



**TARİHÎ YAPILARIN DOKÜMANTASYONUNDA
LAZER VE GÖRÜNTÜ TABANLI NOKTA
BULUTLARININ BİRLİKTE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin TOSUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

Bu tez çalışması 16.FENBİL.25 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TARİHÎ YAPILARIN DOKÜMANTASYONUNDA LAZER VE
GÖRÜNTÜ TABANLI NOKTA BULUTLARININ BİRLİKTE
KULLANILMASI**

Yasin TOSUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Yasin TOSUN tarafından hazırlanan “Tarihî Yapıların Dokümantasyonunda Lazer Ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Murat UYSAL

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

Üye : Doç. Dr. Murat UYSAL
(Afyon Kocatepe Üniversitesi)

Üye : Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
(Afyon Kocatepe Üniversitesi)

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

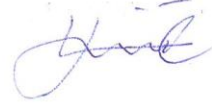
**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/08/2019

Yasin TOSUN



ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**TARİHÎ YAPILARIN DOKÜMANTASYONUNDA LAZER VE GÖRÜNTÜ
TABANLI NOKTA BULUTLARININ BİRLİKTE KULLANILMASI**

Yasin TOSUN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Murat UYSAL

Tarihî yapıların dokümantasyonunda geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Klasik yöntemlere nazaran günümüzde yersel lazer tarayıcı teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Klasik yöntemlere göre daha yüksek doğruluk elde edilebilmekte ve daha hızlı sonuçlar sağlanmaktadır. Fakat bu yöntemin de avantajları olmasına rağmen dezavantajları bulunmaktadır. Yapıların ölçümlerinde bütünleşik bir veriye ihtiyacımız olmasına rağmen lazer tarayıcılarla yapıların bazı bölgelerini ölçme şansımız olmayabilir. Özellikle camii ve benzeri yapıların kubbeleri, yüksek yapıların çatıları, dağlara ve yamaçlara konumlanmış olan yapıların cepheleri gibi alanlarda yersel lazer tarama yöntemi yetersiz kalabilir. Böyle durumlarda çözüm olarak ise insansız hava araçlarından (İHA) çekmiş olduğumuz fotoğrafları kullanarak elde ettiğimiz görüntü tabanlı nokta bulutu verisiyle, yersel lazer tarama yöntemiyle elde ettiğimiz nokta bulutu verisinin eksik kalan bölgeleri tamamlanabilmektedir. Çalışma alanı olarak, projenin amacına uygun kubbeli bir mimariye sahip olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Davut Paşa Kampüsü'nde bulunan, Otağ-ı Hümayun ve dağ yamacında konumlanan yersel lazer tarayıcı ile ölçümü zor olan Trabzon ilinde bulunan önemli bir kültür varlığı olan Sümela Manastırı ele alınmıştır.

Proje sonucunda aynı lokal koordinat sisteminde konumlanan yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birbirleri ile olan uyumu incelenmiştir. Oluşturulan nokta bulutu modellerinden, yapının kubbesinden geçecek şekilde kesit hatları alınıp ortofotolar oluşturulmuştur. Oluşturulan ortofotolarda, lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birbirlerini tamamladığı görülmüştür. İlk projede ortalama 0.0021 mm doğrulukla dengelenen lazer tabanlı nokta bulutu ile ortalama 1.40 cm ortalama hata

değeri ile oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunun, ikinci projede ise ortalama 0.0024 mm doğrulukla dengelenen lazer tabanlı nokta bulutu ile ortalama 10 cm ortalama hata değeri ile oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunun, birlikte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2019, xii + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarama, Nokta Bulutu, İnsansız Hava Aracı (İHA)



ABSTRACT
M.Sc. Thesis

COMBINED USE OF LASER AND IMAGE-BASED POINT CLOUDS FOR
DOCUMENTATION OF HISTORIC BUILDINGS

Yasin TOSUN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Murat UYSAL

Many methods have been employed for the documentation of historic buildings from past to present. Today, the terrestrial laser scanning technology, which ensures better precision and faster results compared to the classical methods, stands out rather than the classical methods. However, there are disadvantages of this methods in addition to its advantages. Even though we need integrated data for measurements of buildings, we may not have the chance to measure some parts of buildings by means of laser scanners. The terrestrial laser scanning method may not be efficient in areas such as mosque domes, roofs of high buildings and the facades of some buildings located in mountains and hills in which case, we are able o complete the deficient parts of point cloud data acquired through the terrestrial scanning with the image based point cloud data acquired by using the photographs taken by unmanned aerial vehicles (UAVs) as a solution. Otağ-1 Hümayun located in Davutpaşa Campus of Yıldız Technical University, the architecture of which includes a dome in accordance with the project purpose, was handled as the area of work.

The intercompatibility of terrestrial and image based point cloud models located in the same local coordinate system was analyzed at the end of the project. Cross lines were taken from the dome of the building among the created cloud point models and orthophotos were created. It was observed in the created ortophotos that the laser and image based point clouds completed each other. It was concluded that the laser based point cloud balanced with the accuracy of approximately 0.00021 mm and the image based point cloud created with the approximate error value of 1.40 cm can be used jointly.

2019, xii + 59 pages

Keywords: Terrestrial Laser Scanning, Point Cloud, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum bu projede, gerekli tüm yönlendirmeleri, bilgi paylaşımları, samimiyeti ve yazım aşamasında yapmış olduğu bütün katkılarından dolayı tez danışmanım Doç.Dr. Murat UYSAL'a, eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve güvenen bütün hocalarıma, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşım Hakan ÖĞÜTCÜ' ye, bu sektörde ilerlememe destek olan ve önümü açan Rıza YILMAZ'a, çalışmanın yapımında desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarım ve şirketim Ostem Mühendisliğe, saha çalışmalarında yardımları dokunan sayın Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR' a ve Necati AYTEKİN'e, bu mesleği seçmeme ve sektöre başlama en başından beri destek olan ve yönlendiren İ. Halil UMUR'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 16.FENBİL.24 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Yasin TOSUN

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ.....	5
3.1 Lazer Tarayıcılar İle Objelerin Sayısallaştırılması.....	6
3.2 Lazer İle Mesafe Ölçme Yöntemleri	7
3.2.1 Uçuş Zamanı Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi	7
3.2.2 Faz Farkı Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi	8
3.2.3 Üçgenleme Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi	9
3.3 Lazer Sınıfları.....	10
3.4. Yersel Lazer Tarama Kullanım Alanları	10
3.5 Yersel lazer tarama verilerinde hata kaynakları	11
3.5.1 Aletsel Hatalar	11
3.5.2 Çevresel Hatalar.....	11
3.5.3 Objeye İlgili Hatalar	12
3.6 Yersel Lazer Tarayıcı Veri Değerlendirme Yazılımları.....	12
3.7 Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutu Birleştirme İşlemleri	13
4. FOTOGRAMETRİ VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	17
4.1 Fotogrametri	17
4.1.1 Fotogrametrinin Sınıflandırılması.....	17
4.1.1.1 Digital Fotogrametri ve SFM Yöntemi.....	20
4.1.2 Fotogrametri'nin Matematiksel Modeli	21
4.1.3 Fotogrametrik Değerlendirmede Yöneltilme İşlemleri.....	22
4.1.4 Hava Fotogrametrisi ve Uygulama Alanları	23
4.2 İnsansız Hava Araçları	24
4.2.1 İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları.....	26
5. UYGULAMALAR.....	27

5.1 Uygulama Alanı - 1	27
5.1.1 Verilerin Elde Edilmesi	28
5.1.1.1 Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi Ve Koordinatlandırılması.....	29
5.1.1.2 Yersel Lazer Tarama Ölçümünün Yapılması	31
5.1.1.3 İnsansız Hava Aracı İle Uçuşların Yapılması.....	34
5.1.2 Verilerin Değerlendirilmesi	37
5.1.2.1 Yersel Lazer Tarama Verilerinin Değerlendirilmesi	37
5.1.2.2 İHA İle Elde Edilen Verilerinin Değerlendirilmesi.....	39
5.1.3 Verilerin Analizi	41
5.1.3.1 Lazer ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması.....	41
5.2 Uygulama Alanı - 2	46
5.2.1 Verilerin Elde Edilmesi	47
5.2.1.1 Yersel Lazer Tarama Ölçümünün Yapılması	47
5.2.1.2 İnsansız Hava Aracı İle Uçuşların Yapılması	48
5.2.2 Verilerin Değerlendirilmesi	49
5.2.2.1 Yersel lazer tarama verilerinin değerlendirilmesi	49
5.2.2.2 İHA ile elde edilen verilerinin değerlendirilmesi	49
5.2.3 Verileri Analizi	51
5.2.3.1 Lazer ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
7. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

CM	Santimetre
GSD	Ground sampling distance
ICP	İterative closest point
İEYN	İteratif en yakın nokta
İHA	İnsansız hava aracı
M	Metre
MM	Milimetre
NM	Nanometre
S	Saniye
SFM	Structure from motion
YKN	Yer kontrol noktası
YTL	Yersel lazer tarayıcı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Yersel lazer tarayıcı modellerinden örnekler.	6
Şekil 3.2 Lazer tarayıcı sistemi ile kutupsal ölçüm sistemi.	6
Şekil 3.3 Lazer mesafe ölçüm yöntemleri.	7
Şekil 3.4 Uçuş zamanı esasına dayalı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	8
Şekil 3.5 Sürekli dalgalarda faz karşılaştırma ölçümü.	9
Şekil 3.6 Üçgenleme esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	10
Şekil 3.7 Yersel lazer tarama verileri birleştirme yöntemleri.	14
Şekil 3.8 İEYN yöntemiyle farklı iterasyonlarda nokta bulutu birleştirme görseli.....	15
Şekil 4.1 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi	18
Şekil 4.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması (Toprak 2014).....	19
Şekil 4.3 SFM tekniği için bindirmeli fotoğrafların çekim tekniği (Nyimbili 2016).....	20
Şekil 4.4 Fotogrametrinin matematiksel modeli.	22
Şekil 4.5 Hava fotogrametrisi.....	23
Şekil 4.6 Örnek döner kanatlı İHA modelleri	25
Şekil 4.7 İHA Türleri (Gençerk 2016)	25
Şekil 5.1 Uygulama alanı.	28
Şekil 5.2 Veri toplamak için kullanılan ekipmanlar.....	29
Şekil 5.3 Kontrol Noktalarının Koordinatlandırılması.....	29
Şekil 5.4 Çalışmada kullanılan Leica TS06 total station görseli.....	30
Şekil 5.5 Leica TS06 total station teknik özellikleri.	31
Şekil 5.6 Tarama pozisyonlarını konumlarını gösteren görsel.....	32
Şekil 5.7 Faro Focus 3D X330 ile yapılan tarama oturumu örneği.....	32
Şekil 5.8 Faro Focus 3D X 330 lazer tarama cihazının lazer saptırma ve görüş alanı görseli.....	33
Şekil 5.9 Faro Focus 3D X 330 yersel lazer tarama cihazının teknik özellikleri.	34
Şekil 5.10 Uygulama alanının İHA ile uçuşu öncesi görsel.....	35
Şekil 5.11 Uygulama alanının ve uçuş planlamasının görseli.....	35
Şekil 5.12 DJI Phantom 4 İHA görseli.....	36
Şekil 5.13 20 numaralı taramanın örnek koordinatlandırma görseli.	37
Şekil 5.14 20 numaralı tarama pozisyonunda 5 kontrol noktasından hesaplanan birleştirme sonucu.	38

Şekil 5.15 Oluşturulan lazer tabanlı nokta bulutu modelinin 30 kat seyreltilmiş halinin görseli.	38
Şekil 5.16 İşaretlenmiş 9 adet kontrol noktalarının gösterimi.	39
Şekil 5.17 Oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutu modelinin görünümü.	40
Şekil 5.18 Lazer tabanlı nokta bulutu modeli.	41
Şekil 5.19 Şekil 5.19. Görüntü tabanlı nokta bulutu modeli.	40
Şekil 5.20 Yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birlikte gösterimi.	42
Şekil 5.21 Yapı üzerinde belirlenen kesit hatları.	43
Şekil 5.22 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.	43
Şekil 5.23 Görüntü tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.	44
Şekil 5. 24 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.	44
Şekil 5.25 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.	45
Şekil 5.26 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.	45
Şekil 5.27 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.	46
Şekil 5.28 Uygulama alanı – 2.	47
Şekil 5.29 Lazer tarama ölçümünden bir görsel.	48
Şekil 5.30 Proje alanından İHA görseli.	48
Şekil 5.31 Lazer Tabanlı nokta bulutlarının gösterimi.	49
Şekil 5.32 Oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutu.	50
Şekil 5.33 Manuel birleştirme görseli.	50
Şekil 5.34 Cloud to Cloud birleştirme yöntemi ile birleştirme ve hata miktarı.	51
Şekil 5.35 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birlikte gösterimi.	52
Şekil 5.36 Birlikte kullanılan nokta bulutu modelinden oluşturulan plan hattı.	52
Şekil 5.37 Birlikte kullanılan nokta bulutu modelinden oluşturulan kesit hattı.	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1 Birleştirme işleminde kullanılmayan 6 adet kontrol noktasının karşılaştırılması.....	39
Çizelge 5.2 Dengeleme işleminde YKN' lere ait nokta konum doğrulukları	40
Çizelge 5.3 Dengeleme işleminde kullanılmayan 6 adet kontrol noktasının karşılaştırılması.....	40



1. GİRİŞ

Kültürel miras; Eski tarihlerden günümüze ulaşmış, insanların aitlik bağları içerisinde olmaksızın sürekli değişkenlik gösterilen hâlinde olan değerlerinin, dini inanışlarının bilgilerinin ve gelenek göreneklerinin bir yansıması olması diyerek betimlenmiş olan somut ve somut olmayan bütün varlıklar şeklinde tanımlanmakta olup; orada yaşayan insanların ve mekânların arasında zaman içerisinde meydana gelen etkileşimlerden kaynaklanan çevrenin bütün özelliklerini içermektedir (Anonim 2013).

Tarihî yapıların dokümantasyonu, kültürel mirasın korunabilmesi ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için oldukça önemlidir. Kültürel mirası daha iyi belgelemek için gelişen teknolojileri izlemek ve gelişen teknolojileri bu amaçlarda kullanmak gerekir. Kültürel mirasın korunmasını amaçlayan projelerde rölöve çalışmasının önemi oldukça fazladır. Rölöve projelerinin hazırlanmasında gelişen teknolojileri izlemek ve gelişen teknolojileri bu amaçlarda kullanmak gerekir. Günümüzde kullanılan teknolojilerin başında, LiDAR (Light Detection and Ranging) ve fotogrametrik yöntemler gelmektedir.

3 boyutlu koordinat ölçme cihazları ile yapılan ölçümlerde koordinat sayısının az olması nedeniyle gerçeklik bu cihazlarla yeterince temsil edilememektedir. Bundan dolayı diğer ölçüm cihazı olan 3 boyutlu yersel lazer tarayıcılar tercih edilmektedir. Objeye temas etmeden milimetre hassasiyetinde milyonlarca ölçüm noktası ile her açıdan kaydedilebilir (Schaich 2009).

Yersel lazer tarama, klasik ölçme yöntemleri ile karşılaştırıldığında 3 boyutlu nokta bilgisi verilerinin çok yüksek hızda elde edilebileceği bir ölçme tekniğidir. Tarama alanının 3 boyutlu nokta bilgileri, noktalar dizileri şeklinde hızlı ve yüksek doğrulukla ölçülmektedir. Yersel lazer tarayıcıların kullanım alanları çok fazla olmasına rağmen, özellikle tarihî yapıların rölöve çalışmalarında günden güne artan bir oranda kullanılmaktadır (Altuntaş ve Yıldız 2008).

Fotogrametrinin sağladığı sayısal veriler, 3 boyutlu vektörel veriler, görsel görüntüler ve yapının ortofoto görüntüleri tarihî yapının belgelenmesi ve korunması için üretilecek

projelerde yönlendirici ve yol gösterici olmaktadır. Bir yapının üç boyutlu modellenmesi, kültürel mirasın daha iyi anlaşılmasının ve yapının mevcut durumuyla gelecekte, koruma projelerinden sonraki durumunun karşılaştırılması ve değerlendirmesinin yapılabilmesinde kolaylık sağlamaktadır (Güleç 2007).

Fotogrametrik görüntü verileri veya yersel lazer tarama nokta bulutu model verileri çeşitli programlarda düzenlenerek, CAD programlarına aktarılarak projelendirilip, mimari amaçlarla kullanılabilir. İki yöntemde de noktaların koordinat bilgilerlerine sahip olunuşundan dolayı bu iki yöntem bütünleştirilebilir. Bu iki yöntemde birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tarihî eserlerin dökümantasyonu için ya da farklı 3 boyutlu modelleme çalışmaları için sadece bir yöntem ile yetinmek yerine lazer verileri ile birlikte fotogrametrik yöntemi bir araya getiren bütünleşik bir sistem kullanılması dökümantasyon çalışmaları için daha doğru bir seçim olacaktır (Kuçak 2014).

Birkaç yıldır SFM (Structure from motion) dilimize ise hareket ile nesne oluşturma olarak geçen SFM fotogrametrisi birçok çalışmaya alternatif sunmayı başarmıştır. Fotogerçekçi yüksek çözünürlüklü bir 3 boyutlu modeli işlemek için sadece farklı açılardan çekilmiş dijital fotoğraflar yeterlidir. Bu teknolojiye en çok uygun objeler, düzgün geometriye, yüzeylere, kenarlara sahip olmayan ve desenlerin tekrarlandığı, tek renkli, yarı saydam, yansıtıcı özelliğe sahip objelerdir (Schaich 2013).

Klasik fotogrametrik yöntemler ile geometrik model oluşturabilmek için, kamera kontrol ve yer kontrol noktalarının hassas 3 boyutlu konum ve oryantasyon verilerine ihtiyaç duyulur. SFM yönteminde ise model geometrisi ve kamera pozisyon ve oryantasyon bilgileri eş zamanlı ve otomatik şekilde çözülmektedir ve kamera kalibrasyon işlemine gereksinim duyulmamaktadır (Sarıtürk 2017)

Uygulamalarımızda yersel ve görüntü tabanlı olmak üzere oluşturmuş olduğumuz iki farklı üç boyutlu nokta bulutu modelimizi aynı lokal koordinat sisteminde bir araya getirerek, ihtiyaç durumunda birlikte kullanılabilirliğini gözlemlemiş olmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Mirdan (2018)' de, Yersel lazer tarayıcı ile Alay Han' da iç mekanda ve dış mekanda taramalar yaparak 3B nokta bulutu modelleri oluşturmuştur. Yersel lazer tarama sisteminin tek başına en uygun ve en çok tercih edilen sistem olduğunu açıklamıştır.

Beg (2018)' de, 3 boyutlu modellemede yersel lazer tarama ve insansız hava araçları verilerinin birlikte kullanılmasını Kilistra Antik Kenti üzerinde incelemiştir. Tarihi eserlerin korunmasında yakın fotogrametrik uygulamaların yanı sıra yersel lazer tarayıcı ve İHA verilerinin kullanımına değinmiştir. Kullanılan bu yöntemlerin klasik yöntemlere göre daha hızlı, ekonomik, yüksek doğruluklu sonuçlar sağladığını belirtmiştir. Sonuç ürünlerin farklı formatlarda veriler elde ederek istenilen plan, kesit, sanal gerçeklik gibi çıktılar elde edilebileceğini göstermiştir.

Çelik (2016)' da, Köprü ayağının modeli çevresindeki oyulma ve birikme desenlerinin fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri ile incelenmesini araştırmıştır. Konuyu ele alırken köprü ayaklarının akarsular içinde inşaa edilmelerinden dolayı akarsuların çeşitli oyulma ve birikme bölgeleri oluşturduklarını belirtmiştir. Bu çalışma için yüzey modellerini incelemek üzere farklı çözünürlükte yersel lazer tarayıcıdan elde ettiği nokta bulutları ve fotogrametrik yöntemler ile elde ettiği nokta bulutlarını kullanmıştır. Yüzey modellerini oluşturken kriging, doğal komşuluk, lineer ve ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemlerini kullanmıştır. Uyguladığı deneylerde laboratuvar koşulları, su akımındaki değişiklikler, kum özellikleri, deneyden önce kum yüzeyinin düzlemsel farklılıkları gibi etkilerden kaynaklanan hataları incelediğinde gerek fotogrametri gerekse yersel lazer tarama ölçümlerinden ve enterpolasyon yöntemleri sonucunda oluşan hataların göz ardı edilebilecek düzeyde olduğunu gözlenlemiştir.

Mohammed (2016)' da, Kültürel mirasın belgelenmesinde dökümantasyon tekniklerinin karşılaştırılmasını Eşrefoğlu Camii' nde incelemiştir. Bu çalışmada üç farklı yöntemi ayrı ayrı kullanarak avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir. Yersel fotogrametri, İHA ile fotogrametri ve yersel lazer tarayıcıları baz alarak, her bir yöntemin diğerine alternatif olarak değil destekleyici olduğunu söylemiştir.

Ulvi (2015)' de, Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında(yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği açısından bir çalışma , İnsansız Hava Araçları' nın birçok farklı amaçlar için kullanılabildiğini belirtmiştir. Bu çalışmada farklı mühendislik çalışmaları olarak söylenebilen, hâlihazır harita oluşturulması, kübaj hesabı, ortofoto harita üretimi gibi uygulamaları incelemiş ve arazi veya ofis çalışmalarında çeşitli problemlerle karşılaşılabilceğini söylemiştir.

Hepyörük (2015)' de, Karacabey Türbesini konu alarak, tarihi ve kültürel yapıların belgelendirilmesi ve üç boyutlu modelinin oluşturulmasında yersel lazer tarayıcıların kullanım olanaklarını araştırmıştır. Üç boyutlu konum belirleme ve modelleme çalışmalarında kullanılmakta olan en son tekniklerden biride yersel lazer tarama yöntemidir. Bu yöntem tarihi eserlerin belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, madencilik, taşocağı ve kazı uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, kültürel mirasın korunması ve arkeoloji, afet izleme, kıyı uygulamaları, mimari ve bina ölçme, ulaşım ve altyapı gibi birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Üç boyutlu konum bilgileri yersel lazer tarayıcı ile ölçülürken objelerin doku bilgileri de dijital fotoğraf makinesi ve kameralar ile kaydedilmektedir. Farklı istasyonlardan bindirmeli olarak yapılan taramalardan elde edilen nokta bulutları yazılımlar sayesinde otomatik olarak birleştirilmekte ve üç boyutlu modeller elde edilmektedir.

Sauerbier et al. (2010)' da ele aldıkları çalışmada iki adet farklı İHA kullanılarak 3 farklı arkeolojik kazı alanında belgeleme çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin doğruluğu incelenmiştir ve insansız hava araçlarının arkeolojik alanlarda ve kültürel mirasın belgelenmesinde nasıl kullanılabilirliği araştırılmıştır.

3. LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar, 1960 yılından bu zamana kadar devam etmekte ve her geçen gün gelişimi gözlenmektedir. Yersel lazer tarama teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak gerçekten bir araştırma alanı hline gelmesi, 1900' l yıllarda olmuştur. Tek renklilik, iyi kolimasyon, yüksek güç, kısa atımlar veya lazer ışığının ayarlanması muhtemelliği gibi lazer radyasyonunun belirli niteliklerinden dolayı ölçümler için kullanılan bu teknolojinin avantajı, daha yeni fark edilmiştir. Hızlı ve minimum giderle, ölçülen obje/objeler (3B model) hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır (Altuntaş ve Yıldız 2008).

Lazer tarayıcılar ölçülecek nesneyi yatay ve düşey yönde olmak üzere belirli bir açıda nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu modeli hâlinde görüntülenmesini sağlar. Elde edilen bütün lazer noktaları için tarayıcı cihazı merkezli kutupsal koordinatları lmer (Lichti ve Gordon 2004).

Hızlı bir şekilde ve olabilecek minimum giderle, tüm obje üzerinde eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri sayesinde sağlanmaktadır. Tarama sresinin kısalığı, ölçülen nokta sayısının fazlalığı, taranan objenin gerçek modeline en uygun nokta bulutu modellerinin elde edilmesi ile günümüzde yersel tarama teknolojisini göz önüne çıkarmıştır. Lazer tarayıcıların doğruluk araştırması ile alakalı bir çok metot geliştirilmiştir ve sonuçları yayımlanmıştır. Bu sonuçlara göre, lazer tarayıcıların ölçü doğruluğu uzun mesafelerde (>1000 m) 10 cm, lazer ışınının yapısına bağlı olarak azalsa da kısa mesafelerde (<300 m) lm hassasiyeti 1 cm civarındadır (Altuntaş ve Yıldız 2008).

Günümüzde Leica, Zoller Fröhlich, Faro, Trimble, Riegl gibi markaların sektörde ön planda olduğunu söylebiliriz (şekil 3.1).

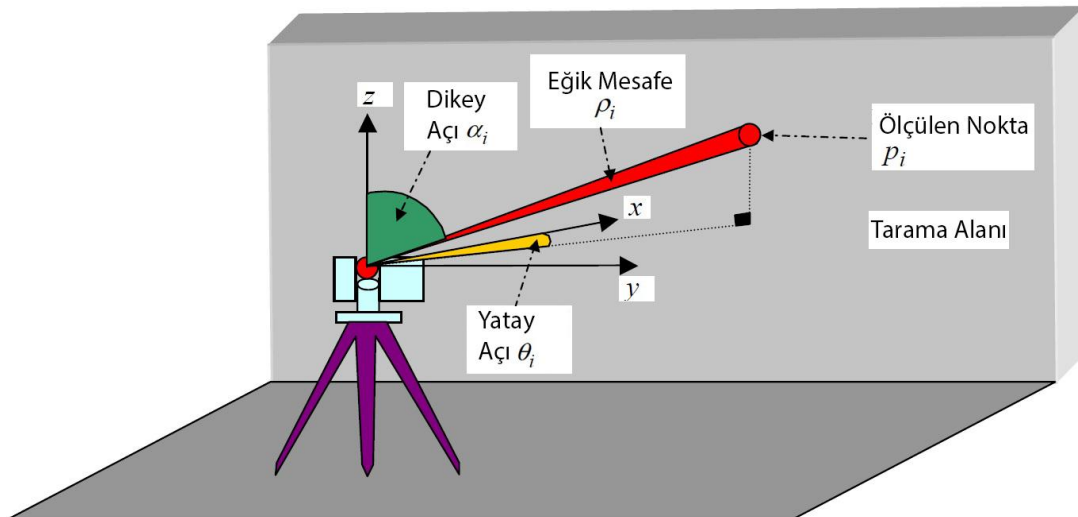


Şekil 3.1 Yersel lazer tarayıcı modellerinden örnekler.

3.1 Lazer Tarayıcılar İle Objelerin Sayısallaştırılması

Lazer tarayıcılar, ilgilenilen alanı çok yüksek bir frekansla ölçen küresel ölçüm sistemleridir. Her bir nokta için tarayıcıdan çıkış ve dönüş sinyalleri ile eğik mesafe ve iki farklı dikey ve yatay açı hesaplanmaktadır (Şekil 3.2). Böylelikle tarayıcının durma noktasına göre, tarama alanının üç boyutlu konumu tam olarak tanımlanır. Bu ölçümler ve taranan noktaların üç boyutlu bilgileri arasında ki geometrik ilişki denklem 3.1 de gösterildiği gibi hesaplanabilir (Mohammed 2008).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \rho_i \begin{bmatrix} \sin \theta_i \sin \alpha_i \\ \cos \theta_i \sin \alpha_i \\ \cos \alpha_i \end{bmatrix} \quad (3.1)$$



Şekil 3.2 Lazer tarayıcı sistemi ile kutupsal ölçüm sistemi.

x, y, z = nokta bulutu koordinatı.

ρ_i = lazer tarayıcı aleti ile ölçülen nokta arasındaki eğik mesafe

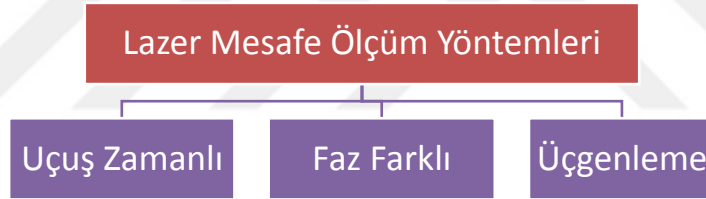
θ_i = lazer tarayıcı aleti ile ölçülen nokta arasındaki yatay açı

α_i = lazer tarayıcı aleti ile ölçülen nokta arasındaki dikey açı.

3.2 Lazer İle Mesafe Ölçme Yöntemleri

Yersel lazer tarama ölçmelerinde en önemli faktör, cihaz ile ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer mesafe ölçümleri için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme, faz farkı ölçümü, ışının gidiş/dönüş zamanı ölçümüdür (Lichti D.D. ve Gordon S.J. 2004).

- Uçuş zamanı esaslı lazer mesafe ölçümü
- Faz farkı esaslı lazer mesafe ölçümü
- Üçgenleme esaslı lazer mesafe ölçümü (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Lazer mesafe ölçüm yöntemleri.

3.2.1 Uçuş Zamanı Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi

Bir lazer ışını objeye gönderilir. Gönderici ile obje yüzeyi arasındaki mesafe, sinyal gönderimi ile alımı arasındaki uçuş zamanıyla ölçülür (Şekil 3.4). Bu prensip, total stationların çalışma prensibi ile aynı olduğundan dolayı da bilinmektedir. Motor bir total station tarama cihazı olarak çalıştırılmaya programlanabilmektedir. Fakat cihazın ağırlığı sebebiyle eksenini etrafındaki artan rotasyon düzeyleri yeterince hızlı değildir. Bunlarla birlikte sinyalin zamanı fazla vakit alır ve açısal değerleri kodlanmış çemberlerden zor bir halde okunmaktadır. Bundan ötürü ölçüm oranları daha düşük olur. Lazer tarayıcılar, lazer ışının açısal sapması için ufak dönüş cihazları ve uzunluğu hesaplayabilmesi için basit algoritmalar kullanır. Uzunluk ölçümlerinin genel standart

sapmaları, birkaç milimetre olmaktadır. 3 boyutlu doğruluğu aynı zamanda, lazer ışının açısal noktalama doğruluğundan etkilenir (Hepyörük 2015).

Işığın hızını bildiğimiz düşünüldüğünde; tarama cihazından objeye olan uzaklığı, azimut açısı, ışın açısı ve lazer ışınından yayılan bütün noktaların konumu denklem 3.2 de olduğu gibi hesaplanabilmektedir (Slop and Hack 2004).

$$2R = c * \Delta t = c * (t_r - t_e) \quad (3.2)$$

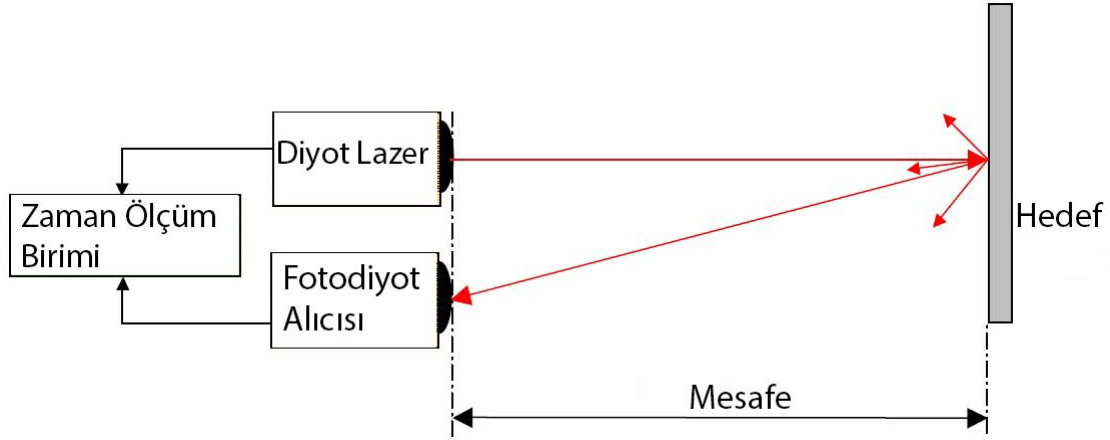
R = Lazer tarayıcı ile hedef obje arasındaki mesafe,

C = Işık hızı,

Δt = Lazer ışınının gidiş geliş süresi

t_r = Lazer ışının çıkış zamanı

t_e = Lazer ışınının dönüş zamanı

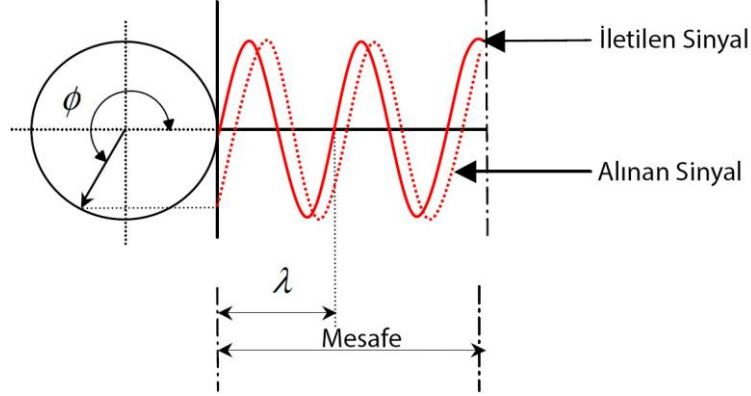


Şekil 3.4 Uçuş zamanı esasına dayalı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

3.2.2 Faz Farkı Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi

Lazer sürekli bir şekilde sinyali iletir ve uzaklığı lazer ışınına ait ışın yoğunluğu modülasyonu veya sinüsoidal sinyal gibi etkenlerle belirlenebilir. Sinüsoidal sinyal, uçuş süresi esaslı lazerde olduğu gibi zaman gecikmesi yoluyla alınır. Fakat, lazer sinyalinin periyodu bilindiğinden ve dolayısıyla hareket süresi alınan ve iletilen sinyal arasındaki faz farkı ile doğru orantılıdır (Çelik 2016).

Faz farkı esaslı lazer tarayıcılar ile mesafe ölçümü Denklem 3.3' de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Sürekli dalgalarda faz karşılaştırma ölçümü.

$$2R = N * \lambda + \Delta\lambda \quad (3.3)$$

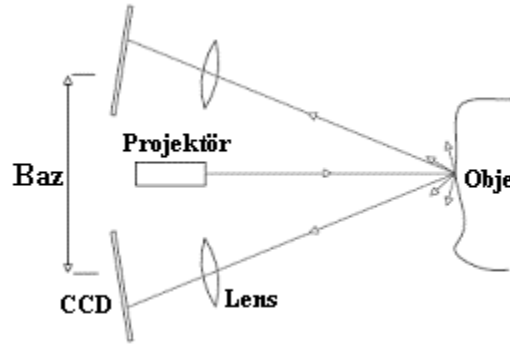
R = Lazer tarayıcı ile hedef obje arasındaki mesafe

N = Dalga boyu sayısı

$\Delta\lambda$ = Kalan dalga boyu

3.2.3 Üçgenleme Esaslı Lazer Mesafe Ölçme Yöntemi

Üçgenleme fikrinin esası, bir değil iki adet lazer ışınının olmasıdır. İki ışın iki ayrı lazerle veya tek bir lazerin ışınlarına ayrılmasıyla oluşturulabilmektedir. İki ışın hedef objesinde kesişir (Şekil 3.6). İki lazer ışın kaynağının konumu bilinmektedir. İki ışının kesişmesiyle oluşan açı ölçülerek, hedef objesine olan uzaklığı hesaplanabilmektedir (Angelopoulou ve Wright 1999).



Şekil 3.6 Üçgenleme esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

3.3 Lazer Sınıfları

Lazer ışınları, insanlar üzerinde oluşabilecek tehlikeye göre 4 sınıfa ayrılmıştır.

1. Sınıf lazer: Erişilebilir lazer radyasyonu zararsız olan lazerlerdir.
2. Sınıf lazer: lazer radyasyonu yalnızca görünür spektral bölgede (400 Nm ila 700 Nm) bulunur. Göze zararı olmayacak 0.25s ışınlama süresi sahiptir.
- Sınıf-3a lazer: Radyasyon kesiti optik aletler tarafından daha küçük yapılsa erişilebilir lazer ışını göz için tehlikeli hale gelebilir. Diğer durumlarda zararsız olan lazer sınıfıdır.
- Sınıf-3b lazer: Yansıması tehlike yaratmayan, özel durumlarda göz ve cilt için tehlikeli olabilecek lazer sınıfıdır. Lazere doğrudan bakılmaması gerekmektedir.
4. Sınıf lazer: Erişilebilir lazer radyasyonu göz ve cilt için tehlikeli olan lazer sınıfıdır. Lazer radyasyonu yangın ve patlama tehlikelerine sebep olabilir (Mohammed 2008).

3.4. Yersel Lazer Tarama Kullanım Alanları

Yersel lazer tarayıcılar 3B nokta verisi elde edinilmek istenilen birçok alanda kullanılabilir. Çoğu sektörde geniş bir kitleye hitap edebilen lazer tarayıcıların Ülkemizde en çok kullanım alanlarını ve diğer kullanım alanlarını aşağıda ki gibi sıralayabiliriz.

- Tarihi ve kültürel yapıların korunması
- Arkeoloji alanında
- Madencilik alanında
- Mimarî ve inşaat mühendisliği alanında
- Tersine Mühendislik alanında

- Gemi ölçümleri alanında
- Deformasyon çalışmalarında
- Kaza yeri incelemelerinde
- 3B sanal gerçeklik alanında
- Volkan hareketleri gözlemlerinde

3.5 Yersel lazer tarama verilerinde hata kaynakları

3.5.1 Aletsel Hatalar

Lazer telemetresi ile birlikte lazer ışını saptırma mekanizmasının fiziki özelliklerinden dolayı kaynaklanan hatalardır. Alet bazlı hatalar, lazer ışınının uzunluk ölçümleri ile birlikte lazer taramalarının doğal sınırlamalarından dolayı ortadan kaldırılamadığı gibi ayrı olarak kullanıcı ve teknik personel tarafından dahi yok edilememektedir. Yalnızca cihazın kalibre edilmesi ve geliştirilmesi sayesinde giderilebilmektedir (Mohammed 2016).

Lazer uzaklıkölçerin mesafe ölçümü esnasındaki hassasiyeti ile doğruluğu, şimdiye kadarki lazer tarayıcıların performansının üzerine ele alınan en önemli araştırma konularının içerisinde yer almıştır. Herhangi bir lazer uzaklıkölçerin hassasiyet ve doğruluğu, tesadüf ve sistematik hatalara bağlıdır (Karasaka 2012).

3.5.2 Çevresel Hatalar

Lazer taramalarda çevre faktörü hatalı ölçümler yapısını etkilemektedir. Çevresel hatalar faktörlerine örnek olarak; ortamın sıcaklığı, nem oranı, ortamda oluşan hareketlilik yani ölçüm esnasındaki titremeler, ortamdaki ışık örnek gösterilebilmektedir. Çevresel hataları azaltmak için çevresel faktörleri kontrol etmek zordur. (Gümüş 2009).

Yersel lazer tarama ölçümlerindeki çevresel faktörlerin ölçüm üzerindeki hataları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Mohammed 2016):

- Lazer ışınlarının atmosferde yayılması
- Atmosferik şartlardan dolayı kaynaklanan hatalar
- Olumsuz hava şartlarının ölçümlere olan etkisi.

3.5.3 Objeye İlgili Hatalar

Bu konu başlığında ki hatalar, taranan objeye alakalı hatalardır. Bu hataların en önemli faktörü, obje yüzeylerin yansıtma özelliğidir. Yersel lazer taramanın, yansıma olmayan nesneler üzerinde ölçüm yapılabilen teknik olduğundan dolayı, mesafe ölçümlerinin sonucunu ve sinyal gürültü oranını yüksek ölçüde etkileyen nedenlerin, yansırılık özelliğine dayandığı söylenebilmektedir. Yansırılık, cihazdan çıkan sinyal ile lazerin gücü arasında olan oran olarak tanımlanmıştır (Gümüş ve ark, 2009).

Yüksek yansıtırlık özelliğini taşıyan yüzeyler, gönderilen lazer ışınının çoğunu sensörlere geri yansıttığından dolayı mesafe ölçümlerinde az yansıtırlık özelliği olan yüzeyler ile kıyaslandığında daha yüksek doğruluk sağlamakta ve daha güvenilir olmaktadır. Lazer tarayıcı ile nesne yüzeyi arasındaki ölçülen mesafe hassasiyeti, yüksek yansıtma özelliğine sahip yüzeyler için yüzey ile arasındaki uzaklık ile fazla değişmezken söz konusu olan ölçüm duyarlılığı düşük yansıtma özelliğine sahip yüzeylerde yüksek ölçüde değişmektedir. Eğer yüzeylerin yansıması çok yüksek veya çok düşükse lazerin çıktığı cihaz ile obje arasındaki mesafe ya hiçbir şekilde kaydedilemez ya da kabul edilemeyecek bir doğrulukta kaydedilmiş olur (Karasaka 2012).

3.6 Yersel Lazer Tarayıcı Veri Değerlendirme Yazılımları

Yersel lazer tarama ölçümlerinin en önemli işlem adımlarından biride yazılımlardır. Bütün yersel lazer tarama sistemleri anlık olarak sistem bileşenlerini izlemek, taranan verileri toplamak ve kendine özel yazılımlar kullanır. Günümüzde tarama datalarını işleyen yazılımların sayısı her geçen gün artmaktadır. Kullanılacak yazılım seçilirken, ihtiyacımızı karşılayabilecek özelliklere sahip yazılımlar seçilir. (Karasaka ve Yıldız 2015).

Yersel lazer tarayıcı datalarını değerlendirebildiğimiz bazı yazılımları şunlardır (Mohammed 2016);

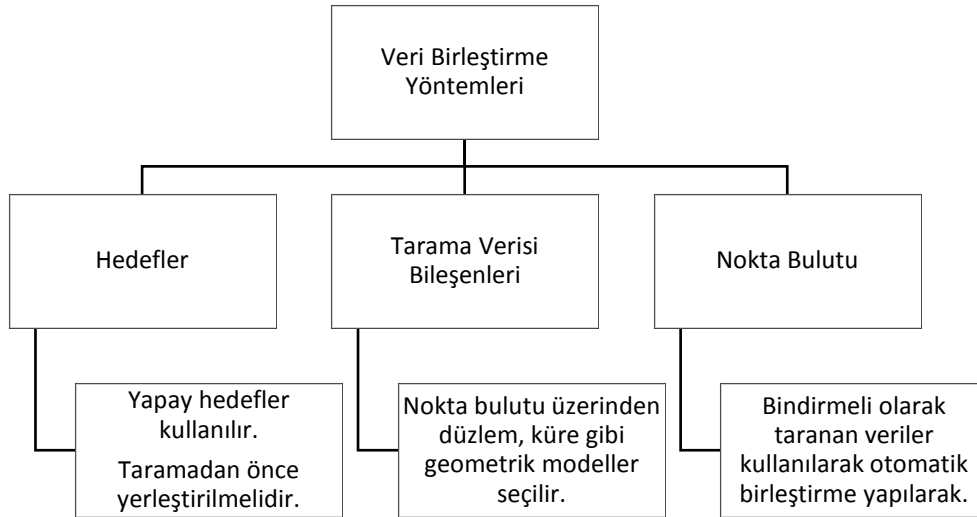
- Faro Scene
- LupoScan
- Gexel Reconstructor
- Topcon (scan master)

- Lieca (geosystem hds cyclone)
- Riegl (Riscan)
- Netfab (flexscan 3d)
- Minolta (polygon)
- Trimble (LFM ve realwork)
- Z+F imager (LFM)
- Maptek (I-Site Studio Software)
- PointCab

3.7 Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutu Birleştirme İşlemleri

Yersel lazer tarayıcılardan elde ettiğimiz nokta bulutu verilerini çeşitli yöntemler ile birbirleri ile ilişkilendirmek gerekmektedir. Her oturumda elde edilen yersel lazer tarama verileri kendi koordinat sistemine sahiptir. Farklı Dönüklük değerlerine sahip tüm taramaların tek bir mutlak koordinat sisteminde olması gerekir. Böylece tarama yapılan yapının, nesnenin veya alanın tek bütünleşik bir nokta bulutu verisi elde edilmiş olur.

Yersel lazer tarama verilerini nasıl birleştireceğimizi tarama işlemine başlamadan önce belirlemek ve ona göre sahaya çıkmak gerekir. Seçeceğimiz yöntem bize zaman, maliyet, pratiklik, yüksek doğruluk gibi çeşitli faktörlerde kazanç sağlayabilir (Şekil 3.7).

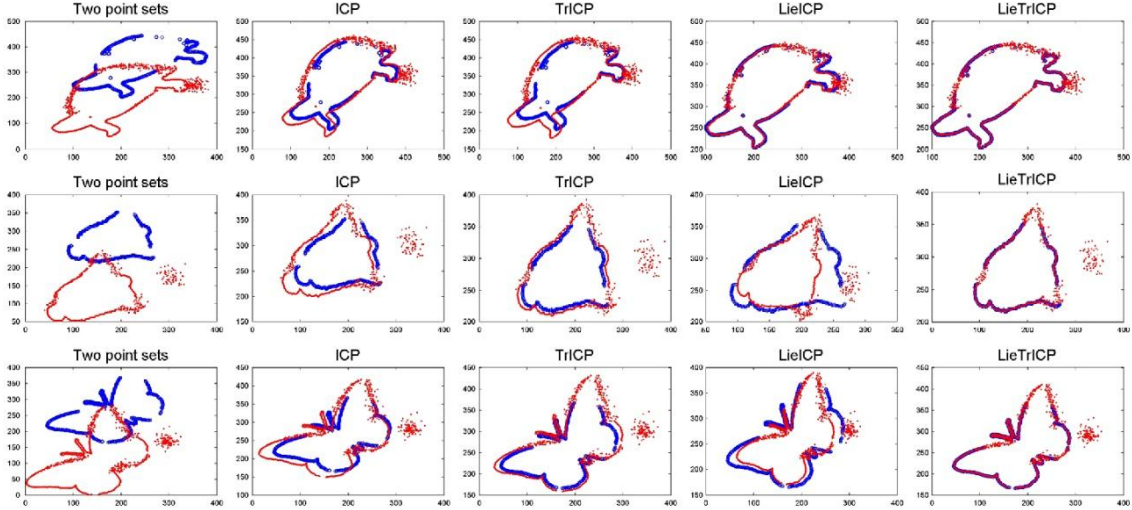


Şekil 3.7. Yersel lazer tarama verileri birleştirme yöntemleri.

Nokta bulutu modellerinin referans olarak belirlenen koordinat sisteminde birleştirilmesi aşağıdaki yöntemler ile yapılabilir.

1. İteratif en yakın nokta (İterative closest point - ICP) yöntemi,
2. En küçük karelerle 3B yüzey eşleme (Least square 3D matching) yöntemi,
3. Bağımsız model yöntemi (Independent model triangulation),
4. Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmeler (Direct georeferencing) (Altuntaş ve Yıldız 2008).

İteratif en yakın nokta (İEYN) yöntemi kolay uygulanabilen ve en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle eşlenik nokta bulutlarının yaklaşık yöneltmelerinin yapılması gerekir. Eşlenik nokta bulutlarından birisi referans kabul edilerek diğer nokta bulutunun dönüşümü iteratif olarak yapılır. Referans nokta bulutundaki noktalar hedef nokta bulutundaki en yakın noktalarla eşleştirilerek her iterasyonda dönüşüm parametreleri hesaplanır (Şekil 3.8). Eşlenik noktalar arasındaki fark belirlenen bir minimum değere ulaştığında ya da iterasyon sayısı belirlenen maksimum değere ulaşıncaya kadar iterasyona devam edilir.



Şekil 3.8 İEYN yöntemiyle farklı iterasyonlarda nokta bulutu birleştirme görseli.

YLT verileri ile oluşturulan modelin diğer konumsal verilerle ilişkilendirilebilmesi için jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bu sayede, oluşturulan 3B modelin diğer konumsal bilgilerle ilişkisi kurulabilir ve coğrafi bilgi sistemlerinde (kent bilgi sistemi ve Google Earth gibi) konumsal sorgulama yapılabilir.

Jeodezik koordinat sistemi ulusal ya da küresel (WGS84) ölçekli olabilir. Ölçülerin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi (Georeferencing) olarak adlandırılır.

Lazer tarayıcı ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde uygulanan yöntemler;

- Dolaylı jeodezik koordinatlandırma,
- Doğrudan jeodezik koordinatlandırma,
- Veri işlemeye dayalı jeodezik koordinatlandırma olarak üçe ayrılır (Altuntaş 2015).

Jeodezik koordinatlandırmada hangi yöntemin kullanılacağı lazer tarayıcı aletinin konfigürasyonuna, ölçme sahasının büyüklüğüne ve istenilen ölçü doğruluğuna göre belirlenir.

Dolaylı jeodezik koordinatlandırma, lazer tarayıcı nokta bulutu ve jeodezik sistemde koordinatları bilinen kontrol noktaları ile yapılmaktadır. En az üç kontrol noktası kullanılarak koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametreleri hesaplanır. Kontrol noktaları lazer tarama işleminden önce özel işareti (kağıt hedefler ya da küre ve silindir

hedefler) ile ölçme alanında işaretlenmiş olabileceği gibi model üzerinde seçilebilen belirgin detay noktaları da kontrol noktası olarak kullanılabilir. Bu yöntemde kontrol noktalarının jeodezik koordinatlarının yersel yöntemlerle ölçülmesi gerekir. Dolayısıyla kontrol noktalarının işaretlenmesi ve koordinatlarının ölçülmesi ilave zaman gerektirir ve maliyeti artırır. Kontrol noktalarının jeodezik koordinatları total station ya da GNSS alıcıları ile ölçülebilir. Diğer yandan, bu yöntemde jeodezik koordinat sistemine dönüşümün yüksek hassasiyette yapılabilmesi için üçten fazla kontrol noktası kullanılmalıdır (Altuntaş 2017).



4. FOTOGRAMETRİ VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

4.1 Fotogrametri

Fotogrametri sözcüğünün tarihi kökenine baktığımız zaman “fotos”, “gramma” ve “metron” sözcüklerinin birleşmesi sonucu oluştuğu görülmektedir. Fotos; ışığı, gramma; çizimi, metron ise ölçme manasını temsil etmektedir. Bu kelimelerin birleşmesi sonucunda elde edilen anlamı ise , “ışık yardımıyla ölçme-çizim” işidir.

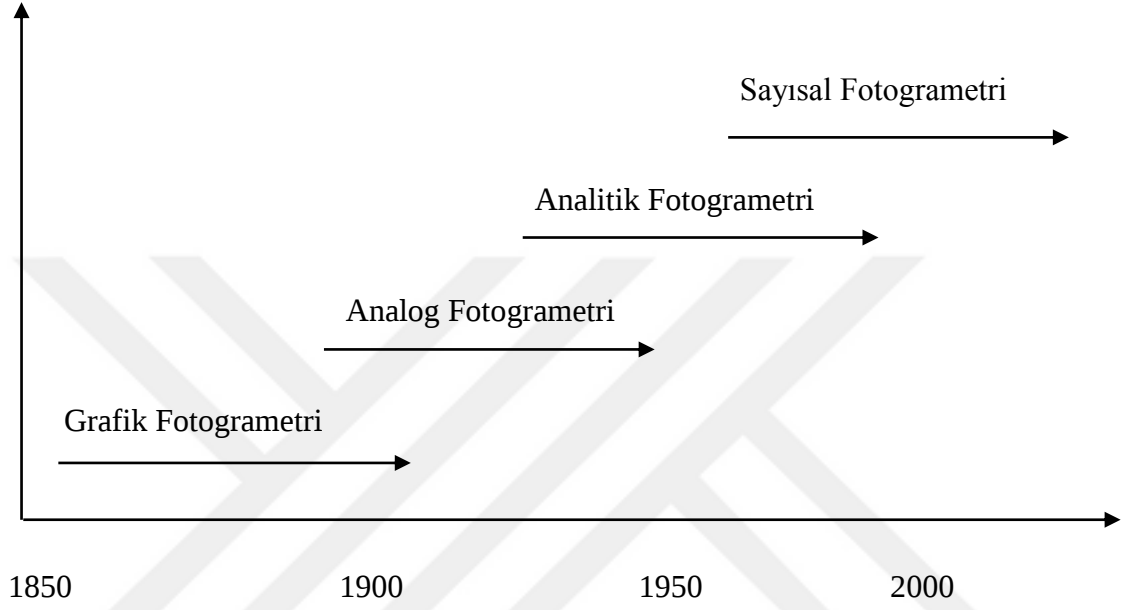
Fotogrametri, fotoğrafların istenilen şartları sağlayan koşullar içinde elde edilmesi şartıyla objenin ve çevresinin hakkında doğru ve güvenilir bilgilere ulaşmamızı sağlayabilir. Fotogrametrinin tarihsel gelişimine bakılacak olursak, fotoğrafın bulunmasından daha öncelerine dayanmaktadır. Teknolojik gelişmelerin yaşanması ise fotogrametrinin gelişmesine imkan sağlamıştır. Sayısal görüntülerin bulunmasının ardından ve bilgisayar sektörünün gelişmesine bağlı olarak sayısal fotogrametri dönemi başlayarak günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yaşayan vd. 2011).

Fotogrametrinin sayesinde eski eserler belgelenebilmektedir. Bununla beraber bu yönde bilgisayar sistemli ortamlarda üç boyutlu modelleri oluşturulabilmekte, farklı bakış ve tematik bilgilerinin bulunduğu detaylandırılmış haritalar yardımı ile incelenebilmektedir. Etkileşimin açık olduğu çoğul ortamlarda gösterimleri de yapılabilmektedir. Bu gösterimler, geometrik hassasiyet değerlerine sahip olan dijital ve filmli fotoğraf makinalarıyla birlikte yüksek çözünürlüğe sahip tarayıcı cihazları ve görüntü değerlendirme yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Sözü geçen fotoğraf makineleri, tarayıcı cihazları ve yazılımlar sürekli olarak gelişmekte ve daha hassas, doğru ve kaliteli bilgilere ulaşmamızı sağlamaktadır (Turan 2004).

4.1.1 Fotogrametrinin Sınıflandırılması

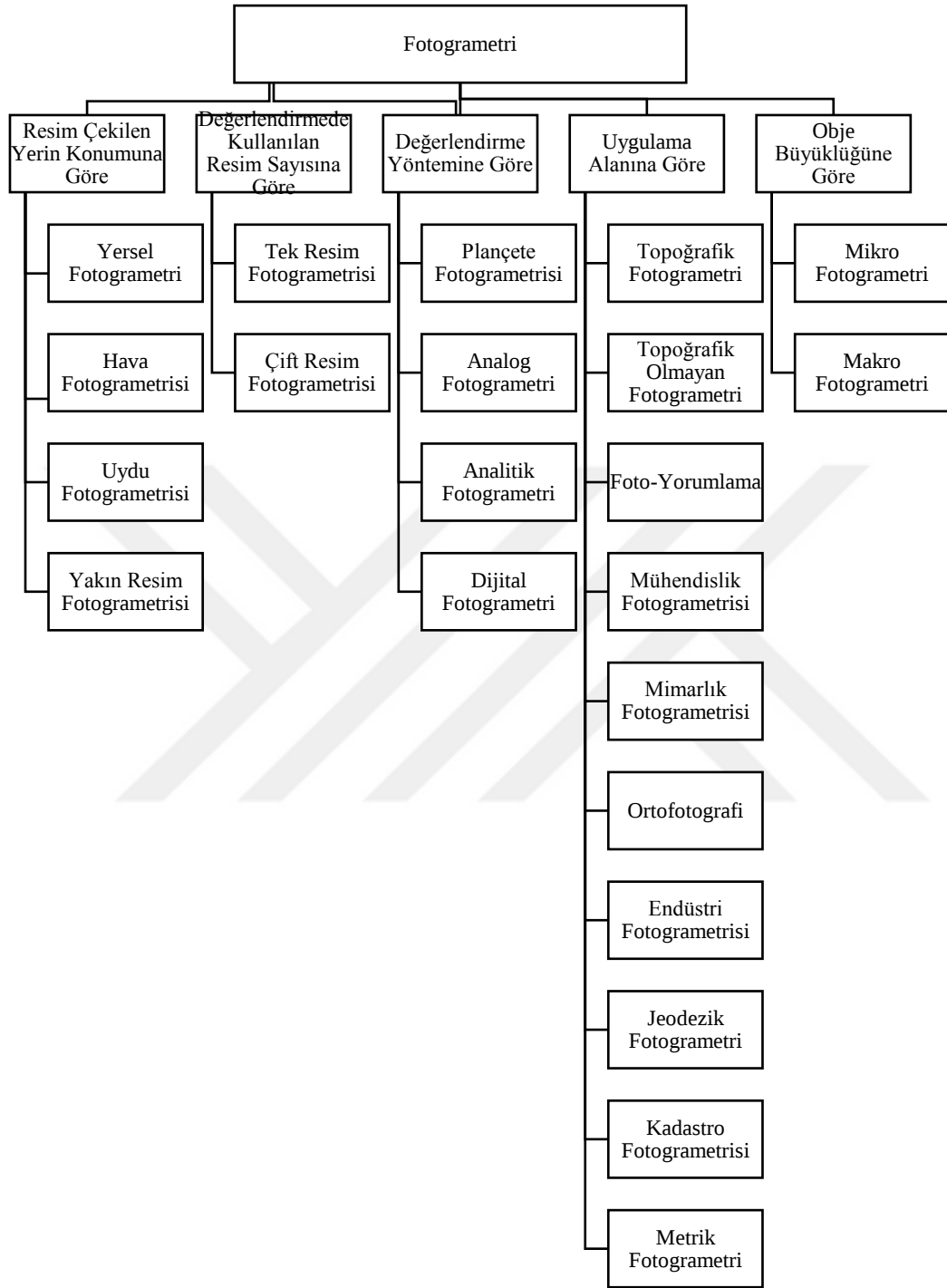
Fotogrametri farklı ölçülere göre farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Ayrıca uygulanan tekniklerin ve yöntemlerin geliştirilmesi, sınıflandırmaların da zamanla değiştirilmesin gereksinimi vardır. Grafikte, günümüz şartlarında ki uygulama alanları ile birlikte yapılış şekilleri ve uygulanan tekniğe göre sınıflandırma yapılmıştır (Ersoy 2006).

Fotogrametri bilimi incelendiği zaman, değerlendirme şeklinin teknolojinin gelişmesiyle birlikte çeşitli ve değişik formlara girmektedir. Matematik modelinde değişiklik olmaması ile birlikte bu değişim dört farklı şekilde görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi.

Fotogrametrinin asıl hedefi fotoğrafları kullanarak uzak mesafedeki objelerin geometrik verilerini elde etmektir. Fotogrametri, elde edilecek bilgilere, uygulama alanlarına ve değerlendirme yöntemlerine bakarak sınıflandırılabilir (Şekil 4.2).

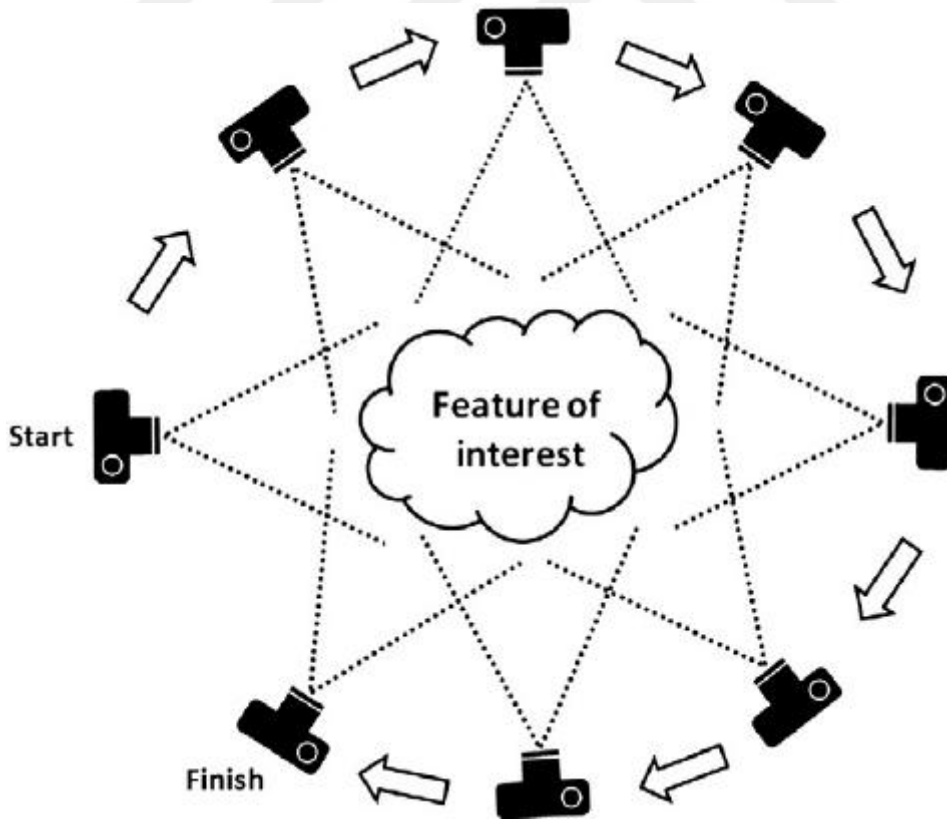


Şekil 4.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması (Toprak 2014).

4.1.1.1 Digital Fotogrametri ve SFM Yöntemi

Dijital fotogrametri, objelere ait iki boyutlu görüntü verilerinden üç boyutlu bilgi sağlayan, sayısal resim veya görüntü ile çalışan fotogrametri bilimidir. Dijital resimler, metrik kameralar ile elde edilmiş analog resimlerin tarayıcılar ile sayısal hale getirilmesi ile veya direkt dijital kameralar ile elde edilir. Dijital fotogrametri ile sayısal fotoğrafların yorumlanması ve işlenmesi gibi birçok uygulama alanı ortaya çıkmıştır (Karslı 2015).

Hareketten Yapı (SFM), bir objenin veya nesnenin üç boyutlu yapısını yeniden oluşturmak için iki boyutlu bir dizi seri kullanan bir tekniktir. SFM ile LİDAR' a benzer nokta bulutu tabanlı üç boyutlu modeller üretilmektedir. Bu yeni teknik bilgisayarlar, dijital kameralar ve İHA' ların gelişmeleri sayesinde ortaya çıkmıştır. Geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşan bu yöntem çok kapsamlı ve pahalı ekipmanlar gerekmeden üç boyutlu modeller üretilmesine olanak sağlamıştır (Nyimbili ve Demirel ve ark. 2016).



Şekil 4.3 SFM tekniği için bindirmeli fotoğrafların çekim tekniği (Nyimbili 2016).

4.1.2 Fotogrametri'nin Matematiksel Modeli

“Matematik model, cisim uzay koordinat sisteminde noktaların fiziksel oluşum esaslarının matematiksel ifadeler olarak gösterimidir. Kolinearite koşuluna göre, cisim uzayındaki noktaları gösteren ışınlar fotoğraf makinesi izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca izdüşürülür. Bu biçimde elde edilen veriler, tekrar inşa probleminin çözümlerini iki adımda gerçekleştirmektedir. Öncelikli aşama fotoğraf makinesi iç yöneltme parametrelerinin belirlenmesidir. İkinci adım ise dış yöneltme adıdır. Burada X_0, Y_0, Z_0 koordinatlarına sahip istasyon noktasından ω, ϕ, χ dönüklük değerleri ile elde edilen fotoğrafların çizim uzay koordinat sistemindeki koordinatlarının hesaplanması hedeflenmiştir. Cisim uzay koordinat sistemi, noktaların X, Y, Z cisim koordinatlarını, resim koordinat sistemi x, y, z resim koordinatlarını gösteren sağ el kartezyen koordinat sistemidir” (Şekil 4.3) (Çelik, 2016).

Resimlerin cisim koordinat sistemine olan dönüşümünün matematiksel gösterim bağıntısı Denklem 4.1 gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ 0 - c \end{pmatrix} = k * D * \begin{pmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'deki eşitlikte;

x_p, y_p : Resim koordinatları,

x_0, y_0 : Resim ana nokta koordinatları,

c : Odak uzaklığı,

k : Ölçek faktörü,

D : Dönüşüm matrisi,

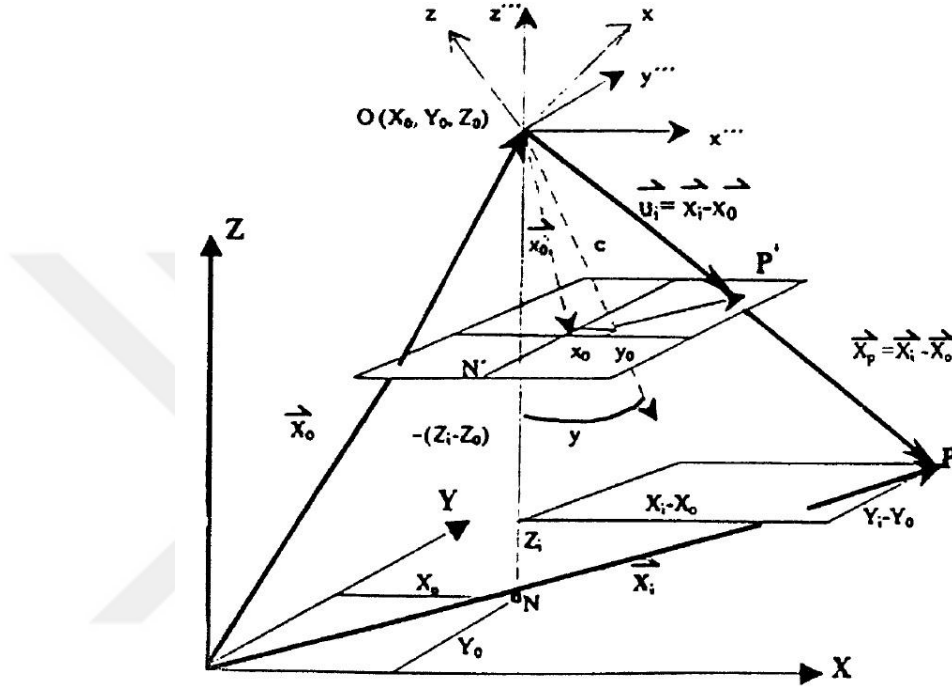
X_p, Y_p, Z_p : Cisim koordinatları,

X_0, Y_0, Z_0 : İzdüşüm merkezi koordinatlarıdır.

k ölçek faktörü oluşan matematiksel bağıntılardan yok edilirse Denklem 4.2'deki matematiksel ifadeler elde edilir (Çelik 2016).

$$f_1 = x - x_0 + c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (4.2)$$

$$f_2 = y - y_0 + c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$



Şekil 4.4 Fotogrametrinin matematiksel modeli.

4.1.3 Fotogrametrik Değerlendirmede Yöneltilme İşlemleri

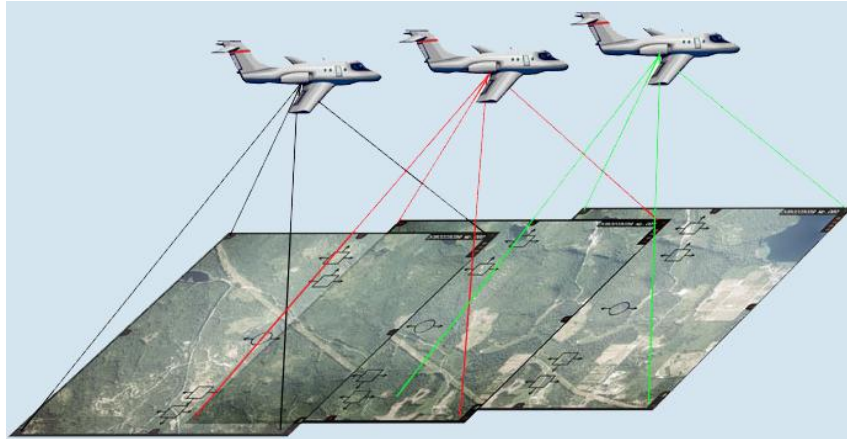
Fotogrametri ile değerlemede yöntemi fark etmeksizin yöneltilme adımlarının kesinlikle yapılması gerekir. Ayrıca fotoğrafların yöneltilmesi, fotoğraf çekimi esnasındaki konumlarının tekrar elde edilebilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Fotoğraf yöneltilme işlemi iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlar iç ve dış yöneltilmedir. Dış yöneltilme, kendi içerisinde iki şekilde karşılıklı ve mutlak yöneltilme olarak gerçekleştirilebilir. Bu durumda yöneltilme işlemleri üç temel aşamada yapılmaktadır. Bunlar;

1. İç yöneltilme
2. Karşılıklı yöneltilme
3. Mutlak yöneltilme' dir. (Seki 2017)

4.1.4 Hava Fotogrametrisi ve Uygulama Alanları

Hava fotoğrafları, kameralar aracılığıyla yer yüzeyinden belirli bir uzaklıkta çekilebilmektedir. Çekilen fotoğraflar ham görüntülerdir ve bizlere güncel bilgiler sağlamaktadır. Dolayısıyla belirli yükseklikten görüntü elde edilmesi sayesinde yeryüzünde büyük alanlarla ilgili bilgileri sağlayabilmekte, büyük alanların haritalandırılabilmesi kolay ve maliyet olarak daha düşük yapılabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında hava fotoğrafları; büyük alanlarda rastlanan orman bölgelerinde ki yangınlarının izlenmesi ve kontrol altına alınabilmesinde, harita çizimlerinde, çevresel kirliliğin tespitinde, toprak etütlerinde şehircilikte, ormanlık alanların görüntülenmesinde, sel felaketlerinde, tarımsal alanların incelenmesinde etkili olduğu söylenebilmektedir (Yetişen 2007).

Hava fotogrametrisinin, yorumlanması, ölçülmesi ve değerlendirmesi işlem adımları, havadan çekilen fotoğrafların kullanılması ile yapılırken, yersel fotogrametride ise yerden çekilen fotoğraflar kullanılmaktadır. Yerden veya havadan çekilen fotoğraflar, topografik ve topografik olmayan amaçlarda kullanılabilirler. Fakat topografik amaçlar için genel olarak hava fotogrametrisi kullanılmaktadır (Yetişen 2007).



Şekil 4.5 Hava fotogrametrisi.

4.2 İnsansız Hava Araçları

İHA'lar “ kullanılacağı ve hizmet edeceği alana göre, yarı otomatik, otomatik veya bunların birleşimiyle uzaktan kontrol edilen, çeşitli yüklemelerle, atmosferde veya dışında belirli bir süre aralığında belirtilen görevleri yerine getirebilen, insansız, tekrar kullanılabilir motorize hava araçları” olarak tanımlanır (Blyenburgh 1999).

Yerden kontrol edilebilir olmaları veya otomatik olarak uçuş planlaması yapılabilir olması İHA'ları cazip kılmaktadır. Genellikle üzerlerinde taşıdıkları kameralar ile çalışan İHA'lar haritacılıkta çok çeşitli alanlarda tercih edilmektedirler. Son yıllarda savunma sanayi ve askerî yatırımlar başta olmak üzere tarımdan, arkeolojiye, mimariden, turizme hayatın tüm alanlarında kendine yer bulmuştur (Omar ve Yakar 2016).

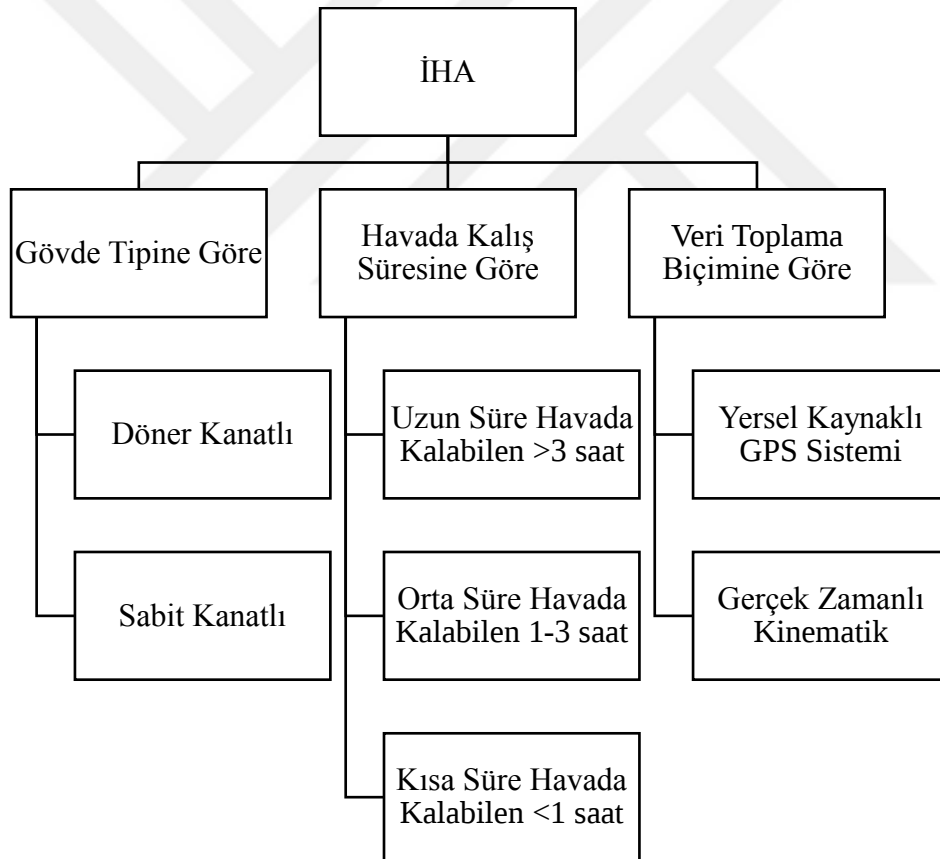
Farklı mühendislik problemlerinin çözümünde fotogrametrik tekniklerin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Ancak yüksek yapılı doğal ya da yapay detaylarda, fotoğraf çekme olanaklarının kısıtlı olması bu gelişimi bir nebze de olsa törpülemiştir. Bu nedenle günümüzde, fotogrametri tekniğinde kullanılan verileri elde etmek için, son zamanlarda büyük gelişim gösteren ve farklı amaçlar için kullanılabilen İHA taşıyıcı platformları da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Uysal 2013).

Kullanım amaçlarına göre birçok marka tarafından çeşitli İHA modelleri üretilmekte ve zamanla çeşitliliği artmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.6 Örnek döner kanatlı İHA modelleri.

İHA'lar türlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.



Şekil 4.7 İHA Türleri (Gençerk 2016).



Şekil 4.8 Sabit Kanatlı İHA.

4.2.1 İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları

İHA tehlike arz eden veya geçici olarak ulaşılamayacak yerlerde çalışabilmektedir. İHA bir durumu hızlı bir bakış şekliyle hem de ayrıntılı alan veriler sağlayabilir. Fakat öncelikle başarılı bir İHA operasyonu ve görev planlaması yapmak gerekir.

Arazi, ortofoto görüntülerinin ve İHA görüntü veya diğer algılayıcı verilerinden dokulu 3 boyutlu model çıkarımı, doğal afet görüntüleri, bina yıkılmaları, uçak kazaları, arama ve kurtarma operasyonları, orman yangılarını inceleme, heyelan ve volkan patlaması ve acil müdahale yöntemleri gibi zor şartlarda durumları koordine etmek amacıyla kullanılabilir. Kullanılan başka uygulama alanları kültürel miras alanlarını, enerji hatlarının gözlemleri, boru hatları denetimleri, barajları izleme ve gözlemleme gibi çalışmaları içermektedir.

Günümüzde, İnsansız Hava Aracı sistemleri aşağıda belirtilen alanlarda kullanılabilmektedir (Ulvi 2015) .

- Havadan haritalama hizmetleri
- Havadan arama ve kurtarma
- Hava gözetim hizmetleri
- Hava güvenlik hizmetleri
- Havadan Araştırma Hizmetleri

5. UYGULAMALAR

Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarımızı birlikte kullanabileceğimiz iki adet farklı özelliklere ve topografyaya sahip proje alanı seçimi yaparak, uygulamalarımızı gerçekleştirmiş bulunmaktayız.

İlk yapımız projeye uygun kubbeli bir mimariye sahip olan Yıldız Teknik Üniversitesi' nin Davut Paşa Kampüsü' nde bulunan Otağ-ı Hümayun seçilmiştir (Şekil 5.1).

İkinci proje alanımız ise yersel lazer tarayıcılar ile ölçümü zor olan, dağ yamacına kurulmuş önemli bir kültürel miras özelliğine sahip Trabzon' da bulunan Sümela Manastırı ele alınmıştır (Şekil 5.28).

Her iki uygulamada da yersel lazer tarayıcı ile ölçülebilen alanlar taranmıştır ve lazer tarayıcı ile ulaşılamayan alanlarda görüntü tabanlı nokta bulutu modelleri yardımıyla bütünleşik bir nokta bulutu modeli verisi oluşturulmuştur.

5.1 Uygulama Alanı - 1

Otağ-ı Hümayun, İstanbul Güngören'de Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü içerisinde 1483 tarihinde Sadrazam Koca Davut Paşa tarafından inşa edilmiştir. 1482-1491 yılları arasında sadrazam görevini sürdüren Koca Davut Paşa, burayı 1483'te Fatih Sultan Mehmet'in sefere gitmeden önce konaklaması için yaptırmıştır. Yapıldığı zamanlarda Otağ-ı Hümayun, İstanbul ile Edirne'yi birbirine bağlayan Kervan yolu denilen sol kol (Via Egnita) üstünde bulunuyordu. İnşaatın yapıldığı yer Bizans zamanında "Aretai" olarak adlandırılıyordu. Şehir surlarının dışarısında bulunan alanın Bizans zamanında önemi oldukça fazlaydı. Aynı zamanlarda Afamea Sarayı'nın da bu arazide olduğu söylenmektedir. Osmanlı Dönemi'nde oldukça önemli olan bu alan askerî amaçlar için kullanılmıştır. Avrupa'ya düzenlenecek olan seferlerin stratejik planlarının konuşulduğu önemli bir kışladır. "Davutpaşa Kışlası" adıyla bilinen alanın içerisinde bulunan Otağ-ı Hümayun (Hünkar Kasrı) Kanuni Sultan Süleyman Dönemi'nde yıkılarak yeniden inşaatı gerçekleştirilmiştir. Hünkar Kasrı ve kışla 17. yüzyıl padişahlarından 4. Mehmet (Avcı Mehmet) Dönemi'nde yoğun bir şekilde kullanıldığı söylenebilir.



Şekil 5.1 Uygulama alanı.

5.1.1 Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmamızda lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birlikte kullanılmasını hedeflediğimizden dolayı, ekipman olarak Faro Focus 3D X330 yersel lazer tarama cihazı, Leica TS06 marka total station, DJI Phantom 4 marka İHA ve kontrol noktaları kullanılmıştır (Şekil 5.2).

Çalışma adımlarımız sırasıyla;

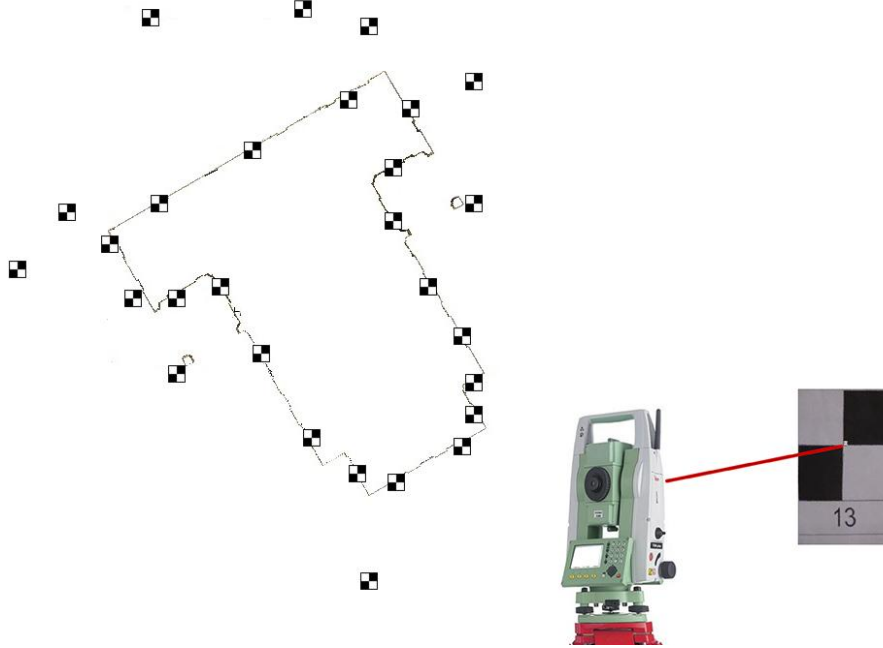
- Yersel lazer tarama için bina yüzeyine kontrol noktalarının yerleştirilmesi
- İHA uçuşu için yer kontrol noktalarının araziye homojen bir şekilde yerleştirilmesi
- Yerleştirilen kontrol noktalarının Leica TS06 marka total station ile koordinatlandırılması
- Faro X 330 marka yersel lazer tarama cihazı ölçümünün yapılması
- DJI Phantom 4 İHA ile uçuşların yapılması
- Tüm dataların bilgisayar ortamında değerlendirilmesi



Şekil 5.2 Veri toplamak için kullanılan ekipmanlar.

5.1.1.1 Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi Ve Koordinatlandırılması

Yapı üzerine ve araziye yerleştirilmiş toplam 40 adet kontrol noktasının, Leica TS06 marka total station kullanarak koordinatlandırma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Kontrol Noktalarının Koordinatlandırılması.

Leica TS06 marka total station, PinPoint EDM ile FlexLine plus en iyi mesafe, doğruluk, güvenilirlik, ışık görünürlüğü, lazer nokta boyutu ve ölçüm süresi dengesini sağlar (Şekil 5.4). Teknik özelliklerinde ise aşağıda bahsedilmiştir.

- * Reflektörlü ölçüm hassasiyeti: 1.5 mm + 2 ppm
- * Reflektörsüz ölçüm hassasiyeti: 2 mm + 2 ppm
- * Reflektörsüz ölçüm menzili: 1000 m
- * Yüksek ölçme hızı (1 saniye)
- * Eş eksenli lazer işaretleme ve ölçme ışığı (Şekil 5.5)



Şekil 5.4 Çalışmada kullanılan Leica TS06 total station görseli.

AÇI ÖLÇÜMÜ (YATAY, DÜŞEY)

Doğruluk ¹⁾	1" (0.3 mgon) / 2" (0.6 mgon) 3" (1 mgon) / 5" (1.5 mgon) 7" (2 mgon)	✓
Metod	Mutlak sürekli, çapsal: Tüm modellerde	✓
Ekran çözünürlüğü	0.1" / 0.1 mgon / 0.01 mil	✓
Kompansatör	Dörtlü eksen kompansatörü: Tüm modellerde	✓
Kompansatör ayar doğruluğu	0.5" / 0.5" / 1" / 1.5" / 2"	✓
Kompansatör aralığı	0.07 gon	✓
Sonsuz devir vidaları	Kolaylıkla hareket eden vidalar sayesinde gecikme yaşanmaz	✓

REFLEKTÖRLÜ MESAFE ÖLÇÜMÜ

Menzil ²⁾ Dairesel prizma (Leica GPR1)	3,500 m	✓
Menzil ²⁾ Hedef levhası (60 mm x 60 mm)	>500 m ³⁾ >1000 m ⁴⁾	✓
Menzil ²⁾ Prizma-Uzun (Leica GPR1, R500/R1000)	>10,000 m	✓
Doğruluk ³⁾	Prezisyonsuz: 1.5 mm + 2.0 ppm Prezis. Hızlı: 2.0 mm + 2.0 ppm İzleme: 3.0 mm + 2.0 ppm	✓
Tipik ölçüm süresi ⁴⁾	1.0 sn	✓
"Prezisyonsuz" modda iken ölçme süresi	2.4 sn	✓

REFLEKTÖRSÜZ MESAFE ÖLÇÜMÜ ⁴⁾

Menzil ²⁾ PinPoint R500 / R1000	> 500 m / > 1000 m	✓
Prezisyonsuz ³⁾ ⁴⁾	2 mm + 2 ppm	✓
Lazer nokta boyutu	30 m'de: Yaklaşık 7 x 10 mm 50 m'de: Yaklaşık 8 x 20 mm	✓

VERİ SAKLAMA / AKTARIM

Dahili bellek	Maks.: 100,000 sabit nokta, Maks.: 60,000 ölçüm	✓
Arayüzler	- Seri (115'200'e kadar baudrate) - USB tip A ve mini B, - Bluetooth® kablolu, 1. sınıf, 150m - TCPS29 (AB dışı) > 1000 m - TCPS30 (AB) > 500 m	✓ ✓ ✓ ○ ○
Veri formatları	GSI / DXF / LandXML / CSV / kullanıcı tanımlı ASCII formatları	✓

KILAVUZ IŞIĞI (EGL)

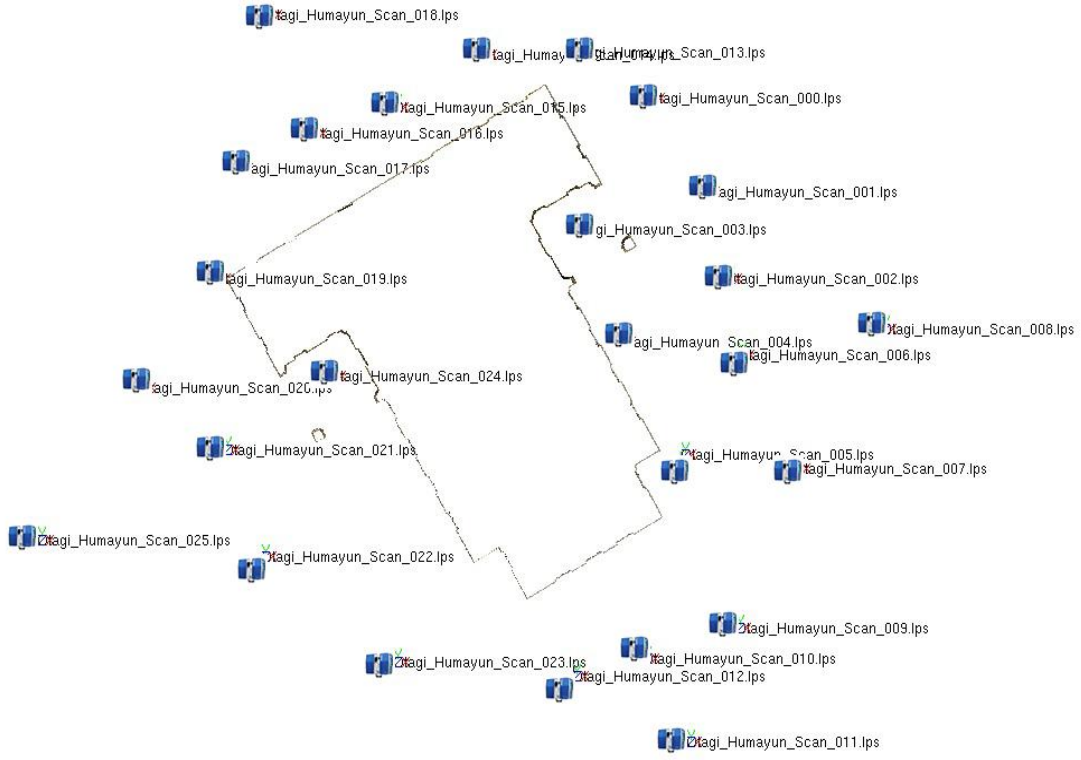
Çalışma menzili (ortalama atmosferik koşullarda)	5 m – 150 m	○
Konumlandırma doğruluğu	100 m'de 5 cm	○

Şekil 5.5 Leica TS06 total station teknik özellikleri.**5.1.1.2 Yersel Lazer Tarama Ölçümünün Yapılması**

Yersel lazer tarama ölçümüne başlamadan önce ölçüm yapılacak oturumların belirlenmesi gerekmektedir. Oturum yerleri belirlenirken yapının detayına, yüksekliğine göre uygun konumlar seçilmelidir. Aynı zamanda oturum yapacağımız yerdeki tarama alanına giren yapı detayına göre tarama çözünürlüğünü belirlememiz daha hassas sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır.

Uygulama alanımıza belirlemiş olduğumuz toplam 26 oturum noktasında Faro Focus 3D X 330 marka yersel lazer tarama cihazı kullanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.6 – Şekil 5.7).

Her tarama pozisyonunda tam taramada 177,7 milyon nokta elde edebilecek yoğunlukta ölçümler yapılmıştır.



Şekil 5.6 Tarama pozisyonlarını konumlarını gösteren görsel.

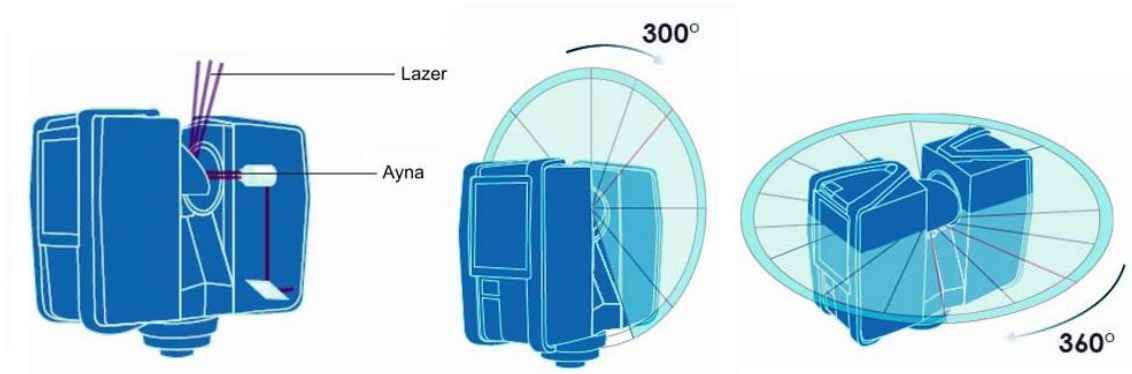


Şekil 5.7. Faro Focus 3D X330 ile yapılan tarama oturumu örneği.

Faro Focus3D X 330 marka yersel lazer tarayıcı, fotoğraf gerçekliğinde üç boyutlu görüntüler oluşturan hassas bir ölçüm cihazıdır. Bu lazer tarayıcı döner bir aynanın merkezine kızılötesi lazer ışını göndererek çalışır. Ayna, lazeri taranan ortamın çevresinde dikey bir dönüşle saptırır; çevredeki nesnelerden saçılan ışık, böylelikle tekrar tarayıcıya yansıtılır. Mesafeyi ölçmek için faz değişim teknolojisini kullanır. Bu teknoloji, lazer ışınının farklı uzunluklardaki sabit dalgalarla modüle edilmesini sağlar. Tarayıcının nesneye olan uzaklığı, kızılötesi ışık dalgalarındaki faz değişimlerinin ölçülmesiyle kesin bir şekilde belirlenir.

HYPERMODULATION™ teknolojisini kullanması sayesinde, modüle edilen sinyalin sinyal-gürültü oranını, özel bir modülasyon teknolojisinin yardımıyla büyük ölçüde artırır. Bundan sonra Focus3D X 330 'nin ayna dönüşünü ve yatay dönüşünü ölçmek için açılış frekansları kullanarak her noktanın X, Y, Z koordinatları hesaplanır. Bu açılar mesafe ölçümüyle eş zamanlı olarak kodlanır. Mesafe, dikey açı ve yatay açı bir kutupsal koordinat oluşturur (δ , α , β), ardından bu koordinat Kartezyen koordinata çevrilir (x, y, z). Tarayıcı 360° x 300° bir görüş alanına sahiptir. Kaydedilmiş resimlerin kalitesini artırır (Şekil 5.8 – Şekil 5.9).

Toplam 9 farklı çözünürlük ve 6 farklı kalite seçeneği mevcut olup, taranacak alana göre doğru ayarların yapılması oldukça önemlidir.



Şekil 5.8 Faro Focus 3D X 330 lazer tarama cihazının lazer saptırma ve görüş alanı.

Performans Özellikleri Focus^{3D} X 330

Uzaklık birimi

Netlik aralığı: 614 metrede 122-488 Kpts/saniye; 307 metrede 976 Kpts/saniye
Mesafe Focus^{3D} X 330: Kapalı veya açık alan ve %90'a kadar yansıtıcı yüzeyde normal geliş açısında 0.6m – 330m arası
Ölçümleme hızı: 122.000 / 244.000 / 488.000 / 976.000 nokta/saniye
Mesafe hatası¹: ±2mm

Mesafe hatası ²	@10m	@10m - gürültü baskılı ³	@25m	@25m - gürültü baskılı ³
@ 90% yans.	0.3mm	0.15mm	0.3mm	0.15mm
@ 10% yans.	0.4mm	0.2mm	0.5mm	0.25mm

Renk ünitesi

Çözünürlük: Renkli 70 megapiksele kadar
Dinamik renk özelliği: Otomatik parlaklık ayarlama
Paralaks: Ortak açılı tasarım

Deflektör ünitesi

Görüş alanı (dikey/yatay): 300° / 360°
Adım boyutu (dikey/yatay): 0,009° (360°'de 40.960 3D piksel) / 0,009° (360°'de 40.960 3D piksel)
Max. dikey tarama hızı: Dakikada 5,820 devir veya 97Hz

Lazer (Optik verici)

Lazer sınıfı: Lazer sınıfı 1
Dalga boyu: 1550nm
Işın demetinin sapması: Tipik 0,19mrad (0,011°) (1/e, yarım açılı)
Işın çapı (çıkışta): Tipik 2,25mm, (1/e)

Veri yönetimi ve kontrol

Veri depolama: SD, SDHC™, SDXC™, 32GB kart dahildir
Tarayıcı kontrolü: Dokunmatik ekran görüntüsü ve W-LAN aracılığı ile
Yeni W-LAN erişimi: Flash® a sahip mobil cihazlardan uzaktan kontrol, tarama görselleştirme ve veri yükleme işlemleri mümkündür

Multi Sensör Sistemi

Çift eksenli kompansatör: Her bir taramayı seviyelendirir. Doğruluk 0,015°; Mesafe ±5°
Yükseklik sensörü: Elektronik bir barometre yardımı ile sabit bir noktaya göre alınan yükseklik ölçülebilir ve taramaya eklenebilir.
Pusulalar: Elektronik pusula taramaya bir yönelim kazandırır. Kalibrasyon özelliği de dahildir.
GPS: Entegre GPS alıcısı

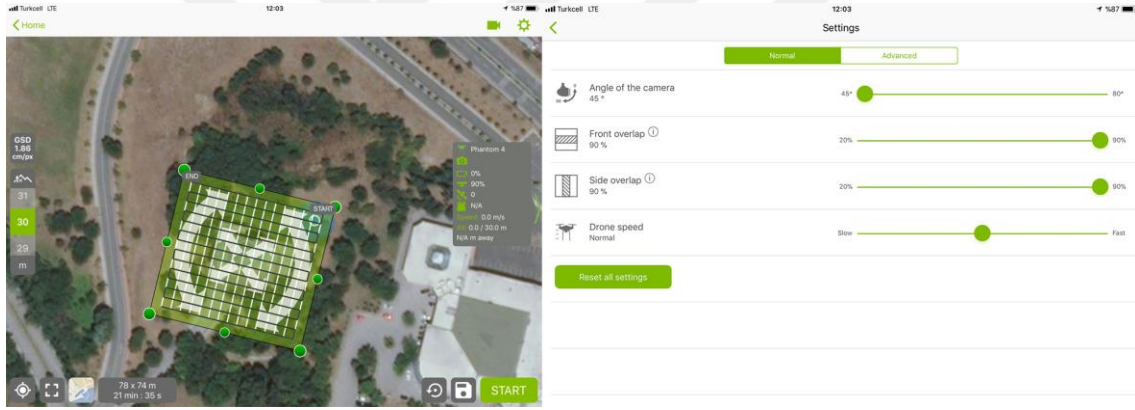
Şekil 5.9 Faro Focus 3D X 330 yersel lazer tarama cihazının teknik özellikleri.

5.1.1.3 İnsansız Hava Aracı İle Uçuşların Yapılması

Havadan fotoğraf çekimleri, Pix4D Capture uygulamasında hazırlanan uçuş planları ile DJI Phantom 4 marka İHA cihazı ile yapılmıştır (Şekil 5.10). Bu projede yüksek doğruluğu ve yoğun nokta bulutunu yakalamak amacı ile toplamda 3 adet uçuş yapılmıştır. Bu uçuşlarda 30 metre yükseklikten, 45°, 60° ve 90°'lik açılarla, %90 enine ve boyuna bindirme oranı ile fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.11). Bu uçuşlardan elde edilen fotoğrafların çözünürlüğü yani yer örnekleme mesafesi (GSD) değerleri 1.52 cm/px ve 1.86 cm/px dir. Kısacası ortofoto üzerinde bulunan her bir pikselin yer yüzünde gerçekte kaç santimetreye karşı geldiğinin ölçüsü diyebiliriz.



Şekil 5.10 Uygulama alanının İHA ile uçuşu öncesi görsel.



Şekil 5.11 Uygulama alanının ve uçuş planlamasının görseli.

Görüntü tabanlı nokta bulutunu oluşturmak amaçlı kullanılan fotoğraflar DJI Phantom 4 İHA ile elde edilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 DJI Phantom 4 İHA görseli.

Teknik Özellikler

Ağırlık: 1380 gram

Maksimum Hız: 20 m/s

Tırmanış/İniş Hızı: 6 m/s – 4 m/s

Kamera Özellikleri: 12.4 MP – 1/2.3" CMOS" Sensör ile

Fotoğraf Boyutu : 4000 x 3000

Video Özelliği: 4K (Ultra HD)

Maksimum İrtifa: 6.000 metre

Uçuş Süresi: Yaklaşık 28 dakika (6000 mAh LiPo batarya ile)

Çalışma Isısı: 40 C

Maksimum Bit Hızı: 60 Mbps

Gimbal Kontrol Edilebilir Açısı: -90° / +30°

Navigasyon: GPS/GLONASS

5.1.2 Verilerin Değerlendirilmesi

5.1.2.1 Yersel Lazer Tarama Verilerinin Değerlendirilmesi

İlk aşama olarak lazer tarayıcımızdan aldığımız 26 adet tarama verilerini Faro Scene programına aktarımlarını yaparak, kaydetme, renklendirme ve filtreleme işlemleri yapılmıştır.

Hazır olan tarama verileri birleştirme işleminin gerçekleştirileceği LupoScan programına aktarılmıştır.

Birleştirme işlemi yapılırken her taramaya denk gelen en az 3 kontrol noktasının koordinat verileri tek tek işaretlenerek taramalar lokal olarak koordinatlandırılmıştır.

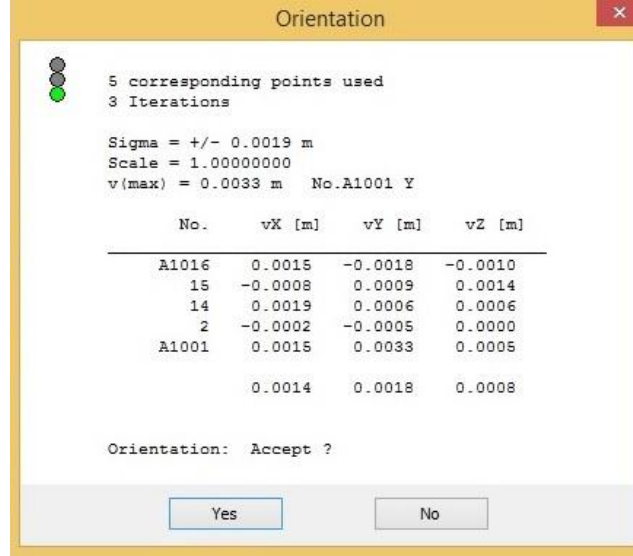
Tarama datalarının birleştirilme işlemi sonucu ortalama birleştirme doğruluğu 3.26 mm' dir (Şekil 5.13, 5.14).

Birleştirme sonucunda lokal bir koordinat sistemine bağlı olarak, bütünleşik lazer tabanlı nokta bulutu modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.15).

Toplamda 40 adet kontrol noktasından, 6 tanesi birleştirme işlemlerine ve dengeleme hesaplarına sokulmadan, birleştirme işlemleri gerçekleştirildikten sonra kontrol amaçlı kullanılmıştır ve hata miktarları gözlemlenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 5.13 20 numaralı taramanın örnek koordinatlandırma görseli.



Şekil 5.14 20 numaralı tarama pozisyonunda 5 kontrol noktasından hesaplanan birleştirme sonucu.



Şekil 5.15 Oluşturulan lazer tabanlı nokta bulutu modelinin 30 kat seyreltilmiş halinin görseli.

Çizelge 5.1 Birleştirme işleminde kullanılmayan 6 adet kontrol noktasının karşılaştırılması.

	Total Station İle Okunan Nokta Koordinatları			Lazer Tarayıcıdan Okunan Nokta Koordinatları			Total Station – Lazer Tarayıcı		
	X _T	Y _T	Z _T	X _L	Y _L	Z _L	DX	DY	DZ
1002	107.9057	90.2560	98.1475	107.9040	90.2574	98.1456	0.0017	-0.0014	0.0019
1003	152.9451	126.3059	98.8058	152.9470	126.3023	98.8017	-0.0019	0.0036	0.0041
1007	116.4376	126.9016	99.2705	116.4390	126.9106	99.2725	-0.0014	-0.009	-0.002
1011	144.4338	121.9006	98.2761	144.4353	121.9016	98.2797	-0.0015	-0.001	-0.0036
1013	152.2259	97.4539	97.9403	152.2236	97.4551	97.9393	0.0023	-0.0012	0.001
1016	109.4148	109.0897	98.3343	109.4113	109.0882	98.3381	0.0035	0.0015	-0.0038

5.1.2.2 İHA İle Elde Edilen Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu aşamada görüntü tabanlı nokta bulutu modeline ulaşmak için, 3 farklı uçuşta çekilen toplam 999 fotoğraf Agisoft Photoscan programı aktarılmıştır. Otomatik olarak yazılımın sağladığı yüksek doğrulukta birleştirilip nokta bulutu üretildikten sonra 11 adet kontrol noktası işaretlenmiştir (Şekil 5.16). Üretilen görüntü tabanlı yoğun nokta bulutu modelinde tüm alanda toplam 9 594 548, örnek olarak kullanacağımız çatı ve kubbe alanında yaklaşık 950 000 nokta bulunmaktadır (Şekil 5.17).

Dengeleme işlemine sokulmayan 6 adet kontrol noktası, Dengelenen görüntü tabanlı nokta bulutu ile kontrol edilmiş ve hata miktarları incelenmiştir (Çizelge 5.3).



Şekil 5.16 İşaretlenmiş 9 adet kontrol noktalarının gösterimi.



Şekil 5.17 Oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutu modelinin görünümü.

Fotogrametrik değerlendirme aşamasında yapılan dengeleme işlemi sonucunda 9 adet YKN'nin X, Y, ve Z'lerindeki doğruluk değerleri Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Dengeleme işleminde YKN' lere ait nokta konum doğrulukları.

N.N.	Mx (cm)	My (cm)	Mz (cm)	Mxyz (cm)
1001	0.18	-1.62	-1.08	1.9
1004	-0.54	-2.66	0.55	0.82
1005	0.03	-0.27	-0.70	0.75
1006	-0.12	0.25	-0.29	0.40
1008	0.24	0.37	-0.11	0.45
1009	0.49	0.24	-0.62	0.83
1010	-0.89	0.69	0.74	1.21
1012	-0.17	-0.22	-0.74	0.79
1015	-0.15	-0.89	-0.70	1.14
Total	0.81	0.69	0.95	1.43

Çizelge 5.3 Dengeleme işleminde kullanılmayan 6 adet kontrol noktasının karşılaştırılması.

	Total Station İle Okunan Nokta Koordinatları			İHA' dan Okunan Nokta Koordinatları			Total Station - İHA		
	X _T	Y _T	Z _T	X _I	Y _I	Z _I	DX	DY	DZ
1002	107.9057	90.2560	98.1475	107.8691	90.2330	98.1350	0.0366	0.023	0.0125
1003	152.9451	126.3059	98.8058	152.9260	126.3210	98.7982	0.0191	-0.0151	0.0076
1007	116.4376	126.9016	99.2705	116.453	126.895	99.268	-0.0154	0.0066	0.0025
1011	144.4338	121.9006	98.2761	144.4216	121.9233	98.2912	0.0122	-0.0227	-0.0151
1013	152.2259	97.4539	97.9403	152.222	97.4478	97.9434	0.0039	0.0061	-0.0031
1016	109.4148	109.0897	98.3343	109.4233	109.1019	98.327	-0.0085	-0.0122	0.0073

5.1.3 Verilerin Analizi

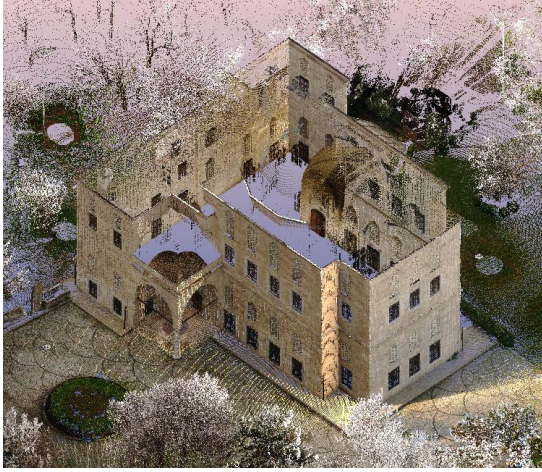
5.1.3.1 Lazer ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması

Aynı lokal koordinat sistemine bağlanmış olan görüntü tabanlı nokta bulutu, lazer tabanlı nokta bulutu ile birlikte değerlendirilmek üzere LupoScan programına aktarılmıştır.

Yoğunluk, doğruluk ve hassasiyet olarak yüksek değerlere sahip olan lazer tabanlı nokta bulutunun üç boyutlu model görünümünde, yapının çatı ve kubbe kısımlarının tarama verilerinde eksik olduğu görülmektedir (Şekil 5.18).

Görüntü tabanlı nokta bulutu modelimizi incelediğimizde, nokta yoğunluğunun ve doğruluğunun daha az olması ile birlikte yapının çatı ve kubbe bölgesinin lazer verisini tamamlayabilecek şekilde oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.19).

Elde edilen veriler sonucunda yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerini birlikte görüntülediğimizde iki ayrı verinin birbirlerini tamamladığı görülmektedir (Şekil 5.20).



Şekil 5.18 Lazer tabanlı nokta bulutu modeli. **Şekil 5.19** Görüntü tabanlı nokta bulutu modeli.

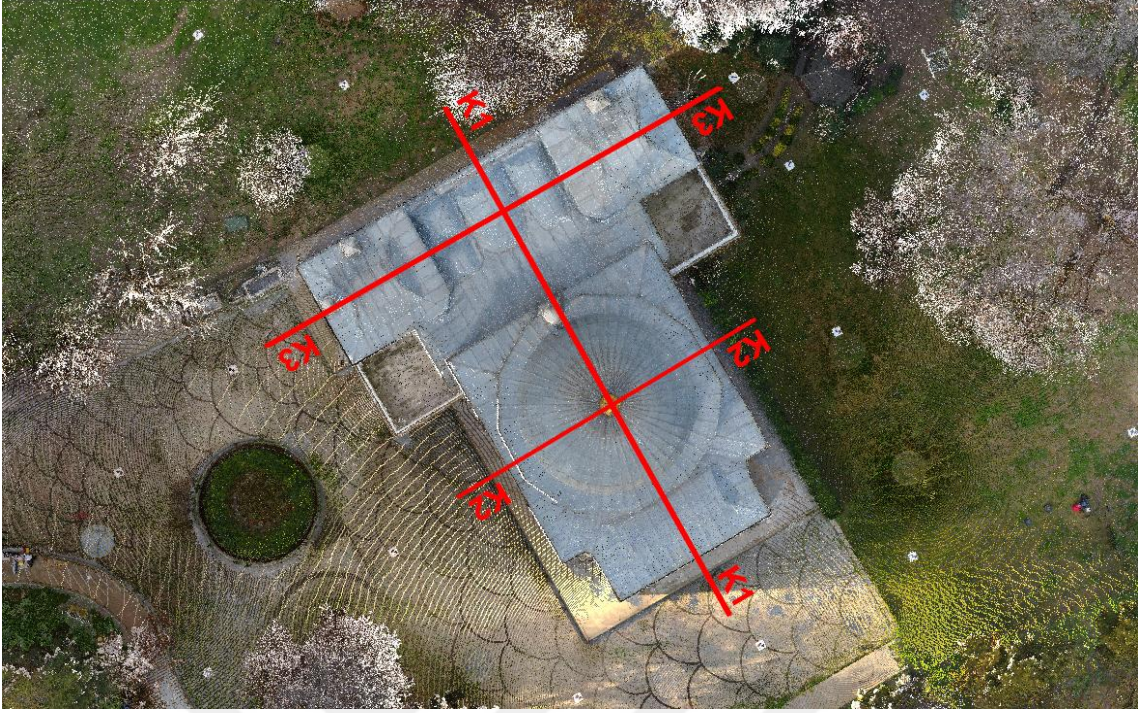


Şekil 5.20 Yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birlikte gösterimi.

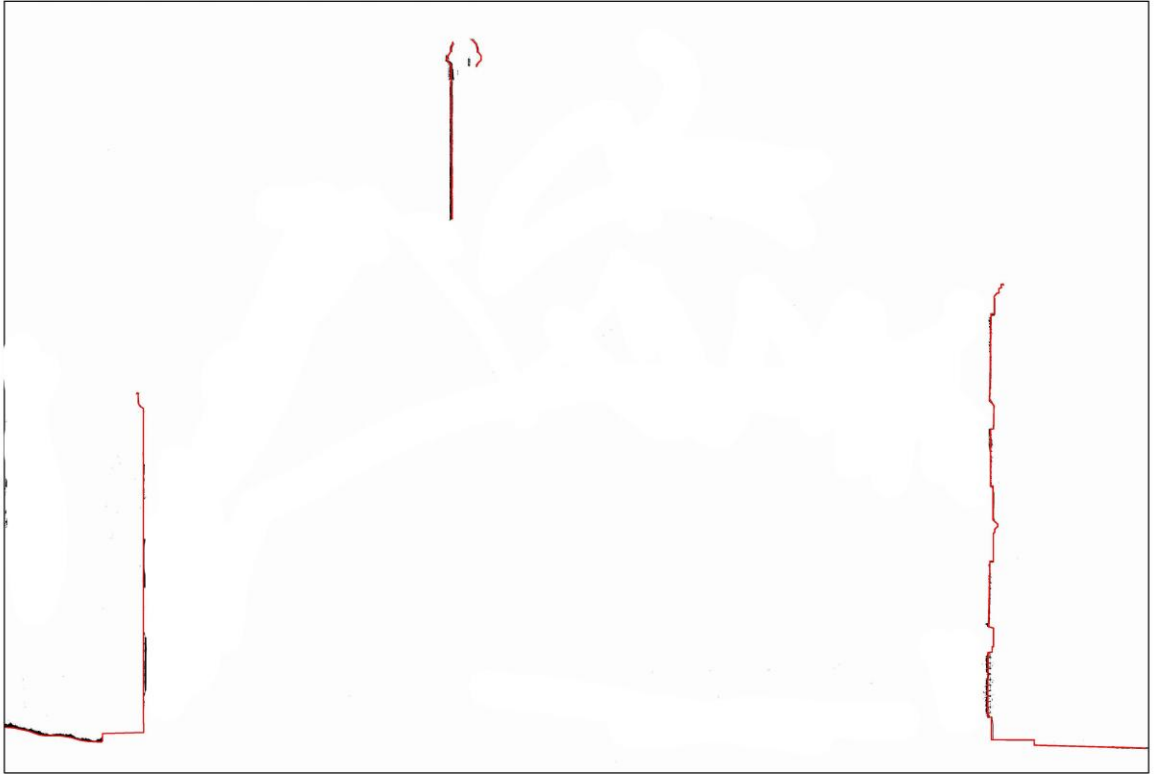
Projemizde yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birlikte kullanılması değerlendirilmiştir. Lokal bir koordinat sisteminde konumlanan datalarımızın uyumunu görmek amacıyla, yapı üzerinde belirlenen üç farklı kesit yerlerinden, 4 cm kalınlığında kesit hatları oluşturulmuştur (Şekil 5.21).

Belirlenen kesit hatlarının her birinden, sadece lazer tabanlı nokta bulutunu kullanarak, yalnızca görüntü tabanlı nokta bulutunu kullanarak ve iki nokta bulutu modelini birlikte kullanarak üçer adet ortofoto alınmıştır.

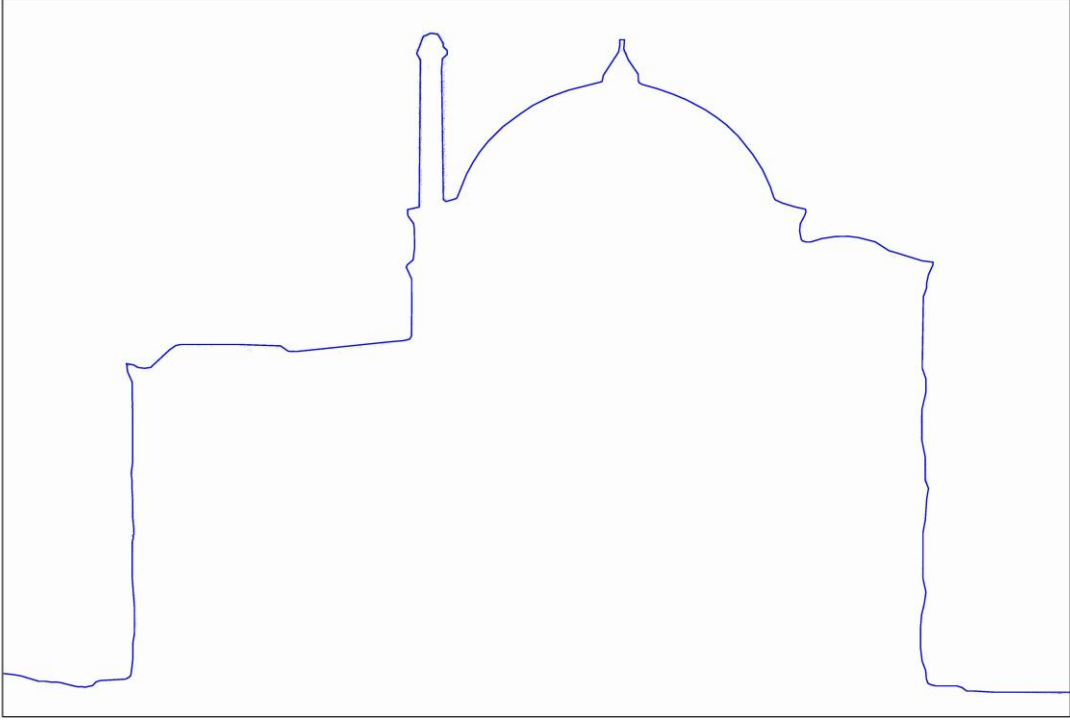
Kesit hatlarımızın yukarıda belirtilen sıra ile aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.22-5.27.).



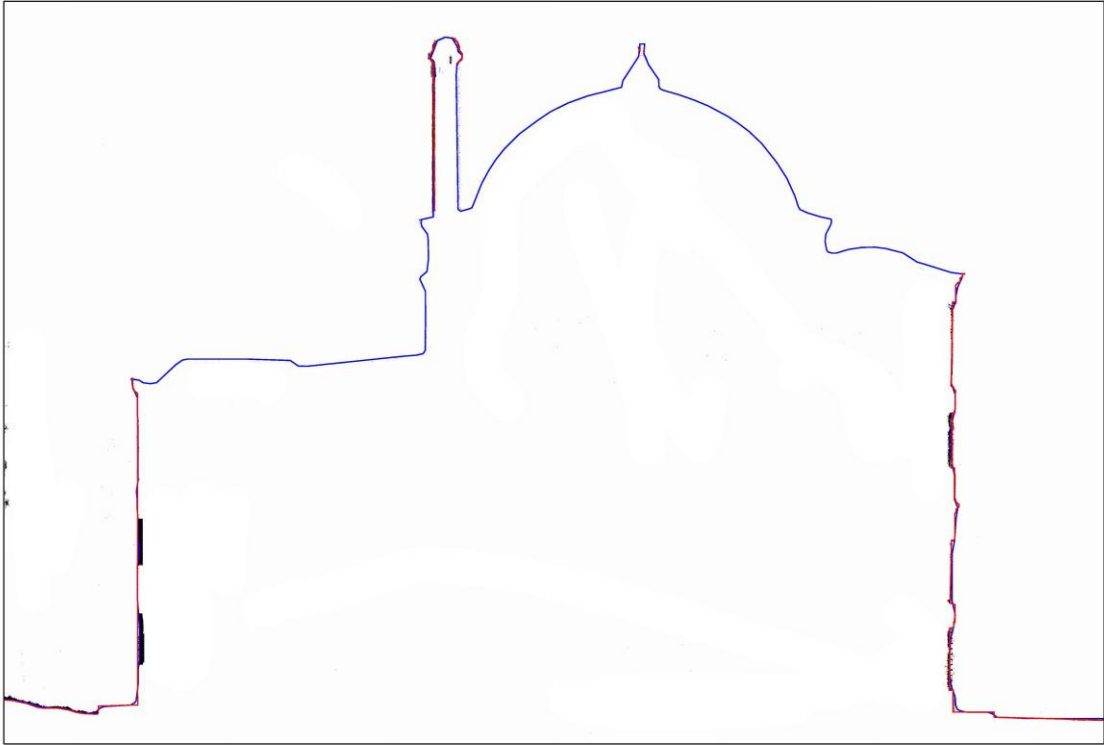
Şekil 5.21 Yapı üzerinde belirlenen kesit hatları.



Şekil 5.22 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.



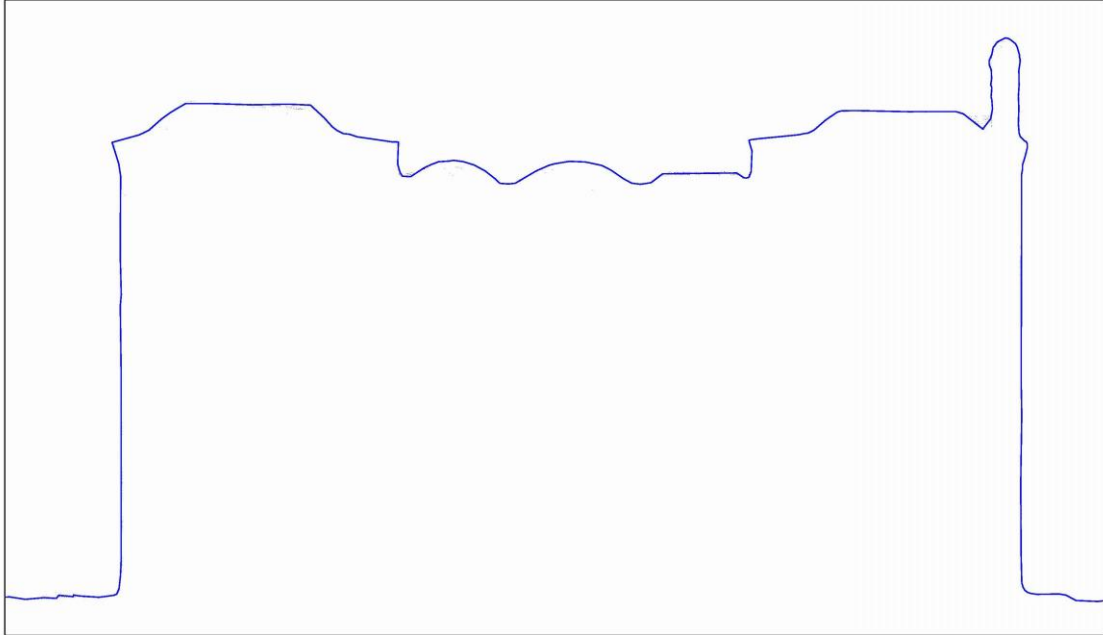
Şekil 5.23 Görüntü tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.



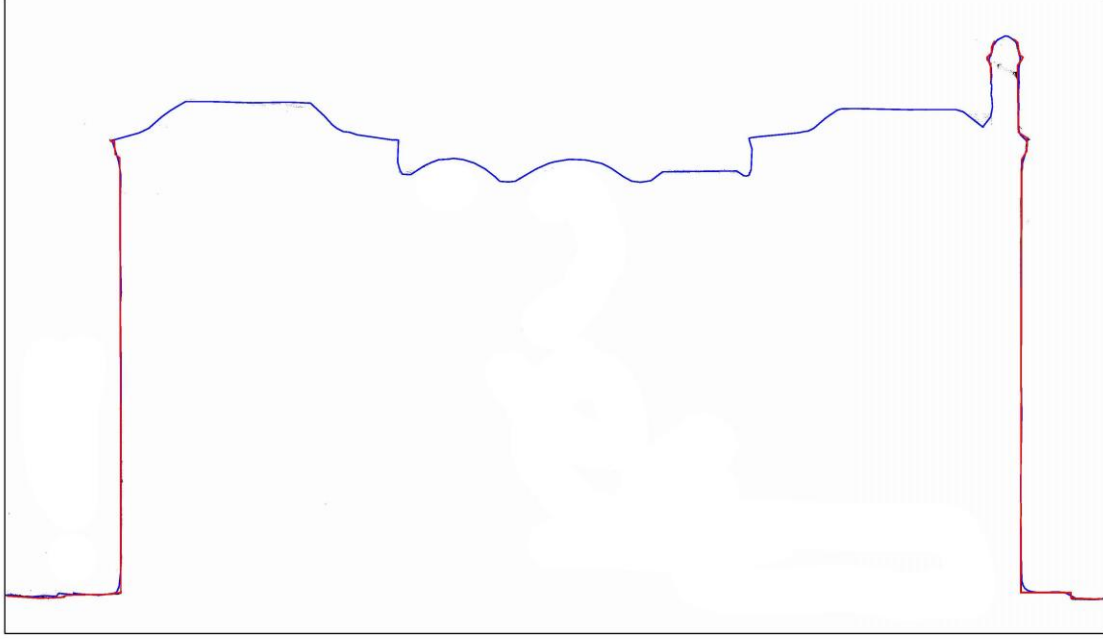
Şekil 5. 24 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.



Şekil 5.25 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.



Şekil 5.26 Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.



Şekil 5.27 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.

5.2 Uygulama Alanı - 2

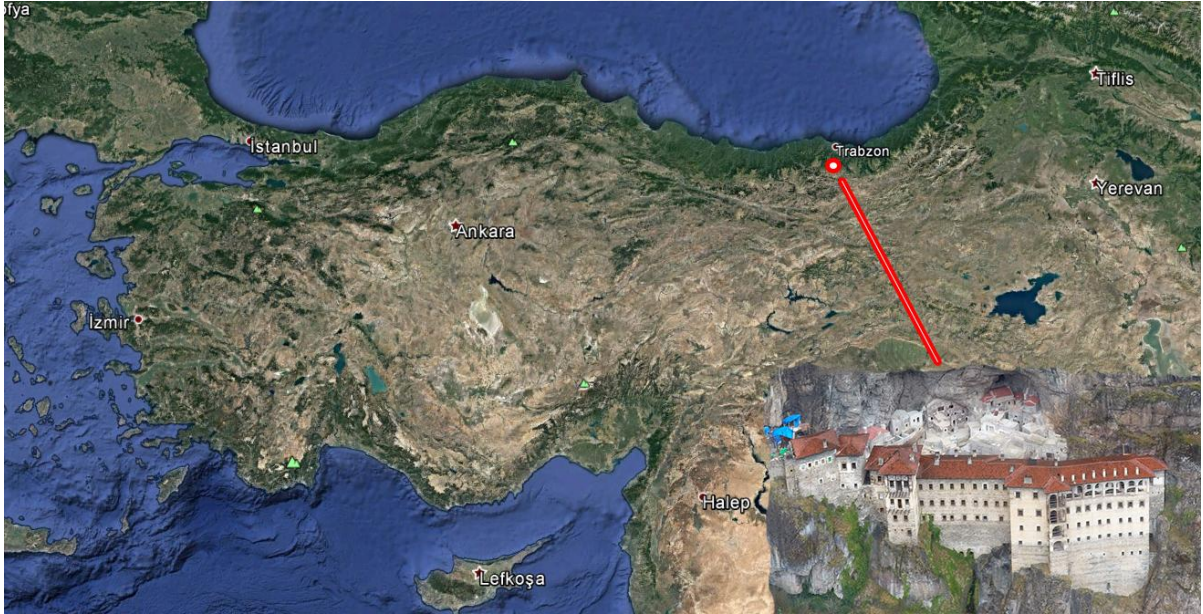
Meryem Ana anısına inşa edilmiş olan manastır “Sümela” isminin “siyah” anlamını taşıyan “melas” kelimesinden alındığı söylenmiştir. Bu adı manastırında inşa edilmiş olduğu koyu renge sahip Karadağlar’ dan aldığı söylene de, Sümela sözcüğü burada bulunan Meryem tasvirinin siyah olan rengine bağlayabilmektedir.

Bir rivayette olduğu üzere; Bizans İmparatoru olan 1. Theodosius’ un zamanında (375-395) Yunanistan’ın Atina kentinden gelmiş olan Barnabas ve Sophranios adında iki rahip ile birlikte inşa edilmiş olan Sümela manastırı, 6.yüzyılda İmparator Justinianus’un manastırın restore edilerek büyütülmesini istemesiyle general Belisarios tarafından onarımı yapılmıştır.

Sümela Manastırı’nın şuan ki haliyle var oluşunu 13.yüzyıldan bugüne kadar sürdürdüğü bilinmektedir. 1204 tarihinde kurulan Trabzon Komnenosları Prensiği’nden III.Alexios (1349-1390) zamanında manastıra olan ilgi ve önem artarak fermanlar ile gelirler sağlanmıştır. III.Alexios’un oğlu olan III.Manuel ve sonrasında

gelen bütün prensler zamanında Sümela yeni fermanlar sayesinde zenginleştirilmiştir. Sümela Manastırının en önemli unsuru olan kayadan inşa edilmiş kilisesinin ve kiliseye birleşik şapelin iç duvarlarında ve dış duvarlarında freskler mevcuttur. Kilisesinin içerisinde avluya bakan duvarda III. Alexios dönemine ait fresklerin varlığı tespit edilmiştir. Şapeldeki freskler ise 18. yüzyılın başlarında yapıldığı söylenmektedir ve üç farklı zamanda yapılan üç farklı tabaka görülmektedir. İlk yapılan tabakada ki freskler daha üstün özelliklere sahiptir.

Sümela Manastırı'nda oldukça zarar görmüş bir şekilde karşılaştığımız fresklerde Hz. İsa'nın ve Meryem Ana'nın hayatları ile ilgili konuları İncil'den alındığı şekilde tasvirlemiştir.



Şekil 5.28 Uygulama alanı – 2.

5.2.1 Verilerin Elde Edilmesi

5.2.1.1 Yersel Lazer Tarama Ölçümünün Yapılması

Bu uygulamamızda yersel lazer tarayıcımız Sümela Manastırının avlu kısmında tarama yapmak amacıyla kullanılmıştır.

Projenin amacına uygun olarak kullanabileceğimiz toplam 5 adet oturum, Faro Focus3D X 330 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 Lazer tarama ölçümünden bir görsel.

5.2.1.2 İnsansız Hava Aracı İle Uçuşların Yapılması

Proje sahamız olan Sümela Manastırı' nın dış cephesinden görüntü tabanlı nokta bulutu elde edebilmek için İHA kullanılmıştır.

Dağ yamacında olan cephenin, farklı açılardan 233 adet fotoğrafı DJİ Phantom 4 marka İHA ile çekilmiştir (Şekil 5.30).



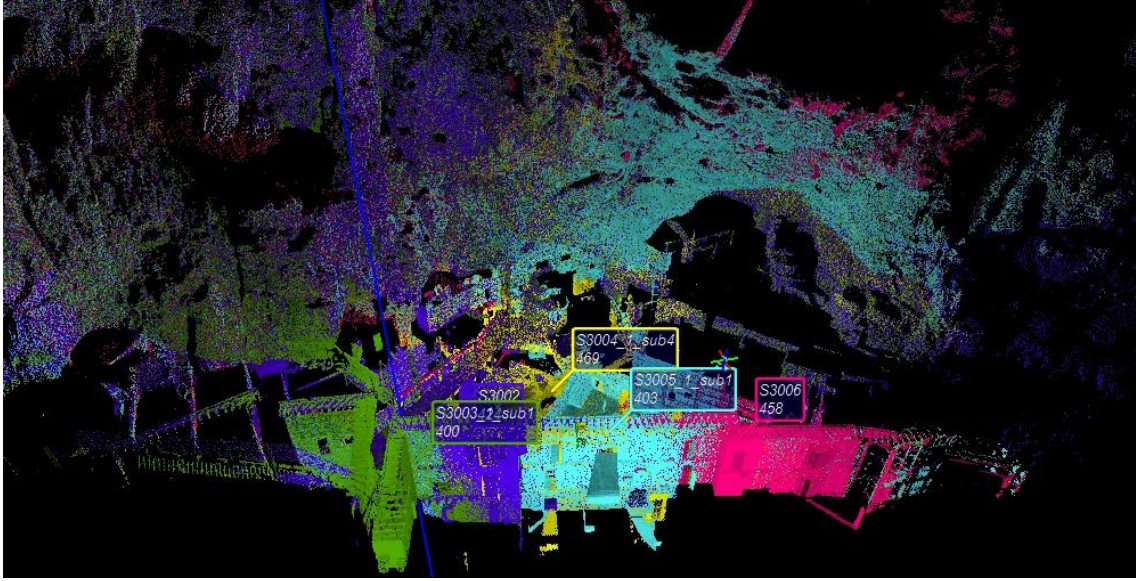
Şekil 5.30 Proje alanından İHA görseli.

5.2.2 Verilerin Değerlendirilmesi

5.2.2.1 Yersel lazer tarama verilerinin değerlendirilmesi

Saha ölçümleri tamamlandıktan sonra elde edilen 5 adet tarama datası birleştirme ve filtreleme işlemlerinin yapılabilmesi için Reconstructor programına aktarılmıştır.

Tarama dataları, ön birleştirme ve hassas Cloud to Cloud yöntemleri kullanılarak ortalama 2.45 mm doğrulukta birleştirilmiştir (Şekil 5.31).



Şekil 5. 31 Lazer Tabanlı nokta bulutlarının gösterimi.

5.2.2.2 İHA ile elde edilen verilerinin değerlendirilmesi

Bu projemizde büyük öneme sahip olan uçuşlarımızdan elde edilen farklı yükseklikten, açılardan ve yakınlıktan İHA ile çekilen 233 fotoğraf Agisoft Photoscan programına aktarılmıştır.

Programın sağladığı birleştirme ve yüksek yoğunluklu nokta bulutu oluşturma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

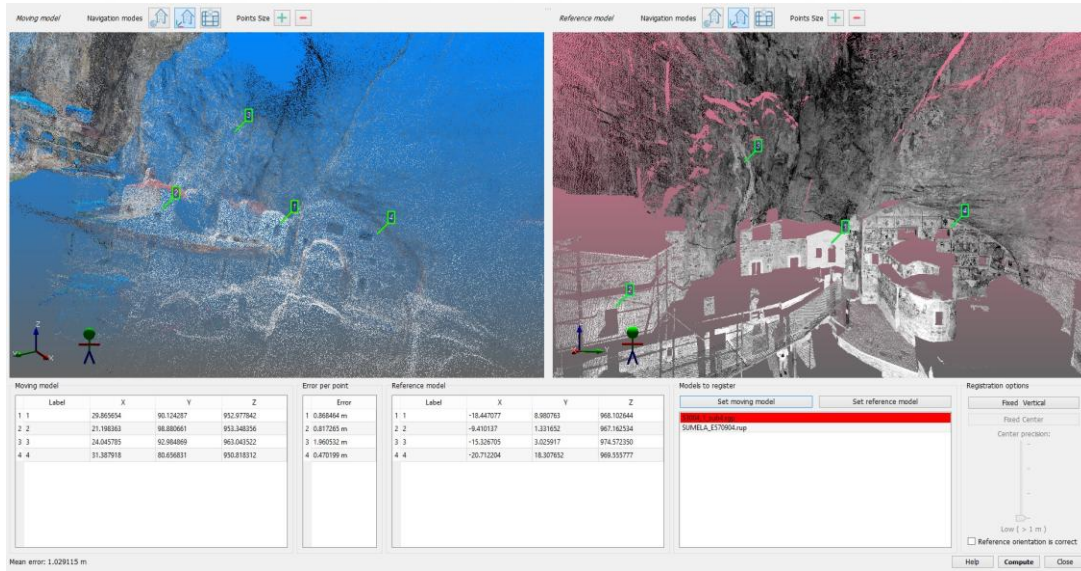
İşlemler sonucunda uygulama alanımıza denk gelen yaklaşık 1500 nokta sayısına ulaşılmıştır (Şekil 5.32).



Şekil 5. 32 Oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutu.

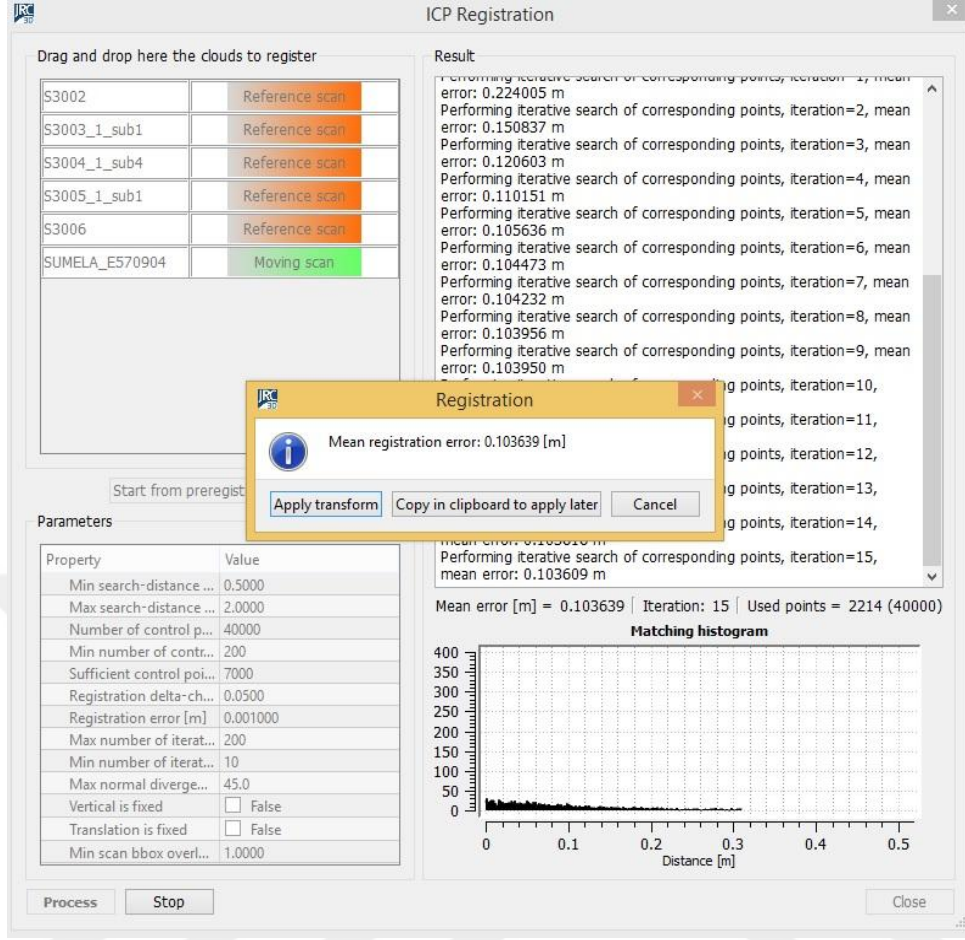
Oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunu lazer tabanlı nokta bulutu ile birleştirerek aynı lokal koordinat sisteminde konumlanması sağlanmıştır.

Birleştirme işlemi öncelikle, lazer tabanlı nokta bulutunun bir tarama pozisyonu referans alınarak görüntü tabanlı nokta bulutu ile manuel olarak yaklaşık 1 metre doğrulukta gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5. 33 Manuel birleştirme görseli.

Yaklaşık olarak konumlanan görüntü tabanlı nokta bulutu, 5 tarama pozisyonu referans alınarak Cloud to Cloud (ICP) yöntemi ile 10,3639 cm doğruluk ile birleştirilmiştir (Şekil 5.34).



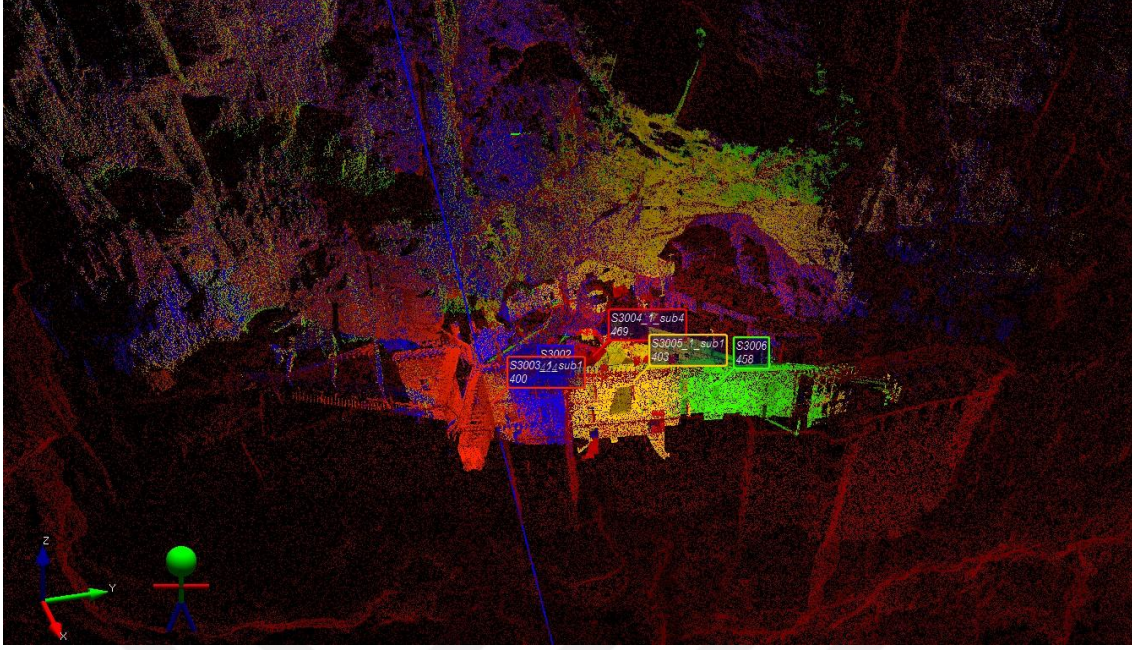
Şekil 5.34 Cloud to Cloud birleştirme yöntemi ile birleştirme ve hata miktarı.

5.2.3 Verileri Analizi

5.2.3.1 Lazer ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması

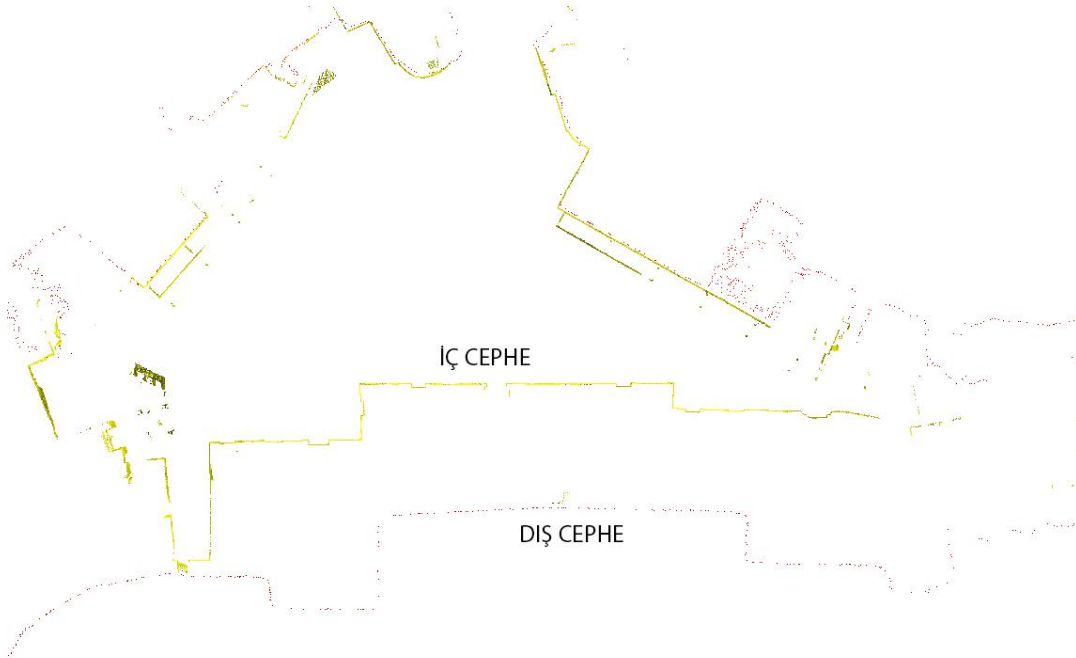
Bu uygulamada, yersel lazer tarayıcı ile ölçümlemenin zor olduğu yapının dış kısmının görüntü tabanlı nokta bulutu ile tamamlanması ele alınmıştır.

Aynı lokal koordinat sistemine getirilen iki ayrı nokta bulutu modeli birleştirilerek, bütünleşik bir nokta bulutu verisi oluşturulmuştur (Şekil 5.35).

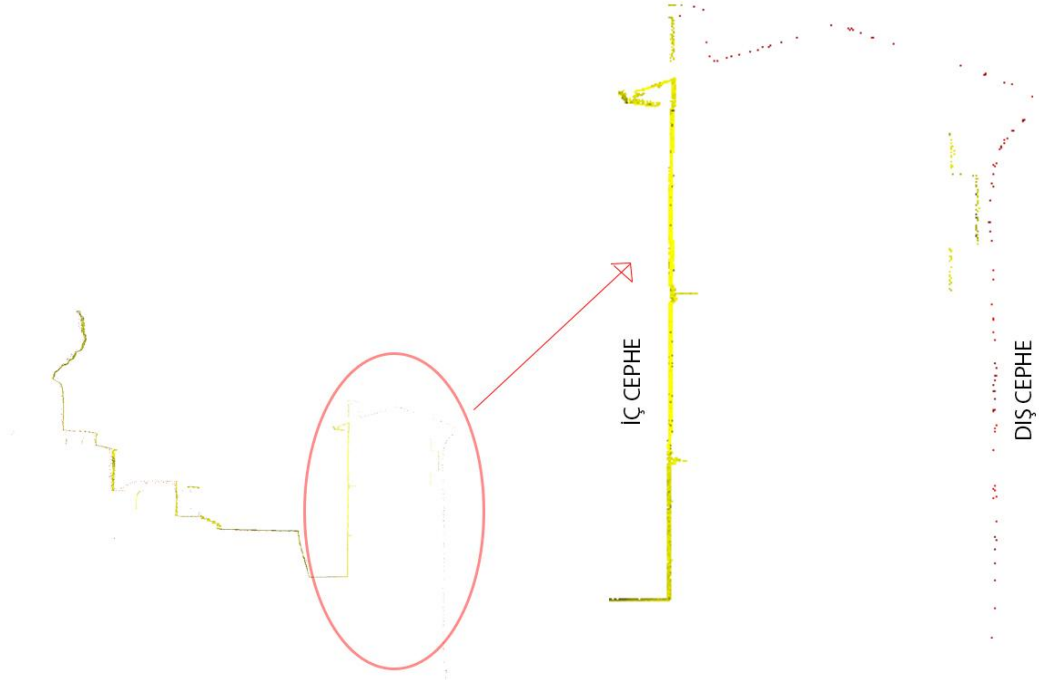


Şekil 5. 35 Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birlikte gösterimi.

Birlikte kullanılan nokta bulutu modellerinden plan ve kesit hatları oluşturularak, birbirleri ile olan uyumları incelenmiştir (Şekil 5.36 ve Şekil 5.37).



Şekil 5.36 Birlikte kullanılan nokta bulutu modelinden oluşturulan plan hattı.



Şekil 5.37 Birlikte kullanılan nokta bulutu modelinden oluşturulan kesit hattı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihî yapıların dokümantasyonunda yersel lazer tarayıcıların kullanımının giderek arttığını görmekteyiz. İHA'ların ise fotogrametrik çalışmalarda kullanımının veri toplama açısından önemli bir hâle geldiğini söyleyebiliriz. Her iki yöntemin de birbirine göre avantaj ve dezavantajları olduğu noktalar mevcuttur.

İlk projemiz Otağ-ı Humayunu ele aldığımızda, yapının kubbe kısmının lazer tabanlı nokta bulutunda eksikliğini görüntü tabanlı nokta bulutu ile tamamlamış bulunmaktayız. Lazer tarayıcımız ile kubbe kısmında tarama yapamadığımız bu alanda her ne kadar lazer tabanlı nokta bulutu kadar yoğunluğa ve doğruluğa sahip olmasa da görüntü tabanlı nokta bulutunu kullanmak projenin doğru sonuçlar vermesi açısından önemlidir. Yapılan ilk uygulama sonucunda, ortalama 2.1 mm doğrulukla dengelenen lazer tabanlı nokta bulutu ile ortalama 1.40 cm ortalama hata değeri ile oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunun, birlikte kullanılabileceği, bütünleşik bir nokta bulutu modeli oluşturulabileceği söylenebilir.

İkinci uygulamamızda ise tarihi yapılar açısından oldukça önemli bir yapı olan Sümela Manastırı' nın dağ yamacında konumlanan dış cephesinin lazer tarayıcılar ile ölçülmesinin oldukça zor olduğu görülmektedir. Avlu kısmında ki cephesi tüm detayları alabileceğimiz yersel lazer tarayıcı ile taranıp yoğun lazer tabanlı nokta bulutu modeli elde edilmiştir. Dış cephe ise İHA yardımıyla çekilen fotoğraflar sonucu görüntü tabanlı nokta bulutu sayesinde tamamlanmıştır. Ortalama 2.45 mm doğrulukta birleşen lazer tabanlı nokta bulutu modeline görüntü tabanlı nokta bulutu yaklaşık 10 cm doğrulukta bağlanmıştır. Oluşturulan plan ve kesitlerde iki farklı verinin birbirlerini tamamladığı görülmektedir.

Bu uygulamalar sonucunda ulaşılmış olduğumuz sonuç ve önerileri sıralamak gerekirse;

- Tarihî yapıların dokümantasyonunda lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birlikte kullanılması, oluşturulacak röleve projeleri açısından oldukça gereklidir.
- Her iki nokta bulutu modelinin de birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları olduğu için birbirlerine alternatif olmadığını söyleyebiliriz.
- Lazer tabanlı nokta bulutları çok daha yoğun ve doğruluğu yüksek olmasından dolayı ilk tercih edilecek yöntem olması gerektiği söylenebilmektedir.

- Görüntü tabanlı nokta bulutunun ise lazer tarayıcının ulaşamadığı alanlardan veri elde etmek için önemli bir veri olduğunu söylemek mümkündür.
- Görüntü tabanlı nokta bulutunda oluşan gürültü lazer tabanlı nokta bulutuna göre fazladır ve bundan dolayı hassas detaylara ulaşmak mümkün değildir.
- Lazer tabanlı nokta bulutu ile mm hassasiyete ulaşabildiğimizden dolayı iç ve dış mekanlarda kullanılması tercih edilebilmektedir.
- Görüntü tabanlı nokta bulutunu elde etmek için kullanılan fotoğraflar çok önemlidir ve bu yüzden veri elde etmek istediğimiz alanın fotoğrafları uygun açılardan ve mesafelerden yüksek bindirme oranı ile çekilmelidir.
- Önemli olan projenin eksiksiz bir şekilde tamamlanması için elde edilecek verilerin bütünlüğünü sağlamaktır.
- Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanarak, tarihî yapıların dokümantasyonunu eksiksiz bütünleşik bir şekilde sağlamak mümkündür.

7. KAYNAKLAR

- Akgül, M. (2016). İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları, 104-118.
- Altuntaş, C. ve Yıldız, F. (2008), Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, *HKM Jeodezi-Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **98**: 20-27.
- Angelopoulou, E., and Wright Jr, J. R. (1999), Laser scanner technology. University of Pennsylvania Department of Computer and Information Science Technical Report No. MSCIS: 99.
- Altuntaş, C. (2017), Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının birleştirilmesi ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi, Literatür araştırması.
- Blyenburgh, Van, P., (1999), UAVs: and Overview, *Air & Space Europe*, **1**: 43-47.
- Çelik, M. (2016), Köprü Ayağı modeli etrafındaki oyulma ve birikme desenlerinin fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Gençerk, E.Y (2016), İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi
- Güleç, A. (2007), Yersel fotogrametri yöntemi ile rölöve alım tekniğinin taç kapılarda uygulanışı.
- Hepyörük, G. (2015), Tarihi ve kültürel varlıkların belgelenmesi ve üç boyutlu modelinin oluşturulmasında yersel lazer tarayıcıların kullanım olanaklarının araştırılması ve Karacabey Türbesi (Ankara) örneği, Yüksek Lisans Tezi.
- Karasaka, L. (2012), Mobil yersel lazer tarama sistemlerinin fotogrametrik rölöve projelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi.
- Karasaka, L. ve Yıldız, F., (2015), Yersel Mobil Lazer Tarama Teknolojisi: Topcon IP-S2 Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, **1**: 11-20.
- Karlı F., (2015), Fotogrametrik Değerlendirme ve Üretim II
- Kern, F., (2001), Supplementing Laserscanner Geometric Data With Photogrammetric Images Formodelling. In Proceedings of 18th International Symposium, IPA 2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 454 – 461.
- Licht D.D. ve Gordon S.J., (2004), Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording,

- Proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Athens, Greece.
- Mohamed, I. (2008), Towards an automatic registration for terrestrial laser scanner data
- Mohammed, Omar, and Murat YAKAR (2016), Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin, *Selçuk-Teknik Dergisi*, **15**: 85-95.
- Mohammed O. H. (2016), Kültürel mirasın belgelenmesinde dökümantasyon tekniklerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi.
- Nyimbili, P. H., Demirel, H., Şeker, D.Z, Erden. (2017), T. (2016), Structure from motion (SFM) – Approaches & Applications
- Sarıtürk, B. Ve Şeker, Dursun Z, SFM Tekniği ile 3B obje modellemesinde kullanılan ticari ve açık-kaynak kodlu yazılımların karşılaştırılması, *AKÜ FEMÜBİD* **17**: 126-131.
- Schaich, M. (2009), 3D-Scanning-Technologien in der Bau- und Kunstdenkmalspflege und der archäologischen Feld- und Objektdokumentation. In: E. Faulstich / A. Hahn-Weishaupt (Eds.): Dokumentation und Innovation bei der Erfassung von Kulturgütern. Schriften des Bundesverbands Freiberuflicher Kulturwissenschaftler.
- Schaich, M. (2013), Combined 3D Scanning and Photogrammetry Surveys with 3D Database Support for Archaeology & Cultural Heritage. A Practice Report on ArcTron's Information System aSPECT3D.
- Seki M. (2017), İnsansız Hava Araçlarının Hacim Hesaplarında Kullanılabilirliği” Yüksek Lisans Tezi.
- Slob, S., & Hack, R. (2004), 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe: 179-189
- Toprak, A.S. (2014), Fotogrametrik tekniklerin insansız hava araçları ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi.
- Turan, M. H., (2004), Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **(19)** 43-50.
- Ulvi, A., (2015), Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarda(Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi.

- Uysal, M., Toprak A.S. ve Polat N. (2013), Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisinin Fotogrametrik Yöntemle Üç Boyutlu Modellenmesi, TUFUAB 2013, Trabzon.
- Yaşayan, A., Uysal, M., Varlık, A. ve Avdan, U., (2011), Fotogrametri, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Yetişen, H., (2007), Hava Fotogrametrisi Kullanılarak Tasman Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.dronmarket.com/sayfa/muhendislik-cozumleri>, 05.06.2018
- 2) <http://www.paksoytekNIK.com.tr/index.php/paksoy-topcon/iha>, 15.04.2018
- 3) <https://www.faro.com/tr-tr/farodan-3d-olcum-ve-goruntuleme-cozumleri>, 21.09.2018
- 4) <https://www.yildiz-teknik.blogspot.com>, 12.02.2019
- 5) <https://www.trabzontatilrehberi.blogspot.com>, 13.02.2019
- 6) <https://www.sistemas.com.tr>, 16.03.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasin TOSUN
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 16.04.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 432 63 36-yasintosun26@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Atatürk Lisesi, ESKİŞEHİR (2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Harita Mühendisliği Bölümü (2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı (2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Ekol Restorasyon Mimarlık Mühendislik : 2013 – 2015
Ostem Mühendislik : 2016 – Halen devam ediyor.

Yayınları (SCI ve diğer) :

- Tosun Y ve Uysal M. (2018) “ Tarihî Yapıların Dokümantasyonunda Lazer Ve Görüntü Tabanlı Nokta Bulutlarının Birlikte Kullanılması ” UZAL-CBS 2018, Eskişehir