



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**3 BOYUTLU MODELLEMEDE YERSEL
LAZER TARAMA VE İNSANSIZ HAVA
ARAÇLARI VERİLERİNİN ENTEGRASYONU
VE KİLİSTRA ANTİK KENTİ ÖRNEĞİ**

Adin Adnan Rashid BEG

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Adin Adnan Rashid BEG tarafından hazırlanan “3 Boyutlu Modellemede Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları Verilerinin Entegrasyonu ve Kilistra Antik Kenti Örneği” adlı tez çalışması 17/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

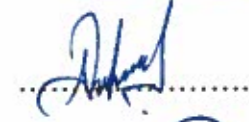
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

Üye

Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.



Prof. Dr. Yakup KARA
FBE Müdürü ✓

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



İmza

Adin Adnan Rashid BEG

Tarih: 17/08/2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3 BOYUTLU MODELLEMEDE YERSEL LAZER TARAMA VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VERİLERİNİN ENTEGRASYONU VE KİLİSTRA ANTİK KENTİ ÖRNEĞİ

Adin Adnan Rashid BEG

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

2018, 65 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

Bu tez çalışmasının amacı doğal kaya oluşumu ve mimarisi ile Kapadokya, İhlara oluşumlarına benzer özellikler gösteren Kilistra (Gökyurt) Antik Kentinde bulunan yapıların üç boyutlu modelleme çalışmalarını yapmaktır. Tarihi ve kültürel değeri olan geçmişten günümüze miras olarak kalan arkeolojik eserler, tarihi yapılar, jeolojik oluşumların yaşatılması, korunması ve belgelenmesi çalışmalarında fotogrametrik tekniklerin sıklıkla kullanılması yapılan işin doğruluğu, maliyeti, hızı ve sayısal olarak belgeleme ve modelleme açısından oldukça avantajlıdır. Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları (İHA) tekniği tarihi ve kültürel mirasın korunması için etkileyici yöntemlerden biridir.

Tez kapsamında tarihi açıdan önemli bir yerleşim yeri olan Kilistra Antik Kentinde yer alan Başpınar Sarnıcı, Seramik Atölyesi ve Haç Kilisesi yapılarının iç mekân ölçümleri yersel lazer tarayıcı ile dış mekân ölçümleri ise insansız hava aracı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler farklı yazılımlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında farklı platformlardan elde edilen verilerin entegrasyonu amaçlanmıştır; eserlere ait 3B modeller, Sayısal Yüzey Modelleri ve Ortomozaik görüntüler farklı yazılımlar kullanılarak üretilmiştir. Kullanılan yazılımların birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları ele alınmıştır. Ayrıca yapılara özgü 2B çizimler yapılarak alan, hacim, çevre gibi geometrik bilgiler çıkartılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Modelleme, Veri Birleştirme, CBS, Fotogrametri, İHA, Tarihi ve Kültürel Eserleri Belgeleme, Yersel Lazer Tarama.

ABSTRACT

MS THESIS

THE INTEGRATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNING AND UNMANNED AERIAL VEHICLES IN 3D MODELLING: THE EXAMPLE OF KILISTRA ANCIENT CITY

Adin Adnan Rashid BEG

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN SURVEYING ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA

2018, 65 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Assoc. Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

The purpose of this thesis is to achieve a Three dimensional modeling of The ancient city of Kilistra's building which have similar characteristics to the natural rock formation and architecture of Cappadocia and Ihlara's formations. The use of photogrammetric techniques frequently in the studies of preservation and documentation of archaeological artifacts, historic buildings, survival of geological formations, which have historical and cultural values, is very advantageous in terms of cost, speed and numerical documentation and modeling. Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) techniques are one of the most impressive methods for the preservation of historical and cultural heritage.

As part of the thesis, indoor measurements of Başıpınar Cistern, Ceramic Workshop and Cross Church buildings located in the Ancient City of Kilistra which was an important settlement in terms of history, were made using a terrestrial laser scanner while outdoor measurements using an unmanned aerial vehicle. The acquired data were evaluated using different softwares. In the scope of the study; 3D models, Digital Surface Models and Orthomosaic images were produced with data obtained from different platforms. The advantages and weaknesses of different softwares that have been used in modeling studies are discussed. Furthermore, 2D drawings specific to the buildings were made and geometrical information such as perimeter, area and volume were extracted.

Keywords: 3D Modelling, Data Integration, GIS, Historic and Cultural Heritage Documentation, Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning, UAV.

ÖNSÖZ

Bilimsel hayatımın başında, emeği geen ve desteği olan ve tm alışmalarımda yardımcı olan ok değerli danışman hocam Lütfiye KARASAKA' a ya ve bana hayatım boyunca desteklerini sunan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca Tez çalışmamda bana yardımcı olan değerli hocalarım; Hasan Bilgehan Makineci, Ali Ulvi ve Ahmet Suat TOPRAK' a teşekkür ediyorum.

Adin Adnan Rashid BEG
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Lazer Tarama	5
3.1.1. Lazer tarayıcıların gelişiminin kısa tarihi	6
3.1.2. Lazer tarayıcılarda mesafe ölçme teknikleri	6
3.1.3. Lidar teknikleri	8
3.1.3.1. Hava Lidarı	8
3.1.3.2. Yersel Lidar	8
3.1.3.3. Sabit yersel tarayıcıların sınıflandırması	9
3.2. İnsansız Hava Araçları.....	10
3.3. Kullanılan Donanımlar Hakkında Genel Bilgiler	12
3.3.1. FaroFocus 3D X 330 yersel lazer tarayıcısı.....	12
3.3.2. DJI Phantom 3 İnsansız Hava Aracı	14
3.3.3. Topcon GPT 3007 Total Station.....	14
3.4. Kullanılan Yazılımlar Hakkında Genel Bilgiler	15
3.4.1. Yersel lazer tarama yazılımları	15
3.4.1.1. SCENE 3D	15
3.4.1.2. JRC 3D Reconstructor	15
3.4.2. İnsansız Hava Aracı yazılımları.....	15
3.4.2.1. Pix4Dmapper	15
3.4.2.2. Agisoft PhotoScan Pro.....	16
3.4.3. Çalışmada kullanılan diğer yazılımlar	16
3.4.3.1. 3D Reshaper.....	16
3.4.3.2. Autodesk AutoCAD.....	16
3.4.3.3. Autodesk Civil 3D	16
3.4.3.4. ArcGIS	17
3.4.3.5. Cloud Compare	17
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	18
4.1. Çalışma Alanı	19
4.1.1. Başpınar Sarnıcı	20

4.1.2. Haç Kilisesi.....	21
4.1.3. Seramik Atölyesi.....	22
4.2. Yersel Lazer Tarama Yöntemiyle 3B Modelleme.....	23
4.2.1. Faro Scene yazılımıyla 3B modelleme.....	24
4.2.2. JRC 3D Reconstructor yazılımıyla 3B modelleme.....	28
4.3. Yersel Lazer Tarama verilerinden yüzey ve kütle hesabı.....	30
4.3.1. İki boyutlu çizim ve yüzey (alan) hesaplama.....	30
4.3.2. Kütle (Hacim) hesaplama.....	32
4.4. İnsansız Hava Aracı Yöntemiyle 3B Modelleme.....	34
4.4.1. Pix4D yazılımıyla 3B Modelleme.....	35
4.4.2. Agisoft yazılımıyla 3B modelleme.....	40
4.4.3. Yer Kontrol Noktalı ve Yer Kontrol Noktasız modelleme.....	45
4.5. İHA Modellerinden Vektör ve Raster Verilerinin Üretimi ve Diğer Yazılımlarda Kullanımı.....	47
4.5.1. Vektör verilerinin Civil 3D yazılımında kullanımı.....	48
4.5.2. Raster verilerinin ArcMap yazılımında kullanımı.....	49
4.6. İHA ve YLT 3B Modellerinin Entegrasyonu.....	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
5.1 Sonuçlar.....	54
5.2 Öneriler.....	57
KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	62
EK-1 Haç Kilisesinin Cloud to Cloud Birleştirme raporu.....	62
EK-2 Haç Kilisesinin Target Based Birleştirme raporu.....	63
EK-3 Haç Kilisesinin Combined Birleştirme raporu.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

3B:	Üç Boyutlu
CBS:	Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM:	Digital Elevation Model
DSM:	Digital Surface Model
GIS:	Geographic Information System
GPS:	Global Positioning System
GNSS:	Global Navigation Satellite System
IMU:	Inertial Measurement System
ICP:	Iterative Closest Point
LASER:	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LiDAR:	Light Detection and Ranging
TOF:	time of flight
İHA:	İnsansız Hava Aracı
YLT:	Yersel Lazer Tarama
YKN:	Yer Kontrol Noktası
SYM:	Sayısal Yükseklik Modeli
SAM:	Sayısal Arazi Modeli
VRML:	Virtual Reality Modeling Language

1. GİRİŞ

Türkiye turizm açısından oldukça zengin bir ülke olup farklı kültür ve medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Son yıllarda yerli ve yabancı turistler tarafından gerçekleştirilen turistik seyahatlerin sadece sahil bölgeleri ile sınırlı kalmadığı, kültür turizmine de oldukça yoğun bir ilginin olduğu görülmektedir. Özellikle, Antik Kentler geçmişteki farklı medeniyetlerin izlerini merak eden turistler için cazibe merkezleri haline gelmiştir ve turizme kazandırılan antik kentler artan ziyaretçi sayısı ile de ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır.

İnsanoğlunun geçmişi ile bugünü arasında bir köprü oluşturan kültürel ve tarihsel değeri olan yapıların korunması belgelenmesi son yıllarda gelişen teknolojik yöntemlerle daha kolay, hızlı ekonomik ve ilgi çekici hale gelmiştir. Tarihi ve kültürel değeri olan geçmişten günümüze miras olarak kalan arkeolojik eserler, tarihi yapılar, jeolojik oluşumların yaşatılması, korunması ve belgelenmesi çalışmalarında fotogrametrik tekniklerin sıklıkla kullanıldığı dikkat çekmektedir. İleri teknolojik yöntemlerden biri olarak kabul edilen digital fotogrametri tekniği, son yıllarda tarihi ve kültürel mirasın korunması ve belgelenmesine yönelik araştırma ve çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu bağlamda ele alındığında yersel lazer tarama ve insansız hava araçları (İHA) tekniği tarihi ve kültürel mirasın korunması için etkileyici yöntemlerden biridir. Ayrıca eserin üç boyutlu modelinin diğer CAD yazılımlarına ve VRML gibi doku kaplama özelliğine sahip 3 boyutlu farklı veri formatlarına export edilebilmesi ile fotogrametrik teknikler farklı disiplinlere de hizmet etmektedir.

Yersel lazer tarama (YLT) geleneksel ölçme teknikleri ile kıyaslandığında 3B nokta bilgilerin çok yüksek hızla elde edilebildiği bir ölçme tekniğidir. Özellikle yersel lazer tarama tekniği iç mekân ölçmelerinde 3B modelleme için hızlı veri elde etme değerlendirme adımlarında kolaylık sağlamaktadır

İnsansız hava araçları ise özel amaçlar için tasarlanmış, herhangi bir alanda kalkış ve iniş yapabilen, uzaktan kumandalı, yarı otomatik veya tam otomatik uçuş yeteneğine sahip araçlardır. İHA'nın sağlamış olduğu en büyük avantaj; insan hayatını tehlikeye atmadan riskli durumlarda ve ulaşılamayan bölgelerde, alçak rakımda ve uçuş profilinin objeye yakın olduğu ve insanlı uçuş sisteminin uçamadığı yerlerde kullanılmasıdır.

Tez çalışmasında, günümüzde henüz kültür turizmine tam anlamıyla açılmamış antik kentlerden bir tanesi olan ve özellikle yabancı turistlerin inanç turizmi açısından da önemli bir yere sahip olan Konya ili Gökyurt Köyü sınırları içerisinde yer alan Kilistra Antik Kenti çalışılmıştır. Bir açık hava müzesi olan Kilistra Antik Kenti günümüze kadar ayakta kalan pek çok esere sahiptir. Bu eserlere şapeller, kiliseler, manastırlar, sarnıçlar, şaraphane, atölye, çeşme, örnek verilebilir. Bu çalışma kapsamında Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi ve Başpınar Sarnıcı yapılarının yersel lazer tarama teknolojisi ve insansız hava aracı platformu kullanarak elde edilen verileri farklı yazılımlarda değerlendirilerek üç boyutlu modeller ve diğer fotogrametrik veriler üretilmiştir. İki veya daha fazla ölçme yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin birleştirilmesi tek bir ölçme yöntemi ile elde edilemeyen eksik verilerin diğer ölçme yöntemlerinden tamamlanması ve 3B model çıktılarının zenginleştirilmesine katkısı vardır. Özellikle yanına ulaşılması tehlikeli veya mümkün olmayan objeler, tarihi eserler, arkeolojik yapılar veya dik, yüksek doğal oluşumların 3B modellenmesi için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu amaçla tek bir platformla elde edilemeyen Haç Kilisesi'nin 3B modeli; dış mekân İHA verileri ve iç mekân YLT verileri birleştirilmek suretiyle farklı platformlardan elde edilen verilerin entegrasyonu sağlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde birçok mühendislik uygulamaları, kültürel ve tarihi eserlerin korunmasında, rölöve ve restorasyon gibi çalışma alanlarında İHA ve Lazer Tarayıcılar kullanılmaktadır. Bu konuda (Blyenburgh 1999; Barber ve ark. 2002; Ingensand ve ark. 2003; Staiger 2003; Fröhlich ve Mettenleiter 2004; Sanna ve Pralio 2005; Yılmaz ve Yakar 2006; Gümüş ve Erkaya 2007; Everaerts 2008) ve fotogrametri ve lazer tarama ile ilgili önemli bilgileri paylaşmaktadır.

Lazer tarama yöntemlerinde ise, ölçülen alanın 3B nokta verileri kısa sürede ve istenilen sıklıkta elde edilmektedir. Nokta bulutlarının; kaydedilmesi, farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmesi ve fazla nokta verilerinin silbilmesi ile objelerin 3B modelleri oluşturulmaktadır. Kültürel mirasın korunmasını, yapıların mümkün olan en özgün hal ve işlevleriyle gelecek nesillere aktarılmasını amaçlayan mimari restorasyon çalışmaları da meslekler arası iş birliğinin en çok ihtiyaç duyulduğu alanlardan birisidir. (Balis ve ark. 2004; Böhler ve Marbs 2004; Abmayr ve ark. 2005; Remondino ve ark. 2005; Yastikli 2007; Al-Kheder ve ark. 2009; Remondino 2011; Şenkal ve ark. 2013).

İç mekânların modellenmesi ve bu modellerin nesnelere ve data tabanlarıyla birleştirildikten sonra CBS'ye transfer edilmesi, transfer edilen bu modelin internet üzerinden çok sayıda kullanıcılara ulaşılması; işlevsel binalara ait iç mekânların sanal ortamda görülebilir şekilde sunumu ve içerisinde sanal olarak dolaşma yapılabilmesi açısından günümüzde ve gelecekte büyük bir öneme sahiptir. Böylece iç mekân içerisinde istenilen bir noktaya kolay ulaşılabilirdiği gibi, iç mekânı modellenmiş yapıya ait ayrıntılı bilgilere kolayca ulaşmak sağlanmaktadır. (Budroni ve Böhm 2010; AKAY ve ark. 2012; Avdan ve ark. 2013; Thomson ve ark. 2013).

Tarihi ve kültürel alanların dokümantasyonu ve belgelenmesi çalışmalarında ayrıca arkeolojik sit alanların korunması ve belgelenmesi çalışmalarında yersel lazer tarama ve İHA platformları kullanıldığı görülmektedir. (Lerma ve ark. 2010; Remondino ve ark. 2011; Barsantia ve ark. 2013; Núñez ve ark. 2013; Stal ve ark. 2014; Ulvi ve Toprak 2016).

Antik kentler ise, turizmin bir alt dalı olan kültür turizmi için yadsınamaz bir öneme sahiptir. Őöyle ki ülkemizde gerçekleştirilen kültür turlarına katılan yerli ve yabancı turistlerin görmek istedikleri, kültür turu programlarının olmazsa olmazı vizit yerlerinden biri de geçmiş dönemlerde farklı medeniyetlere ev sahipliği, bazen de başkentlik yapmış antik kentlerdir. Aşağıdaki kaynaklar Kilistra Antik Kenti'nin tarihi, dini inancı, mimari yapıları ve mevcut durumuyla ilgili bilgiler verilmiş olmaktadır. (Aydın 2006; Tapur 2009; Mimirolęlu 2014; Bozkurt 2016).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında, Konya il sınırları içerisinde Kilistra (Gökyurt) Antik Kent alanında yer alan ve bölgenin önemli yapılarından olan Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi ve Başpınar Sarnıcı'nın yersel lazer tarama ve insansız hava aracı teknikleri ile üç boyutlu modelleme çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan donanımlar ve yazılımlar hakkında bilgiler verilecektir.

3.1. Lazer Tarama

Lazer tarama, bir yüzeyin LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi kullanılarak örneklendiği veya tarandığı bir yöntemdir. Lazer ışını olarak ifade edilen optik kaynak aracılığı ile lazer tarama cihazı ve obje arasındaki mesafe belirlenebilmektedir. Lazer ışınını normal ışıktan ayıran özellikleri (tek renklilik, uyumluluk, ıraksama, yönlendirilebilirlik, yansıma, yoğunluk) sayesinde gerçek dünya veya nesnelerin şekli ve boyutu ile ilgili veriler kolaylıkla toplanıp analiz edilebilmektedir. Lazer tarayıcılar tarama mekanizması olarak da bilinen optik aynalar aracılığı ile lazer ışınının yatay ve düşey yönlerde yönlendirilmesi ile ilgili objenin veya yüzeyin taramasını yapar. Bir lazer tarayıcının lazer ışınını yatay ve düşey yönlerde saptırma kapasitesi teknik bilgilerinde **görüş açısı** olarak verilir. Bir objenin üç boyutlu modelini oluşturabilmek için farklı görüş açıları ile birden fazla tarama istasyonunun kullanılması gerekebilir. Tarama sonucunda elde edilen nihai ürün ölçme mesafesi ile orantılı olarak değişen milyonlarca noktadan oluşan nokta bulutudur. Nokta bulutu verisi, konum bilgisi, yoğunluk bilgisi (intensity), RGB değeri, tarama açısı, yansıma sayısı, yansıma boyu gibi bilgiler içerir. Lazer taramanın en önemli avantajı oldukça kısa bir sürede yoğun nokta konum bilgisini yüksek doğrulukla kaydedebilmesidir. Lazer tarama teknolojisi ile toplanan veriler çeşitli uygulamalar için kullanışlı olan sayısal, iki boyutlu çizimler veya üç boyutlu modeller oluşturmak için kullanılabilir (Van Genechten 2008; Karasaka 2012).

3.1.1. Lazer tarayıcıların gelişiminin kısa tarihi

Lazer taramanın tarihsel gelişimi 1958 yılında Charles Townes ve Arthur Schawlow'un tarafından, yönlendirilebilen uzun mesafeler boyunca yol alan çok yoğun monokromatik radyasyonun (dar bir ışın demeti) potansiyelini ortaya koyması ile başlamıştır.

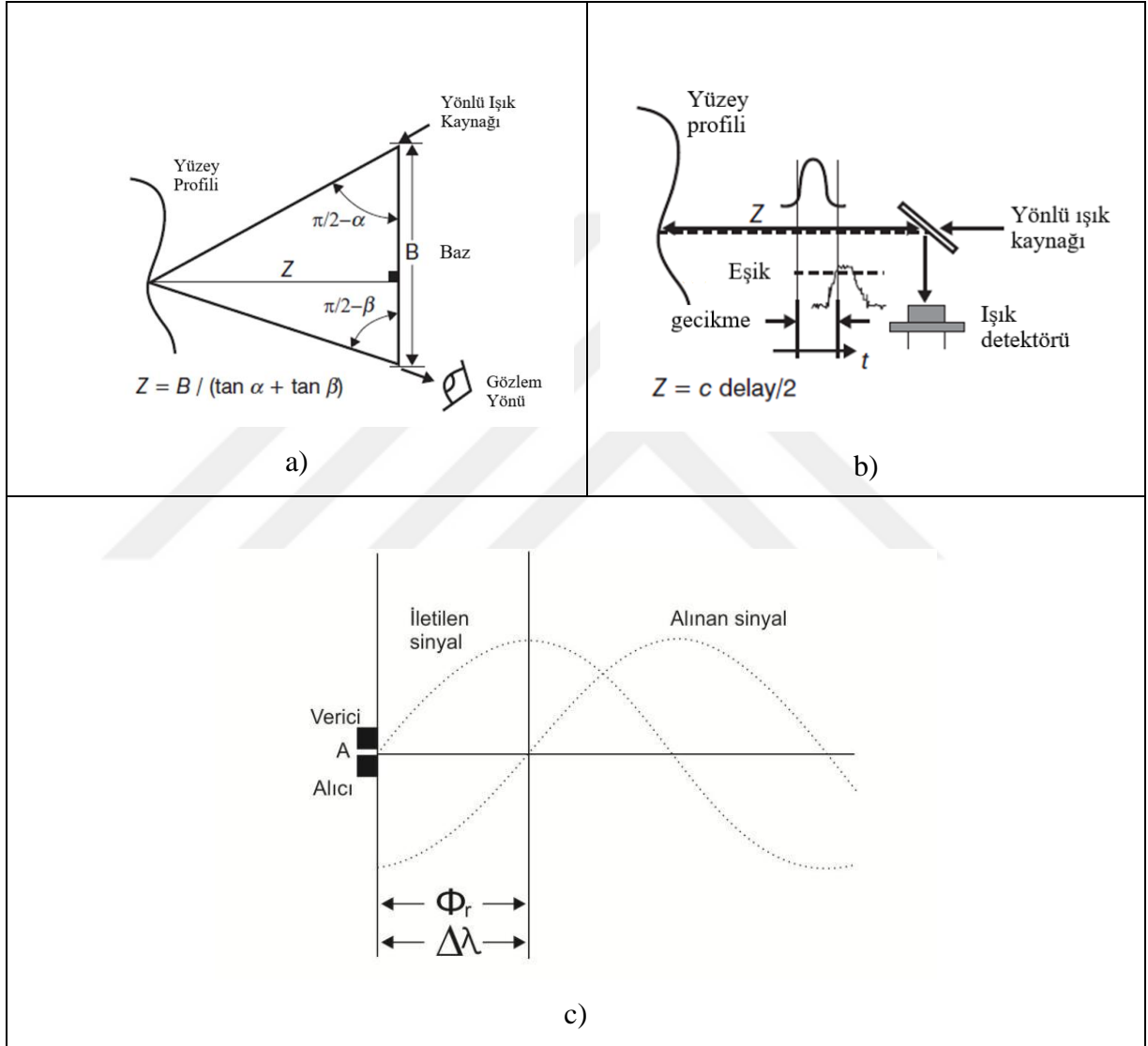
İlk ölçme aletleri laboratuvar kullanımı için geliştirilmiştir. İlk lazer mesafe ölçme aleti 1966'da ve ilk hizalama lazeri 1971'den sonra pazarlanmıştır. İlk sistemler, spesifik olarak daha dayanıklı durumlar için dizayn edilmiş olan hava şartlarına karşı korumalı cihazlara uyarlandığından çevre bilimciler bu yeni teknolojiye hızlı bir şekilde adapte olmuşlar ve 1980'ler ve 1990'lı yıllarda çok çeşitli çevre bilimleri uygulamalarında kullanılmıştır.

Günümüzde lazer ölçme aletleri; sabit ışın demeti, döner ışın demeti ve mesafe ölçerler olarak üç kategoriye ayrılan geniş bir uygulama alanına sahiptir (Van Genechten 2008; Karasaka 2012).

3.1.2. Lazer tarayıcılarda mesafe ölçme teknikleri

Bir yüzeyi 3B optik olarak ölçmek için üç temel yöntem vardır. Lazer tarama teknolojisinde mesafe ölçme yöntemi olarak doğrudan uçuş zamanlı (time-of-flight), faz karşılaştırma ve üçgenleme yöntemleri kullanılmaktadır. Uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemi obje yüzeyinden yansıyan lazer ışınının gidiş- geliş zamanını ölçerken genlik modülasyonuna göre çalışan faz karşılaştırma yöntemi birden fazla lazer sinyalinin karşılaştırarak faz farkı ölçmektedir. Uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemi obje yüzeyinden yansıyan lazer ışınının gidiş- geliş zamanını ölçmektedir. Bu yöntem yersel platformlar, hava (airborne) ve uydu (spaceborne) platformları üzerine yerleştirilen algılayıcılarla yüzlerce kilometre mesafeye kadar olan uzaklıkları ölçmek için kullanılmaktadır. Uçuş zamanlı uygulamalarının bir lazer sinyalinin obje yüzeyine çarpıp geri döndüğü hızı ölçmek temel prensibi olmaktadır. Faz karşılaştırma yöntemi birden fazla lazer sinyalinin karşılaştırarak faz farkı ölçmektedir. Dolaylı uçuş zamanlı mesafe belirleme yöntemi olan faz karşılaştırma yönteminde lazer cihazı bir sinyal yerine sürekli lazer ışını gönderir. Bu durumda aralık değeri iletilen ve alınan bu ışının sinüzoidal dalga modelinin türüne göre karşılaştırılarak elde edilir ve aralarındaki faz farkı ölçülür. Üçgenleme yöntemi ise kosinüs teoremini kullanarak lazer sensörü

tarafından belirli bir açı ile gönderilen lazer ışını yüzeyden yansyarak alıcıya geri döndüğünde hesaplanan mesafe yöntemidir. Ayrıca üçgenleme yöntemi mesafe ölçmek açısından pasif ve aktif yöntemler olarak da sınıflandırılabilir. Pasif üçgenlemede mesafesi ölçülecek obje iki sensör tarafından gözlemlenmektedir. Aktif üçgenlemede iki sensör vardır. Bu sensörlerden biri ışık kaynağı iken diğer sensör yansyan ışığı alır (Vosselman ve Maas 2010; Karasaka 2012).



Şekil 3.1. a) Aktif üçgenleme yöntemi b) Uçuş zamanlı yöntem c) Faz karşılaştırma yöntemi (Vosselman ve Maas 2010).

3.1.3. Lidar teknikleri

Lidar (Light Detection and Ranging) teknolojisi hava ve yersel Lidar olmak üzere ikiye ayrılan geniş bir uygulama alanına sahiptir. Farklı uygulama alanları verilerin amacına, taranan alanın büyüklüğüne, istenilen ölçüm aralığına ve ekipmanın maliyetine dayalı olarak değişen özellikleri olan tarayıcılar gerektirirler (Vosselman ve Maas 2010).

3.1.3.1. Hava Lidarı

Hava LiDAR sistemleri, uçağa entegre edilmiş bir lazer tarayıcı ile topografyayı 3B nokta bulutu şeklinde tasvir eden bir yöntemdir. Bu yöntem, sayısal yükseklik modellerinin oluşturulmasında sayısal hava fotogrametrisine alternatif, kısa bir zaman aralığında geniş ve zorlu arazi koşulunda ayrıntılı, yüksek çözünürlüklü nokta sıklığı ile yüksek doğruluklu veri elde eden bir yöntemdir. Fotogrametri ile karşılaştırıldığında başlıca avantajı, nokta bulutu verisinden bitki örtüsü yansımaları filtre edilerek, zemin yüzeylerini temsil eden nehirler, yollar, sit alanları gibi yer yüzeylerini temsil eden sayısal bir yüzey modelin oluşturulabilmesidir. Uygulama da hava Lidarı yüksek irtifalı uygulamalar ve düşük irtifalı uygulamalar olarak gerçekleştirilse de temel fark daha yüksek irtifalarda elde edilen verilerin hem doğruluğunda hem de nokta yoğunluğundaki azalmadır. Hava Lidarı ayrıca sığ sularda batimetrik modeller yaratmak için kullanılmaktadır (Doneus ve ark. 2015).

3.1.3.2. Yersel Lidar

Lidar teknolojilerinin yersel uygulamaları lazer tarama cihazının kullanım biçimine göre sabit ya da hareketli (mobil) olabilir.

Sabit yersel tarama, gerçek bir zamanda sistematik bir sıklık içerisinde belirli bir bölgedeki bir obje yüzeyinin otomatik olarak 3 boyutlu koordinatlarını ölçen yer bazlı bir cihazın kullanımınıdır. **Mobil yersel tarama**, ise teknolojisi yersel lazer taramaya benzemekle birlikte araba, gemi, tren gibi hareketli nesnelere entegre edilen navigasyon sensorları ve dijital görüntüleme sensorları ile bütünleşik veri toplayan bir sistemdir. Mobil yersel lazer tarama sistemleri çalışma prensibi ve kullandıkları donanımlar ile hava LiDAR sistemlerine benzemekte ve çok geniş alanlarla ilgili çok

kısa sürede 3B konum bilgileri alınabilmektedir. Hareketli olması ve çeşitli vasıtalarla monte edilebilirliği sayesinde topladığı veri genişliğinden dolayı, demiryolları, karayolları, şehir modelleme, enerji nakil hatları, sulama, sel baskınlarının haritalanması gibi alanlarda tercih edilmektedir (Lee ve ark. 2010; Karasaka 2012).

Yersel Lidar teknolojisi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin: mimarlık, arkeoloji, tarihi ve kültürel mirasın korunması, ormancılık ve çevresel uygulamalar, endüstri ve madencilik, adli tip ve sanal simülasyon gibi alanlardaki uygulamaları örnek olarak verilebilir. (Yılmaz ve Yakar 2006).

3.1.3.3. Sabit yersel tarayıcıların sınıflandırması

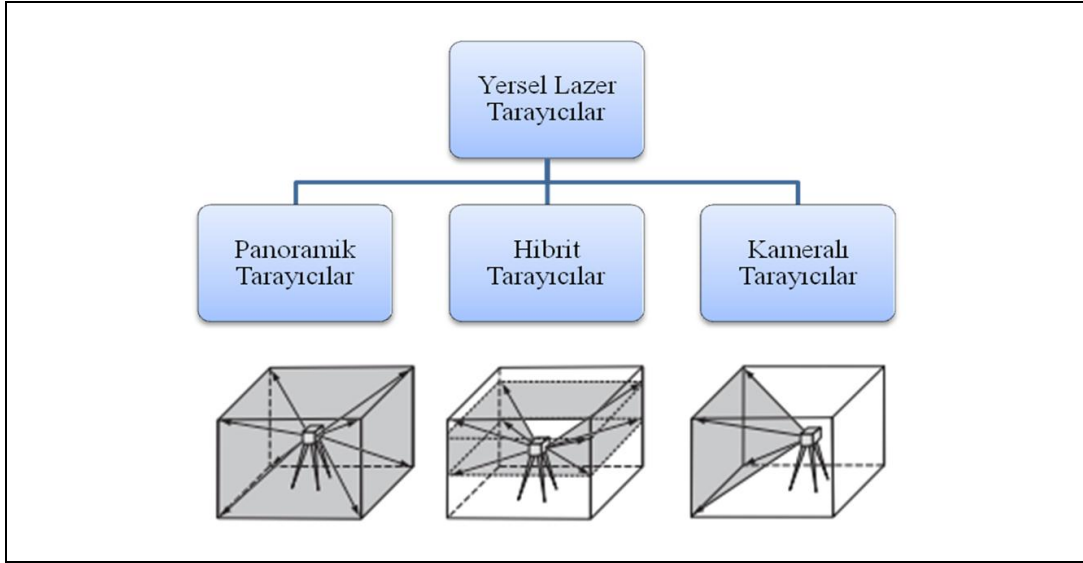
Sabit yersel lazer tarayıcılar tarama menziline göre kısa menzilli lazer tarayıcılar, orta menzilli tarayıcılar ve uzun menzilli tarayıcılar, tarama mekanizmalarına göre de kamera tarayıcı, hibrit tarayıcı ve panoramik tarayıcı olarak sınıflandırılırlar.

Kısa menzilli tarayıcılar, genellikle ölçülecek obje mesafesinin 100 m den daha kısa olması durumunda faz karşılaştırma yöntemi kullanır. Bu tür tarayıcılar iç mekân ölçümlerinin yanı sıra yüksek dik açılı ölçüm ve haritalamaların gerekli olduğu dış mekân ölçümlerinde de kullanıma uygundur. Bu tipteki tarayıcıların en önemli imalatçıları Faro, Zoller + Fröhlich (Faz Ölçümü Teknolojisi) ve Callidus (TOF Ölçümü Teknolojisi) 'tır.

Tarama menzili 150 ile 350 m arasında olan tarayıcılar **orta menzilli lazer tarayıcılar** sınıfına girer. Bu tarayıcılar uçuş zamanlı mesafe ölçme prensibine göre çalışmaktadır. Leica, Trimble ve Topcon marka lazer tarayıcılar orta menzilli lazer tarayıcı sınıfında yer alır.

Yüksek yansıtıcı hedeflere veya objelere lazer sinyali gönderme menzili 500 m ve 500 m den fazla olan tarayıcılar **uzun menzilli lazer tarayıcılar** olarak adlandırılır. Bu sınıftaki tüm lazer tarayıcılar uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemi kullanır. Uzun menzilli lazer tarayıcı tedarikçilerine Optech ve Reigl örnek olarak verilebilir. Bu tedarikçiler aynı zamanda hava LiDAR sistemlerini de üretmektedir (Shan ve Toth 2018).

Lazer tarayıcılar tarama mekanizmasına bir başka ifade ile açısal tarama hareketi kabiliyetine göre kameralı tarayıcılar, hibrit tarayıcılar ve panoramik tarayıcılar olarak sınıflandırılırlar (Staiger 2003).



Şekil 3.2. Yersel lazer tarayıcılarının tarama mekanizmalarına ve kapsama alanlarına dayalı olarak sınıflandırılması (Staiger 2003).

Kamerallı tarayıcılar $40^{\circ} \times 40^{\circ}$ 'lik sınırlı bir görüş sahası ile tarama yapmaktadır. Bu tür tarayıcılara CYRA 2500 (LEICA) ve Optech ILRIS-3D örnek verilebilir. **Hibrit tarayıcılar** yatay tarama ve düşey tarama hareketini gerçekleştiren iki eksene sahiptir. Yatay hareketi sağlayan birinci eksen sınırsızken düşey hareketi sağlayan ikinci eksen aynalara bağlı olarak 600 ile sınırlıdır. Bu gruptaki tarayıcılara GS 200 (MENSI) ve LMS Z260 (RIEGL) örnek verilebilir. **Panoramik tarayıcıların** yatay ve düşey hareketi (görüş alanı) 3600 ye kadardır. Bu tip tarayıcılar özellikle iç mekân ölçümlerinde kolaylık sağlamaktadır. Bu sınıfta yer alan tarayıcılara Imager 5003 (ZOLLER ve FRÖHLICH), Optech ILRIS-36D veya Callidus örnek verilebilir (Staiger 2003).

3.2. İnsansız Hava Araçları

Uluslararası İnsansız Araç Sistemleri Kurumu (UVS International), insansız hava aracını pilotsuz uçuş yapan bir araç olarak tanımlamıştır. Van Blyenborgh (1999) İHA'ları insansız ve yeniden kullanılabilir motorlu hava araçları olarak tarif etmiştir. Sanna ve Pralio (2005) ise, İnsansız hava aracı pilotsuz ve bağımsız bir şekilde çalışan bir hava aracı tasarımı olduğunu tanımlamıştır.

İHA sistemleri ve platformları öncelikle insansız denetleme, gözetleme, keşif ve haritalama gibi temel askeri amaçlar ve uygulamalar için geliştirilmiştir. Haritacılık uygulamaları olarak ele alındığında ise, ilk deneyim 30 yıl önce yaşanmış ve

günümüzde pek çok haritacılık uygulamalarında düşük maliyetli veri toplama ve üretimi aşamasında etkin ve kullanışlı bir platform haline gelmiştir. En son geliştirilen insansız hava araçlarının kullanımının yaygınlaşmasında düşük maliyetli platformlar üzerine amatör veya SRL dijital kameraların ve GNSS/INS sistemlerinin entegre edilmesidir.

İHA kullanılmasının büyük bir avantajı maliyet faktörüdür. İnsansız hava araçlarının, fotogrametrik amaçlı kullanımı ele alındığında büyük ölçekli topoğrafik haritalama ve 3B modelleme amaçlı olarak düşük maliyetli veri toplama aşamasında klasik hava fotogrametriye alternatif ve tamamlayıcı bir çözüm olmaktadır (Colomina ve ark. 2008).

İHA'lar, insanlı uçaklardan daha ucuzdur ve daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Ayrıca, küçük ve orta ölçekli uygulamalarda, insanlı uçakların kullanılması pahalı olduğu için ve klasik ölçme sistemlerin projeden beklenen zaman, maliyet gibi ihtiyaçları karşılayamamasından dolayı İHA alternatif bir platform olarak kullanılmaktadır.

Fotogrametrik veri üretimi olarak ele alındığında, İnsansız Hava Araçları ile elde edilen hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutu verisi üzerinden yapılan üçgenleme ile TIN model üretilebilmektedir. Bu model üzerinden tanımlanan yüzeyler ile Katı Model, hava fotoğraflarını giydirilmek suretiyle Texture Model ve bunların yanı sıra yeryüzü topografyasına ilişkin tüm detayları içeren (bitki örtüsü ve insan yapımı unsurlar) Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Ortofoto üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca sonuç ürünlerin farklı uzantı dosyaları, CBS ve CAD yazılımları entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır.

İHA'ların insanlı uçak sistemlerine göre diğer bir avantajı, erişilmesi zor ve riskli bölgelerde veya alçak irtifada insanlı sistemlerin uçamayacağı dağlık ve volkanik alanlar gibi doğal afet bölgeleri, sel düzlükleri, deprem ve çöl alanları veya kaza sahneleri gibi insan hayatını tehlikeye atmadan kullanılabilmesidir. İHA platformları, özellikle korumaya yönelik arkeolojik sit alanlarında hızlı çözümler sunabilmek anlamında da önemli bir alternatif yöntem ve çözüm olmaktadır (Eisenbeiß 2009; Nex ve Remondino 2014).

İHA'ların genel olarak kullanıldığı alanlar şu şekilde özetlenebilir:

- Tarım: Üreticiler, para ve zamandan tasarruf edebilmek için güvenilir kararlar alabilir, olası hasarlarının hızlı ve doğru bir şekilde kaydını tutabilir veya potansiyel sorunları belirleyebilir.

- Ormancılık: Ağaçların değerlendirilmesi, yangın gözetleme, vejetasyon izleme, tür tanımlama, hacim hesaplama gibi çalışmaların yanı sıra ağaçlandırma alanları doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
- Arkeoloji ve Mimarlık: insan yapımı yapıların veya mekânların 3B ölçüm ve haritalanması düşük irtifalı görüntü tabanlı yaklaşımlarla gerçekleştirilebilir.
- Çevre: Hızlı ve ucuz düzenli uçuşlar, çoklu sinyallerle arazi ve suyun izlenmesi, yol haritalarının oluşturulması, kadastro haritalarının oluşturulması, termal analizler, kazı hacim hesaplaması, volkan izleme, kıyı şeridi izleme veya doğal kaynak belgeleme için jeolojik analizlerin yapılmasına izin vermektedir.
- Trafik: gözetleme, seyahat süresi tahmini, güzergâh belirleme, şerit ihlalleri ve trafik kazaları ile ilgili bilgileri kaydetmektedir (Nex ve Remondino 2014).

3.3. Kullanılan Donanımlar Hakkında Genel Bilgiler

3.3.1. FaroFocus 3D X 330 yersel lazer tarayıcısı

Tez çalışmasında kullanılan FaroFocus 3D X 330, ayrıntılı ölçme ve belgeleme için kullanılan yüksek hızlı üç boyutlu bir lazer tarayıcıdır. Kompleks ortamların ve geometrilerin sadece birkaç dakika içinde son derece ayrıntılı üç boyutlu görüntülerini üretmek için lazer teknolojisini kullanmaktadır. Ortaya çıkan görüntüler milyonlarca 3B görüntü noktasının birleştirilmesidir.

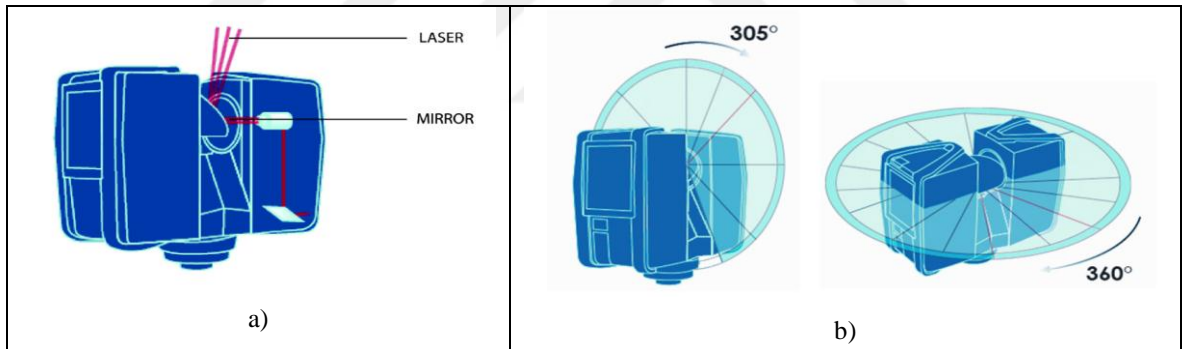


Şekil 3.3. FaroFocus 3D X 330.

FaroFocus 3D X 33 lazer tarayıcısının en önemli özellikleri şunlardır:

- Yüksek çözünürlüğü
- Yüksek hızı
- Sezgisel kontrolü
- Yüksek taşınabilirliği
- Foto-gerçekçi 3B renkli taramaları
- Entegre edilmiş iki eksenli kompansatör
- Entegre edilmiş pusula ve altimetresi
- WYLAN aracıyla, tarayıcıyı uzaktan kontrol etmesi
- Küçük boyutu, hafifliği ve entegre edilmiş hızlı şarj bataryası
- $360^{\circ} \times 305^{\circ}$ görüş alanını kapsaması

Prencip olarak Focus 3D, döner aynanın merkezine kızılötesi lazer ışını göndermek suretiyle çalışmaktadır. Bu aletin döner aynası, lazer ışınını taranan çevrede saptırmaktadır. Çevredeki nesnelere yansıtılan ışık daha sonra tarayıcıya geri yansıtılır.



Şekil 3.4. a) Lazer ışını saptırması, b) Dikey ve yatay dönme hareketi

Focus3D, mesafe ölçme yöntemi olarak, faz karşılaştırma yöntemi kullanmaktadır. Tarayıcı ile obje arasındaki mesafe lazer sinyalleri arasında faz farklılıklarını ölçmek suretiyle belirlenmektedir.

Bu alette kullanılan açı kodlayıcılar, ayna dönüşünü ve aletin yatay rotasyonunu ölçer. Ayna dönüşü ve aletin yatay rotasyonu ölçülerek, her bir noktanın x, y, z koordinatları hesaplanabilmektedir. Mesafe, dikey açı ve yatay açı bir kutupsal koordinat oluşturmaktadır (δ , α , β). Daha sonra, alet bu kutupsal koordinatları bir Kartezyen koordinat şekline (x, y, z) dönüştürmektedir.

Ek olarak, Focus3D, alınan lazer ışınının yoğunluğunu ölçerek yakalanan yüzeylerin yansıtırlığını (reflectivity) saptamaktadır. Genel olarak, parlak yüzeyler karanlık yüzeylere göre, yayılan ışığın daha büyük bir kısmını yansıtmaktadır. Bu yansıtma değeri, her bir noktaya karşılık gelen bir gri değer atamak için kullanılmaktadır.

Tek nokta ölçümleri saniyede 976,000 defaya kadar tekrarlanmaktadır. Sonuç ürün, taranan çevrenin üç boyutlu veri seti olan nokta bulutudur. Seçilen çözünürlüğe bağlı olarak, her nokta bulutu milyonlarca tarama noktasından oluşmaktadır. Lazer tarama verileri, çıkarılabilir SD bellek kartına kaydedilerek, kolay ve güvenli bir şekilde uygun bir 3B modelleme yazılımına aktarılabilir (URL-1).

3.3.2. DJI Phantom 3 İnsansız Hava Aracı

12 Mega piksellik HD kameraya sahip bu model, 25 dakikaya kadar havada kalabilmektedir. Buna ek olarak DJI Phantom 3' de, Wi-Fi ve GPS özellikleri de yer almaktadır. GPS teknolojisi ile harita üzerinden rota çizip, drone modelinin bu alanda uçuşmasını sağlamaktadır. Akıllı telefonlarla çekilen görüntüler anlık olarak takip edilebilmektedir (URL-2).



Şekil 3.5. DJI Phantom 3 İnsansız Hava Aracı

3.3.3. Topcon GPT 3007 Total Station

Bu alet, ışın yayılımını en aza indiren darbeli bir lazer kullanılarak prizmasız mod ile ölçüm yapmaktadır. Darbeli lazer, birinci lazer sınıflarından olduğu için güvenli bir lazerdir ve 250 metre mesafeye kadar ölçüm yapabilmektedir (URL-3).

3.4. Kullanılan Yazılımlar Hakkında Genel Bilgiler

3.4.1. Yersel lazer tarama yazılımları

3.4.1.1. SCENE 3D

SCENE 3D belgeleme yazılımı FARO Focus3D için özellikli olarak tasarlanmıştır. SCENE otomatik obje tanıma, tarama birleştirme ve yer belirlemek gibi özellikleri ile tarama verisini etkin ve basit bir şekilde işler ve yönetir. Ayrıca SCENE ile taramalar renklendirilebilir.

Yazılım son derece kullanıcı dostudur ve çok kısa sürede kaliteli veriler üretir. Basit ölçümlerden 3 boyutlu görselleştirmelere ve çeşitli nokta bulutu ve CAD formatlarında aktarımlara kadar, kullanımı kolay birçok özellik içermektedir.

Tarama verileri SCENE WebShare Cloud aracı ile web sunucusunda yayınlanabilmektedir. Ayrıca farklı tarama verilerini, saklama ve paylaşma amaçlı, güvenli çözümler sunmaktadır (URL-4)

3.4.1.2. JRC 3D Reconstructor

JRC, farklı kaynaklardan gelen nokta bulutlarını ve görüntülerini yöneten çok platformlu ve yüksek çözünürlüklü bir yazılımdır. JRC teknolojileri, güçlü LineUp aracı sayesinde otomatik hedefsiz (target-less) taramalar ve coğrafi referanslama için en iyi sonuçları verir (URL-5).

3.4.2. İnsansız Hava Aracı yazılımları

3.4.2.1. Pix4Dmapper

Pix4D, RGB ve çok bantlı görüntüleri, 3B haritalara ve modellere dönüştürmek için, fotogrametri algoritmalarını kullanan bir yazılımdır. Yüksek hassasiyette nokta bulutu, monoskopik görüntüleme ile nokta bulutu yada model üzerinden hassas 3B çizim, Ortofoto, SYM ve 3B Modelleri üretmektedir. Diğer özellikleri ise; mesafe ölçümü, alan ölçümü ve hacim hesabını, tam otomatik bir şekilde yapmaktadır (URL-6).

3.4.2.2. Agisoft PhotoScan Pro

Agisoft PhotoScan Pro yazılımı, çeşitli ayarlarda görüntü işleme teknikleri kullanan, insansız hava aracı görüntü işleme yazılımıdır. Yüksek hassasiyette nokta bulutu, son derece detaylı Sayısal Yüzey Modeli (SYM), yüksek çözünürlükte Ortofoto ve 3B Modeller üretmektedir.

Tam otomatik iş akışı, profesyonel fotogrametrik veri üretmek için bir masaüstü bilgisayar ile yüzlerce görüntüyü işlemeyebilmektedir. Ayrıca kamera kalibrasyon verileri, program tarafından hesaplanmaktadır.

Agisoft PhotoScan Pro; JPEG, TIFF, PNG gibi bir dizi Import formatları desteklemektedir. Export biçimleri ise oldukça geniş bir yelpazede olup GeoTiff, XYZ, Google KML, wavefront obj, vrmf, collada, pdf uzantılarındadır (URL-7).

3.4.3. Çalışmada kullanılan diğer yazılımlar

3.4.3.1. 3D Reshaper

3DReshaper, farklı uygulamalar için nokta bulutu işlemeye yarayan ve çok yönlü bir yazılımdır. Bu yazılım birçok 3B modelleme veya inceleme ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Kolayca Mesh oluşturma, hacim hesaplama ve CAD uygulamaları özellikleri sayesinde 3B modelleme çalışmaları için vazgeçilmez bir yazılım haline gelmektedir (URL-8).

3.4.3.2. Autodesk AutoCAD

AutoCAD bir bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design) yazılımıdır. Teknik resim çizmek için kullanılan diğer programlar gibi vektör tabanlıdır. Yani CAD programı; çözünürlükten bağımsız, 2B ve 3B geometrik objelerin oluşturulduğu bir veri kümesidir. Bu alandaki ilk vektörel çizim programlarından biridir (URL-9).

3.4.3.3. Autodesk Civil 3D

Civil 3D yazılımı inşaat mühendislerinin tasarım, analiz ve simülasyonu için yapı bilgi modelleme (BIM) çözümüdür. Paylaşılan koordinat sistemleri ile saha ve yapı

tasarım koordinasyonunu geliştirmektedir. Referans noktalarını kullanarak bina modelini saha tasarımına taşıtmaktadır. Ardından, tasarımı daha doğru bir şekilde görselleştirmek ve analiz etmek için aynı modeli kullanmaktadır (URL-10).

3.4.3.4. ArcGIS

ArcGIS, ölçeklendirilebilir entegre bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımdır. ArcGIS; ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene, ArcGlobe ve ArcGIS Pro gibi çeşitli entegre uygulamalardan oluşmaktadır. ArcMap, coğrafi verileri görüntülemek, düzenlemek ve sorgulamak ve haritalar oluşturmak için kullanılan bir uygulamadır. ArcScene, kullanıcının CBS verilerini 3 boyutlu görüntülemesine izin veren bir uygulamadır. ArcGlobe ise, büyük miktarda CBS verilerini bir küre yüzeyinde görmeyi sağlayan bir 3B görselleştirme uygulamasıdır (URL-11).

3.4.3.5. Cloud Compare

Cloud Compare kalibre edilmiş görüntüler, 3B nokta bulutu ve Mesh işleme yazılımdır. Aslında iki 3B nokta bulutu arasında veya bir nokta bulutu ve Mesh arasında karşılaştırma yapmak üzere tasarlanmıştır. Cloud Compare, Mesh ve 3B nokta bulutları manuel düzenlemek ve işlemek için bir dizi temel araç sağlamaktadır. Aynı zamanda çeşitli gelişmiş işleme algoritmaları sunmaktadır (URL-12).

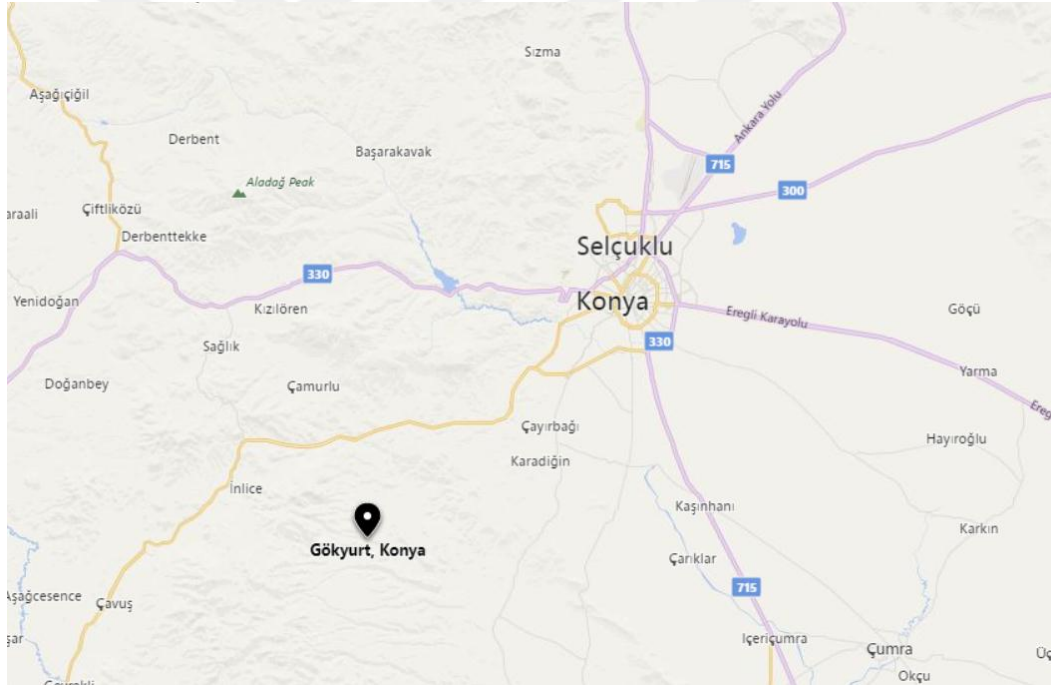
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tarihi ve kültürel değeri olan geçmişten günümüze miras olarak kalan arkeolojik eserler, tarihi yapılar, jeolojik oluşumların yaşatılması, korunması ve belgelenmesi çalışmalarında fotogrametrik tekniklerin sıklıkla kullanılması yapılan işin doğruluğu, maliyeti, hızı ve sayısal olarak belgeleme ve modelleme açısından oldukça avantajlıdır. Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları (İHA) tekniği tarihi ve kültürel mirasın korunması için etkileyici yöntemlerden biridir. Ayrıca eserin üç boyutlu modelinin diğer CAD yazılımlarına ve VRML gibi doku kaplama özelliğine sahip 3 boyutlu farklı veri formatlarına dönüştürülmesi ile fotogrametrik teknikler farklı disiplinlere de hizmet etmektedir.

Çalışma kapsamın ilk olarak Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi ve Başpınar Sarnıcı'nın yersel lazer tarayıcı ile iç mekân ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin 3B modelleri Faro Scene ve JRC 3D Reconstructor yazılımları kullanılarak oluşturulmuş ve elde ettiği doğruluklar karşılaştırılmıştır. Oluşturulan 3B modeller CAD tabanlı yazılımlara aktarılarak yapıların 2B çizimleri, 3B modeller üzerinden alınan kesitler ile de yapıların yüzey alanları ve kütle (hacim) bilgilerine ulaşılmıştır. İkinci uygulama olarak fotogrametrik veri üretimi amacıyla son dönemlerin popüler donanımlarından olan insansız hava aracı kullanılmıştır. Hazırlanan uçuş planı çevresinde Haç Kilisesi ve Seramik atölyesinin insansız hava aracı ile hava fotoğrafları elde edilmiştir. İHA verilerinin değerlendirilmesinde Agisoft ve Pix4D yazılımları kullanılmıştır. Haç Kilisesi ve Seramik Atölyesinin İHA ile elde edilen görüntüleri yer kontrol noktası kullanılarak, yer kontrol noktası kullanılmadan ve yer kontrol noktalarının %30 denetleme noktası alınarak modellenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında İHA verileri ile YLT verilerinin entegrasyonunu sağlayabilmek için Haç Kilisesi için elde edilen dış mekân İHA verileri ile iç mekân YLT verileri Cloud Compare yazılımı kullanılarak birleştirilmiştir. İHA yazılımları ile elde edilen çıktılar sadece 3B modellerde sınırlanmamakta olup bu amaçla elde edilen 3B modellerden hem vektör hem de raster verileri çıkarılmıştır ve CAD ve CBS yazılımlarına aktarılmıştır.

4.1. Çalışma Alanı

Antik Kentler, farklı medeniyetlerin izlerini merak eden turistler için cazibe merkezleri haline gelmektedir. Bir açık hava müzesi olan Kilistra (Gökyurt) Antik Kenti'nin tarihi, Tunç Çağı'na kadar uzanır ve ilk yerleşik hayat Helenistik ve Roma döneminde başlamaktadır (M.Ö. 2. yüzyıl – M.Ö. 3. Yüzyıl). Bölge, Anadolu kentlerinden Antakya'ya kadar uzanan tarihi "Kral Yolu" üzerinde yer almaktadır. Bu antik yol, M.Ö. 5. yüzyılda Pers kralı Büyük Darius tarafından imparatorluğu boyunca iletişimi kolaylaştırmak için inşa edilmiştir. Ayrıca Aziz Paul'un ilk misyoner yolculuğu sırasında Kilistra ve Lysrt'a (Hatunsaray) ziyaret etmesi ile Hristiyanlık bölgede yayılmaya başlamıştır. Bu anlamda Kilistra inanç turizmi bakımından da önemli bir yere sahiptir.



Şekil 4.1. Kilistra Antik Kentinin konumu

Kapadokya ve Ihlara'nın doğal kaya oluşumlarına ve mimarisine benzer özelliklere sahip olan Antik Kilistra Kenti Konya'nın 45 km güneybatısında yer almaktadır.

Bölge doğal kaya oluşumlarına paralel olarak beş farklı noktada kurulmuştur. Kentin yapılaşmasını gizli tutmak için kaya oyuğu yerleşim benimsenmiştir. Kayaya

oyulmuş evler genişletilerek, odalar koridor sistemiyle bir yeraltı şehrine bağlanmıştır. Uzaktan bakıldığında, doğal kayaya benzeyen yerleşim yerlerinin iç kısımları geniş alanlar şeklinde oyularak aydınlatma ve havalandırma bölümleri gizlenmiş mazgal ve baca açıklıkları ile sağlanmıştır. Bu oluşumlara ek olarak, şapeller, kiliseler, manastırlar; sosyal konut, sarnıç, şaraphane, atölye, çeşme, türbe; savunma ve güvenlik amaçlı binalar; gözetleme kulesi, garnizon, polis karakolu ve sığınaklar da bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Kilistra Antik Kenti.

4.1.1. Başpınar Sarnıcı

Kilistra'nın kuzeybatısında yer alan Başpınar Sarnıcı, bölgedeki en büyük sarnıçtır. Düz olmayan dikdörtgen planlı sarnıç, zeminin seviyesi altında bir ana kaya oyularak yapılmıştır. Sarnıç giriş ve ana bölümden oluşmaktadır. Önündeki kanal ise ana kaya oyularak yapılmıştır. Bu kanala küçük bir kanal eklenmiş ve sarnıcın giriş cephesinden iki açıklık ile bağlanmıştır. Sarnıcın girişi dikdörtgen şeklinde bir açıklıktır ve 2.40 m kanal seviyesinin üzerinde yaralamaktadır. Sarnıcın ana bölümü düz olmayan dikdörtgen planlıdır ve girişten 1.90 m daha aşağıda olduğu için 5 basamakla

inilmektedir. Ana bölümde farklı boyutlardaki taşıyıcılar, ana kayaya oyulmuş ve birbirine kemerler ile bağlanmaktadır. Ana alanın doğu kısmının tabanında bir çukur bulunmaktadır. Sarnıcın suyu bu çukurdaki delikten sağlanmaktadır. Sarnıcın orta kısmı ise yan kısımlardan daha yüksek tutulmaktadır. Sarnıcın bütün bölümleri beşik tonozları ile örtülmektedir (Mimiroğlu 2014).



Şekil 4.3. Başpınar Sarnıcı'nın ana bölümü.

4.1.2. Haç Kilisesi



Şekil 4.4. Haç Kilisesi.

Haç Kilisesi yerleşim merkezinin kuzey bölümünde Konacak bölgesinde yer almaktadır. Büyük bir ana kayanın oymasıyla yapılan bu kilise, bir şapel, apsis, naos ve bir mezar odasından oluşmaktadır. Batı tarafında bulunan kilisenin giriş kısmı, beşik tonozla örtülen bir dikdörtgen şeklini almaktadır. Kilisenin giriş kısmından naosuna girmek için bir dikdörtgen açıklıktan ulaşılmaktadır. Kilisenin kuzeybatı köşesindeki mezar odasına da dikdörtgen bir açıklıktan girilmektedir. Kilisede üç farklı dekorasyon yapımı bulunmaktadır. Bunlar: ana kayalara oyulan kabartmalar, freskler ve fresklerin altındaki kırmızı aşından yapılan geometrik bezemelerdir (Mimiroğlu 2014).

4.1.3. Seramik Atölyesi

Kilistra'da bulunan seramik atölyesi, şehrin kuzeyinde yer alan bir mahallede yan yana düzenlenmiş binalardan oluşmaktadır. Kalıntıların belirlediğine göre, ortak bir fırın ve büyük bir havuza sahip olan atölyelerin büyük bir kısmı bugün toprak altındadır. Küçük açıklıklarla birbirine bağlı olan atölyeler, çeşitli büyüklüklerde havuzlara ve nişlere sahip olmaktadır. Seramik atölye kompleksi, üç ana atölye, bir fırın ve aynı zemin seviyesine sahip bir ana kayanın kuzey tarafından oyulmuş bir havuzdan oluşmaktadır. 2003 yılında bölgede yapılan restorasyon çalışmaları ile girişin üst kısmı ahşap çatıyla kapatılmıştır (Mimiroğlu 2014).



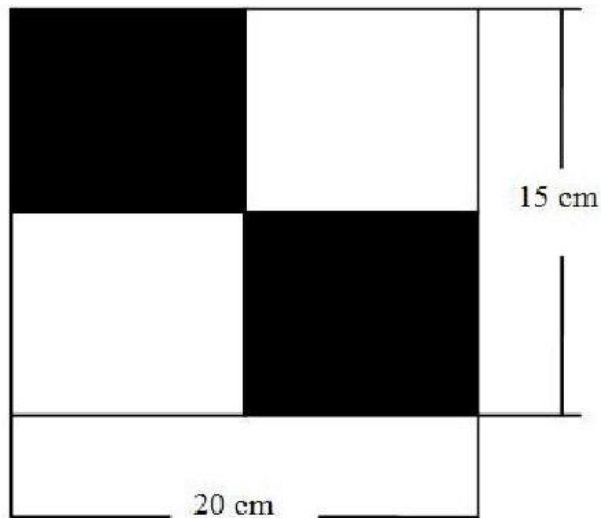
Şekil 4.5. Seramik Atölyesi.

4.2. Yersel Lazer Tarama Yöntemiyle 3B Modelleme

Bu uygulama, tarama öncesi planlama, arazi ve ofis çalışmaları olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Arazi çalışması 1 gün, ofis çalışması ise 3 gün sürmüştür.

Tarama öncesi planlama işlem adımı, tarama yapılacak yerlerin ve aleti kuracağımız istasyon noktalarının yerleri ve sayısı, taramanın konumsal çözünürlüğü belirlendi. Taramanın konumsal çözünürlüğü, taramanın gerçekleştirileceği cihazın açısal çözünürlüğü ve cihazın konumsal hassasiyetine bağlıdır. Konumsal hassasiyet belirli bir mesafe için esas olan ve o mesafeden tarayıcı ile obje arasındaki fark arttıkça değişen hassasiyettir. Tarama işleminde farklı noktalardan elde edilen nokta bulutlarının ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmesi gerekmektedir. Elde edilen bu koordinatlar alet merkezli koordinatlar olup verinin hangi koordinat sistemi referans alınarak birleştirileceği belirlenmelidir. Eğer seçilecek referans sistemi jeodezik bir koordinat sistemi ise tarama öncesi planlama işleminde tesis edilen hedef levhalarının koordinatlandırılması gerekmektedir.

Çalışmadan önce planlama aşamasında Kilistra kentindeki seçilen yapıların modellenmesi için kullanılan yersel lazer tarayıcı aleti temin edilmiştir. Daha sonra yapıların duvarlarına hedef levhaları yapıştırılmıştır. Hedef levhaları siyah-beyaz renklerde 20 cm * 15 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Bazı yerlerde duvarlar nemli olduğu için, hedef levhaları duvarlara yapıştırılamamıştır ve sadece sabit şekilde durmaları sağlanmıştır.



Şekil 4.6. Kullanılan hedef levhaların boyutları.



Şekil 4.7. Hedef levhalarının duvarlara tesis edilmesi.

Kilistra Antik Kenti eserlerinden Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi ve Başpınar Sarnıcının iç mekân ölçümleri Faro Focus3D X330 lazer tarayıcı ile 26 farklı oturumda yapılmıştır; 10 oturum Başpınar Sarnıcı, 11 oturum Seramik Atölyesi ve 5 oturum Haç Kilise' sinden elde edilmiştir. Her bir tarama işlemi, ortak (bindirmeli) alanlarda en az 4 adet hedef levhasını kapsayacak şekilde yapılmıştır.

Arazi çalışması tamamlandıktan sonra ofis çalışması kısmına geçilmiştir. Arazi çalışmasından elde edilen veriler ve taramalar bilgisayara transfer edilmiş, eserlerin 3B modellenmesi için Faro Scene ve JRC 3D Reconstructor yazılımları kullanılmıştır.

4.2.1. Faro Scene yazılımıyla 3B modelleme

Farklı oturumlardan elde edilen verilerin işlenmesi ve birleştirilmesi için Faro Scene yazılımının veri işleme (Process) aşamasına geçilmiştir. Bu adımda taramaları renklendirilme, yansıtma eşiği (reflectance threshold), mesafe filtresi (distance filter), hedef levhaları belirleme vb. seçenekleri kullanarak her bir oturum için taranan nokta bulutu elde edilmiştir.

Bu taranan nokta bulutlarını birleştirmek (Registration) için ikinci aşamaya geçilmiştir. Bu aşama kullanıcıya 3 seçenek vermektedir; cloud to cloud, target based ve

top view. Doğruluk ve kesinlik için taramalarımızın her üçünde de cloud to cloud ve target based birleştirme kullanılmıştır. Birleştirme sonucuna ait tarama istatistik değerleri çizelge 4.1 de verilmiştir.

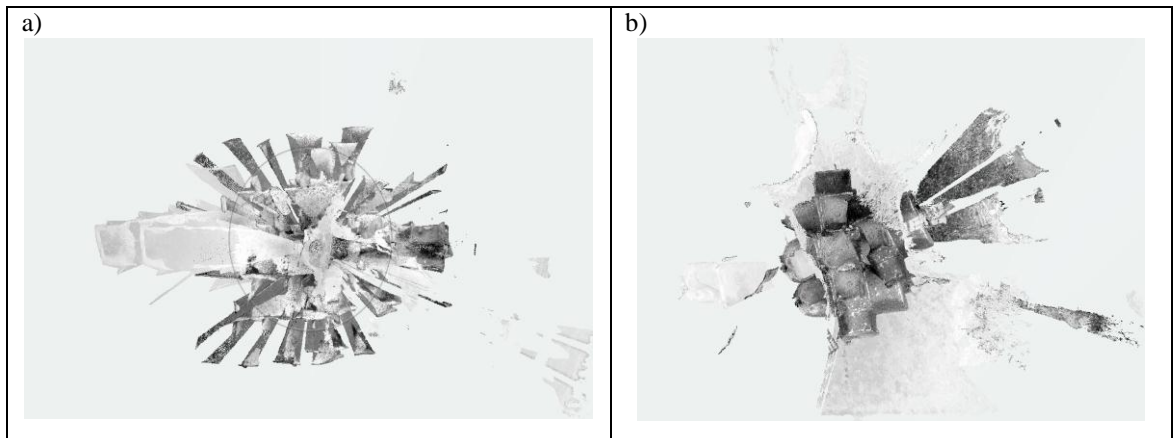
Çizelge 4.1. Faro Scene yazılımında birleştirme işleminin sonuçları

Tarama İstatistiği	Ortalama nokta hatası	Maksimum nokta hatası	En az bindirme (overlap)
Başpınar Sarnıcı	1.1 mm	1.6 mm	% 33.4
Seramik Atölyesi	1.3 mm	1.7 mm	% 32.6
Haç Kilisesi	1.4 mm	1.9 mm	% 32.0

Birleştirme (Registration) aşamasından sonra nokta bulutu oluşturma aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada mükerrer noktaları ortadan kaldırma ve nokta yoğunluğunu homojenleştirme seçenekleri kullanılarak soyut bir nokta bulutu elde edilmiştir. Başpınar Sarnıcının nokta bulutu 228, Keramik Atölyesinin 221 ve Haç Kilisesinin ise 82 milyon noktadan oluşmuştur.

Faro Scene yazılımında 3B modellemenin en son aşaması ise Mesh oluşturmaktır. Mesh oluşturmak için istenen yerin nokta bulutu Clip Box içinde olmalıdır. Faro Scene yazılımı 40 milyon mesh yapabilmektedir.

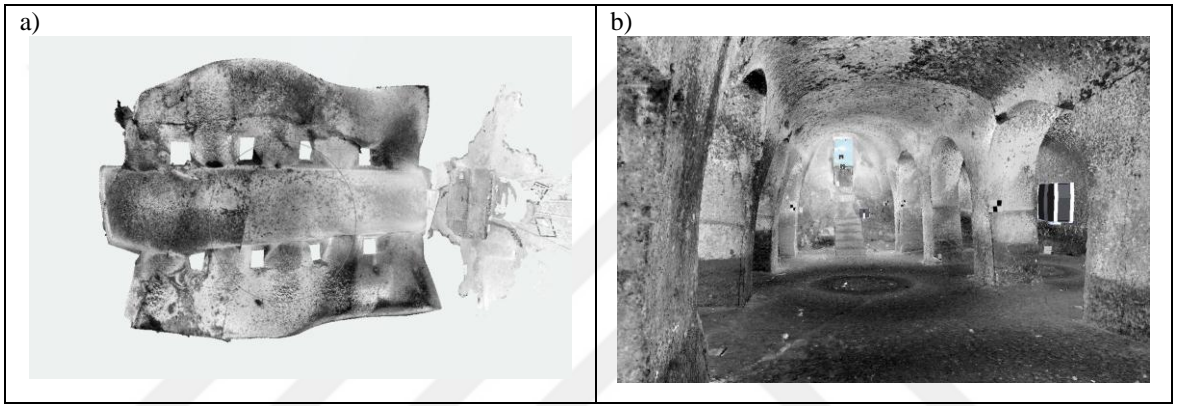
Başpınar Sarnıcı, Haç Kilisesi ve Keramik Atölyesine ait 3B modelleme işlem adımlarına ait görseller aşağıda verilmiştir.



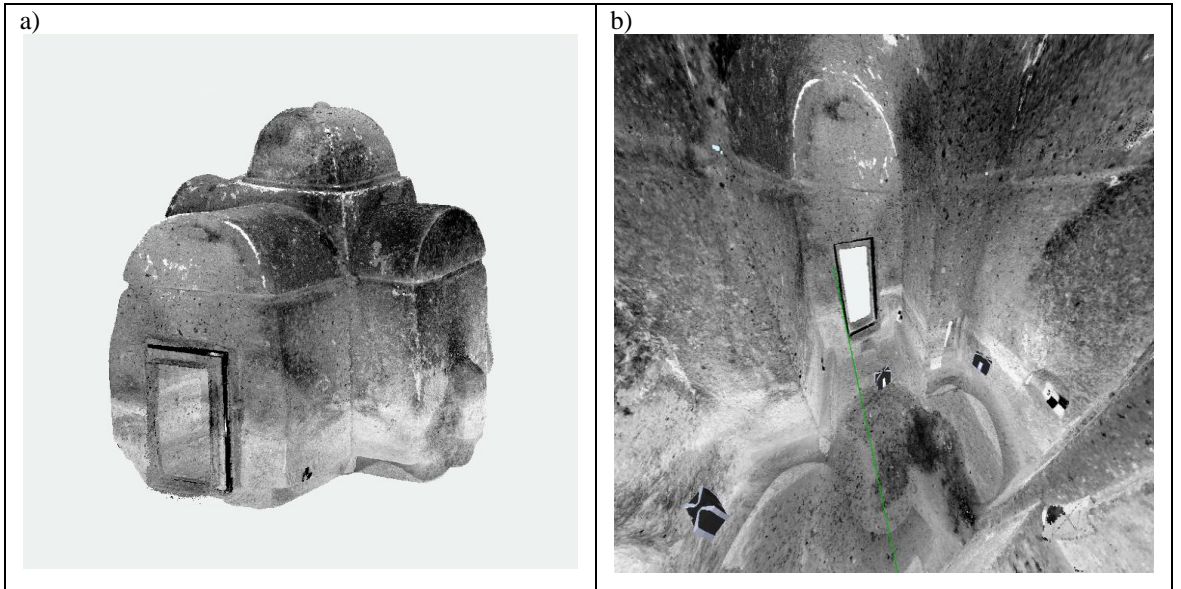
Şekil 4.8. Veri İşleme (Process) aşaması a) Başpınar sarnıcı b) Haç kilisesi.



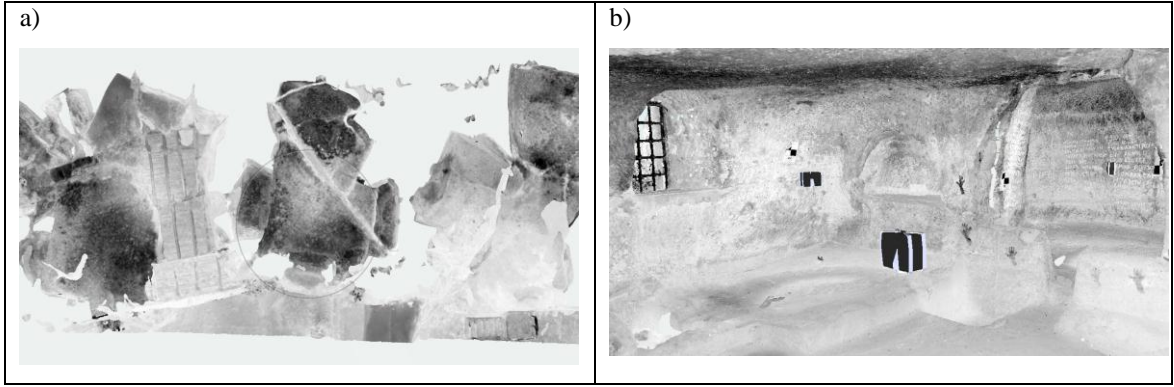
Şekil 4.9. Başpınar Sarnıcı veri birleştirme (registration) görseli a) Dış Sınırlar b) İç mekân



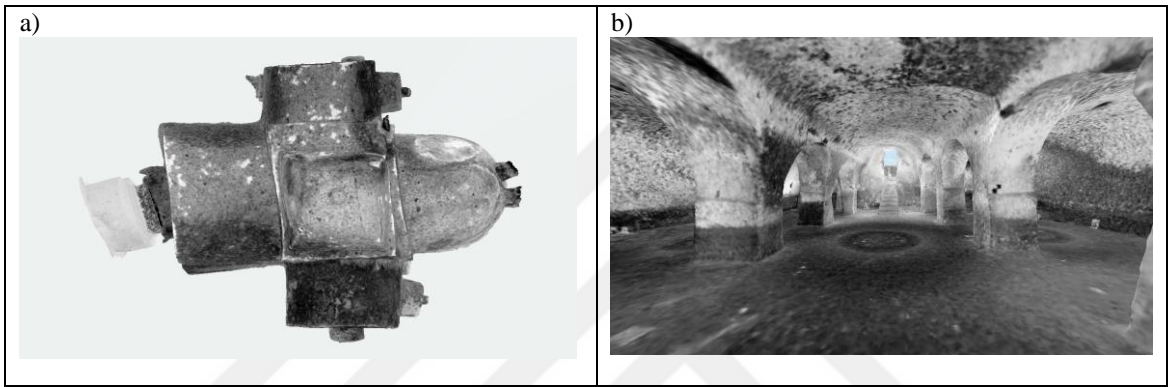
Şekil 4.10. Başpınar sarnıcı nokta bulutu görseli a) Dış Sınırlar b) İç mekân.



Şekil 4.11. Haç Kilisesi nokta bulutu görseli a) Dış Sınırlar b) İç mekân



Şekil 4.12. Seramik Atölyesi nokta bulutu görseli a) Dış Sınırlar b) İç mekân



Şekil 4.13. Mesh aşaması görseli
a) Haç Kilisesi üstten görünüş b) Başpınar Sarnıcı içerden görünüş.

Tez çalışmasında kullanılan lazer tarama yazılımlarında, farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verileri genellikle iki farklı yöntem ile birleştirilmektedir. Bunlar Cloud to Cloud ve Target Based birleştirme yöntemleridir. Bu iki yöntemi Faro Scene yazılımıyla test etmek için Haç Kilisesinin taramaları hem Cloud to Cloud hem de Target Based yöntemleriyle birleştirilmiştir. Oturumların bir tanesi dış mekân taraması olup diğerleri de iç mekân taramalarından oluşmaktadır. Cloud to Cloud birleştirmede, yazılım dış ve iç mekânları birbirine bağlayamamaktadır. Bu yüzden birleştirme işlemi sonucunda hatalar oluşmuştur. Target Based birleştirme yöntemi ise vakit alıcı ve daha zahmetli bir yöntem olup dış ve iç mekân oturumlarına ait verileri birleştirmede Cloud to Cloud yöntemine göre daha başarılı bir metottur. Daha iyi sonuçlar elde etmek için kullanılan diğer bir yöntem ise Cloud to Cloud ve Target Based nokta bulutu birleştirme yönteminin birlikte kullanılmasıdır. Yani iç mekân taramaları sadece Cloud to Cloud yöntemi ile birleştirilmiş, Target Based yöntemi ile de dış mekân taramasıyla iç mekân taramasını bağlamak için kullanılmıştır. Bu birleşik yöntem hem nokta hatalarını azaltmaktadır hem de bindirme oranını artırmaktadır.

Çizelge 4.2. Faro Scene Cloud to Cloud ve Target Based birleştirme yöntemlerinin karşılaştırması

Tarama İstatistiği	Cloud to Cloud Birleştirme	Target Based birleştirme	Cloud to Cloud + Target Based
Ortalama nokta hatası	1.0 mm	1.7 mm	1.4 mm
Maksimum nokta hatası	1.4 mm	2.0 mm	1.9 mm
En az bindirme (overlap)	%21.3	%26.2	% 32.0

4.2.2. JRC 3D Reconstructor yazılımıyla 3B modelleme

Faro Focus 3D X330 yersel lazer tarayıcısı ile elde edilen tarama verilerinin değerlendirildiği diğer yazılım JRC 3D Reconstructor'dır. Lazer tarama verileri yazılıma aktarıldıktan sonra veri ön işleme (PreProcessing) ve nokta bulutu birleştirme (Fine Registration) aşamalarına geçilmiştir. Bu adımda her lazer tarama oturumuna özel nokta bulutu üretilmiştir. Bu nokta bulutları sonradan Single Point Cloud aşamasında tek bir nokta bulutu olarak birleştirilmiştir.

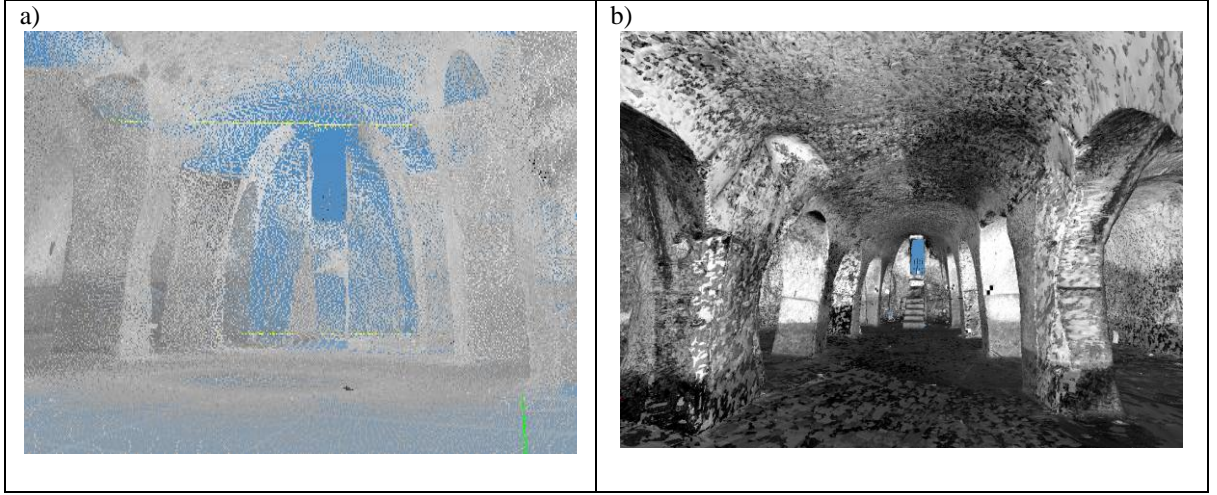
Başpınar Sarnıcı, Haç Kilisesi ve Seramik Atölyesine ait iteratif en yakın nokta ortalama hatası (Average ICP error) ve birleştirme sonrası karesel ortalama hata (Average Registration Error of Corresponding Points) elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. JRC yazılımında birleştirme işleminin sonuçları

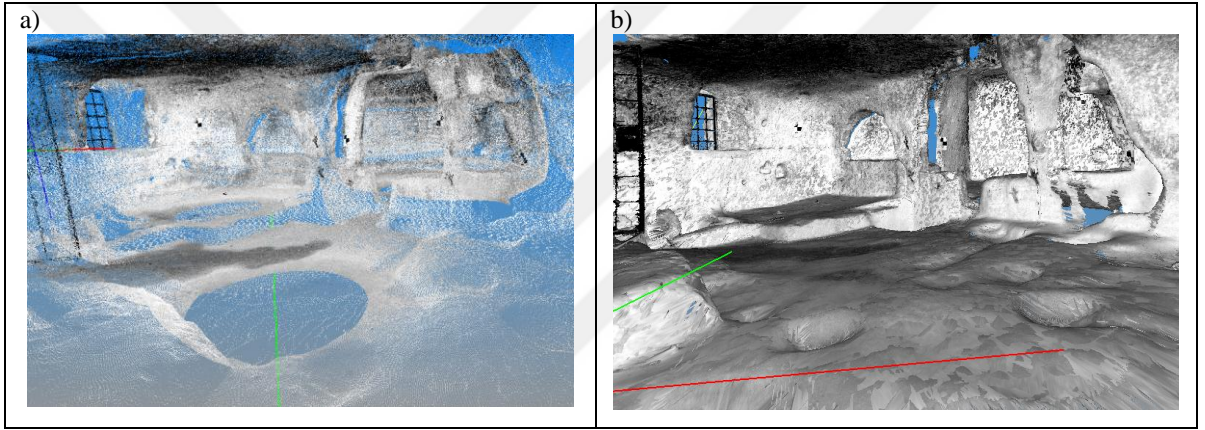
Tarama İstatistiği	İteratif en yakın nokta ortalama hatası	Birleştirme sonrası karesel ortalama hata
Başpınar Sarnıcı	0.963 mm.	1.135 mm.
Seramik Atölyesi	0.986 mm.	1.318 mm.
Haç Kilisesi	0.944 mm.	0.951 mm.

Sonraki işlem adımında ise nokta bulutlarından Mesh oluşturulmuştur. 3B Mesh üretiminde Mesh üçgenlerin sayısı, nokta bulutu yumuşatma filtreleri, eksik noktaların nasıl doldurulması gerektiği ve Mesh 'in renklendirilmesi gibi seçenekler her bir proje için uygun olarak şekillendirilmiştir.

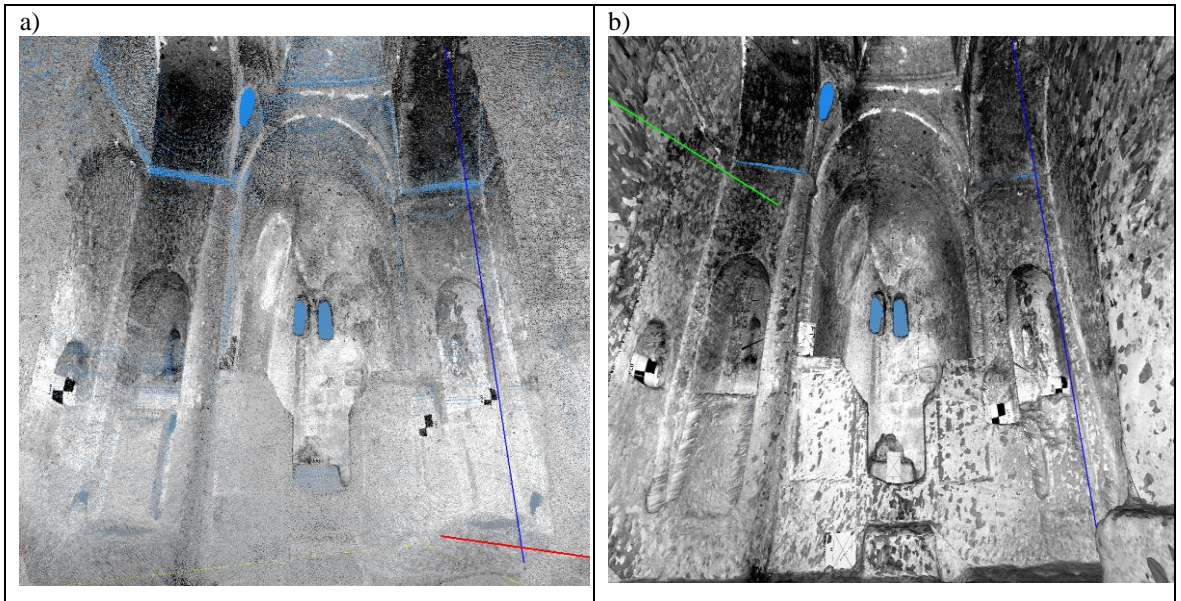
Başpınar Sarnıcı, Haç Kilisesi ve Seramik Atölyesininin JRC yazılımı ile nokta bulutu ve 3B Mesh modeli oluşturma ile ilgili görselleri aşağıda şekil 4.14, şekil 4.15 ve şekil 4.16 de verilmiştir.



Şekil 4.14. Başpınar sarnıcı a) nokta bulutu b) 3 boyutlu Mesh.



Şekil 4.15. Seramik Atölyesi a) nokta bulutu b) 3 boyutlu Mesh.



Şekil 4.16. Haç kilisesi A) nokta bulutu B) 3 boyutlu Mesh.

Kilistra kentinde yapılan 3B YLT modellemelerden elde edilen sonuçlara göre (çizelge 4.4.), JRC 3D Reconstructor yazılımı, Faro Scene yazılımından daha fazla nokta bulutu, mesh üçgeni ve mesh tepe noktası (vertex) oluşturabilmiştir. Bu sonuçlar elbette JRC 3D Reconstructor yazılımının daha güçlü olduğunu vurgulamıştır.

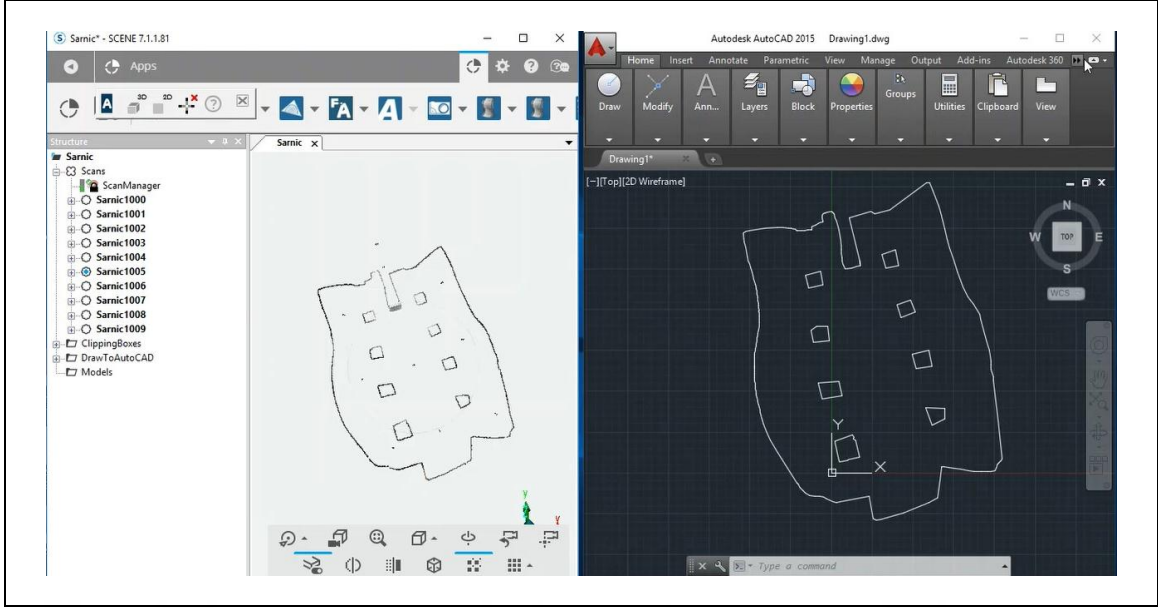
Çizelge 4.4. Faro Scene ve JRC yazılımlarında çıktı karşılaştırması

Tarama İstatistiği	Yazılım	Nokta bulutu sayısı	Mesh üçgenleri sayısı	Mesh tepe noktası sayısı
Başpınar Sarnıcı	Scene	228 049 381	2 761 938	1 382 818
	JRC	277 326 609	5 973 414	3 371 766
Seramik Atölye	Scene	221 830 522	2 038 995	1 023 923
	JRC	256 285 289	6 417 499	3 219 436
Haç Kilise	Scene	82 805 025	1 894 739	948 655
	JRC	109 540 414	7 001 466	3 500 791

4.3. Yersel Lazer Tarama verilerinden yüzey ve kütle hesabı

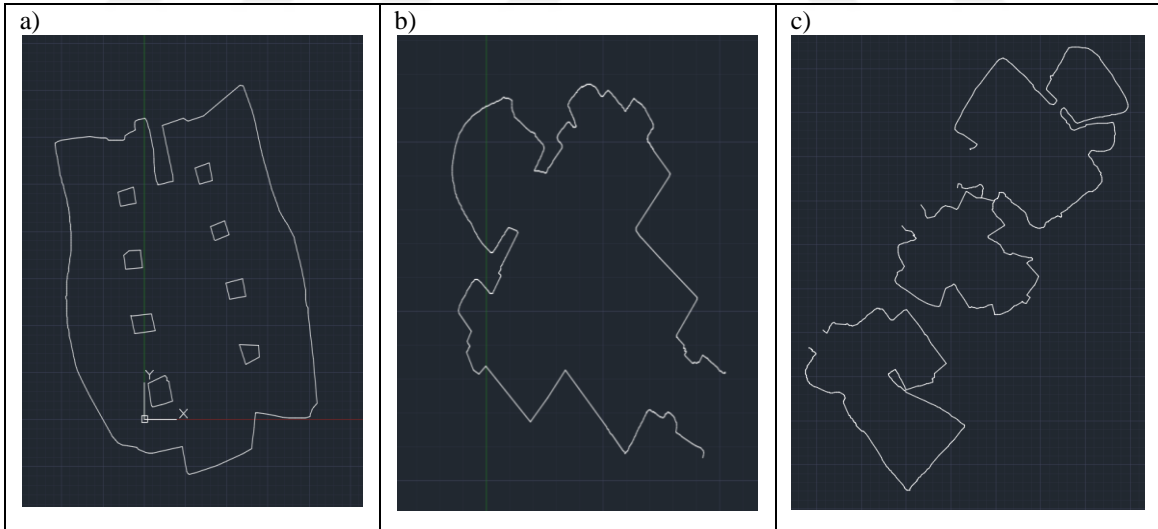
4.3.1. İki boyutlu çizim ve yüzey (alan) hesaplama

3B modeller elde edildikten sonra, Faro Scene yazılımının DrawToAutoCAD uygulaması aracılığı ile ürettiğimiz 3B modellerin 2 boyutlu çizimleri yapılmıştır. Bu uygulama (DrawToAutoCAD) 2B çizim yapmasına oldukça kolaylık sağlamaktadır. Çünkü Faro Scene'in içerisinde bulunan DrawToAutoCAD uygulaması AutoCAD yazılımı ile eş zamanlı çalışmaktadır. Çizim işlemi, 3 boyutlu modellerden alınan bir enine kesit (cross section) üzerinden, AutoCAD yazılımına bağlanarak gerçekleştirilmiştir.



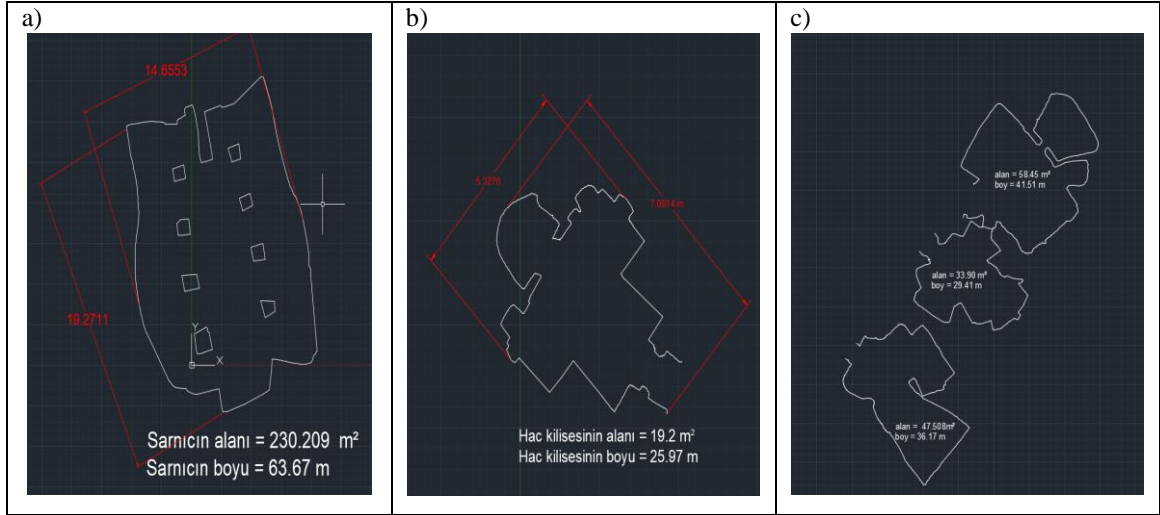
Şekil 4.17. Başpınar Sarnıcının Faro Scene - DrawToAutoCAD uygulaması ile AutoCAD yazılımının eş zamanlı çalışması

Haç Kilisesinin 2B çizimi ise başka bir yöntemle de yapılmıştır. Haç Kilisesinin 3B modelinden alınan bir enine kesit, dxf uzantısı şeklinde AutoCAD yazılımına doğrudan aktarılarak 2B çizimi yapılmıştır.



Şekil 4.18. Üç Boyutlu modellerin 2B çizimi. a) Başpınar sarnıcı b) Haç kilisesi c) Seramik atölyesi.

Elde edilen 2B çizimlerin üzerinden yapıların alanları ve çevreleri AutoCAD yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Alan ve çevre hesaplama sonuçları aşağıda şekil 4.19. ve çizelgede 4.5. de verilmiştir.



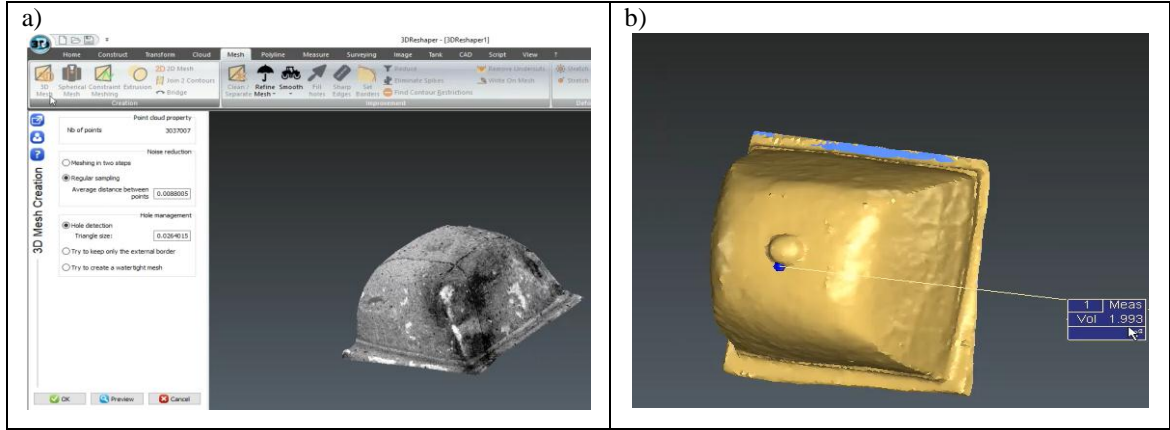
Şekil 4.19. Üç Boyutlu modellerin alanları ve boyutları. a) Başpınar Sarnıcı b) Haç Kilisesi c) Seramik Atölyesi.

Çizelge 4.5. Sarnıç, kilise ve atölyenin alanları ve çevreleri

Tarama İstatistiği	Alan	Çevre
Başpınar sarnıcı	230.209 m ²	63.67 m.
Haç kilisesi	47.508 m ²	37.44 m.
Seramik atölyesi 1	58.45 m ²	41.51 m.
Seramik atölyesi 2	33.90 m ²	29.41 m.
Seramik atölyesi 3	47.508 m ²	36.17 m.
Seramik atölyesi toplam	139.858 m ²	107.09 m.

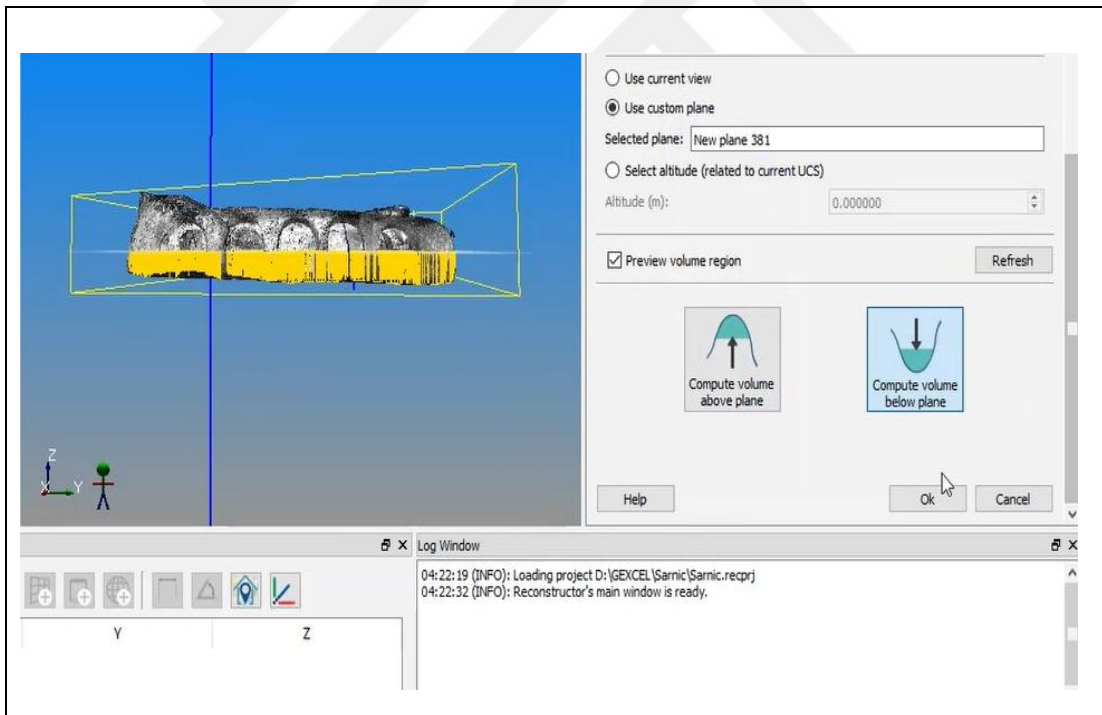
4.3.2. Kütle (Hacim) hesaplama

Fotogrametri ve lazer tarama teknolojisi, düzgün geometrik şekli olmayan objelerin hacminin hesaplanmasında tercih edilen yöntemlerdendir. 3B modeller üzerinden objeye ait matematiksel bilgiler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Yazılımlar aracılığı ile Haç Kilisesinin kubbesi ve Başpınar Sarnıcının su depolama kapasitesi hesaplanmıştır. Kubbenin hacim hesaplaması için 3DReashaper, su depolama kapasitesini hesaplamak için de JRC 3D Reconstructor yazılımları kullanılmıştır. Kubbenin 3B modeli 3DReashaper yazılımına aktarıldıktan sonra 3B bir mesh oluşturularak kubbenin hacmi 1.993 m³ bulunmuştur.



Şekil 4.20. Haç Kilisesi 3DReashaper yazılımında 3B mesh oluşturulması ve hacim hesabı

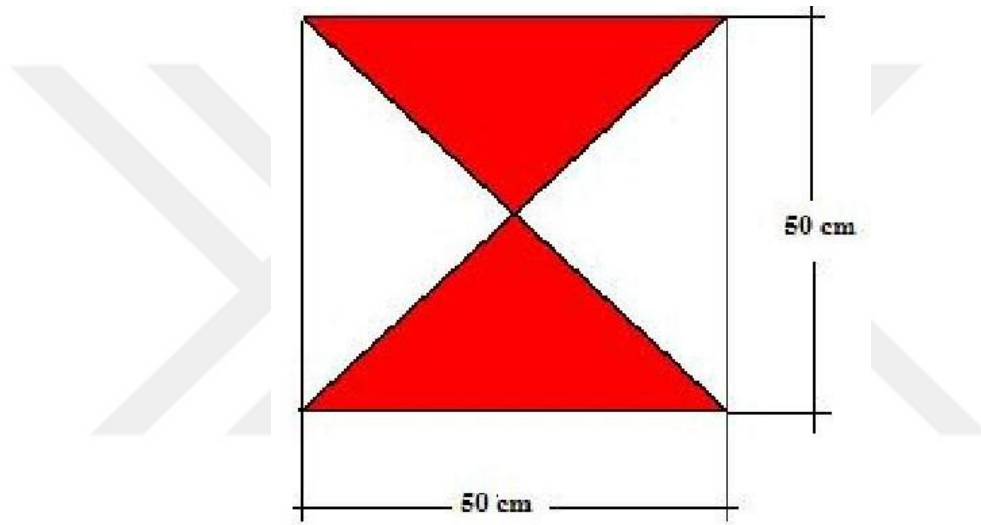
Başpınar Sarnıcının su depolama kapasitesinin hesaplaması ise JRC 3D Reconstructor yazılımında bir yatay düzlem oluşturulmuştur ve 3 boyutlu nokta bulutu kullanarak hacim hesaplanmıştır. Başpınar sarnıcının su depolama kapasitesi 163.074 m^3 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Başpınar Sarnıcının JRC 3D Reconstructor yazılımıyla su kapasitesini hesaplama.

4.4. İnsansız Hava Aracı Yöntemiyle 3B Modelleme

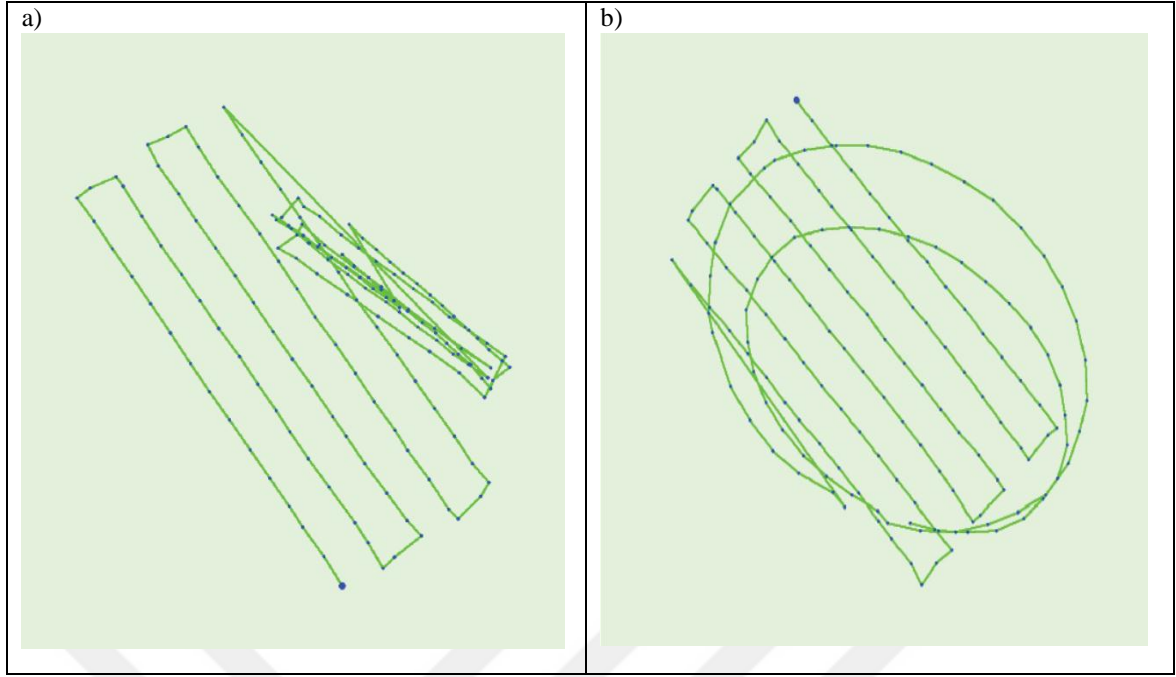
İnsansız Hava Aracı ile 3B modelleme; uygulama öncesi hazırlık ve arazi çalışması ve ofis çalışması olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Arazi çalışması bir gün, ofis çalışması ise dört gün sürmüştür. Uygulama öncesi hazırlık kısmında çalışma sahası sınırları belirlenerek aşağıda boyutları ve şekli belirtilen yer kontrol noktaları hazırlanmış, havadan fotoğraf çekmek için İnsansız Hava Aracı DJI Phantom 3, hedef levhalarını koordinatlandırmak için Topcon GPT 3007 temin edilmiş ve uçuş planı oluşturulmuştur.



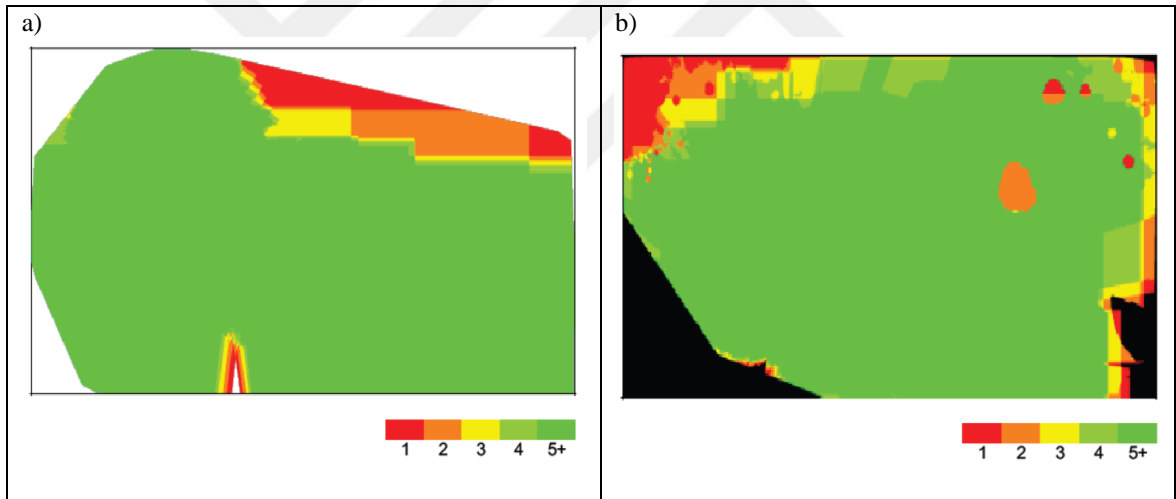
Şekil 4.22. Yer kontrol noktası şekil ve boyutları

Arazi çalışmasında, yer kontrol noktaları uygun bir dağılımda ve birbirini görecek şekilde çalışma sahasına tesis edilmiştir. Seramik Atölyesi için 10, Haç Kilisesi için 9 adet yer kontrol noktası tesis edilmiş ve ölçülmüştür. Uygulamada kullanılan yer kontrol noktalarının koordinatları lokal sistemde değerlendirilmiştir. İHA ile veri toplama aşamasında, hazırlanan uçuş planı çerçevesinde uçuş işlemine başlanarak atölye ve kilisenin çatılarının fotoğrafları çekilmiştir. Yan cephe fotoğrafları içinse ikinci bir uçuş gerçekleştirilmiştir.

Ofis çalışmasında, elde edilen yer kontrol noktalarının koordinatları ve insansız hava aracının çektiği hava fotoğrafları bilgisayara aktarılmıştır. Atölye ve Kilise'nin 3B modelini oluşturmak için Agisoft ve Pix4D yazılımları kullanılmıştır.



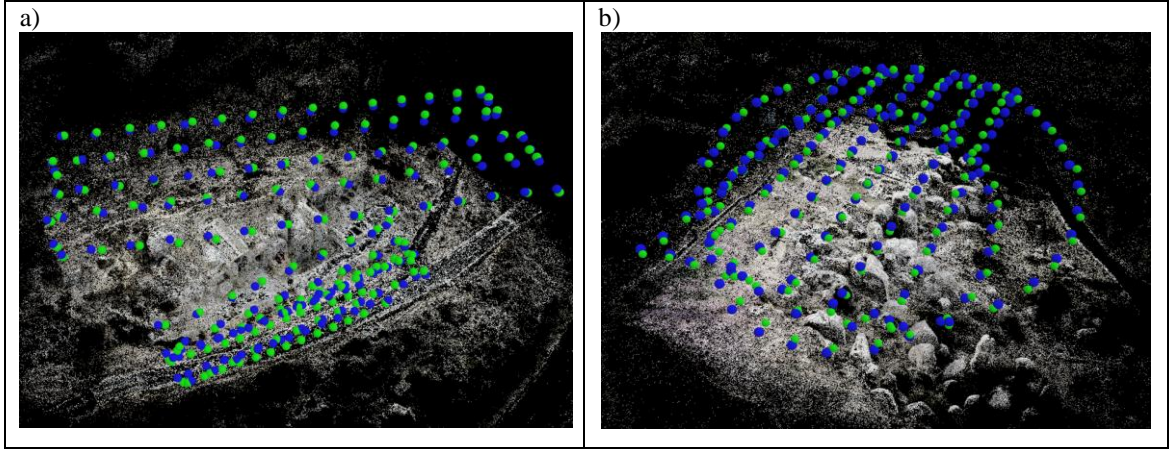
Şekil 4.23. İHA uçuş planı a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi



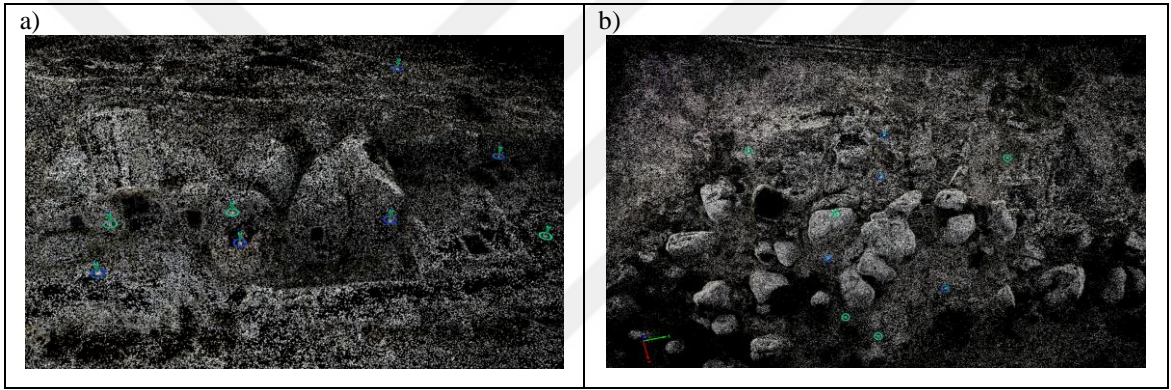
Şekil 4.24. İHA fotoğraflarının birbiri ile kesişme sayıları A) Seramik Atölyesi B) Haç Kilisesi

4.4.1. Pix4D yazılımıyla 3B Modelleme

İnsansız Hava Aracı ile elde ettiğimiz verilerin işlenmesi için ilk olarak Pix4D yazılımı kullanıldı. Arazi çalışmasından elde ettiğimiz fotoğraflar özenle seçilerek yazılıma aktarılmıştır. Hava fotoğrafları Pix4D yazılımına aktarıldıktan sonra ön işleme (Initial Processing) başlatılmıştır. Bu aşamada fotoğrafların kamera konumu hesaplanmış ve bağlantı noktaları (Tie Points) yazılım tarafından oluşturulmuştur. Sonradan yer kontrol noktaları eklenmiştir.

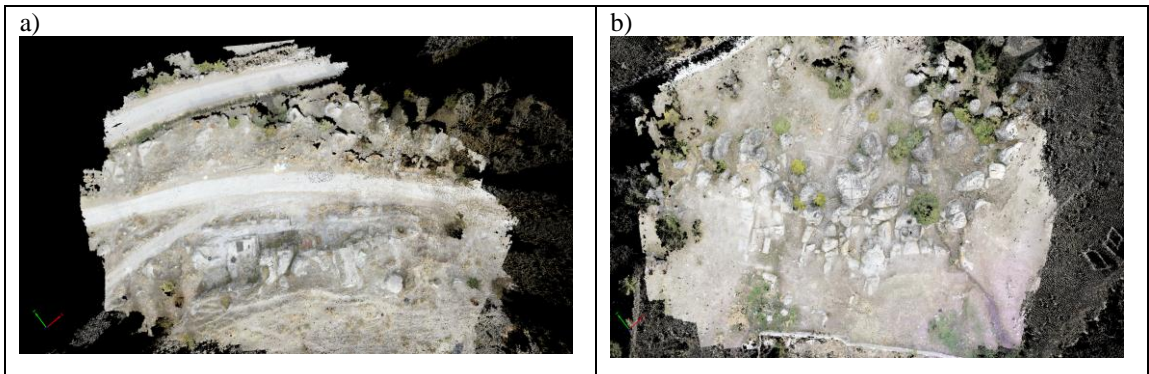


Şekil 4.25. Pix4D yazılımında kamera konumları a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi



Şekil 4.26. Pix4D yazılımında yer kontrol noktaları eklenmesi a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi

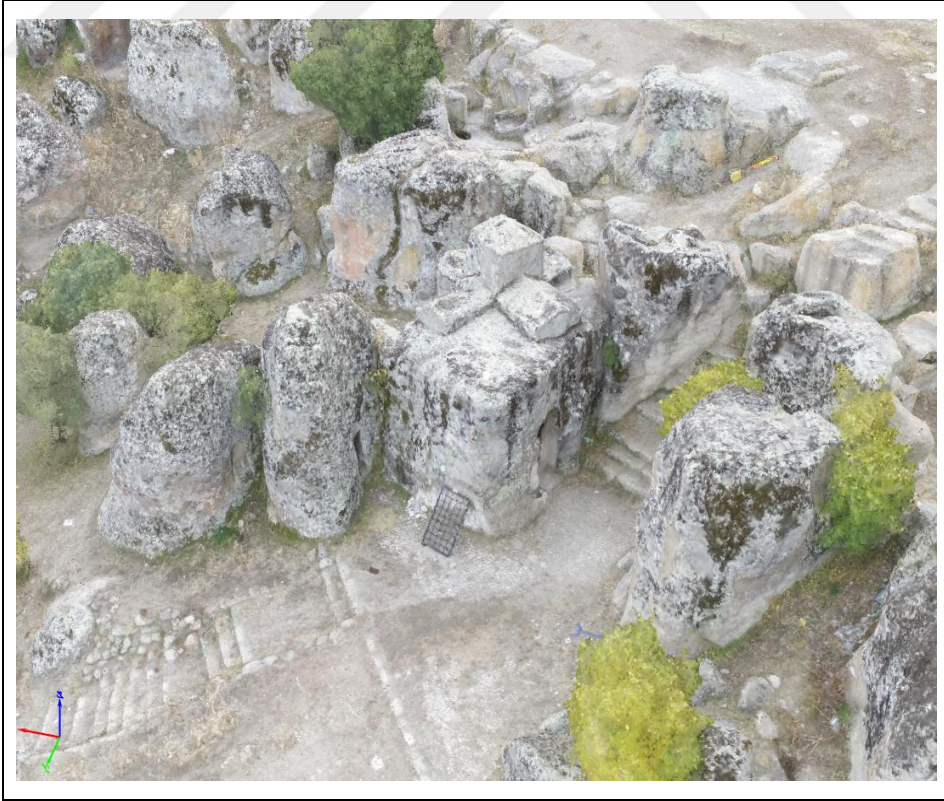
Birinci aşamada hesaplanmış olan kamera kalibrasyonu ve bağlantı noktalarına dayanarak, ikinci aşamada nokta bulutu ve 3B Mesh oluşturulmuştur.



Şekil 4.27. Pix4D yazılımında nokta bulutu ve mesh oluşturması a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi.

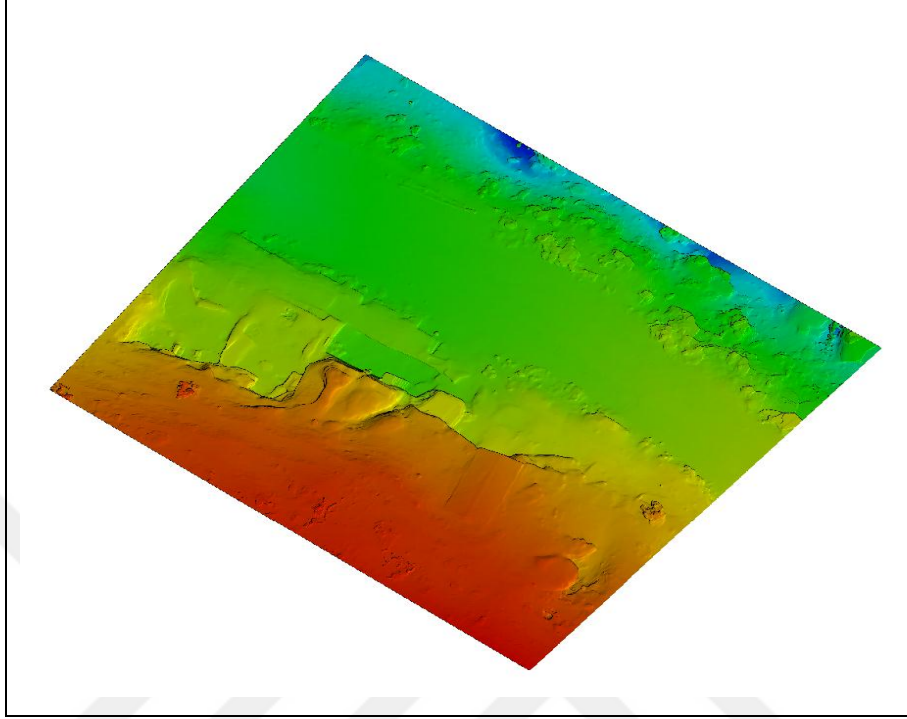


Şekil 4.28. Seramik Atölyesinin 3B modeli

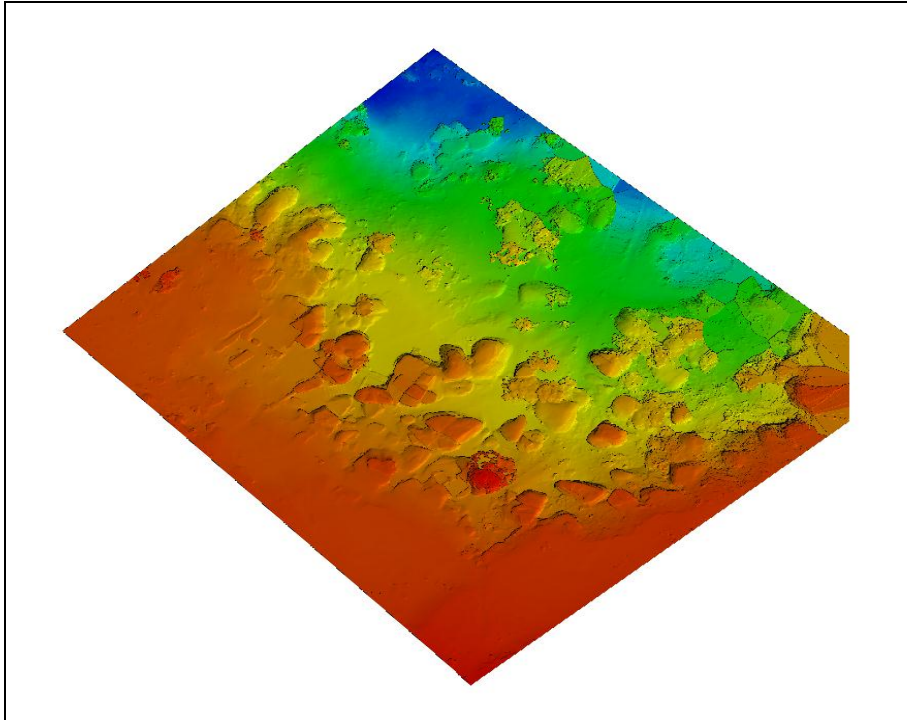


Şekil 4.29. Haç Kilisesinin 3B modeli

İşlemin en son aşamasında ise Sayısal Yüzey Model (SYM) ve Ortomozaik üretilmiştir.



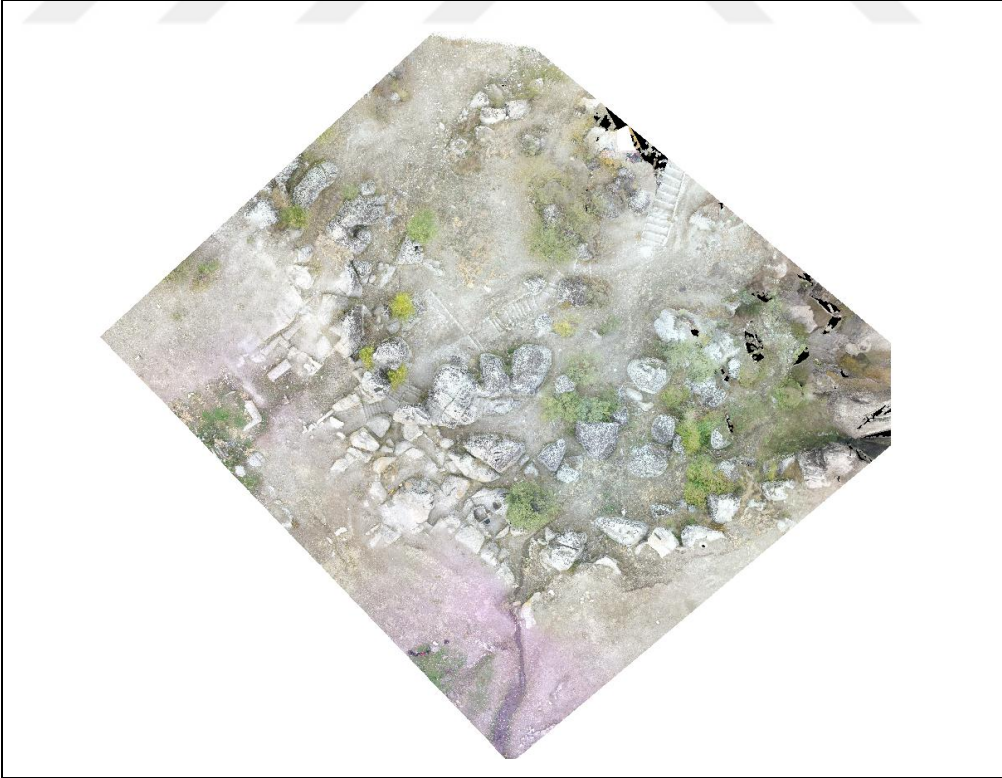
Şekil 4.30. Seramik Atölyesinin Sayısal Yüzey Modeli



Şekil 4.31. Haç Kilisesinin Sayısal Yüzey Modeli



Şekil 4.32. Seramik Atölyesi ortomozaik

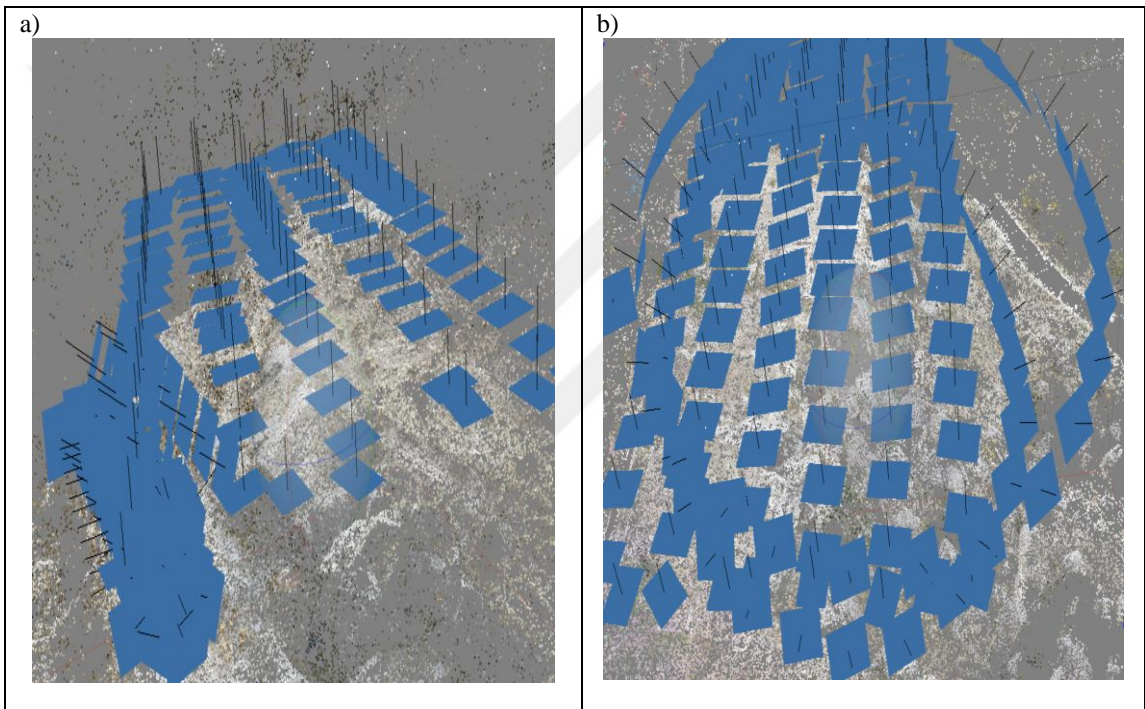


Şekil 4.33. Haç Kilisesi ortomozaik

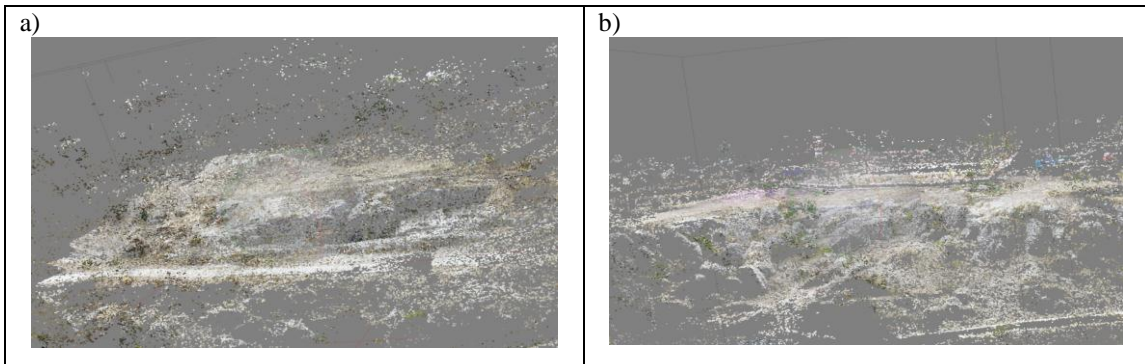
4.4.2. Agisoft yazılımıyla 3B modelleme

İHA verilerinin modellemesinde kullandığımız diğer yazılım ise Agisoft yazılımıdır. Arazi çalışmasından elde ettiğimiz fotoğraflar özenle seçilerek yazılma aktarılmıştır.

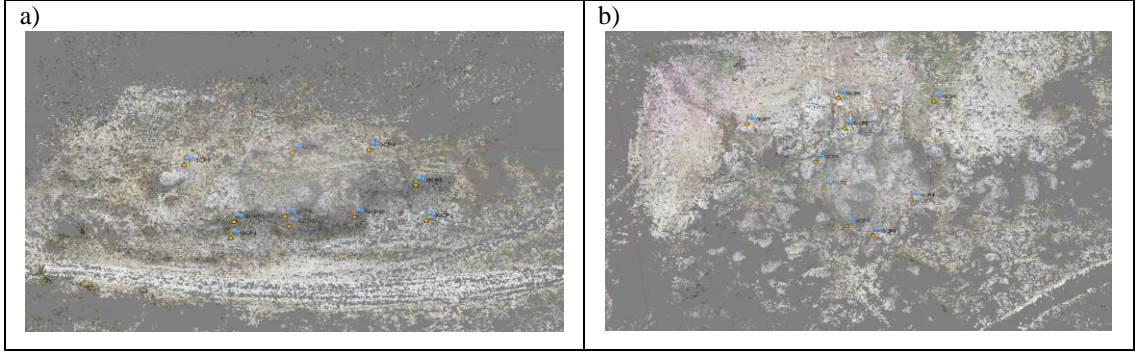
Agisoft 'ta ilk aşama hava fotoğraflarını sıralamaktır (Photo Align). Bu aşamada yazılım, kesişen görüntüler arasındaki eşleşen noktaları bulur, her fotoğrafın kamera konumunu tahmin eder ve seyrek nokta bulutu modeli (sparse point cloud model) oluşturur. Bu işlem bittikten sonra yer kontrol noktaları eklenmiştir.



Şekil 4.34. Agisoft yazılımında kamera konumu tayin etmek a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi

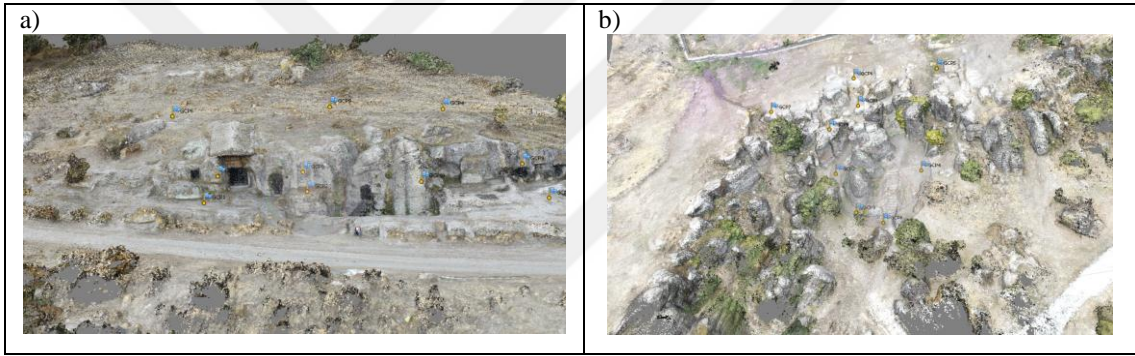


Şekil 4.35. Agisoft yazılımında seyrek nokta bulutu oluşturması a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi



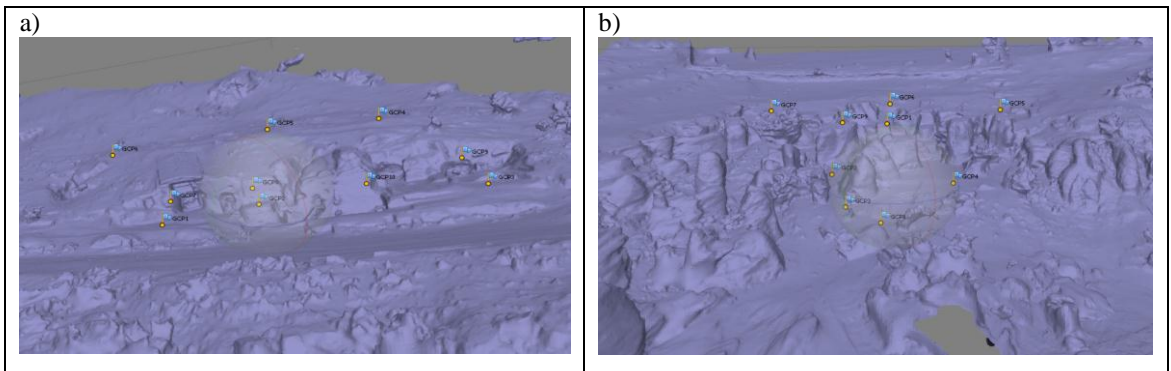
Şekil 4.36. Agisoft yazılımında yer kontrol noktaları eklenmesi a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi

İkinci aşama ise yoğun nokta bulutu (Dense Point Cloud) oluşturmaktır. Bu aşamada tahmin edilen kamera konumlarına dayanarak, Agisoft her kamera için derinlik bilgilerini tek bir yoğun nokta bulutu halinde birleştirecek şekilde hesaplar.

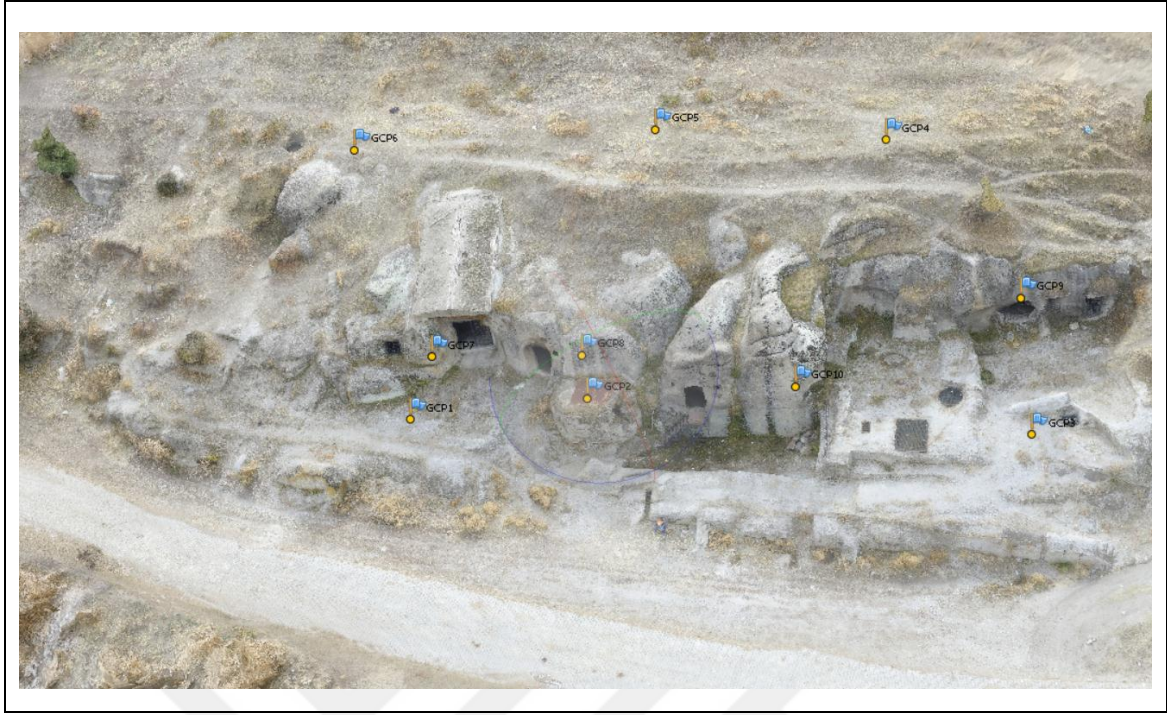


Şekil 4.37. Agisoft yazılımında yoğun nokta bulutu oluşturması a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi

Yoğun nokta bulutu oluşturulduktan sonra, Katı Model (Mesh) ve Doku Model (Texture) üretilmektedir. Katı Model üretildikten sonra, son 3B model; Tiled Model oluşturabilmektedir.



Şekil 4.38. Agisoft yazılımında katı model oluşturması (Mesh) a) Seramik Atölyesi b) Haç Kilisesi

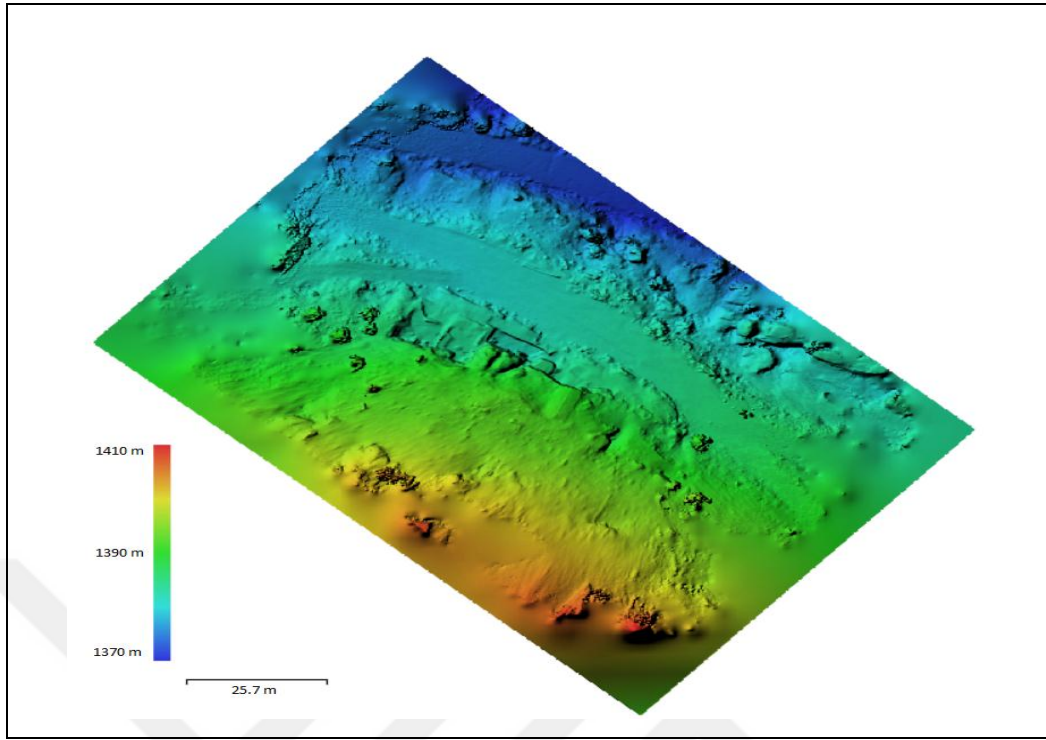


Şekil 4.39. Seramik Atölyesi Tiled model oluşturması

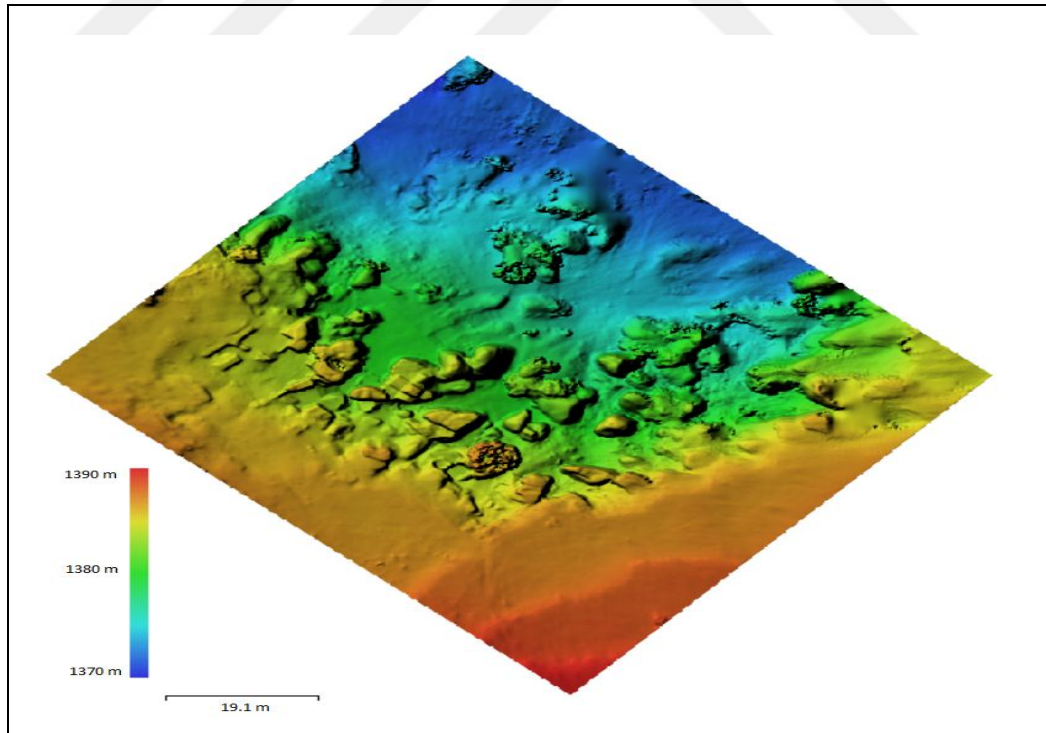


Şekil 4.40. Haç Kilisesi Tiled model oluşturması

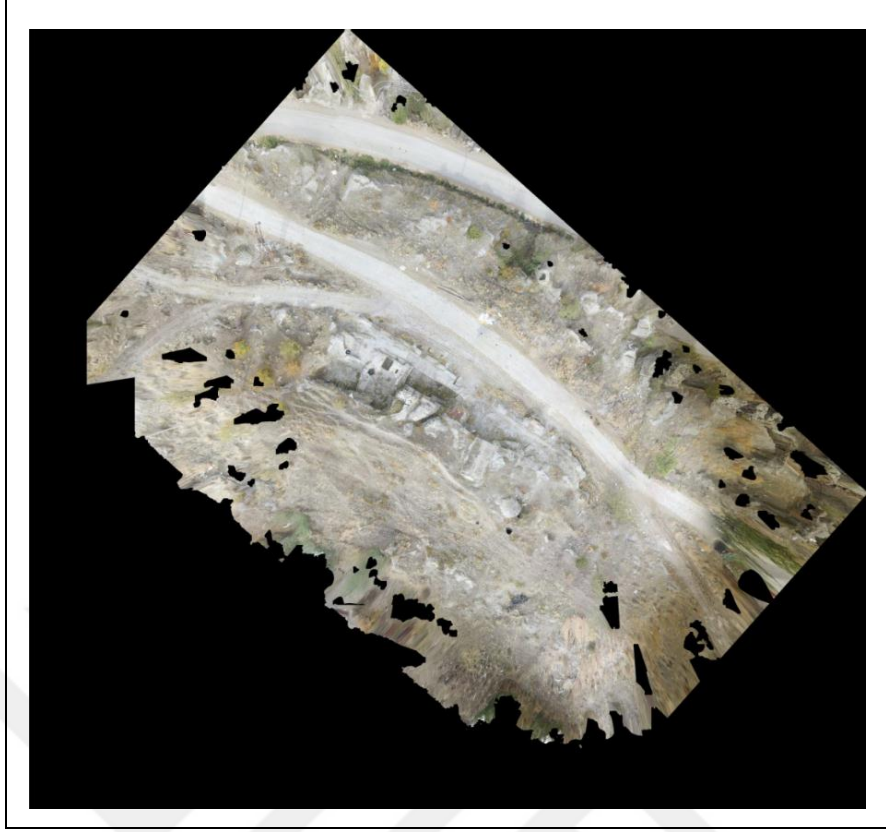
Ayrıca Agisoft yazılımı, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Ortomozaik üretebilmektedir.



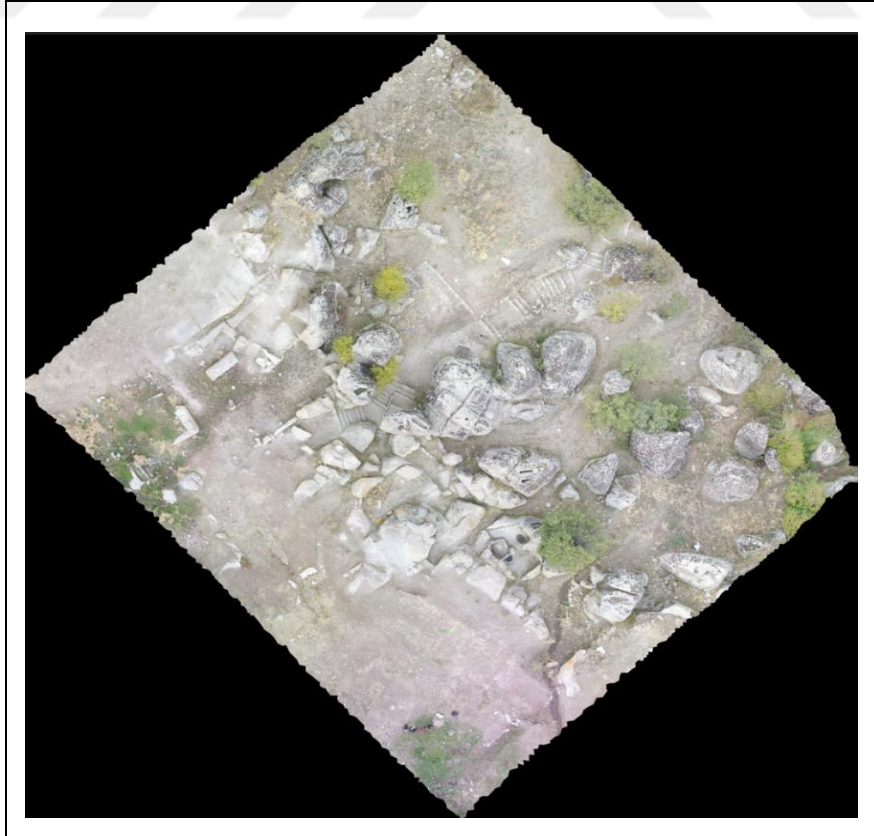
Şekil 4.41. Seramik Atölyesi Sayısal Yüzey Modeli (DEM).



Şekil 4.42. Haç Kilisesi Sayısal Yüzey Modeli (DEM).



Şekil 4.43 Seramik Atölyesi ortomozaik



Şekil 4.44 Haç Kilisesi ortomozaik

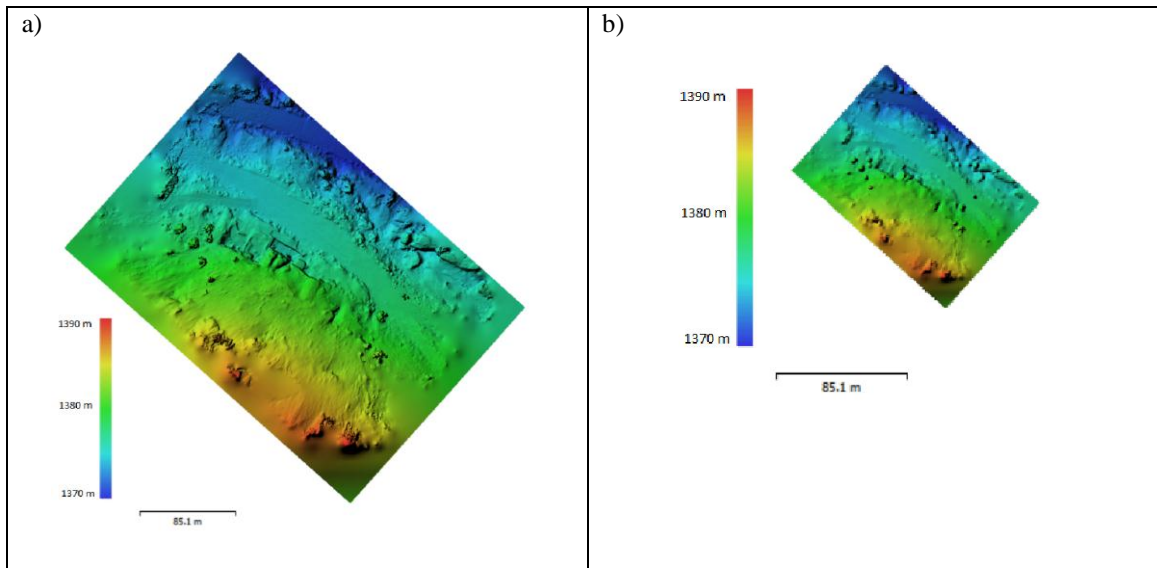
4.4.3. Yer Kontrol Noktalı ve Yer Kontrol Noktasız modelleme

Çalışma kapsamında İHA verileri ile 3B modelleme çalışmalarında yer kontrol noktası (YKN) kullanılarak ve yer kontrol noktası kullanılmadan elde edilen modellemenin SYM ve ortomozaik çözünürlüğüne etkisi araştırılmış ve karşılaştırılmıştır.

YKN kullanılarak yapılan dengeleme sonucuna göre elde edilen SYM ve Ortomozaik çözünürlüğü, yer kontrol noktası kullanılmadan elde edilen SYM ve Ortomozaik çözünürlüğü göre oldukça iyi olduğu çizelge 4.6 da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Seramik Atölyesi ve Haç Kilisesinin YKN ile ve YKN' sız modelleme sonuçları

	Seramik Atölyesi		Haç Kilisesi	
	YKN kullanmadan modelleme	YKN ile modelleme	YKN kullanmadan modelleme	YKN ile modelleme
Bağlama noktaları (Tie Points)	199 117	258 073	253 184	309 129
Nokta bulutu	5 700 931	7 195 199	5 762 158	7 269 972
Mesh üçgeni	479 670	506 998	384 122	484 658
SYM çözünürlüğü	35.811 mm/pix	1.27 mm/pix	40.9 mm/pix	1.66 mm/pix
Ortomozaik çözünürlüğü	8.95 mm/pix	0.318 mm/pix	10.2 mm/pix	0.414 mm/pix



Şekil 4.45. Seramik Atölyesinin a) YKN ile SYM çözünürlüğü. b) YKN kullanmadan SYM çözünürlüğü

Ayrıca çalışmada dengelemenin mutlak doğruluğu test edebilmek için bazı yer kontrol noktaları denetleme noktası olarak kullanılmıştır. Seramik Atölyesi için tesis edilen 10 adet ve Haç Kilisesi için tesis edilen 9 adet yer kontrol noktasının %30 kadarı denetleme noktası olarak seçilmiştir. Dengeleme sonucunda seçilen denetleme noktalarının koordinatları ortofoto görüntüler üzerinden okunarak arazi ölçümleri sonucu elde edilen lokal koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları çizelge 4.7 ve 4.8 de açıklanmıştır.

Çizelge 4.7. Seramik Atölyesi lokal koordinatları ve İHA Ortofoto koordinatlarının karşılaştırılması

NN	Lokal koordinat değerleri			İHA ortofoto koordinat değerleri			Farklar		
	X	Y	Z	X	Y	Z	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
YKN1	988.485	2015.879	102.815	988.479	2015.871	102.820	0.006	0.008	-0.005
YKN2	998.029	2017.348	103.230	998.021	2017.353	103.233	0.008	-0.005	-0.003
YKN3	1020.511	2017.041	101.619	1020.518	2017.047	101.614	-0.007	-0.006	0.005
YKN4	1013.024	2031.404	110.006	1013.019	2031.408	110.013	0.005	-0.004	-0.007
YKN5	1000.345	2031.598	110.902	1000.338	2031.590	110.909	0.007	0.008	-0.007
YKN6	982.591	2030.461	110.741	982.599	2030.468	110.738	-0.008	-0.007	0.004
DN7	989.403	218.584	104.937	989.408	2018.571	104.942	-0.008	0.013	-0.005
DN8	997.664	2018.890	104.918	997.674	2018.903	104.920	-0.010	-0.013	0.005
YKN9	1020.141	2024.966	104.080	1020.146	2024.958	104.060	-0.005	0.008	0.006
DN10	1008.856	2018.174	103.575	1008.851	2018.169	103.581	0.005	-0.002	-0.006
Denetleme noktaların konum doğruluğu			0.0095 m						
Denetleme noktaların yükseklik doğruluğu			0.0047 m						
YKN ve DN noktalarının konum doğruluğu			0.0017 m						
YKN ve DN noktalarının yükseklik doğruluğu			0.0014 m						

Çizelge 4.8. Haç Kilisesi lokal koordinatları ve İHA Ortofoto koordinatlarının karşılaştırılması

NN	Lokal koordinat değerleri			İHA ortofoto koordinat değerleri			Farklar		
	X	Y	Z	X	Y	Z	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
DN1	1014.457	1987.462	99.079	1014.448	1987.441	99.103	0.009	0.021	-0.024
YKN2	1029.269	2000.000	91.547	1029.264	1999.994	91.541	0.005	0.006	0.006
YKN3	1034.925	1988.638	88.630	1034.932	1988.642	88.623	-0.007	-0.004	0.007
DN4	1020.412	1984.492	92.471	1020.404	1984.483	92.479	0.008	0.009	-0.008
YKN5	1001.119	1977.792	99.736	1001.124	1977.798	99.730	-0.005	-0.006	0.006
YKN6	1002.498	1997.106	99.356	1002.494	1997.101	99.360	0.004	0.005	-0.004
YKN7	1009.964	2013.531	97.908	1009.961	2013.525	97.901	0.003	-0.006	0.007
YKN8	1030.714	1984.772	90.178	1030.720	1984.785	90.170	-0.006	-0.007	0.008
DN9	1008.986	1995.145	97.119	1008.995	1995.138	97.133	-0.009	0.007	-0.014
Denetleme noktalarının konum doğruluğu			0.0046 m						
Denetleme noktalarının yükseklik doğruluğu			0.0096 m						
YKN ve DN noktalarının konum doğruluğu			0.0019 m						
YKN ve DN noktalarının yükseklik doğruluğu			0.0037 m						

4.5. İHA Modellerinden Vektör ve Raster Verilerinin Üretimi ve Diğer Yazılımlarda Kullanımı

İHA yönteminden oluşturulan 3B modeller oldukça farklı yazılımlarda kullanılabilir. Bu üç boyutlu modellerden hem vektör hem de raster verileri çıkarılmaktadır. Vektör veriler eşyükselti eğrisi (contour line), iki boyutlu çizim nesnesi

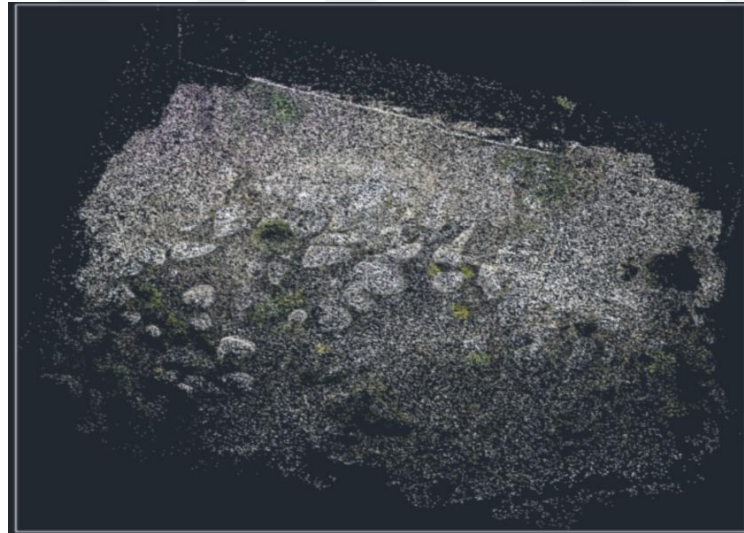
(polyline), nokta bulutları vb. genellikle CAD yazılımlarında kullanılmaktadır. Raster veriler ise (Ortomozaik, SYM, SAM, Index Map, vb.) CBS yazılımları için çok önemli bir veri kaynağı olmaktadır.

Çizelge 4.9. 3B İHA modelleme yazılımlarının çıktıları ve uzantı türleri

Veri türü	Çıktısı (output)	Uzantısı
Vektör	Nokta Bulutu	las
	Eşyükselti çizgisi (contour line)	shp, dxf.
	Devamlı çizgi (polyline)	shp, dxf.
Raster	Ortomozaik	GeoTiff
	SYM	GeoTiff
	Harita İndeksi (Index Map)	GeoTiff

4.5.1. Vektör verilerinin Civil 3D yazılımında kullanımı

Haç Kilisesinin Pix4D ile elde edilen nokta bulutu, .las uzantısı şeklinde Autodesk Civil 3D yazılımına aktarılmıştır.

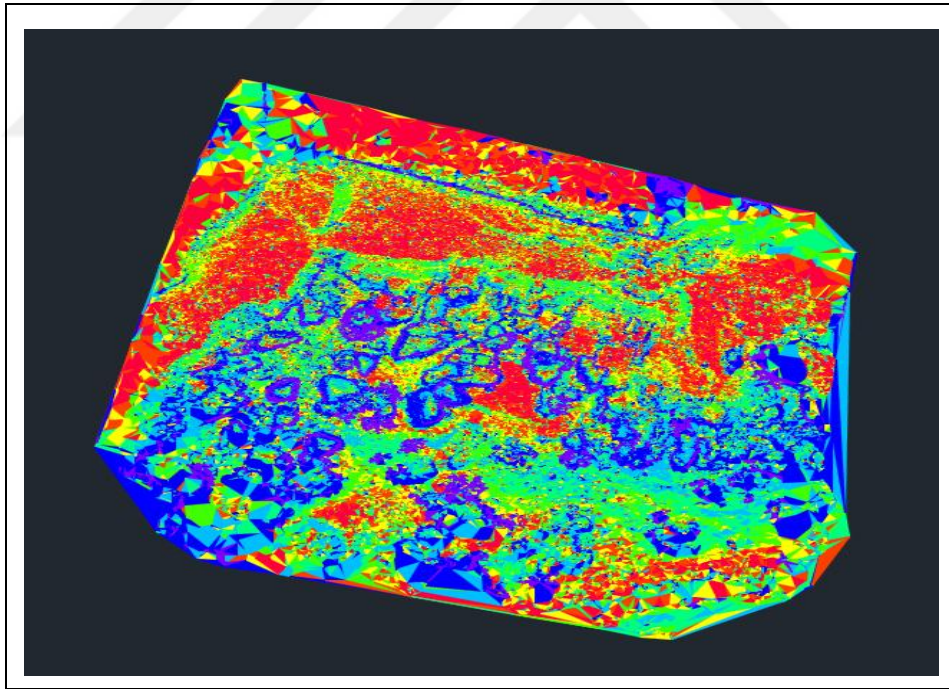


Şekil 4.46. Autodesk Civil 3D yazılımında Haç Kilisesinin nokta bulutu

Autodesk Civil 3D yazılımında Haç Kilisesinin bulunduğu bölgenin eşyükselti eğrileri oluşturulmuştur. Aynı zamanda yeryüzünün eğim seviyesi (slope) hesaplanmıştır.



Şekil 4.47. Autodesk Civil 3D de Haç Kilisesinin nokta bulutundan oluşan eşyüksekti çizgisi

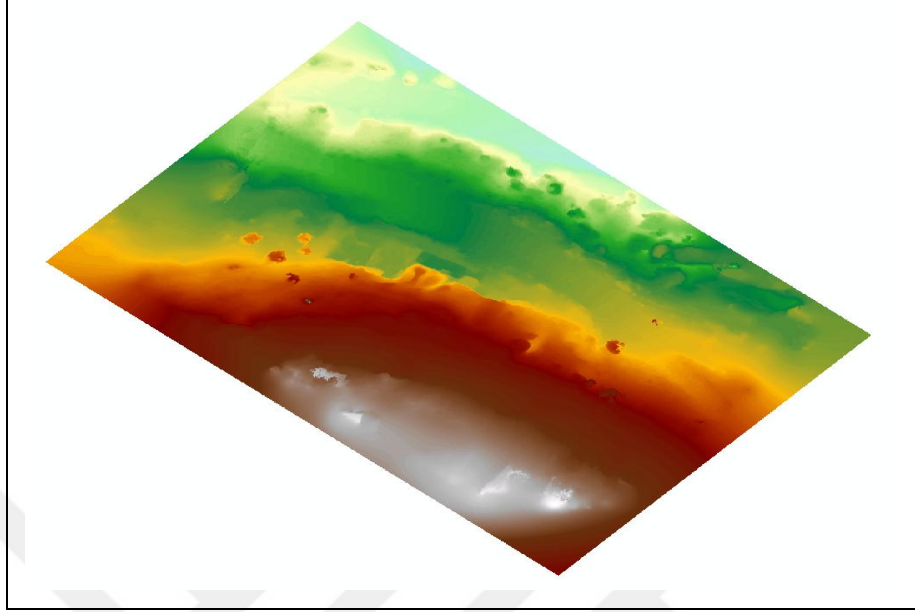


Şekil 4.48. Autodesk Civil 3D ile Haç Kilisesinin eğim seviyesi.

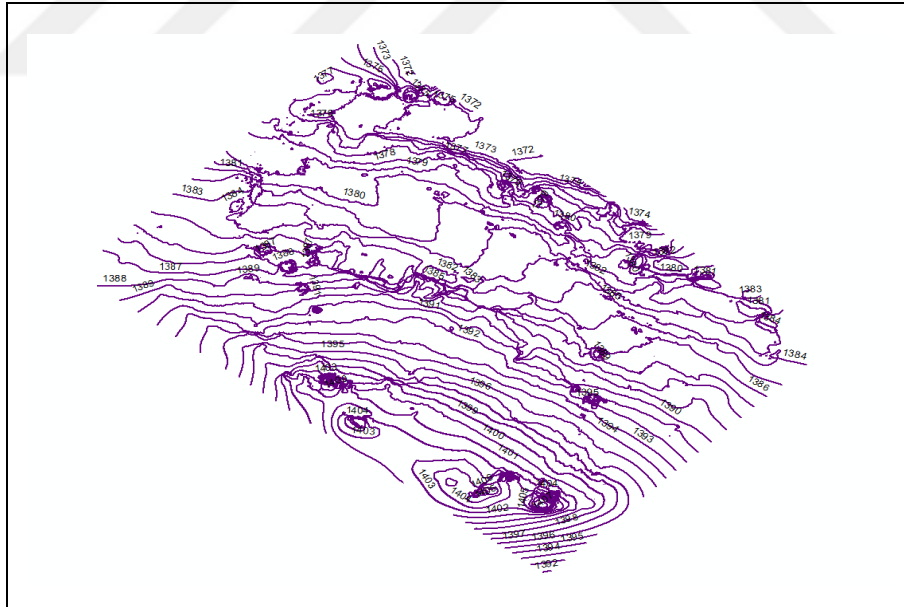
4.5.2. Raster verilerinin ArcMap yazılımında kullanımı

Seramik atölyesinin Agisoft ile elde edilen Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ArcMap yazılımına .tif uzantısı şeklinde aktarılmıştır. Bu yazılım üzerinden, Seramik

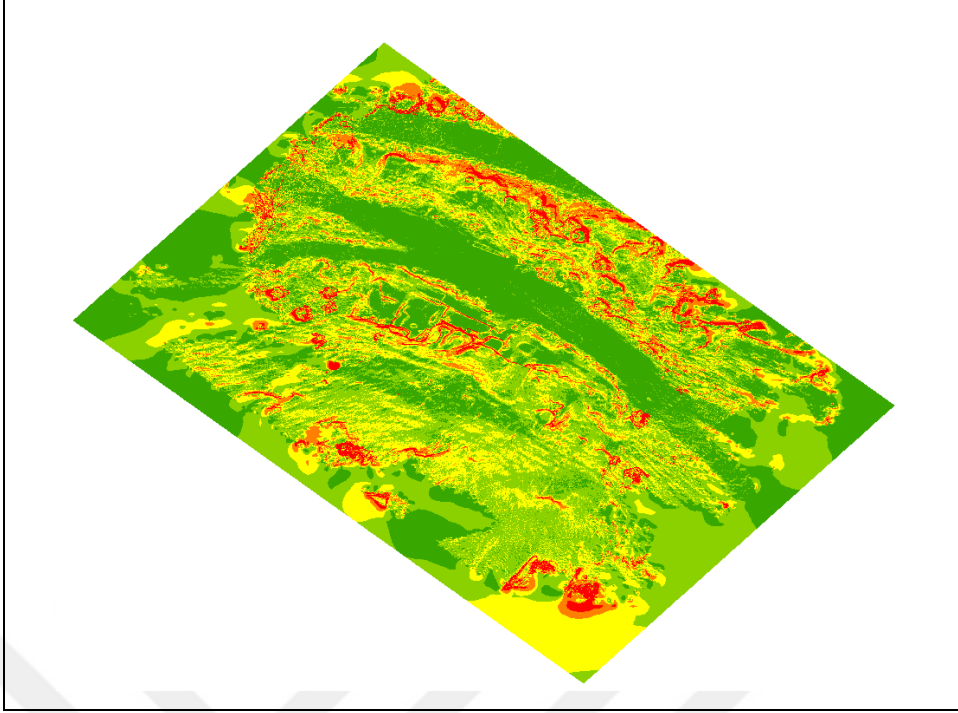
atölyesinin bulunduğu bölgenin eşyüksekti eğrileri oluşturulmuştur. Aynı zamanda yeryüzünün eğim seviyesi (slope) hesaplanmıştır.



Şekil 4.49. ArcMAP yazılımında Seramik atölyesinin SYM kullanımı.

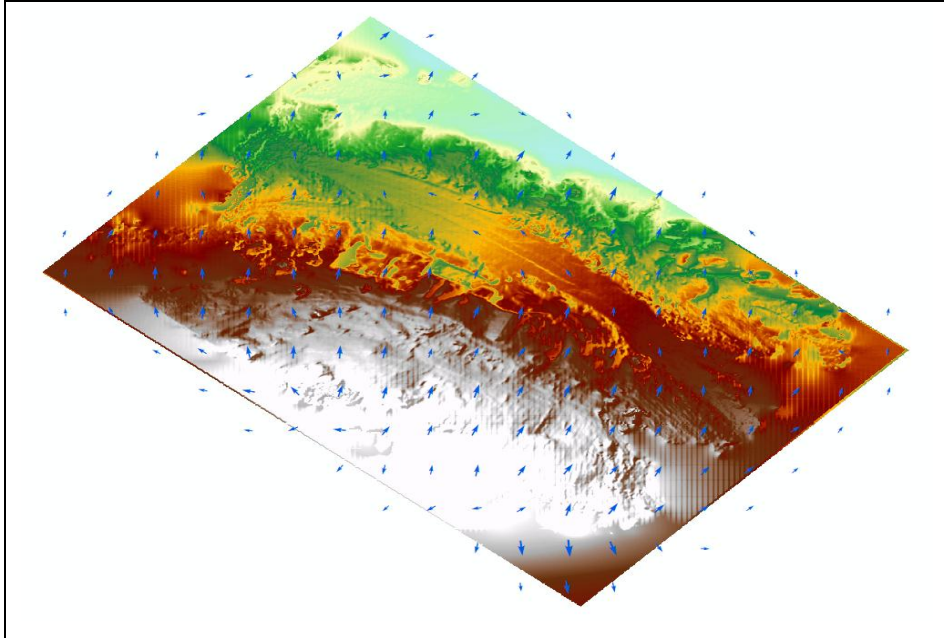


Şekil 4.50. ArcMap yazılımında Seramik atölyesi SYM'sinden oluşan eşyüksekti eğrisi.



Şekil 4.51. ArcMap ile Seramik atölyesinin eğim seviyesi

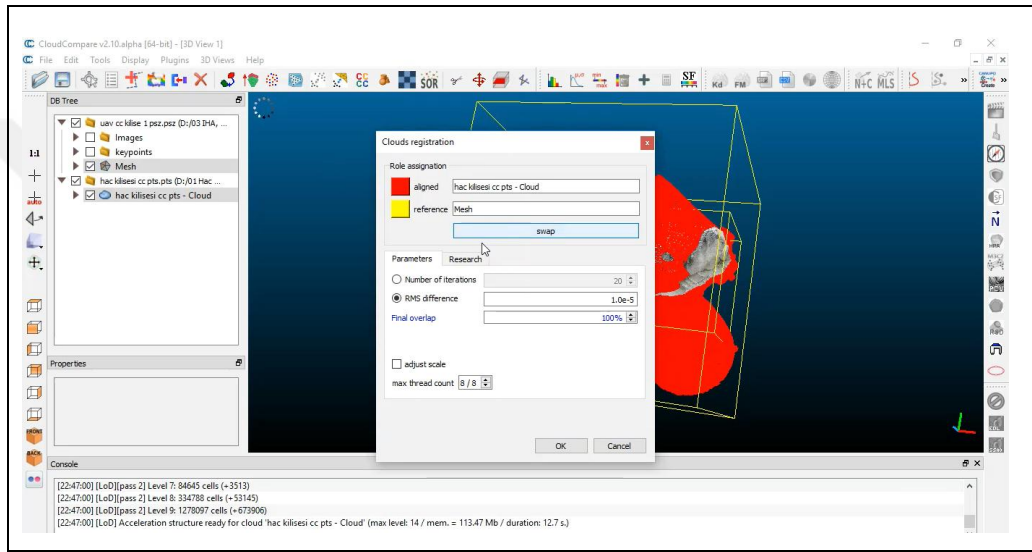
Ayrıca, ArcMap yazılımına özel olan (Aspect) komutu kullanılarak yeryüzünün eğim yönleri elde edilmiştir.



Şekil 4.52. ArcMap ile Seramik Atölyesinin eğim yönleri

4.6. İHA ve YLT 3B Modellerinin Entegrasyonu

Haç Kilisesi ile ilgili elde edilen yersel lazer ve İHA nokta bulutlarının birleştirilmesi için Cloud Compare yazılımı kullanılmıştır. Haç Kilisesinin 3B İHA modelinden .psz uzantısı şeklinde bir Mesh modeli yazılıma aktarılmıştır. 3B YLT modelinden de bir .pts uzantısı ile kilisenin nokta bulutu yazılıma transfer edilmiştir. Bu iki farklı yöntemin verilerini bir araya getirmek için Cloud Compare yazılımı üzerinden hem eksenleri hem de ölçekleri birleştirilmiştir.

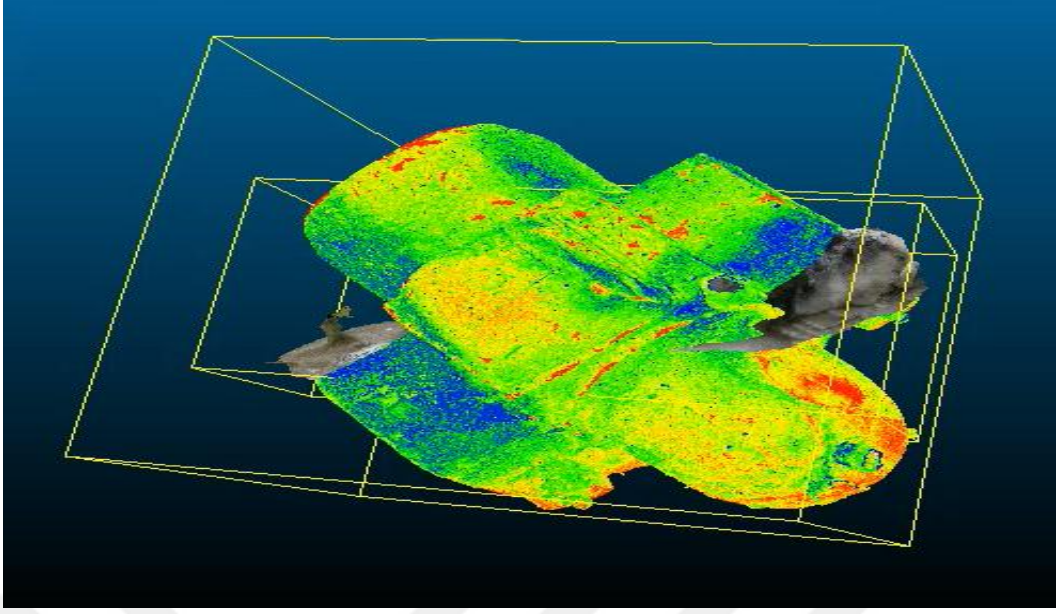


Şekil 4.53. Nokta bulutlarını otomatik Registration kullanarak birleştirmek.

Birleştirme (Registration) işleminden önce her nokta bulutu üzerinden en az üç eşleme noktası (match points) seçilmiştir. Ayrıca bir nokta bulutunu referans olarak diğerini kendi eksenini ve ölçeğine dönüştürülmüştür. Birleştirme işlemi, karesel ortalama hata farkları (RMS difference) metodu ile yapılmıştır. Bu işlemin sonucunda, İHA ya da YLT 3B modelinin tüm özellikleri ve gerçek boyutları diğer nokta bulutunun özellik ve boyutlarına çevrilmektedir. Birleştirme işleminin doğruluğu çizelge 4.10 da verilmiştir.

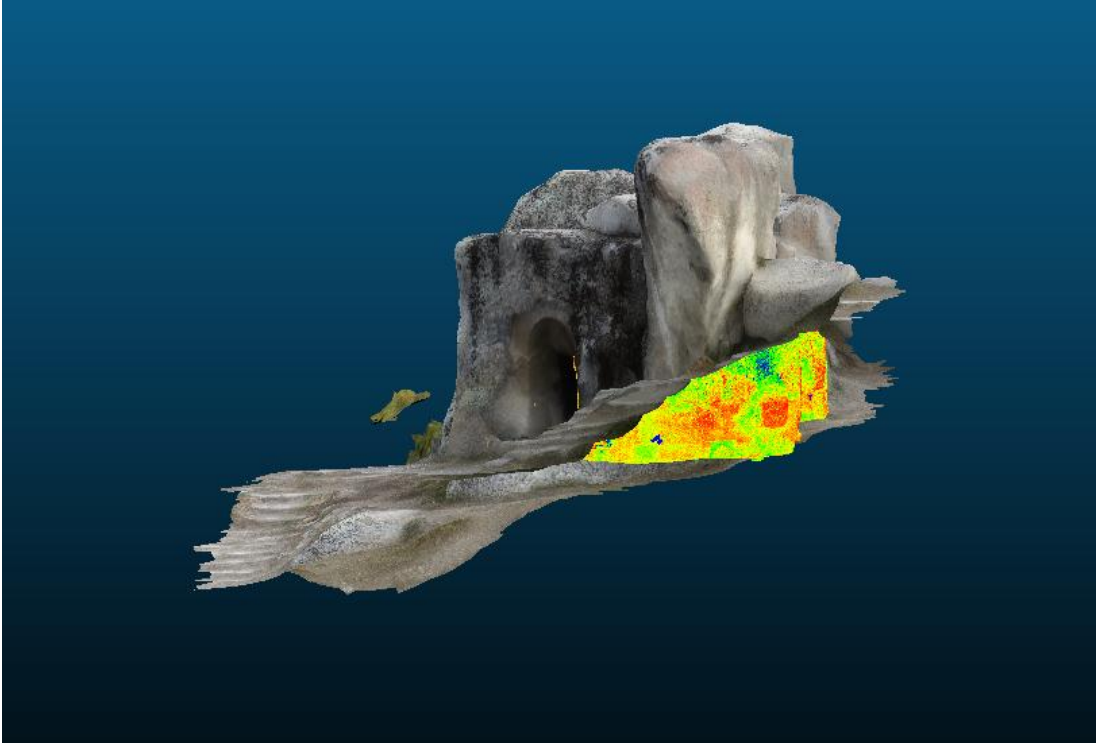
Çizelge 4.10. Cloud Compare yazılımında birleştirme işleminin sonuçları

	X	Y	Z	RMS
P1	3.568	50.343	1301.330	0.0099
P2	3.733	50.439	1301.225	0.0122
P3	3.708	50.763	1301.407	0.0146
P4	3.528	50.676	1301.528	0.0130



Şekil 4.54. Nokta bulutları birleştirmeden önce.

Birleştirme işlemi bittikten sonra elde edilen yeni nokta bulutu kaydedilmiştir ve diğer uzantılarla başka 3B modelleme yazılımlarına aktarılmıştır.



Şekil 4.55. Nokta bulutları birleştirdikten sonra

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Geçmişten günümüze ayakta kalarak bizlere miras kalan tarihi ve kültürel değerlere sahip pek çok eserin yaşatılması, gelecek kuşaklara aktarılması sorumluluğu ve bilinci ile pek çok çalışma yapılmaktadır. Koruma ve belgelemeye yönelik bu çalışmalara rölöve, restorasyon ve restitüsyon örnek olarak verilebilir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte koruma ve belgelemeye yönelik çalışmalarda ölçme değerlendirme yöntemleri değişmiş, ileri teknolojik sistemlerin kullanılması ile ayrıntılı rölöve çalışmaları 3B modeller üzerinden daha kolay yapılabilir hale gelmiştir.

Günümüzde tarihi eserler, sit alanlar, anıtlar veya doğal oluşumların korunması ve belgelenmesi amaçlı çalışmalarda yakın resim fotogrametrisine ek olarak yersel lazer tarayıcılar ve insansız hava araçları platformlarının kullanılması dikkat çekmektedir. Bu yöntemler geleneksel ölçme yöntemlerine kıyasla 3B modelleme çalışmalarında hızlı, ekonomik, yüksek doğruluklu sonuçlar sağlamaktadır. Sonuç ürünlerin farklı veri formatına dönüştürülebilmesi ile farklı ölçeklerde plan, kesit ve görünüşler elde edilebilmekte veya modeller üzerine doku kaplanarak VRLM gibi sanal gerçeklik oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada Kapadokya ve İhlara'nın doğal kaya oluşumlarına ve mimarisine benzer özelliklere sahip olan Konya ili sınırları içerisinde bulunan Antik Kilistra Kenti bölgesinde yer alan önemli eserlerden Başpınar Sarnıcı, Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi yersel lazer tarama ve insansız hava aracı teknikleri kullanılarak modellenmiştir. Yersel lazer tarama verileri Faro Scene ve JRC 3D Reconstructor yazılımı ile değerlendirilirken, İHA verileri Agisoft ve Pix4D yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Haç Kilisesinin yersel lazer tarama ve İHA verileri Cloud Compare yazılımı kullanılarak birleştirilmiştir. Aynı veri yapısının farklı yazılımlarla değerlendirilmesi ile 3B modelleme uygulamalarında yazılımların yetenekleri, birbirlerine göre zayıflık ve üstünlükleri de ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca geleneksel yöntemlerle belirlenmesi güç olan alan, boyut ve sarnıcın su depolama kapasitesi gibi bilgiler 3B modellerin CAD ortamına aktarılması ile kolaylıkla hesaplanmıştır.

İlk olarak Başpınar Sarnıcı, Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi'ne ait yersel lazer tarama verileri ile modelleme çalışmaları ele alınmış. Farklı oturumlarla elde edilen nokta bulutu verilerinin birleştirilmesinde cloud to cloud ve target based birleştirme

yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Faro Scene yazılımı ile gerçekleştirilen cloud to cloud birleştirmede dış mekandan yapılan bir oturum ile iç mekan oturumlarının birbirine bağlanmadığı, target based birleştirmede ise sonucun cloud to cloud birleştirmeye göre daha başarılı olduğu fakat oldukça vakit aldığı ortaya konmuştur. Verilerin birleştirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise cloud to cloud ve target based yöntemi birlikte kullanmaktır. Bu yöntemde iç mekân taramalarının sadece cloud to cloud olarak birleştirilmiş, dış mekân ile cloud to cloud birleştirilen iç mekân taramaları birbirine target based yöntemiyle bağlanmıştır. Sonuç olarak sadece cloud to cloud birleştirme %21.3, sadece target based birleştirme %26.2, cloud to cloud ve target based birleştirme %32 en az bindirme oranıyla elde edilmiştir. Cloud to cloud ve target based birleştirmenin birlikte kullanıldığı yöntemde hem nokta hataları azaltmakta hem de bindirme oranı artmaktadır. Aynı tarama verilerinin birleştirildiği diğer bir yazılım JRC 3D Reconstructor dır. Bu yazılım nokta bulutu verilerini iteratif en yakın nokta yöntemine göre birleştirmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Başpınar Sarnıcı 0.963 mm, Seramik Atölyesi 0.986mm Haç Kilisesi 0.944 mm doğrulukla birleştirilmiştir. İki yazılım kıyaslandığında JRC 3D Reconstructor yazılımı Faro Scene yazılımına göre daha doğru sonuçlar vermiştir. Ayrıca nokta bulutu, mesh üçgeni ve mesh tepe noktası oluşturmada JRC 3D Reconstructor yazılımı Faro Scene yazılımından daha güçlüdür. Faro Scene yazılımının DrawToAutoCAD aracılığı ile 2B çizimler yapabilmesi yani AutoCAD yazılımı ile eş zamanlı çalışabilmesi aynı zamanda alan, çevre uzunluğu gibi bilgileri kolaylıkla çıkarılabilmesi ise bu yazılımın üstün yanlarını ortaya koymaktadır. Başpınar Sarnıcının su depolama kapasitesinin bulabilmek için JRC 3D Reconstructor yazılımında bir yatay düzlem oluşturulmuştur ve 3 boyutlu nokta bulutu kullanarak hacim hesaplanmıştır. Başpınar sarnıcının su depolama kapasitesi 163.074 m³ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sarnıcın kubbe hacmi 3DReasher ile 1.993 m³ bulunmuştur. Sonuç olarak Faro Scene yazılımı sadece düzgün geometrik yapıların (dikdörtgenler prizması, silindir, vb.) hacimlerini hesaplayabilmekte ve bozuk geometrideki objelere ait hesaplamaları yapamamaktadır. JRC yazılımı ise hem düzgün hem de bozuk objelerin hacim hesabını yapabilmektedir.

Ayrıca tez kapsamında ele alınan yersel lazer tarama verilerini değerlendirme yazılımları ile ilgili olarak Faro Scene yazılımı JRC yazılımına kıyasla daha kolay ve hızlı veri işlemektedir. Bu özellikler deneyimsiz kullanıcılar için oldukça avantaj sağlamaktadır. JRC 3D Reconstructor yazılımının ise daha profesyonel kullanıcılara hitap etmektedir. Bu yazılım Faro Scene'in aksine çok daha fazla parametre içermesi,

sayı sınırı olmadan nokta bulutu ve mesh üçgenleri oluşturması, oldukça çeşitli nokta bulutu ve mesh üretme ve düzenleme komutlarını karşılaması ve birçok geometrik uygulamaları desteklemesi bu yazılımın en güçlü 3B modelleme yazılımları arasında yer almasını sağlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında ele alınan diğer yöntem ise insansız hava aracı platformu aracılığıyla elde edilen hava fotoğraflarından 3B modellemedir. Hazırlanan uçuş planları doğrultusunda Seramik atölyesi ve Haç Kilisesi için yan cephe fotoğrafları ve çatı fotoğrafları farklı uçuşlar ile elde edilmiştir. Seramik atölyesinin çatı modellemesini yapabilmek için araziye paralel %80 bindirmeli; seramik atölyesinin yan cephelerinin modellenebilmesi için %30 eğimde fotoğraflar çekilmiştir. Haç Kilisesinin çatı uçuşları %80 bindirmeli; yan cephe uçuşları ise dairesel şekilde 15m ve 20m yükseklikten yapılmıştır. Toplamda Seramik Atölyesi için 165 ve Haç Kilise' için 164 adet olmak üzere toplam 329 hava fotoğrafı çekilmiştir. İnsansız hava aracı verileri ile 3B modelleme çalışmalarında Agisoft ve Pix4D yazılımı kullanılmıştır. Uçuş öncesi hazırlık çalışmalarında tesis edilen ve koordinatları lokal olarak ölçülen yer kontrol noktaları ve hava fotoğrafları yazılıma aktarıldıktan sonra oluşturulan yoğun nokta bulutu üzerinden 3B modeller, SYM ve ortomozaikler elde edilmiştir. Pix4D yazılımı, Agisoft yazılımına göre kullanımı kolay ve hızlı olmasına rağmen, Agisoft yazılımının 3B model oluşturma aşamasında daha fazla parametre kullanarak daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Örneğin Pix4D yazılımında SYM ve ortomozaik üretimi otomatik ve sınırlı çözünürlükte çözüm sunarken, Agisoft yazılımı SYM ve ortomozaik boyutları, farklı çözünürlükte veri üretmesi, çıktı uzantısı türü çeşitliliği ve diğer seçenekleri ile daha avantajlıdır. Pix4D'nin maksimum Mesh üçgen sayısını 20 milyon ve SYM çözünürlüğünü 1 cm/pixel de sınırlanması SYM ve ortomozaik görüntüde distorsiyona sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak Agisoft yazılımında Seramik Atölyesi ve Haç Kilisenin İHA verileri ile 3B modelleme çalışmalarında yer kontrol noktası (YKN) kullanılarak ve yer kontrol noktası kullanılmadan elde edilen modellemenin SYM ve ortomozaik çözünürlüğüne etkisi araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeterli sayıda ve uygun dağılımda YKN kullanmanın SYM ve ortomozaik çözünürlüğünü artırdığı ispatlanmıştır. Ayrıca dengelemenin mutlak doğruluğu test etmek amacıyla fotogrametrik blok içerisinde bazı yer kontrol noktaları denetleme noktası olarak değerlendirmeye alınmıştır.

İHA yazılımları ile elde edilen çıktılar sadece 3B modellerde sınırlanmamakta, Bu 3B modellerden CAD ve CBS yazılımları ile hem vektör hem de raster verileri çıkarılmaktadır.

Ayrıca tez çalışmasında Haç Kilisesi' ne ait yersel lazer tarama ve insansız hava aracı verilerinin entegrasyonu denenmiştir. İki farklı yöntem ile elde edilen verileri bir araya getirmek için Cloud Compare yazılımı kullanılmıştır. Birleştirme de her iki taramanın ölçeği dikkate alındığı için elde edilen 3B model gerçek boyutlarını korumaktadır. İki veya daha fazla ölçme yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin birleştirilmesi tek bir ölçme yöntemi ile elde edilemeyen eksik verilerin diğer ölçme yöntemlerinden tamamlanması ve 3B model çıktılarının zenginleştirilmesine katkısı vardır. Özellikle yanına ulaşılması tehlikeli veya mümkün olmayan objeler, tarihi eserler, arkeolojik yapılar veya dik, yüksek doğal oluşumların 3B modellenmesi için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada yapılan İHA taramasında kullanılan DJI 3 modelinin yerine, kamera kapasitesi ve uçuş süresi gibi özellikleri daha gelişmiş yeni nesillerin İHA modellerinin kullanılması önerilmektedir. İHA ve YLT verilerini birleştirmek için daha gelişmiş ve profesyonel yazılımlar da kullanılabilir.

Lazer tarama projelerinde iç mekân modellemesinde cloud to cloud birleştirme yöntemi tercih edilmektedir. İç ve dış mekânın birlikte modellenmesinde ise cloud to cloud ve target based yöntemlerinin birlikte kullanılması önerilmektedir.

İHA projelerinde amaç sadece 3B modellemeyse lokal YKN kullanmak yeterli olabilir. Ancak elde edilen fotogrametrik ürünlerin doğruluğunu artırmak için YKN noktaları GNNS alıcıları ile koordinatlandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abmayr, T., ve ark. (2005). Terrestrial Laser Scanning: Applications in Cultural Heritage Conservation and Civil Engineering. Proceedings of the ISPRS working group V4.
- AKAY, S. S., ve ark. (2012). "Lazer Tarama Yöntemi İle Elde Edilen Üç Boyutlu İç Mekân Modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Kullanım Olanakları."
- Al-Kheder, S., ve ark. (2009). "Developing a Documentation System for Desert Palaces in Jordan Using 3d Laser Scanning and Digital Photogrammetry." *Journal of Archaeological Science* 36(2): 537-546.
- Avdan, U., ve ark. (2013). "Mağara Ölçümlerinde Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanılması (Tozman Mağarası Örneği)." *Harita teknolojileri elektronik dergisi* 5(2): 16-28.
- Aydın, D. (2006). "Halk Mimarlığı Bağlamında Kılıstra'da (Gökyurt) Yerleşme Ve Mesken Nitelikleri." 38. ICANAS: 175.
- Balis, V., ve ark. (2004). 3d-Laser Scanning: Integration of Point Cloud and Ccd Camera Video Data for the Production of High Resolution and Precision Rgb Textured Models: Archaeological Monuments Surveying Application in Ancient Ilida. Proceedings of FIG Working Week, *A2 thens, Greece, May*.
- Barber, D., ve ark. (2002). "Laser Scanning and Photogrammetry-21st Century Metrology." *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES* 34(5/C7): 360-366.
- Barsantia, S. G., ve ark. (2013). "3d Surveying and Modelling of Archaeological Sites-Some Critical Issues." *ISPRS photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Strasbourg, France, Sept: 2-6*.
- Blyenburgh, P. v. (1999). "Uavs: An Overview." *Air & Space Europe* 1(5-6): 43-47.
- Böhler, W. ve Marbs, A. (2004). 3d Scanning and Photogrammetry for Heritage Recording: A Comparison. Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics, *Gavle University Press, Sweden*.
- Bozkurt, T. (2016). "Konya-Gökyurt (Kılıstra) Köy Odaları."
- Budroni, A. ve Böhm, J. (2010). "Automatic 3d Modelling of Indoor Manhattan-World Scenes from Laser Data." *Proceedings of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 115-120*.
- Colomina, I., ve ark. (2008). Towards a New Paradigm for High-Resolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing. *ISPRS XXI Congress. Beijing, China*.
- Doneus, M., ve ark. (2015). Airborne Laser Bathymetry for Documentation of Submerged Archaeological Sites in Shallow Water. *Underwater 3D Recording and Modeling (ISPRS TC V, CIPA), ISPRS*.

- Eisenbeiß, H. (2009). Uav Photogrammetry, *Publisher.Pages*.
- Everaerts, J. (2008). "The Use of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) for Remote Sensing and Mapping." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37(2008): 1187-1192.
- Fröhlich, C. ve Mettenleiter, M. (2004). "Terrestrial Laser Scanning—New Perspectives in 3d Surveying." *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences* 36(Part 8): W2.
- Gümüş, K. ve Erkaya, H. (2007). "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler." *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası* 11: 2-6.
- Ingensand, H., ve ark. (2003). *Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning. Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, Citeseer.*
- Karasaka, L. (2012). Mobil Yersel Lazer Tarama Sistemlerinin Fotogrametrik Rölöve Projelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, *Publisher.Pages*.
- Lee, S.-M., ve ark. (2010). A Real-Time Grid Map Generation and Object Classification for Ground-Based 3d Lidar Data Using Image Analysis Techniques. *Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on, IEEE.*
- Lerma, J. L., ve ark. (2010). "Terrestrial Laser Scanning and Close Range Photogrammetry for 3d Archaeological Documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a Case Study." *Journal of Archaeological Science* 37(3): 499-507.
- Mimiroğlu, İ. M. (2014). Kilistra. *Meram Belediyesi.*
- Nex, F. ve Remondino, F. (2014). "Uav for 3d Mapping Applications: A Review." *Applied geomatics* 6(1): 1-15.
- Núñez, M. A., ve ark. (2013). "3d Model of the Can Sadurní Cave." *Journal of Archaeological Science* 40(12): 4420-4428.
- Remondino, F. (2011). "Heritage Recording and 3d Modeling with Photogrammetry and 3d Scanning." *Remote Sensing* 3(6): 1104-1138.
- Remondino, F., ve ark. (2011). "Uav Photogrammetry for Mapping and 3d Modeling—Current Status and Future Perspectives." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38(1): C22.
- Remondino, F., ve ark. (2005). 3d Modeling of Close-Range Objects: Photogrammetry or Laser Scanning? *Videometrics VIII, International Society for Optics and Photonics.*
- Sanna, A. ve Pralio, B. (2005). "An Innovative Tool for Simulating and Controlling Mini Air Vehicles." *WSEAS Transactions on Information Science and Applications* 2(10): 1659-1666.

- Şenkal, E., ve ark. (2013). "Yersel Lazer Tarama Tekniği İle Üretilen Verilerin Restorasyon Çalışmalarında Kullanımı (Eskişehir, Seyitgazi Sıncan Cezaevi Örneği)."
- Shan, J. ve Toth, C. K. (2018). Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. *CRC press*.
- Staiger, R. (2003). Terrestrial Laser Scanning Technology, Systems and Applications. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco.
- Stal, C., ve ark. (2014). Highly Detailed 3d Modelling of Mayan Cultural Heritage Using an Uav. 25th FIG Congress: Engaging the challenges, enhancing the relevance, *International Federation of Surveyors (FIG)*.
- Tapur, T. (2009). "Konya İlinde Kültür Ve İnanç Turizmi." *Journal of International Social Research* 2(9).
- Thomson, C., ve ark. (2013). "Mobile Laser Scanning for Indoor Modelling." *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 5: W2.
- Ulvi, A. ve Toprak, A. S. (2016). "Investigation of Three-Dimensional Modelling Availability Taken Photograph of the Unmanned Aerial Vehicle; Sample of Kanlıdivane Church." *International Journal of Engineering and Geosciences* 1(1): 1-7.
- Van Genechten, B. (2008). "Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning: Training Material Based on Practical Applications."
- Vosselman, G. ve Maas, H.-G. (2010). Airborne and Terrestrial Laser Scanning. *CRC*.
- Yastikli, N. (2007). "Documentation of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry and Laser Scanning." *Journal of Cultural Heritage* 8(4): 423-427.
- Yılmaz, H. M. ve Yakar, M. (2006). "Yersel Lazer Tarama Teknolojisi." *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2(2): 43-48.

İnternet Kaynakları

- URL-1. from <https://faro.app.box.com/s/dmoitd5263hiiwcitfs72v6ndkh0qvpj/file/66024819053>.
- URL-2. from https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_3_standard/en/Phantom_3_Standard_User_Manual_v1.4_en_0112.pdf.
- URL-3. from <http://surveyequipment.com/PDFs/topcon-gpt-3000-manual.pdf>.
- URL-4. from <https://faro.app.box.com/s/uivkgf3jyrxcxn5ofazlohjnaddknhr/file/303895849272>.

URL-5. from http://www.gexcel.homeip.net/Reconstructor/R_Manual/R_Manual_EN.pdf.

URL-6. from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf->.

URL-7. from http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf.

URL-8. from http://www.3dreshaper.com/images/brochures/BeginnersGuide_EN.pdf.

URL-9. from <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>.

URL-10. from <https://www.autodesk.com./products/civil-3d/overview>.

URL-11. from <http://desktop.arcgis.com/en/>.

URL-12. from <https://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>.

EKLER

EK-1 Haç Kilisesinin Cloud to Cloud Birleştirme raporu.

Color Coding

Point Error	< 8 mm	> 20 mm
Overlap	> 25.0 %	< 10.0 %

Maximum Point Error	1.4 mm
Mean Point Error	1.0 mm
Minimum Overlap	21.3 %

Scan Errors

Cluster/Scan	Cons.	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Kilise1004	4	1.1	1.0	24.6 %
Kilise1000	4	1.4	1.1	21.3 %
Kilise1001	4	1.0	1.0	27.0 %
Kilise1002	4	1.0	0.9	21.3 %
Kilise1003	4	1.4	1.1	26.1 %

Detailed Errors

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Point Error [mm]	Overlap
Kilise1004	Kilise1001	1.0	81.1 %
Kilise1004	Kilise1002	1.0	74.7 %
Kilise1004	Kilise1003	0.9	66.2 %
Kilise1004	Kilise1000	1.1	24.6 %
Kilise1000	Kilise1001	1.0	27.0 %
Kilise1000	Kilise1002	0.9	21.3 %
Kilise1001	Kilise1002	0.9	93.2 %
Kilise1003	Kilise1000	1.4	26.1 %
Kilise1003	Kilise1001	1.0	83.0 %
Kilise1003	Kilise1002	0.9	70.4 %

EK-2 Haç Kilisesinin Target Based Birleştirme raporu.

Color Coding

Point Error	< 8 mm	> 20 mm
Overlap	> 25.0 %	< 10.0 %

Maximum Point Error	2.0 mm
Mean Point Error	1.4 mm
Minimum Overlap	26.2 %

Scan Errors

Cluster/Scan	Connections	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Kilise1000	1	1.4	1.4	26.2 %
Kilise1004	1	2.0	2.0	81.1 %
Kilise1001	3	2.0	1.5	26.2 %
Kilise1002	2	1.2	1.2	71.7 %
Kilise1003	1	1.2	1.2	71.7 %

Detailed Errors

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Point Error [mm]	Overlap
Kilise1000	Kilise1001	1.4	26.2 %
Kilise1004	Kilise1001	2.0	81.1 %
Kilise1001	Kilise1002	1.1	93.1 %
Kilise1003	Kilise1002	1.2	71.7 %

EK-3 Haç Kilisesinin Combined Birleştirme raporu.

Color Coding

Point Error	< 8 mm	> 20 mm
Overlap	> 25.0 %	< 10.0 %

Maximum Point Error	1.9 mm
Mean Point Error	1.7 mm
Minimum Overlap	32.0 %

Scan Errors

Cluster/Scan	Connections	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Kilise1004	1	1.9	1.9	81.1 %
Kilise1000	1	1.6	1.6	32.0 %
Kilise1001	3	1.9	1.6	32.0 %
Kilise1002	2	1.9	1.6	70.3 %
Kilise1003	1	1.9	1.9	70.3 %

Detailed Errors

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Point Error [mm]	Overlap
Kilise1004	Kilise1001	1.9	81.1 %
Kilise1000	Kilise1001	1.6	32.0 %
Kilise1001	Kilise1002	1.4	93.1 %
Kilise1003	Kilise1002	1.9	70.3 %

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Adin Adnan Rashid Beg
Uyruğu : Irak Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Kerkük 14.06.1987
Telefon : 05395188432
Faks :
e-mail : aydin.adnan87@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kerkük Merkezi Lisesi	2006
Üniversite	: Kerkük Teknik Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi	2018
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Aso Grup	Harita Mühendisi
2013	Gazprom	Harita Mühendisi
2014	KOGAS	Harita Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Harita Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce ve Arapça.

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Beg, Adin Adnan Rashid and Karasaka, Lutfiye: 3D Modeling of Kilistra Ancient City Buildings with Terrestrial Laser Scanning. FIG Congress 2018 (9537). Istanbul, Turkey, May 10, 2018.