

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI GÖRÜNTÜLERİ İLE TARİHİ
YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİNDE
FOTOGRAMETRİ YAZILIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI
VE DOĞRULUK ANALİZİ

MURAT HASDEMİR

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

DANIŞMAN: DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

KASIM 2023

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI GÖRÜNTÜLERİ İLE TARİHİ
YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİNDE
FOTOGRAMETRİ YAZILIMLARIN
KARŞILAŞTIRILMASI VE DOĞRULUK ANALİZİ**

MURAT HASDEMİR

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

DANIŞMAN: DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

KASIM 2023

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

COMPARISON OF PHOTOGRAMMETRY SOFTWARE
IN THREE -DIMENSIONAL MODELING OF HISTORIC
BUILDINGS WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE
IMAGES AND ACCURACY ANALYSIS

MURAT HASDEMİR

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION
TECHNOLOGIES PROGRAM

ADVISOR: ASS. PROF. DR. CUMHUR ŞAHİN

NOVEMBER 2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/07/2023 tarih ve 2023/40 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/10/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Murat HASDEMİR'in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programında 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 Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle geçmişten günümüze kadar birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır, birçok kültürel miras barındırmaktadır. Bu kültürel mirasların önemli bir bölümünü ise tarihi binalardır. Bizler için her biri kültürel miras niteliğinde olan tarihi binaların bazıları yıpranmış, bazıları ise çürümeye ve yok olmaya yüz tutmuştur. Tarihi binaların gerek mimari özelliklerinin tespiti gerekse onarımları ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için mevcut durumlarının belgelenmesi önemlidir. Bu amaçla, tarihi binalara ait detaylı fotoğraf çekilmesi, binaların rölöve ölçülerinin alınması, üç boyutlu maketlerinin üretimi gibi çalışmalar geçmişten günümüze kadar devam eden çalışmalardır. Tarihi binaların gelecek nesillere aktarılması için üç boyutlu modellerinin oluşturularak belgelenmesi önemlidir. Tarihi binaların üç boyutlu modellerinin üretilmesi için teknolojinin ilerlemesiyle birlikte günümüzde kısa sürede veri elde etmeyi sağlayan İnsansız Hava Araçları (İHA) ve gelişen yazılımlar tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında İstanbul İli, Silivri İlçesinde bulunan Germiyan Ortodoks Kilisesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada, tarihi bina ve çevresine ait DJI Mavic 2 Pro marka İnsansız Hava Aracı ile elde edilen 822 adet bindirmeli fotoğraf kullanılmıştır. Elde edilen bu fotoğraflar Agisoft, Zephyr ve 3D Survey yazılımlarında ayrı ayrı değerlendirilerek tarihi binanın üç boyutlu modeli üç farklı yazılımda oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmanın doğruluk analizinde altlık teşkil etmesi açısından Tech Sheet Faro Focus3D X130 yersel lazer tarama (YLT) cihazıyla üretilen binanın ölçekli nokta bulutu veri seti kullanılmıştır. Doğruluk analizinde kullanılmak üzere Matlab programında pencere genişliklerini otomatik bulan kod yazılmıştır. Ardından bina üzerinde belirlenen on beş adet referans pencere her bir model üzerinden baz alınarak ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlere göre modeller üzerinden uzunluk verileri lazer verisinden gelen uzunluk ile karşılaştırılarak doğrulukları irdelenmiştir. Tez çalışmasının tarihi binaların yüksek doğrulukla 3B belgelendirilerek gelecek nesillere aktarılmasında altlık teşkil ederek bu çalışmalara yön vermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Binalar, İnsansız Hava Aracı, 3B Modelleme, Fotogrametri.

ABSTRACT

Due to its geographical location, Turkiye has hosted many civilizations from past to present. Turkiye contains many cultural heritage. An important part of these cultural heritages are historical buildings. Some of the historical buildings, each of which is a cultural heritage, have been worn out, while some are facing decay and extinction. It is important to document the current condition of historical buildings both for the determination of their architectural features and for their repair and for their transmission to future generations. For this purpose, taking detailed photos of historical buildings, taking relief measurements of structures, producing three-dimensional models, etc. studies are studies that have been ongoing since the past. It is important to create and document three-dimensional models of historical buildings in order to pass them on to future generations. In order to produce three-dimensional models of historical buildings, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)s that enable data acquisition in a short time and developed software are preferred in producing three-dimensional models today. In this thesis study, the Germiyan Orthodox Church located in Silivri District of Istanbul Province was chosen as the study area. In the study, 822 overlay photographs of the historical building and its surroundings, obtained with the DJI Mavic 2 Pro UAV, were used. These photographs were evaluated separately in Agisoft, Zephyr and 3D Survey software, and a three-dimensional model of the historical building was created in three different software. In addition, a laser scan performed with the Tech Sheet Faro Focus3D X130 terrestrial laser scanning (TLS) device and a scaled point cloud dataset of the historical building were used to serve as a basis for the accuracy analysis of the study. A code that automatically finds window widths was developed in the Matlab software to be used in accuracy analysis. Then, fifteen reference windows determined on the building were measured based on each model. According to these measurements, the length data from the models were compared with the length from the laser data and their accuracy was examined. It is expected that the thesis will guide these studies by providing a basis for transferring historical buildings to future generations by 3D documentation with high accuracy.

Keywords: Historical Buildings, Unmanned Aerial Vehicle(UAV), 3D Modeling, Photogrammetry.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca fikirlerini ve tecrübelerini paylaşan ve çalışmalarında yön veren tez danışmanım Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN'e, aynı zamanda eğitimimde ve tez konusunda katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Bahadır ERGÜN'e, verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Hatice Çiğdem ZAĞRA ÖZ'e tüm içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. FOTOGRAMETRİ	7
3.1. Fotogrametrinin Matematiksel Temelleri	7
3.1.1. İç Yönelme	8
3.1.2. Dış Yönelme	8
3.2. Fotogrametrinin Sınıflandırılması	9
3.3.1. Yersel Fotogrametri	10
3.3.2. Hava Fotogrametrisi	10
4. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	12
4.1. İHA Tanımı ve Tarihsel Süreci	12
4.2. İHA'ların Sınıflandırılması	13
4.2.1. Çalışma Prensiplerine Göre	14
4.2.2. Kullanım Amaçlarına Göre	15
4.2.3. Uçuş Menzil ve İrtifalarına Göre	15
5. LAZER TARAMA SİSTEMLERİ	17
5.1. Hava Lazer Tarama	17
5.2. Yersel Lazer Tarama	18
5.3. El Tipi Lazer Tarama	19
5.4. Giyilebilir Lazer Tarama	20
5.5. Mobil Lazer Tarama	20
6. UYGULAMA	22
6.1. Uygulama Alanı	22
6.2. Materyal ve Yöntem	23
6.2.1. Çalışmada Kullanılan Fotogrametri Yazılımları	27
6.2.1.1. SFM Yöntemi	28
6.2.1.2. Agisoft	30
6.2.1.3. 3DF Zephyr	31
6.2.1.4. 3D Survey	31
6.2.1.5. Cloudcompare	31
6.2.2. Görüntülerden Üç Boyutlu Model Oluşturma	31
6.2.3. Doğruluk Analizi	36

6.2.3.1 MATLAB Yazılımı	36
7. SONUÇ	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	60
EKLER	61



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

3B	: Üç Boyutlu
İHA	: İnsansız Hava Aracı
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
LIDAR	: Light Detection and Ranging
YLT	: Yersel Lazer Tarama
RPV	: Remote Piloted Vehicle
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
GPS	: Global Konumlandırma Sistemi
IMU	: Atalet Ölçüm Birimi
SLAM	: Simultaneous Localization And Mapping
KM	: Kilometre
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CMOS	: Complimentary Metal Oxide Semiconductor
MM	: Milimetre
GR	: Gram
DK	: Dakika
S	: Saat
C°	: Santigrat
YKN	: Yer Kontrol Noktası
SFM	: Structure From Motion
M	: Metre
CM	: Santimetre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Fotogrametrinin tarihsel süreci.	7
Şekil 3.2: Fotogrametrinin matematiksel modeli.	8
Şekil 3.3: Fotogrametrinin sınıflandırılması.	9
Şekil 3.4: Fotogrametri ile görüntülerin değerlendirilmesi.	10
Şekil 3.5: Hava fotogrametrisinde görüntülerin elde edilmesi.	11
Şekil 4.1: İHA'ların tarihsel gelişim süreci.	13
Şekil 4.2: Sabit kanatlı İHA.	14
Şekil 4.3: Döner kanatlı İHA.	14
Şekil 4.4: Askeri amaçlı İHA.	15
Şekil 5.1: Lazer tarama sistemleri sınıflandırılması.	17
Şekil 5.2: Hava lazer tarama sistemi.	18
Şekil 5.3: Bazı sabit lazer tarayıcılar.	19
Şekil 5.4: El tipi lazer tarayıcı.	19
Şekil 5.5: Giyilebilir lazer tarayıcı.	20
Şekil 5.6: Araç üzerine entegreli lazer tarayıcı.	21
Şekil 6.1: Germiyan kilisesi uydu görüntüsü.	22
Şekil 6.2: Germiyan kilisesi iç kısmına ait görüntü.	23
Şekil 6.3: DJI Mavic 2 pro İHA.	23
Şekil 6.4: İHA uçuş teknikleri.	25
Şekil 6.5: Circular uçuşla elde edilen görüntü.	25
Şekil 6.6: Circular uçuşla elde edilen görüntü(farklı açıdan).	26
Şekil 6.7: Grid uçuşla elde edilen görüntülerin bazıları.	26
Şekil 6.8: Faro Focus3D X130 YLT.	27
Şekil 6.9: SFM Yöntemi.	28
Şekil 6.10: SFM 3B model oluşturma.	29
Şekil 6.11: Fotogrametrik değerlendirme aşamaları.	29
Şekil 6.12: SFM yöntemiyle değerlendirme aşamaları.	30
Şekil 6.13: İş akış diyagramı.	32
Şekil 6.14: Agisoft yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu (üstten görünüm).	33
Şekil 6.15: Agisoft yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu (yandan görünüm).	33
Şekil 6.16: 3DF Zephyr yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu.	34
Şekil 6.17: 3D Survey yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu.	34
Şekil 6.18: 3D Survey yazılımında oluşturulan modelin ortak nokta seçimi.	35
Şekil 6.19: Lazer tarama verisinin ortak nokta seçimi.	35
Şekil 6.20: Modellerin üst üste getirilmiş hali.	36
Şekil 6.21: Pencere genişliklerinin belirlenmesi için yazılan MATLAB kodu.	37
Şekil 6.22: Pencere genişliklerinin belirlenmesi için yazılan MATLAB kodu (devamı).	37
Şekil 6.23: Genişlikleri ölçülecek pencereler (Batı ve Güney cephe).	38
Şekil 6.24: Genişlikleri ölçülecek pencereler (Doğu ve Kuzey cephe).	38
Şekil 6.25: Kesme işlemi sonrası 3D Survey yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.	39

Şekil 6.26: Kesme işlemi sonrası Lazer Tarama verisinin P2 verisi.	39
Şekil 6.27: Kesme işlemi sonrası Agisoft yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.	39
Şekil 6.28: Kesme işlemi sonrası 3DF Zephyr yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.	40
Şekil 6.29: MATLAB’da pencere verisinin açılması (Lazer tarama P2 verisi).	40
Şekil 6.30: MATLAB’da Verinin gürültüleri giderilmiş hali (Lazer tarama P2 verisi).	41
Şekil 6.31: MATLAB’da noktaların seçilmesi.	41
Şekil 6.32: Lazer tarama P2 verisine ait pencere genişliği.	42
Şekil 6.33: Modellerin standart sapma ve ortalama hata grafiği.	46
Şekil 6.34: Modellerin ölçek farklarının grafiği.	48
Şekil 6.35: Üç model için P4, P5, P6, P8 pencerelerin ölçek farkları grafiği.	49
Şekil 6.36: Ölçek farklarının ortalama hata ve standart sapma grafiği.	50
Şekil 6.37: Örnek iki düzlem.	50

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1: İHA'ların kullanım alanları.	12
Tablo 4.2: Türlerine göre İHA'lar.	16
Tablo 4.3: Çeşitli türdeki İHA'ların karşılaştırılması	16
Tablo 6.1: Mavic 2 Pro kamera özellikleri.	24
Tablo 6.2: Mavic 2 Pro İHA özellikleri.	24
Tablo 6.3: Faro Focus3D X130 özellikleri	27
Tablo 6.4: Pencerelele ait uygulama öncesi ve sonrası nokta sayıları.	43
Tablo 6.5: Pencerelele ait genişlik ölçüleri.	44
Tablo 6.6: Pencerelele ait genişlik ölçülerinin farkları.	45
Tablo 6.7: Pencerelele ait ölçek değerleri.	47
Tablo 6.8: Pencerelelerin ölçek farkları.	48
Tablo 6.9: Ölçek farklarının ortalama hata ve standart sapma değerleri.	49
Tablo 6.10: Yüzey normal parametreleri.	51
Tablo 6.11: Lazer düzlemi ile pencere verilerinin düzlemleri arasındaki açılar	52

1. GİRİŞ

Kültürel mirasın korunması ve yönetimi politikasının en önemli görevlerinden biri geometrik dokümantasyondur. Üç boyutlu dokümantasyon, herhangi bir koruma ve restorasyon çalışmasından önce, kültürel miras sahalarının ve nesnelerinin korunması, anlaşılması, iletilmesi ve değerlendirilmesi için temel bir ön koşul olarak kabul edilir [1]. Tarihimizden günümüze kadar uzanan kültürel ve tarihi yapıların gelecek nesillere aktarılması, belgelenerek saklanması açısından fotogrametrik ve lazer tarama yöntemleri başvurulan yöntemler arasında olmuştur [2]. Kültürel miras, genellikle görüntüleme tabanlı (multispektral, fotogrametri, bilgisayarlı görme, uzaktan algılama vb.) pasif sensörler (yani dijital kameralar) ile ya da yoğun nokta bulutları üreten lazer tarama tekniğiyle (3D dokümantasyon, haritalama ve görselleştirme amaçlarıyla) sayısallaştırılır.

Arazi çalışmalarını en aza indiren, çalışma bölgesinin üç boyutlu verilerinin ve ortofotolarının elde edilmesini sağlayan, hava fotogrametrisi haritacılıkta uzun bir geçmişi sahiptir. Amacı; uçak ya da helikopter gibi araçlar kullanarak yeryüzünden belirli yükseklikte bulunan kameralar yardımıyla çekilen fotoğraflardan elde edilen modeller üzerinde ölçme yapılmasıdır. Son zamanlarda hava fotogrametrisinde daha küçük ölçekli çalışmalarda İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın kullanımında büyük bir artış söz konusudur. Bu yönüme göre kısa süre içerisinde daha düşük maliyetli veriler elde edilmektedir.

Tarihi yapıların 3 boyutlu modellenmesi aşamasında düşük maliyette veri toplanması önemli bir yer oluşturmaktadır. Bu doğrultuda lazer tarama cihazları geliştirilmiş ve kısa zaman içerisinde yüksek boyutta veriler elde edilebilir hale gelmiştir. Bu cihazlar her alanla kullanılabilir olmadığından dolayı üç boyutlu modelleme çalışmalarında fotogrametrik yöntemler devreye girmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte fotogrametrik yöntemlere göre çeşitli yazılımlar geliştirilerek iki boyutlu fotoğraflardan yüksek doğrulukta üç boyutlu model verileri elde edilebilmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İÇeriği

Ülkemizde tarih boyunca birçok medeniyet ve uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Bu medeniyetlere ait tarihi yapılar günümüze kadar ayakta kalabilmiştir. Bizler için her biri kültürel miras niteliğinde olan bu yapıların bazıları yıpranmış, bazıları ise çürümeye ve yok olmaya yüz tutmuştur. Bu yapıların bütünlüğünü korumak ve gelecek nesillere aktarmak en önemli görevlerimizden birisidir. Bu doğrultuda geçmişten beri birçok çalışmalar yapılmakta, günümüzde de devam etmektedir. Yapılan çalışmalar içerisinde yapının rölöve ölçülerinin alınması, yapıya ait detaylı fotoğraf çekilmesi vb. çalışmalar örnek gösterilebilir. Gelişen teknolojiyle birlikte bu çalışmalar yerlerini teknolojik aletlere bırakmış bu sayede daha hızlı, ekonomik ve yüksek doğruluklu veri elde etmeye fırsat tanımıştır. Yenilikçi teknolojilerin içerisinde İHA'lar, lazer tarama cihazları, elektronik ölçüm aletleri kullanılarak daha kısa sürede veri elde edilebilmektedir. Bunların yanı sıra bilgisayar tabanlı yazılımlarda da büyük bir ilerleme söz konusudur. Son yıllardaki gelişmelerle birlikte bu yazılımlar nesnelerin üç boyutlu modellenmelerinin kolayca oluşturulmasına fırsat tanımaktadır. Özellikle tarihi yapıların belgelendirilerek gelecek nesillere aktarılması, rölöve ölçülerinin alınmasında, restorasyon çalışmalarının yapılmasında üç boyutlu modelleme büyük bir önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, İHA fotoğrafları ile İstanbul'un Silivri İlçesine bağlı Değirmenköy'de bulunan 1836'lı yıllardan günümüze kadar gelen tarihi önem taşıyan Germiyan Kilisesi'nin üç boyutlu modelini üç tane fotogrametrik yazılımda üretip bu modellerin karşılaştırmasını yaparak doğruluklarını irdelemektedir. Bu yapılan çalışmalar ile yüksek doğruluklu veri elde edilmesi sağlanarak tarihi yapıların üç boyutlu belgelendirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çağımızda teknolojik gelişmeler 3B model oluşturmada birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Aşağıda bu kapsamda yapılan benzer çalışmalar özetlenmiştir.

İnsansız Hava Aracı (İHA) ile aynı yükseklikte (30 metre) yapılan uçuşlarda üç farklı uçuş tekniğini kullanarak (grid, double grid, circular) Gözne Kalesinin bindirmeli fotoğraflarını çekmiş elde edilen bu fotoğrafları Agisoft Photoscan yazılımında 3B modellerini oluşturmuş ve sonuç ürün olarak elde edilen modeller irdelenmiştir [3]. Çalışmanın amacına yönelik ve 3B modeli oluşturulması istenen alana göre uçuş irtifaları, kameranın açısı vb. değişkenlerin farklılıklar göstereceği kanaatine varılmıştır.

Edwards platosunun 15 hektar büyüklüğündeki bir bölümünde SFM ile elde edilen görüntü bindirilmesi ve çalışma alanında yeterli kapsamanın sağlanması için çalışma alanına ait 1166 görüntü elde edilerek, bu görüntülerden nokta bulutu üretimi Agisoft PhotoScan yazılımı ile otomatik olarak yapılmıştır [4]. Agisoft PhotoScan yazılımı ile üretilen nokta bulutları koordinatsız ve ölçeksiz olduğundan nokta bulutunun koordinatları bilinen YKN'ları yardımı ile manuel olarak coğrafi referanslandırılması gerçekleştirilmiştir. Aynı çalışmada, SFM ve LiDAR verisinden SYM üretmek amacı ile doğal komşuluk kullanılmış ve üretilen modeller karşılaştırılmıştır. LiDAR verisinden elde edilen noktalar çalışma bölgesine eşit olarak dağılım gösterirken, SFM veri setindeki noktalar ise yüksek yoğunlukta kümelenmiş olup çalışma bölgesinin büyük bir bölümünde bulunmamaktadır. Nokta yüksekliklerinin tahmininde SFM verilerinin, LiDAR verilerine göre iki kat daha fazla hata içerdiği tespit edilmiş, model tahminleri arasındaki farklar ve LiDAR ve SFM verileri arasında hesaplanan hatalar ise çok küçük tespit edilmiştir. SFM ile elde edilen nokta bulutu verisinin bitki örtüsü olan bazı bölgelerde yüksek doğrulukla SYM üretiminde kullanılabileceği, kapalı kanopi bölgelerinde ise çok iyi sonuç vermediği bildirilmiştir.

Güneybatı Anadolu bölgesinde yer alan Olimpos antik kentin orijinal yapısını elde etme amaçlanmış ve çalışma kapsamında kentin lazer tarama verisi elde edilerek sanal ortamda 3B modeli oluşturulmuştur [5]. Yüksek hassasiyette elde edilen veri üzerinde yapılan çizimlerle kentin restitüsyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece tarih boyunca günümüze uzanan bu antik kentin yapısı hakkında bilgi elde ederek kentin tahrip

olmadan önce yapısı hakkında verilere ulaşılmıştır. Bu sayede bir zamanlar buranın bir şehir olduğu ve insanların yaşadığı bilinci aktarılmış olacaktır.

Tek kalibreli kamera ve aynı sahnenin sadece iki görüntüsüne dayanan bir algoritma kullanarak, SFM tekniği ile iki görüntünün bileşen noktalarını tespit etmeye çalışmıştır [6]. MATLAB ile hesaplanan deneysel sonuçlara göre birinci aşamada, yumuşak yüzeyli sahne kullanılmış, algoritmanın performansı yetersiz bulunmuştur. İkinci aşamada, daha fazla detayı olan sert yüzeyli nesnelere kullanılmış, birinci aşamaya göre algoritma sonuçları daha yüksek doğruluk gösterdiği belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, ilk deneysel sahneye daha fazla detay eklenerek gerçekleştirilmiş ve sonuçların ilk deneyden daha büyük bir doğruluk oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yeterli bindirme oranlarına sahip fotoğraflar kullanılarak SFM tekniği ile kıyı şeritlerinin topoğrafik yapısını tespit edilmiştir [7]. 6 ya da daha fazla yer kontrol noktası ile SFM ve Lidar verisi arasındaki karşılaştırmaların karesel ortalama hatası 30 cm'den daha az olarak belirlenmiştir. SFM tekniği, Lidar tekniğine göre nokta bulutunun kapsamı, düşey ve farklı kesitlerden alınan 10-100 kata kadar daha fazla nokta yoğunluğuna sahip olmasından dolayı daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Erzurumda bulunan Yakutiye Medresesi'nin fotogrametrik çalışması yapılmış çalışma arazi ve ofis olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilerek arazi aşamasında yapıya ait detay noktaları total station yardımıyla ölçülmüştür [8]. Bu işlemin ardından İHA ile yapının çevresinde farklı konumlarda 65 adet fotoğraf çekmiştir. İkinci aşama olan ofis aşamasında İHA ile elde edilen fotoğraflar Context Capture yazılımında değerlendirilmiştir. 30 adet nokta ile yönlendirme işlemi yapılmış bu noktalar haricinde 10 kontrol noktasıyla hata değerlerinin hesabı yapılmıştır. 3B model oluşturma işlemi başlatılarak sırasıyla katı model ve ardından kaplanmış model oluşturulmuştur. Sonuç ürün olarak üretilen bu modelin Sketchup yazılımında çizimi yapılmıştır. Buna göre İHA yardımıyla 3B model oluşturularak yapının belgeleme çalışması yapılmış ve doğruluk değerleri de göz önünde bulundurulduğunda belgeleme çalışmasına uygun olduğu görülmüştür.

Kültürel mirasın belgelenmesi ve dijital dökümanının oluşturulması amacıyla Kore Cumhuriyetinde bulunan Magoksa Tapınağı'nın lazer tarama ve İHA fotogrametrisi verilerinin kombinasyonunu kullanmayı amaçlamıştır [9]. Lazer tarama ile elde edilen veriler ile İHA fotogrametrisi verileri karşılaştırılmış, İHA

fotogrametrisinin lazer taramaya göre üst bölgelerde daha yüksek veri toplama oranı olduğu tespit edilmiş fakat iki veri türü yer kontrol noktalarına göre karşılaştırıldığında lazer tarama verisinin daha yüksek doğrulukta olduğu saptanmıştır. Ayrıca iki veri türü dönüştürülerek birleştirilmiş, hibrit nokta bulutu verisi şeklinde bir model oluşturulmuştur. Bu çalışmayla lazer tarama ve İHA fotogrametrisinin 3B belgelemede entegrasyonunun kullanılma potansiyelini göstermiştir.

Mercan kayalıklarının 3B rekonstrüksiyonunu ticari SFM yazılımları Agisoft Photoscan Pro and Pix4Dmapper Pro 3.1 ile modelleyerek sonuçları karşılaştırmış ve Agisoft yazılım paketi, üç uzamsal ölçeğin tümü için görüntülerin% 90'ından fazlasını tutarlı bir şekilde hizalarken, Pix4D yazılımında uzamsal ölçek arttıkça görüntü hizalamada bir azalma görüldüğü bildirilmiştir [10].

Konya'da bulunan Sırçalı Medrese'ye ait Taç Kapının Canon Ixus fotoğraf makinesi ile 9 adet fotoğrafı çekilmiş, birbirine çakıştırılmalı olarak çekilen bu fotoğraflar Photomodeler 5.0 yazılımında değerlendirilmiştir [11]. Ayrıca TOPCON GPT 3007 marka total station ile kontrol noktaların ölçümü yapılarak koordinatlar bu yazılımda açılmış ve noktaların eşleştirme işlemi yapılmıştır. Ölçeklendirme işlemi yapılan verinin bazı kısımlarının yazılım üzerinde çizimi yapılmış ve 3 boyutlu model elde edilmiştir. Sonuç olarak klasik belgeleme yöntemlerine göre bu tekniğin pek çok avantajının olduğu görülmüştür. Bunlardan en önemlisi yapıya ait karmaşık bölümlerde ölçülerin kolay çıkarılabilmesi ve yapının yüksek bölümlerinde klasik yöntemlere göre daha rahat bir şekilde ölçülerinin alınabildiği görülmüştür. Ayrıca yersel fotogrametri yöntemi tarihi ve kültürel yapıların belgeleme çalışmalarında sık kullanılması gerektiği ve bu çalışmaların artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yunanistan'ın Metsovo kentinde bulunan "Averof'un Neohellenik Sanat Müzesi'nin kültürel olarak varlığını korumak ve gelecek nesillere aktarılmasını sağlamak amacıyla yapının 3 boyutlu modeli oluşturulmuş ve bu doğrultuda DJI Phantom 3 İnsansız Hava Aracıyla sabit uçuş yüksekliğinde uçuş yapılmıştır [12]. Yapılan bu uçuşta yapıya ait 144 adet fotoğraf elde edilmiştir. Elde edilen bu fotoğrafların bindirme oranları 1. Fotoğraf ile 2. Fotoğrafın %80, 1. Fotoğraf ile 3. Fotoğrafın %35 olarak belirlenmiştir. Agisoft Photoscan fotogrametrik yazılımında fotoğraflar değerlendirilerek yapının 3B modeli elde edilmiştir. Bu model üzerinde yapının her bir cephesi için ortofoto görüntüleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak yüksek doğrulukla üretilen BIM modelleri

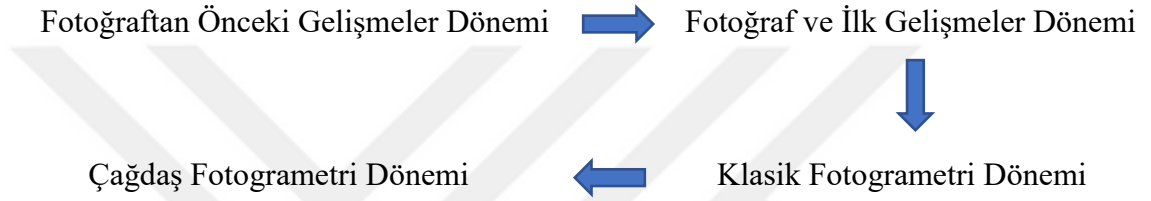
gelecekte yenilenmesi ve yapı hakkında kullanıcılara bilgi verilmesi amacıyla kullanılabilir olduğu görülmüştür.

SFM tabanlı bir yazılım olan Agisoft PhotoScan ile, klasik fotogrametrik tabanlı bir yazılım olan ERDAS İMAGİNE yazılımları karşılaştırılarak Photoscan ile elde edilen sonuçların ERDAS ile elde edilenlere göre daha az kararlı dolayısıyla doğruluğunun daha düşük tespit edildiği bildirilmiştir [13].

GNSS-IMU ve otopilot destekli İHA kullanılarak antik kent ve kervan yolunun 80 metre uçuş yüksekliğinde bindirmeli olarak elde edilen görüntülerden, SFM algoritması ile işlenmiş, sit alanının 2.1 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve 8.4 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiştir [14]. Sonuçlardan, antik kentler ve kervan yollarının belgelenmesinde, İHA fotogrametri sistemlerinin detaylı ve hassas 3B veri elde etmek için uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

3. FOTOGRAMETRİ

Fotogrametri, ölçülmesi istenilen nesnenin veya arazinin fotoğraflarının çekilmesi ardından bu fotoğraflar ve yazılımlar kullanılarak bilgisayar ortamında nesne hakkında bilgi elde edinmeyi amaç edinmiş bilim dalıdır. Yazılımlar kullanılarak fotoğraf üzerinden çeşitli ölçümler ve çizimler yapılabilir. Fotogrametri; harita üretimi, Jeoloji, ormancılık, etüd-proje, mimari vb. birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi 4 döneme ayrılarak incelenebilir.



Şekil 3.1: Fotogrametrinin tarihsel süreci.

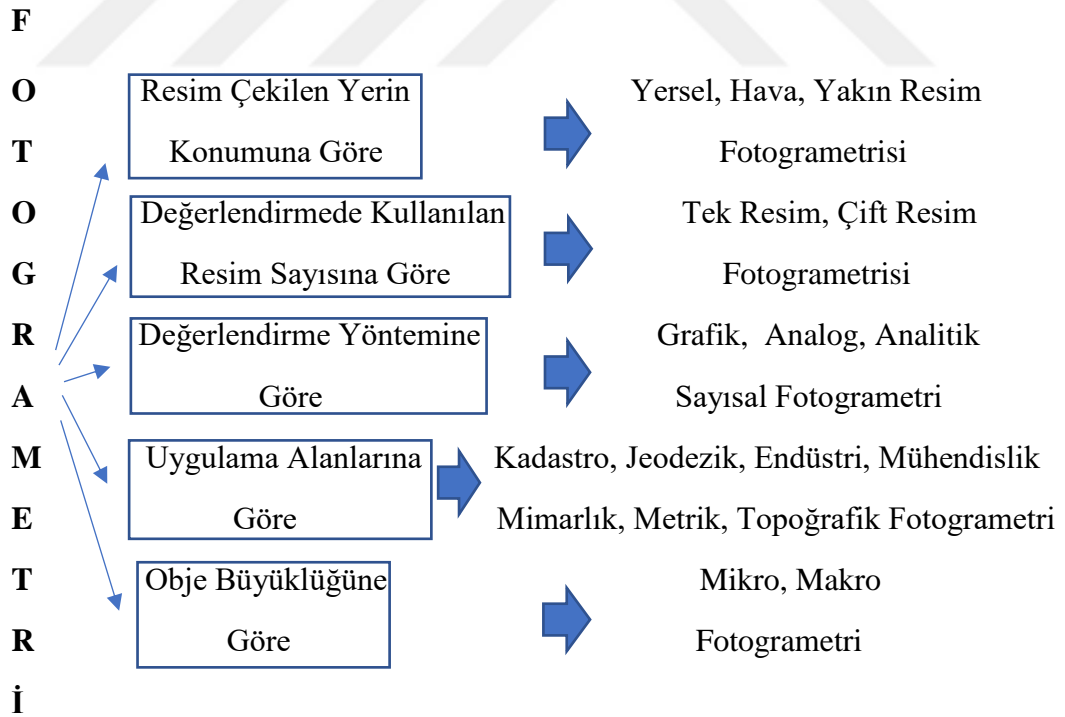
3.1. Fotogrametrinin Matematiksel Temelleri

Bir nesneye ait fotogrametrik çalışma sürecinde nesneye ait çekilen fotoğraflardan izdüşümleri üzerinden matematiksel ve geometrik yaklaşımlardan yararlanılarak hesaplama yapılır. Bu işleme göre fotoğrafta üzerinde bulunan bir noktanın X, Y ve Z değerlerine ulaşılmaktadır. Nesneden çıkan her bir ışın fotoğraf makinasının merkezinden geçip fotoğraf olarak tanımlanan düzlemde bir izdüşüm halini oluşturur. Bu izdüşümün konumlandırılıp anlam kazanması amacıyla fotoğraf makinasının iç yöneltme ve dış yöneltme elemanları hesaplanır [15].

Dış yöneltmenin yapılabilmesi için bir fotoğrafa ait 6 adet parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler arazi koordinat sistemindeki alım noktasının X, Y, Z olmak üzere koordinatları ve ω , ϕ , χ olmak üzere dönüklük açılarıdır. Hava kameraları ile alınan görüntülerde bunlar mevcuttur. Bir görüntü 6 adet dış yöneltme parametresine sahip olmasından dolayı bir görüntü çiftinin (modelin) yöneltmesi için 12 adet parametrenin bilinmesi gerekmektedir. 12 parametrenin 5 tanesi karşılıklı yöneltme ile, 7 tanesi ise mutlak yöneltme ile bulunur [22]. İki koordinat sistemi arasında dönüşüm yöntemleri uygulanarak gerçek koordinat sistemine geçiş sağlanır [23].

3.2. Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Fotogrametri, fotoğrafın elde edilmesinde kullanılan kameranın yerine göre, değerlendirme yöntemine göre, değerlendirmede kullanılacak resim sayısına göre, çalışması yapılacak objenin büyüklüğüne göre ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılabilir. Şekil 3.3’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Fotogrametrinin sınıflandırılması.

3.3. Fotogrametrik Yöntemler

Fotogrametrik Yöntemler, yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki başlıkta incelenebilir.

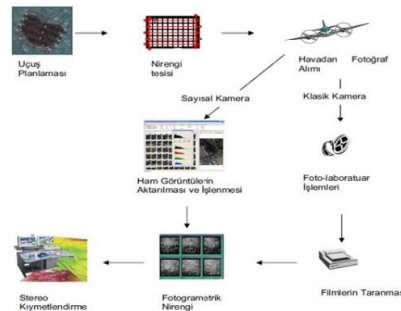
3.3.1. Yersel Fotogrametri

Yersel fotogrametri nesnelerin fotoğraflarının yer yüzeyinde elde edilerek işlendiği bir yöntemdir. Özellikle yanına yaklaşılamayan nesnelerin fakat görüntüsü elde edilebilen nesnelerin ölçümlerinde sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Büyük alanların fotogrametrik olarak değerlendirilmesinde daha uzun zaman alacağından ve maliyetli olacağından tercih edilen bir yöntem olmamaktadır. Fotogrametri ile tarihi yapıların belgelenmesinde ve arşivlenmesinde önemli rol oynamaktadır [24].

Mühendislik ve mimarlık alanlarının dışında arkeoloji, kent planlaması gibi bazı meslek disiplinleri tarafından da tercih edilmektedir. Bunlara ek olarak trafik kazalarının tespiti ve kriminal ve balistik inceleme alanlarında da kullanılarak kritik noktaların çözümünde etkin rol oynamaktadır [25].

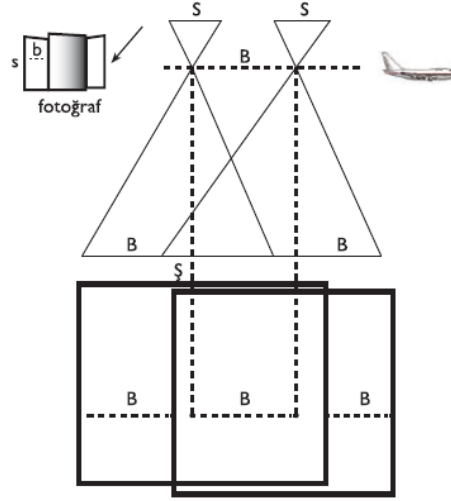
3.3.2. Hava Fotogrametrisi

Fotogrametrik yöntemlerden bir diğeri hava fotogrametrisi ise özellikle ortofoto ve harita üretiminde tercih edilen bir yöntem olmuştur. Bu teknik gökyüzünde uçan insanlı veya insansız bir hava aracına kamera ya da kameraların takılmasıyla elde edilen görüntülerin kullanıldığı bir tekniktir. Fotogrametrinin gelişmesiyle beraber yersel fotogrametriyle yapılması güç olan veya mümkün olmayan işleri hava fotogrametrisi üstlenmiştir. Hava fotogrametrisiyle klasik haritacılık yöntemlerine göre kısa sürede daha düşük maliyetli haritalar üretilebilmektedir.



Şekil 3.4: Fotogrametri ile görüntülerin değerlendirilmesi

Klasik hava fotogrametrisinde, arazide yer kontrol noktalarının işaretlenmesi ve bu noktalarının ölçülmesi bu fotogrametri tekniğinde büyük önem arz etmektedir. Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle beraber hava fotogrametrisinde insansız hava araçları büyük bir yere sahiptir.



Şekil 3.5: Hava fotogrametrisinde görüntülerin elde edilmesi.

Hava aracının uçuş yönü doğrultusunda araziye ait fotoğraflar bindirmeli olarak çekilir (Şekil 3.5). Çekilen bu fotoğraflar çalışmanın amacına uygun olarak değerlendirilir.

4. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)

4.1. İHA Tanımı ve Tarihsel Süreci

İnsansız Hava Araçları, içerisinde herhangi bir insan bulunmadan uzaktan kontrol sistemiyle kontrol edilen veya otomatik ya da yarı otomatik bir şekilde alçak ve yüksek irtifalarda uçuş yapabilen farklı türleri bulunan araçlardır [26][27]. Kumanda sistemiyle kontrol edilen İHA'lar belirli mesafe içerisinde kontrol edilebilirken, uydu sinyalleri ile kontrol edilen İHA'lar mesafe sınırı olmaksızın kontrol edilebilmektedirler [28]. Görevleri ve çalışma alanlarına göre farklı tiplerde bulunmaktadır. Kullanım alanları olarak Tablo 4.1'de detaylı olarak bahsedilmektedir.

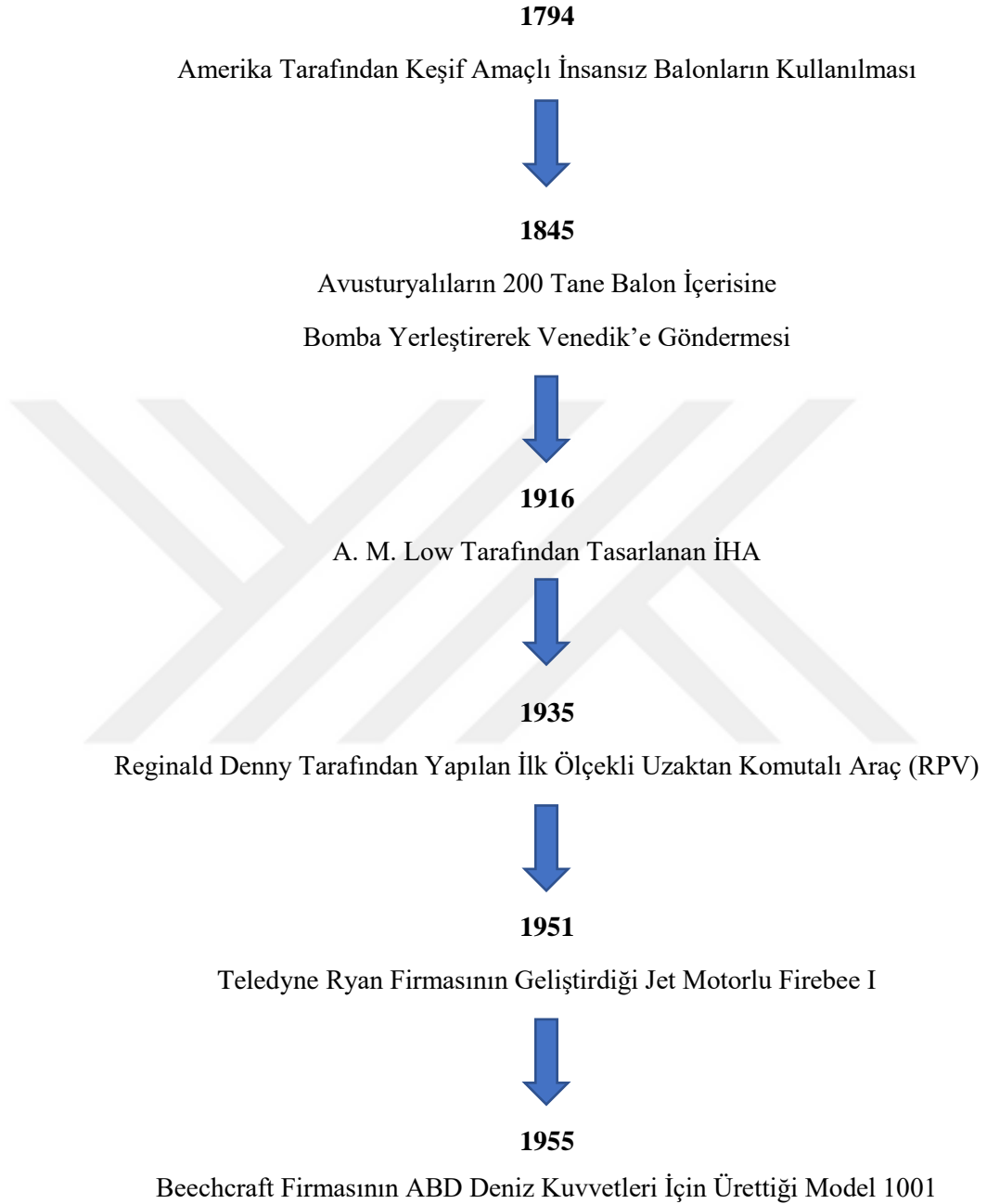
Tablo 4.1: İHA'ların kullanım alanları.

ASKERİ AMAÇLI İHALAR	SİVİL AMAÇLI İHALAR
Hedef ve Yem Amaçlı Olarak Kullanılan İHA'lar	Kargo ve Lojistik Amaçlı Kullanılan İHA'lar
Keşif ve Gözetleme Amaçlı Olarak Kullanılan İHA'lar	Mühendislik ve Hesaplama Amaçlı Kullanılan İHA'lar
Çatışma Amaçlı Olarak Kullanılan İHA'lar	Eğlence ve Hobi Amaçlı İHA'lar
	Tarımsal Amaçlı Kullanılan İHA'lar

İnsansız Hava Araçları maliyet, pilot hayati tehlikesi, boyutu, görevi itibarıyla İnsanlı Hava Araçlarının yapamayacağı sivil ve askeri açıdan birçok görevi üstlenerek bu alanlarda tercih edilir hale gelmiştir [29].

Tarihi açıdan baktığımızda; kayıtlarda ilk olarak 22 Ağustos 1845 tarihinde Avusturyalıların 200 tane içerisinde insan bulunmayan balona bomba yerleştirerek Venedik'e göndermesi tarihe ilk İnsansız Hava Aracı saldırısı olarak geçmektedir [30]. İlk İnsansız Hava Aracı A. M. Low tarafından geliştirilmiş ve sonrasında Hewitt-Sperry isimli uçak I. Dünya Savaşı döneminde kullanılarak sahneye çıkmıştır [31].

Bunu takip eden yıllar içerisinde çok sayıda gelişmeler olmuş Şekil 4.1’de gösterilmiştir [32].



Şekil 4.1: İHA’ların tarihsel gelişim süreci.

4.2. İHA’ların Sınıflandırılması

İHA’ların tarihsel gelişiminden de anlaşıldığı üzere dönem boyunca farklı türde birçok İHA geliştirilmiştir. Bu durum İHA’ları daha anlaşılır kılması açısından sınıflandırma

ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Aşağıda farklı sınıflarda bulunan İHA türleri örnek olarak gösterilmektedir.

4.2.1. Çalışma Prensiplerine Göre

İnsansız Hava Araçları fiziksel ve aerodinamik yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Motorlu İHA türleri irtifa ve sürelerde uçuş yapabilen sabit kanatlı ve döner kanatlı olarak ikiye ayrılabilir. Kanatlı İHA, Şekil 4.2’de gösterildiği gibi kanatlarının sabit yapıda olması itibariyle aracın ileri doğru süratinden doğan hava akışının yarattığı hareketle uçan araçtır [33].



Şekil 4.2: Sabit kanatlı İHA.

Döner Kanatlı İHA ise Şekil 4.3’de gösterildiği gibi dönen kanatların ürettiği güç sayesinde yerçekimi kuvvetini yenerek dikey bir şekilde kalkış iniş yapabilen araçlardır [34].



Şekil 4.3: Döner kanatlı İHA.

4.2.2. Kullanım Amaçlarına Göre

İHA'lar kullanım amaçlarına göre farklı birçok alanda tercih edilmektedir. Bu başlık altında İHA'lar Askeri Amaçlı İHA'lar ve Sivil Amaçlı İHA'lar olmak üzere iki grup altında düşünülebilir. Sınıflandırmadaki asıl önemli kriter İHA'nın fiziki yapısından (tipi, ağırlığı vb.) bağımsız olarak aracın hangi amaç için kullanılıyor olmasıdır. Bu kullanım amacına göre de farklı türdeki İHA'lar tercih edilebilir. Askeri amaçlı olarak geliştirilen İHA'lar mühimmat entegreli taarruzi olarak kullanılabilen türleri olmakta beraber, üzerinde mühimmat bulunmayan üzerinde farklı çeşitlerde kamera ya da algılayıcı ile teçhiz edilmiş keşif ve gözlem amaçlı olarak kullanılabilen türleri de bulunmaktadır. Sivil amaçlı İHA'lar ise mühendislik, tarım, endüstri gibi bir çok farklı meslek alanında kullanılmaktadır. Harita üretimi, modelleme gibi alanlarda kullanılmakla tarım arazilerinin ilaçlanması gibi görevleri de üstlenmektedir.



Şekil 4.4: Askeri amaçlı İHA.

4.2.3. Uçuş Menzil ve İrtifalarına Göre

Bu sınıf altındaki İHA'ları incelediğimizde araçların uçuş yükseklikleri önemli bir yere sahiptir. Bunların yanı sıra araçların ağırlıkları, boyutları ve diğer özellikleri de etki etmektedir.

İnsansız Hava Araçlarının özelliklerini göz önünde bulundurarak genel bir sınıflandırma tablo 4.2'de yapılmaktadır [35].

Tablo 4.2: Türlerine Göre İHA'lar.

İHA	Ağırlık (pound)	Boyut (feet)	Uçuş Yüksekliği (yüzeyden yükseklik)	Uçuş Hızı (miles/saat)	Uçuş Yarıçapı (miles)	Uçuş Süresi (saat)
Nano	<1	<1	<400	<25	<1	<1
Mikro	1-45	<3	<3.000	10-25	1-5	1
Küçük İHA	45-55	<10	<10.000	50-75	5-25	1-4
Çok Hafif Uçak	55-225	<30	<15.000	75-150	25-75	4-6
Hafif Spor Uçak	255-1.320	<45	<18.000	75-150	50-100	6-12
Küçük Uçak	1.320-12.500	<60	<25.000	100-200	100-200	24-36
Orta Uçak	12.500-41.000	-	<100.000	-	-	-

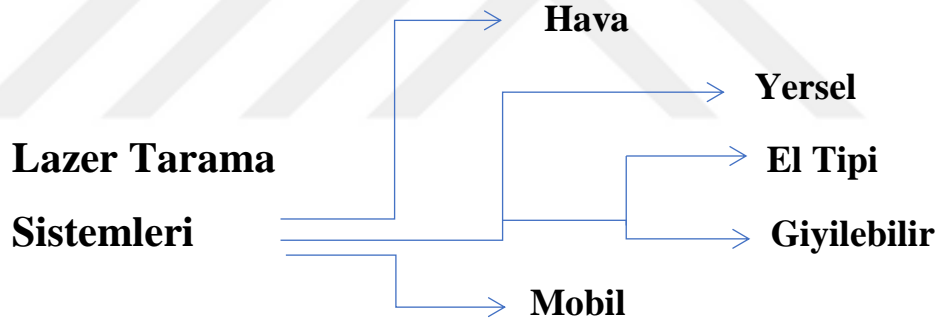
Dış etkenlerde kullanılacak İHA'nın tercihinde önemli yere sahiptir. Bu durumdan kaynaklı olarak her İHA türü çeşitli avantajı ve dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Eisenbeiss, 2009 yılında çalışmasında çeşitli türdeki İHA'ları bazı kriterlere göre karşılaştırma yapmıştır. Yapılan bu karşılaştırma çalışması Tablo 4.3'de gösterilmektedir [36]. Tablo 4.3'te yer alan "+" işareti daha güçlü yeteneğe sahip olduğunu, "0" gösterimi ise yeteneğe sahip olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 4.3: Çeşitli türdeki İHA'ların karşılaştırılması.

İHA Tipi	Menzil	Dayanıklılık	Hava ve Rüzgara Bağımlılık	Manevra Kabiliyeti
Balon	0	++	0	0
Zeplin	++	++	0	+
Planör/Uçurtma	+	0	0	0
Sabit Kanatlı Planör	++	+	+	+
Pervane/Jet Motorları	++	++	+	+
Rotor Uçurtma	++	+	0	+
Tekli Rotor(Helikopter)	+	+	+	++
Koaksiyel	+	++	+	++
Quadrotor	0	0	0	++
Multicopter	+	+	+	++

5. LAZER TARAMA SİSTEMLERİ

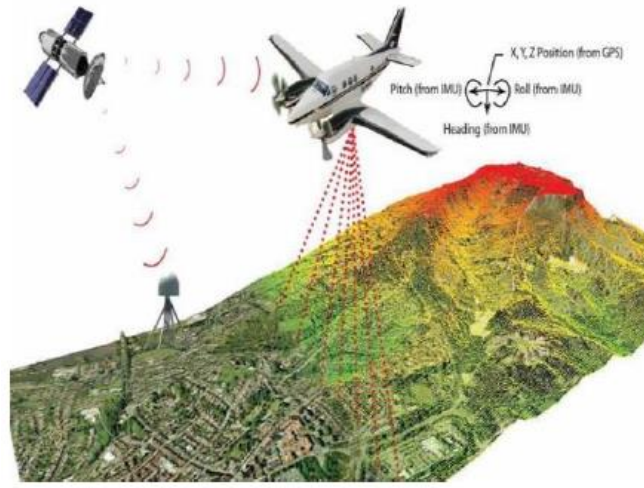
Literatürde LİDAR olarak geçen ve kökeni “Light Detection and Ranging” kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşan lazer tarama sistemleri nesnelerin üç boyutlu modelinin oluşturulmasında önemli bir yere sahiptir. Lazer tarama, cihazdan çıkan ışının nesneye gönderilip yüzeye çarpan ışının geri gelme süresinden istifade ederek nesne yüzeyine ait detayların üç boyutlu koordinat verilerini üretmeye yarayan teknolojidir [37]. Bu sistem Işık Tespiti-Uzaklık Tayini prensibine göre çalışır ve nesneye ait yoğun nokta konum bilgisini oluşturur. Üç boyutlu model oluşturma aşamasında fotogrametrik yöntemlerin aksine kısa sürede veriyi oluşturmayı sağlar ve daha yoğun nokta bulutu verisi elde edilmiş olur. Fotogrametrik yöntemlere göre dezavantajı ise çalışmada kullanılan lazer tarama cihazının mesafesinin sınırlı olması ve bu sistemlerin fotogrametrik yöntemlere göre daha maliyetli olmasıdır [38].



Şekil 5.1: Lazer tarama sistemleri sınıflandırılması.

5.1. Hava Lazer Tarama

Herhangi bir hava aracı üzerine Lidar cihazının monte edilmesiyle verinin elde edilmesi yöntemidir. Hava lazer tarama sistemi temel olarak bakıldığında uzaktan algılama tekniği de denilebilir. Bu sayede elde edilen yoğun nokta bulutu verisi ile sayısal arazi modeli (SAM), sayısal yükseklik modeli (SYM) gibi model verileri oluşturulabilir. Bu sistem ile araziye ait model oluşturken aynı zamanda konum bilgisi de elde edilmektedir.



Şekil 5.2: Hava lazer tarama sistemi.

Hava lazer tarama sisteminin ana aktörünü olan hava lidarı genel olarak lazer tarayıcı sensörü, global konumlandırma sistemi (GPS) alıcısı ve atalet ölçüm birimi (IMU) cihazı olmak 3 kısımdan oluşmaktadır. Cihaz hava aracı üzerinde hareket halinde iken GPS anlık konumu belirlerken IMU ise sistemin dönüklük açı değerlerini verir.

Haritacılık çalışmalarında tercih edilen bu sistemin fotogrametrik yöntemlere göre en önemli özelliği kısa süre içerisinde yüksek doğruluklu yoğun nokta bulutu veri elde edilmesi ve zorlu arazi şartlarında bile uygulanabilirliği olmasıdır. Ancak hava aracının uçuş irtifasına göre lidar cihazı seçimi yapılması gerekmekte ve maliyet açısından yüksek olduğu için fotogrametrik yöntemlere nazaran daha az tercih edilmektedir. Ayrıca lazer tarama verisi ile obje çıkarımı (ağaç, yol, vb.) gibi çalışmalarda yapılmaktadır [39].

5.2. Yersel Lazer Tarama

Bu sistemlerin hava tarama sistemlerinden farklı olarak yeryüzünde kullanım amacına sabit ya da hareketli platformlar üzerinde kullanılmasıdır. Haritacılıkta kullanılan klasik ölçme yöntemlerine göre daha hızlı ve yüksek doğruluklu nokta verisi elde etmeyi sağlar. Yersel lazer tarayıcılar sayesinde yoğun nokta verisi oluşturularak nesnelerin 3 boyutlu modeli oluşturulabilir. Modeli oluşturulacak nesnenin boyutundan bağımsız olarak küçük boyuttaki nesnelerin 3B modeli oluşturulabilir [40]. Bu sayede nesnelerin tek seferde ölçümü yapılarak çalışma amacına göre bilgisayar ortamında yüksek hassasiyetli uzunluk ölçümleri yapılabilmektedir. Bu

sistemler bina modellemesi, tarihi yapıların modellenmesi, restorasyon projelerinin oluşturulması gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 5.3: Bazı sabit lazer tarayıcılar.

5.3. El Tipi Lazer Tarama

Bu sistemler hem sabit olarak hem de gezici olarak kullanılabilirdiği için karma yersel tarama sistemi de denilebilir.

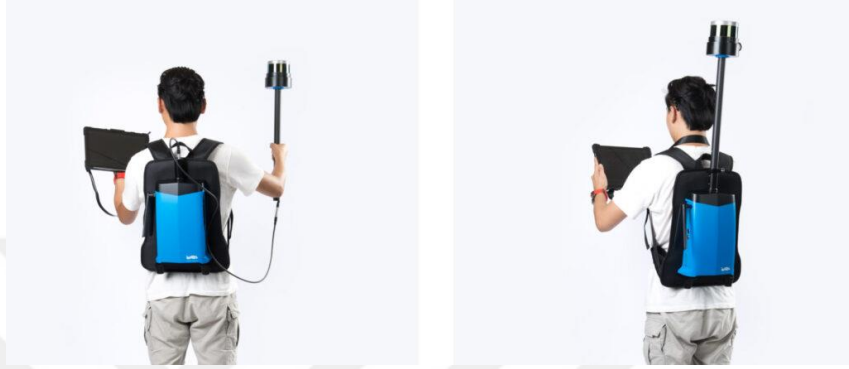


Şekil 5.4: El tipi lazer tarayıcı.

Hareketli ve sabit tarama sistemi olarak iki tekniğe de sahip olduğundan dolayı hibrit ölçme tekniğine sahiptir [41]. El tipi lazer tarayıcıyla elde edilen nokta bulutları anlık konumlandırma algoritmaları yardımıyla yapının veya nesnenin 3 boyutlu nokta veri seti oluşturulabilmektedir.

5.4. Giyilebilir Lazer Tarama

Bu lazer tarama sistemleri hem kapalı hem de açık ortamlarda SLAM (simultaneous localization and mapping) tekniğiyle aralıksız olarak gerçek zamanlı veri elde edilebilmektedir. Bu sayede ölçüm esnasında veya sonrasında yapılan ölçümün rotası, yoğunluk gibi bilgilerde olmak üzere veriyi görebilmektedirler.



Şekil 5.5: Giyilebilir lazer tarayıcı.

Sırt çantası gibi kullanılan bu tipteki lazer tarayıcılar madencilik, ormancılık, mimari ve restorasyon gibi meslek alanlarında kullanılabilir. Giyilebilir bir yapıya sahip olduğundan dolayı ölçüm esnasında kolaylık sağlamaktadır.

5.5. Mobil Lazer Tarama

Sabit lazer tarayıcılarla birçok açıdan benzer yapıda olan bu tarayıcılar sabit bir yerde konumlandırılarak veri toplamanın aksine hareketli araçlar (araba, motor vb.) üzerine monte edilerek kullanılmasıdır. Bu tipteki lazer tarayıcıların konum doğrulukları sabit lazer tarayıcılara göre daha düşüktür. Araç hareket ederken cihazdan gönderilen lazer sinyalleri sayesinde dakikalar içerisinde binlerce nokta verisi toplayabilmektedir. Bu sayede sabit lazer tarayıcılarda olduğu gibi cihaz kurulumu yapılmadan hareket ederek daha kısa sürede veri elde edilebilmektedir.



Şekil 5.6: Araç üzerine entegreli lazer tarayıcı.

6. UYGULAMA

6.1. Uygulama Alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Germiyan Kilisesi İstanbul'un Silivri İlçesine bağlı Değirmenköy'de bulunmaktadır. Bu yer İstanbul'a yaklaşık olarak 100 km mesafe uzaklıktadır.



Şekil 6.1: Germiyan Kilisesi uydu görüntüsü.

Tarihi yapı niteliğinde olan bu kilise 1836 yılından günümüze kadar gelmiştir. Osmanlı Döneminde o sırada tahta bulunan I. Abdulhamit'in para yardımıyla bulularak inşaa edilen bu kilise bölgede yaşayan Rum köylüleri için yaptırılmıştır. Yaşanan tarihi gelişmelere beraber 1923 yılında yaşanan nüfus mübadelesi sebebiyle bölgede yaşayan Rum kökenli halkın bölgeden göç etmesiyle beraber bu yapı da boş durumda kalmıştır.



Şekil 6.2: Germiyan Kilisesi iç kısmına ait görüntü.

Göç sonrasında boş durumda kalan bu kilise zaman içerisinde cami ve okul olarak kullanılmıştır [42]. Günümüzde atıl durumda olan bu tarihi yapının bazı yerlerinde yıpranmalar ve tahribatlar oluşmuştur.

6.2. Materyal ve Yöntem

Tez çalışmasında kullanılan yapıya ait fotoğraflar DJI Mavic 2 Pro marka İHA ve üzerinde entegre olan Mavic 2 Pro kamera ile elde edilmiştir. Şekil 6.3'te gösterilen İHA kanatları katlanır vaziyetteyken 214x91x84 mm (uzunluk x genişlik x yükseklik) boyutlarında olan ve oldukça az yer kaplamaktadır.



Şekil 6.3: DJI Mavic 2 Pro İHA.

Kullanılan İHA'ya ait teknik özellikler Tablo 6.1'de ve kameraya ait teknik özellikler ise Tablo 6.2'de verilmektedir.

Tablo 6.1: Mavic 2 Pro kamera özellikleri.

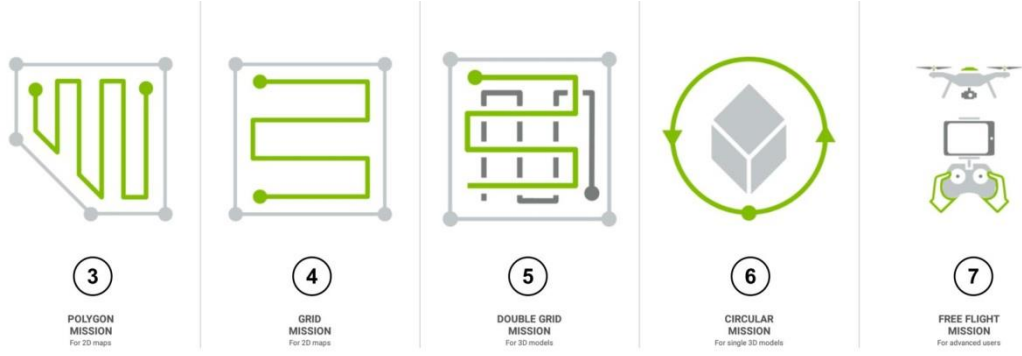
Mavic 2 Pro Kamera Özellikleri	
Sensör	1'' CMOS
Etkin Pikseller	20 Milyon
Lens	FOV: Yaklaşık 77° 35 mm Eşdeğer Biçim 28 mm
	Video 100-6400
ISO Range	Fotoğraf 100-3200 (otomatik) 100-12800(manuel)
Fotoğraf Ebatı	5472x3648
Perde Hızı	Elektronik Shutter: 8-1/8000 s
Foto Formatı	JPEG / DNG(RAW)

Tablo 6.2: Mavic 2 Pro İHA özellikleri.

Mavic 2 Pro İHA Özellikleri	
Ağırlık	907 gr.
Diyagonal Mesafe	354 mm.
Maksimum Çalışma Yüksekliği	6000 m.
Maksimum Hız	72 kph (S-mode)
Maksimum Uçuş Süresi	31 dk (istikrarlı 25 km/s hızla)
Maksimum Uçuş Menzili (rüzgarsız)	18 km (istikrarlı 50 km/s hızla)
Maksimum Rüzgar Hızı Direnci	29-39 km/s
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-10 C° ile 40 C° arası

Tarihi yapıya ait fotoğraflar çekilmeden önce fotoğrafların nasıl ve ne şekilde çekileceğine karar vermek adına uçuş planı yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan

fotoğrafların elde edilmesi için Şekil 6.4’de gösterilen uçuş tekniklerinden Grid Mission ve Circular Mission olarak adlandırılan iki farklı uçuş yapılmıştır. İlk olarak Circular Mission olarak bilinen uçuş yapılarak İHA ile yapının çevresinde 360° derece dönerek otonom uçuş gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu uçuşta 10 metre irtifada yapıya ait %80 enine ve %80 boyuna bindirmeli olarak yapıya ait 36 adet fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğrafların bazıları Şekil 6.5’de ve Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.4: İHA uçuş teknikleri.



Şekil 6.5: Circular uçuşla elde edilen görüntü.



Şekil 6.6: Circular uçuşla elde edilen görüntü (farklı açıdan).

Grid mission olarak adlandırılan uçuşta ise yapıya ait 4 cephe üzerinde uçuş gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak yapıya ait farklı açılardan da circular missionda olduğu gibi %80 enine %80 boyuna bindirme oranında fotoğraflar çekilmiştir. Şekil 6.7'de gösterildiği gibi bu şekilde yapıya ve çevresine ait 786 adet fotoğraf elde edilmiştir.



Şekil 6.7: Grid uçuşla elde edilen görüntülerin bazıları.

Yapılan uçuşlar sonucunda yapıya ve çevresine ait %80 enine %80 boyuna bindirmeli olmak üzere toplamda 822 adet fotoğraf elde edilmiştir.

Ayrıca tez çalışmasında referans tarama modelinin oluşturulması amacıyla Şekil 6.8'de gösterilen Faro Focus3D X130 marka yersel lazer tarayıcı cihazından elde edilen nokta bulutu verisi de kullanılmıştır. Faro Focus3D X130 YTL'ye ait teknik özellikler ise Tablo 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Faro Focus3D X130 YLT.

Tablo 6.3: Faro Focus3D X130 YLT.

Faro Focus3D X130 Özellikleri	
Lazer Sınıfı	1
Kamera	Entegre Renkli Kamera (70 megapiksel)
Menzil	0,6 – 130 metre
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
Dahili Sensörler	GPS, Pusula, altimetre, eğim sensörlü
Doğruluk	± 2 mm
Boyut	24x20x10
Ağırlık	5,2 kg
Gürültü Azaltma	%50

Tarama işlemi yapılırken nokta sıklığı 5 mm. olarak belirlenerek yapıya ait nokta verisi oluşturulmuştur. Tarama cihazı bir yersel tarama cihazı olduğundan dolayı yapıya ait çatı verisi oluşturulamamıştır. İşlem 27 oturumda yapılarak toplamda 270 dakikada tamamlanmıştır.

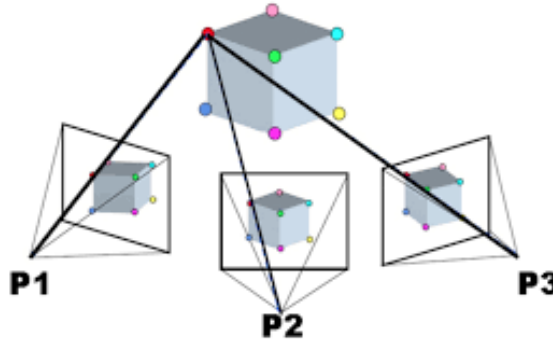
6.2.1. Çalışmada Kullanılan Fotogrametri Yazılımları

Yapıya ait görüntülerin elde edilmesinin ardından bu görüntülerin fotogrametrik yazılımlarda değerlendirilmesi gerekmektedir. Fotogrametrik yazılımlar,

görüntülerden ve fotoğraflardan 2D veya 3D haritalar, modeller üretmek ve modeller üzerinden ölçü alabilmek için kullanılan araçlardır. Piyasada farklı üretici ve firmalara ait olan bir çok fotogrametrik yazılım bulunmaktadır. Bunlar kullanıcılara çeşitli arayüzlerde çalışma ve uygulama imkanı tanımaktadır. Yazılımlar, görüntülerdeki özelliklerin ve kamera hareketinin analizi sonucunda 3D nokta bulutları oluşturur. SFM (Structure From Motion) Hareketten Nesne Oluşturma denilen bu yöntem 3B modelleme yöntemlerinden birisi olmakta beraber sık tercih edilen bir yöntemdir. Bu nokta bulutları, nesnelerin ve ortamların 3D temsili için kullanılır.

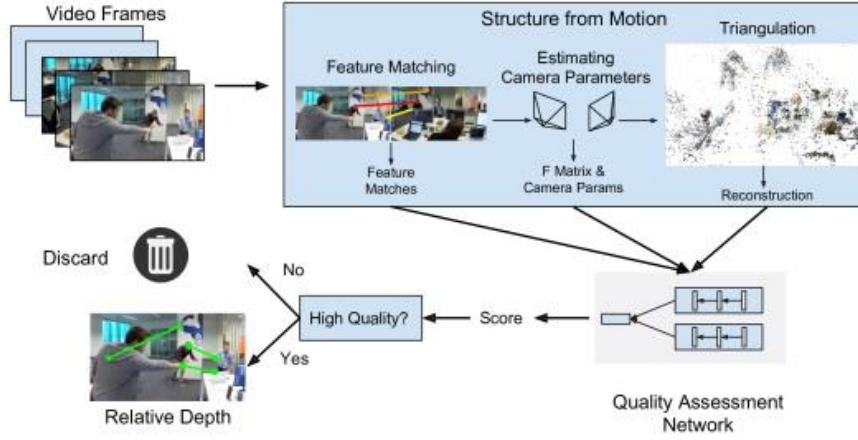
6.2.1.1. SFM Yöntemi

Hareketten Nesne Oluşturma Yöntemi (SFM) dünyadaki nesnelerin göz içinde 3B görüntülerinin oluşması prensibine dayanmaktadır. SFM bir veya birden fazla kamera kullanılarak farklı açılardan ya da pozisyonlardan çekilmiş görüntülerden nokta bulutu verisini oluşturur.



Şekil 6.9: SFM Yöntemi.

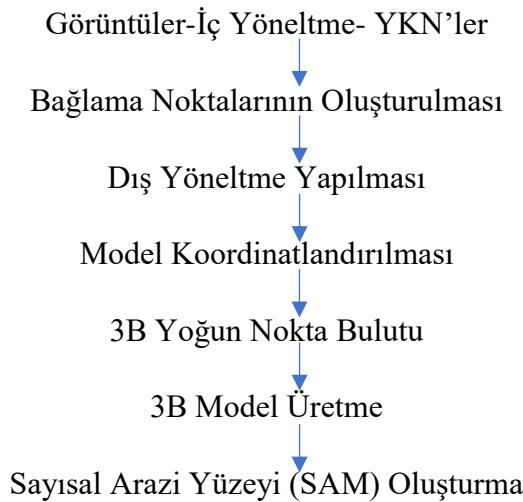
Bu yöntem her görüntüdeki özellikleri (kenarlar, köşeler, benzer pikseller) eşleyerek 3B model oluşturmak için temel veriyi sağlar. SFM 3B nokta bulutunu elde etmek amacıyla farklı açılardaki birden fazla görüntüde yakalanan ya da eşleşen noktaların geometrik özelliklerini kullanan geleneksel fotogrametri ilkelerine göre çalışır [43]. Dolayısıyla çalışmada kullanılan görüntülerin bir oranda örtüşmesi gerekmektedir [44]. Ayrıca SFM yönteminde kameranın konumu ve modelin geometrisi otomatik olarak geldiği için kamera ve YKN koordinatlarının ayrı olarak hesaplanmasına gerek kalmamaktadır [45].



Şekil 6.10: SfM 3B model oluşturma.

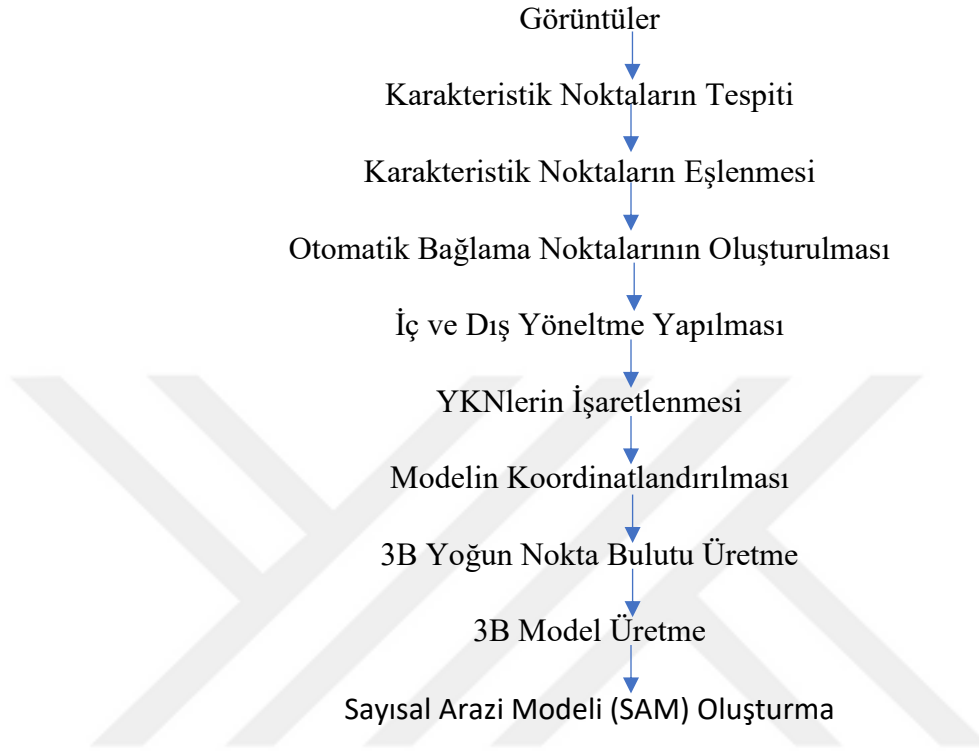
Üretilen model açısından bakıldığında SfM ile klasik fotogrametri arasında pek fark görünmese de işlem süreçleri ve hesaplama açısından farklar bulunmaktadır. Buna göre klasik fotogrametri de kalıplaşmış geometrik ve matematiksel hesaplamalara dayanmakta SfM temeline dayanan İHA fotogrametrisinde ise nokta bulutu oluşturma amacıyla görüntü eşleme ve geometrik dönüşüm algoritmalarına dayanmaktadır.

Aşağıda geleneksel fotogrametri yöntemlerine göre görüntülerin değerlendirilerek Sayısal Arazi Yüzeyi (SAM) oluşturma işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 6.11: Fotogrametrik değerlendirme aşamaları.

Klasik fotogrametri yönteminde yüksek doğruluklu veri elde etmeye yönelik parametre tahminleri yapmaktadır. SFM yönteminde ise bu tahmin yerine nesne çatımı ile panorama oluşturmaktır [46].



SFM bir diğer önemli farkı ise kamera konumu ve dönüklükleri olmadan görüntünün geometri bilgilerine ulaşılabilir. Klasik yöntemlere göre herhangi bir referans bilgisi olmadığından dolayı 3B konumları rastgele bir uzaydadır. Bu durum göz önüne alındığında SFM yöntemine göre yapılan çalışmalarda 3B benzerlik dönüşümü uygulanarak ölçek ve referans sorunları YKN'ler yardımıyla çözülür [47]. Çalışmamızda oluşturulan model SFM Yöntemi uygulanarak elde edilmiştir.

6.2.1.2. Agisoft

2006 yılında Rusya merkezli olarak kurulan Agisoft LLC şirketi fotoğraflardan 3 boyutlu model oluşturma amaçlı geliştirilen fotogrametrik bir yazılımdır [48]. Bu yazılımla çeşitli açılardan çekilmiş fotoğraflar kullanılarak nokta bulutu verisi üretilebilir. Sonuç ürün olarak elde edilen veriler farklı dosya tiplerinde de kayıt edilebilir. Geotiff, pdf vb. formatlarda çıktı alınabilmektedir. Yazılımda bulunan

algoritmalar sayesinde üretilen yoğun nokta bulutu verisinden katı model oluşturulabilmektedir.

6.2.1.3. 3DF Zephyr

Bu yazılım 2D fotoğraf ve görüntülerden 3D model oluşturmaya yarayan fotogrametrik bir bilgisayar programıdır. Bu yazılım sayesinde nesnelerin 3D modelleri oluşturularak mimarlık, mühendislik, arkeoloji gibi çeşitli sektörlerde kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca yazılım bir çok dosya formatını destekleyerek farklı yazılımlara entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. Program kullanıcıya oluşturduğu model üzerinde düzeltme ve iyileştirmeler yapmasına fırsat tanıyarak modellerin gerçeğe yakın değerlerde elde edilmesini sağlar.

6.2.1.4. 3D Survey

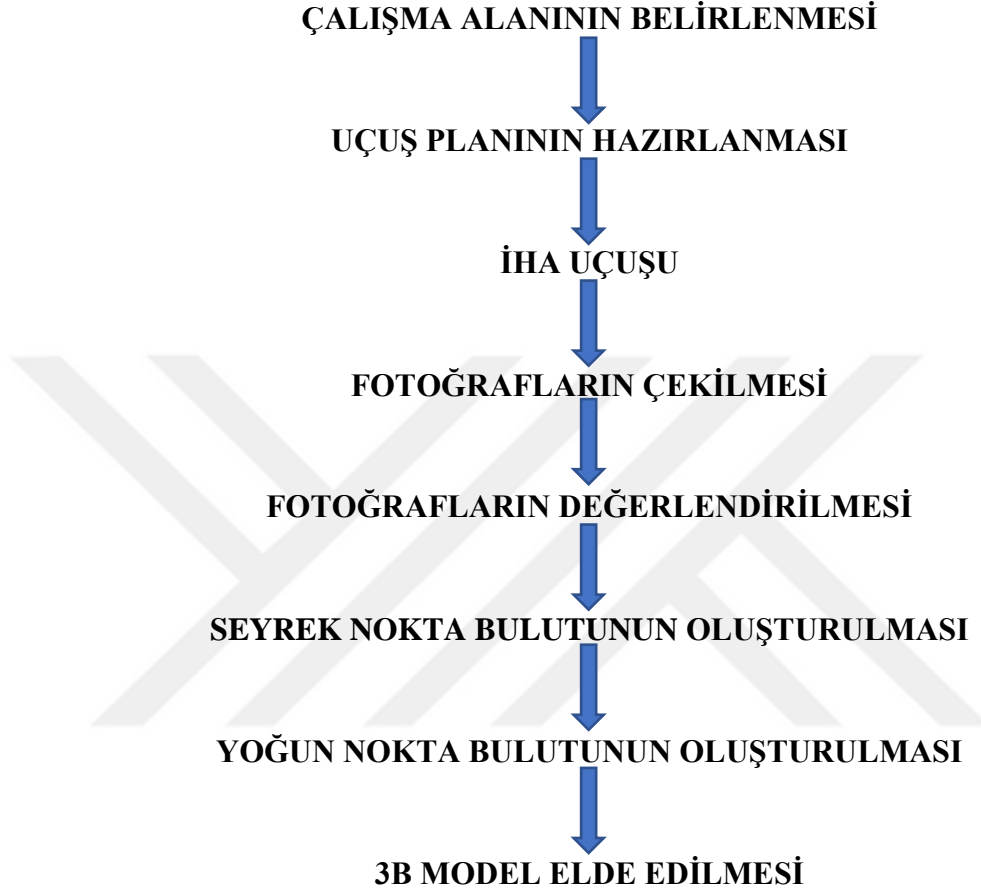
3D Survey yazılımı, genellikle çeşitli endüstrilerde kullanılan ve üç boyutlu (3D) haritalama ve veri toplama işlemlerini destekleyen bir yazılımdır. 3D Survey, toprak yüzeyi, arazi, binalar ve diğer nesnelerin 3D verilerini toplama ve işleme yeteneklerine sahiptir. Topografik ve jeodezik verileri, lazer tarama (LIDAR), GNSS (Global Navigation Satellite System) gibi teknolojilerle toplanabilir ve yazılım bu verileri işleyerek 3D haritalar oluşturur. Araştırma, madencilik, inşaat, doğal afet yönetimi gibi sektörlerde kullanıcılar için daha kapsamlı planlar yapabilirler [49]. Özellikle inşaat, coğrafi bilgi sistemleri, arazi analizi ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda 3D veri işleme ve haritalama projeleri yapanlar için önemli bir araçtır.

6.2.1.5. CloudCompare

CloudCompare, ücretsiz ve açık kaynaklı bir nokta bulutu veri işleme ve 3D modelleme yazılımıdır. Bu yazılım, özellikle coğrafi bilgi sistemleri (GIS), arazi analizi, mimari modelleme ve sanayi uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Bu yazılım, lazer tarama (LIDAR), fotogrametri ve diğer 3D veri kaynaklarından elde edilen nokta bulutu verilerini işleme yeteneği sunar ve nokta bulutlarını kullanarak 3D modeller oluşturmaya olanak tanır. Bu modeller, inşaat projeleri, sanayi tasarımı ve coğrafi analizler gibi birçok uygulama için kullanılabilir. Ayrıca kullanıcıların nokta bulutu verilerini düzenlemelerine, filtrelemelerine ve analiz etmelerine yardımcı olur. Bu, verilerin daha anlamlı ve işlevsel hale getirilmesine olanak tanır.

6.2.2. Görüntülerden 3B Model Oluşturma

İnsansız Hava Aracıyla yapılan uçuşlardan elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılım olan Agisoft, 3DF Zephyr ve 3D Survey yazılımlarında değerlendirilmiştir.

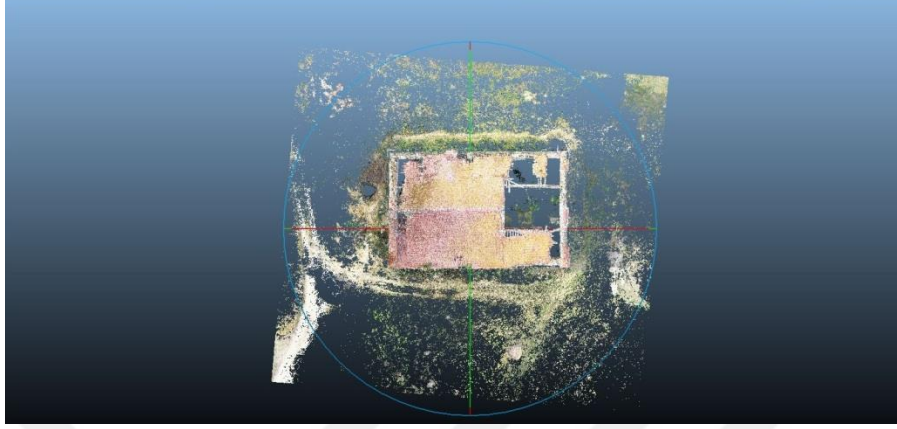


Şekil 6.13: İş akış diyagramı.

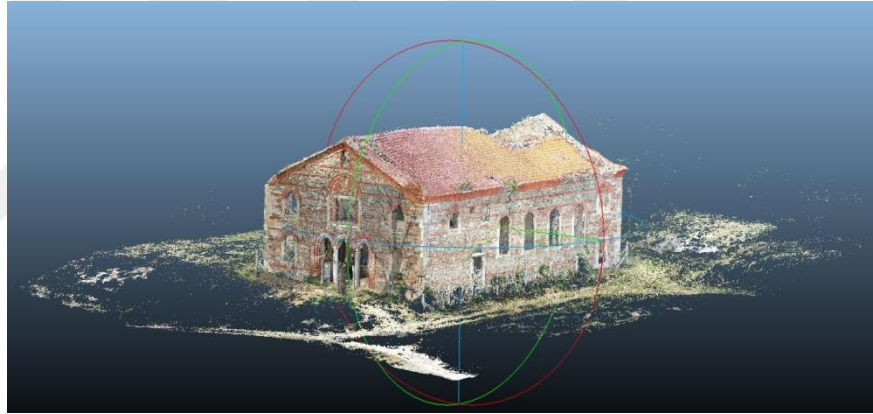
İHA ile elde edilen fotoğraflar Agisoft yazılımına aktarılmıştır. Buna bağlı olarak seyrek nokta bulutu oluşturmak amacıyla fotoğraf yöneltme işlemi uygulanmıştır. Yazılım çekilen fotoğraflar üzerinde ortak noktaları belirleyerek eşleşmeyi yapmaktadır. Sonuç ürün olarak seyrek nokta bulutu verisi oluşturulmuş fakat oluşturulan bu veri doğrudan 3B model verisi olarak kullanılamamaktadır.

Bu verinin elde edilmesinin ardından diğer bir aşama sık nokta bulutu verisini elde etmek olacaktır. Bu amaçla yazılım tarafından üretilen seyrek noktalar baz alınarak yoğun noktalar üretilmektedir. Üretilen bu noktalar yapıya ait üç boyutlu nokta bulutu verisini oluşturmaktadır. Bu durumda yapının üç boyutlu verisi elde edilmiş olur.

Oluşturulan bu nokta bulutu verilerine ait görseller Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’da gösterilmiştir.



Şekil 6.14: Agisoft yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu (üstten görünüm).



Şekil 6.15: Agisoft yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu (yandan görünüm).

Agisoft yazılımında yoğun nokta bulutu verisi elde edildikten sonra kullanacağımız bir diğer yazılım olan 3DF Zephyr yazılımına fotoğraflar yüklenmiştir. Burada Agisoft yazılımının ve diğer tüm SFM tekniğiyle çalışan yazılımlarda olduğu gibi benzer işlemler uygulanmaktadır. Fotoğraflar yazılıma yüklenerek yazılım tarafından otomatik olarak algılanan ortak noktaların eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonucunda seyrek nokta bulutu verisi elde edilmiş ve yoğun nokta bulutu verisini oluşturmak amacıyla yapılmıştır.

Elde edilen bu seyrek nokta verisine göre bir diğer aşama olan yoğun nokta bulutu verisini oluşturmak olacaktır. Sonuç ürün olarak tarihi yapının yoğun nokta bulutu verisi üretilmiş ve Şekil 6.16’da gösterilmektedir.



Şekil 6.16: 3DF Zephyr yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu.

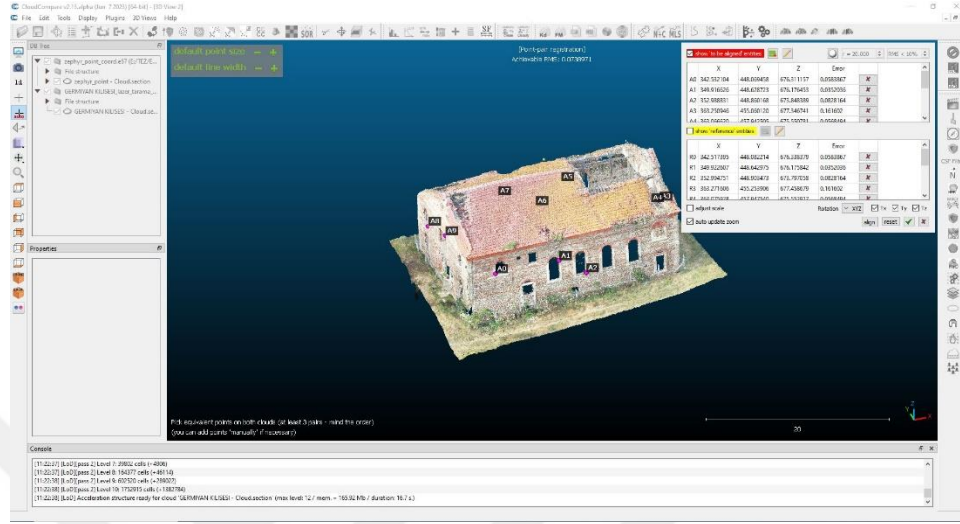
İHA'dan elde edilen fotoğraflar tez çalışmamızda modelleme aşamasında kullandığımız son yazılım olan 3D Survey yazılımına yüklenmiş ve diğer yazılımlarda olduğu gibi bu yazılımda da SFM yöntemi doğrultusunda ortak noktaların tespiti ile bu noktalardan yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Modelin çevresinde oluşan yapı dışındaki noktalar temizlenerek bu veriye daha sade bir görünüm kazandırılmıştır. Oluşan üç boyutlu modelin görüntüsü şekil 6.17'de gösterilmektedir.



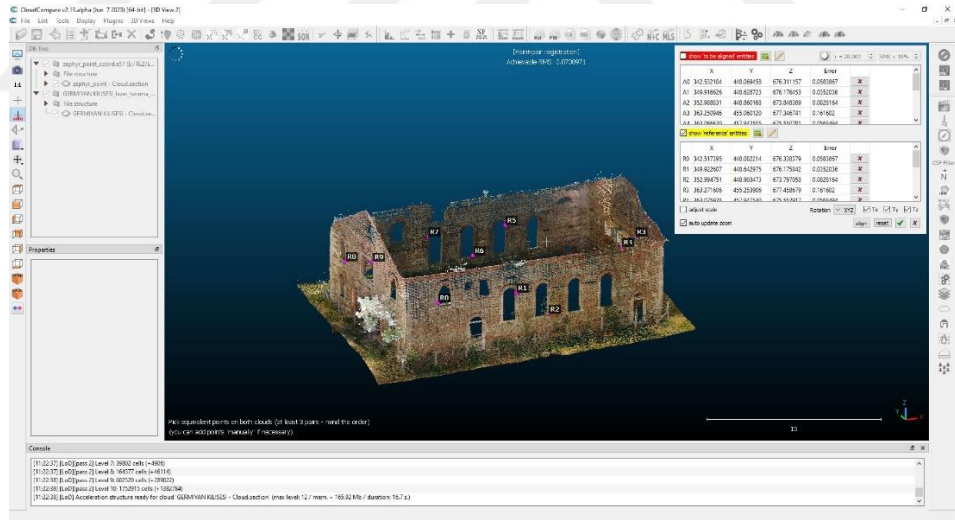
Şekil 6.17: 3D Survey yazılımında oluşturulan yoğun nokta bulutu.

Her üç yazılımdan elde edilen modeller “.las” uzantılı formatta kaydedilip saklanarak tez çalışmasında kullandığımız bir diğer yazılım olan Cloudcompare yazılımında sırasıyla referanslandırma işlemi yapılmıştır. Burada referans veri olarak lazer taramayla elde edilen nokta bulutu verisi kullanılmış ve 3D Survey, Agisoft, 3DF

Zephyr yazılımlarında oluşturulan modeller sırasıyla bu referans verinin koordinat sistemine getirilmiştir. Bu işlem doğrultusunda modeller üzerinde aynı noktalar seçilmiştir (Şekil 6.18 ve 6.19).

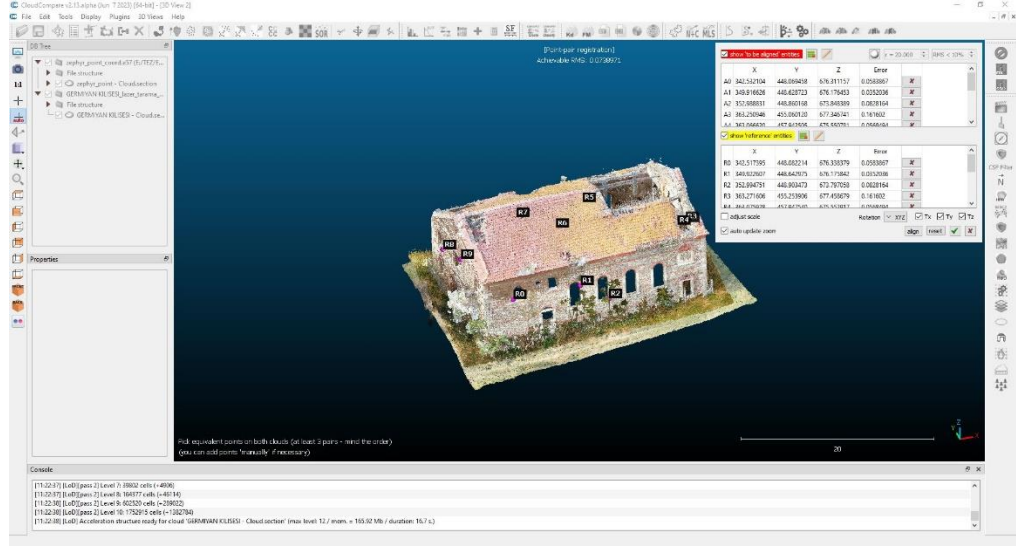


Şekil 6.18: 3D Surveyde oluşturulan model ortak nokta seçimi.



Şekil 6.19: Lazer tarama verisinin ortak nokta seçimi.

Yukarıda şekillerle gösterilen modeller üzerinden ortak nokta seçimleri yapıldıktan sonra 3D Survey’de oluşturulan model verisi lazer tarama verisiyle aynı koordinat sistemine getirilmiştir. Her iki modelin üst üste getirilmiş hali Şekil 6.20’de gösterilmiştir.



Şekil 6.20: Modellerin üst üste getirilmiş hali.

Bu referanslandırma işlemi her bir model için ayrı ayrı uygulanarak oluşturulan tüm modeller lazer taramayla elde edilen model veriyle aynı koordinat sistemine getirilmiştir.

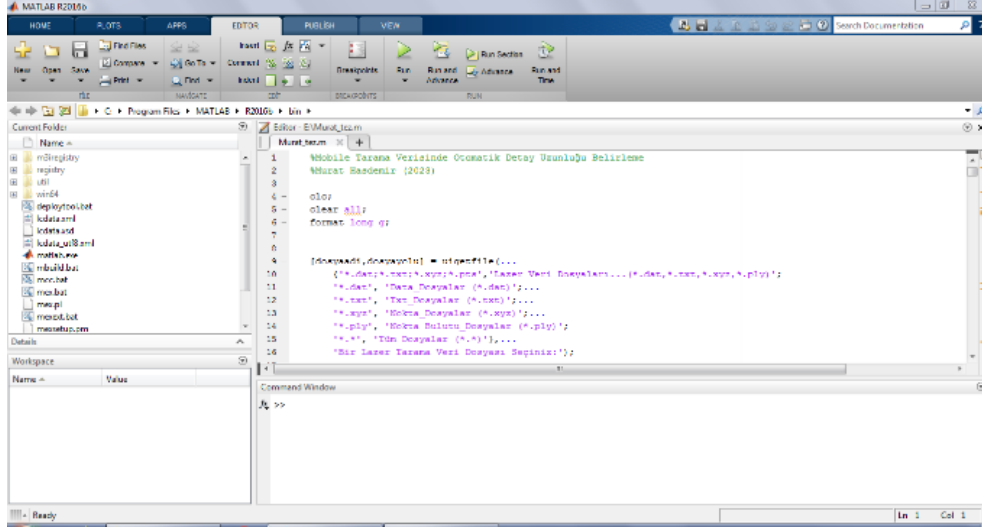
6.2.3. Doğruluk Analizi

Tez çalışmasının bu aşamasında Matlab yazılımı kullanılarak modeli oluşturulan bu tarihi yapının ölçüm esnasında oluşacak operatör hatasını elimine ederek bir cephesindeki pencere genişlikleri ölçülmüştür.

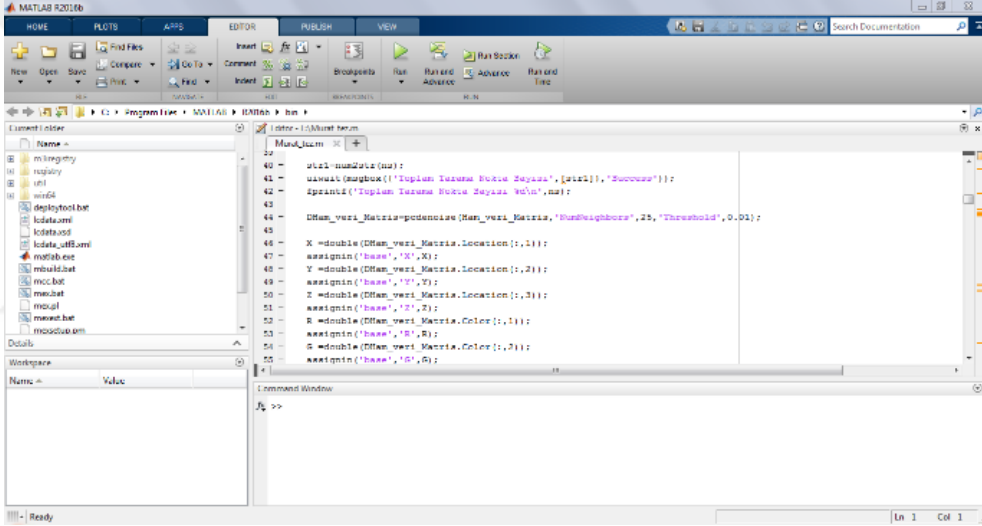
6.2.3.1 MATLAB Yazılımı

MATLAB çeşitli çalışmalardaki verileri analiz etmek model oluşturmak veya algoritma geliştirmek için kullanılan bir programlama platformudur [50]. Araştırma, öğrenme ve endüstriyel uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Karmaşık problemleri çözmek ve verileri analiz etmek amacıyla bir çok kişi tarafından tercih edilmektedir.

Tez çalışmasında pencere genişliklerinin tespit edilerek ölçülmesi amacıyla bu programlama dilinde çeşitli fonksiyonlar yardımıyla kod yazılmıştır. Kodun bazı bölümleri Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de gösterilmektedir.

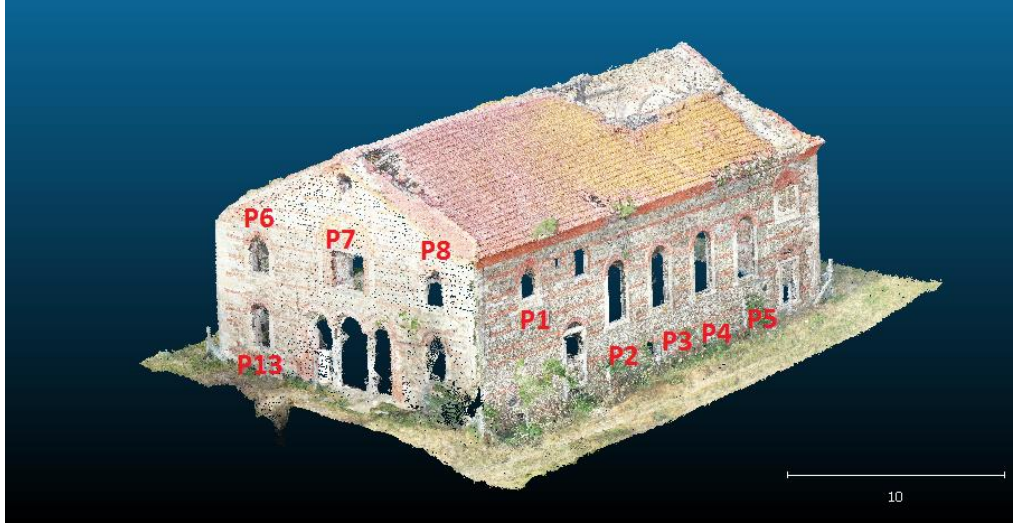


Şekil 6.21: Pencere genişliklerinin belirlenmesi için yazılan MATLAB kodu.



Şekil 6.22: Pencere genişliklerinin belirlenmesi için yazılan MATLAB kodu (devamı).

Burada referans olarak tüm modeller üzerinde aynı 15 pencere verisi seçilmiştir.

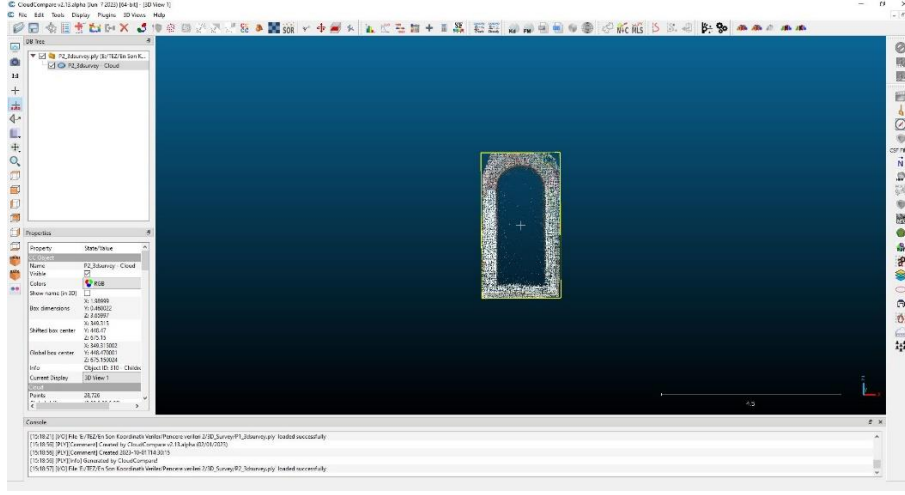


Şekil 6.23: Genişlikleri ölçülecek pencereler (Batı ve Güney Cephe).

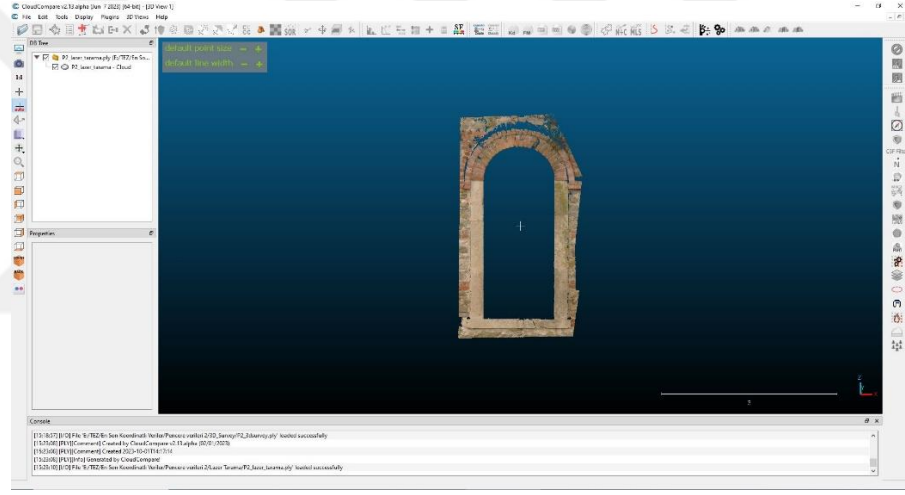


Şekil 6.24: Genişlikleri ölçülecek pencereler (Doğu ve Kuzey Cephe).

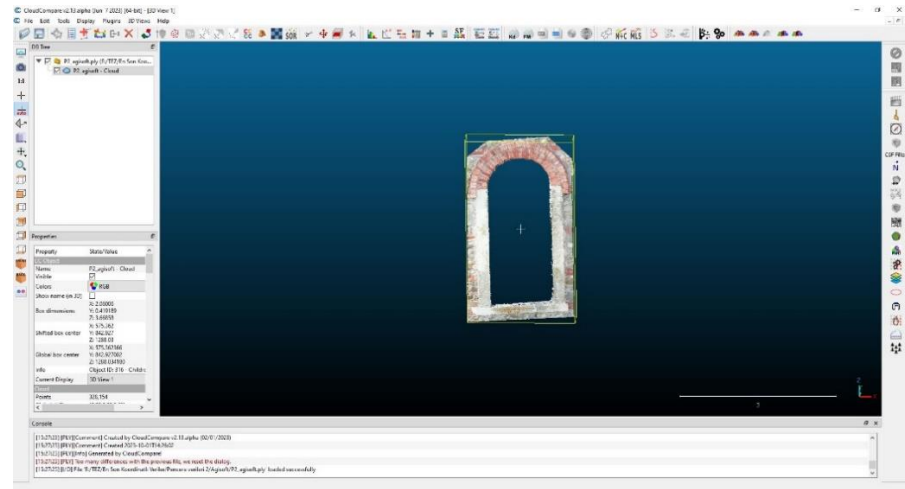
Bu pencereler her bir modelden Cloudcompare programında kesme işlemi yapılarak “.ply” formatında kaydedilmiştir.



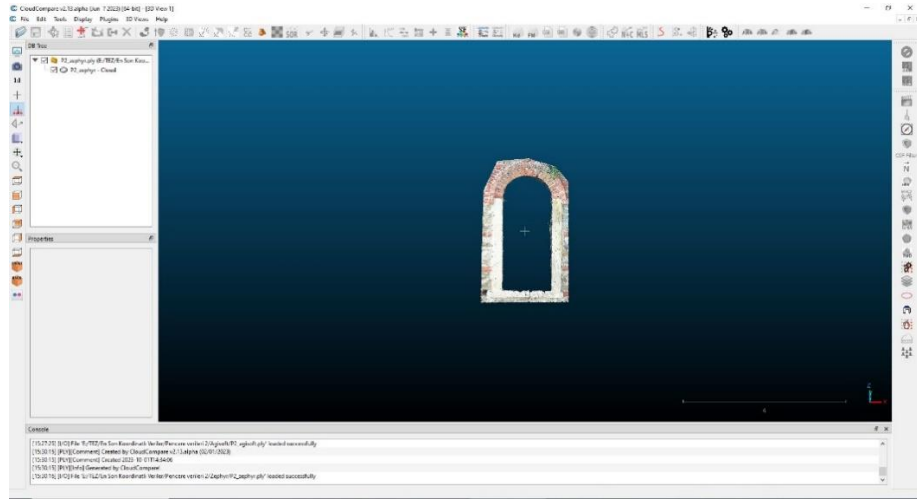
Şekil 6.25: Keme işlemleri sonrası 3D Survey yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.



Şekil 6.26: Keme işlemleri sonrası Lazer Tarama verisinin P2 verisi.



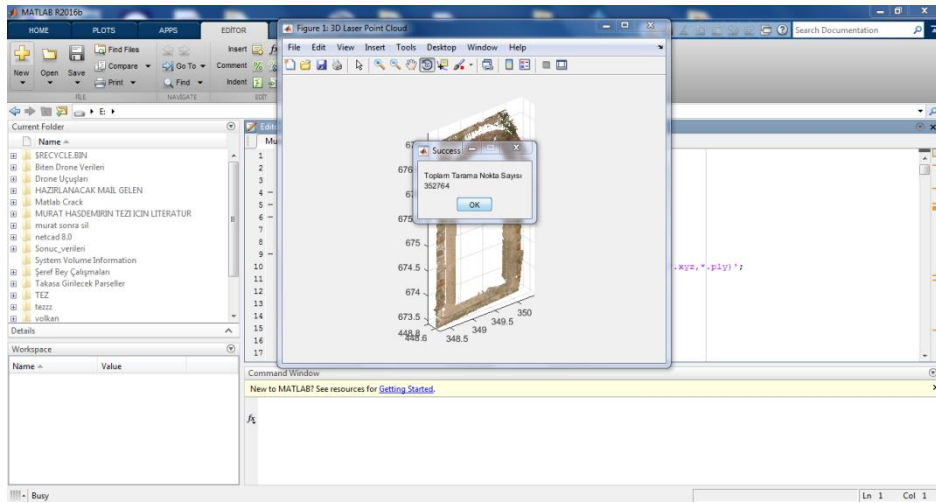
Şekil 6.27: Keme işlemleri sonrası Agisoft yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.



Şekil 6.28: Kesme işlemi sonrası 3DF Zephyr yazılımıyla oluşturulan modelin P2 verisi.

Yukarıda şekillerle gösterilen P2 verisine elde edilmesi için uygulanan kesme işlemi isimlendirilen P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15 pencereleri içinde uygulanmış ve her bir veri “.ply” formatında kaydedilmiştir.

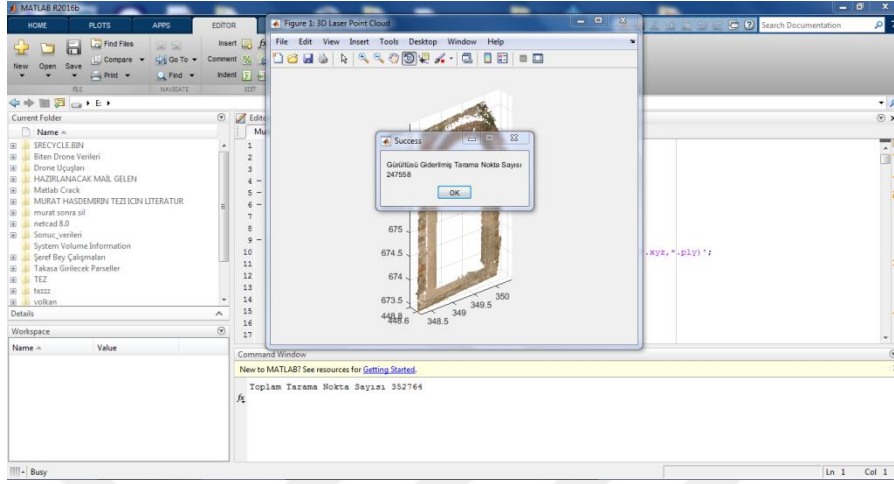
MATLAB’da yazmış olduğumuz kodu bu yazılım üzerinde çalıştırarak pencere verisi seçilmiştir. (Şekil 6.29)



Şekil 6.29: MATLAB’da pencere verisinin açılması (Lazer tarama P2 verisi).

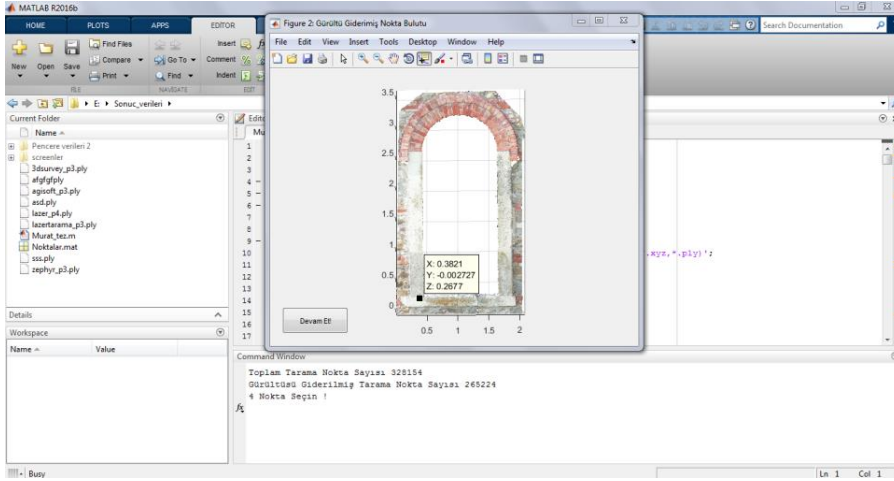
Pencere verisi yüklenerek toplam nokta sayısı da tespit edilmiştir. Şekil 6.29’da gösterilen veri lazer taramayla elde edilen P2 verisi olup bu pencereye ait nokta sayısı

352.764'tür. Bu işlemin ardından kod içerisinde bulunan "pcdenoise" fonksiyonuyla veride bulunan gürültüler giderilmiştir.



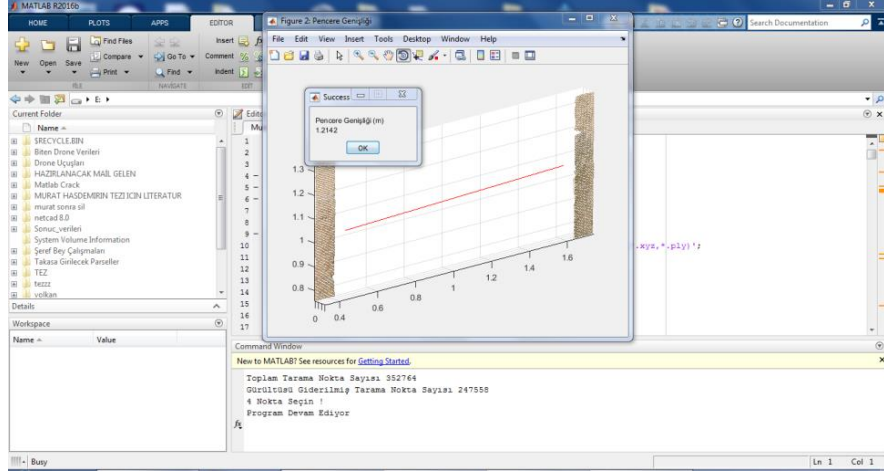
Şekil 6.30: MATLAB'da verinin gürültüleri giderilmiş hali (lazer tarama P2 verisi).

Verinin gürültü giderme işlemi yapıldıktan sonra veriye ait 247.558 adet nokta olduğu görülmüştür. Bu noktalar üzerinden 4 adet nokta seçilerek bir referans düzlem oluşturulmuştur.



Şekil 6.31: MATLAB'da noktaların seçilmesi.

Yapılan işlem sonucunda genişliği ölçülmesi istenen verinin uzunluğu kod yardımıyla otomatik olarak tespit edilmiştir. (Şekil 6.32)



Şekil 6.32: Lazer tarama P2 verisine ait pencere genişliği.

Yukarıda bahsedilen işlemler lazer tarama ile oluşturulan, 3D survey ile oluşturulan, 3DF Zephyr ile oluşturulan ve Agisoft ile oluşturulan modellerde P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15 pencereleri için tek tek uygulanmıştır. Buna göre “pcdenoise” fonksiyonu ile gürültüleri giderilmiş pencere verilerine ait nokta sayıları Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Pencereleere ait uygulama öncesi ve sonrası nokta sayısı.

Pencereleer		LAZER TARAMA (adet)	3D SURVEY (adet)	AGİSOFT (adet)	ZEPHYR (adet)
P1	Nokta Sayısı	220097	4681	377333	110518
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	149373	41683	301825	8876
P2	Nokta Sayısı	352764	28210	328154	107046
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	247558	22353	265224	79821
P3	Nokta Sayısı	297261	29197	278044	91555
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	187747	24972	229873	67531
P4	Nokta Sayısı	311106	29257	28971	97176
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	230042	24835	242777	67882
P5	Nokta Sayısı	264668	30487	304519	99868
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	262532	25923	295393	67774
P6	Nokta Sayısı	393623	84740	408617	12556
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	261798	71904	307660	8210
P7	Nokta Sayısı	756335	242509	1079188	37294
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	531852	200835	840074	24244
P8	Nokta Sayısı	383934	87926	383934	13675
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	295294	76848	295284	9262
P9	Nokta Sayısı	287289	28019	304304	80050
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	227251	19703	237610	55036
P10	Nokta Sayısı	209931	24575	268789	71602
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	166897	17758	214332	49784
P11	Nokta Sayısı	204474	23627	230777	68415
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	174074	15944	194461	45234
P12	Nokta Sayısı	168837	22973	223774	75888
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	130571	15522	191766	49734
P13	Nokta Sayısı	1050934	59728	319897	10509
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	712297	51016	255655	7126
P14	Nokta Sayısı	232931	28490	223208	85849
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	160083	21940	181928	59497
P15	Nokta Sayısı	254385	21178	258171	71480
	Gürültü Giderilmiş Nokta Sayısı	174842	15914	225742	48918

İşlem sonucunda her bir pencere verisinin genişlikleri belirlenerek uzunluklar Tablo 6.5’de gösterilmiştir.

Tablo 6.5: Pencereleere ait genişlik ölçüleri.

PENCERE	LAZER TARAMA (metre)	3D SURVEY (metre)	AGİSOFT (metre)	ZEPHYR (metre)
P1	1.2333	1.2130	1.2138	1.2273
P2	1.2142	1.1915	1.2024	1.2076
P3	1.2081	1.1819	1.2104	1.1900
P4	1.2091	1.1950	1.2062	1.1924
P5	1.2077	1.1916	1.2023	1.1903
P6	1.2341	1.2628	1.2268	1.2612
P7	1.9247	1.9054	1.9317	1.8488
P8	1.2395	1.2646	1.2357	1.2567
P9	1.2293	1.2522	1.2158	1.2026
P10	1.1974	1.253	1.1861	1.2031
P11	1.2108	1.2321	1.203	1.2138
P12	1.1976	1.2274	1.1897	1.2187
P13	1.0095	1.0121	1.0071	0.9757
P14	2.1764	2.1682	2.1574	2.1765
P15	1.8324	1.8645	1.8371	1.8521

Standart sapma ve ortalama hataların hesaplanmasında referans veri olarak lazer tarama verisi olarak kabul edilerek her bir pencere uzunluğundaki farklar belirlenmiştir.(Tablo 6.6)

Tablo 6.6: Pencereleere ait genişlik ölçülerinin farkları.

PENCERE	3D SURVEY (metre)	AGISOFT (metre)	3DF ZEPHYR (metre)
P1	0.0203	0.0195	0.006
P2	0.0227	0.0118	0.0066
P3	0.0262	-0.0023	0.0181
P4	0.0141	0.0029	0.0167
P5	0.0161	0.0054	0.0174
P6	-0.0287	0.0073	-0.0271
P7	0.0193	-0.0070	0.0759
P8	-0.0251	0.0038	-0.0172
P9	-0.0229	0.0135	0.0267
P10	-0.0556	0.0113	-0.0057
P11	-0.0213	0.0078	-0.003
P12	-0.0298	0.0079	-0.0211
P13	-0.0026	0.0024	0.0338
P14	0.0082	0.0190	-1E-04
P15	-0.0321	-0.0047	-0.0197

Bu farklılara göre her bir model için ortalama değeri;

$$\text{Ortalama} = \frac{|\text{ÖlçüFarkı}(1)| + |\text{ÖlçüFarkı}(2)| + \dots + |\text{ÖlçüFarkı}(n)|}{n} \quad (6.1)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Buna göre 3D Survey yazılımında oluşturulan model için ortalama değeri 0.0230 m., Agisoft yazılımında oluşturulan model için ortalama değeri 0.0084 m., 3DF Zephyr yazılımında oluşturulan model için ortalama değeri 0.0197 m., olarak hesaplanmıştır.

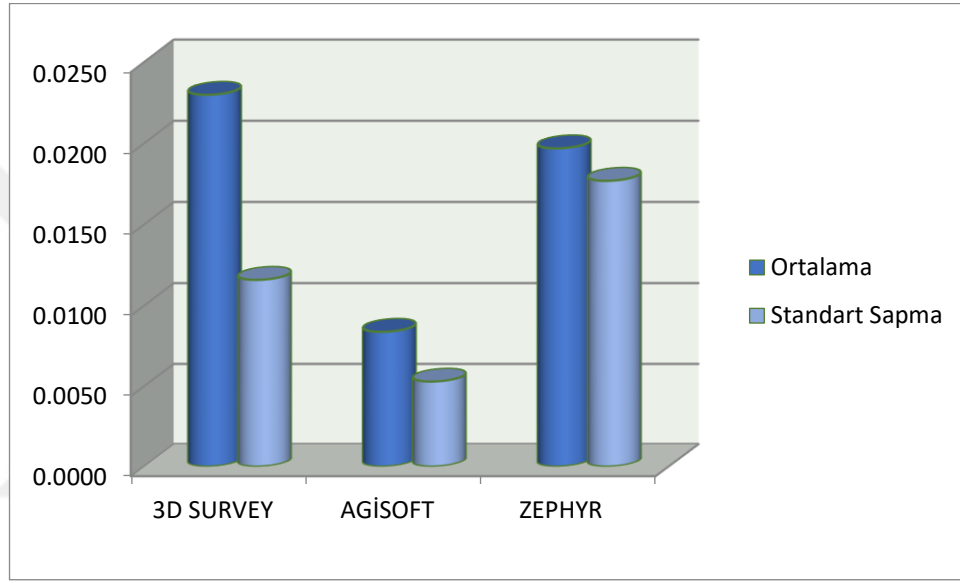
Ayrıca oluşturulan 3 model için standart sapma hesabı;

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada “N” ölçü sayısını, “xi” ölçü değerini, “x” ölçülerin ortalama değerini ifade etmektedir.

3D Survey yazılımında oluşturulan model için standart sapma 0.0116 m., Agisoft yazılımında oluşturulan model için standart sapma 0.0053 m., 3DF Zephyr yazılımında oluşturulan model için standart sapma 0.0177 m. olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sonucu elde edilen standart sapma ve ortalama hata değerleri için oluşturulan grafik tablo (aşağıdaki) gösterilmiştir.



Şekil 6.36: Modellerin standart sapma ve ortalama hata grafiği.

Üç farklı yazılımdan elde edilen her bir cephe için ölçek değeri Şekil 6.36’da gösterilen formüle göre hesaplanmış ve pencereler için ölçek değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

$$\text{Ölçek} = \frac{\text{Fotogrametrik Modelden Elde Edilen Uzunluk (m)}}{\text{Lazer Tarama Verisinden Elde Edilen Uzunluk (m)}} \quad (6.3)$$

Tablo 6.7: Pencereleere ait ölçek değerleri.

	ÖLÇEK DEĞERİ (3D SURVEY)	ÖLÇEK DEĞERİ (AGISOFT)	ÖLÇEK DEĞERİ (3DF ZEPHYR)
P1	0.983540096	0.984188762	0.995135004
P2	0.981304563	0.990281667	0.994564322
P3	0.978313054	1.001903816	0.985017797
P4	0.988338434	0.997601522	0.986188074
P5	0.986668875	0.995528691	0.985592448
P6	1.023255814	0.994084758	1.021959323
P7	0.989972463	1.00363693	0.960565283
P8	1.020250101	0.996934248	1.013876563
P9	1.018628488	0.98901814	0.978280322
P10	1.04643394	0.990562886	1.004760314
P11	1.017591675	0.993557978	1.002477701
P12	1.0248831	0.993403474	1.01761857
P13	1.002575532	0.997622585	0.966518078
P14	0.99623231	0.991269987	1.000045947
P15	1.017518009	1.002564942	1.010750928

Yapının P1 numaralı penceresinin gerçek ölçüsü total station yardımıyla ölçülerek 1.2350 m. olarak bulunmuştur. Buna göre yapının ölçeği;

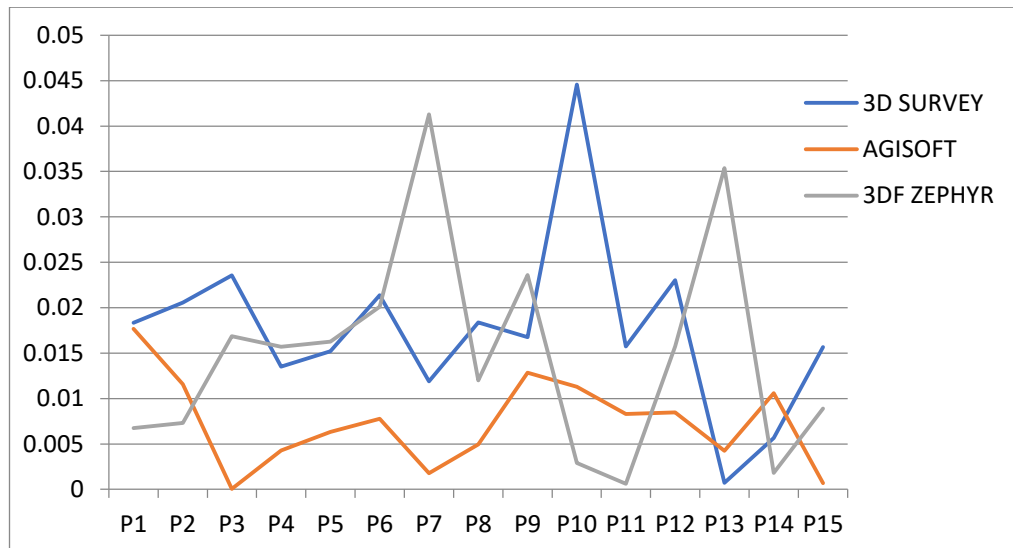
$$\text{Ölçek} = \frac{\text{Total Station Ölçüsü (Gerçek Uzunluk)}}{\text{Lazer Tarama Verisi Uzunluğu}} \quad (6.4)$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır. Ölçek 1.0018684 bulunmuştur. Bu değer Tablo 6.7’de bulunan ölçek değerlerinden çıkarılarak Tablo 6.8’de değerler elde edilmiştir.

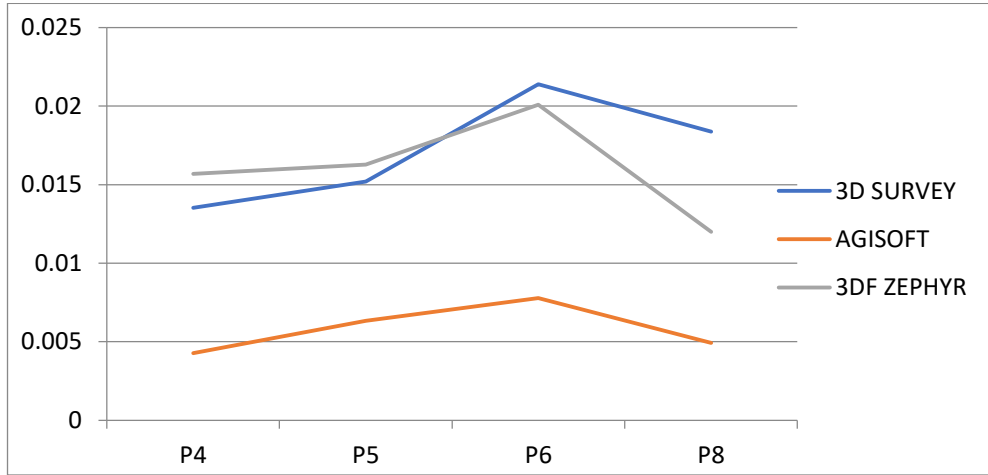
Tablo 6.8: Pencerelerin ölçek farkları.

PENCERE	3D SURVEY	AGISOFT	3DF SURVEY
P1	0.018328304	0.017679638	0.006733396
P2	0.020563837	0.011586733	0.007304078
P3	0.023555346	0.000354159	0.016850603
P4	0.013529966	0.004266878	0.015680326
P5	0.015199525	0.006339709	0.016275952
P6	0.021387414	0.007783642	0.020090923
P7	0.011895937	0.00176853	0.041303117
P8	0.018381701	0.004934152	0.012008163
P9	0.016760088	0.01285026	0.023588078
P10	0.04456554	0.011305514	0.002891914
P11	0.015723275	0.008310422	0.000609301
P12	0.0230147	0.008464926	0.01575017
P13	0.000707132	0.004245815	0.035350322
P14	0.00563609	0.010598413	0.001822453
P15	0.015649609	0.000696542	0.008882528

Tablo 6.8’de bulunan değerler kullanılarak 15 pencere için Şekil 6.38’de; P4, P5, P6 ve P8 pencereleri için Şekil 6.39’da gösterilen modellerin ölçek farkları grafiği elde edilmiştir.



Şekil 6.39: Modellerin ölçek farklarının grafiği.

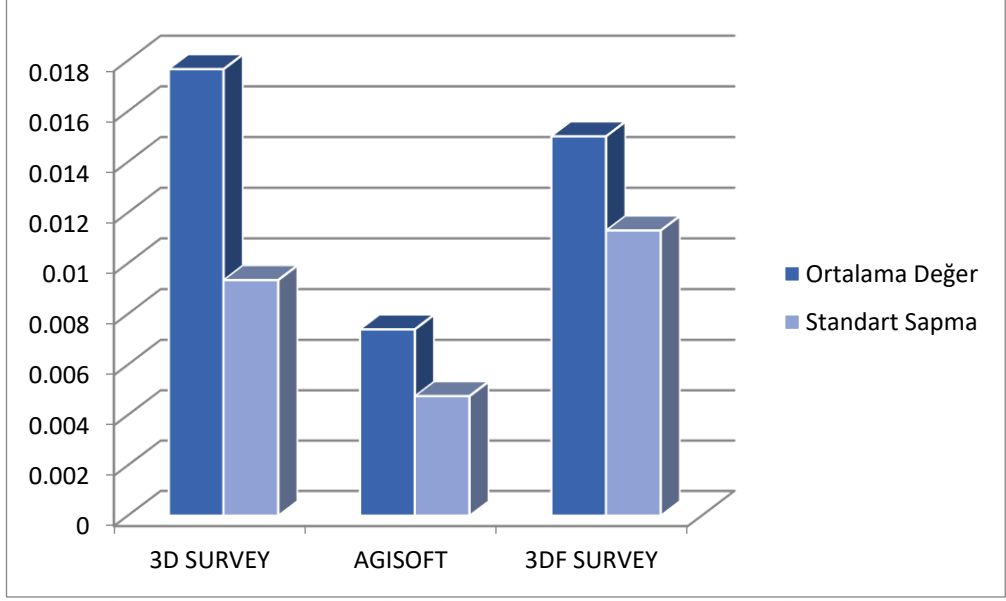


Şekil 6.40: Üç model için P4, P5, P6, P8 pencerelerin ölçek farkları grafiği.

Ölçek farklarının hesaplanması sonucunda elde edilen değerlere göre her model için ortalama hata değerleri ve standart sapma değerleri Tablo 6.9’de verilmiştir. Bu verilere ait grafik ise Şekil 6.40’da gösterilmiştir. Oluşturulan modellerin ölçek farkları standart sapma ve ortalama değerlerin içerisinde en düşük değer agisoft yazılımıyla oluşturulan modelde yakaladığı görülmüştür.

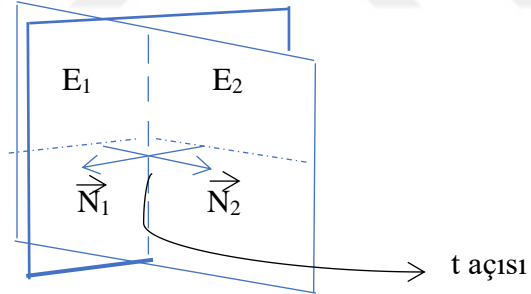
Tablo 6.9: Ölçek farklarının ortalama hata ve standart sapma değerleri.

	3D SURVEY	AGISOFT	3DF ZEPHYR
Ortalama Hata	0.017659898	0.007391106	0.015009422
Standart Sapma	0.009336457	0.004749412	0.011293135



Şekil 6.41: Ölçek farklarının ortalama hata ve standart sapma değerleri grafiği.

Pencere genişlikleri ölçülürken üç farklı yazılım için oluşan düzlemlerin lazer tarayıcı düzlemi ile arasındaki açı eşitlik 6.35'te verilen cosinüs teoremi formülü ile her pencere için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 6.42: Örnek iki düzlem.

$$E_1 \dots a_1x + b_1y + c_1z + d_1 = 0 \quad (6.5)$$

$$E_2 \dots a_2x + b_2y + c_2z + d_2 = 0 \quad (6.6)$$

$$\cos t = \frac{N_1 N_2}{\|N_1\| \|N_2\|} \quad (6.7)$$

formülüyle aradaki t açısı hesaplanır.

Tablo 6.10: Yüzey normal parametreleri.

		LAZER TARAMA	3D SURVEY	AGİSOFT	ZEPHYR
P1	a	0.028265862	0.061523255	0.05767801	0.043612313
	b	0.99959987	0.99807602	0.99820113	0.99903369
	c	-0.001118188	0.007694294	-0.0163638	-0.005449578
	d	-0.005358114	-0.023303736	0.015158485	-0.017005853
P2	a	0.045683045	0.053347472	0.040691305	0.039346777
	b	0.99890441	0.99850982	0.99916339	0.99922532
	c	0.010146113	0.011497636	-0.00408102	-0.000821906
	d	-0.047775976	-0.061824799	-0.01293080	-0.023072023
P3	a	0.062670127	0.064590923	0.047570266	0.052415356
	b	0.99793768	0.99781662	0.99886024	0.99862236
	c	0.013884678	0.013777839	-0.00391557	0.002426539
	d	-0.055111643	-0.062964961	-0.01485399	-0.026315231
P4	a	0.054738369	0.061152071	0.034317147	0.046022166
	b	0.9984042	0.99799567	0.99939936	0.99892837
	c	0.013886019	0.016281113	-0.00482576	0.004917395
	d	-0.05657579	-0.055456296	-0.00868460	-0.035446465
P5	a	0.052121926	0.064963378	0.046261013	0.060007337
	b	0.99860156	0.99780625	0.998914	0.99819779
	c	0.008846483	0.012743477	-0.00553524	-0.00052649
	d	-0.054517541	-0.051065169	-0.01682897	-0.027402878
P6	a	0.055210045	0.036716212	0.040146381	0.031346777
	b	0.9980441	0.99931622	0.99918258	0.999322532
	c	0.012053113	-0.004362407	0.004741258	-0.000721906
	d	-0.05318236	-0.053628282	-0.01163361	-0.038213669
P7	a	0.014430990	0.024195775	0.044572261	0.028133547
	b	0.99988937	0.99968940	0.99926001	0.99959314
	c	-0.0036161719	0.005978324	-0.00491517	-0.004692588
	d	-0.05342857	-0.052288478	-0.01258252	-0.028527421
P8	a	0.040312588	0.019429736	0.044781238	0.027515674
	b	0.99918628	0.99979460	0.99896878	0.99960637
	c	-0.0013005404	-0.005771701	0.007488476	0.0054766661
	d	-0.05125475	-0.05225887	-0.00942562	-0.031524799
P9	a	0.062383428	0.043464918	0.054641468	0.055164672
	b	0.99805212	0.99899429	0.99835931	0.99843895
	c	-0.000585431	0.01100831	-0.00412843	-0.008746523
	d	0.059221651	-0.074861549	-0.04267452	-0.051033251
P10	a	0.058519412	0.042947087	0.055741668	0.061974328
	b	0.99828416	0.99901617	0.99843961	0.9980697
	c	0.00204425	0.011056588	-0.00335438	-0.004008654
	d	-0.092480242	-0.070906341	-0.04889248	-0.073030874
P11	a	0.064140536	0.043657213	0.056420021	0.065824516
	b	0.9979322	0.99901712	0.99839526	0.99780303
	c	0.004154011	0.007670534	-0.00485585	-0.007490178
	d	-0.07056848	-0.065995842	-0.04896028	-0.056980528
P12	a	0.049042791	0.042564412	0.05483963	0.063124378
	b	0.99879408	0.99907422	0.99845636	0.9981644
	c	0.002258667	0.01120741	-0.00880429	-0.005102154
	d	-0.062958986	-0.072411521	-0.03941058	-0.071040771
P13	a	0.049858682	0.039098732	0.036038462	0.057429451
	b	0.99875557	0.99923527	0.99934089	0.99829668
	c	-0.001166446	0.000360754	0.004355671	0.01027948
	d	-0.011947475	-0.018762235	-0.00606063	-0.048225638
P14	a	0.039790992	0.041443821	0.05765871	0.013954016
	b	0.99920547	0.99902639	0.99732584	0.9998911
	c	0.002248951	0.01217638	-0.00670834	-0.004818848
	d	-0.089059152	-0.068398554	-0.04234068	-0.008431662
P15	a	0.044521684	0.041382536	0.062643267	0.048600528
	b	0.99862421	0.99922871	0.99795187	0.99881494
	c	-0.001225325	0.01318662	0.012956887	0.00260017
	d	-0.010624175	-0.076402334	-0.17516236	-0.10264069

Tablo 6.10’da 15 pencereye ait a, b, c, d yüzey parametreleri verilmiştir. Tablo 6.11’de ise her pencere için lazer tarayıcı düzlemi ile üç farklı yazılımdan elde edilen düzlemler arasındaki açı değerleri verilmiştir.

Tablo 6.11: Lazer düzlemi ile pencere verilerinin düzlemleri arasındaki açılar

Pencere	3D SURVEY (derece)	AGISOFT (derece)	3DF ZEPHYR (derece)
P1	1.97329966	1.899886566	0.914223136
P2	0.44648843	0.864008904	0.725987211
P3	0.110441668	1.338479946	0.881913591
P4	0.392963546	1.588030397	0.717193959
P5	0.770249418	0.889998669	0.702188354
P6	1.418845506	0.961567394	1.553027934
P7	0.784446557	1.728715693	0.787706467
P8	1.224136341	0.565064603	0.830041013
P9	1.272473097	0.488113643	0.62466764
P10	1.031744355	0.347976567	0.399513407
P11	1.192472017	0.68034984	0.674148158
P12	0.63316878	0.715873142	0.910988257
P13	0.623287888	0.853378214	0.786726149
P14	0.576729984	1.149432808	1.535287561
P15	0.845312519	1.319120897	0.319898357

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında İstanbul Silivri İlçesi, Değirmenköy'de bulunan Germiyan Ortodoks Kilisesinin DJI Mavic 2 Pro marka İHA ile çekilen aynı fotoğraflar ile üç farklı fotogrametrik yazılım (3D Survey, Agisoft ve 3DF Zephyr) yardımıyla tarihi yapıya ait nokta bulutu verisi ve üç farklı modeli oluşturulmuştur. Çalışmada, yapının Tech Sheet Faro Focus3D X130 yersel lazer tarayıcı (YLT) cihazıyla elde edilen nokta bulutu veri seti de kullanılmıştır. Tarihi yapının dört cephesinde yer alan 15 adet pencere referans veri olarak seçilmiştir.

15 adet pencere genişliğinin otomatik olarak ölçülebilmesi için MATLAB ortamında kod yazılmıştır. 15 pencere her bir modelden kesilerek ayrı ayrı kaydedilmiştir. MATLAB ortamında yazılan kod ile pencerelerin gürültüleri giderilmiştir. Ardından üç ayrı fotogrametrik modeldeki pencere genişlikleri ile yersel lazer tarayıcı nokta bulutundaki pencere genişlikleri otomatik olarak 15 pencere için belirlenmiştir.

Tez çalışması sırasında yazılan otomatik ölçme MATLAB kodunun ürettiği veriler içerisinde lazer nokta bulutu düzlemleri mevcuttur. Nokta bulutları arasındaki düzlemlerin açılmal farklılıkları nokta bulutlarından elde edilen pencere genişlik mesafelerinin belirlenmesinde ölçeksel ve konumsal olarak bir fark oluşmamıştır.

Pencerelere ait uzunluk ölçüleri karşılaştırıldığında 3D Survey yazılımından elde edilen pencere verisinde uzunluk farkının 0-10 mm aralığında olan 2 pencere, 10-20 mm aralığında 3 pencere, 20-30 mm aralığında 8 pencere, 30 mm'den büyük 2 pencere olduğu görülmüştür. Agisoft yazılımından elde edilen pencere verisinde uzunluk farkının 0-10 mm aralığında olan 10 pencere, 10-20 mm aralığında 5 pencere olduğu görülmüştür. 3DF Zephyr yazılımından elde edilen pencere verisinde uzunluk farkının 0-10 mm aralığında olan 5 pencere, 10-20 mm aralığında 5 pencere, 20-30 mm. aralığında 3 pencere, 30 mm.'den büyük 2 pencere olduğu görülmüştür.

Fotogrametrik olarak üretilen modellerin yersel lazer tarama nokta bulutundan ölçeksel olarak farkının olup olmadığını analiz edebilmek için uzunluk farklılıkları baz alınarak hesaplanan ortalama değer ve standart sapma değerleri içerisinde en düşük değerin Agisoft verisine ait olduğu görülmüştür. Dolayısıyla lazer tarama verisine en yakın verinin Agisoft yazılımıyla oluşturulan model olduğu anlaşılmaktadır. 3DF

Zephyr yazılımıyla elde edilen verinin standart sapma değerinin en yüksek olduğu dolayısıyla lazer tarama verisine yaklaşımının diğer iki yazılıma göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Oluşturulan modellerin ölçek farkları standart sapma ve ortalama değerlerin içerisinde en düşük değer Agisoft yazılımıyla oluşturulan modelde yakalandığı bu duruma göre modeller içerisinde lazer tarama verisine en yakın bu modelin olduğu görülmüştür. Çalışma için belirlenen 15 adet pencere için 1/1 ölçeğe en yakın değer Agisoft yazılımıyla oluşturulan modelin olduğu anlaşılmaktadır. P4, P5, P6, P8 numaralı pencerelerde fotogrametrik modeller arasında ölçek farkı olmasına rağmen yapılan ölçeksel hatanın aynı miktarda olduğu ve otomatik ölçülen pencereler için stabil doğruluk sağladığı gözlemlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda İHA fotoğrafları ile İstanbul'un Silivri İlçesine bağlı Değirmenköy'de bulunan 1836'lı yıllardan günümüze kadar gelen tarihi önem taşıyan Germiyan Kilisesi'nin üç farklı fotogrametrik yazılımda üretilen üç boyutlu modelleri içerisinde görsel açıdan en iyi modelin Agisoft yazılımında elde edilmesine ilaveten Agisoft yazılımı ile oluşturulan fotogrametrik modelin yersel lazer tarama modeli ölçeğine en yakın doğrulukta olduğu görülmüştür. Her üç yazılımda fotoğrafların değerlendirilmesinde oluşturulmak istenen nokta bulutu verisinin kalite ayarları yapılabileceğinden ve bu ayarların kullanılan bilgisayar performansını da bağlı olduğundan dolayı bu farkın değerlendirmeye tabi tutulamayacağı görülmüştür. Ayrıca pencere başına düşen nokta sayılarının da değerlendirme esnasında belirlenecek bu kalite ayarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ramos M. M., Remondino F., (2015), "Data fusion in cultural heritage a review", 25th International CIPA Symposium, 359-363, Taipei, Taiwan, 31 August – 04 September.
- [2] Yakar İ., Hamal S. N. G., Çelik Ö. M., Bilgi S., (2021), "Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) örneği", Geomatik Dergisi, 6 (3), 217-226.
- [3] Çelik M. Ö., Yakar İ., Hamal S. N. G., Oğuz G. M., Kanun E., (2020), "Sfm tekniği ile oluşturulan 3B modellerin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılması: Gözne Kalesi örneği", Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2 (1), 22-27.
- [4] Jensen J. L. R., Mathews A. J., (2016), "Assessment of image-based point cloud products to generate a bare earth surface and estimate canopy heights in a woodland ecosystem", Remote Sensing, 8 (1), 1-13.
- [5] Uçkan Olcay Y. B., Evcim S., (2015), "Arkeolojik alanlarda laser ölçümle belgeleme ve kent modeli oluşturma üzerine bir örnek: Olympos Antik Kenti", Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 16 (1), 1-15.
- [6] Isawı N. Y. M., (2016), "Structure From Motion Using a Single Camera", Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi.
- [7] Warrick J., Ritchie A., Adelman G., Adelman K., Limber P. W., (2017), "New techniques to measure cliff change from historical oblique aerial photographs and structure-from-motion photogrammetry", Journal of Coastal Research, 33 (1), 39-55.
- [8] Yiğit Y. A., Ulvi A., (2020), "İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi örneği", Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2 (2), 46-54.
- [9] Jo H. Y., Hong S., (2019), "Three-dimensional digital documentation of cultural heritage site based on the convergence of terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle photogrammetry", International Journal of GeoInformation ISPRS, 8 (2), 53-66.
- [10] Burns J. H. R., Delparte D., (2018), "Comparison of commercial structure-from-motion photogrammetry software used for underwater three-dimensional modeling of coral reef environments", 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 127-131, Nafplio, Greece, 1-3 March.
- [11] Korumaz G. A., Dülgerler N. O., Yakar M., (2011), "Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar", Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26 (3), 67-83.
- [12] Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E., (2019), "UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM", 8th Workshop 3D Virtual

Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 397-402, Bergamo, Italy, 6-8 February.

[13] Gaol Y. A. L., Murtiyoso A., Nugroho B. H., (2018), "Investigations on the bundle adjustment results from SFM-Based software for mapping purposes", International Society For Photogrammetry and Remote Sensing II Mid-term Symposium Towards Photogrammetry, 623-628, Italy, 4-7 June.

[14] Tercan E., (2017), "İnsansız hava aracı kullanılarak antik kent ve tarihi kervan yolunun fotogrametrik belgelenmesi: Sarıhacılar örneği", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5 (3), 633-642.

[15] Saygılı B., (2019), "İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Olarak Üretilen Verilerin Konum Doğruluklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.

[16] Kara G., (2019), "Geleneksel Fotogrametrik Yöntemle Üretilen Haritaların 3 Boyutlu Konum Doğruluğu Analizi: Çağlayan/Erzincan Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi.

[17] Tunçay F., (2006), "Yakın Resim Fotogrametrisinde Kullanılan Steroskopik Resim Çekme Yöntemlerinin Değerlendirme ve Nokta Duyarlılıklarına Etkisi" Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

[18] Kılıç F., (2012), Fotogrametrinin Temelleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi.

[19] Tunçay F., (2006), "Yakın Resim Fotogrametrisinde Kullanılan Steroskopik Resim Çekme Yöntemlerinin Değerlendirme ve Nokta Duyarlılıklarına Etkisi" Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

[20] Kara G., (2019), "Geleneksel Fotogrametrik Yöntemle Üretilen Haritaların 3 Boyutlu Konum Doğruluğu Analizi: Çağlayan/Erzincan Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.

[21] Kılıç F., (2012), Fotogrametrinin temelleri ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[22] Kara G., (2019), "Geleneksel Fotogrametrik Yöntemle Üretilen Haritaların 3 Boyutlu Konum Doğruluğu Analizi: Çağlayan/Erzincan Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi.

[23] Tokdemir B., (2019), "Hareketli Objeleri Video Görüntüleriyle Üç Boyutlu Belirleme", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

[24] Yastıklı N., (2016), Yersel fotogrametri ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[25] Pulat F., (2022), "Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.

[26] Uysal M., Toprak A.S., Polat N., (2015), “İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi”, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği 8. Teknik Sempozyumu, 275-279, Konya, 21-23 Mayıs.

[27] Mahmod A. A., (2017), “İnsansız Hava Aracı Verilerinden Üç Boyutlu Model Oluşturma: Aksaray Üniversitesi Kampüs Camii”, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.

[28] Korkmaz Y., İyibilgin O., Fındık F., (2015), “Geçmişten günümüze insansız hava araçlarının gelişimi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 20 (2), 103-109.

[29] Eroğlu O., (2013), “İnsansız Hava Araçlarında Arazi Verilerine Dayalı Uçuş Yönü Sınırlamasız Konumlandırma Sistemi Benzetim Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.

[30] Kahveci M., Can N., (2017), “İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu”, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (4), 511-535.

[31] Web 1, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1(Erişim Tarihi: 07/05/2023).

[32] Web 2, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1, (Erişim Tarihi: 07/05/2023).

[33] Web 3, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/Sabit_kanat%C4%B1_hava_arac%C4%B1, (Erişim Tarihi: 28/05/2023).

[34] Web 4, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6ner_kanat%C4%B1_hava_arac%C4%B1, (Erişim Tarihi: 28/05/2023).

[35] Korkmaz Y., İyibilgin O., Fındık F., (2016), “Geçmişten günümüze insansız hava araçlarının gelişimi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 20 (2), 103-109.

[36] Eisenbeiss H., (2009), “UAV Photogrammetry”, For The Degree Of Doctor Of Sciences, University of Technology Dresden.

[37] García J. L. L., (2008), “Theory And Practice On Terrestrial Laser Scanning: Training Material Based On Practical Applications”, Universidad Politecnica de Valencia Editorial.

[38] Çakmak Z. B., (2022), “Taşınabilir lazer tarama sistemleri ile farklı alanlarda doğruluk analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[39] Rottensteiner F., Trinder J., Clode S., (2005), “Data acquisition for 3d city models from lidar extracting buildings and roads” IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium,, 1-4, Seoul, Korea (South), 29-29 July.

[40] Kaçarlar Z., Hamal S. N. G., (2021), “Küçük objelerin üç boyutlu (3B) modellenmesinde yersel lazer tarama (YLT) tekniği”, Türkiye LİDAR Dergisi, 3 (2), 65-70.

[41] Zeybek M., Vatandaşlar C., (2021), “El tipi LİDAR verisiyle ağaç gövdelerinin tespiti ve sınıflandırılmasında yapay zeka teknikleri”, 8. Uluslararası KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 489-497, Nevşehir, 26-28 Ekim.

[42] Web 5, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/Germiyan_Kilisesi, (Erişim Tarihi 07/05/2023).

[43] Snavely N., Seitz S.M., Szeliski R., (2007), “Modeling the world from internet photo collections”, International Journal Of Computer Vision, 80 (1), 189–210.

[44] Önal O., Bozdağ Ö., Ersoy A., (2017), “İzmir Agorası'ndaki Roma Dönemine ait hamam yapısının SFM tekniği ile 3 boyutlu katı modelinin oluşturulması”, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 589-597, Trabzon, 2-3-4 Kasım.

[45] Sarıtürk B., Şeker Z. D., (2017), “SFM tekniği ile 3B obje modellenmesinde kullanılan ticari ve açık kaynak kodlu yazılımların karşılaştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 126-131.

[46] Torun A., (2017), “İnsansız hava aracı (İHA) sektöründe trend: İHA fotogrametrisi bakışıyla”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 35-52.

[47] Polat N., (2018), “3B Nokta Bulutlarından Bina Tespiti”, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

[48] Web 6, (2023), <https://www.agisoft.com/about/>, (Erişim Tarihi 03/09/2023).

[49] Web 7, (2023), <https://3dsurvey.si/about-us/why-3dsurvey/>, (Erişim Tarihi 03/09/2023).

[50] Web 8, (2023), <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, (Erişim Tarihi 05/09/2023).

ÖZGEÇMİŞ

Murat Hasdemir lisans eğitimine 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünde başlayarak 2018 yılında eğitimini tamamlamış ve mezun olmuştur. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2018-2020 yılları arasında Fırat Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti.'de harita mühendisi olarak çalışmıştır. 2020 yılından bu yana Fatih Belediye Başkanlığı'nda Harita Mühendisi olarak görev yapmaktadır.



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Hasdemir M., (2023), “İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Üç Boyutlu Modellemede Agisoft ve Zephyr Yazılımlarının Karşılaştırılması”, 11. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 1436, İstanbul, Türkiye, 10-12 Haziran.



EKLER

Ek-A: MATLAB Kodu

```
clc;
clear all;
format long g;
[dosyaadi,dosyayolu] = uigetfile(...
    {'*.dat;*.txt;*.xyz;*.pts','Lazer Veri Dosyaları...(*.dat,*.txt,*.xyz,*.ply)';
    '*.dat', 'Data_Dosyalar (*.dat)';...
    '*.txt', 'Txt_Dosyalar (*.txt)';...
    '*.xyz', 'Nokta_Dosyalar (*.xyz)';...
    '*.ply', 'Nokta Bulutu_Dosyalar (*.ply)';
    '*.*', 'Tüm Dosyalar (*.*)'},...
    'Bir Lazer Tarama Veri Dosyası Seçiniz:');
if dosyaadi~=0
h=waitbar(0,'Lazer Verisi Yükleniyor');
for i=1:10
Ham_veri_Matris = pread([dosyayolu,dosyaadi]);
ns = Ham_veri_Matris.Count;
waitbar(i/10,h);
end
close(h);
end
pcshow(Ham_veri_Matris);
str1=num2str(ns);
fprintf('Toplam Tarama Nokta Sayısı %d\n',ns);
DHam_veri_Matris=pcdenoise(Ham_veri_Matris,'NumNeighbors',25,'Threshold',0.0
1);
X =double(DHam_veri_Matris.Location(:,1));
assignin('base','X',X);
Y =double(DHam_veri_Matris.Location(:,2));
assignin('base','Y',Y);
Z =double(DHam_veri_Matris.Location(:,3));
assignin('base','Z',Z);
R =double(DHam_veri_Matris.Color(:,1));
assignin('base','R',R);
G =double(DHam_veri_Matris.Color(:,2));
assignin('base','G',G);
B =double(DHam_veri_Matris.Color(:,3));
assignin('base','B',B);
dns = DHam_veri_Matris.Count;
nokta_sinif=zeros(dns,1);
assignin('base','Matris_segmentation',Matris_segmentation);
str1=num2str(dns);
uiwait(msgbox({'Gürültüsü Giderilmiş Tarama Nokta Sayısı',[str1]},'Success'));
fprintf('Gürültüsü Giderilmiş Tarama Nokta Sayısı %d\n',dns);
maxX_deger=max(Matris_segmentation(:,1));
```

```

minX_deger=min(Matris_segmentation(:,1));
maxZ_deger=max(Matris_segmentation(:,3));
minZ_deger=min(Matris_segmentation(:,3));
maxY_deger=max(Matris_segmentation(:,2));
minY_deger=min(Matris_segmentation(:,2));
New_coord_X=Matris_segmentation(:,1)-minX_deger;
New_coord_Y=Matris_segmentation(:,2)-minY_deger;
New_coord_Z=Matris_segmentation(:,3)-minZ_deger;
Matris_segmentation(:,1)=New_coord_X;
Matris_segmentation(:,2)=New_coord_Y;
Matris_segmentation(:,3)=New_coord_Z;
maxX_deger=max(Matris_segmentation(:,1));
minX_deger=min(Matris_segmentation(:,1));
maxZ_deger=max(Matris_segmentation(:,3));
minZ_deger=min(Matris_segmentation(:,3));
maxY_deger=max(Matris_segmentation(:,2));
minY_deger=min(Matris_segmentation(:,2));
alfa_acisi = -(atan((maxY_deger-minY_deger)/(maxX_deger-minX_deger)));
T = [cos(alfa_acisi) -sin(alfa_acisi) 0
      sin(alfa_acisi) cos(alfa_acisi) 0
      0 0 1];
[ns,ss]=size(Matris_segmentation);
Matris_vek=zeros(ns,3);
for i=1:ns
    Matris_vek(i,1)=Matris_segmentation(i,1);
    Matris_vek(i,2)=Matris_segmentation(i,2);
    Matris_vek(i,3)=Matris_segmentation(i,3);
    Matris_segmentation(i,1)=YN(1,1);
    Matris_segmentation(i,2)=YN(2,1);
    Matris_segmentation(i,3)=YN(3,1);
end
X=Matris_segmentation(:,1);
Y=Matris_segmentation(:,2);
Z=Matris_segmentation(:,3);
R = Matris_segmentation(:,4);
G = Matris_segmentation(:,5);
B = Matris_segmentation(:,6);
M = (X(:)==0)&(Y(:)==0)&(Z(:)==0);
assignin('base','M',M);
ifade1={'Yüzeye Yazılacak Dosya İsmi Giriniz'};
normal1={' .ply'};
baslik1='Belirlenen Yüzey Nokta Bulutu İsmi';
satir1=1;
cevap1=inputdlg(ifade1,baslik1,satir1,normal1);
fname=char(cevap1(1,1));
fprintf(fid,'ply\n');
fprintf(fid,'format ascii 1.0\n');
fprintf(fid,'obj_info num_cols %d\n',size(X,1));
fprintf(fid,'obj_info num_rows %d\n',size(X,2));
fprintf(fid,'element vertex %d\n',sum(~M));

```

```

fprintf(fid,'property float x\n');
fprintf(fid,'property float y\n');
fprintf(fid,'property float z\n');
fprintf(fid,'property uchar red\n');
fprintf(fid,'property uchar green\n');
fprintf(fid,'property uchar blue\n');
fprintf(fid,'element range_grid %d\n',numel(X));
fprintf(fid,'property list uchar int vertex_indices\n');
fprintf(fid,'end_header\n');
    fprintf(fid,'%f %f %f %.0f %.0f %.0f\n',[X(~M) Y(~M) Z(~M) R(~M) G(~M)
B(~M)]);
fprintf(fid,'%d %d\n',[~M (~M).*cumsum(~M)]);
fclose(fid);
f = figure('Name','Gürültü Giderimiş Nokta Bulutu ','NumberTitle','on');
pcshow(Nokta_Yuzey);
h = uicontrol('Position',[20 20 100 40],'String','Devam Et!','...
    'Callback','uiresume(gcf)');
disp('4 Nokta Seçin !');
uiwait(gcf);
disp('Program Devam Ediyor');
close(f);
N1 = evalin('base','N1');
N2 = evalin('base','N2');
N3 = evalin('base','N3');
N4 = evalin('base','N4');
Nok=[N1;N2;N3;N4];
N=load('Noktalar.mat');
N = evalin('base','N');
N=struct2table(N);
N1=N.Nok(1,1).Position;
N2=N.Nok(2,1).Position;
N3=N.Nok(3,1).Position;
N4=N.Nok(4,1).Position;
A=zeros(4,4);
A2=ones(4,1);
A1=[N1(:,1) N1(:,2) N1(:,3) 255 255 255
    N2(:,1) N2(:,2) N2(:,3) 255 255 255
    N4(:,1) N4(:,2) N4(:,3) 255 255 255];
A=[A1 A2];
t=atan((max(A1(:,2))- min(A1(:,2)))/(max(A1(:,1)) - min(A1(:,1))));
TT = [cos(t) -sin(t) 0
    sin(t) cos(t) 0
    0 0 1];
maxDistance = 0.0055;
maxAngularDistance = 3.8;
[Yuzey, Yuzey_inlierIndices, Yuzey_outlierIndices] = pcfitsphere(Nokta_Yuzey,...
    maxDistance,referenceVector,maxAngularDistance);
plane1 = select(Nokta_Yuzey, Yuzey_inlierIndices);
remainPtCloud = select(Nokta_Yuzey, Yuzey_inlierIndices);
pcshow(remainPtCloud);

```

```

roi =
[min(A1(:,1)),max(A1(:,1));min(A1(:,2)),max(A1(:,2));((max(A1(:,3))+min(A1(:,3))
)/2)-0.10,((max(A1(:,3))+min(A1(:,3)))/2)+0.10];
sampleIndices = findPointsInROI(remainPtCloud,roi);
remainPtCloud2 = select(remainPtCloud,sampleIndices);
pcshow(remainPtCloud2);
segT = clusterdata(remainPtCloud2.Location,'maxclust',2);
Seg_Point_cloud=[remainPtCloud2.Location segT];
Pen_Sol_X=zeros(ns,1);
Pen_Sag_X=zeros(ns,1);
for i=1:ns
    if Seg_Point_cloud(i,4)==2
        Pen_Sol_X(i,1)= Seg_Point_cloud(i,1);
    else
        Pen_Sag_X(i,1)= Seg_Point_cloud(i,1);
    end
end
end
Pen_Sol_X=nonzeros(Pen_Sol_X);
Pen_Sag_X=nonzeros(Pen_Sag_X);
if mean(Pen_Sol_X) < mean(Pen_Sag_X)
    max_PenSol=max(Pen_Sol_X);
    min_PenSag=min(Pen_Sag_X);
else
    max_PenSol=min(Pen_Sol_X);
    min_PenSag=max(Pen_Sag_X);
end
pencere_gen=abs(max_PenSol-min_PenSag);
XPYatay=[max_PenSol
    min_PenSag];
YPYatay=[max(remainPtCloud2.Location(:,2))
    min(remainPtCloud2.Location(:,2))];
ZPYatay=[mean(remainPtCloud2.Location(:,3))
    mean(remainPtCloud2.Location(:,3))];
figure('Name','Pencere Genişliği','NumberTitle','on')
pcshow(remainPtCloud2);
hold on
plot3(XPYatay,YPYatay,ZPYatay,'Color','r');
str1=num2str(pencere_gen);
uiwait(msgbox({'Pencere Genişliği (m)',[str1]},'Success'));

```