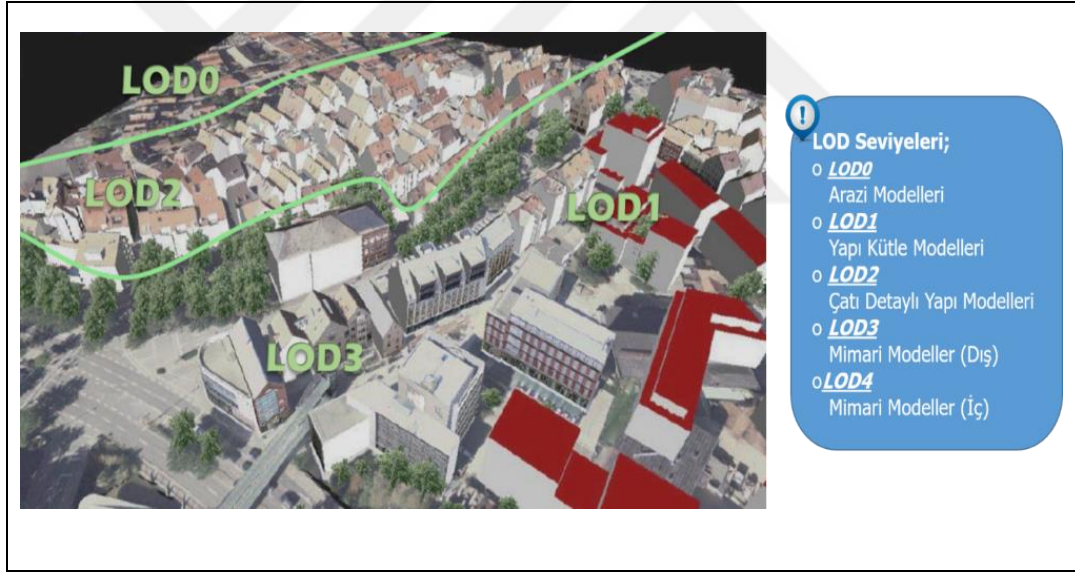
LOD3 seviyesi, bina dış cephelerinin LOD2 seviyesindeki verilere eklenmesiyle oluşmaktadır. Bina dış cepheleri yersel lazer tarama ve fotoğraflama tekniği kullanılarak oluşturulmaktadır.

- Fotoğraflama Tekniği: Binaların dış fotoğrafları çekilmektedir. Çekilen bu fotoğraflar programlar vasıtasıyla binalara giydirilmektedir. Fotoğraflama tekniği ayrıca yersel lazer tarama tekniği kullanma imkânı bulunmayan alanlarda kullanılmaktadır.
- Yersel Lazer Tarama Tekniği: Bina dış cepheleri yersel lazer tarama cihazı ile taranıp nokta bulutu oluşturulmaktadır. Bu nokta bulutu üzerinden çizimler yapılarak binaların dış yüzeyleri elde edilmektedir [32].

Farklı LOD seviyeleri için model örnekleri Şekil 4.3 ve 'te gösterilmiştir [66].



Şekil 4.3: Farklı LOD seviyelerinde örnekler.



Şekil 4.4: Farklı LOD seviyelerini bir arada bulunduran 3B harita.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YERİ

Gelişen teknoloji ile Lazer tarama (LIDAR) ve İnsansız Hava Araçları (İHA) ile görüntüleme ve veri işleme teknolojileri oldukça ilerlemiştir. Dünya kültürel mirasın belgelenmesi, korunması ve restorasyonu için LIDAR ve İHA sistemleri önemli rol oynamaktadır. Bu sistemler ile kültürel mirasın yapı taşı olan tarihi yapıların 3B modelleri kolaylıkla elde edilmekte ve bu modeller sayesinde tarihi yapıların dijital hafızası oluşturulmaktadır. Son yıllarda bu kapsamda birçok çalışma yapılmış olup bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Azim Metin 2016 yılında yaptığı çalışma ile Konya İlinde bulunan İnce Minareli Medrese'nin yersel lazer tarayıcı kullanarak üç boyutlu modelini ve kent modellerinde ayrıntı düzeyi kavramı ile LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 ve LOD4 seviyesinde modellerini oluşturmuştur. Çalışmada 37 adet yapılan yersel tarayıcı oturumları Scene programı vasıtasıyla birleştirilmiş ve model oluşturulmuştur. Ayrıca Autocad programı ile yersel lazer tarayıcıdan elde edilen 3B nokta bulutu verisinden İnce Minareli Medrese'nin cephe çizimleri gerçekleştirilmiştir. Farklı LOD seviyelerinde katı modeller ise 3D Max programında oluşturulmuştur. [32].

Adin Adnan Rashid Beg 2018 yılında yaptığı çalışmada Konya İli Kilistra (Gökyurt) Antik Kentinde bulunan yapıların üç boyutlu modelini Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları (İHA) tekniği kullanarak oluşturmuştur. Çalışmada Kilistra Antik Kentinde yer alan Başpınar Sarnıcı, Seramik Atölyesi ve Haç Kilisesi yapılarının iç mekân ölçümleri yersel lazer tarayıcı ile dış mekân ölçümleri ise insansız hava aracı kullanılmış elde edilen veriler farklı yazılımlarla değerlendirilip eserlere ait Sayısal Yüzey Modelleri, 3B modeller ve Ortomozaik görüntüler farklı yazılımlar kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma ile farklı platformlardan elde edilen verilerin entegrasyonu amaçlanmış olup, yapılara özgü 2B çizimler gerçekleştirilerek hacim, alan çevre gibi geometrik bilgiler çıkartılmıştır [53].

Fuat Buğra İdrisoğlu 2021 yılında yaptığı çalışma ile İstanbul ili Ümraniye ilçesinde bulunan Hekimbaşı Av Köşkü'nün 3B modelini oluşturmak için İHA ve yersel fotogrametri yöntemlerinden yararlanmış olup 418 fotoğraf üzerinden Pix4D yazılımı ile 3B mesh model üretilmiş ve sonrasında oluşturulan bu mesh üzerinden çizimler yapılarak AutoCad programına aktarılmıştır. Jeodezik olarak elde edilen noktalar ve 3B mesh üzerinden elde edilen verilerle birlikte Autocad ile yapılan

çizimler neticesinde CityGML formatında Hekimbaşı Av Köşkü'nün LOD0, LOD1, LOD2 ve LOD3 seviyelerinde 3B modellerini oluşturulmuştur [54].

Azize Uyar 2017 yılında çalışma ile 3b kent modellemede genelleştirme problemleri ve ayrıntı Düzeyi (LOD) Kavramını incelemiştir. Çalışma ile CityGML formatı, Çoklu Gösterim Veritabanı Seviyeleri ve LOD kavramı detaylıca ele alınmıştır [55].

Cumhur Şahin 2011 yılında yaptığı çalışma ile İstanbul İli Beyoğlu İlçesi Taksim Cumhuriyet Meydanı örneğinde fotogrametri ve lazer tarama verileriyle bütünleşik 3B kent modeli üretimi konusunu ele almıştır. Çalışmanın uygulanmasında çekilen resimler yöneltilmiş, yersel lazer tarama ve fotogrametri tekniği ile elde edilmiş olan noktaların konum doğruluklarının karşılaştırılması amacıyla arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve arazi çalışması sonucunda 343 detay noktasının ölçüldüğü dört noktali jeodezik ağ oluşturulmuştur. Yapılan arazi çalışması sonrasında yakın resim fotogrametrisinde farklı fotoğraf çekim kameralarından elde edilmiş detay noktalarının konumsal doğrulukları sayısal metrik olmayan çekim kamerası, analog metrik resim çekim kamerası ve balıkgözü mercekli panoramik kameradan elde edilen resimlerle oluşturulan modeller karşılaştırılmıştır. Sonrasında ise 3B bina modellemede kullanılan lazer ölçme yöntemleri ile yakın resim fotogrametrisi tekniklerinin ekonomik ve görsel zenginlik karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan doğruluk karşılaştırması ile yansıtıcı özellikli binalarda yersel lazer tarama, ışığı geçiren binalarda ise yersel fotogrametri yöntemi ile katı model ve bu katı modele uygun alanlara doku kaplanarak 3 boyutlu bütünleşik model elde edilmiştir [56].

Şuheda Özdoğan 2014 yılında bina nesnelere CityGML standardına göre LoD2 ve LoD3 ayrıntı düzeylerinde üç boyutlu modellenmesini incelemiş uygulamada İstanbul iline ait mevcut 3B bina verileri, CityGML standardına uygun olarak LoD2 ve LoD3 ayrıntı düzeylerinde modellenmiştir. Çalışmada CityGML standartı incelenmiş, 3B kent modelleme ve görselleştirme yazılımı CityGRID ile dört adet örnek binanın (okul, saray, kütüphane ve müze/cami) LOD2 ve LOD3 ayrıntı düzeylerinde modellemesi gerçekleştirilmiştir.[57].

Halil İbrahim Şenol ve arkadaşları 2021 yılında İHA ve Yersel Fotogrametrik Veri Füzyonu ile Kültürel Mirasın 3 Boyutlu (3B) Modelleme Uygulaması: Kanlıdivane Örneği başlıklı çalışma ile Mersin İli Erdemli İlçesinde bulunan Kanlıdivane Antik Kenti'nin İHA ve yakın resim fotogrametrisinden yararlanılarak fotogerçekçi doku kaplaması ile 3B modeli oluşturmuştur. Çalışmada havadan çekilen

75 tane fotoğraftan 61 adet ve yersel çekilen 82 fotoğrafın 64 tanesi kullanılmış olup, bu fotoğraflara fotogrametrik değerlendirme yazılımında yöneltme işlemi yapılmıştır. Yöneltme işlemlerinden sonra hem havadan hem yerden çekilen fotoğraflardan yoğun nokta bulutu üretilmiş olup üretilen nokta bulutları Cloud Compare programı ile birleştirilmiş ve birleştirilen bu nokta bulutları Agisoft Photoscan yazılımına aktarılmıştır. Aktarım sonrası ise doku kaplaması ile yüzey giydirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarihi esere ait yüzey kaplaması gerçekleştirildikten sonra sayısal ortamda 3B model üretilmiştir. [58].

Abdurrahman Yasin Yiğit ve Ali Ulvi 2020 yılında İHA Fotogrametrisi tekniği kullanarak Yakutiye Medresesinin 3B modelini oluşturmuşlar ve fotogrametri tekniği uygulamalarında İHA'ların kullanımının avantajları ele almışlardır. Çalışmada öncelikle tarihi esere ait detay noktaları Total-Station ile ölçülmüş, daha sonra İHA ile 65 adet fotoğraf çekilmiş ve Yakutiye Medresesi'nin 3B modelini oluşturmak için veriler ContextCapture programında değerlendirilmiştir. ContextCapture programı ile gerçek dokuya ve birebir ölçüğe sahip 3B model oluşturulduktan sonra Sketchup programı ile geometrik şekiller üretilmiştir [59].

Aycan Murat Marangoz ve Mihraç Özen 2020 yılında yaptıkları Tarihi Yerleşim Alanlarının Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Batman İli, Merkez İlçesinde bulunan Zeynel Bey Türbesi'nin yersel fotogrametri teknikleri ile 3B modelini oluşturmuşlardır. Çalışmada lazer tarayıcı yardımıyla üretilen nokta bulutundan röleve ölçü krokileri ile yükseklik belirlenmiştir. 3B model yüzeyine giydirilecek olan fotoğraflar İha ve fotoğraf makinası ile elde edilmiş, yersel lazer tarayıcı ile elde edilen verilerle yersel fotogrametrik veriler Sketchup yazılımı ile birleştirilerek Zeynel Bey Türbesi'nin 3B modeli elde edilmiştir. [60].

Nizar Polat ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik olarak 3B Modellenmesi adlı çalışma ile Şanlıurfa İli Harran İlçesinde bulunan Harran antik kentindeki arkeolojik buluntular fotogrametrik yöntemlerle 3B olarak modellenmiştir. Çalışmada eserlerin fotoğrafları çekilmiş ve Agisoft programı kullanılarak objelerden öncelikle nokta bulutu daha sonra da 3B modeli üretilmiştir [61].

Bu çalışma ile mevcut kadastral sorunların giderilmesi ve mimari restorasyon amacıyla arşivleme ile belgeleme alanında yersel lazer tarayıcı ve İHA sistemlerinin kullanım potansiyelleri ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında başarı ile oluşturulan

3B modellerin Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nün 3B kadastro projesine katkı sağlaması ve tarihi hanlarda bulunan çalışmaya konu model yapı benzerindeki kadastral sorunların çözümünde öncü olması beklenilmektedir.

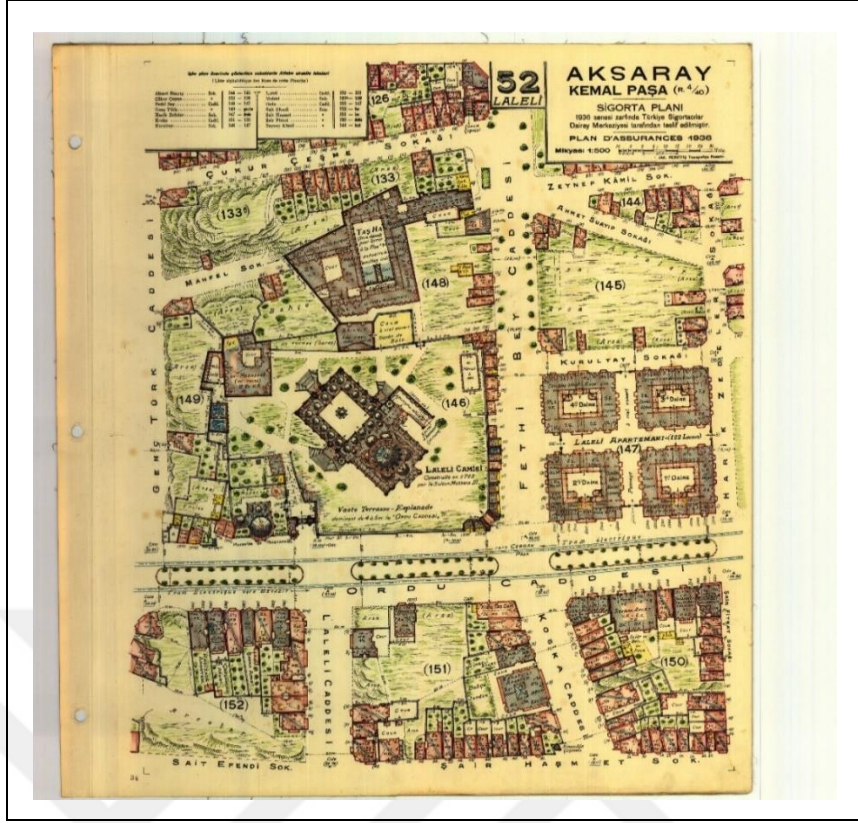


6. UYGULAMA

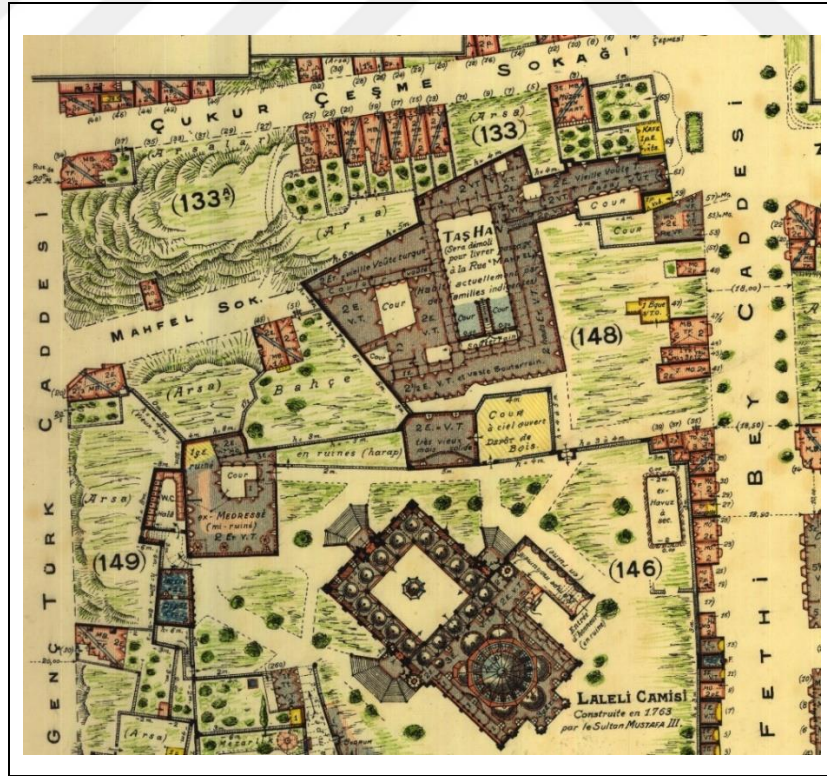
6.1. Taşhan Hakkında Genel Bilgi

Taşhan 1763 Yılında Sultan III. Mustafa tarafından İstanbul'un Laleli semtinde yaptırılmıştır. 1936 yılına ait Aksaray Kemalpaşa Mahallesi Pervititch Haritası ve Harita içerisinde Taşhan görünümü sırasıyla Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilmiştir. Taşhan'ın kitabesi bulunmadığından Laleli Caminin Vakıf kayıtlarından bu hanın caminin vakfından olduğu ve ulufelerini almak için İstanbul'a gelen Sipahilerin kalması için Sultan III. Mustafa tarafından yaptırıldığı yazmaktadır. Bu sebeple, ilk yapıldığı zaman Sipahiler Hanı adı ile anılmaktadır. Daha sonralarında ise üç avlulu olan bu hanın giriş cephesi çağdaşlarından farklı olarak tuğladan olmayıp kesme taştan inşa edildiğinden dolayı Taşhan olarak anılmıştır. 1939 yılına ait Taşhan'ın üstten ve avludan görünümüleri, giriş kapısı ve Laleli camisini arkasına alan giriş kapısı görünümüleri sırasıyla Şekil 6.3 - Şekil 6.6'da verilmiştir [52]. Taşhan'ın 2022 yılındaki avludan görüntüleri ise Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir.

Giriş cephesi dışında diğer cephelerde ve iç avluya bakan duvarların inşasında tuğla hatılı kullanılmıştır. Giriş 27x14 m.'lik birinci avluya uzun bir bina koluyla bağlanmaktadır. Avluya geçişi de içine alan bu kısım tek başına bir bölüm meydana getirmekte olup üzerinde iki katlı dar odalar bulunmaktadır. Bu geçit uzun bir koridorla ana avluya da bağlanmaktadır ve iki yanında üst kata çıkışı sağlayan merdivenler mevcuttur. Esas avlu bodrumlu olup diğerlerinden büyüktür. Bir rampa ile avludan inilen bodrum kat atların barınması için yapılmıştır. Eski karakterini koruyabilmiş bu yapı İstanbul'daki askeri kimlikli tek handır [62]. Taşhan'ın konumu harita üzerinde Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.1: 1936 yılına ait Aksaray Kemalpaşa Mahallesi Pervititch Haritası.



Şekil 6.2: 1936 yılına ait Aksaray Kemalpaşa Mahallesi Pervititch Haritasında Taşhan.



Şekil 6.3: 1939 yılına ait Taşhan'ın üstten görünümü.



Şekil 6.4: 1939 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü.



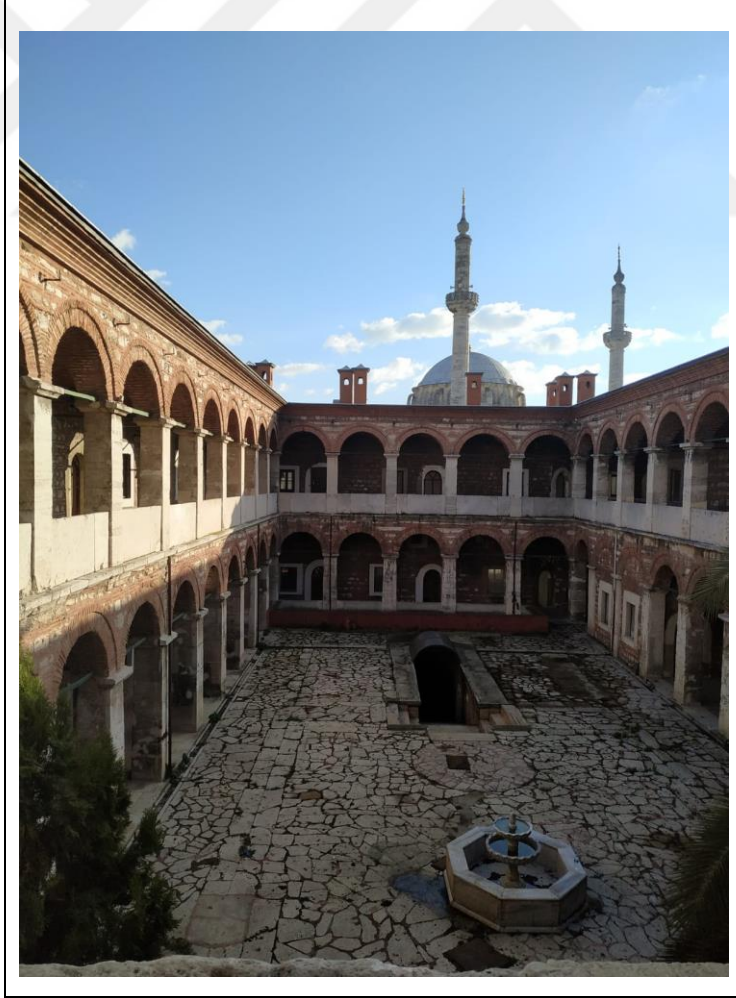
Şekil 6.5: 1939 yılına ait Taşhan giriş kapısı.



Şekil 6.6: 1939 yılına ait Taşhan giriş kapısı ve arkasında Laleli Cami görüntüsü.



Şekil 6.7: 2022 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü.



Şekil 6.8: 2022 yılına ait Taşhan avludan görüntüsü ve arkasında Laleli Cami.



Şekil 6.9: Taşhan'ın konumu.

6.2. Materyal ve Yöntem

Çalışma saha ve ofis çalışması olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Saha çalışmasında Taşhan'ın yersel ölçümleri ve taramaları yapıp, fotoğraf verileri elde edilmiştir. Ofiste ise bu veriler ve ölçümler değerlendirilmiştir.

Çalışmada hava fotoğraflarının çekimi için DJI Phantom 4RTK İHA ve bodrum katta bulunan 32 numaralı odanın cephe ölçülerinin belirlenebilmesi için zemin katta cephe ölçüleri gerekli olan odaların 3B taraması Faro X130 yersel tarama cihazı ile yapılmıştır. DJI Phantom 4RTK ve Faro Focus3D X130 cihazlarının teknik özellikleri sırasıyla Tablo 6.1 ve Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.1: DJI Phantom 4RTK teknik özellikleri.

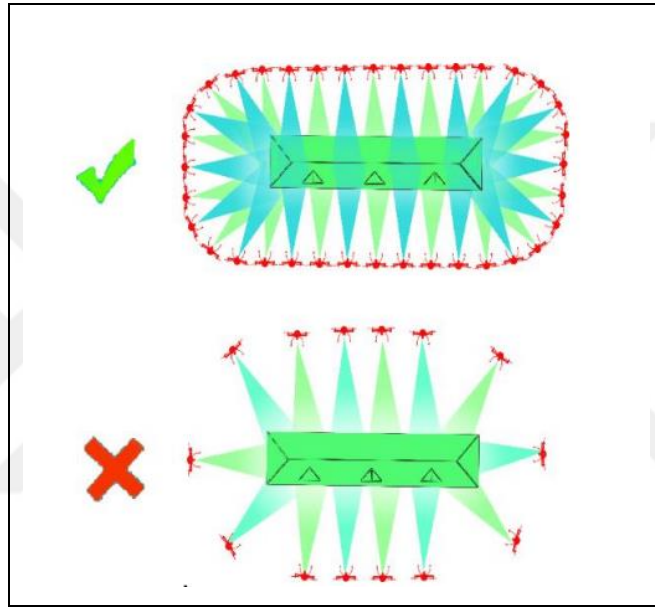
Teknik özellik	Değer
Ağırlık	1391 gram
Max uçuş süresi	Yaklaşık 30 dakika
Maksimum İrtifa	9685 ft (6000 m)
Çalışma sıcaklık aralığı	32° - 104° F (0° - 40°C)
Navigasyon	GPS+GLONASS+Galileo
Kamera/Sensör	1" CMOS; Etkili pikseller: 20 M
Lens	FOV(Görüş alanı) 84°, 8.8 mm (35 mm format eşdeğeri: 24 mm), f/2.8 - f/11,1 m - ∞'de otomatik netleme
ISO aralığı	Video:100-3200 (Otomatik), 100-6400 (Manuel);Fotoğraf:100-3200 (Otomatik), 100-12800 (Manuel)
Maksimum fotoğraf büyüklüğü	3:2:5472×3648 4:3: 4864×3648

Tablo 6.2: Faro Focus3D X130 teknik özellikleri.

Teknik özellik	Değer
Menzil	0,6 ila 130 metre
Ölçüm hızı	976.000 nokta/saniye
Dahili sensörler	GPS, pusula, altimetre, eğim sensörlü
Doğruluk	± 2 mm
Boyut	24x20x10
Ağırlık	5,2 kg
Kamera	Entegre renkli kamera (70 megapiksel)
Gürültü azaltma	%50
Lazer Sınıfı	1

6.2.1. İHA ile 3B Modelleme

İHA ile veri toplama aşamasında hazırlanan uçuş planı çerçevesinde uçuş işlemine başlanarak Taşhan'ın fotoğrafları çekilmiştir. İHA ile çekilen fotoğrafların 3B modeli oluşturulacak yapı olan Taşhan'ın farklı açılarından bindirmeli olarak çekilmesine dikkat edilmiştir. Bindirme oranı %80 olarak belirlenmiştir. Şekil 6.10'da İHA ile fotogrametrik fotoğraf çekimlerinde dikkat edilmesi gereken çekim konumları gösterilmiştir [63].



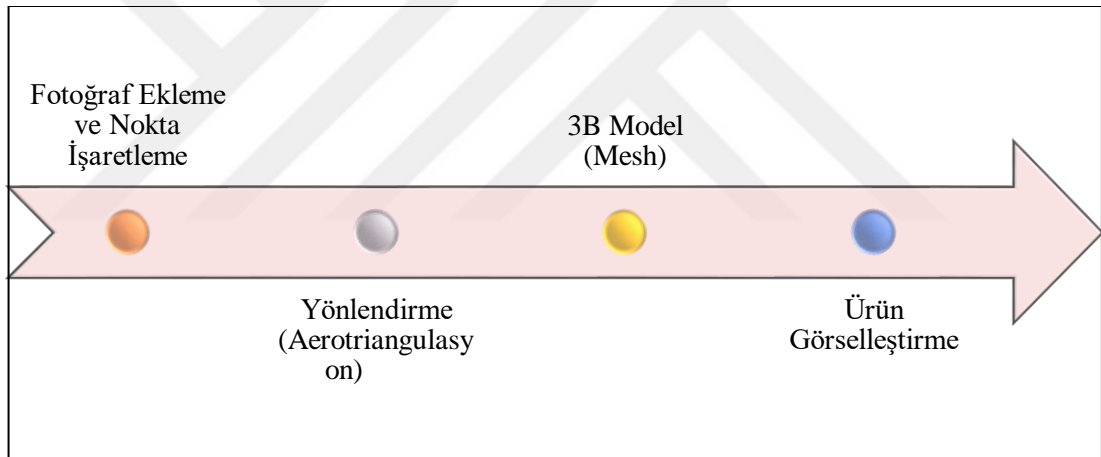
Şekil 6.10: İHA ile fotoğraf çekimi.

Ofis çalışmasında insansız hava aracının çektiği hava fotoğrafları bilgisayara aktarılmıştır. Taşhan'ın 3B modelini oluşturmak için Context Capture Master programı kullanılmıştır.

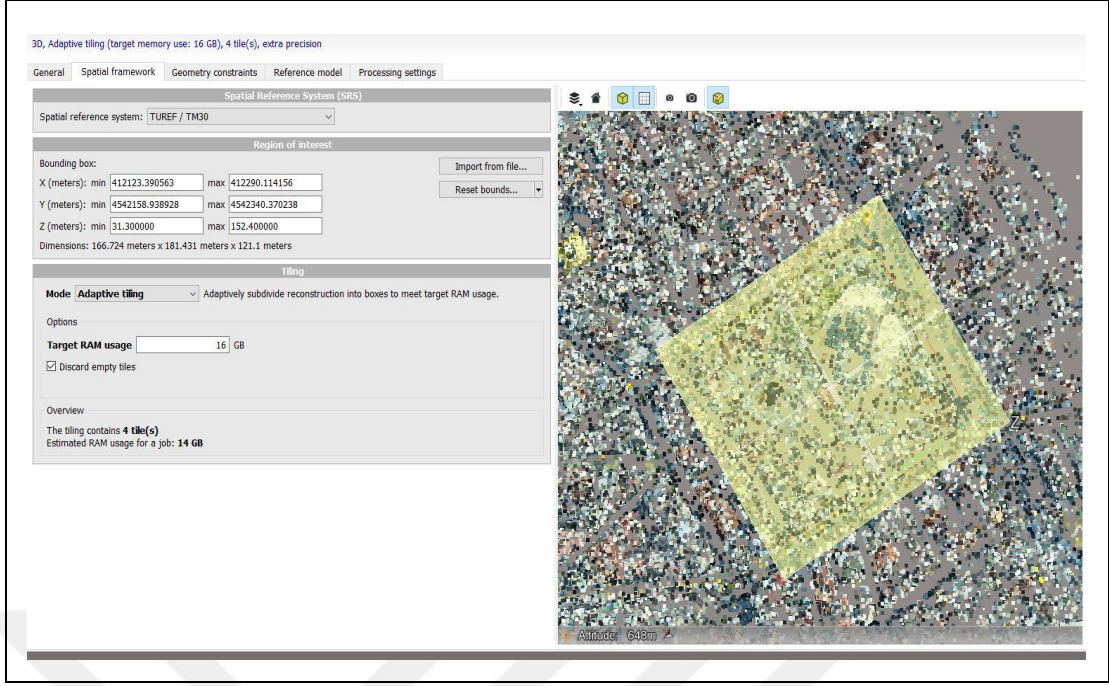
3B modelleme çalışmalarında kullanılacak olan değerlendirme yazılımlarının seçimi, çalışma içeriğine göre değişebilmekle birlikte çıktıları bakımından oldukça önemlidir. Bu seçimdeki en önemli hususlar, sonuçta elde edilen ürünün kalitesi, işlem süresi ve yükü parametreleridir. Bu kapsamda Context Capture yazılımı, Context Capture Master ve Context Capture Engine yazılımlarını içeren iki yazılımın desteği ile yürütülmektedir.

Bu çalışmada ise veri yükü yüksek olan ürünleri benzer yazılımlara göre hassas ve hızlı bir şekilde sonuçlandırabilmesi nedeniyle Context Capture yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılımın ana modülü olan Context Capture Master bir proje aracılığıyla

Context Capture yazılımındaki iş akışlarının farklı adımlarını yönetmektedir. Bir grafik kullanıcı arabirimi olan Context Capture Master, veri kümelerini transfer etme, görevleri iletme ve izleme, görselleştirme gibi amaçlara hizmet etmektedir. Diğer yandan Context Capture Engine ise Context Capture yazılımının arka planında kullanıcı etkileşimi inaktif şekilde çalıştırılarak GPU önceliğine bağlı olarak sıradaki işi yürütmekle görevlidir. Context Capture Engine programının yürüttüğü işler, bağlama noktası azaltma, bağlantı noktalarını otomatik işleme, yoğun görüntünün işlenmesi, doku haritalama, ayrıntı düzeyi oluşturma, 3B yeniden yapılanma, ışın demeti dengeleme gibi işlerdir. Bu program, grafik işlem birimlerinde general-purpose computing on graphical processing units te (GP-GPU) gerçekleşen kaba hesaplamaların kapsayıcı şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Her Engine işlemi tek bir GPU'dan faydalanabildiğinden çoklu projelerin yürütülmesine imkan sağlanmaktadır. Context Capture iş akışı Şekil 6.11'de verilmiştir [63].

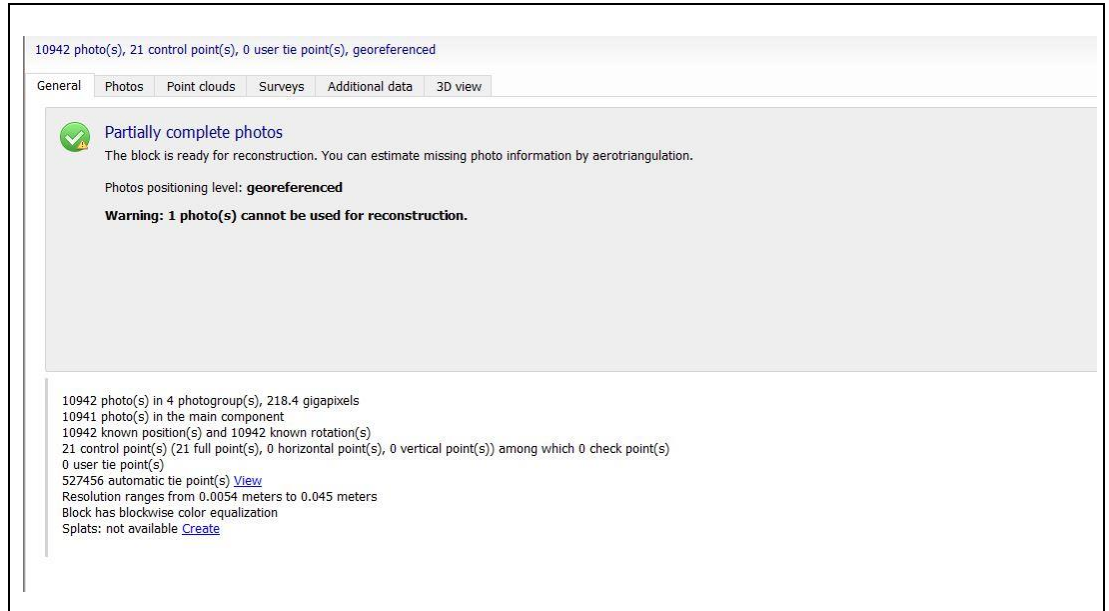


Drone ile çekilmiş olan fotoğrafların birleştirilmesi amacıyla yeni proje oluşturulmuş ve çıktı koordinat sistemi TUREF30 seçilmiştir. Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12: Proje oluşturma.

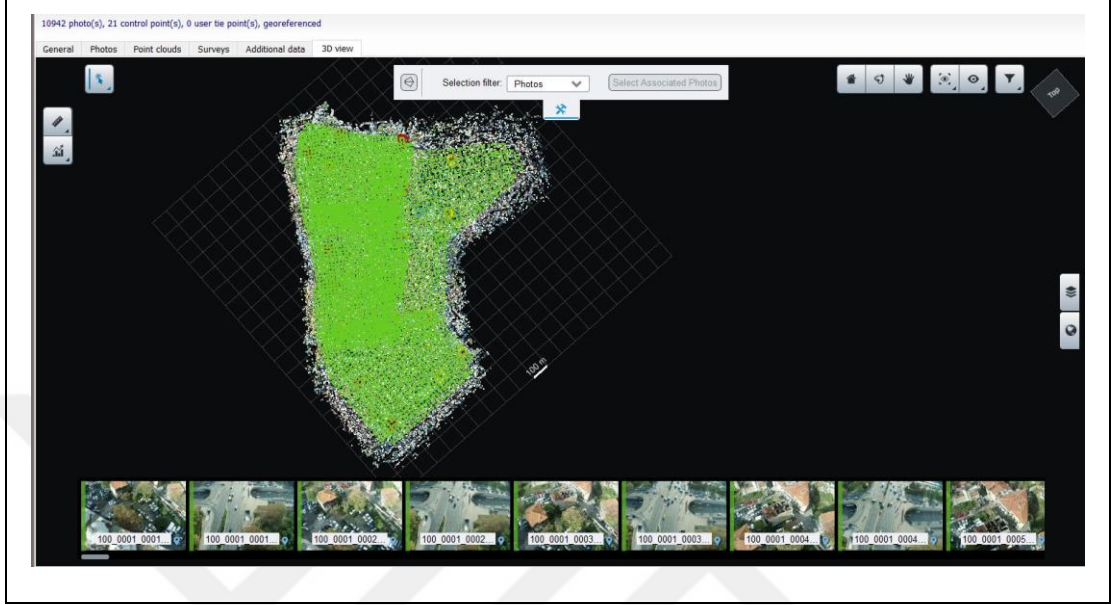
10.942 fotoğraf 4 grup olarak önce program aracılığıyla birleştirilmiş ve bu birleştirilen fotoğraflar üzerinden modeli planlanan alan seçilmiştir. Fotoğrafların birleştirildiği yazılım ekran görüntüsü Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13: Fotoğrafların birleştirildiği yazılım ekran görüntüsü.

Hava fotoğraflarının yöneltilmesi ile anlık koordinat ve dönüklük değerlerini otomatik olarak program tarafından belirlenmiştir. Bu işlemle birlikte kullanılan

program üzerinde fotoğraflar arasındaki ilişki göz önüne alınarak oluşturulan otomatik bağlantı noktaları ile fotoğraflar kalibre edilmiş ve 527.456 bağlantı noktası oluşturulmuştur. Bağlantı noktalarını gösteren ekran görseli Şekil 6.14'te verilmiştir.

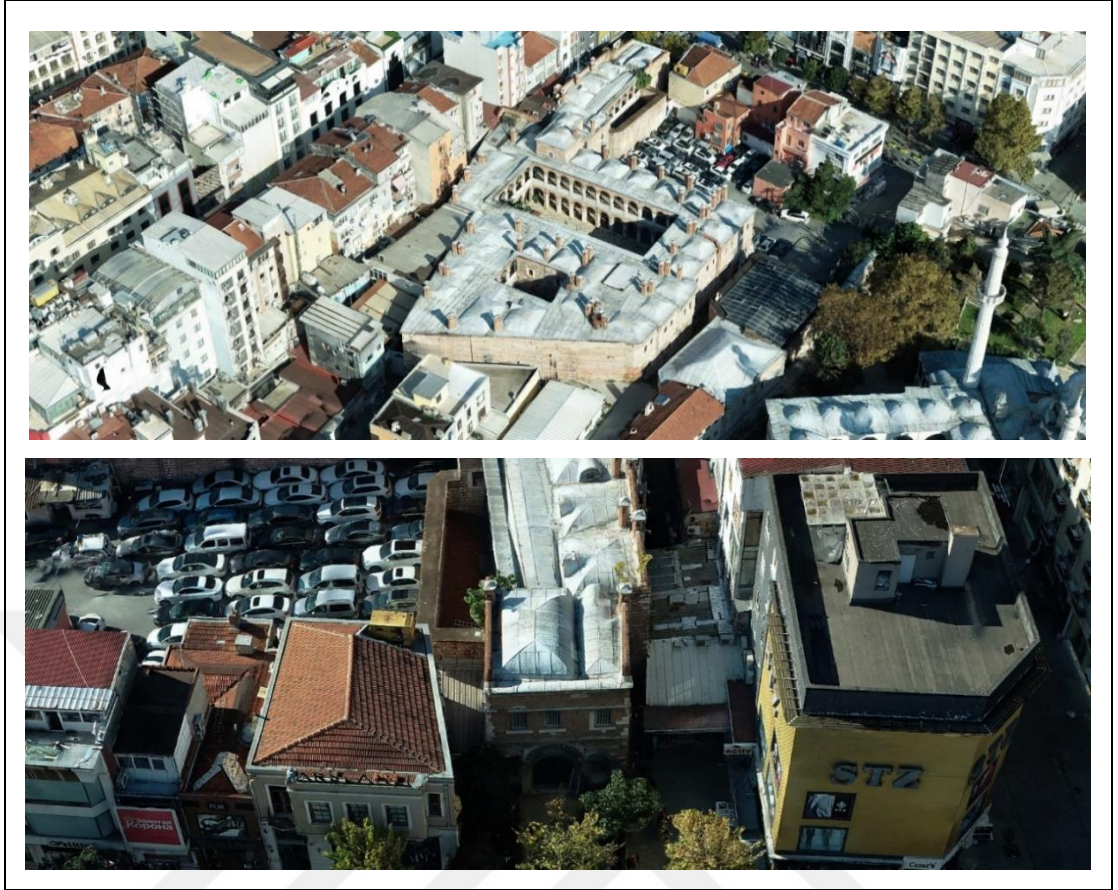


Şekil 6.14: Bağlantı noktalarının gösterimi.

Bağlantı noktaları oluşturulduktan sonra üretilen 3 boyutlu meshe ait farklı açılardan görseller Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.15: Üretilen 3B meshin farklı açılardan görselleri a) b) c).



Şekil 6.16: Üretilen 3B meshin farklı açılardan görselleri d) e).

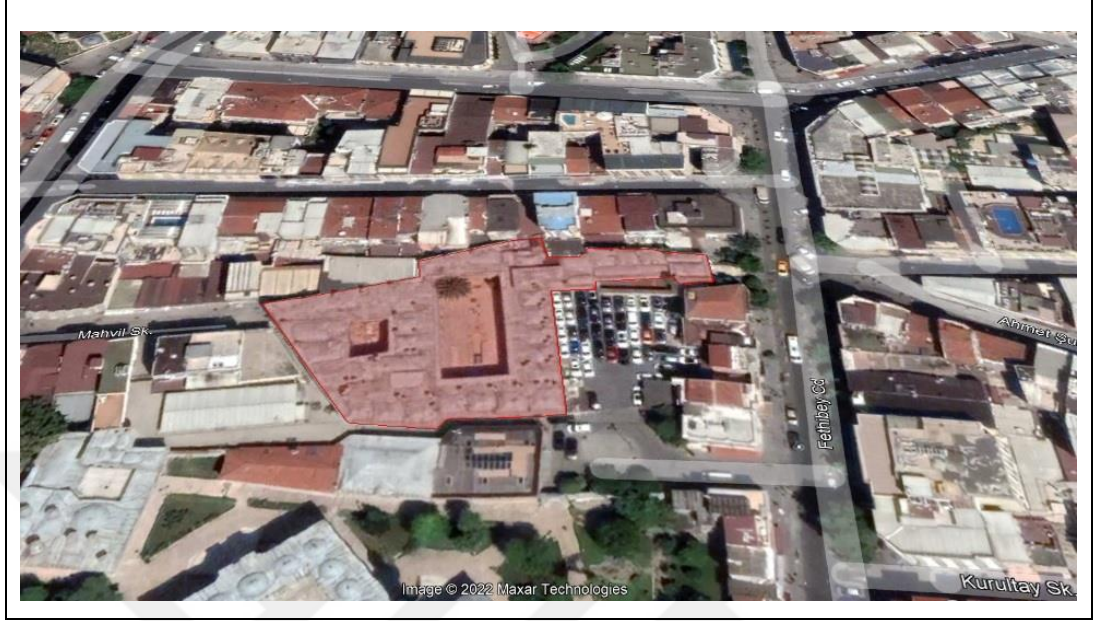
6.2.1.1. Taşhan'ın Ayrıntı Seviyelerinde Modellemesi

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), 1924'ten bugüne kadar yaklaşık 58,5 milyon parselin ölçümünü gerçekleştirerek 2 boyutlu kadastrounu tamamlamıştır. Bina ve bağımsız bölümlerin geometrisinin 3B dijital ortamda yönetilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve bunun sonucunda 2020 yılında “3B Şehir Modelleri Üretimi ve 3B Kadastro Altlıklarının Oluşturulması Projesi” başlatılmıştır [65]. TKGM bu projesinde fotogrametrik ve mimari modellere ait bina ve bina parçaları için geometrileri Level of Detail (LOD) seviyelerine göre LOD0, LOD1, LOD2 olmak üzere 3 farklı detay seviyesinde istemektedir.

Bu çalışmada Taşhan için oluşturulan 3B modelde çatılarda biraz daha detaya inilerek 4 farklı LOD seviyesi yer almaktadır.

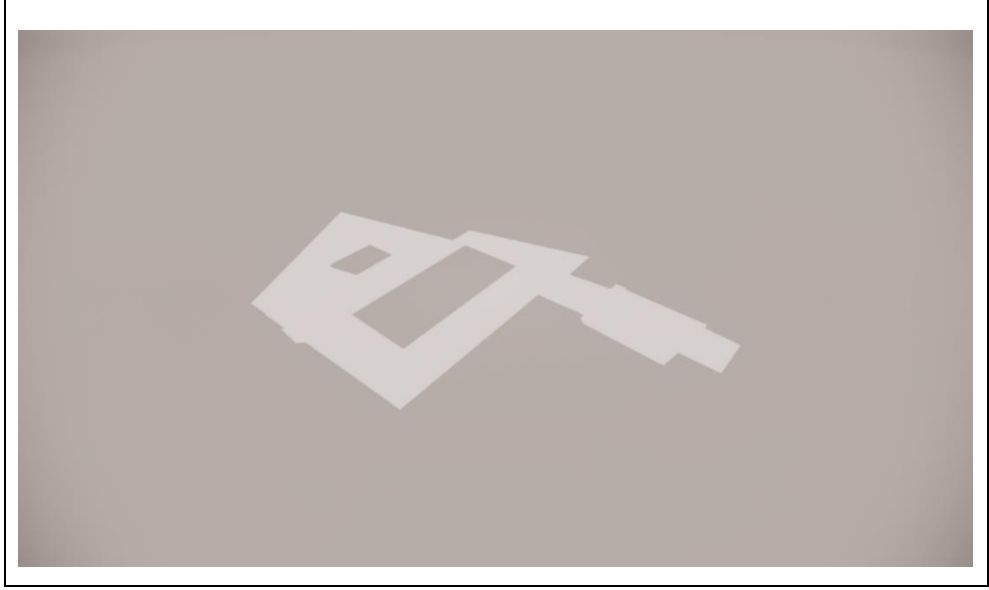
Taşhan'ın LOD0 seviyesinde oluşturulan modelinde SYM verisi uydu görüntüsü ile ilişkilendirilmiştir. Taşhan'ın bulunduğu arazinin LOD0 seviyesinde uydu

görüntüsü ile ilişkilendirilmesi Şekil 6.17’de verilmiştir. Bu gösterimde arazi yüzeyinin gerçek gösterimi amaçlanmıştır.



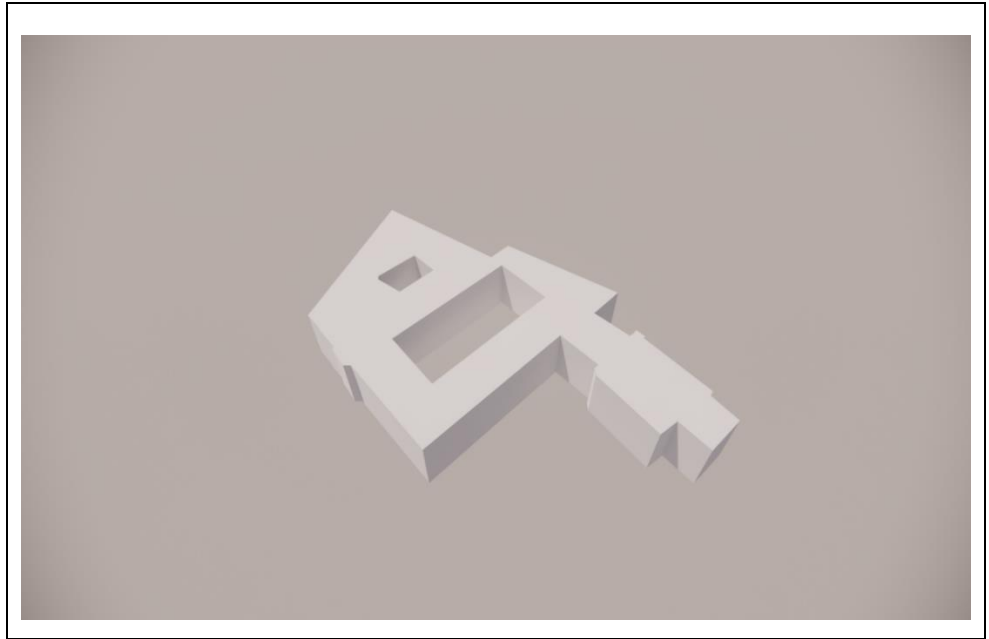
Şekil 6.17: Taşhan’ın bulunduğu arazinin LOD0 seviyesinde uydu görüntüsü ile ilişkilendirilmesi.

LOD0 seviyesinde oluşturulan modelin arazideki gerçek konumu ve arazi eğiminin ortaya konulmaktadır. Oluşturulacak diğer tüm verilere LOD0 seviyesindeki veri altlık veri olarak kullanılıp ilişkilendirilebilmektedir. Bu veri nesnelere olmadan 3B gösterim denilmekte olup 2.5 boyut şeklinde adlandırılabilir. Bu çalışmada, Context Capture programından SketchUp programına veriler aktarılmış olup LOD0 ve diğer seviyelerdeki model oluşturulmuştur. Oluşturulan model Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



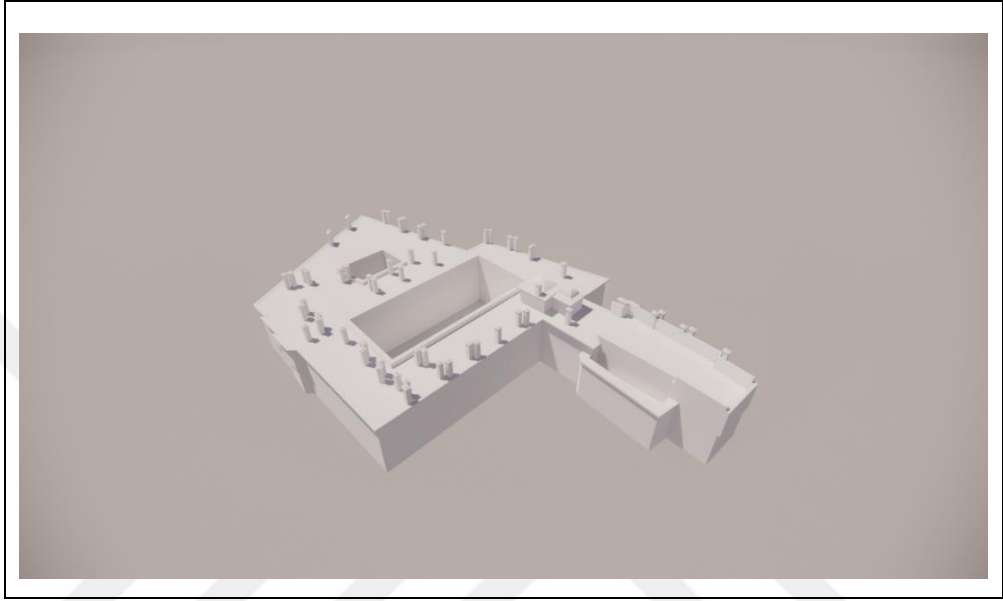
Şekil 6.18: Taşhan'ın LOD0 seviyesindeki modeli.

LOD0 seviyesinde oluşturulmuş olan modele bina verisi eklenmesi ile LOD1 seviyesindeki model oluşturulmaktadır. LOD1 seviyesinde üretilen verinin kalitesi de bu seviyedeki bina verisinin kalitesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Taşhan'ın LOD1 seviyesindeki modeli LOD0 seviyesinde SketchUp programında vektör veriler eklenerek elde edilmiştir. Bu vektör veriler ise drone ile uçuş sonucu elde edilmiştir. Çatı tipi binanın şekline yönelik olduğundan dolayı bu seviyede oluşturulan modelde çatı tipine yer verilmemiştir. Taşhan'ın LOD1 seviyesindeki modeli Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



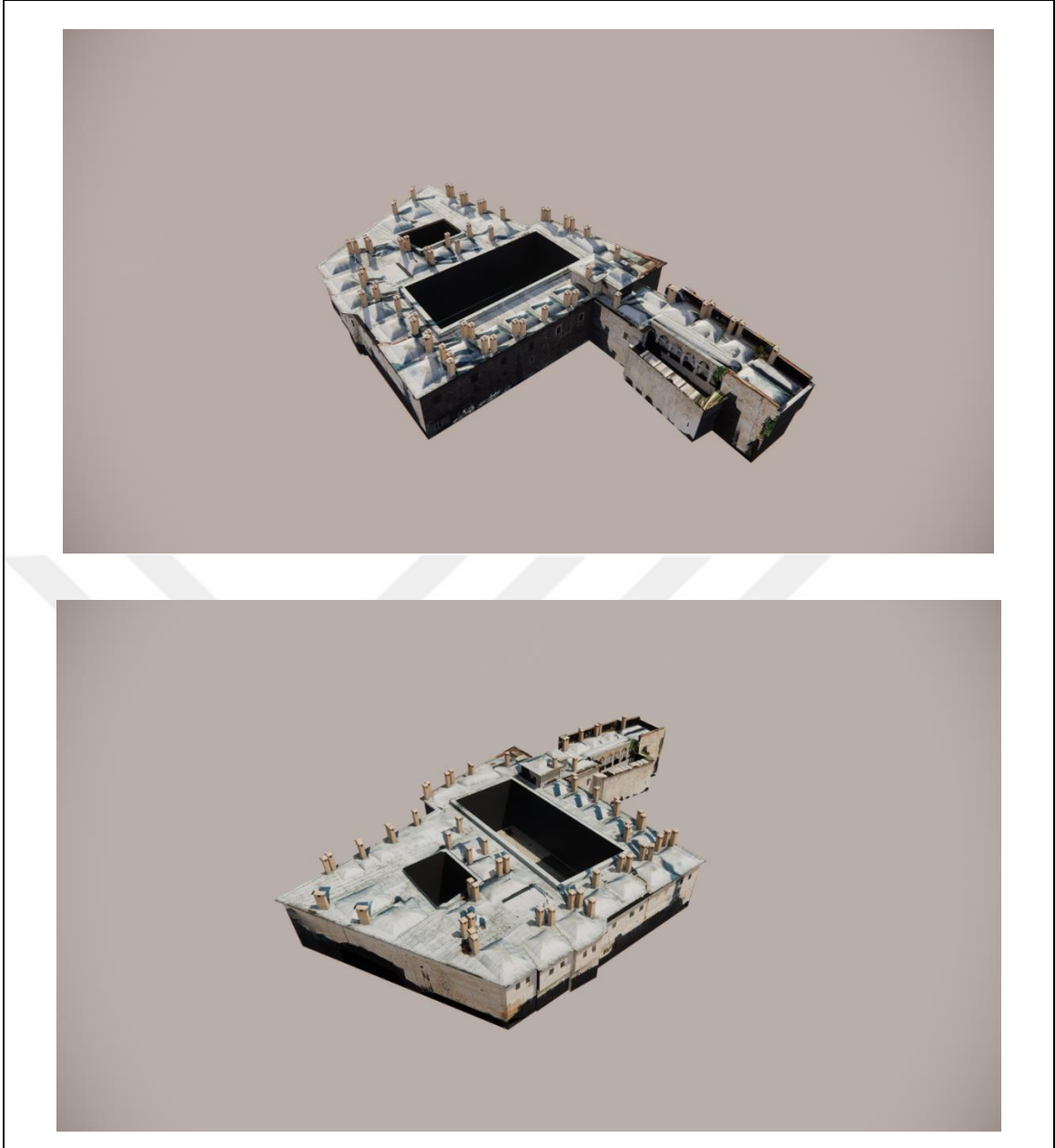
Şekil 6.19: Taşhan'ın LOD1 seviyesindeki modeli.

Taşhan'ın LOD2 seviyesinde oluşturulan 3B modeli LOD1 seviyesinde oluşturulan modeline çatı detayı eklenerek elde edilmiştir. LOD2 seviyesindeki model hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutundan çatı kısımları ve ana hatlar SketchUp programında çizilerek elde edilmiştir. LOD2 seviyesinde oluşturulan model Şekil 6.20'de sunulmuştur.

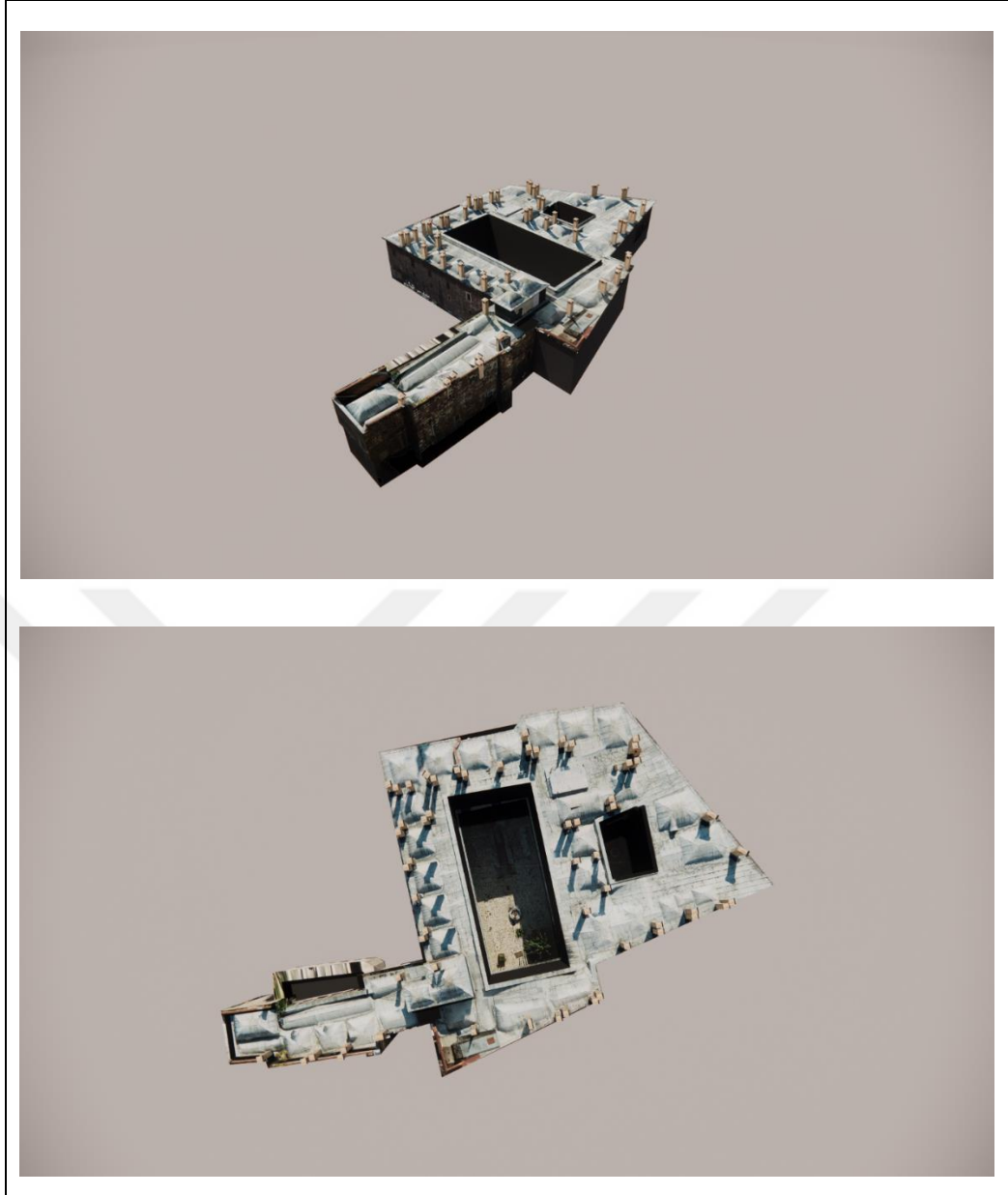


Şekil 6.20: Taşhan'ın LOD2 düzeyindeki modeli.

LOD3 seviyesindeki model binalardaki dış cepheleri gösteren oldukça yüksek kalitedeki modeldir. Taşhan'ın LOD3 seviyesindeki modeli oluşturulurken, LOD2 düzeyinde oluşturulan katı modele yüksek çözünürlükte çekilen hava fotoğrafları giydirilerek gösterim sağlanmıştır. Taşhan'ın LOD3 seviyesinde oluşturulan modelini gösteren görseller Şekil 6.21'de gösterilmiştir.

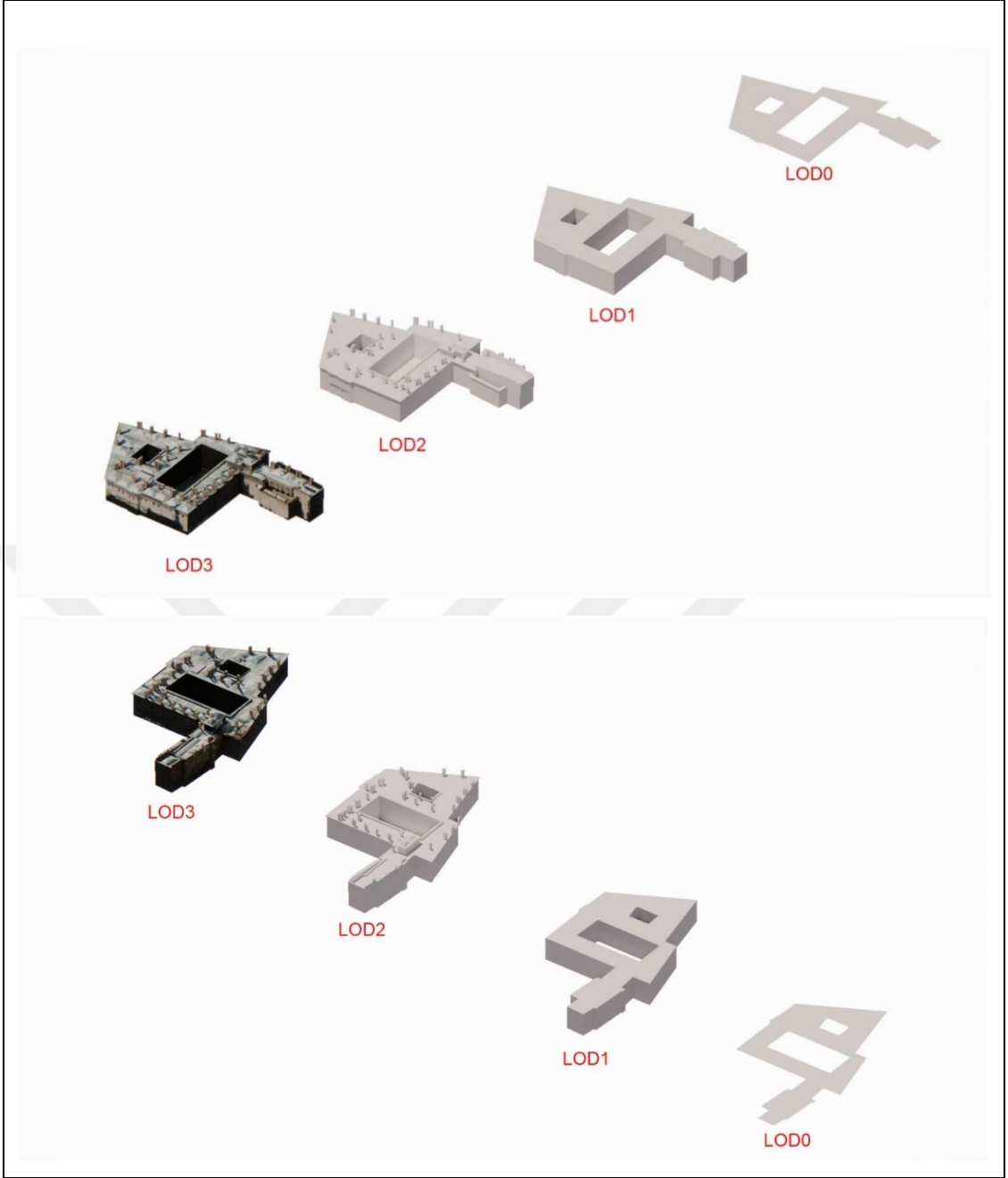


Şekil 6.21: Taşhan'ın LOD3 seviyesindeki modelinin farklı açılardan gösterimi a) yandan b) arkadan.



Şekil 6.22: Taşhan'ın LOD3 seviyesindeki modelinin farklı açılardan gösterimi c) ön-yandan d) arkadan (devamı).

Taşhan için oluşturulan modellerin tüm LOD seviyelerini içeren gösterimi Şekil 6.23'te sunulmuştur.



Şekil 6.23: Taşhan için oluşturulan modelin farklı açılardan tüm LOD seviyelerindeki gösterimi.

6.2.1.2. Yersel Lazer Tarama Verilerinin Taşhan 32 Numaralı Oda İçin İşlenmesi

Yersel lazer tarama yönteminde ölçüm tasarımı için şimdiye dek herhangi bir standart oluşturulmamıştır. Buna rağmen, ön planlama gerekliliği nedeniyle ihtiyaç duyulan bilgilerin türetilmesi elzemdir. Tarama işlemi öncesi, taramayı gerçekleştirecek olan operatör aleti kurmakta ve yazılım içerisindeki gerekli

ayarlamaları, çözünürlük, objeye uzaklık, doğruluk modu, tarama sayısı, ilk ya da son atım ölçümleri gibi parametreler üzerinden yapmaktadır [64].

Fatih Kadastro Birimince yapılan incelemede; Fatih İlçesi Kemalpaşa Mahallesiinde yapılan kadastro çalışmaları sonucunda 913 nolu ada Taşhan bodrum kat eski:32 yeni:32 kapı nolu bağımsız bölümün 03.05.1937 tarihli kadastro beyannamesinin düzenlendiği, kadastro beyannamesinde tespitin kesinleşmesine ilişkin bölüm boş bırakılmış ise de taşınmazın beyannamenin tarihiyle (03.05.1937) tapu kütüğüne tescil edildiği, tapu kütüğünde yüzölçümü hanesine yüzölçümü bilgisinin yazılmadığı ve taşınmazın grafik nitelikteki paftasına tersim edilmediği hususları anlaşılmış olup, Kadastro Birimi ve Tapu Müdürlüğü arşivlerinde yapılan araştırmada taşınmaza ait herhangi bir krokiye de rastlanılmamıştır.

Taşınmaza ilişkin Kadastro Birimi arşivindeki tek bilgi 913 nolu adanın tesis kadastro suna ait tasarruf krokisinin taşınmaz listesi bölümünde eski:32 yeni:32 kapı nolu bağımsız bölüm için ayrılan satır olup bu satırda taşınmazın Taş Han bodrum katta 60 nolu parselin zemin seviyesinden aşağıda olduğu belirtilmiştir. Kadastro beyannamesinde ve tapu kütüğünde taşınmazın sınırlarının "Şark: Yola bitişik hanın temel duvarı. Şimal:29 parsel bitişik hanın temel duvarı. Garp: 28 parsel nolu han avlusu. Cenup: 61 parsel bitişik hanın" olarak açıkça belirtildiği, ayrıca tapu kütüğü beyanlar hanesinde ve kadastro temel duvarı beyannamesinde "Zemin seviyesinden itibaren havası 60 parsel nolu mağaza ve kısmen 28 parsel nolu methaline aittir " yazıldığı anlaşılmış olup, bu tariflere göre taşınmazın konumu mahallinde tespit edilerek zeminde ölçümü yapılmış ve güncel durumunu gösteren krokileri düzenlenmiştir.

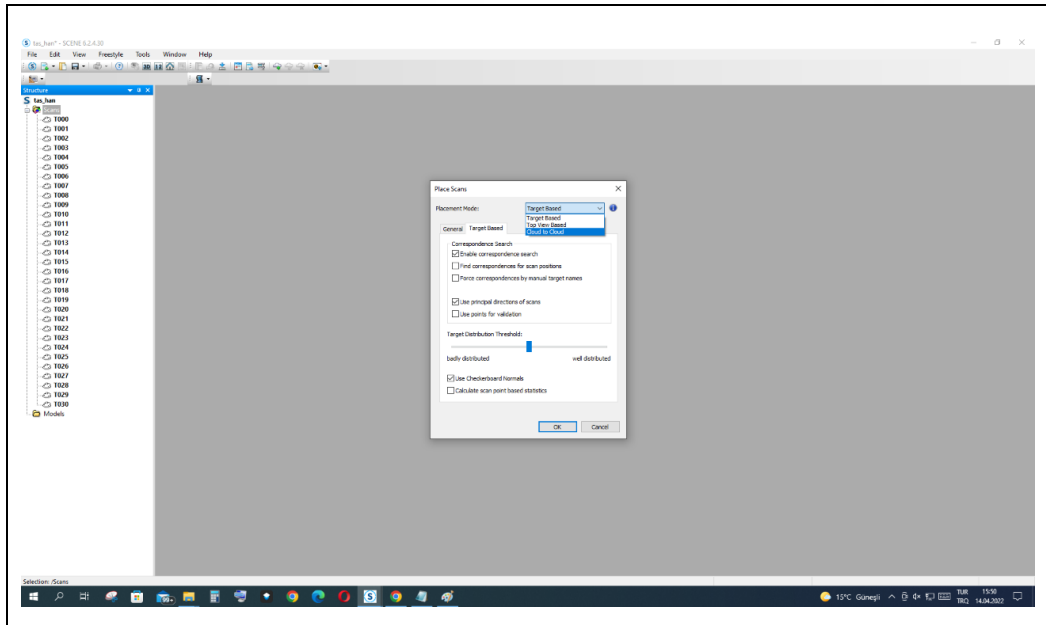
Taşınmazın kadastro beyannamesinin posta tahdit ve tetkikleri bölümünde zabıt kaydına atıfta bulunularak, adına tespit yapılacak kişi olan Nartuhi'ye intikal eden yerin zabıt kaydında belirtildiği gibi üst katta olmadığı zemin seviyesinden aşağıda 60 nolu parselin(33 kapı nolu oda) ve kısmen methalin altına tesadüf eden bodrum katta olduğu yönündeki posta heyetinin tespiti komisyonun takdirine sunulmuş, komisyonca bu tespitin uygun bulunduğu hususu beyannamenin komisyon tetkikleri bölümünde imza altına alınmıştır. Yüzölçüm hesap cetvellerinde Taşhan'ın zemin kat, birinci ve ikinci katlarındaki bağımsız bölümlerin yüzölçüm hesaplarının yapıldığı, bodrum kattaki bağımsız bölümlerin ise yüzölçüm bilgilerinin cetvellerde bulunmadığı anlaşılmıştır. 913 nolu adaya ait 188 nolu paftada Taş Han zemin kat bağımsız bölümleri parsel numaraları ile 1. ve 2. katlardaki ve bodrum kattaki bağımsız

bölümler ise kapı numaraları ile tersim edilmiş olup bu taşınmazlar ayrıca paftanın arkasında liste halinde gösterilmiştir.

Fatih İlçesi Kemalpaşa Mahallesinde kâin 913 nolu ada Tarihi Taş Han bodrum kat eski:32yeni:32 kapı nolu taşınmazın yüzölçüm hesap cetvelinde ve tapu kütüğünde yüzölçüm bilgisi olmayıp Kadastro Birimi ile Tapu Müdürlüğü arşivlerinde herhangi bir krokisine de rastlanılmamıştır.

Çalışmaya konu tarihi handa daha önce kadastro tutanaklarında ve tapu kütüğünde tespiti tarif ile mevcut olmasına rağmen herhangi bir kadastral ölçüsü mevcut olmayan fakat yüzölçümü 0 metrekare olarak tapusu düzenlenmiş bodrum katta bulunan 32 nolu odanın cephe ölçülerinin alımı için yersel lazer tarayıcı ile 3B modellemesi Scene programı vasıtasıyla yapılmıştır. Odalarda ışık olmaması lazer tarama teknolojisi ile oluşturulan modelin siyah beyaz olmasına neden olmuştur.

Toplamda 31 adet yapılan iç mekân lazer tarama oturumları Cloud to Cloud yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu birleştirmeye ait yazılım ekran görüntüsü Şekil 6.24'te ve yazılımdan alınan hata raporu ise Şekil 6.25'te gösterilmiştir. Yazılımın oluşturduğu hata raporu incelendiğinde genel istatistikteki konum doğruluğu 2.6 mm olarak sağlanmış ve model başarıyla oluşturulmuştur.



Şekil 6.24: Oturumların Cloud to Cloud yöntemiyle birleştirildiğini gösteren yazılım ekran görüntüsü.

/Scans/ScanManager

ScanManager | Scan Results | Scan Point Tensions

Full Hierarchy

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Mean [m]	< 0.004 m [%]	Overlap [%]	Used Points	Details
AutoCluster2	AutoCluster	0.008	35.5	21.8	2210	
AutoCluster	AutoCluster3	0.002	79.6	63.3	20937	
AutoCluster	AutoCluster3	0.001	76.4	70.8	17279	
AutoCluster	AutoCluster3	0.001	80.5	66.1	17537	
AutoCluster	AutoCluster3	0.001	81.7	75.0	11634	

Overall Statistics

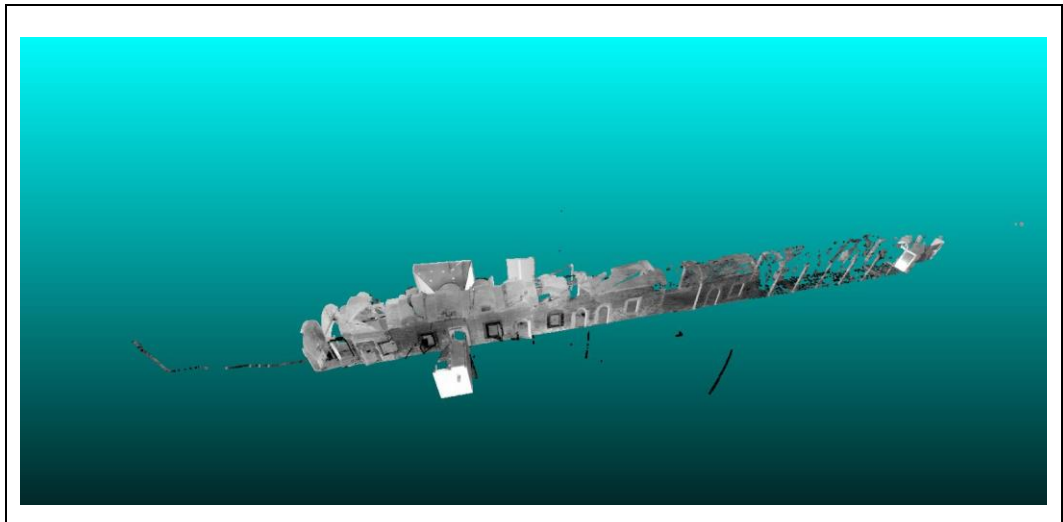
Mean: [m]

< 0.004 m: [%]

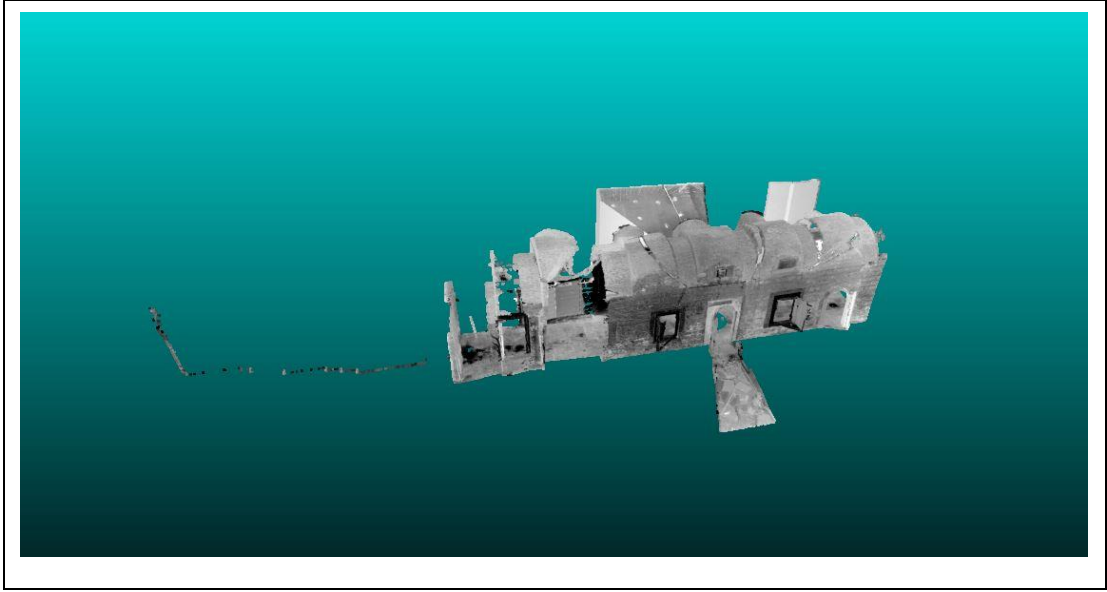
Get Apply OK Cancel

Şekil 6.25: Hata raporu.

Veriler yazılıma yüklenerek hata raporu elde edildikten sonra nokta bulutu ile model oluşturulma aşamasına geçilmiştir. Nokta bulutu ile oluşturulan ilk model Şekil 6.26'da verilmiştir. İlk modelden gereksiz detayların elimini edilmesi işlemi uygulandıktan sonra elde edilen model ise Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

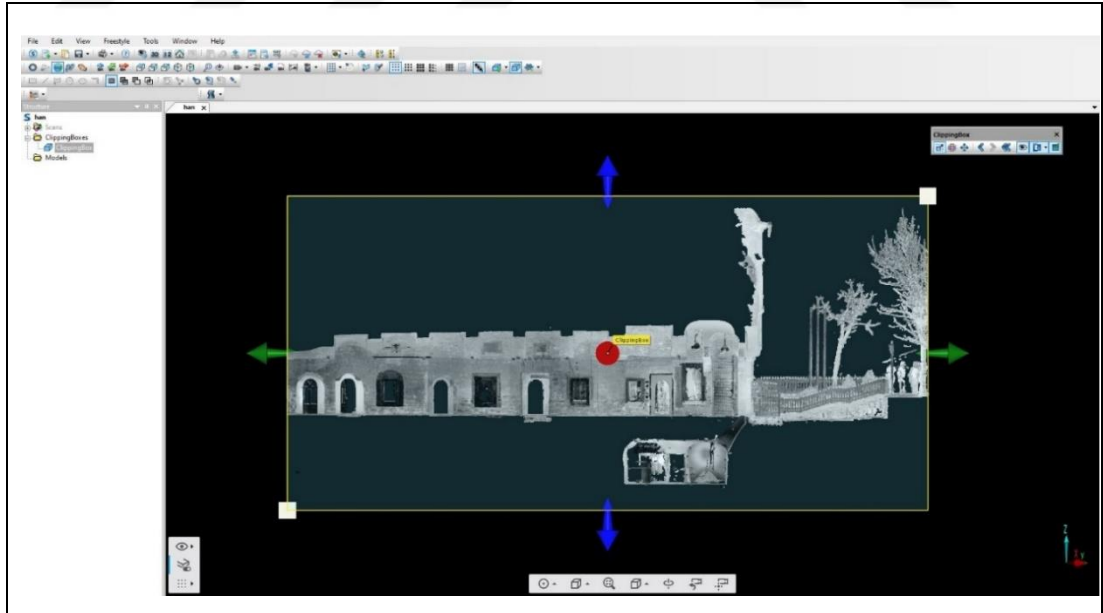


Şekil 6.26: Nokta bulutu ile oluşturulan ilk model.

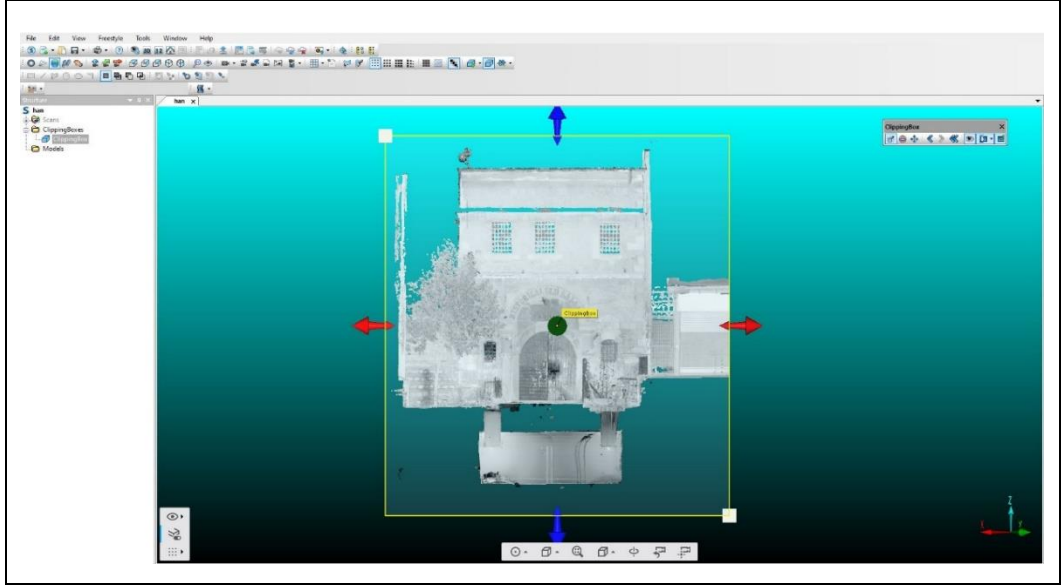


Şekil 6.27: Gereksiz detayların elimine edildiği 3B model görünümü.

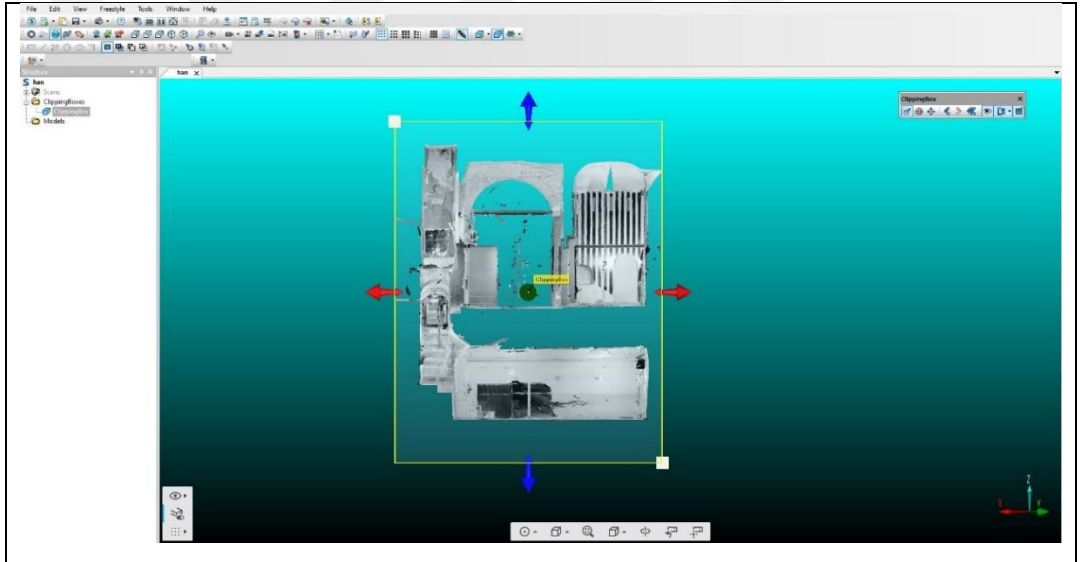
Oluşturulan nokta bulutundan zemin kat ve bodrum katta ihtiyacımız olan odaların görünüşü Şekil 6.28 - Şekil 6.31’de gösterilmiştir. Lazer tarama ile oluşturulan modelin ortofotosu alınmıştır. Oluşturulan ortofoto Şekil 6.32’de sunulmuştur.



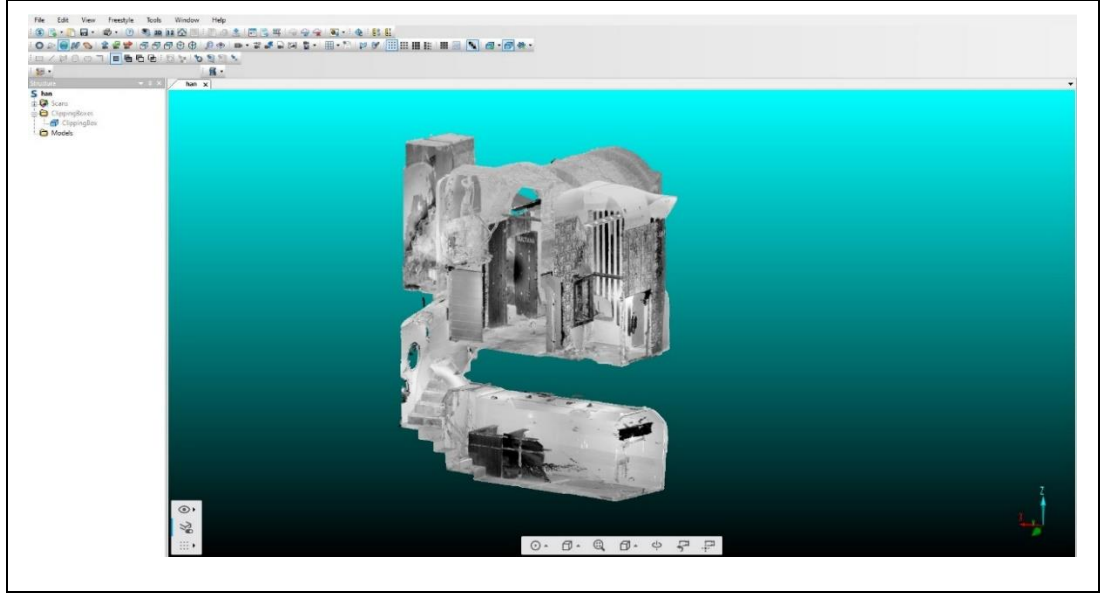
Şekil 6.28: Taşhan’ın zemin kat giriş ve bodrum görünümü.



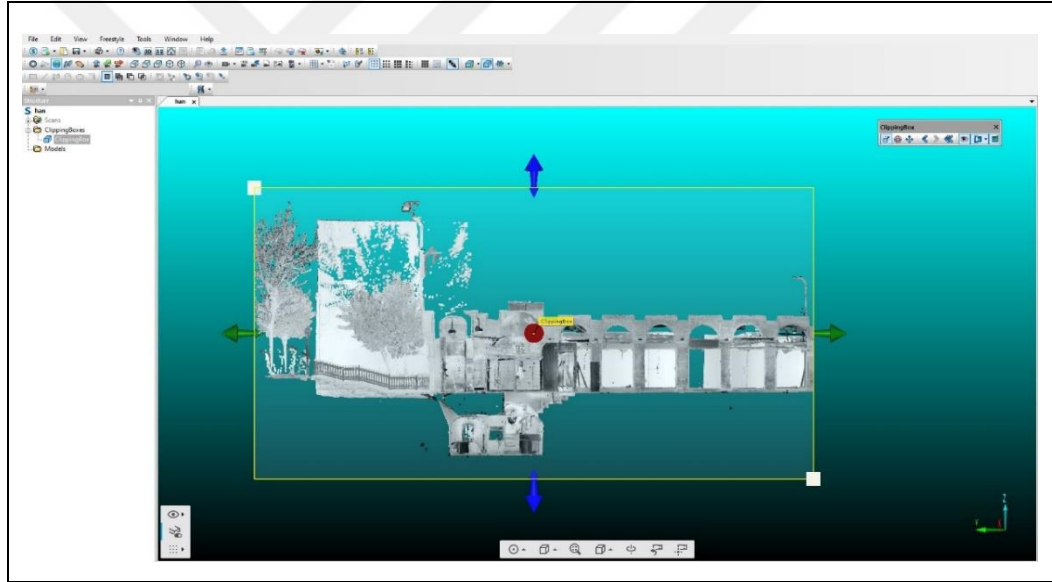
Şekil 6.29: 32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat önden görünümü.



Şekil 6.30: 32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat arka görünümü.

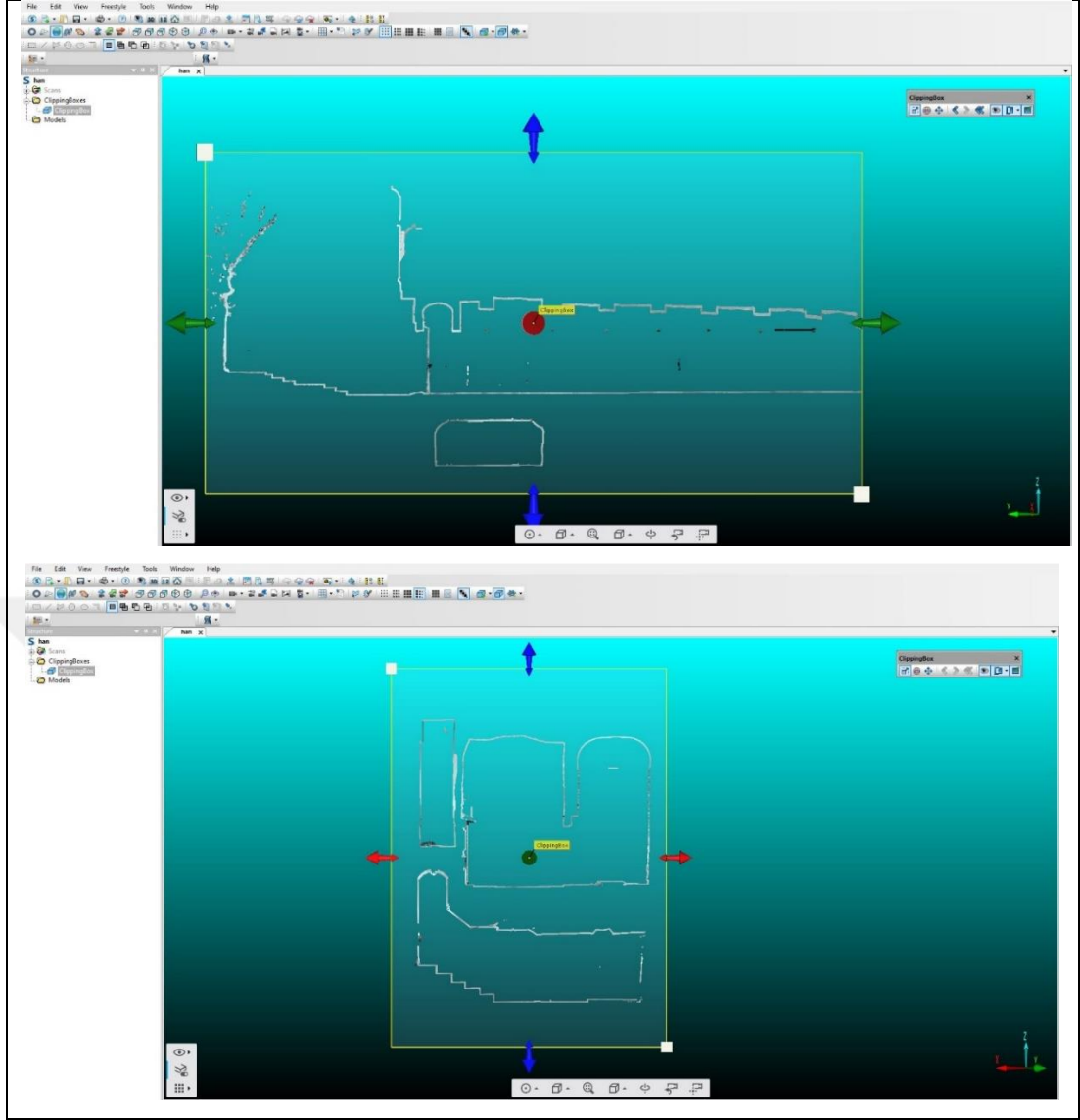


Şekil 6.31: 32 nolu odayı içeren zemin ve bodrum kat yandan görünümü.



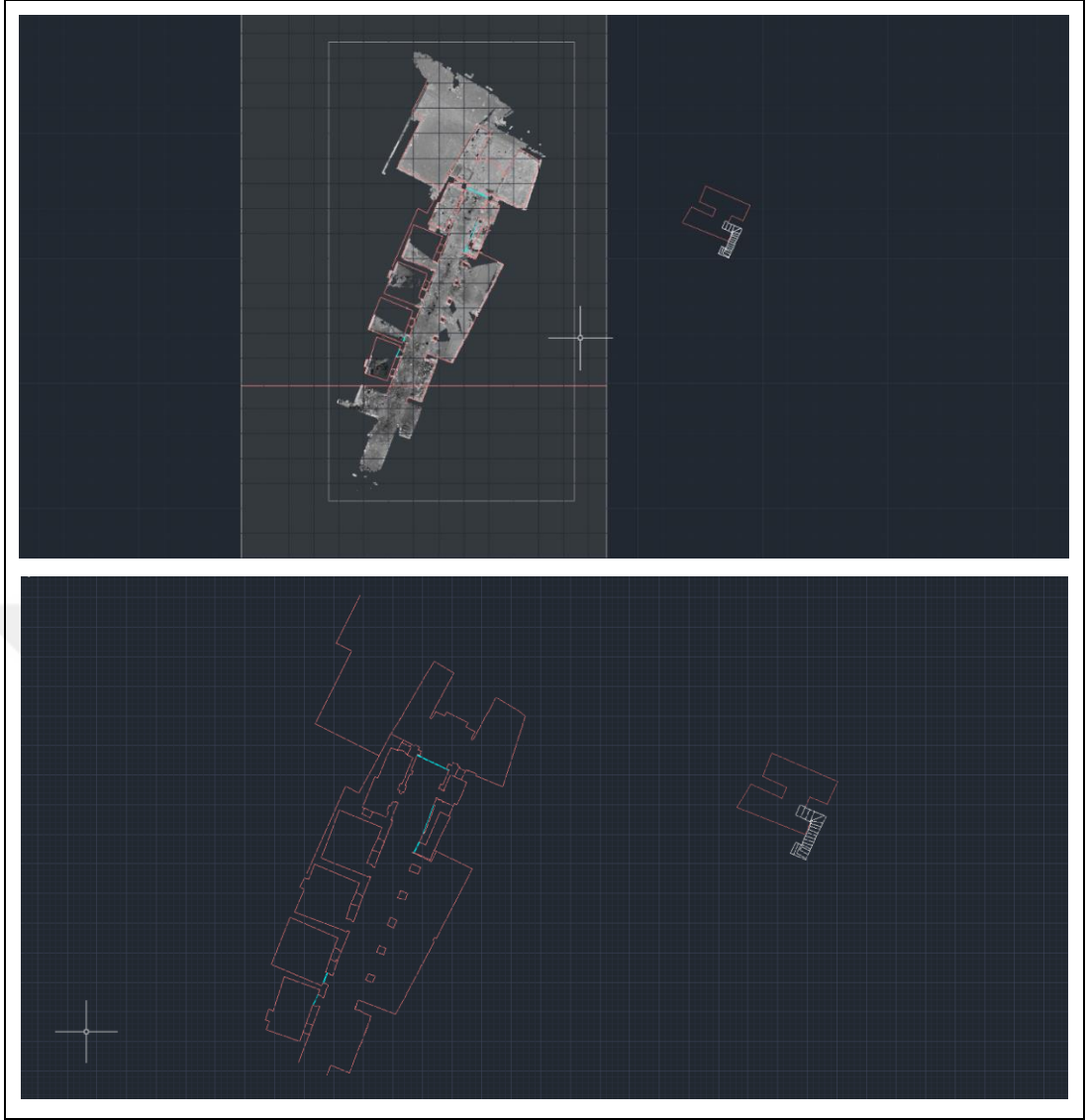
Şekil 6.32: Lazer tarama ile alınan ortofoto.

Ortofotusu ile kesitlerinin alınması işlemi ile cephe ölçülerinin CAD programına aktarılması sağlanmıştır. CAD programına aktarım sonrası elde edilen yazılım ekran görüntüsü Şekil 6.33'te verilmiştir.



Şekil 6.33: CAD programına aktarım amacıyla alınan kesitlerin yazılım ekran görüntüsü.

Kesitlerin programda alınması ile Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’de gösterildiği gibi Taşhan’ın cephe çizimleri gerçekleştirilmiştir. Çizim işleminde AutoCAD ve NetCAD programı kullanılmıştır. Çizim işlemine geçilmeden önce Scene yazılımından veriler AutoCAD ortamında aktarılmıştır. Çizim işlemi yapılırken nokta bulutu verileri Scene yazılımından Tagged Image File Format (tiff) görüntü formatıyla AutoCAD programına aktarılıp oradan da bir diğer CAD programı olan NetCAD programına aktarılıp kesit ve ölçüleri çizilmiştir. AutocCAD’e aktarılmış kesit ölçülerinin Şekil 6.34’te verilmiştir.

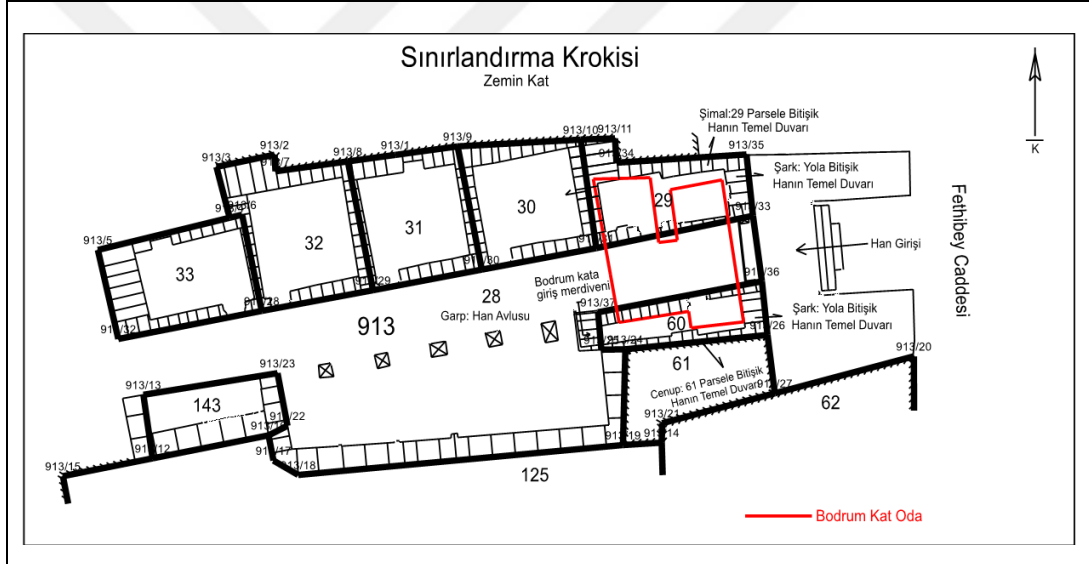


Şekil 6.34: AutoCAD ile zemin kat ve bodrum kat oturumu.

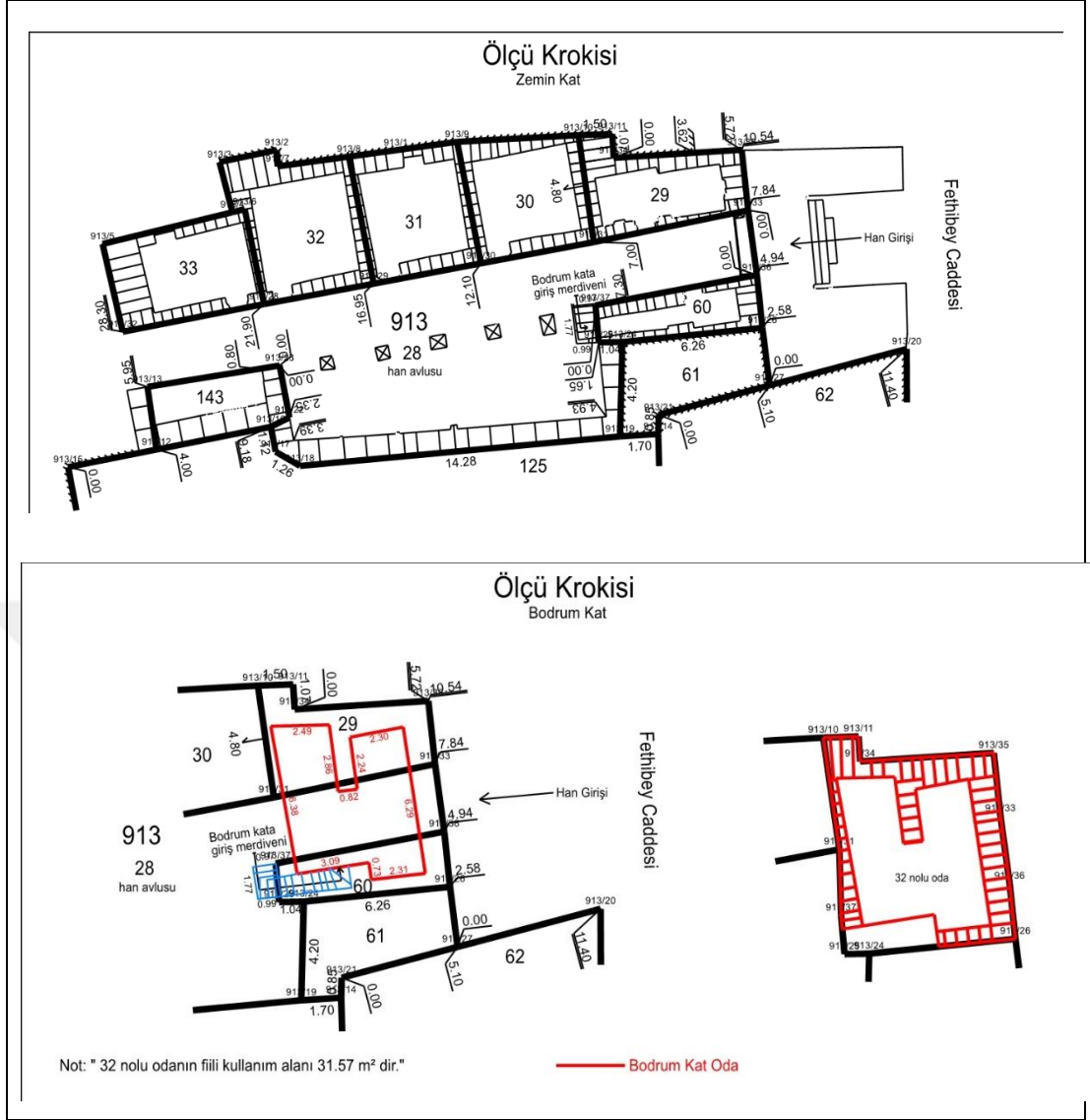
Cephe çizimlerinin AutocCAD ile oluşturulmasının ardından elde edilen çizim, haritacılıkta yaygın diğer bir CAD programı olan NetCAD'e aktarılmıştır. Cephe ölçeklendirme işlemleri NetCAD programında gerçekleştirilmiş ve elde edilen model Şekil 6.35'te verilmiştir. Bununla birlikte, NetCAD kullanılarak elde edilen sınırlandırma ve ölçü krokileri sırasıyla Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'de sunulmuştur.



Şekil 6.35: NetCAD ile cephendirme.



Şekil 6.36: Sınırlandırma krokisi.



Şekil 6.37: Ölçü krokisi.

7. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Lidar teknolojisi ile kültürel mirasımızın en önemli yapıtaşlarından olan tarihi yapıların arşivlenmesi ve belgelenmesi oldukça kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Belirli bir şekle ve düzene sahip olmayan yüzeylerin modellenmesinde günümüzdeki en iyi opsiyonlardan biri 3B lazer tarama sistemleridir. Bu çalışma ile tarihi Çukurçeşme Hanının ya da bilinen adıyla Taşhan'ın cephe modellemesinde İHA sistemi ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Modelleme yapılırken birçok sorun ile karşılaşmıştır. Bu çalışma yapılırken karşılaşılan sorunlardan bazıları;

- Drone ile uçuş yapmadan önce Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünden alınacak olan iznin 5 ile 10 gün arası sürmesi
- Uçuş yapılan bölgede martıların fazla olması sonucu martıların ihaya çarpması sonucu düşmesi
- Minare ve bina yüksekliklerindeki değişkenlik sebebi ile uçuş planının oluşturulmasında zorlanması
- Modellemesi yapılacak Taşhan'ın oluşturulacak katı modeline giydirecek olan fotoğrafların alımı için yüzde 80 bindirme oranının sağlanamamasıdır.

İHA ile yapılan uçuşlar ve toplanan veriler neticesinde Taşhan'ın TKGM'nin belirlediği kriterler doğrultusunda CityGml formatında LOD0, LOD1, LOD2 seviyelerinde katı modeli başarıyla oluşturulmuş olup LOD3 seviyesindeki katı modelde ise kısmi başarı sağlanmıştır.

Literatür incelendiğinde LOD3 seviyesi ile yapının parçası olan pencere ve kapı gibi açıklıklar ile çatı yapıları (çatı çıkıntıları, bacalar, çatı pencereleri) ve duvar gibi cephe yapılarının modellemesinin yapıldığı 3B mimari gösterim olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bu çalışmada LOD3 seviyesinin katı modeli oluşturulurken LOD2 seviyesindeki katı modele fotoğraf giydirme tekniği uygulanmıştır. Modelde kullanılan fotoğraflar İHA ile çekilmiştir. Bu sebeple çekilen fotoğraflarda yeterli detay sağlanamamıştır. Yersel tekniklerle lazer taraması ve yersel fotogrametri için fotoğraflaması Taşhan'ın diğer binalarla aralığının hiç olmaması ya da oldukça az olmasından dolayı gerçekleştirilememiştir. Belirtilen bu sebepler nedeniyle Taşhan'ın klasik ölçüm

yöntemleri ile her cephesinin ölçümleri gerçekleştirilememiş, kontrolde kullanım amaçlı yalnızca bazı cephelerinin ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir.

Fotoğraflardaki detay seviyesinin eksikliğinden dolayı çalışma ile LOD3 seviyesinde oluşturulan katı modelde çatı detayları ile bazı cephelerdeki pencere detayları gösterilmiş fakat kapı ile bazı cephelerdeki pencereler ile sütunlar katı modelde gösterilememiştir. Bu sebeple oluşturulan bu katı modele LOD2,5 seviyesi de denilebilmektedir.

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü 3B kadastro projesi için fotogrametrik ve mimari modellere ait bina ve bina parçaları için geometriler LOD0, LOD1, LOD2 olmak üzere 3 farklı detay seviyesinde üretilmesini LOD2 seviyesinde ise çatılarda ise biraz daha detaya inilerek LOD 2,3 seviyesinde bir model oluşturulmasını istemektedir. Çalışma ile oluşturulan modeller TKGM 3B kadastro projesi kapsamında istenilen detay seviyelerine uygun olarak üretilmiştir.

Çalışmanın diğer bir kolu ise Bodrum katta bulunan 32 numaralı odanın ve bu oda ile ilişkili İstanbul İli Fatih İlçesi Kemalpaşa Mahallesi 913 ada 28, 29, 60 ve 61 parseller lazer tarama tekniği ile ölçülmesidir. Yapılan ölçümler neticesinde nokta konum doğruluğu 2.6 mm olarak belirlenmiş, yapılan ölçümler oldukça hassas olduğundan sınırlandırma ve ölçü krokileri kadastro arşivi için, aplikasyon krokisi de ilgilisi için başarılı bir şekilde düzenlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile bodrum kat 32 numaralı odanın kullanım alanı 31.57 m² olarak tespit edilmiştir.

LİDAR verileri ile nokta bulutu ölçekli olarak binaların ölçüleri birebir olarak ölçülebildiği için mimari arşivlemede ve dokümantasyonda kullanımının oldukça yararlı olduğu bilinmektedir. Bu veriler mimari çizimlerde altlık olarak kullanılabilir. Lazer tarama sistemleri cephelerin milimetre hassasiyetinde ölçümünün yapılarak oluşturulan nokta bulutu verisi cephelere ait birçok detayı içerdiğinden özellikle restorasyon ve koruma çalışmalarında cephelerde meydana gelmiş olan bozulmalar rahatlıkla nokta bulutu ile çizilebilmektedir. Günümüzde ve gelecekte özellikle koruma ve restorasyon çalışmalarında lazer tarama ile ölçme tekniğinden oldukça fazla yararlanılması öngörülmektedir. Yersel Lazer Tarayıcılarla ölçüm tekniğinin ilgili mevzuat düzenlemelerinin gerçekleşmesi ile kadastro müdürlükleri tarafından gelecekteki kullanımı ile çalışmaya konu olan model yapıdaki gibi benzer kadastral sorunların çözümünde en iyi alternatiflerden biri haline gelecektir. Bu çalışma ile yeryüzünden İHA ya da yersel fotogrametri yöntemleri uygulanarak modellenmesi mümkün olmayan tarihi yapıların modellenmesinde en

önemli yöntem olan lazer tarama yöntemi, 32 nolu odanın modellenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Ulvi A., Yakar M., Yiğit A.Y., Kaya Y., (2019), "The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb", *Universal Journal of Engineering Science*, 7, 64–73.
- [2] Uslu A., Polat N., Toprak A.S., Uysal M., (2016), "Sampling of 3D Modelling of Cultural Heritage Using Photogrammetric Method", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 165–176.
- [3] Yaşayan A., Uysal M., Varlık A., Avdan U., (2011), *Fotogrametri*, 1. Baskı, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295 ve Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1292.
- [4] Gustavo Olague, (2016), "Evolutionary Computer Vision, The First Footprints", 411.
- [5] Herranen O., (2020), *Social Institutions and the Problem of Order: A Relational Approach to Neo-Institutionalism through Social System theory, Social Constructionism, and Critical Ideology Theory*.
- [6] Ghosh S.K., (1979), "Analytical photogrammetry.", *Analytical Photogrammetry*.
- [7] Harris G., (2006), "Early development", *Contemporary Psychology: An Introduction*.
- [8] Marien M.W., (2006), *Photography: A cultural history*, Laurence King Publishing.
- [9] Bilgi S., (2007), "Fotogrametri ve uzaktan algılamada veri elde etme yöntemlerinin gelişimi ve kısa tarihçeleri", *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 2007/1(96), 48–55.
- [10] Baumann P., (2001), "History of remote sensing, aerial photography", State University of New York.
- [11] Kumar R., Sawhney H., Samarasekera S., Hsu S., Tao H., Guo Y., *et al.*, (2001), "Aerial video surveillance and exploitation", *Proceedings of the IEEE*, 89, 1518–1539.
- [12] Cohen C.J., (2000), *Early history of remote sensing*, *Proceedings 29th Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, IEEE Computer Society, 3, Washington/USA, 16-18 October 2000.
- [13] Gosh S., (1981), "History of photogrammetry".

- [14] Luhmann T., (2004), "A historical review on panorama photogrammetry", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 8.
- [15] Doyle F., (1964), "The historical development of analytical photogrammetry", *Photogrammetric Engineering*, 30, 259–265.
- [16] Web 1, (2022), <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205196665>, (Erişim Tarihi: 14/06/2022).
- [17] Özker Ö.D., (2012), "Aerial Abstractions: The Analysis Of Aerial Photographs As A Visual Art Form (Hava Soyutlamaları: Görsel Sanat Biçimi Olarak Hava Fotoğraflarının Analizi)", Yüksek Lisans Tezi, İzmir Ekonomi Üniversitesi.
- [18] Mezydło N., (2017), "Digital Photogrammetry for Long-Term Monitoring", Yüksek Lisans Tezi, Columbia University.
- [19] Leikam S., (2016), "The 1906 San Francisco Earthquake and Fire", 1940-0764, *Journal of Transnational American Studies*.
- [20] Doyle I.W., (1980), "Sherman Mills Fairchild", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46, 923–936.
- [21] Schenk T., (2005), "Introduction to photogrammetry", The Ohio State University.
- [22] Thompson M.M., (1952), Development of photogrammetry in the US Geological Survey, US Department of the Interior, Geological Survey.
- [23] Magnani M., Douglass M., López Varela S.L., (2018), "Photogrammetry and stereophotogrammetry", *SAS Encyclopedia of Archaeological Sciences*, Wiley-Blackwell.
- [24] Döner F., Özdemir S., Ceylan M., (2014), "İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Veri Toplama ve Haritalama Çalışmalarında Kullanımı", *Uzaktan Algılama–CBS Sempozyumu*, 14–17.
- [25] Eisenbeiß H., (2009), "UAV photogrammetry"
- [26] Mahmod A.A., (2017), "İnsansız Hava Aracı Verilerinden Üç Boyutlu Model Oluşturma: Aksaray Üniversitesi Kampüs Camii", Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- [27] Nex F., Remondino F., (2014), "UAV for 3D mapping applications: a review", *Applied Geomatics*, 6, 1–15.
- [28] Austin R., (2011), *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*, John Wiley & Sons.

- [29] Web 2, (2022), <https://www.casa.gov.au/search-centre/rules/part-101-casr-unmanned-aircraft-and-rockets>, (Erişim Tarihi: 04/06/2022).
- [30] Web 3, (2022), https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/SHT-IHA_12062017.pdf , Erişim Tarihi: 04/06/2022).
- [31] Kabadayı A., Uysal M., (2019), "İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti", Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 1, 8–14.
- [32] Metin A. (Necmettin E.Ü., (2016), Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- [33] Karagöz Ö., (2008), Modern Kartografik Yönelimlerde Raster-Vektör Dönüşüm Algoritmaları ve Örnek Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi.
- [34] Özemir I., Uzar M., (2016), "İHA İle Fotogrametrik Veri Üretimi", VI. UZAL-CBS Sempozyumu, 245-252, Adana/Türkiye, 5-7 Ekim 2016.
- [35] Albertz J., (2007), "A look back", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Asprs.
- [36] Gürbüz H., (2006), "Genel Fotogrametri 1", Birlik Matbaacılık.
- [37] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, (2012), Lidar 101 : An Introduction to Lidar Technology , Data , and Applications, Revised, NOAA Coastal Services Center.
- [38] Van Genchten B., (2008), Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning, Universidad Politecnica de Valencia Editorial.
- [39] Karasaka L., (2012), Mobil Yersel Lazer Tarama Sistemlerinin Fotogrametrik Röleve Projelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- [40] Vosselman G., Gerd Hans M., (2011), Airborne and terrestrial laser scanning, Whittles Publishing, Scotland, UK.
- [41] Doneus M., Miholjek I., Mandlbürger G., Doneus N., Verhoeven G., Briese C., ve ark., (2015), "Airborne laser bathymetry for documentation of submerged archaeological sites in shallow water", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 40, 99–107.
- [42] Gümüş K., Erkaya H., (2007), "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler", 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 1-11, Ankara/Türkiye, 2-6 Nisan 2007.

- [43] Kersten T., Sternberg H., Mechelke K., Pardo C.A., (2004), "Terrestrial laserscanning system MENSİ GS100/GS200–accuracy tests, experiences and projects at the Hamburg University of Applied Sciences", Panoramic Photogrammetry Workshop ISPRS, 1-8, Dresden/Germany,19-22 February 2004.
- [44] Barber D., Mills J., Bryan P.G., (2001), "Laser Scanning and Photogrammetry: 21st century metrology", Proceedings of 18th International Symposium CIPA, 360-366, Potsdam/Germany, 8-21 Semptember 2001.
- [45] Boehler W., Marbs A., (2002), "3D scanning instruments", Proceedings of the CIPA WG, 6, 1–4.
- [46] Kolbe T.H., Gröger G., Plümer L., (2005), CityGML: Interoperable access to 3D city models, Geo-Information for Disaster Management, Springer, 1, 883–899.
- [47] Özdoğan Ş., Başaraner M., (2013), Citygml Standardında Ayrıntı Düzeylerinin Modellenmesi, Tmmob Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 1-8, Ankara Türkiye, 11-13 Kasım 2013.
- [48] Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanova S., Çöltekin A., (2015), "Applications of 3D city models: State of the art review", ISPRS International Journal of Geo-Information, 4, 2842–2889.
- [49] Alamouri A., Pecchioli L., (2010), "Retrieving information through navigating in historical Baalbek", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38, 4.
- [50] Gröger G., Kolbe T.H., Czerwinski A., (2007), "Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language)", 07-062, Open Geospatial Consortium Inc.
- [51] Yücel M.A., Selçuk M., (2009), "Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009/2, 3–9.
- [52] Web 4, (2022), <https://hayalleme.com/100-yil-once-100-yil-sonra/laleli-tashan/>, (Erişim Tarihi:14/06/2022).
- [53] Beg A.A.R., (2018), "3 Boyutlu Modellemede Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları Verilerinin Entegrasyonu ve Kilistra Antik Kenti Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- [54] İdrisoğlu F.B., (2021), "Bina Modelleme Çalışmalarında İHA-0 Kullanımı ve Model Detay Doğruluğu Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [55] Uyar A., (2017), "3B Kent Modellemede Genelleştirme Problemleri ve Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [56] Şahin C., (2011), "Taksim Cumhuriyet Meydanı Örneğinde Fotogrametri ve Lazer Tarama Verileriyle Bütünleşik 3B Kent Modeli Üretimi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [57] Özdoğan Ş., (2014), "Bina Nesnelerinin CityGML Standardına göre LoD2 Ve LoD3 Ayrıntı Düzeylerinde Üç Boyutlu Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [58] Şenol H.İ., Yiğit A.Y., Kaya Y., Ulvi A., (2021), "İha Ve Yersel Fotogrametrik Veri Füzyonu ile Kültürel Mirasın 3 Boyutlu (3B) Modelleme Uygulaması: Kanlıdivane Örneği", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 3, 29–36.
- [59] Yiğit A.Y., Ulvi A., (2020), "İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2, 46–54.
- [60] Marangoz A.M., Özen M., (2020), "Tarihi Yerleşim Alanlarının Yersel Fotogrametrik Yöntem ile 3B Modellenmesi: Zeynel Bey Türbesi Örneği", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2, 1–6.
- [61] Polat N., Mehmet Önal, Fred Barış Ernst, Halil İbrahim Şenol A.M., Mutlu, Süheyla İrem Mutlu, Mehmet Ali Budan Turgut, Mutalip Kara H., (2020), "Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2, 55–59.
- [62] Sökmen Ş., (2012), "Tarihi yarimada'daki hanların mimari açıdan geçirdikleri evreler ve günümüzdeki işlevleri", Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi.
- [63] Yiğit A.Y., Ali U., (2020), "İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2, 46–54.
- [64] Gümüş M., (2010), "Yersel Lazer Tarayıcıların Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılabilirliği Üzerinde Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi", Selçuk Üniversitesi.
- [65] Web 5, (2022), <https://www.tkgm.gov.tr/projeler/3-boyutlu-kent-modelleri-ve-kadastro-projesi>, (Erişim Tarihi: 29/05/2022).
- [66] Web 6, (2022), <https://cbsakademi.ibb.istanbul/3b-kent-modeli-lod-seviyeleri/>, (Erişim Tarihi: 14/06/2022).

ÖZGEÇMİŞ

Erkut Er 2009 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında başarıyla tamamlayarak 2017 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2016 -2017 yılları arası Çevre Şehircilik Bakanlığı Van Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü'nde, 2017 - 2019 yılları arası Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Kocaeli İl Müdürlüğü'nde Harita Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2019 yılından bu yana Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü İstanbul İl Müdürlüğü'nde Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Er E., Şahin C., (2022), "Tarihi Yapıların 3 Boyutlu Modellemesi: Taşhan Örneği", GTU 6. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu 2022, Sf. 53, Kocaeli, Gebze, Türkiye, 1-2 Haziran 2022

