



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ VE DIŞ MEKANLARIN NOKTA BULUTLARININ BİRLEŞTİRİLMESİ

Omar Falah MIRDAN

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

İÇ VE DIŞ MEKANLARIN NOKTA BULUTLARININ BİRLEŞTİRİLMESİ

Omar Falah MIRDAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Unvanı Adı SOYADI

2018, … 65 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Murat YAKAR
Prof.Dr. H.Murat YILMAZ
Prof.Dr. ÖMER MUTLUOĞLU

Teknolojinin gelişmesiyle beraber tarihi eserlerin gelecek nesillere aslına uygun şekilde aktarılabilmesi olanağını doğmuştur. Görüntüleme ve kayıt teknolojisinin gelişmediği dönemler düşünülecek olursa bir tarihi yapı zarar gördüğünde aslı ile ilgili fikir sahibi olunmadığından çevresel şartlara bağlı olarak yok olma tehlikesiyle baş başa kalabiliyor ya da aslından uzak şekilde restore edilerek yapının ömrü uzatılıyordu. Yani yapının aslının muhafaza edilmesi anlayışından uzak pratik amaçlarla hareket ediliyordu.

Bir toplumda eserlerin korunması ve yaşatılması ile ilgili bilinç düzeyi ne kadar yüksek olursa o eserin gelecek nesillere kalabilmek imkânı da o kadar yüksektir. Son yıllarda yersel lazer uygulamaları, uydu sistemleri, İnsansız Hava Araçları gibi yöntemlerle yapıların 3B modellemeleri yapılabilmekte ve yapılarla ile ilgili aslına uygun veriler üretilip kayıt altına alınabilmektedir. Bahsi geçen yöntemler zamandan tasarruf edilmesini sağlamakta ve daha az maliyetle daha çok veri elde edilmesine imkân tanımaktadır. Tarihi yapıların 3B modellemesinde Yersel Lazer Sistemi kullanılmaktadır. Yersel Lazer Tarama yapıların hem içten hem dıştan modellenmesine olanak sağladığından oldukça kullanışlıdır. Bu çalışmada tarihi açıdan önemli bir kültürel miras olan Alay Han, Yersel Lazer Tarama Sistemi ile taranmış, bunun için de Faro Focus3D X330 lazer tarayıcı kullanılmıştır. Faro Scene yazılımı ile de verilerin nokta bulutu görüntüsü elde edilmiştir. Yer kontrol noktalarının ölçümünde ise Trimble R6 kullanılmıştır. Çalışma sonunda dış mekanların bileştirilmesinde (4,4 cm) hassasiyetinde iç mekanların bileştirilmesinde ise (6,7 cm) hassasiyetinde elde edilmiştir. Yersel lazer tarayıcıların yapılarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, İHA, Nokta Bulutları, Yersel Lazer Tarama**.**

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

COMBINATION OF INNER AND OUTER POINT CLOUDS

Omar Falah MIRDAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY IN SURVEYING ENGINEERING

Advisor: Prof.Dr. Murat YAKAR

2018, … 65 Pages

Jury
Prof.Dr. Murat YAKAR
Prof.Dr. H.Murat YILMAZ
Prof.Dr. ÖMER MUTLUOĞLU
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Historical artifacts can be transferred to future generations in a proper way by the development of technology. If to consider the periods when imaging and recording technology was not developed, since a historic building was damaged and had no idea of its original state, could face the danger of extinction due to environmental conditions or by It was being restored far away from the original and the life of the structure was extended. In other words, practice applications were implemented with a wrong approach than protecting the original structure.

The higher the level of consciousness about preservation and survival of works in a society, the higher the possibility of transferring the work to future generations. In recent years, 3D models of structures such as terrestrial laser applications, satellite systems, Unmanned Aerial Vehicles can be made and the appropriate data related to constructions can be produced and recorded. The above methods allow to save time and allow more data to be obtained with less cost. In the photogrammetric 3D model of historical structures, Terrestrial Laser System is used. Terrestrial Laser Scanning is very useful as it allows modeling both internally and externally. Alay Han, an important cultural heritage in history, was scanned with the Terrestrial Laser Scanning System, and a Faro Focus3D X330 laser scanner was used for this study. With the Faro Scene software, the point cloud image of the data was also obtained. Trimble R6 was used to measure the ground control points. At the end of the study, the combination of the outdoor spaces was obtained with (4.4 cm) sensitivity and (6.7 cm) sensitivity for the interior spaces. It is recommended to use terrestrial laser scanners in construction.

Keywords: Photogrammetry, DR, Point Clouds, Terrestrial Laser Scanning**.**

ÖNSÖZ

Yüksek Lisan eğitimim boyunca bana tez konusu seçimimde ve tez çalışması süresince kıymetli bilgi ve tecrübesiyle bana bıkmadan yardımcı olan ve yol gösteren değerli hocam Sayın Prof.Dr. Murat YAKAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışma sırasında bana yardımcı olan diğer bölüm hocalarına da teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımda maddi ve manevi desteklerini her an yanımda hissettiğim, üzerimde emeği geçen, beni özveri ve sabırla yetiştiren aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Omar Falah MIRDAN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vii**

İÇİNDEKİLER ..... **viii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

1.1 Alay Han 2

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. FOTOGRAMETRİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER **6**

3.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması 7

3.1.1. Fotoğraf Çekim Yerinin Konumuna Göre 8

3.1.2. Değerlendirmede Aşmasında Kullanılan Fotoğraf Sayısına Göre 9

3.1.3. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemine Göre 10

3.1.4. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemleri 10

3.2. Fotogrametrinin Özellikleri 11

3.3. Yöneltmeler 13

3.3.1. İç Yöneltme 13

3.3.2. Dış Yöneltme 13

3.4. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi 14

3.4.1. Lazer tarayıcı sistem çeşitleri 18

3.4.2. Yersel lazer tarama malzemeler 20

3.4.3. Yersel lazer tarayıcının avantajları 24

3.4.4. Lazer tarayıcıların sınıflandırılması 24

3.4.5. Yersel lazer tarama verilerinde hata kaynakları 28

3.5. Lazer Işının Göz Güvenlik Sınıflandırılması 30

3.6. Yersel Lazer Tarayıcının Kullanım Alanları 31

3.6.1. Arkeolojik kullanım alanında 31
3.6.2. Madencilik kullanım alanında 32
3.6.3. Endüstriyel kullanım alanında 32
3.6.4. Trafik kazaları kullanım alanında 32
3.6.5. Adli tıp kullanım alanında 32
3.6.6. Sanal simülasyon kullanım alanında 32
3.7. Yersel Lazer Tarayıcı Veri Değerlendirme Yazılımları 33

4. UYGULAMA 34

4.1 Çalışma Alanı 34
4.1.1. Arazi Etüdü 35
4.1.2. Poligon Noktalarının Etüdü 35
4.1.3. Çalışılacak objeye ait kroki hazırlanması 36
4.1.4. Çalışılacak obje yüzeylerinin alımının yapılması kroki işaretlenmesi 36
4.2. Alay Han Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulaması 37
4.2.1. Yersel lazer tarama işlem adımları 37
4.2.2. Tarama öncesi planlama 38
4.2.3. Arazi çalışması 38
4.2.4. Ofis çalışması 40
4.2.5. Plan ve kesit üretimi 44

5. Tartışma 47

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 50

6.1 Sonuçlar 50
6.2 Öneriler 50

KAYNAKLAR 52

EKLER 55

SİMGELER VE KISALTMALAR

3B	: Üç Boyutlu
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAD	: Computer Aided Design
GPS	: Global Positioning System
IHA	: İnsansız Hava Aracı
LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging
P	: Poligon
SNR	: Sinyal Gürültü Oranı
YTL	: Yersel Lazer Tarayıcı
TLS	: Yersel Lazer Tarayıcı
TLSS	: Yersel Lazer Tarayıcı Sistemi
AGC	: Automatic Generation Control
CFD	: Computational Fluid Dynamics

1. GİRİŞ

Fotogrametri, fotoğrafların uygun koşullar altında elde edilmesi suretiyle nesne ve çevresi hakkında güvenilir bilgiler elde etme olarak tanımlanabilir. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi fotoğrafın bulunmasından çok öncelerine dayanır. Teknolojide yaşanan gelişmeler fotogrametrinin gelişimini etkilemiştir. Fotoğraflardan bilgi çıkarmak için optik-mekanik sistemlerden yararlanan analog fotogrametri dönemi bilgisayarın ortaya çıkmasıyla analitik fotogrametri ile devam etmiştir. Sayısal görüntünün bulunması ve bilgisayarın gelişmesiyle sayısal fotogrametri dönemi başlamış ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yaşayan ve ark., 2011).

Fotogrametri sayesinde tarihi binalar belgelenebilmektedir. Bu doğrultuda bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleri oluşturulmakta, değişik perspektif ve tematik bilgilerinin yer aldığı detaylı haritalar yardımıyla incelenebilmektedir. Etkileşime açık çoklu ortamlarda sunumları da yapılabilmektedir. Bu sunumlar, geometrik hassasiyete sahip digital ve filmli fotoğraf makineleri ile yüksek çözünürlüklü tarayıcılar ve görüntü değerlendirme yazılımları sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Söz konusu makineler, tarayıcılar ve yazılımlar her geçen gün daha da gelişmekte ve daha ayrıntılı, kaliteli bilgiler elde edilebilmektedir (Turan, 2004).

Özellikle bilim ve teknolojideki gelişmeler sayesinde ölçme teknikleri de gelişmiş, dolayısıyla fotogrametri alanında yapılan çalışmalarda da önemli yol katedilmiştir. Fotogrametrik çalışmalar ile Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Aracı gibi çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bilhassa yersel lazer tarama, bir yer ile ilgili kısa sürede ve istenen sıklıkta üç boyutlu nokta verisi elde etmeye olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla 2000'lerin başında gelişme gösteren lazer tarama, mimari ve röleve çalışmalarında daha çok tercih edilir olmuştur.

Lazer tarama yönteminin geliştirilerek daha ileri bir seviyeye taşınmasında ölçme teknolojisindeki gelişmeler etkili olmuştur. Bu gelişmeler sayesinde lazer tarama yönteminde veri işleme ve sunumunda önemli adımlar atılmıştır. Lazer tarama yöntemiyle elde edilen verilerin işlenmesinde en önemli adımlardan birisi, elde edilen 3B nokta bulutlarının birleştirilmesidir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Bu bağlamda çalışmada önemli tarihi ve mimari eserlerimizden birisi olan Alay Han için, Yersel Lazer Tarama Yöntemi uygulanacak, elde edilen sonuçlara göre uygulamanın mukayese edilmesi sağlanacaktır. Bu doğrultuda Alay Han Yersel Tarama

için Scene programı kullanılacaktır. Dolayısıyla hem arazi çalışması hem de ofis çalışması yapılarak genel bir değerlendirmede bulunulacaktır.

1.1 Alay Han

Alay Han, Aksaray–Niğde güzergâhında bulunan bir kervansaraydır. 3 km batısında ise aynı ismi taşıyan bir köy bulunmaktadır. Ağzıkara Han'a ise 18 km mesafededir. Alay Han, oldukça eski bir tarihi geçmişe sahiptir. Öyle ki 1192 tarihinde II. Kılıçarslan tarafından yaptırılan hanın Anadolu'daki ilk Sultan Hanı olduğu belirtilmektedir. Pervane kervansarayı olarak da bilinmektedir (Algan, 2008).

Alay Han'ın planına bakıldığında açık bölüm ve kapalı barınak kısmından oluştuğu görülmektedir. Geçen zamana karşı dayanmaya çalışan hanın açık bölümü artık yoktur. Kapalı bölümünün de güney cephesi ile iki yan duvarı kalmıştır. Hanın avlu kısmının doğu tarafında bir de hamam bulunmaktadır. Hamamın planı Karatay Handaki ile benzeşmektedir. Hamam kısmı kare planlı bir mekân olup, soyunmalık, ılıklık ve büyük ölçekli sıcaklık mekânlarından oluşmaktadır. Yapı sadeliği ile dikkat çekmekte, süslemeye dair tek detay taç kapıda yer almaktadır. Kaldı ki taç kapıda da aşırıya kaçılmadan sade denilebilecek düzeyde bir süslemeye yer verilmiştir. Taç kapıdaki süsleme iç içe geçmiş zikzak şeklindeki üçgen geometrik desenlerden, sekiz köşeli iç içe geçmiş yıldızlardan oluşmaktadır. Taç kapı kemerinin hemen üzerinde ise çift gövdeli tek başlı aslan figrü yer almaktadır. Taç kapıdaki bu aslan mitolojik kökenli olup, kapı bekçisi ve koruyucu olarak yorumlanmaktadır (Anonim, 2017a).

Hanın avlu kısmı ise yıkık vaziyettedir. Hatta 1955'li yıllardan 2005'e kadar geçen süreçte avlunun üzerinden Aksaray-Nevşehir karayolu uzanmaktaydı. 2002 senesinde Alay Han'da yapılan sağlamlaştıra ve kazı çalışmaları sırasında avlu kısmının temellerinin yolun altında kaldığı, yol yapılması için tahrif edildiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalarla kuzeydoğu tarafındaki avlunun temel duvarlarına ulaşılmıştır. Yine alanda yapılan çalışma ile yapının yıkılmış durumdaki kuzeydoğu duvarı, doğu duvarının ise birinci payandaya kadar olan kısmı, giriş kısmının doğu yönündeki iç sövesi ve girişin batı yönündeki kemer ayağı, aslan figürünün arka kısmındaki kemer kavsarası güçlendirilmiştir. Ayrıca kazı çalışmalarında genellikle amorf nitelikli pek çok sırlı ve sırsız seramik, kandil parçası, iki tane bakır para ve çeşitli bıçak ve kamaya

benzeyen madeni eşyalar bulunmuştur (Şekil 1.1) de gösterilmiştir. (Anonim, 2017b). Bu durum arkeolojik çalışmaların ülkemizde çok yavaş ilerlediğinin ve tarihi eserlere verilen önemin çok geç kazanıldığının canlı bir kanıtıdır.



Şekil 1.1 Alay Han Kervansarayı

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Asri ve Çorumluoğlu (2014) çalışmalarında Gümüşhane ilindeki 1. derece arkeolojik sit alanı olan Santa Harabelerinin 3B Yersel Fotogrametri yöntemi ile son mevcut durumun kayıt altına alınmasını ve dokümantasyonunun yapılmasını sağlamışlardır. Yapılan bu çalışma ile Gümüşhane kültür mirasının dokümantasyonuna, tanıtımına, turizmine ve fotogrametrik 3B modellerin etkin kullanımına katkı sağlanmıştır.

Yılmaz ve ark. (2000) yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları isimli çalışmalarında yersel fotogrametrinin yoğun olarak kullanıldığı alanları kısaca açıklamışlardır.

Yakar ve ark. (2013) sandıklı Kültür ve Sanat Evinin Yersel Fotogrametrik ve İHA Teknikleri Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi isimli araştırmalarında yersel tekniklerin, modellenmesi yapılacak tarihi mekânların, çatı gibi ulaşılamayan kısımlarında çizim işlerinde yetersiz kaldığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda ise İHA'ların yersel fotogrametrik tekniklerle beraber kullanıldığında özellikle restorasyon çalışmalarında çok büyük fayda sağladığı gözlemlenmiştir. Eserin 3 boyutlu modelinin çıkarılması ile esere yapılacak restorasyon planlarına hassas bir altlık oluşturulmuştur.

Yakar ve ark. (2005) tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü isimli çalışmada bir rölöve çalışmasındaki yersel Fotogrametri yöntemine gore işlem akışı sunularak, çalışmaların idari ve hukuki boyutu ele alınmış ve bu kapsamda Jeodezi-Fotogrametri Mühendislerinin bu tür projelerdeki görevleri ve yetkileri üzerinde durulmuştur.

Altuntaş ve Yıldız (2008) Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi isimli çalışmada yersel lazer tarayıcıların ölçme prensipleri incelenmiş ve elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesinde kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

Çak (2014) Yersel Fotogrametrinin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımı isimli çalışmada ufak bir gemi modeli yardımıyla gerçek ölçülerde gemi üretilmesine yönelik tersine mühendislik uygulaması, yersel fotogrametri yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla fotoğraf alımı, kalibre edilmiş Nikon D3X sayısal kamera ile gerçekleştirilmiş ve yöneltme işlemleri PhotoModeler yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Yöneltme işlemleri sonrasında üç boyutlu nokta bulutu üretimi, çizim ve ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile PhotoModeler yazılımında

kullanılan fotoğraf sayısı arttıkça proje doğruluğunun arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen sonuç ürünün (nokta bulutu, model, ortofoto) doğruluğunun, fotoğraf üzerinde işaretlenen nokta sayısının artmasıyla yükseldiği belirtilmiştir.

Çelik (2011) Karayolları Etüt ve Proje Çalışmalarında Mobil Haritalama Sistemlerinin Kullanılabilirliği isimli çalışmada klasik ölçme sistemleri ile mobil lazer ölçme sistemlerinin kıyaslaması ve mobil lazer ölçme sistemlerinin karayolu etüt proje çalışmalarında kullanılması halinde elde edilecek avantajlar tartışılmıştır.

Karasaka ve Yıldız (2015) Yersel Mobil Lazer Tarama Teknolojisi: Topcon IP-S2 Örneği isimli çalışmada yersel mobil lazer tarama sistem bileşenleri, sistemin matematiksel modeli ve koordinat sistemleri, doğrudan georeferanslama için GNNS/IMU entegrasyonunun önemi ve bu pazarda yer alan birkaç büyük firmanın son mobil haritalama sistemlerinin performansları ve TOPCON IP-S2 uygulaması hakkında bilgi vermişlerdir.

Özcan ve ark. (2005) Lazer Cihazlarının İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi ve Zararlı Etkilerinin Giderilmesi isimli çalışmada lazer cihazlarının oluşturabileceği tehlikelere göre sınıflandırılması, lazer cihazı ile çalışırken alınması gereken tedbirlerden bahsetmişlerdir.

Boy ve Saraloğlu (2016) Yer Kontrol Noktaları Kullanılmadan İHA'lar ile Hangi Doğruluk Seviyesinde Haritalama Yapılabilir? isimli çalışmada haritalama amaçlı kullanılan İHA sistemleri ile yapılan çalışmalarda Yer Kontrol Noktaları kullanılmadan GNSS Post Proses tekniği ile hangi seviyede hassasiyet ve doğruluk yakalanabileceğini incelemişlerdir.

3. FOTOGRAMETRİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Fotogrametri kelimesinin kökenine bakılacak olursa “fotos”, “gramma” ve “metron” kelimelerinin birleşmesinden oluştuğu görülmektedir. Fotos; ışık, gramma; çizim ve metron; ölçme manasına gelmektedir. Bu kelimelerin birleşimi ile elde edilen anlam ise , “ışık yardımıyla ölçme-çizim” işidir (Ersoy, 2006).

1839 yılında Daguerre ve Niepce tarafından fotoğrafın keşfi ile fotogrametri biliminin tarihsel süreci başlamıştır (Kılınçoğlu, 2016).

Fotogrametri bilimi, cisimlerden ve cisimlerin bulundukları çevreden yayılan ışınlar vasıtasıyla şekillenen fotogrametrik resimlerin ve yaydıkları elektro manyetik enerjinin kaydedilmesine, ölçülmesine ve yorumlamasına yarayan teknolojidir (Anonim, 2013).

Fotogrametri, hem bilimi hem de sanatı bünyesinde barındırır. Çünkü fotogrametri sırasında gerçekleştirilen ölçümler, hesaplamalar ve çizimler fizik, kimya ve matematikteki uygulamalara dayanmaktadır. Fotogrametrinin sanatla ilişkisi ise şu şekilde açıklanabilir: Fotogrametride doğru ölçümlerin yapılması açık ve anlaşılır resimlerle mümkün olmaktadır. Bu da görüntü işleme tekniklerini de kullanmayı gerektirmektedir (Tanrıtanır, 2013).

Fotogrametri özellikle yeni gelişen görüntü işleme teklikleri ile hem Yersel hem de İnsansız Hava Aracı (İHA-UAV) bazlı uygulamaları ile Mimari ve Arkeolojik 3B modelleme çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir. Günümüzde bina bazlı modellemede yersel fotogrametri, alan bazlı modelleme de İHA bazlı fotogrametrik uygulamalar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bu sayede hem popülaritesi yüksek tarihi, antik ve arkeolojik yerleşim alanları kayıt altına alınarak zamanın, doğanın ve insanın olumsuz etkilerine karşı dokümantasyonu yapılmakta, ayrıca bunlar sanal ortamlar kullanılarak daha geniş kitlelere aktarılmakta, hem de hak ettiği popülariteyi ve önemi konum veya değişik etkenlerle alamamış tarihi, antik ve arkeolojik yerleşim alanları kayıt altına alınarak yine bahsedilen olumsuz etkilere karşı dokümantasyon yapılmakta ve hak ettiği popülariteyi ve önemi elde edebilmesine katkı sağlanmaktadır (Asri ve Çorumluoğlu, 2014).

Fotogrametri biliminin temel amacı, çekilen resmin cisme olan konumunu belirleyebilmektir. Teknolojinin gelişmesiyle değişen ve çeşitli dallara ayrılan bu bilimde, esas olan matematiksel model aynı kalmaktadır. Bu matematiksel model, resim

üzerindeki koordinatların ölçülerek cisim uzayındaki arazi koordinatlarının hesaplanmasını sağlamaktadır (Kılınçoğlu, 2016).

Diğer taraftan fotogrametrik veri üretiminde en çok tercih edilen yöntem YLT'dir. Resim rektifikasyonunda kullanılacak koordinatları bilinen noktaların, tüm YLT verisi içerisinden ayıklanması gerekmektedir. Bu noktalar cisim yüzeyleri üzerinde maksimum ve minimum noktalar olarak tanımlanır. Ancak YLT verisi içerisinde farklı tarama açıları nedeni ile yüzeyler üzerinden bu noktaların okunması ve islenmesi yoğun nokta bulutu verisi nedeni ile zor bir çalışmayı gerektirir ve veri üreten operatör için zaman alıcı olabilmektedir. Özellikle fotogrametrik veri üretiminde mimari restorasyon ve kültürel mirasın korunması çalışmalarında kullanılan veri düseye çevrilmiş resimlerdir. Bu resimlerin YLT verisi olan nokta bulutu kümesinden alınması ve fotogrametrik resim rektifikasyonunda kullanılması operatör aracılığı ile yapılmaktadır (Ay, 2009).

3.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Fotogrametri değişik ölçülere göre değişik biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Ayrıca uygulanan tekniğin ve yöntemlerin gelişmesi, sınıflandırmanın da zamanla değiştirilmesin gerektirmektedir. Aşağıda, günümüzdeki uygulama alanları ile yapım yöntemleri ve tekniğine göre bir sınıflandırma yapılmıştır (Ersoy, 2006).

Uygulamaya bağlı olarak;

- Topografik fotogrametri
- Topografik olmayan fotogrametri (Nontopographic)
- Foto yorumlama (fotointerpretasyon)
- Mühendislik fotogrametrisi (Teknik fotogrametri) biçiminde sınıflandırılabilir.

Bunlardan topografik fotogrametri, harita yapımı gibi, topografik amaçlar için uygulanan fotogrametridir. Topografik olmayan fotogrametri ise genel anlamda, fotogrametrinin topografik amaçlar dışındaki tüm uygulamalarını içermektedir. Bunlardan bir kısmında, değişik amaçlar için foto yorumlama yapılmaktadır. Mimarlık fotogrametrisi, yol yapım çalışmalarında ve başka amaçlarla en ve boy kesit çıkarma,

montaj vb. gibi fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlemleri, mühendislik fotogrametrisi ismi altında toplanmaktadır.

Değerlendirilecek objenin büyüklüğüne göre (Ersoy, 2006)

- Mikro fotogrametri
- Makro fotogrametri

Bunlardan mikro fotogrametri küçük cisimlerin, makro fotogrametri de büyük cisimlerin, binaların ve arazi parçalarının fotogrametrik olarak incelenmesi demektir. Mikro fotogrometride kullanılan "mikro" kelimesi adından da anlaşılacağı üzere hassas bir birim olan mikron teriminden gelmekte, ayrıca küçük objeler için de kullanılmaktadır. Mikro fotogrametri, küçük objelerin hayatımızdaki önemini göstermesi, yüksek çözünürlükte ve hassas veriler sunması bakımından mühimdir. Bu bağlamda mikro fotogrametri, mikronun bindelerinden milimetreye kadar uzanan bir doğruluk skalası vardır. Ayrıca mikrofotogrametrinin bu kadar detaylı ve hassas ölçümler yapabilmesi ileri teknoloji ürünü olmasının bir getirisidir (Ergün ve Altan, 2003).

Bunun dışında fotoğraf çekim yerinin konumuna göre, değerlendirme aşamasında kullanılan fotoğraf sayısına göre, fotogrametrik değerlendirme yöntemine göre yapılan sınıflamaya dair açıklamalar da aşağıdaki şekildedir.

3.1.1. Fotoğraf Çekim Yerinin Konumuna Göre

Fotoğraf çekim yerinin konumuna göre fotogrametri üçe ayrılır. Bunlar (Mohammed, 2016);

- Yersel Fotogrametri
- Hava Fotogrametri
- Uydu Fotogrametrisi

Yersel fotogrametri aşağıda da ayrıntılarıyla değinileceği üzere; Alım merkezinin yer üzerinde bir nokta olması durumunda uygulanan fotogrametrik yönteme yersel fotogrametri denir (Çak, 2014).

Hava fotoğrafları, kameralar vasıtasıyla yeryüzünden belli bir mesafe uzaklıkta çekilebilmektedir. Bu kameralardan elde edilen görüntüler ham görüntülerdir ve kişiye

güncel bilgiler sunar. Dolayısıyla belli bir yükseklikten görüntü alımı sayesinde yeryüzündeki geniş alanlarla ilgili bilgi toplanabilmekte, geniş alanların haritalanması daha kolay ve maliyeti daha düşük olabilmektedir. Bu bağlamda hava fotoğrafları; geniş alanlarda görülen orman yangınlarının görülmesi ve kontrol altına alınmasında, ormanlık alanların görüntülenmesinde, çevresel kirliliğin tespitinde, harita çizimlerinde, şehircilikte, sel felaketlerinde, tarımsal alanların çeşitli faktörlere göre inceleme altına alınmasında, toprak etütlerinde etkilidir (Yetişen, 2007).

Hava fotogrametrisinde, yorumlama, ölçme ve değerlendirme işlemleri, havadan çekilen resimler kullanılarak yapılırken, yersel fotogrametride yerden çekilen resimler kullanılmaktadır. Gerek havadan gerekse yerden çekilmiş resimler, hem topografik hem de topografik olmayan amaçlar için kullanılabilirler. Ancak topografik amaçlar için genellikle hava fotogrametrisi kullanılmaktadır (Yetişen, 2007).

Günümüzde yeryüzünün topoğrafyası hakkındaki birçok bilgi, uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmektedir. Bu tekniğin temel veri kaynakları uydu görüntüleridir. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde oldukça geniş alanların görüntüleri elde edilebilmekte istenilen sonuç ürüne bu görüntüler aracılığıyla ulaşılabilmektedir. Bu sayede daha ekonomik ve güncel veriye erişilebilmektedir (Uysal, 2016).

3.1.2. Değerlendirmede Aşmasında Kullanılan Fotoğraf Sayısına Göre

Değerlendirme aşamasında kullanılan fotoğraf sayısına göre fotagrametri ikiye ayrılır. Bunlar (Mohammed, 2016);

- Tek Resim Fotogrametrisi
- Çift Resim Fotogrametrisi

Tek resim fotogrametrisi düz arazilerde kullanılabilir. Yükseklik farkı çok olan arazilerde ölçek farklılaşması olacağından yersel fotogrametri kullanılmaz. Bu yöntemde tek resimlerden harita gibi yararlanılır. Daha hassas olması arzu edilen durumlarda rodresman-yataylama aletlerinde resim eğikliği giderilerek kesin ölçekli bir foto harita elde edilir. Çift resim fotogrametrisi ise her türlü arazide uygulanabilir. Tek resim fotogrametrisindeki ölçek deformasyonu çift resim fotogrametrisinde yok edilir (Yakar, 1995).

3.1.3. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemine Göre

Fotogrametrik değerlendirme yöntemine göre fotogrametri üçe ayrılır. Bunlar (Mohammed, 2016);

- Anolog Fotogrametrisi
- Analitik Fotogrametrisi
- Dijital Fotogrametrisi

3.1.4. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemleri

3.1.4.1. Analog Fotogrametri

Analog fotogrametride, analog kameralar kullanılır ve bu kameralarla çekilen fotoğraf çiftleri mekanik aletlerle yöneltilir. Böylece yöneltilen fotoğraf çiftlerinin stereo-modeli oluşturulur, ardından değerlendirilir ve bu aletlere bağlanan çizim masaları vasıtası ile istenen ölçekte çizim üretilebilir (Çak, 2014).

3.1.4.2. Analitik Fotogrametri

Analitik fotogrametri veri olarak analog resimlerden yararlanmaktadır. Bilgisayarlarla desteklenen optik mekanik aletlerle fotogrametrik hesap yapılmaktadır. Analitik fotogrametride istenen çıktı bilgisayar vasıtasıyla elde edildiğinden dolayı, çıktının CAD sistemlerine aktarılabilmesine ve çeşitli görsel efektlerle desteklenmesine olanak sağlamaktadır (Anonim, 2017a).

3.1.4.3. Dijital (Sayısal) Fotogrametri

Dijital fotogrametride tüm işlemler bilgisayar üzerinden sayısal verilerle gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla elde edilen hava görüntüleri, uydu fotoğrafları ya da İHA vasıtasıyla elde edilen görüntüler, tarayıcılar vasıtasıyla taranarak sayısal ortama aktarılmaktadır. Dijital fotogrametrinin kullanımı günümüzde yaygınlık kazanmıştır (Anonim, 2017a).

Sayısal görüntünün en küçük birimi pikseldir. Sayısal görüntü g_{ij} elemanlı iki boyutlu G matrisinden oluşur. Sütun ve satır sayıları (i,j) piksel merkezinin koordinatlarını, g_{ij} elemanının sayısal değeri de gri düzeyini ifade eder (Çak, 2014).

Dijital kameralar, tarayıcılar, koordinat ölçüm makineleri, hava radarı vb. gibi çeşitli giriş aygıtları ve teknikler ile dijital görüntüler oluşturulabilir. Dijital fotogrametri, sayısal formda kaydedilmiş stereo görüntülerin tamamen bilgisayar ortamında işlenerek, yöneltme ve değerlendirme işlemlerinin yarı otomatik ya da tam otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadır (Kılınçoğlu, 2016).

Dijital fotogrametrinin kullanım avantajları (Çak, 2014);

- Görüntüler direkt olarak bilgisayarda görüntülenmesi,
- Film banyosu ve tarama işleminin ortadan kaldırılması,
- Aynı resme ait birden fazla kopya için maliyet ortadan kalkması,
- Nesnelerin görüntüleri alındıktan sonra, bütün işlemler araziden bağımsız olarak büroda yapılması,
- Görüntü geliştirmesi (image enhancement) yapılabilmesi,
- Dijital görüntü işleme teknikleri, fotogrametrik değerlendirme ve ölçüme otomatik olarak yapılması şeklinde sıralanabilir..

3.2. Fotogrametrinin Özellikleri

Fotogrametri bilindiği üzere bir ölçüm tekniğidir. Fakat fotogrametri söz konusu ölçümleri direk cisim üzerinden değil cisimlerden elde edilen görüntüler üzerinden gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla fotogrametri için dolaylı bir ölçme yöntemi denebilir. Fotogrametri sayesinde ulaşılması mümkün olmayan yerlerin, ulaşılamayan cisimlerin dahi ölçümünün yapılması mümkündür. Bu bağlamda fotogrametrinin belli başlı özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Yetişen, 2007; Tanrıtanır, 2013):

- Fotogrametride bilgiler çekilen görüntülerle toplanmaktadır.
- Fotogrametride bilgi toplama sırasında cisimde herhangi bir hasar, iz ya da etki olmamaktadır.
- Fotogrametri sayesinde elde edilen veriler belge niteliğindedir. İstenildiği zaman bilgilerin kullanılmak üzere yeni ölçümler yapılarak işlenmesine olanak sunar.
- Fotogrametride bilgi toplama süreci oldukça kısadır ve çalışmanın büyük kısmını ofis çalışması oluşturmaktadır.

- Zaman faktörünün dördüncü boyut olarak alınması durumunda her türlü değişimin ve hareketin incelenmesine olanak tanır.
- Fotogrametrik bilgilerin bilgisayar sisteminde yorumlanması oldukça kolaydır. Günümüzde dijital fotogrametrinin kullanımının yaygınlaşması cisimlerin resimlerinin sayısal olarak direk bilgisayara aktarılarak işlenmesine olanak sağlamaktadır.
- Fotogrametri, dolaylı bir ölçme yöntemidir. Ölçüm yapmak için bizzat cismin yanında bulunulması gerekli değildir. Cisimle ilgili görsel bilgiye sahip olmak yeterlidir.
- Fotogrametri tekniğinde sadece görünen ışık dalgaları ile çekilen fotoğraflar değil, kızıl ötesi, mor ötesi, termal gibi gözle görülmeyen ışık dalgalarıyla çekilmiş fotoğrafların da kullanılması mümkündür.
- Fotogrametri geometrik ve fiziksel bilgilerin yorumlanmasını kolaylaştırıcı bir özelliğe sahiptir.

3.3. Yöneltmeler

Resimlerin resim çekim anındaki konumlarının yeniden elde edilmesi işlemine resimlerin yöneltilmesi adı verilir. İç yöneltme ve dış yöneltme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.3.1. İç Yöneltme

Resim çekimi esnasında resmi meydana getiren ışınların küçültülmüş ve büyütülmüş olarak yeniden elde edilmesine iç yöneltme denmektedir. İç yöneltme, izdüşüm merkezine göre resim noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı göstermektedir. Bu sayede resim, koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumu yöneltmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilmektedir. Yani iç yöneltme ile resim çekim anındaki ışın demeti yeniden oluşturulmaktadır (Marangoz, 2013).

3.3.2. Dış Yöneltme

Bilinen iç yöneltmeli izdüşüm, eğer "O" izdüşüm merkezinin X_0, Y_0 ve Z_0 koordinatları ile resim koordinat sisteminin uzay koordinat sistemindeki yöneltmesinin bilinmesi durumunda analitik olarak ve tek anlamlı olarak belirlidir. Bu yöneltme birbirinden bağımsız ve çeşitli şekilde seçilebilen üç α,β ve χ açıları ile gösterilir. Bir ışın demetinin uzaydaki konumunun belirlenmesi üç dönme ve ötelenme değerlerinin bilinmesi mümkün olur. Bu değerler resim çekme noktasının X_0, Y_0 ve Z_0 koordinatları ile ışın demetinin üç dönme parametresi ω, φ ve χ' dır. Bu altı parametreye dış yöneltme elemanları denmektedir (Marangoz, 2013).

3.4. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi

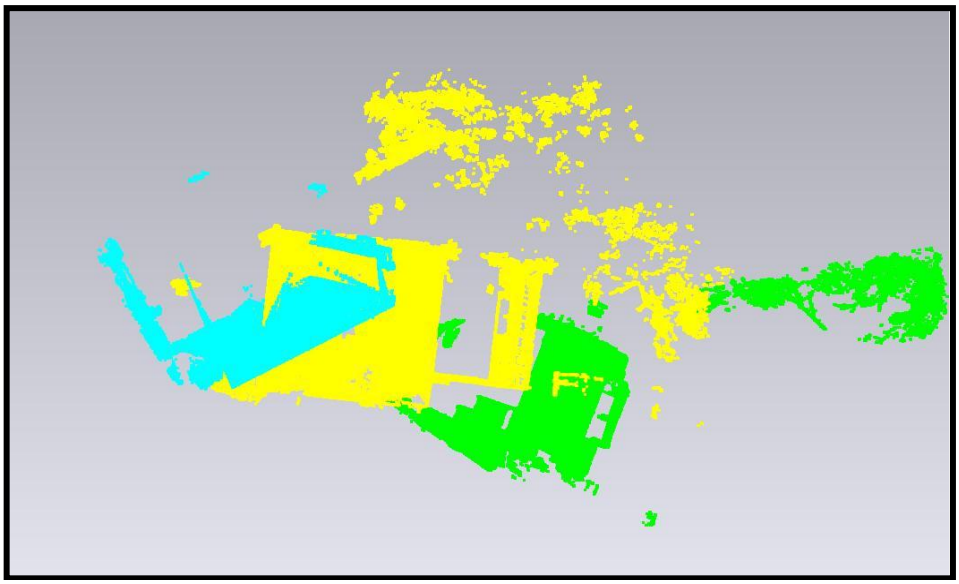
Yersel lazer tarama, lazer ışını vasıtasıyla bir cisim ya da yüzeyin uzaklığını kavramaya yarayan bir teknolojidir. Cisim ya da yüzeye gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile cisim ya da yüzeye çarpıp dönen yansımanın kaynağa dönüş süresi arasındaki fark sayesinde uzaklık ölçülebilmektedir. Yersel lazer tarayıcı sistemleri günümüzde, ölçeğe bağlı kalınmadan modelleme yapılabilmesine imkan tanımaktadır (Tomurcuk, 2010).

Lazer tarayıcılar, kullanıcısı için nesnenin yüzeyine ait noktaların üç boyutlu koordinatlarını toparlayabilen alettir. Başka bir değişle lazer tarayıcılar, nesne yüzeyini tarayarak, otomatik ve sistematik bir desen oluşturan, saniyede yüzlerce hatta binlerce nokta verisi toparlayabilen çok kısa sürede sonuç ürün olarak üç boyutlu koordinat bilgisine ulaşa bilinen aletlerdir. Etkin bir veri toplama tekniği olan lazer tarayıcılar hem ölçmecilere hem de bu ölçüleri kullananlara büyük kolaylıklar sağlar (Tomurcuk, 2010).

Lazer tarayıcılar nesne yüzey verisini 3B koordinat olarak elde etmektedirler. Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir işlem akışına sahiptirler.

Üç boyutlu lazer tarayıcı objeyi bir lazer ışınıyla seçilebilir bir grid yoğunluğuna göre taramaktadır. Hedef noktasıyla eğik mesafeyle birlikte yatay ve düşey açı da kaydedilmektedir. Kısa bir zamanda binlerce 3B vektör yaratılabilmektedir, taranan cisim ya da obje 3B koordinat uzayında büyük bir grid formunda gösterilmektedir. Dolayısıyla 3B lazer tarayıcılara 1:1 sayısallaştırıcı da denilmektedir. Tarama işleminin ardından bilgisayar ortamında elde edilen nokta bulutu eş zamanlı olarak gösterilebilmektedir (Hepyörük, 2015).

Kullanılan tarayıcı tipine bağlı olarak nokta mesafesine göre nokta bulutu renkli olabilir veya bir yoğunluk değeri (intensty) gösterebilir. Nokta bulutu tarama işlemi süresince istenen mesafe ve perspektifte döndürülebilmektedir; uygun olmayan noktalar elimine edilebilmektedir (Şekil 3.1) ta gösterilmiştir. (Aşkın, 2009).



Şekil 3.1. Doğru Renkli (ture colour) Nokta Bulutları Örneği

Lazer tarama yönteminin avantajları, obje ve hızlı ile temas kurmadan ölçme, lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu, aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama daha güvenli veri toplama imkânı, gerçek renkli görüntü üretebilme, ölçme alanının belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesidir (Tomurcuk, 2010).

Yersel lazer tarayıcılar ile çok kısa sürede binalara ait çok fazla 3 boyutlu nokta verisi elde edilmesine rağmen, elde edilen nokta bulut verisi veri tabanlarında oldukça büyük yer kaplamaktadır. Bundan dolayı nokta bulutu veri boyutunu küçültmek için yapıların 3 boyutlu modellenmesi önemlidir. Genellikle iki farlı modelleme tekniği vardır. Bunlar yüzey ağı modelleme (meshing) ve geometrik temel esaslı model oluşturmadır. Yüzey ağı modelleme genellikle karmaşık ve düzensiz bir mimariye sahip binaların modellenmesinde kullanılır. Geometrik temel esaslı model oluşturma ise geometrik olarak tanımlanabilen binaların (düzlem, silindir vb.) modellenmesinde kullanılmaktadır (Cömert ve Avdan, 2013).

Lazer tarama yöntemiyle cisimlerin üç boyutlu koordinatlarının elde edilmesi için farklı işlem mantığına sahip tarayıcılar kullanılmaktadır. Bunlar üçgenleme metodu ile işlem yapanalar, faz karşılaştırma metodu ile işlem yapanlar ve lazer ışını geliş gidiş zamanı ile işlem yapanlardır (Resul ve ark., 2012).

Üçgenleme metodu ile işlem yapan tarayıcılara bakıldığında, bu tarayıcılar taranan noktanın koordinatlarını optik üçgenleme tekniği ile belirlemektedir. Yansıtıcı alet vasıtasıyla cisim yüzeyine gönderilen lazer ışınını CCD kamera toplamaktadır.

Ardından cismin yüzeyinin koordinatları oluşan üçgenlerden elde edilmektedir. Bu tarayıcılarda konum belirlemek amacıyla tek kameralı ve çift kameralı çözümler kullanılmaktadır (Yaşar, 2013).

Faz karşılaştırma metodu ile işlem yapan tarayıcılarda ise iletilen lazer ışını harmonik dalgalar vasıtasıyla parçalanmaktadır. Ardından tarayıcı ve taranan nokta arasındaki mesafe ile iletilen ve alınan dalga boyu arasındaki faz farkı hesaplanmaktadır. Lazer ışını geliş gidiş zamanı ile işlem yapan tarayıcılarda ise taranan nokta ile tarayıcı artasındaki mesafe lazer ışının gidişi ve gelişi arasındaki zaman farkı hesaplanmaktadır. Bu tarz tarayıcılar çok hassas bir mekanizma ile çalışırlar. Bu mekanizmada lazer ışınlarını toplamaya yarayan bir de foto diyot mekanizması vardır. Ayrıca mekanizma lazer ışının salınımı ile çalışmakta, yansıyan ışının yakalanması ile de durmaktadır. Böylece zaman farkı (Δt) tespit edilebilmektedir (Resul ve ark., 2012).

Üçgenleme metodu daha çok küçük objelerin, küçük nesnelerin taranmasında kullanım kolaylığı sunarken, daha geniş alanlarda, arkeolojik yerlerde, tarihi binalarda, ormanlık alanlarda faz karşılaştırma metodu ile lazer geliş gidiş zamanı ile işlem yapan tarayıcılar kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Yaşar, 2013). Dolayısıyla yapılacak alana vecismin boyutuna göre tarayıcı seçimi işlem kolaylığı açısından önemlidir.

Birçok araştırmaya konu olan lazer tarama sistemleri geliştikçe uygulama alanları da artmıştır. Uygulama özelliklerine göre IQSun, Leica, Optech, Callidus, Trimbe, Riegl, vb. firmalarca farklı özellikler de farklı mesafe uzunluklarına göre (1 m – 1500 m) yersel lazer tarayıcılar üretilmiştir (Şekil 3.2) ve (Çizelge 3.1.) de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı Firmalara Ait Yersel Lazer Tarayıcılar (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Çizelge 3.1. Lazer Tarayıcılar ve Teknik özellikleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Marka	**Model**	**Ölçme Mesafesi(m)**	**Ölçme Hızı**	**Tarama Açısı**	**Mesafe Doğruluğu**	**Konumsal Doğruluk**	**Işınsal Açıklık**
Leica	Scan Station	300m (%90 Yansıtıcı yüzey)	4000 Nokta/San	270º (*V*) 360º (*H*)	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	4 mm @ 50 m
	HDS3000	300m (%90 Yansıtıcı yüzey)	4000 Nokta/San	270º (*V*) 360º (*H*)	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	4 mm @ 50 m
	HDS4500	53,5 m	500000 Nokta/San	310º (*V*) 360º (*H*)	5mm+120ppm (%100yns. y.)	13.7mm @ 25 m	8.5 mm @ 25 m
	HDS6000	79 m (%80 Yansıtıcı yüzey	500000 Nokta/San	310º (*V*) 360º (*H*)	5 mm @ 50 m	10 mm @ 50 m	3 mm + 0.22mrad
Optech	Ilris 3D	3m-1500m(%80 Yansıtıcı yüzey)	2500 Nokta/San	310º (*V*) 360º (*H*)	7 mm @ 100 m	8 mm @ 100 m	0.00974º
	LMS-Z420	2m-1000m %80	12000 Nokta/San	0-80º (*V*)	8 mm @ 50 m	10 mm @ 50 m	0.25 mrad

Riegl		Yansıtıcı. Yüzey)		0-360º (*H*)			
	LMS-Z390	1m-300m (%80 Yansıtıcı yüzey)	11000 Nokta/San	0-80º (*V*) 0-360º (*H*)	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	0.25 mrad
	LMS-Z210	4m-650m (%80 Yansıtıcı yüzey)	12000 Nokta/San	0-80º (*V*) 0-360º (*H*)	10 mm @ 50 m	15 mm @ 50 m	2.7 mrad
Z – F	Imager 5006	1m – 79 m	500000 Nokta/San	310º (*V*) 360º (*H*)	0.1 mm @ 50 m	1 mm @ 50 m	0.22 mrad
Faro	LS 880	1 m – 80 m	12000 Nokta/San	320º (*V*) 360º (*H*)	3 mm	5 mm	0.01º

3.4.1. Lazer tarayıcı sistem çeşitleri

3.4.1.1. Havadan lazer tarama (LIDAR)

LIDAR, elektromanyetik ışınlarla ölçme işleminin genel adıdır. Çoklu yansıma özelliğinin lazer sistemlerde daha sık kullanılmaya başlanması ile ormanlık alanlarda gibi alımın uzun süreler alacağı ve dik yamaç, vadi gibi alım yapmanın insan hayatına tehlike getirebileceği konumlarda LIDAR en önemli alım kaynağı haline gelmiştir. Maliyetlerin azaltılması ve kullanımın yaygınlaştırılması gibi temel hedeflerle LIDAR sistemleri daha küçültülmüş ve günümüzde İHA'larla entegre halde kullanılmaya başlanmıştır (Makineci, 2016).

Laser Ranging, Laser Altrimetry, Laser Scanning ve Laser Detection and Ranging olarak da bilinen sistem, radarların çalışma mantığına benzeyen bir mantıkla çalışmaktadır. Ancak LIDAR'ların sistemini radarların sisteminden ayıran fark; radarların radyo dalgaları kullanarak yükseklik bilgisi elde etmesi, LIDAR'ların ise yükseklik bilgisi elde ederken lazer ışınlarından yararlanmasıdır (Polat ve Uysal, 2016).

1970'lerde başlayan, 1990'larda ticari uygulama alanı bulan LiDAR teknolojisi, yalnızca haritacılık uygulamaları ile sınırlı olmayıp şehircilik, arkeoloji (restorasyon, rölöve), turizm, afet, altyapı, savunma gibi uygulama alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. 2000'li yıllardan bu yana uygulama alanında genişleme ve gelişme görülen LiDAR tekniği, ara ürün olarak 3B yoğun sıklıkta nokta bulutu sağlamaktadır.

Yapılaşmış alanlardaki LiDAR nokta bulutu; bina, taşıt gibi insan yapısı varlıklar ile yeryüzü ve ağaç gibi doğal varlıklardan yansımaları içeren bilgi taşımaktadır (Torun ve Düzgün, 2013).

Yoğun yapılaşmış bölgelerinde alınan LiDAR verilerinden 3B bina/sokak/şehir modelleri ya da rekonstrüksiyonlarının (yeniden kurma) oluşturmada yükseklik yüzey modellerine ek olarak görüntü, harita verileri gibi yardımcı kaynaklar kullanılmaktadır. Genel olarak üç aşamada gerçekleştirilen LiDAR verisinden bina modelleme (Torun ve Düzgün, 2013);

- İlk önce veriden yeryüzü yansımalarının ayrıştırılması,
- Ardından bina çatı çerçevesi çıkarılması ve
- Son olarak bina rekonstrüksiyonu işlemlerinden oluşmaktadır.

3.4.1.2. Mobil lazer tarama

3D mobil lazer tarama sistemi aslında karayolu işlerindeki ölçüm ve kayıt altına alma işleri için üretilmişse de halen diğer uygulamalar içinde kullanılabilecek şekilde üretilmeye devam ediliyor. Bu sistem 2-4 adet 2D-3Dlazer tarayıcı ve bu sisteme entegre bir yüksek performanslı GPS navigasyon sistemi kullanmaktadır. 2005 yılından beri çalışmakta olan bu sistemler birçok değişik aracın üzerine kolayca monte edilebilmektedir. Bu sistemin önemli kamusal yararı ise 30 mm. hassasiyete kadar olan karayolu ölçümlerinde trafik akışını olumsuz yönde etkilememesidir (Çelik, 2011).

Gözle görülemeyecek ya da saha da atlanabilecek detayların bilgisayar ortamında eksiksiz sunulmasını sağlamaktadır. Taraması yapılan bölgeye ait milyonlarca hatta alanın büyüklüğüne bağlı olarak milyarca noktadan oluşan bir nokta bulutu verisi oluşmaktadır ve bu verinin içinde her bir noktaya ait X, Y, Z cinsinden nerdeyse tüm koordinat sistemlerine entegre bir koordinat verisi yer almaktadır. Dolayısıyla koordinatı bilinen noktalar sayesinde istenilen yerin mesafe, alan ve hacim ölçümlerinin yapılması mümkündür (Koç ve ark., 2015).

Mobil haritalaması yapılan alandaki objeler sayısallaştırabilir. Böylelikle vektörel verilere dair sözel veriler oluşturabilir. Kısaca klasik haritacılık yöntemlerine göre daha hızlı ve kolay veri üretimini sağlayan mobil haritalama sayesinde

- Doğru analiz ve planlama,
- Düşük maliyet,
- Hassas ve daha kontrollü veri üretimi,

- Farklı ortamlarla entegrasyon (GIS, MIS, CAD) sağlanabilmektedir (Koç ve ark., 2015).

3.4.1.3. Yersel lazer tarama

Yersel lazer tarama, gerçek bir zamanda sistematik bir düzen içerisinde belirli bir bölgedeki bir obje yüzeyinin otomatik olarak 3 boyutlu koordinatlarını ölçen yer bazlı bir cihazın kullanımıdır (Karasaka, 2012).

Lazer tarayıcılar ölçme alanını yatay ya da düşey yönde belirli aralıklarla tarar. Her tarama noktası için tarayıcıdan ölçülen noktaya olan eğik mesafe (ρ) ve bu doğrultunun aletin yatay ve düşey eksenleri ile yaptığı açılar (β,α) ölçülür. Ayrıca lazer ışınının ölçülen noktadan olan yansıma şiddeti (I) de ölçülerek kaydedilir. Diğer yandan lazer tarayıcılarda bütünleşik olarak bulunan kamera sayesinde ölçülen tarama noktaları için renk kaydı da yapılabilmektedir. Her nokta için kaydedilen bu kutupsal koordinatlardan tarayıcı alet merkezli dik koordinatlar (x,y,z) hesaplanır. Lazer tarayıcılarda alet ile ölçülen tarama noktası arasındaki mesafenin ölçümünde üçgenleme (triangülasyon), uçuş zamanı (direct time-of-flight) ya da faz farkı (indirect time-offlight or phase-shift) yöntemleri kullanılmaktadır. Lazer tarayıcıların doğrulukları 100 m mesafede bir santimetre civarındadır (Altuntaş, 2017).

3.4.2. Yersel lazer tarama malzemeler

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi şu malzemeler den oluşur (Mohammed, 2016):

- Tarama ünitesi (tarayıcı)
- Kontrol ünitesi
- Güç kaynağı
- Tripod ve Sehpa (Şekil 3.3) te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Yersel lazer tarayıcı malzemeler

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi (TLSS)'nin öz bileşeni tarama ünitesidir ve direkt olarak taranan obje veya nesne yüzeyinden, 3B veri elde edilmesini sağlamaktadır. Bir lazer tarayıcının tarama ünitesi şu bileşenlerden oluşur (Gümüş ve Erkaya, 2007):

i. Lazer telemetresi (Lazer uzaklık ölçer):

Lazer telemetresini meydana getiren unsurlar şunlardır:

- Bir verici (Transistorlü lazer veya yarı geçirgen lazer diyot)
- Alıcı kanal (Otomatik Algılama kontrolü (AGC), detektör, yükselteç)
- Zaman ayırıcısı ve zaman ölçümü ünitesi (Dijital çevirici (TDC))
- Verici ve alıcı optikleri

Lazer vericisi, biri alıcıya diğeri ise objeye gönderilmek üzere lazer atımı yaymaktadır. Alıcıya gönderilen zaman ölçüm ünitesini başlatmaktadır. Detektör, cisim yüzeyinden saçılan lazer sinyallerinin algılanmasında kullanılmaktadır. Taranan cismin yüzeyine ulaşıldığında lazer atımı geri saçılmakta, bir bölümü ise detektöre geri dönmektedir. Lazer atımından elde edilen güç elektrik akımına çevrilmektedir. Gücün miktarı ses sinyal oranına ve mesafe duyarlılığına etki etmektedir. Dolayısıyla buradaki ilişkinin doğru analiz edilmesi mühimdir. Anlatıldığı şekilde yayılan lazer gücünün bir kısmı tarayıcıya dönecektir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Alınan lazer gücü verilen lazer gücünün çok küçük bir kısmına tekabül etmektedir ve hedef yansımasındaki değişikliklerle de orantılıdır. Otomatik algılama kontrolü (AGC) aracılığıyla zaman ölçümü ayarlanabilmekte, böylece alınan atım dinamikleri, optik veya elektriksel azaltıcı yoluyla tespit edilebilmektedir. Lazer atımının geri saçılan kısmı belirlenince zaman ayırımcısına yollanmaktadır (Yaşar, 2013).

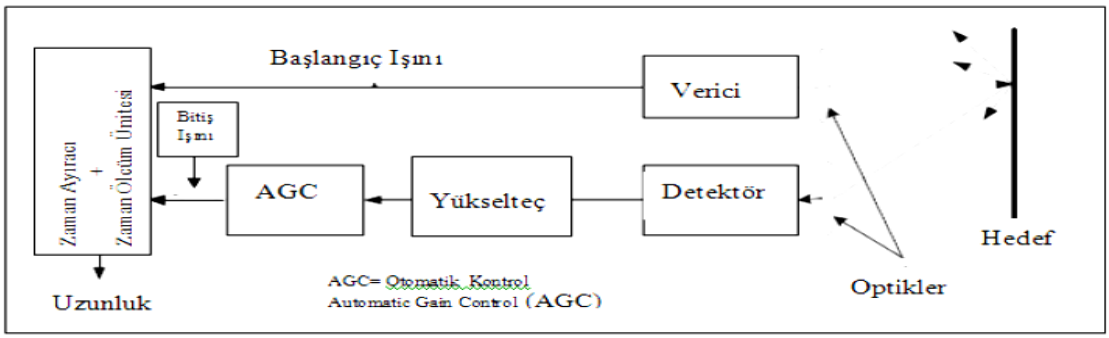
Değişmez parça ayırımı (CFD) yöntemiyle dönüş atımı iki bölüme ayrılmakta ve bir bölüm geciktirilmektedir. Ardından geciktirilen ve geciktirilmeyen atımların ana kenarları ve öbür kenarları, atımın yarı genişlik noktasından geçerken çalıştırılmaktadır. CFD yönteminin kullanılması dönüş atımının şeklinden ve genişlik değişiminden oluşan hataları silmekte, mesafe duyarlılığını ise artırmaktadır. Atımın yayılımı ile yüksek frekans osilatörü vasıtasıyla sayılan saat atımları numarası tarafından atım TDC ile ölçülen atımın geri saçılmış parçasının alınması arasındaki zaman aralığının (t) tespit edilmesinde, analog iç değerleme metodu ile dijital sayım yöntemi kullanılmaktadır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Hedefin tarayıcıya olan uzaklığı şu şekilde hesaplanır:

$R = c\ t/2$

Atımlı lazer telemetreleri için belirli maksimum duyarlılıklı mesafe (Rmax) şunlara dayanır (Şekil 3.4) te gösterilmiştir. (Yaşar, 2013):

- TDC'nin maksimum erimi (bit sayısı)
- Obje yüzeyi yansırlığı
- Lazer gücü
- Atmosferik iletim
- Işın sapması
- Dedektör duyarlılığı



Şekil 3.4. Tipik Atımlı Lazer Telemetrenin Blok Düzeneği

Lazer vericisi, aynı anda birisi alıcıya ve diğeri de zaman ölçüm ünitesini başlatmaya yarayan başlangıç lazer atımı yaymaktadır.

Detektör (AGC) yüzeyden yansıyan lazer sinyalinin algılanmasında kullanılmaktadır ve ölçülen objeden yansıyan sinyal, detektör tarafından algılandığında, başlangıç atımı ile başlatılan zaman ölçüm ünitesi de durur (Gümüş ve Erkaya, 2007).

ii. Lazer ışın saptırma ünitesi (Optik mekanik tarayıcı):

Bir cismin ya da alanın üç boyutlu ölçümünün gerçekleştirilmesi için lazer ışın saptırma ünitesi kullanılmaktadır. Lazer ışın saptırma ünitesinde dikey doğrultuda ve bazen de yatay doğrultuda ışının sapmasına yarayan iki ayna bulunmaktadır. Esasında ünitede üç çeşit ayna kullanılmaktadır. Bunlar (Yaşar, 2013):

- Dönen düz aynalar
- Dalgalı aynalar
- Dönen çokgen aynalar

Tarama işleminin ve kaydedilen verinin kontrol edilmesi amacıyla daha önceden tarama yazılımı yüklenmiş bir laptop kontrol ünitesi görevi görebilmektedir. Dolayısıyla söz konusu kontrol ünitesinin, tarama işlemi sırasında elde edilecek verinin büyüklüğünden dolayı, depolama ve veri işleme alanı yeterli kapasitede olmalıdır. Ekranın görünürlüğünde parlak gün ışığında yaşanan problemlerden dolayı çeşitli gölgelendirmelerden yararlanılmalıdır. Tarayıcı için güç kaynağı olarak bir ya da birkaç pil yeterli gelmektedir. Piller tarayıcı için güç kaynağı olduğundan dolayı yedek piller ve şarj aleti kontrol ünitesi için bulundurulmalıdır. Tarayıcılar çoğunlukla zemine bir sehpa ya da tripod aracılığıyla kurulabilmektedir. Buradan amaç tarayıcının zeminden biraz yüksekte olmasının sağlanmasıdır. Callidus 1.1 gibi tarayıcılarda ise tekerlekli, hareket kabiliyeti olan tripotlar kullanılabilmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

3.4.3. Yersel lazer tarayıcının avantajları

Yersel lazer tarayıcının avantajları şunlardır (Gümüş ve Erkaya, 2007; Altuntaş ve Yıldız, 2008)

- Hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme,
- Aynı ölçme alanı içinde daha fazla veri toplama,
- Lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu
- Daha güvenli veri toplama imkânı
- Yüksek doğruluklu DTM üretebilme,
- Gerçek renkli görüntü üretebilme,
- Maliyet açısından giderlerdeki etkileyici azalma,
- Geleneksel tekniklerin başarısız olduğu çok karışık, ulaşılamaz, tehlikeli obje ve alanlarda ölçüm yapabilme,
- Tarama işlemlerinin çevre aydınlatmasından bağımsız olması, gece bile tarama yapabilme,
- Ölçme alanın belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesi,
- Yersel lazer tarayıcılar, eksiksiz ve kapsamlı ölçüm sunmaktadır. Her şeyi tek seferde yakalama olanağı vardır. Dolayısıyla yeni veri gerekmesi durumunda tarama alanına dönmek gerekmemektedir

3.4.4. Lazer tarayıcıların sınıflandırılması

Lazer tarayıcıların sınıflandırılması kolay değildir. Lazer tarayıcılar ölçme prensipleri ya da teknik özellikleri bakımından sınıflandırılabilir. Tarayıcılardan bir kısmı iç mekânlarda ve 100 metreye kadar olan mesafelerde kullanılabilmektedir. Tarayıcılardan bir kısmı da dış mekânlarda, 100 metreden uzun mesafelerin ölçümünde kullanılabilmektedir. Yakın mesafe ölçümlerde ise hassasiye4ti fazla olan yüksek çözünürlüklü tarayıcılar kullanılmaktadır. Dolayısıyla yapılacak uygulamaya göre tarayıcı seçimi önemlidir (Hepyörük, 2015). Nitekim uzun mesafede kısa mesafe ölçümü yapan tarayıcının kullanımı hiçbir fayda sağlamayacaktır.

Tarayıcılar arasında temel yapısal farklılıklar vardır:

- Kamera benzeri tarayıcılar ve panoramik tarayıcılar
- Mesafe spektrum (min 1-2 m ve 25-800 m max)
- Hassasiyet (6mm-25mm)

- Hesaplama ve modelleme için sağlanan yazılımın verimi
- Ekstra bilgi sağlıyor mu?

gibi birtakım başlıklara göre tarayıcılar arasındaki yapısal farklılıklar incelenebilir (Aşkın, 2009).

Tarayıcıların teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaları, sistemin performans ve olanaklarını görmek açısından daha faydalıdır. Bu da kullanıcıya amacına uygun tarayıcı seçimi yapabilme olanağı sağlar. Bu teknik özelliklerin en önemlileri şunlardır (Karşıdağ, 2011):

Hız: Yüksek çözünürlük için zamana bağlı olarak nokta taranabilmektedir. 100 nokta/saniye ile 1000 nokta/saniye kabul edilebilir normal hız sayılmaktadır.

Çözünürlük ve Işın Boyutu: Nesne çözünürlüğü teorik olarak lazer ısınının açısal çözünürlüğüne ve yansıyan ışının nesne üzerindeki alanına bağlıdır. Yüksek çözünürlüğün istendiği durumlarda lazer ışınının sağlayabildiği en iyi odaklama kabiliyeti dikkatlice saptanmalıdır.

Alım Uzaklığı Sınırlamaları ve Radyasyon Etkisi: Lazer tarayıcılar için verilen alım uzaklığı özellikleri birçok parametreye bağlıdır. Bunlar; obje yüzeyinin yansıma özelliği, doğrudan güneş ışını alıp almama durumu ve yansıyan güneş ışınları, cisim üzerindeki yapay radyasyon, cisim yakınındaki radyasyon kaynakları olarak sıralanabilir (Aşkın, 2009).

Görüş Alanı: Motorlu dönüş sistemleri bulunmayan tarayıcılarda FOV (görüş açısı) sınırlayıcı bir unsurdur. Genellikle 40×40 derecelik bir alanda işlem yapabilmektedirler. Tek eksenli tarayıcılar MENSI SOISIC gibi.

Kayıt Araçları: Her tarama işlemi farklı bir konumdan gerçekleştirilmişse bunların tek bir koordinat sisteminde kaydı yapılarak bütünleştirilmesi gerekmektedir. Nesne üzerinde bazı hedef noktaları tarama yazılımlarında kolayca saptanıp bu işlem uygulanabilmektedir. Bazı sistemler kendi özel hedef noktalarını kullanmaktadırlar. Bu hedef noktaları aynı zamanda takeometrik ve fotogrametrik hedef noktaları olarak da uygundur.

Kameralar: Çoğu uygulama nesne üzerinde doku (texture) bilgisini içermektedir. Görüntülerin model üzerine uygulanmasıyla gerçekçi modeller sağlanabilmektedir. Bazı tarayıcılar geri dönen yansıma yoğunluğunu da ölçmektedirler. Bazıları ise doku haritalaması için yeterli kameraya sahip değillerdir. Üçgenlime prensibiyle çalışan tarayıcılarda kameranın ısın konumunu bulup belirlemek için doku eklemek uygun olmamaktadır. Yüksek kaliteli görüntü sağlamak için bugün için kamerayı bir tarayıcıya

bağlamak uygun çözüm olarak görünmektedir. Bu durumda kamera ve tarayıcının ilgili konumları tarama sonuçları ve görüntülere dayalı olarak kalibre edilmektedir.

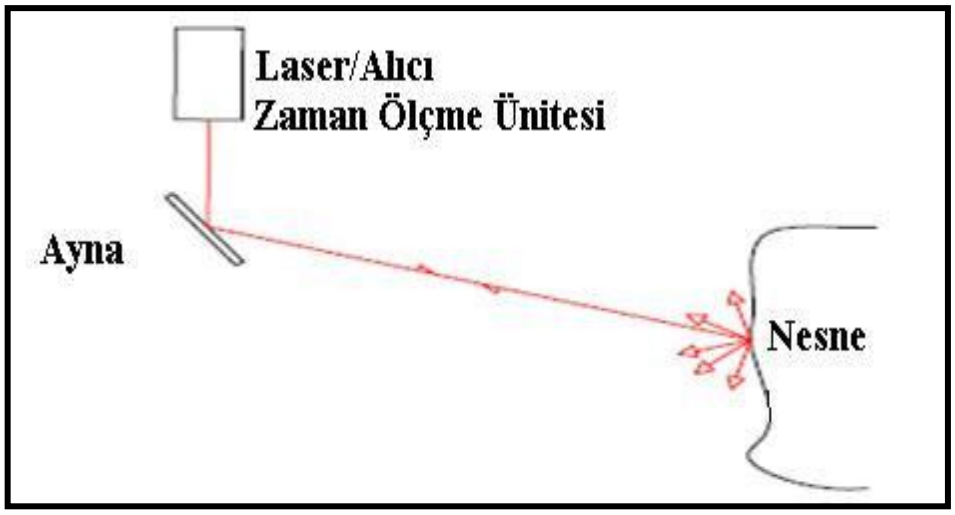
Taşıma Kolaylığı: İdeal olarak tarama sistemi taşınabilir ve küçük olmalıdır. Fakat günümüzde çoğu sistem oldukça ağırdır. Özellikle yerleşim yerlerinden uzakta kültürel nesne uygulamalarında güç birimlerinin de birlikte taşınması önemli bir sorun olmaktadır (Aşkın, 2009).

TLS'lerin sınıflandırılması teknik özelliklerinin dışında aşağıdaki şekilde de yapılmaktadır (Karşıdağ, 2011):

1-Mesafe tespiti metoduyla işlem yapanlar;

- *Bir lazer ışınının geliş gidiş zamanıyla işlem yapanlar (uçuş zamanı):* Tarayıcı nesneye lazer ısınını gönderir, yayılan ve yansıyan lazer ışınlarının gidiş dönüş zamanları yardımıyla aradaki mesafe hesaplanabilmektedir. Bu ilke aynı zamanda elektronik takeometrelerden de bilinmektedir. Tarayıcılar lazer ışınının açısal yön sapmasını engellemek için küçük dönme araçlarına sahiptirler. Bu tip tarayıcıların standart sapmaları birkaç mm olmaktadır. Üç boyutlu doğruluk derecesi de lazer ısınının açısal çözünürlüğüne bağlıdır (Aşkın, 2009).

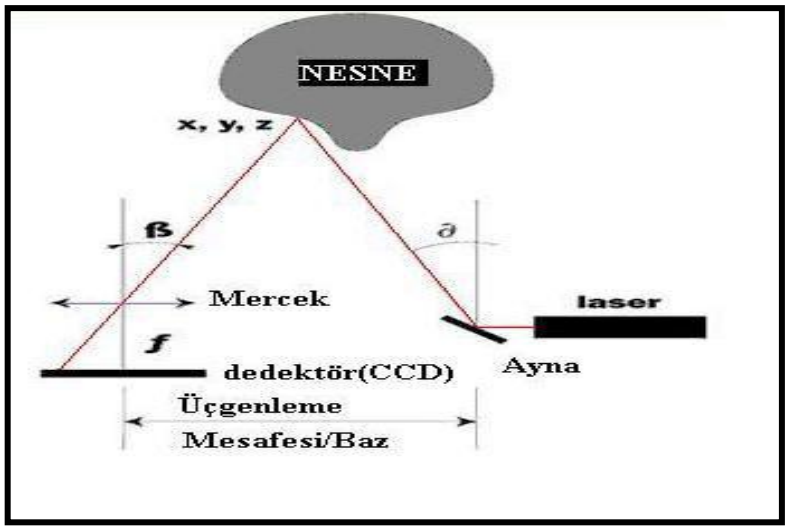
- *Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar:* Bu metod da elektronik tarayıcılardan iyi bilinmektedir. Bu yöntemde lazer ışını harmonik hareketle oluşturulmaktadır ve mesafe giden ve geri gelen dalgaların faz farkından hesaplanmaktadır. Kullanıcı açısından tarayıcıların bu yöntemle çalışması önemli değildir. Daha karmaşık sinyal yapısı kullandığı için doğruluk derecesi daha iyi olabilir (Şekil 3.5) te gösterilmiştir (Aşkın, 2009).



Şekil 3.5. Faz Karşılaştırma Metodu (Gümüş ve Erkaya, 2007)

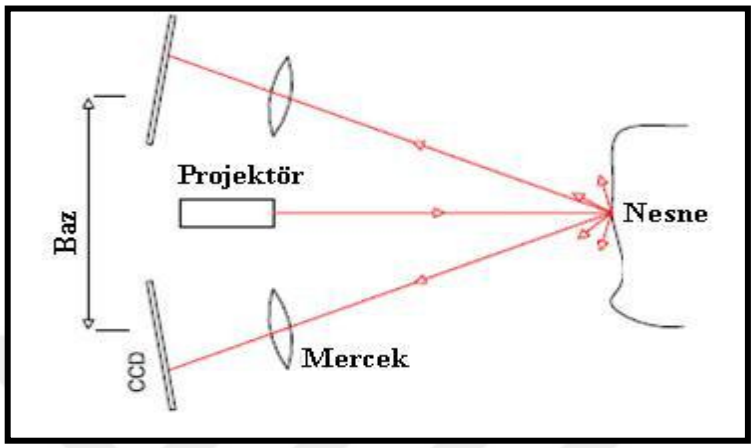
2- Triangülasyon metoduyla işlem yapanlar;

- *Tek kamera çözümü:* Tarayıcı basit bir ısın yayma düzeneği içerir ve nesne üzerinde belirlenmiş baz sonunda aniden yayılma açısı değişmektedir ve diğer yandan CCD kamera bu baz üzerindeki lazer ısınını saptamaktadır. Yansıyan yüzeyin üç boyutlu konumu CCD kamera tarayıcı ve nesne arasında oluşturulan üçgen problemi ile çözülmektedir. Nesne ve tarayıcı arasındaki mesafenin doğruluk derecesi mesafenin karesiyle orantılıdır. Baz uzunluğu değişemeyeceği için bu tip tarayıcılar kısa mesafe ve küçük nesneler için iyi sonuç sağlamakta ve lazer ışınının gidiş dönüş ilkesiyle ölçüm yapan tarayıcılardan daha doğru işlem sağlamaktadırlar (Şekil 3.6) de gösterilmiştir (Aşkın, 2009).



Şekil 3.6 Triangülasyon Metodu: Tek Kamera Çözümü

- *Çift kamera çözümü:* Bu tip tarayıcılar iki CCD kamerası kullanırlar ve her biri bir başka baz uzunluğu sonuyla işlem yapmaktadırlar. Geometrik bağıntılar tek kameralı sistemle aynıdır. Aynı doğruluk derecesi elde edilir (Şekil 3.7) de gösterilmiştir (Aşkın, 2009).



Şekil 3.7. Triangülasyon Metodu: İki Kameralı Çözüm (Gümüş ve Erkaya, 2007)

3.4.5. Yersel lazer tarama verilerinde hata kaynakları

3.4.5.1. Aletsel hatalar

Aletsel hatalar, lazer telemetresi ile ışın saptırma ünitesinin fiziksel özelliklerinden kaynaklanan hatalardır. Aletsel hatalar, lazer uzunluk ölçümleri ile lazer taramalarının olağan sınırlamalarından ötürü ortadan kaldırılamamaktadır. Ayrıca kullanıcı ve mühendis tarafından da yok edilememektedir. Sadece tasarımının geliştirilmesi ve kalibrasyon ile ortadan kaldırılabilmektedir (Mohammed, 2016).

Lazer uzaklıkölçerin mesafe ölçümündeki doğruluk ve hassasiyeti, bugüne kadar lazer tarayıcıların performansı üzerine yapılan en önemli araştırma konuları içinde yer almıştır. Bir lazer uzaklıkölçerin doğruluğu ve hassasiyeti, tesadüfî ve sistematik hatalara bağlıdır (Karasaka, 2012).

3.4.5.2. Çevresel hatalar

Lazer taramada çevreden kaynaklı hatalar ölçümleri etkileyebilmektedir. Çevresel hatalara; ortam ısısı, bağıl nem oranı, ortamın hareketli olması yani ölçüm yaparken oluşan titreme, ortamdaki aydınlanma örnek gösterilebilir. Çevresel hataların azaltılması amacıyla çevresel faktörlerin kontrol edilebilmesi oldukça güçtür (Gümüş ve ark., 2009).

Yersel lazer tarama ölçümlerindeki bu faktörlerin ölçüm hatalarına etkileri şu şekilde sıralanabilir (Mohammed, 2016):

- Lazer ışınlarının atmosferde yayılımı
- Atmosferik şartlar nedeniyle oluşan hatalar
- Kötü hava koşullarının ölçümlere etkisi.

3.4.5.3. Objeyle ilgili hatalar

Bu bölümdeki hatalar, taranmış objeyle alakalıdır. Bu hataların en önemli kaynağı, obje yüzeyinin yansırlığıdır. Yersel lazer taramanın, yansıtmasız ölçüm tekniği olmasından dolayı, uzunluk ölçümlerinin sonuçlarını ve SNR(Sinyal gürültü oranı)'yi büyük ölçüde etkileyen nedenlerin, yansırlığa dayandığı söylenebilir. Yansırlık, yansıtılan sinyal ile lazer gücü arasındaki oran olarak tanımlanmıştır (Gümüş ve ark., 2009).

Yüksek yansıtırlık özelliğine sahip yüzeyler, lazer enerjisinin büyük bir bölümünü sensörlere geri yansıttığı için mesafe ölçümünde düşük yansıtırlık özelliğine sahip yüzeylere göre daha güvenilir ve yüksek doğruluklar verir. Lazer tarayıcı ile obje yüzeyi arasında ölçülen mesafe duyarlılığı, yüksek yansımalı yüzeyler için yüzeye olan uzaklık ile çok değişmezken söz konusu olan ölçme duyarlılığı düşük yansımalı yüzeylerde önemli ölçüde değişmektedir. Eğer objelerin yansıması çok yüksek veya çok düşükse lazer atım uzaklığı ya hiçbir şekilde kaydedilemez ya da kabul edilemez bir doğrulukta kaydedilir (Karasaka, 2012).

3.5. Lazer Işının Göz Güvenlik Sınıflandırılması

Birinci Sınıf (Class 1) Lazer: bu tür lazerler güvenli sayılabilecek dalga boyunda ışık yaymakla birlikte, 0,4 mW civarında düşük güçlü lazerlerdir. Yine de direk olarak bakılmaması tavsiye edilmektedir.

İkinci Sınıf (Class II) Lazer: bu sınıftaki lazerler ise yüksek sıklıkta tekrarlanabilir darbeli lazer (P.R.F) cihazlarıdır ve görülebilir dalga boyunda ışık yaymakla birlikte 1mW güce sahiptirler. Direk olarak bakılmaması tavsiye edilmekle birlikte bu sınıftaki lazerler retinayı zedeleyecek güce sahip değillerdir.

Üçüncü Sınıf (Class III) Lazer: bu tür lazerle ikinci sınıfta yer alan lazerlere göre biraz daha tehlikelidir. Bu lazer ışınlarına korumasız bir şekilde bakılması tavsiye edilmemekle birlikte ciltle temasında fazla tehlikeye yol açmaz. Bu lazerler de kendi arasında ikiye ayrılmaktadır.

Üçüncü Sınıf-a (Class III-a) Lazer: bu lazerlerin ışınına korumasız olarak direk bakılmaması önerilmektedir. 1,0 – 5,0 mW arası güce sahiptir. Bu lazerlerin ışınları normalde yaralanmaya sebep olmasa da göze zarar verebilirler.

Üçüncü Sınıf-b (Class III-b) Lazer: Bu sınıftaki lazerlerde yangın tehlikesi görülebilmektedir. Lazerlerden yansıyan ışınlar tehlike yaratmamakla birlikte diğer sınıflardaki lazerlerden biraz daha güçlüdür. Bu lazerlerin gücü 5 mW ile 500 mW aralığında olabilmektedir. Bu gruptaki lazerlerin ışınına korumasız olarak kesinlikle bakılmamalıdır.

Dördüncü Sınıf (Class IV) Lazer: cilt ve gözler açısından ışını en zararlı lazer cihazları bu grupta yer almaktadır. Bu gruptaki lazer cihazlarından yansıyan ışınlar dahi tehlike arz etmektedir. Tedavi amacıyla kullanılan lazer cihazları genellikle bu grubu oluşturmaktadır (Özcan ve ark., 2005).

3.6. Yersel Lazer Tarayıcının Kullanım Alanları

Yersel lazer tarama üç boyutlu modellemesi yapılmak istenen pek çok alanda kullanılabilmektedir. Fakat yersel lazer tarama teknolojisinin en fazla kullanıldığı alanlar şunlardır (Yılmaz ve Yakar, 2006).

- Madencilik ve endüstri alanında
- Arkeoloji alanında
- Mimarlık alanında
- Tarihi ve kültürel mirasın korunması alanında
- Robotik alanında
- Sanal simülasyon alanında
- Adli tıp alanında
- Volkanik gözlemlerde alanında
- Ormancılık alanında
- Deformasyon çalışmalarında,
- Çevresel uygulamalarda

3.6.1. Arkeolojik kullanım alanında

Arkeolojik projeler için (Mohammed, 2016);

- Kazı öncesi ve sonrası yüzey araştırma ölçmeleri,
- Bina kalıntılarının 3B lazer taraması ve modellenmesi,
- Bununla birlikte; duvar, kubbe ve çukur ölçümleri ve saha modellemesi,
- 3B modelleme
- CAD ortamında plan ve kesit çizimleri üretme
- Ölçüm sahasında arkeolojik alanla ilgili animasyon çalışmalarında kullanılacak altlıkların ölçümleri ile birlikte amaç; Arkeolojik alanla ilgili 3 boyutlu bütüncül bir altlık oluşturma faaliyetlerinde kullanmaktadır.

3.6.2. Madencilik kullanım alanında

Madenlerde üretimin planlanması ve izlenmesinde, hacim hesaplamalarında, süreksizliklerin belirlenmesi ve analizinde, heyelanların izlenmesinde vb. uygulamalarda kullanılmaktadır (Engin ve Maerz, 2016).

3.6.3. Endüstriyel kullanım alanında

Yersel lazer tarama teknoloji, bir fabrikanın ya da tesisin üç boyutlu olarak dijital modellemesinde kullanılabilir. Böylece endüstriyel ortam dijital ortama aktarılacak ve herhangi bir plan işlemlerin durdurulmasına gerek kalmadan bu ortam üzerinden yapılabilecek, daha sonra gerçek ortama aktarılabilecektir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

3.6.4. Trafik kazaları kullanım alanında

Yersel lazer tarayıcılar, polis ve kaza yeri inceleme ekipleri gibi kolluk kuvvetlerine de kaza araştırmaları ve suç mahalli modellemelerinde kullanmak üzere suç mahallinin yüksek doğrulukta ayrıntılarını elde etmeleri için taşınabilir bir çözüm sunar. Böylelikle kaza sonrası trafik aksatılmadan ve suç mahalline zarar vermeden deliller toplanır (Mohammed, 2016).

3.6.5. Adli tıp kullanım alanında

Bir alanda bir olayın ya da cinayetin gerçekleşmesinin, bir suçun işlenmesinin ardından olay yeri ile ilgili hızlı bir şekilde bilgi toplanmalı ve bu esnada da kanıtlara herhangi bir zarar verilememelidir. Yersel tarama yöntemi ile suç mahallinin ayrıntılı görüntüleri elde edilerek bu görüntülerden elde edilen nokta bulutu sayesinde hızlı bir şekilde tarama yapılabilmektedir. Uzmanlar yersel lazer tarayıcılar vasıtasıyla dijital ortama aktarılan veriler üzerinden bilgi toplayabilmektedir (Mohammed, 2016).

3.6.6. Sanal simülasyon kullanım alanında

Kültürel miras kapsamındaki tarihi eserlerin yersel lazer tarayıcılar ile sanal simülasyonlarının oluşturulması mümkündür. Tarihi eserlerin ve arkeolojik alanların üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi sonucu sanal ortama aktarılabilmekte ve internet

üzerinden merak eden kişiler sanal olarak bu yerleri gerçeğine yakın olarak görebilme imkânına kavuşmaktadır. Bir nevi sanal turizm de denebilir (Gümüş ve Erkaya, 2007)

3.7. Yersel Lazer Tarayıcı Veri Değerlendirme Yazılımları

Yersel mobil lazer tarama sistem bileşenlerinin bir diğer önemli unsuru yazılımlardır. Her yersel mobil lazer tarama sistemi anlık olarak sistem bileşenlerini izlemek, veri toplamak ve veri işlemek için kendine özel yazılımlar kullanır. Son zamanlarda nokta bulutu işleyen yazılımların sayısında önemli ölçüde artış görülmektedir. Yazılımların seçimi nihai gereksinimlere göre belirlenir (Karasaka ve Yıldız, 2015).

Başlıca yersel lazer tarayıcı veri değerlendirme yazılımları şunlardır (Mohammed, 2016):

- Faro (scene)
- Topcon (scan master)
- Lieca (geosystem hds cyclone)
- Riegl (riscan)
- Netfab (flexscan 3d)
- Minolta (polygon)
- Surphaser (geomagic, surph view, inventor autodesk)
- Trimble (LFM ve realwork)
- Z+F imager (LFM)
- Stonex (Reconstructor)
- Maptek (I-Site Studio Software)
- Gexcel ve Polywork ve Point cab

4. UYGULAMA

4.1 Çalışma Alanı

Çalışmanın gerçekleştirildiği Alay Han, Aksaray-Nevşehir karayolu üzerinde bulunmaktadır. Eskiden pervane kervansarayı olan ismi değişmiş ve 3km ötesinde yer alan köyün ismini almıştır. Alay Han Selçuklular döneminden kalma önemli tarihi eserlerden birisidir. Kültürel miras kapsamında değerlendirilebilecek bu eserin belgelenmesi ve kalıcılığının sağlanması önemlidir (Algan, 2008). Bu nedenle çalışmada Alay Han'ın yersel lazer taramasının yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 4.1) de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Alay Han çalışma alanı

Bu çalışmada Alay Han modellenmesi için yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır.

Yersel fotogrametri alanında, üç boyutlu modelleme konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmamız şu adımlardan oluşmaktadır:

- Arazi istikşafı
- Poligon noktalarının etüdü
- Poligon noktalarının ölçülmesi

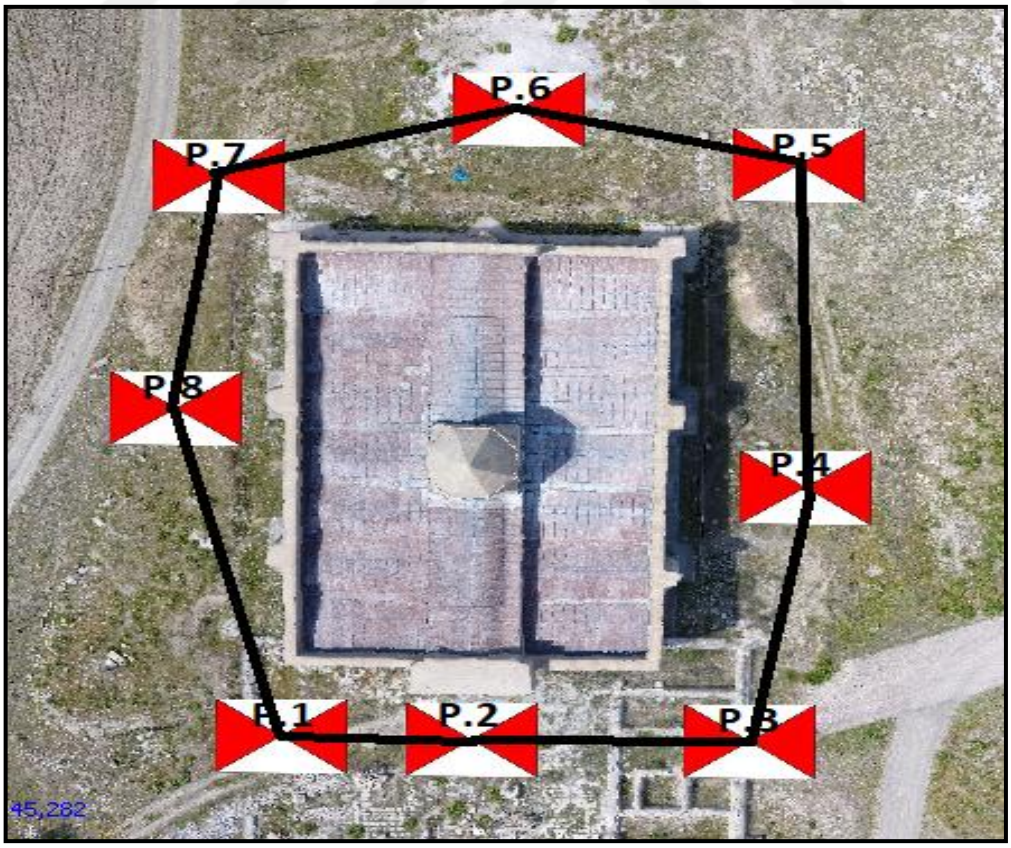
- Çalışacak objeye ait kroki hazırlanması
- Noktaların krokiye işaretlenmesi

4.1.1. Arazi Etüdü

Arazi etüdü, proje alanında olan tüm detayları ve özellikleri eleştirmek ve poligonların nerelere atılmasının uygun olacağına karar verilmesi işlemidir. Bu sebeplerden dolayı arazi istikşafı yapılmıştır.

4.1.2. Poligon Noktalarının Etüdü

Arazi etüdü ile belirlenen poligonlar araziye demir çiviler ile yerlere kapalı poligon şeklinde tesis edilmiştir. Tesis edilen poligon noktasına grup şeklinde numarası ile başlayarak (**P.1, P.2, P.3, P.4, P.5, P.6, P.7, P.8**) olarak numaralarını verilmiştir. Bu poligon noktaları tesis edilirken bir önceki ve bir sonraki noktaları görecek şekilde tesis edilmiş, poligon noktalarına Trimble R6 GNSS sistemi aleti kurularak koordinatlandırma işlemi yapılmıştır (Şekil 4.2) te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Poligon noktaların gösterimi

4.1.3. Çalışılacak objeye ait kroki hazırlanması

Çalışılacak objeye ait krokilerin oluşturulması için öncelikle dijital fotoğraf makinası ile objenin yüzeylerinin resimleri çekilmesi gerekir.

4.1.4. Çalışılacak obje yüzeylerinin alımının yapılması kroki işaretlenmesi

İlk önce çalışılacak objeye ait alımların yapılması için tesis edilmiş poligon noktalarına alet kurulmuştur, krokide belirlenen detaylar ölçülmüştür. Kapalı poligon yaparak yer kontrol noktalarının ölçülmesi işlemine geçilmiştir. Kullanılan yer kontrol noktalarının koordinatları global sistemde değerlendirilmiştir. Trimble R6 alet ile ölçümler tamamlanmıştır (Şekil 4.3) te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan Trimble R6

4.2. Alay Han Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulaması

Bu uygulamada, tarama öncesi planlama çalışması, arazi çalışması ve ofis çalışması olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Arazi çalışması 2 gün sürmüştür, ofis çalışması ise 3 gün sürmüştür (Şekil 4.4) te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yersel lazer tarama aşamasından bir görüntü

4.2.1. Yersel lazer tarama işlem adımları

- Tarama planlaması: Tarama yapılacak yerlerin tespit edilmesi
- Tarama süreci: Tarama obje işleminin yapılması
- Veri işlemi: Veri nakletme ve 3B modelin elde edilmesi

4.2.2. Tarama öncesi planlama

Tarama işlemi yapılmadan önce tarama planlaması gerekmektedir. Planlama işleminde tarama yapılacak yerlerin ve aleti nereye kuracağımızın belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca taramanın sayısının, konumsal çözünürlüğünün ve tarama noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Taramanın konumsal çözünürlüğü, taramanın gerçekleştirileceği cihazın açısal çözünürlüğü ve cihazın konumsal hassasiyetine bağlıdır. Konumsal hassasiyet belirli bir mesafe için esas olan ve o mesafeden sonra tarayıcı ile obje arasındaki fark arttıkça değişen hassasiyettir. Tarama işleminde farklı noktalardan elde edilen nokta bulutlarının ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmesi gerekmektedir.

4.2.3. Arazi çalışması

Çalışmadan önce planlama aşamasında Alay Han 3B modellenmesi için kullanılan yersel lazer tarayıcı aleti ve elektronik uzaklık ölçer cihazı temin edilmiştir. Daha sonra hanın duvarlarına hedef levhaları yapıştırılmıştır (Şekil 4.5 ve 4.6) de gösterilmiştir.

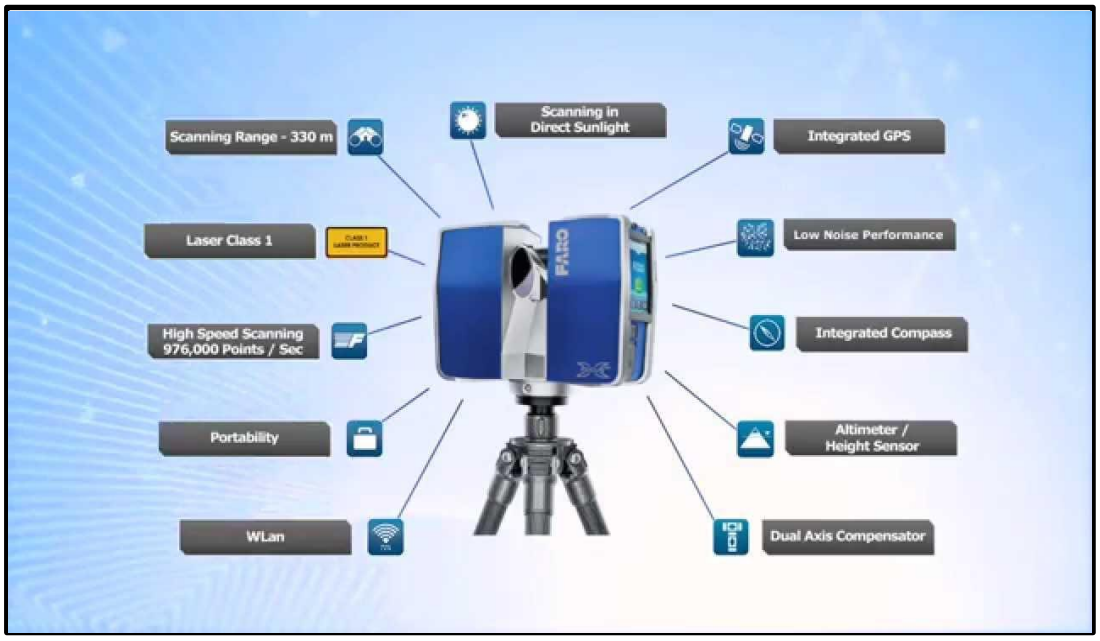


Şekil 4.5. Çalışma alanından arazi işlemleri yaparken görüntüler



Şekil 4.6. Kâğıt Hedeflerin duvarlara yapıştırılması ve yersel lazer tarama işlemi

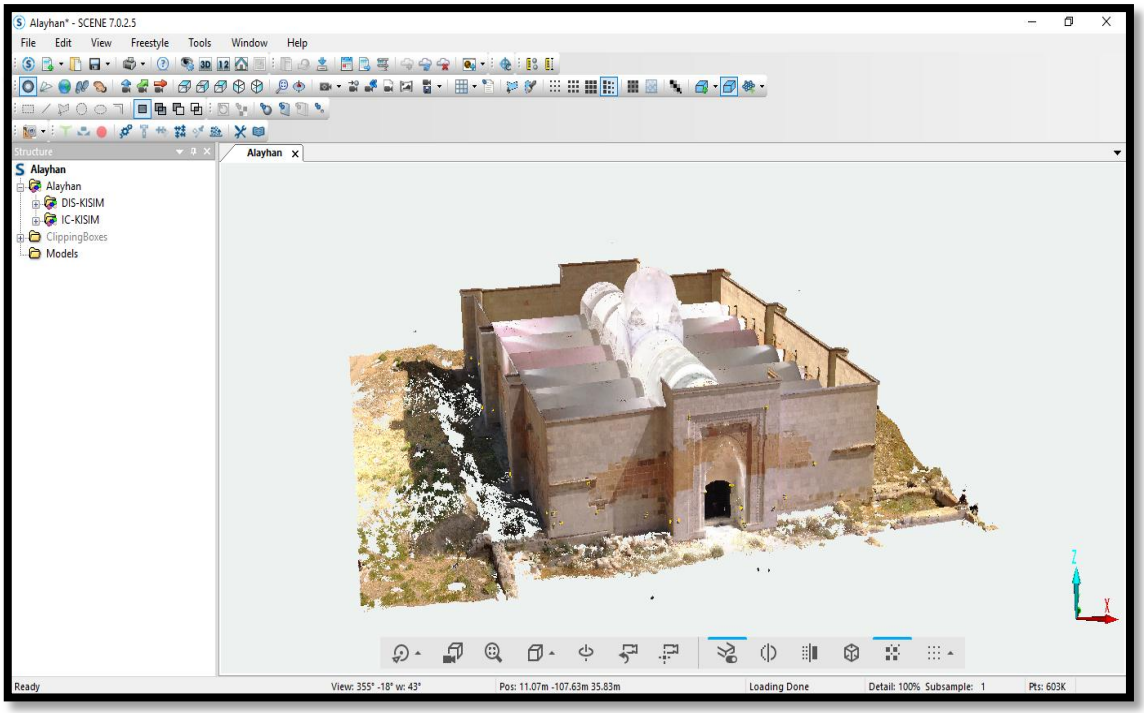
Faro Focus3D X330 lazer tarayıcı ile 30 farklı oturum olarak yapılmıştır. Her tarama, ortak alanlarda en az 4 adet bağlantı noktası görecek şekilde yapılmıştır (Şekil 4.7) de gösterilmiştir.



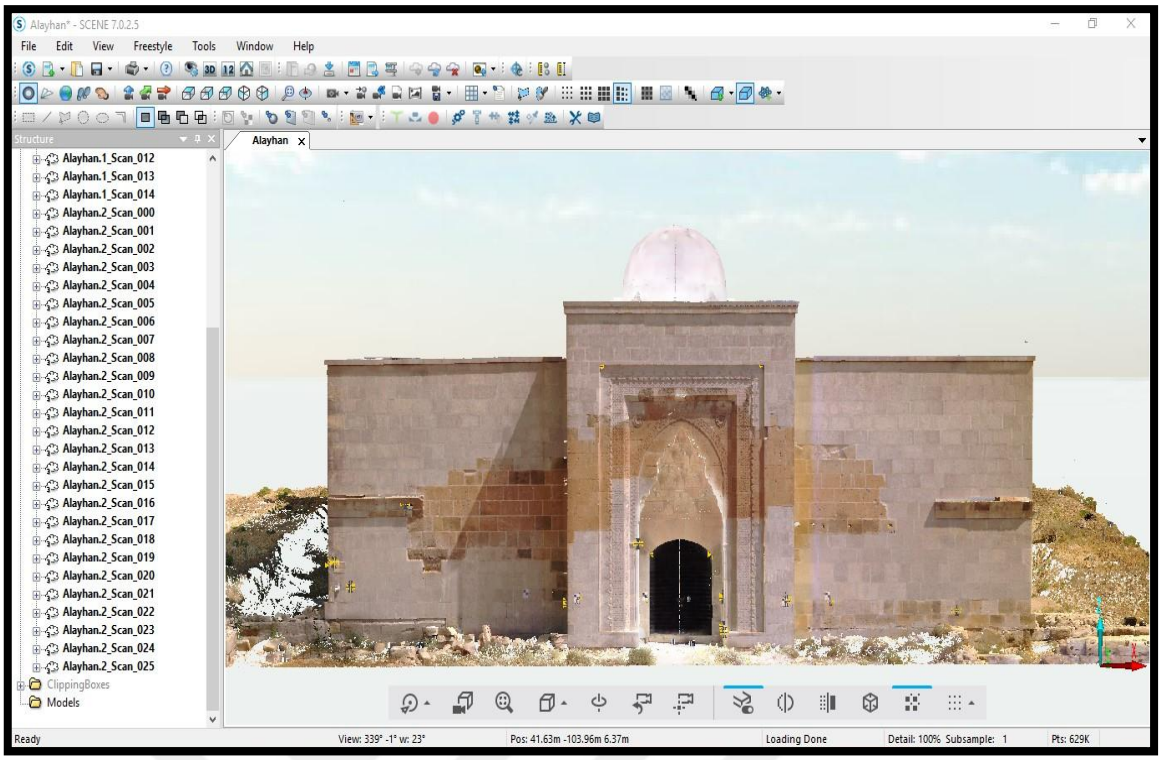
Şekil 4.7. Çalışmada kullanılan Faro Focus3D X330 Lazer Tarayıcı (Anonim, 2017c)

4.2.4. Ofis çalışması

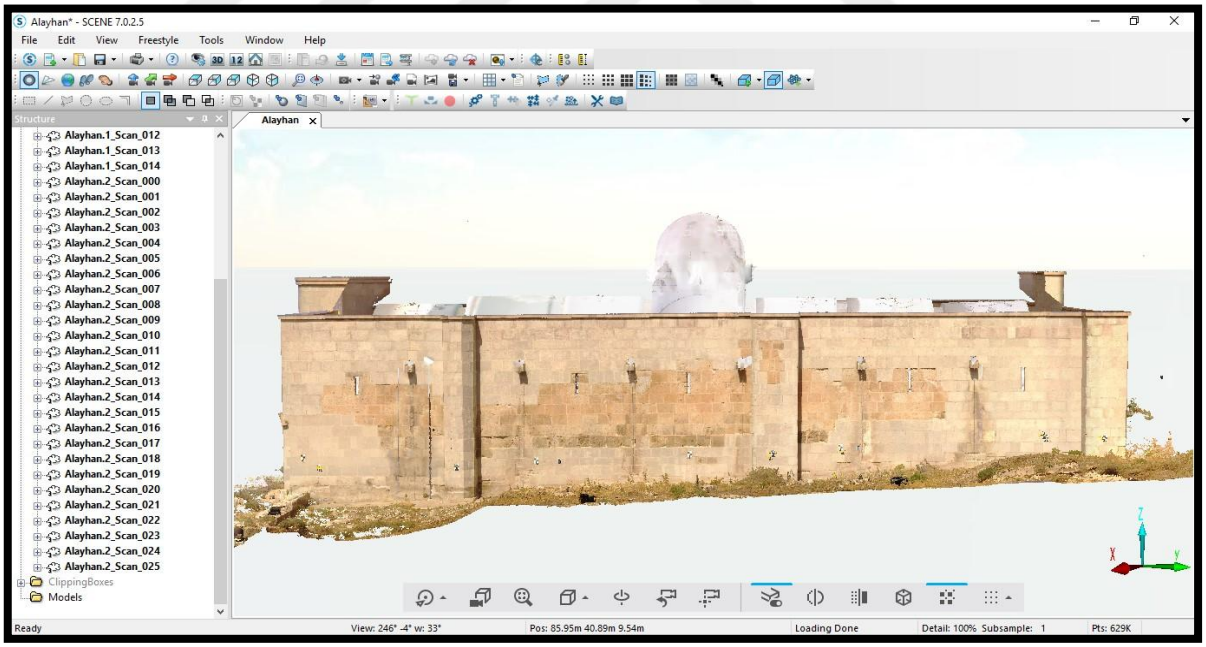
Arazi çalışması tamamlandıktan sonra ofis çalışması bölümüne geçilmiştir. Arazi çalışmasından elde edilen veriler ve taramalar bilgisayara transfer edilmiştir. Faro Scene yazılımı lazer tarama oturumlarını birleştirmek için kullanılmıştır. Sonradan elde edilen verilerin farklı oturumlardan birleştirilmesi işlemine geçilmiştir. Veriler birleştikten sonra renklendirme ve renkli nokta bulutu üretilmiştir. Nokta bulutlarından tasarlanmış kesitler de elde edilmiştir (Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12) de gösterilmiştir.



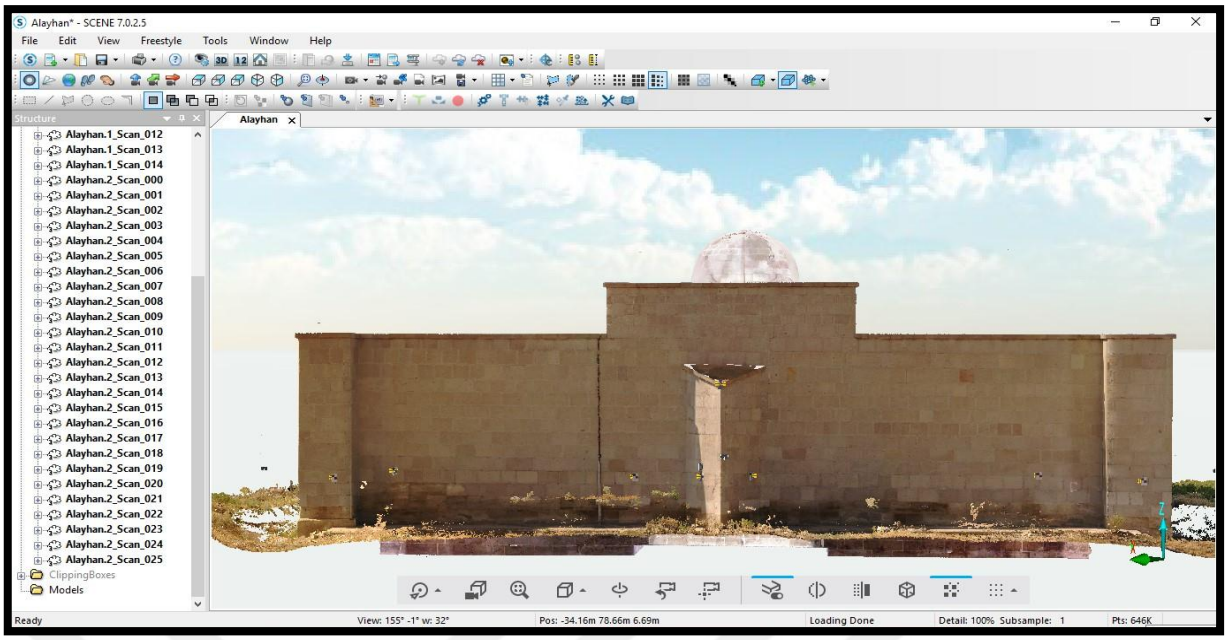
Şekil 4.8. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu genel görüntüsü.



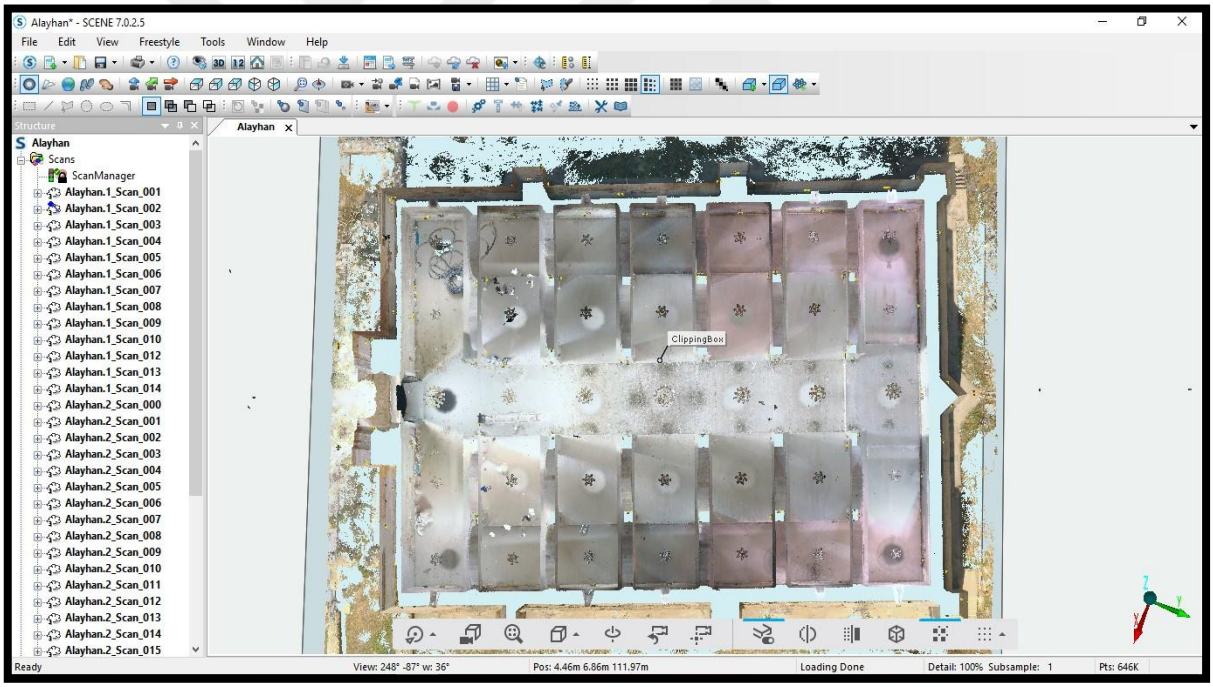
Şekil 4.9. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu ön cephe.



Şekil 4.9. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu yan cephe.



Şekil 4.10. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu arka cephe.



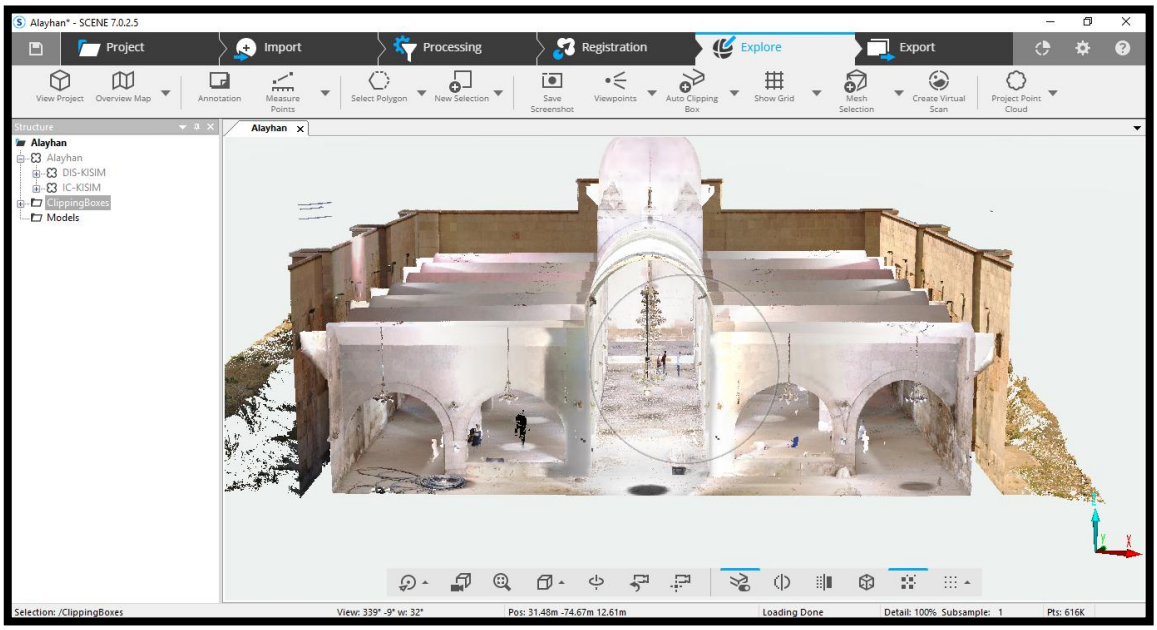
Şekil 4.11. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu.



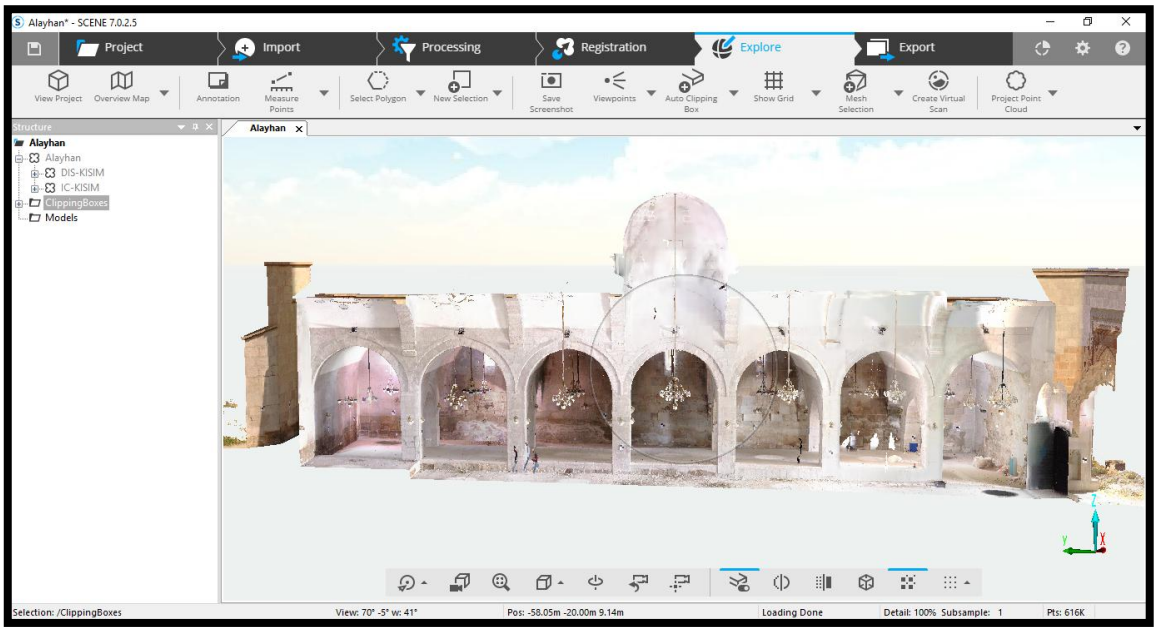
Şekil 4.12. Hanın ön cephe ortofotosu.

4.2.5. Plan ve kesit üretimi

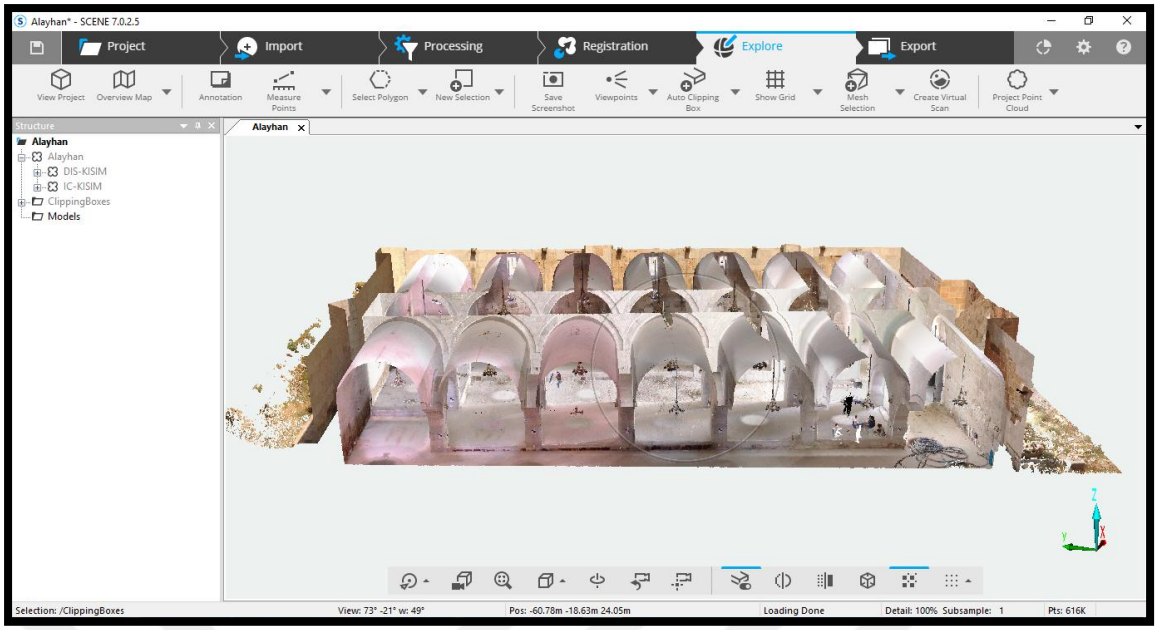
Çalışma dâhilinde tarama işleminden elde edilen farklı oturumlardan verileri birleştirip ve sonra renklendirme kısmına geçilmiştir. Verileri birleştirdikten sonra nokta bulutu üretilmiştir. Hanın elde edilen üç boyutlu nokta bulutu üzerinden istenilen yerden kesit elde etmek mümkündür (Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16) de gösterilmiştir.



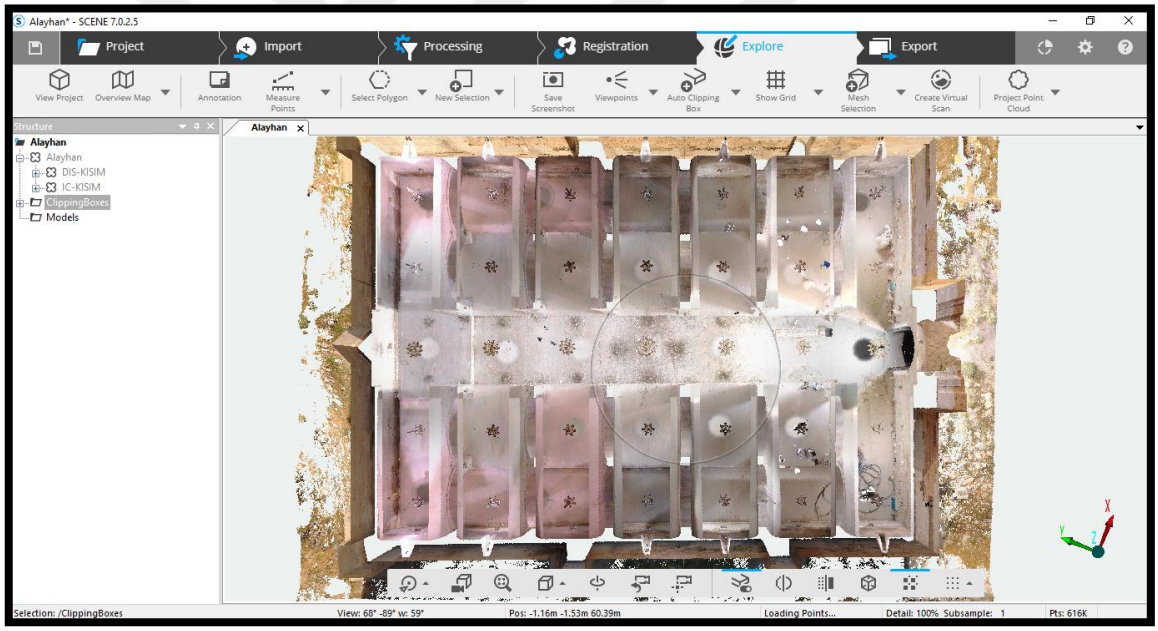
Şekil 4.13. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen ön cephe kesit.



Şekil 4.14. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen kesit.



Şekil 4.15. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen kesit.



Şekil 4.16. Alay Han'ın yersel lazer tarama sonucu elde edilen üst kısmından kesit.

5. Tartışma

Aksaray-Nevşehir karayolu üzerinde bulunan Alay Han, Selçuklular döneminden kalma bir yapı olması sebebiyle tarihi ve mimari ehemmiyeti yüksek eserlerden bir tanesidir. Bu tür eserlerin asıllarının muhafaza edilerek geleceğe kalmasının sağlanması oldukça önemlidir.

Yapılan çalışmada Alay Han'ın nokta bulutu genel görüntüsünün elde edilmesinde ve 3B modellenmesinde Yersel Lazer Tarama Yöntemi kullanılmıştır. Trimble R6 GNSS aleti ile de yer kontrol ölçümleri yapılmıştır. Alay Han üzerine yapılan uygulama; planlama çalışması, arazi çalışması ve ofis çalışması olmak üzere üç adımda gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması iki gün, ofis çalışması ise 3 gün sürmüştür.

Arazi görüntülemede, fotogrametrik 3B modellemede ya da havadan görüntülemede Yersel Lazer Tarama Sistemi, İnsansız Hava Aracı Sistemi ya da uydu sistemlerinden yararlanılabilmektedir. Bu sistemler gerçekleştirilecek amaca göre seçilmektedir. Yersel Lazer Tarama Sistemi daha çok tarihi yapıların 3B modellemesinde tercih edilen bir yöntemdir.

Lazer tarayıcı sistem çeşitleri, havadan lazer tarama, mobil lazer tarama ve yersel lazer tarama olarak sınıflandırılmaktadır. Havadan lazer tarama sistemi geniş coğrafi alanları tarayarak yüksek çözünürlüklü ve detaylı detaylı bilgi sunmaktadır. Bundan dolayı daha çok şehircilik, haritacılık, jeoloji, ormancılık, su altı modelleme, hava kirliliğinin tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu sistemin bina modellemede de kullanılma imkânı vardır. Fakat sadece binanın tepeden görüntüsüne ulaşılabilmesi ya da binanın çevre konumunun belirlenebilmesi dışında çok fazla bir yardımı olmamaktadır.

Mobil lazer tarama ise yersel lazer taramaya benzemekle birlikte araba, gemi, tren gibi hareketli nesnelere monte edilebilmektedir. Böylece aracın hızıyla eşdeğer bir ölçüm hızına kavuşulmakta ve çok geniş alanlarla ilgili çok kısa sürede veri elde edilebilmekte ve nokta bulutu bilgileri alınabilmektedir. Hareketli olması ve çeşitli vasıtalara monte edilebilirliği sayesinde topladığı veri genişliğinden dolayı, demiryolları, karayolları, şehir modelleme, enerji nakil hatları, sulama, sel baskınlarının haritalanması gibi alanlarda tercih edilmektedir.

Yersel Lazer Tarama yönteminden diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında 3B nokta bilgileri ile ilgili daha hızlı ve yüksek çözünürlüklü sonuç alınabilmektedir. Ayrıca geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında hem maliyeti daha az, hem de çok kısa sürede proje tamamlama olanağı sunmaktadır. Ulaşılması güç alanlarda dahi ölçüm

yapılmasına olanak sağlaması da yöntemin başka bir olumlu özelliğidir. Bu sebeple yapılan uygulama için en uygun yöntemin Yersel Lazer Tarama yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Faro Scene yazılımı ile de veriler birleştirilerek nokta bulutu üretilmiş ve renklendirilmiştir. Böylece Alay Han'ın üç boyutlu nokta bulutu üzerinden istenilen yerinden kesit elde edebilme imkânı doğmuştur.

Diğer yöntemlerin seçilmeme sebebine gelince İHA yöntemi yatay bir düzlemde kesitsel veri elde edilebilmesi açısından çok kullanışlı bir yöntem olarak görülmemektedir. Poligon ölçümlerinin alınmasında GNSS sisteminden istifade edilmekle birlikte, bu sistem de sadece poligon ölçümlerinde yarar sağladığı düşünülerek kullanılmıştır.

3B modelin iç ve dış noktalarının bileştirilmesi nokta bulutlar ile modelde ölçülen ve arazide ölçülen değerlerin farkları elde edilmiştir (Çizelge 5.1 ve 5.2) de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Dışta ölçülen arazi ve model değerleri ve farkları

No	Arazi ölçüler değeri	Model ölçüler değeri	Farklar
1	2950,00 cm	2943,45 cm	6,55 cm
2	4200,00 cm	4193,46 cm	6,54 cm
3	265 cm	263,75 cm	1,25 cm
4	673 cm	667,53 cm	5,47 cm
5	736 cm	731,54 cm	4,46 cm
6	780 cm	776,63 cm	3,37 cm
7	915 cm	910,93 cm	4,07 cm
8	596 cm	590,66 cm	5,34 cm
9	235 cm	231,95 cm	3,05 cm
10	1025 cm	1020,94 cm	4,06 cm

Çizelge 5.2. İçte ölçülen arazi ve model değerleri ve farkları

No	Arazi ölçüler değeri	Model ölçüler değeri	Farklar
1	460 cm	452,64 cm	7,36 cm
2	1122 cm	1112,03 cm	9,97 cm
3	721 cm	714,10 cm	6,90 cm
4	29,50 cm	29,37 cm	0,13 cm

5	475 cm	469,47 cm	5,53 cm
6	470 cm	462,93 cm	7,07 cm
7	1120 cm	1110,63 cm	9,37 cm
8	450 cm	442,04 cm	7,49 cm
9	445 cm	439,51 cm	5,49 cm
10	480 cm	471,95 cm	8,05 cm

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bir toplumun sahip olduğu kültürel mirası gelecek nesillere aktarabilmesi önem teşkil etmektedir. Çünkü kültürel miras olarak nitelendirilebilecek tarihi eserler, bir kültürün belleği vazifesi görerek geçmiş toplumlar hakkında bize pek çok veri sunar. Bu eserlerden geçmiş toplumların yaşadıkları yapı tiplerinden tutun da bu yapılarda kullandıkları malzemelere ve teknolojik olanaklara kadar bilgi edinmek mümkündür.

Kültürel, tarihi, mimari ve turistik değeri olan yapıların 3 Boyutlu olarak modellenerek arşivlenebilmesinde, turistik video tanıtımları oluşturulmasında ve dijital ortama aktarılarak muhafaza edilmesinde yerel fotogrametrik yöntemler oldukça önemlidir.

Yersel lazer tarama sistemi ise bir objenin, yapının ya da nesnenin yatay ve düşey yönlerden taranarak nokta bulutu görüntüsü elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bundan dolayı yapıların 3B modellemesinde en çok tercih edilen sistemdir. Lazer tarama sistemleri genel olarak değerlendirildiğinde yaptığımız uygulama için en uygun sistemin yersel lazer tarama sistemi olduğu anlaşıldığından bu yöntemin kullanılması tercih edilmiştir. Nitekim havadan lazer tarama yöntemine bakıldığında yer ve yer üstü objelerinin birbirinden ayırt edilmesini güçleştirmesi, görüntü işleme tekniği ile elde edilen detayların keskin sınırlara sahip olmaması bir dezavantajdır. Diğer tarafta uzak mesafeden genel verilerin toplanmasında kullanılacak etkili yöntemlerden bir tanesidir. Dolayısıyla yaptığımız uygulamada bu sistemin tek başına kullanılabilmesinin mümkün olmadığı düşünülmüştür.

İki ayrı şekilde nokta bulutları ölçüleri değerlendirildi. İçte ölçülen nokta bulutlarının ortalama hatası (6,7 cm) elde edildi. Dışta ölçülen nokta bulutlarının ortalama hatası (4,4 cm) elde edildi. Toplamda bu 3B model (5,55 cm) hatayla oluşturulmuş oldu. Dolaysıyla böyle bir yöntem uygulanması oldukça başarılıdır.

6.2 Öneriler

Burada anlatılan yöntemler, ölçme tekniği ve ölçülen objeye bağlı olarak kullanılabilir. Uygulama amacına uygun teknik ve sistem seçimi uygulamanın başarıya ulaşmasında önem arz etmektedir. Örneğin hava kirliliğinin tespiti ya da şehir planlamada kullanılacak teknik ile bir binanın her açıdan detaylı 3B modellemesinde

kullanılacak sistem farklılık gösterebilir ya da birkaç sistem birlikte kullanılarak detaylı sonuçlar elde edilebilir.

Amaca uygun seçim yapıldığında zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanarak hızlı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Makrodan mikroya doğru şehircilik ve haritacılığın bütünleştirildiği çalışmalar gerçekleştirilebilir. Mesela havadan lazer tarama sistemi ile tarihi mekânlar önce analiz edilip, yer tespiti yapılarak, ardından binalarla ilgili yersel tarama sistemi kullanılarak geniş çaplı bir çalışma yapılabilir.

Yapılan uygulamada tek sistemin kullanılması ve sadece Alay Han'a yönelik bir uygulama yapılması bu çalışmanın sınırlılığıdır. Benzer çalışmalarda farklı tekniklerle desteklenerek daha detaylı sonuçlara ulaşılabilir.

Lazer tarama yöntemleri, her geçen gün daha farklı alanlarda kullanılmaktadır. Fakat ülkemizdeki kullanımı yeni yaygınlaşmaktadır. Kullanım kolaylığında dolayı pek çok alanda yaygınlaştırılabilir.

Yersel lazer tarama yöntemi bilgisayarda yoğun hesaplama gerektirmesine rağmen uygulaması kolay ve sonuçları daha hassastır.

Geleneksel tekniklerle başarılamayan karmaşık görünen ölçümlerin yersel lazer yöntemi ila daha kolay ve hızlı yapılabileceği görülmüştür.

Yersel lazer taramanın bu tip uygulamalarda tercih edilebilirliğinin daha fazla olduğu, gece şartlarında bile ölçüm yapmaya olanak tanıdığı fark edilmiştir.

KAYNAKLAR

Algan, N., 2008, Anadolu Selçuklu Dönemi Mimarisi Taş Yüzey Süslemelerinin İncelenmesi ve Seramik Yorumları, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Seramik Anasanat Dalı Sanatta Yeterlik Tezi.

Altuntaş, A., 2017, Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi Ve Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi: Literatür Araştırması, Selçuk-Teknik Dergisi, 16(1).

Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2008, Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı: 98.

Anonim, 2013, http://doczz.biz.tr/doc/251473/fotogrametri-uygulama-f%C3%B6y%C3%BC---g%C3%BCm%C3%BC%C5%9Fhane-%C3%BCniversitesi-harita.

Anonim, 2017a, http://www.cekulvakfi.org.tr/files/dosyalar-haber/ipekyolu_harita.pdf.

Anonim, 2017b, http://www.anadoluselcuklumimarisi.com/asyep/veri-tabani?fid=695.

Anonim, 2017c, http://www.faro.com/en-sg/products/construction-bim-cim/faro-focus/.

Aşkın, F. H., 2009, Lazer Tarama Verileriyle 3b Obje Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi).

Asri, İ. ve Çorumluoğlu, Ö., 2014, Tarihi Yerleşim Alanlarının Yersel Fotogrametri Yöntemi İle 3B Modellenmesi: Santa-Harabeleri Örneği, 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu, İstanbul.

Ay, E., 2009, Lazer Tarama Verisinde Geometrik Obje Tabanlı Üç Boyutlu Filtreleme Uygulaması, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi).

Boy, O. ve Saraloğlu, S. S., 2016, Yer Kontrol Noktaları Kullanılmadan İHA'lar ile Hangi Doğruluk Seviyesinde Haritalama Yapılabilir?, UASTÜRK.

Çak, T., 2014, Yersel Fotogrametrinin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği, İstanbul.

Çelik, H., 2011, Karayolları Etüt ve Proje Çalışmalarında Mobil Haritalama Sistemlerinin Kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Konya.

Cömert, R. ve Avdan, U., 2013, RANSAC Algoritması ile Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinden Bina Cephelerinin Otomatik Olarak Çıkarılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.

Engin, İ. C. ve Maerz, N., 2016, Patlatma Sonuçlarının Analizinde Yersel Lazer Tarayıcıların (Lidar) Kullanımı, Madencilik, 55(1): 35-43.

Ergün, B. ve Altan, M. O., 2003, Yakın Resim Fotogrametrisinde Endüstriyel Uzman Sistem Uygulaması, İTÜ Dergisi, 2(4): 19-24.

Ersoy, M., 2006, Fotogrametrik Uçuşlarda Yan Bindirmenin Optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Ankara.

Gümüş, K. ve Erkaya, H., 2007, Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, (2 – 6 Nisan), Ankara.

Gümüş, K., Erkaya, H. ve Tunalıoğlu, N., 2009, Yersel Lazer Tarama Verilerinde Çevresel Ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, (11-15 Mayıs), Ankara.

Hepyörük, G., 2015, Tarihi Ve Kültürel Varlıkların Belgelendirilmesi ve Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulmasında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması ve Karacabey Türbesi (Ankara) Örneği, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Konya.

Karasaka, L., 2012, Mobil Yersel Lazer Tarama Sistemlerinin Fotogrametrik Rölöve Projelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi).

Karasaka, L. ve Yıldız, F., 2015, Yersel Mobil Lazer Tarama Teknolojisi: Topcon IP-S2 Örneği, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2): 11-20.

Karşıdağ, G., 2011, Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

Kılınçoğlu, D. B., 2016, Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

Koç, S., Taşdemir, İ. ve Dinç, O., 2015, Mobil Haritalama Yöntemi ile Panorama İstanbul Projesi, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2015, Konya.

Makineci, H. B., 2016, İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi, Geomatik Dergisi, 1(1): 19-23.

Marangoz, A., 2013, http://geomatik.beun.edu.tr/marangoz/files/2013/03/YLisansTeziAycan.pdf.

Mohammed, O. H., 2016, Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dökümantasyon Tekniklerin Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Konya.

Özcan, M., Özkan, A. O. ve Yağcı, M., 2005, Lazer Cihazlarının İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi ve Zararlı Etkilerinin Giderilmesi, Selçuk-Teknik Dergisi, 4(3).

Polat, N. ve Uysal, M., 2016, Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: 16.

Resul, Ç., Uğur, A., Muammer, T. ve Merve, E., 2012, Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği), Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi.

Tanrıtanır, E., 2013, Fotogrametri Nedir?, Geomatik Mühendisliği Paylaşım Platformu, www.geomatikmühendisligi.com.

Tomurcuk, İ. F., 2010, Poul Bourke Üçgenleme Yöntemi İle Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinde Gürültü Eliminasyonuna Yönelik Algoritma Geliştirme, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

Torun, A. ve Düzgün, Ş., 2013, LİDAR Nokta Bulutundan Veri Yönelimli Teknikle Bina Çatılarının Yatay Yüzeylerinin Çıkarılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.

Turan, M. H., 2004, Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (19)1: 43-50.

Uysal, E., 2016, Uzay Fotogrametrisi, Geomatik Dergisi, 1(1): 24-38.

Yakar, M., 1995, Türkiye'deki Fotogrametrik Harita Yapım Yöntemlerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Konya.

Yakar, M., Yıldız, F. ve Yılmaz, H. M., 2005, Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart - 1 Nisan, Ankara.

Yakar, M., Ulvi, A., Toprak, A. S. ve Mutluoğlu, Ö., 2013, Sandıklı Kültür ve Sanat Evinin Yersel Fotogrametrik ve İHA Teknikleri Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildirileri.

Yaşar, F., 2013, Arkeolojide Kullanılan Çizim Teknikleri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya.

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).

Yılmaz, H. M., Karabörk, H. ve Yakar, M., 2000, Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(1): 18-28.

Yılmaz, H. M. ve Yakar, M., 2006, Yersel Lazer Tarama Teknolojisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (2): 43-48, İstanbul.

EKLER

EK-1 Yersel Lazer Tarayıcı Faro Focus3D X330 Teknik Özellikleri

Tablo EK-1. Şekil 5.4. Çalışmada kullanılan yersel lazer tarayıcı (Faro focus 3D X330) ile ilgili

Mesafe Focus3D X330	0.6m – 330m
Ölçüm hızı (nokta/sn):	122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000
Mesafe hatası	± 2mm
Entegre renkli kamera	70 mio. Piksele kadar
Dinamik Renk Özelliği	Parlaklığın otomatik olarak uyarlanması
Görüş Alanı (dikey / yatay)	300 ° / 360 °
Maks. Dikey Tarama Hızı	5,820rpm veya 97Hz
Lazer sınıf	Lazer sınıf 1
Dalga boyu	1550nm
Batarye ömrü	4.5 Saatlik
Ağırlık	5.2kg
Multi-Sensör	GPS, Pusula, Yükseklik Sensörü, Çift Eksenli Kompensatör
Boyut	240 x 200 x 100mm
Veri Depolama Alanı	SD, SDHC ™, SDXC ™; 32GB kart dahil
Tarayıcı kumanda	Dokunmatik ekran ve WLAN üzerinden

EK-2: TRİMBLE R6 TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Tablo EK-2. Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan Trimble R6 GNSS Sistemi ile ilgili

Boyutlar (G×Y)	19 cm × 10,2 cm konektörler dahil
Ağırlık:	1,52 kg (sadece alıcı) / 3,81 kg (tüm gezici seti)
Kanal Sayısı:	220
GPS:	L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
GLONASS:	L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
SBAS:	L1C/A, L5 (L5 destekleyen SBAS uydular için)
Galileo:	E1, E5A, E5
BeiDou (COMPASS):	B1, B2
Konumlama Hızları:	1 Hz, 2 Hz, 5 Hz ve 10 Hz
Statik Hassasiyet (yatay):	3 mm + 0,1 ppm RMS
Statik Hassasiyet (düşey):	3.5 mm + 0,4 ppm RMS
RTK Hassasiyet (yatay):	8 mm + 0,5 ppm RMS
RTK Hassasiyet (düşey):	15 mm + 0,5 ppm RMS
RTK Başlatma süresi	Tipik olarak <8 saniye
RTK Başlatma güvenilirliği	Tipik olarak >%99,9
Çalışma Sıcaklığı:	–40 °C ila +65 °C (–40 °F ila +149 °F)
Depolama Sıcaklığı:	–40 °C ila +75 °C (–40 °F ila +167 °F)
Nem	%100, yoğuşma
Su/toz geçirmez	IP67 toz geçirmezlik, 1 m'ye (3,28 ft) kadar
Darbe:	2 m Jalondan betona düşmeye dayanıklı
Titreşim	MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1
Pil Türü:	7,4 V, 2,6 Ah Li-Ion
Pil Süresi:	5,0 saat
Haberleşme:	USB, Wi-Fi, Bluetooth
Veri formatları (GMR)	CMR+, CMRx giriş ve çıkışlar
Veri formatları (RTCM)	RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1 giriş ve çıkışlar

Veri formatları (Diğer çıkışlar)	23 NMEA çıkışı, GSOF, RT17 ve RT27 çıkışları ve BINEX
Veri depolama	11 MB dahili bellek
WebUI:	Var
Desteklenen Kontrol Üniteleri:	Trimble TSC3 kontrol ünitesi, Trimble CU kontrol ünitesi, Trimble Tablet Rugged PC
Trimble RTX:	Var 2-4 cm hassasiyet
Floodlight Teknolojisi:	Var
Anten Türü:	UHF antenli

Ek-3: Kullanılan Programların Özellikleri

EK-3. Scene Programı

SCENE 3D Belgeleme yazılımı FARO Focus3D ve Freestyle3D için özel olarak tasarlanmıştır. SCENE otomatik nesne tanıma, tarama kayıtlama ve konumlandırma gibi özellikleri ile tarama verisini etkin ve basit bir şekilde işler ve yönetir. SCENE artık otomatik hedefsiz tarama konumlandırması için araçlar da sağlamaktadır. 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 elinizin altındadır. SCENE tarama verisini hazırladıktan sonra hemen değerlendirmelere ve ileri işlemlere başlayabilirsiniz.

Tarama projeleri SCENE WebShare Cloud ile artık tek bir tuşla web sunucusunda yayınlanabilir. SCENE WebShare Cloud, birbirinden farklı proje ortakları arasında tarama verisi saklama ve paylaşma amaçlı güvenli, nokta bazlı bir çözümdür.

Tablo EK-3. SCENE Programın Özellikleri

Ürün adı: Faro SCENE
FARO'nun yersel ve mobil Tarayıcılarına yönelik 3 Boyutlu Belge Yazılımıdır.
Gerçek Zamanlı, Yerinde Kayıt
Özet Haritası: Tüm tarama projesi için bir özet haritası oluşturun.
Geliştirilmiş Orto-Resim: Orto-Resim fonksiyonu kullanıcıların resim düzleminin her hizalanmasında orto-resim oluşturmalarına izin vermektedir.
Gelişmiş WebShare Bulut Entegrasyonu
Gelişmiş Filtreleme: Çeşitli gelişmiş filtreleme opsiyonları
Tarayıcı Kontrol Görevi
SCENE Sanal Gerçeklik Görüntüleyici

Güçlü katı 3D yüzeyler oluşturma
HDR haritalama
İşlemci: Dört çekirdekli X64, Intel Core i7/Xeon, 8 fiziksel çekirdek
Ekran Kartı: Özel ekran kartı, OpenGL 4.1 veya üzeri, en az 4 GB Bellek
Ana Bellek: 64 GB RAM
Sabit Disk Sürücüsü: 512 GB SDD + Normal HDD
İşletim Sistemi: 64 bit Windows™ 7 SP1 veya üzeri
Ekran çözünürlüğü: 1920×1080
Aksesuarlar: 2 düğmeli ve sürükleme toplu fare, SCENE lisansı için internet bağlantısı
EK Yazılımılar: SCENE LT, FARO LS SDK, SCENE WEBSHARE CLOUD, LAZER TARAMA UYGULAMALARI IÇIN 3D APP CENTER

EK-4 : Kullanılan Programların İşlem Adımları

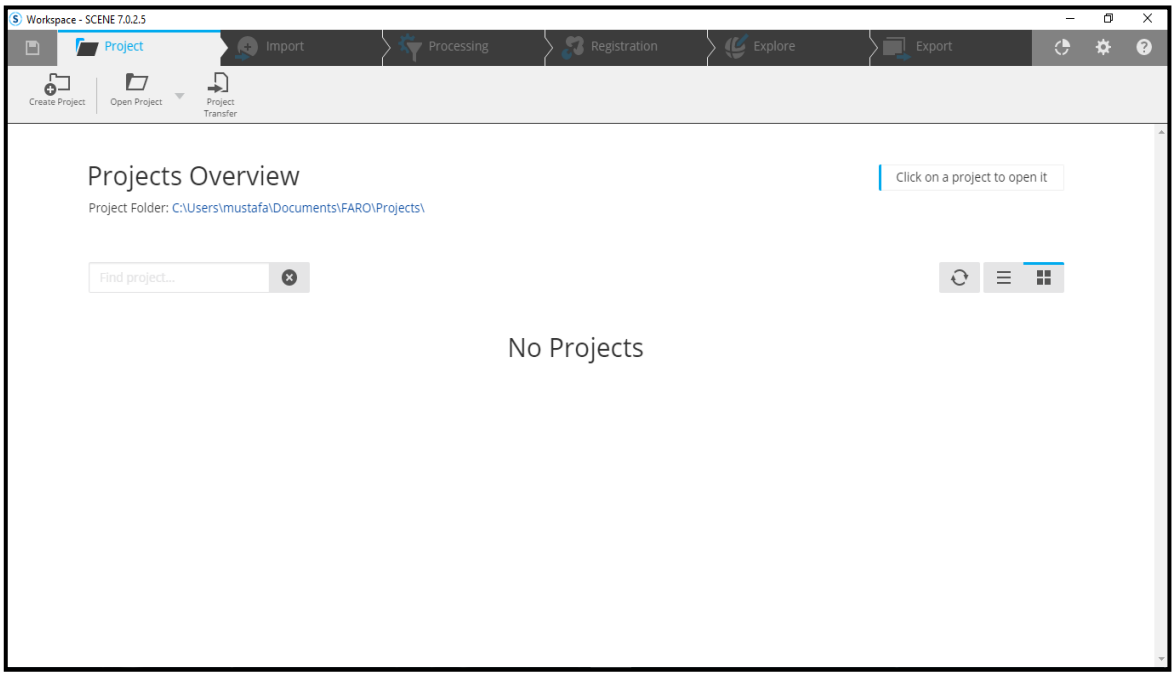
EK-4.1 Scene Programı

SCENE 3D Belgeleme yazılımı FARO Focus3D ve Freestyle3D için özel olarak tasarlanmıştır. SCENE otomatik nesne tanıma, tarama kayıtlama ve konumlandırma gibi özellikleri ile tarama verisini etkin ve basit bir şekilde işler ve yönetir. SCENE artık otomatik hedefsiz tarama konumlandırması için araçlar da sağlamaktadır. 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 elinizin altındadır. SCENE tarama verisini hazırladıktan sonra hemen değerlendirmelere ve ileri işlemlere başlayabilirsiniz.

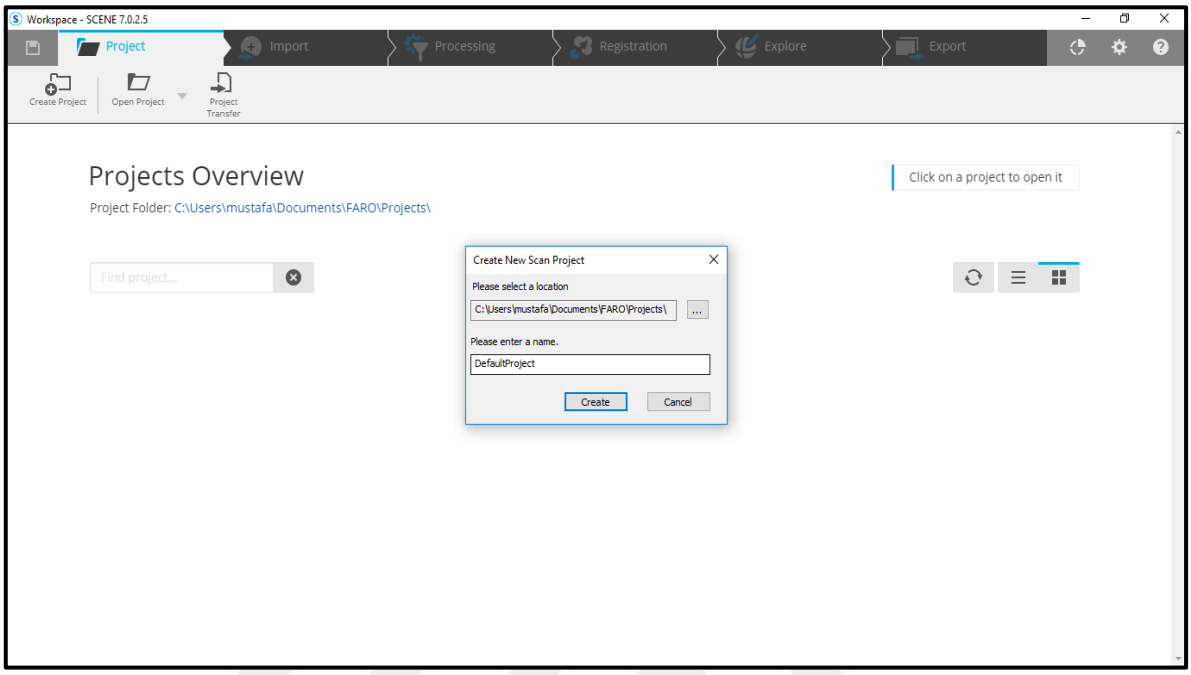
EK-4.1.1. Programın İşlem Adımları

1. İlk önce masa üstünden Scene programına tıklayarak program açılır.



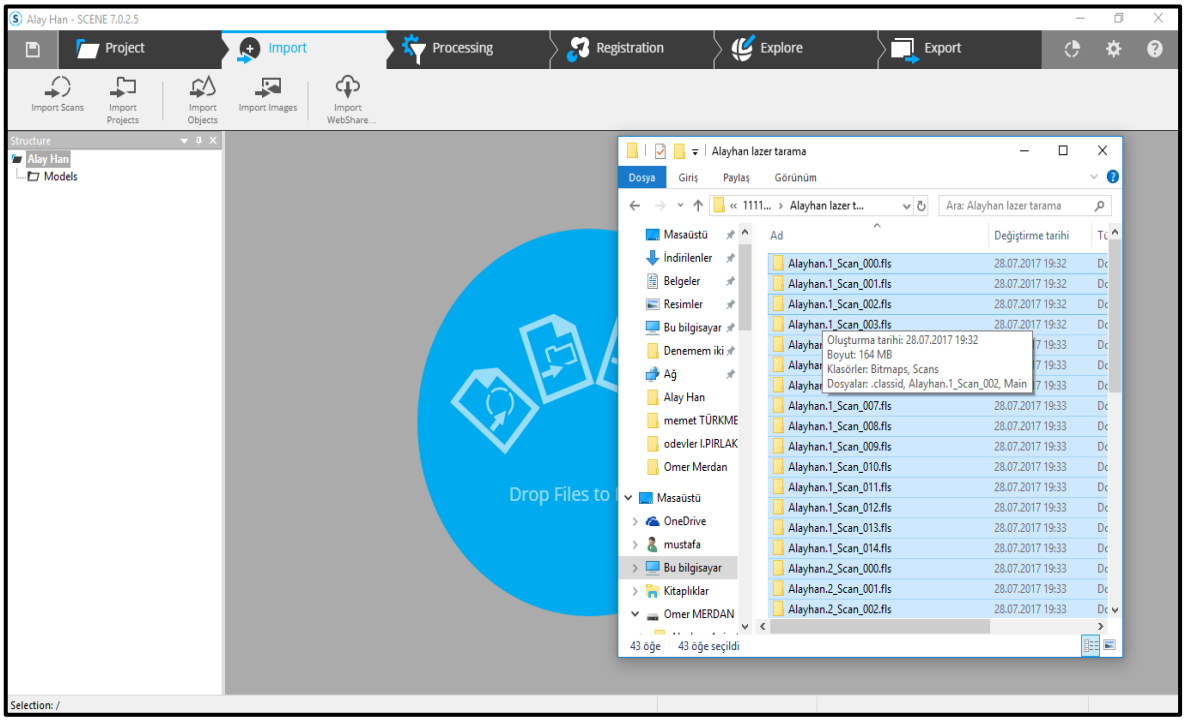
Şekil 1. Scene program arayüzey

2. Program ilk açıldığında “Create Project” tuşuna tıklayarak yeni proje oluşturulur.



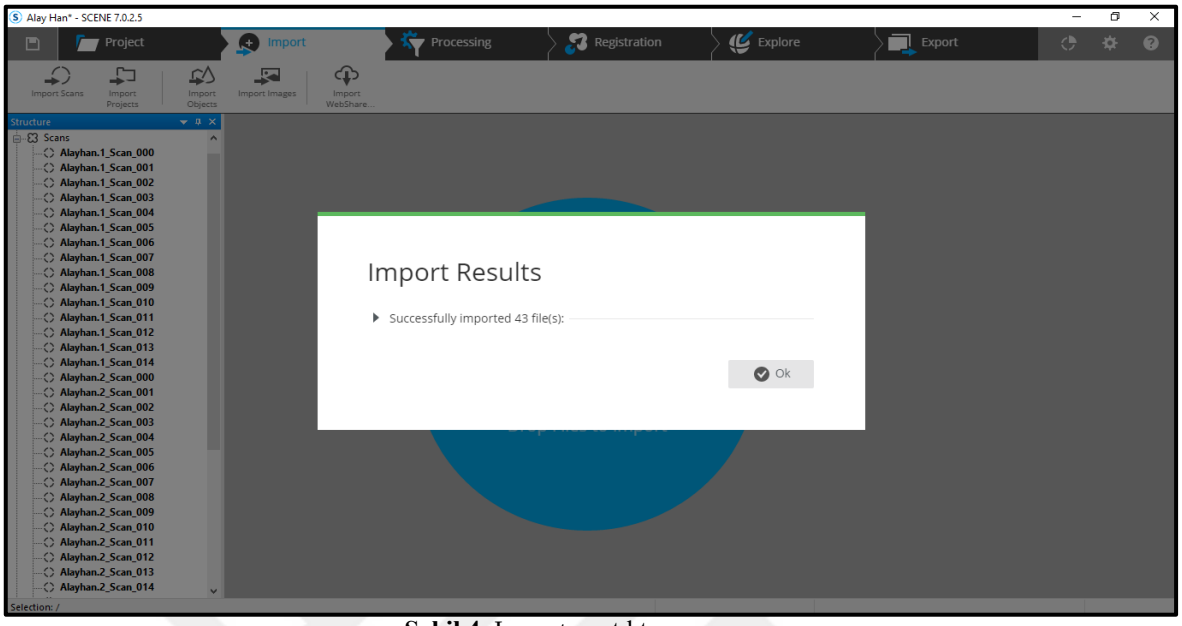
Şekil 2. yeni proje oluşturulması

3. “Import” menüsüne tıkladıktan sonra tarama datalarını çekip bırakılır.



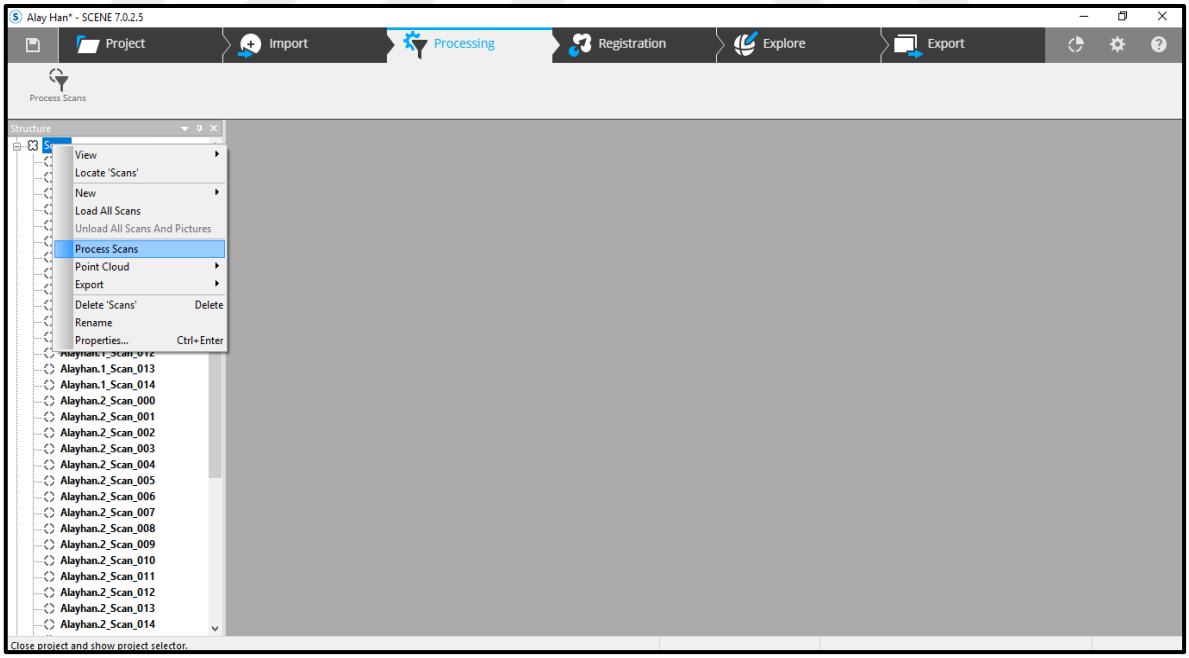
Şekil 3. Verilerin programa aktarılması

4. Dataları ekledikten sonra şu görüntü ekrana geldi



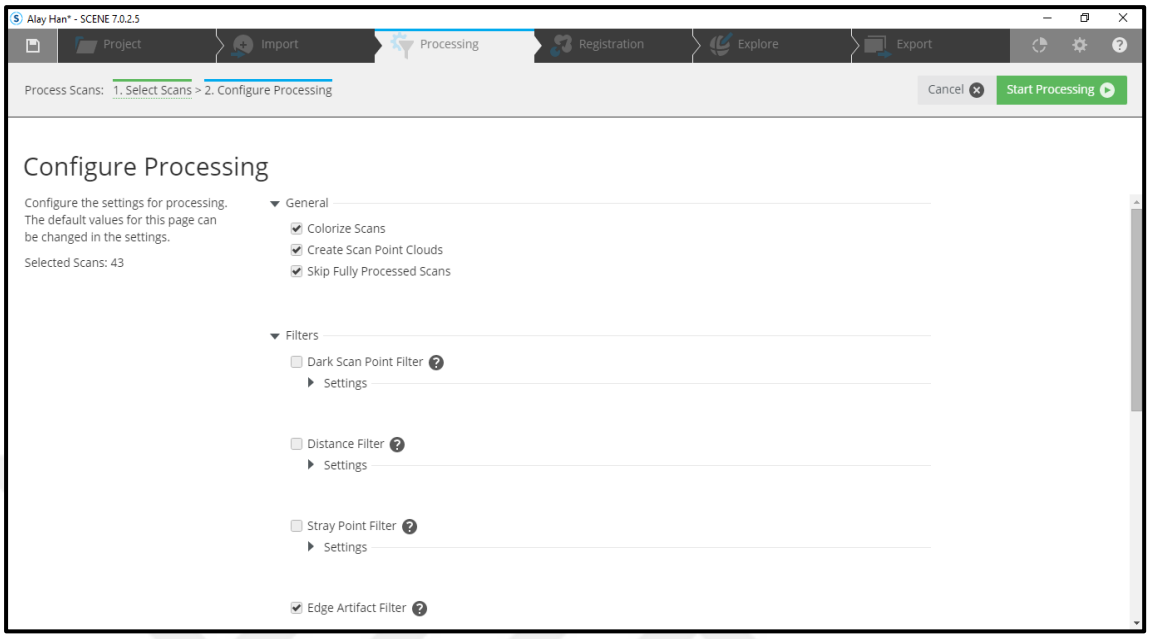
Şekil 4. Import yaptıktan sonra

5. "Processing" menüsünden "Scans" üzerine sağı tıklayarak "Process Scans" tuşuna tıklamalıyız.



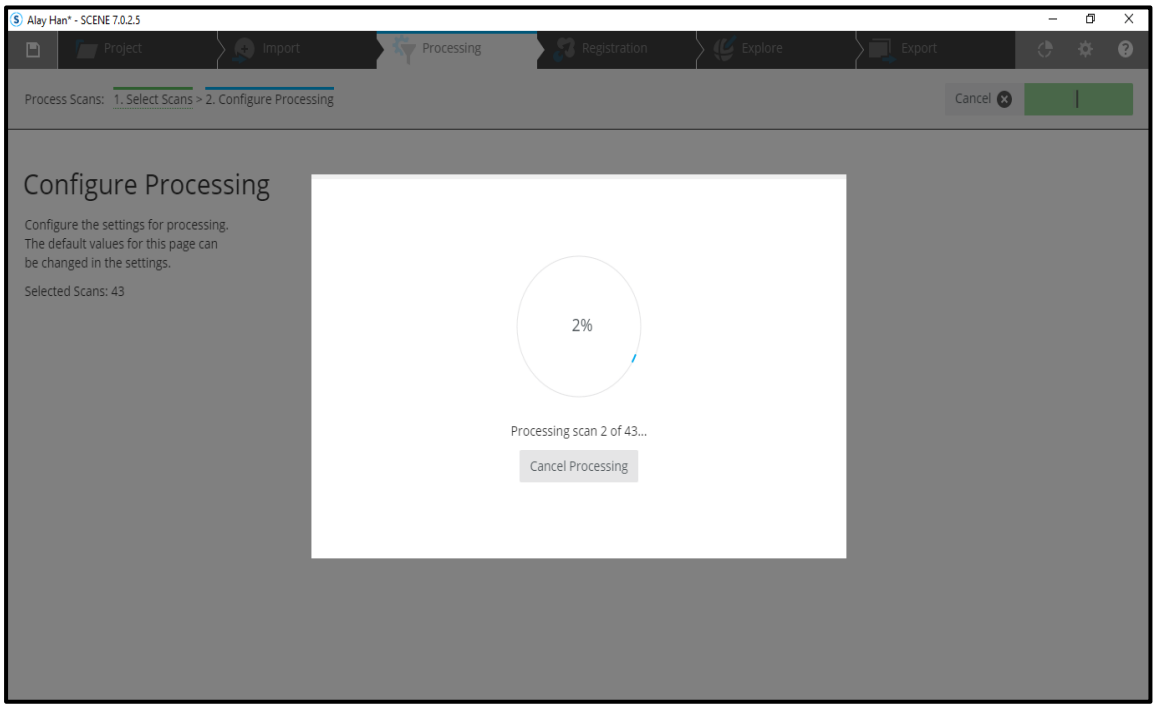
Şekil 5. Processing başlamadan önce

6. Daha sonra process ayarlarını yaptıktan sonra “Start Processing” tuşuna tıklamalıyız.



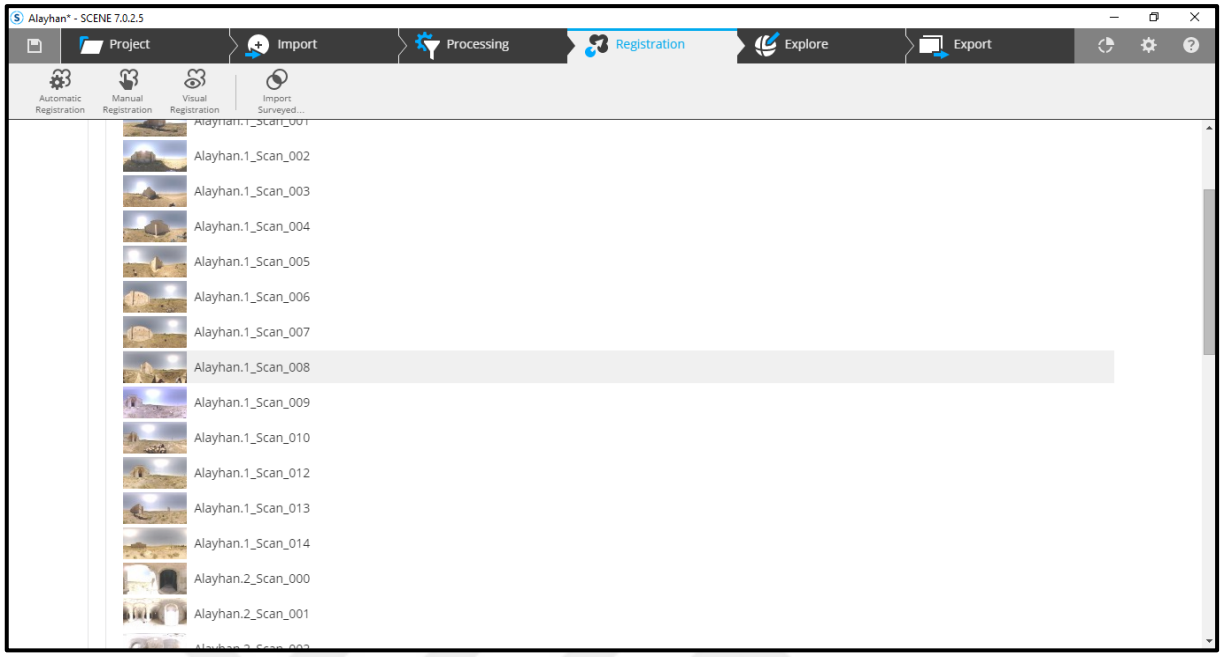
Şekil 6. Processing işlemi başlamadan önce

7. Process işlemini başladıktan sonra şu görüntü ekrana gelir.



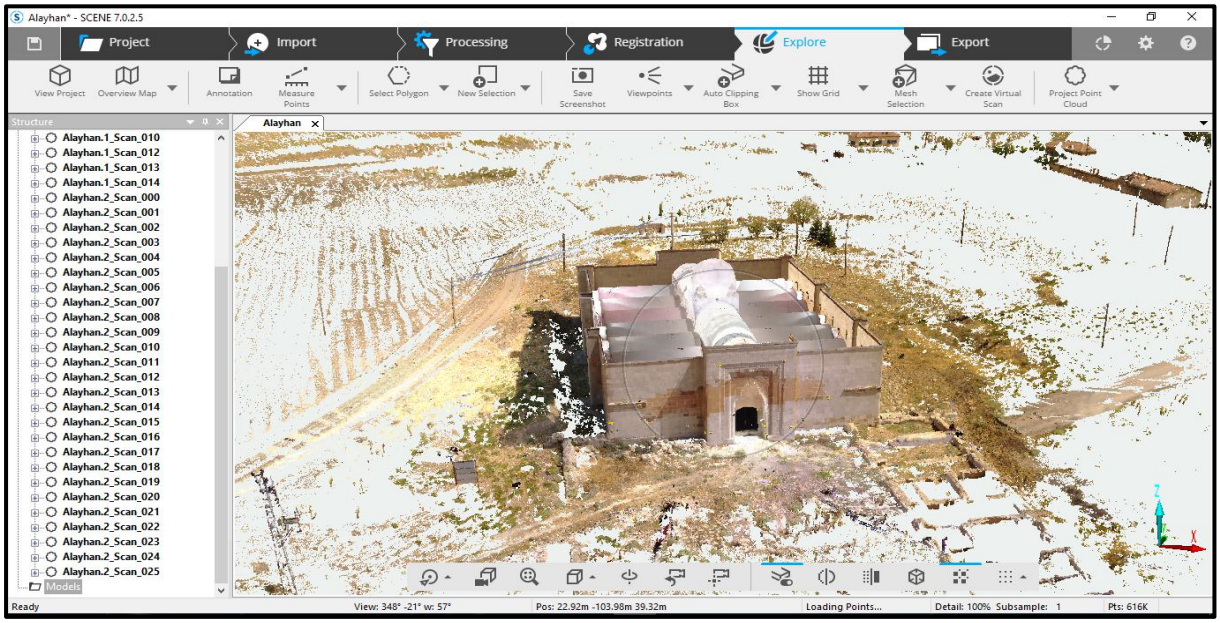
Şekil 7. Proses işlem görüntüsü

8. “Registration” menüsünü tıklayarak dataları eşleştirme işlemi yapılar “Automatic” veya “Manual” yapılabilir.



Şekil 8. Registration görüntüsü

9. Daha sonra “Explore” tuşuna tıklayarak modelin 3B birleşmiş halini görebiliriz.



Şekil 9. Elde eddilen 3B modelin son hali.

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Omar Falah Mirdan MIRDAN
Uyruğu : IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi : KERKÜK 13/01/1990
Telefon : 05379553120
Faks :
E-mail : Omerk7500@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**KERKÜK- IRAK**	**2008**
Üniversite	:	**KERKÜK ÜNİVERSİTESİ- IRAK**	**2012**
Yüksek Lisans	:	**SELÇUK ÜNİVERSİTES- TÜRKİYE**	**2018**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi

UZMANLIK ALANI

Harita Mühendisliği Fotogrametri Anabilim Dalı

YABANCI DİLLER

Arapça Ve İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Dergiler

Murat YAKAR, Omar MIRDAN, Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar-Online Dergi Cilt 2, Sayı 3, Sayfalar 118 – 125.