



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME**  
**ÇALIŞMALARINDA FOTOGRAMETRİK**  
**YÖNTEM İLE YERSEL LAZER TARAMA**  
**YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**  
**Hilal KIVANÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mart-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Hilal KIVANÇ tarafından hazırlanan “Kültürel Miras Belgeleme Çalışmalarında Fotogrametrik Yöntem İle Yersel Lazer Tarama Yönteminin Karşılaştırılması” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****Başkan**

Prof.Dr.Ferruh YILDIZ

**Danışman**

Prof.Dr.Ayhan GÖKTEPE

**Üye**

Prof.Dr. Murat YAKAR

**İmza**

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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

Hilal KIVANÇ

29.03.2019



## ÖZET

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME ÇALIŞMALARINDA FOTOGRAMETRİK**  
**YÖNTEM İLE YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİNİN**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

Hilal KIVANÇ

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan GÖKTEPE

2019, 99 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ayhan GÖKTEPE

Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

Prof.Dr. Murat YAKAR

Ülkemiz bulunduğu konum itibari ile pek çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Ülkemiz topraklarında birçok medeniyet kurulmuş ve yıkılmıştır. Bu nedenle ülkemizde geçmiş medeniyetlere ait çok fazla kültürel miras eserleri bulunmaktadır. Kültürel miras bir ülkenin geçmişini bilmesi ve geleceğine yön vermesi açısından önemlidir. Kültürel miras mimari eserler, tarihi alanlar, tarihi yapılar, bilimsel ve teknolojik eserler olarak nitelendirilebilir. Kültürel miras eserlerinin beşeri ve doğal faktörlerle kaybolma, tahrip olma tehlikesine karşı belgeleme çalışmaları ile kayıt altına alınması büyük önem arz etmektedir.

Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında geçmişten günümüze kadar birçok yöntem kullanılmıştır. Geleneksel ve modern yöntemler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte kullanılan yöntemler hassas belgeleme çalışmaları yapılmasına olanak sağladığından, geleneksel yöntemler yerini modern yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Belgeleme çalışmalarında tercih edilecek yöntem istenilen hassasiyete, sonuç ürününe göre değişmektedir.

Modern metotlardan, yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında sıklıkla başvurulan metotlardır. Çalışma kapsamında iki tane saha çalışması belirlenmiş ve yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle 3B modelleri üretilmiştir. Çalışma sahaları Antalya Gazipaşa'da Selinus Antik Kentine ait olan su kemeri ve Konya İli Karatay İlçesindeki Osmanlı yakın dönemine ait olan sivil mimari eserinin yersel lazer taraması ve yersel fotogrametrik yöntemle modellenmesi ile üretilen ortofotoların boyut, çözünürlük ve doğruluk kıyaslanması üzerine yapılan bir çalışmadır. Yapılan uygulamalarla yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemlerinin belgeleme çalışmalarında birlikte bütüncül bir dökümantasyon olarak kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Belgeleme, Kültürel Miras, Yersel Fotogrametri, Yersel Lazer Tarama



## ABSTRACT

MS THESIS  
**COMPARISON OF PHOTOGRAMMETRIC AND TERRESTRIAL LASER  
SCANNING METHODS IN CULTURAL  
HERITAGE DOCUMENTATION STUDIES**

Hilal KIVANÇ

Konya Technic University

The Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Survey Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ayhan GÖKTEPE

2019, 99 Pages

Jury: Prof. Dr. Ayhan GÖKTEPE

Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

Prof.Dr. Murat YAKAR

Our county had been hosted a great deal of civilization in respect of geographical location. These civilizations were established and demolished in our territory. Therefore these civilizations left cultural heritages there. Cultural heritages are important in terms of knowing past of the any country and giving a direction to the future. Cultural heritages can be qualified as architectural works, historic sites, historic buildings, scientific and technologic works. Documenting with documentation studies of cultural heritages is very important against to danger of dissappearing and falling into ruin because of the human and nature.

Documentation studies of cultural heritages has been used a lot of methods till today. These methods are investigated in two parts as traditional and modern methods. Traditional methods has been started to leave their place to modern methods because methods using with technologic improvoments enable to make precise documentation studies changes according to desired precision and outcome.

From modern methods, terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning are frequently used methods in the documentation of cultural heritage. Two field studies were determined within the scope of the study and 3D models were produced by terrestrial photogrammetry and ground laser scanning methods. The study area is a study on the size, resolution and accuracy of orthophotos produced by terrestrial laser scanning and terrestrial photogrammetric modeling of the civil architec- ture belonging to the Selinus Antique City in Antalya Gazipaşa and the recent Ottoman architectural work in the Karatay District of Konya Province. It is aimed that ground photogrammetry and ground laser scanning methods can be used as a holistic documentation together with documentation studies.

Key words : Cultural Heritage, Documentation, Terrestrial photogrammetry, Terrestrial laser scanning

## ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca yardımını esirgemeyen ve yanımda olan sayın danışmanım Prof. Dr. Ayhan GÖKTEPE'ye saygılarımı sunar ve teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam boyunca gerek arazi gerek ofis çalışmalarında bana her zaman yardımcı olan sayın hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Mustafa KORUMAZ ve Arş. Grv. Armağan KORUMAZ hocalarıma, arazi çalışmalarında yardımcı olan arkadaşım Şahin YILDIRAN'a, ofis çalışmalarında yardımcı olan sayın Ömer Faruk YÜKSEKZEYBEK ve Recep SAYAR'a ve her zaman desteğini esirgemeyen yanımda olan Ayşe KAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen aileme ve öğrencilerime çok teşekkür ederim.

Hilal KIVANÇ

Konya-2019





*Annem'e*

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç -Kapsam.....	3
1.2. Materyal ve Metot.....	5
1.3. Literatür Özeti.....	7
<b>2. KÜLTÜREL MİRASIN BELGELEME TEKNİKLERİ.....</b>	<b>10</b>
2.1. Fotogrametrik Yöntemler.....	13
2.1.1. Fotogrametri tanımı.....	13
2.1.2. Fotogrametrinin sınıflandırılması.....	14
2.2. Yersel Fotogrametri.....	18
2.2.1. Yersel fotogrametri bileşenleri.....	19
2.2.2. Yersel fotogrametri işlem adımları.....	20
2.2.3. Yersel fotogrametri kullanım alanları.....	22
2.2.3.1. Arkeoloji.....	22
2.2.3.2. Trafik kazaları.....	24
2.2.3.3. Madencilik.....	26
2.2.3.4. Deformasyon.....	27
2.2.3.5. Endüstri ve otomotiv.....	28
2.2.3.6. Tıp ve veterinerlik.....	29
2.2.3.7. Mimari.....	30
2.3. Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri.....	34
2.3.1. Fotogrametri ve değerlendirme yöntemleri.....	34
2.3.1.1. Tek resim değerlendirilmesi.....	35
2.3.1.2. Çift resim değerlendirilmesi.....	37
2.3.1.3. Işın demetleri yöntemi.....	39
2.3.1.4. Ortofoto yöntemi.....	40
2.4. Yersel Lazer Tarama Yöntemi.....	41
2.4.1. Yersel lazer tarayıcıların genel özellikleri.....	42
2.4.2. Yersel lazer tarayıcıların bileşenleri.....	44
2.4.3. Yersel lazer tarama işlem adımları.....	45
2.4.4. Yersel lazer tarayıcıların sınıflandırılması.....	46

2.4.5. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri .....	47
2.4.5.1. Uçuş zamanlı.....	47
2.4.5.2. Faz karşılaştırma .....	47
2.4.5.3. Triangulasyon metodu.....	48
2.4.5.3.1. Tek kamera çözümü.....	48
2.4.5.3.2. Çift kamera çözümü.....	48
2.5. Yersel Lazer Tarama Kullanım Alanları .....	48
2.5.1. Arkeoloji .....	49
2.5.2. Deformasyon .....	50
2.5.3. Madencilik .....	51
2.5.4. Kent modellemede .....	52
2.5.5. Endüstri .....	53
2.5.6. Kıyı bölgelerin izlenmesi .....	53
2.5.7. Doğal afetlerin izlenmesinde.....	55
2.5.8. Mimari .....	56
2.6. Yersel Fotogrametri Ve Yersel Lazer Tarama Tekniğinin Karşılaştırılması .....	59
2.6.1 Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniğinin avantajları .....	60
2.6.2 Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniğinin dezavantajları.....	61
<b>3. ALAN ÇALIŞMASI .....</b>	<b>63</b>
3.1. Yazılım Ve Donanım .....	63
3.2. Saha Çalışmaları .....	63
3.2.1. Konya saha çalışması.....	66
3.2.2. Antalya Saha Çalışması .....	78
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>84</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>90</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>99</b>

**KISALTMALAR DİZİNİ****KISALTMALAR**

APIS	:Mimari Fotogrametri Sistemi
ARCCIP	:Disiplinler Arası Kültürel Miras Projelerin Araştırma Merkezi
ICOMOS	:Uluslar arası Anıtlar Ve Siteler Konseyi
CIPA	:Uluslararası Mimari Fotogrametri Komitesi
DOCOMOMO	:Modern Akım Binalarının, Sit Alanları ve Çevrelerinin Korunması ve Kayıt Altında Tutulması
ISPRS	:Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Birliği
SAM	:Sayısal Arazi Modeli
SYM	:Sayısal Yükseklik Modeli
FAA	:ABD Federal Havacılık İdaresi
YLT	:Yersel Lazer Tarama
3B	:Üç Boyut
2B	:İki Boyut
CBS	:Coğrafi Bilgi Sistemleri

## 1. GİRİŞ

Ülkeden ülkeye değişen, o ülkeye ait özellikleri yansıtan sanat, halk dansları, edebiyat, mimari, heykeltıraşlık, dil, gelenekler, inanışlar, giyim tarzı gibi unsurlar bir ülkenin değerlerini oluşturmaktadır ki bu bütüne "kültür" denilmektedir. Kuşaktan kuşağa aktararak gelen her türlü eserler ile değerler bir ülkenin zenginliği olarak görüldüğünden ve gelecek kuşaklar için sahip çıkılması gerektiğine inanıldığından tüm bu değerler bütününe "Kültürel Miras" denilmiştir. Kültürel miras olarak ise tarihi alanlar, arkeoloji, mimari eserler ve bilimsel teknolojik eserler olarak sıralayabiliriz. Bu kültürel miras eserleri taşınabilen ya da taşınmaz olmasına göre müze ya da ait olduğu yerlerde sergilenmeye başlanmıştır. Ancak sergilenme sırasında bu eserlerin korunması gerekliliği ortaya çıkmış ve korunması amacıyla yıllarca teknolojiye bağlı olarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Tarihi ve kültürel varlıkların sayısal ya da analog yöntemlerle, yapılan dokümantasyon çalışmalarına belgeleme denir. (Can, 2009)

Kültürel miras eserleri geçmişten günümüze kadar tek ya da özel olarak varlıklarını sürdürmüşlerdir. Bu eserler varlıklarını sürdürürken doğa ve insan tahribatına karşı korunmasında bazı problemler yaşanmaktadır. Bu problemlerin çözümü için belgeleme çalışmaları, ilgili yönetmelikler, koruma kanunları çıkartılmaktadır. Kültürel mirasın belgeleme ve korunmasıyla ilgili çalışmalar ülkelerin kültürel miras eserlerine verdikleri öneme göre değişmektedir. (Can, 2009)

Türkiye ise içinde bulunduğu özel konumundan dolayı birçok medeniyete ev sahipliği yapmış ve medeniyetler kendilerine ait kültürel eserler bırakmışlardır. Kültürel eserlerin incelenmesiyle medeniyetlere ait bilgilere ulaşılabilen ve bilgilerin kültürel eserlerle nesilden nesile güvenle aktarılabilir. Kültürel miras eserleri bir ulusun geçmişine tanıklık eder, geçmişine yönelik tarihi veriler içerir ve bir ülkenin geleceğine yön verebilmesi açısından belgeleme çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır.

Kültürel miras belgelenme çalışmalarında birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu tekniklerin başlıcaları ise geleneksel yöntemler, fotogrametrik yöntemler, lazer tarama yöntemleri, insansız hava araçları, lidardır. Karabörk ve ark. (2015) yapmış olduğu çalışmada kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında sınıflandırmayı şu şekilde yapmıştır. Kullanılan yöntemler geleneksel yöntemler, koordinat sistemlerinden yararlanma, fotogrametri, lazer tarama, mobil lazer tarama ve insansız hava araçları olarak sınıflandırılmıştır. (Karabörk, 2015)

Kültürel miras belgeleme çalışmalarında da diğer bilimlerde olduğu gibi teknoloji ile birlikte bir gelişme gösterdiğinden geleneksel yöntemlerin yerini daha çok modern tekniklerin almaya başladığını görüyoruz.(Güleç,2007) Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarını geleneksel ve modern teknikler olarak sınıflandırabiliriz. Geleneksel yöntemlerle belgeleme çalışmalarında metre, su terazisi, lazer metre, ip gibi aletlerle manuel olarak yapılmaktadır. Geleneksel yöntemlerde bu şekildeki veri elde etmede ve verileri kayıt altına alırken veri kaybı olabilmektedir. Modern yöntemlerle belgeleme çalışmalarında total station, fotoğraf makinesi, yersel lazer tarama, mobil lazer tarama, yersel fotogrametri, el tipi lazer tarayıcılar, insansız hava araçları, lidar kullanılmaktadır. Modern yöntemler geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve doğru bir şekilde veri elde edildiğinden modern yöntemlerin önemi artmış ve daha çok tercih edilmektedir.

Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında teknolojinin gelişmesiyle modern yöntemler önem kazanmış, verilerin sayısal bir şekilde elde edilmesini ve sayısal olarak saklanabilmektedir. Kültürel miras belgeleme çalışmalarında modern tekniklerin kullanımıyla yersel fotogrametri haritacılık dışında mimarlıkta ve diğer birçok bilim dalında da önemli bir yer tutmaktadır. Mimarlıkta kültürel ve tarihi eserlerin hassas ve hızlı şekilde belgelenmesi yapıldığından, mimarlıkta modern belgeleme çalışmalarının yersel fotogrametrinin önemi gittikçe artmaktadır.

Fotogrametri mimaride ilk kez mimar Meydenbauer tarafından, yıkılan bir kilisenin mevcut resimlerine göre restore edilmesinde kullanılmıştır. Mimari öğelerin görsel verilerinin elde edilmesinde kullanılan sayısal (dijital) veya analog (fotografik) görüntülerdeki bilgilerin ölçekli olarak değerlendirilmesi tekniklerine mimari fotogrametri denilmektedir. Buradan elde edilen analizler, 3D modellemeler ve bilgisayar ortamında grafik sunumlar, daha gerçekçi ve görsel veriler sunduğu için mimari fotogrametri zamanla daha çok tercih edilen teknik haline gelmiştir. (Güleç, 2007)

Mimari fotogrametri mimarlıkta,

1. Koruma Projelerine altlık oluşturan rölöve projelerinin hazırlanmasında
2. Koruma İmar Planlarının yapım ve uygulamasında
- 3.Kültür varlıklarının koruma, bakım ve onarım amacıyla yapılan belgeleme çalışmalarında
- 4.Yapılarda meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde



5.Onarım sonrası yapının olması gerektiği gibi olup olmadığının 3B modelleme ile tespitinde kullanılmaktadır. (Güleç,2007)

Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında sıkça başvurulan diğer yöntem yersel lazer tarama yöntemidir. Lazer taramanın getirmiş olduğu avantajlar sayesinde günümüzde kültürel miras belgeleme çalışmalarında geniş bir yer tutmaktadır. Lazer tarama yöntemi sadece kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında değil birçok bilim alanında da kullanılmaktadır.

Lazer tarama ve yersel fotogrametrinin kültürel miras alanı da dahil olmak üzere birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Uygulama alanları olarak *mimari belgeleme çalışmaları* (Kuçak (2013), Güleç Korumaz (2011), Korumaz (2016), Cömert ve ark. (2012), Böge(2013), Hepyörük(2015), Fassi ve ark.(2013)'nın, Kersten ve ark.'nın(2015) ve Kültür ve Turizm Bakanlığının yapmış olduğu mimari eser belgeleme çalışmaları), *arkeoloji* (Uslu ve ark. (2016), Kültür ve Turizm Bakanlığının yürüttüğü arkeolojik alanların belgeleme projeleri), *trafik kazaları, madencilik* (İncekara ve Şeker (2016), Özdoğan (2015)), *deformasyon* (Maas (1998), Gümüş (2010), Gümüş (2014)), *tıp ve veterinerlik*( Göktepe ve ark (2009), *endüstri ve otomotiv* (Duran ve ark. (2017), Stenberg ve ark.(2004)), *kent modelleme* (Şahin ve Alkış (2012), Vosselman(2006)), *kıyı izleme*( Göktepe ve ark. (2011), Hoffmeister ve ark.(2012)), *doğal afetlerin izlenmesi* (Zeybek ve ark.(2015), Prokop ve ark.(2009) heyelanların izlenmesinde) olarak sıralanabilir.

Bir yerin kültürel miras niteliğinde olup olmadığı, kültürel miras niteliği olan yapının koruma altına alınması, bu kültürel mirasların belgelenmesi için başlıca kurum ve kuruluşlar, APIS (Architectural Photogrammetric System), ARCCIP(Associated Research Center for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects), ICOMOS(International Council of Monuments and Sites), CIPA (The International Committee for Architectural Photogrammetry), DOCOMOMO (Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of the Modern Movement), ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) olarak sıralanabilir.(Güleç, 2007)

### **1.1.Amaç -Kapsam**

Kültürel mirasın belgelenmesi, kültürel miras özelliği taşıyan nitelikteki eserleri kayıt altına alınması önemli bir yer tutmaktadır. Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarıyla gelecek nesillere aktarılacak eserlerle geçmişe ışık tutulacaktır. Bu çalışmalar yapılırken birçok kriter göz önünde bulundurulur. Çalışma alanına,

belgelemede istenilen hassasiyet, süre, ekonomik kıstaslara bağlı olarak uygulanacak teknikler farklılık gösterilebilir. Belgeleme metotları genel olarak geleneksel ve modern teknikler olarak iki kısımda incelenmektedir.

Tez çalışmasının amacı belgeleme çalışmalarında kullanılan modern tekniklerden lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemleri kullanılarak kültürel miras belgeleme çalışmalarında kullanılabilirliği, bu yöntemler kullanılarak 3B modellerinin üretilmesi, yöntemlerin birbirleri ile kıyaslanması ve bu iki yöntemin birbiri yerine kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Tezin kapsamı ise teorik ve uygulama olarak iki kısımda incelenecektir.

Teorik Kapsamda; Teori kısmı iki kısımdan oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde tez çalışmasının amacı, kapsamı, materyal ve metottan bahsedilmiş ve literatür taraması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılan teknikler hakkında bilgi verilmiştir. Yersel fotogrametri, yersel fotogrametride kullanılan değerlendirme yöntemleri, yersel lazer tarama teknikleri hakkında genel olarak bahsedilmiş ve uygulama alanları hakkında bilgi verilmiştir. Yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemleri karşılaştırılmış, avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

Uygulama Kapsamında; uygulama kısmı 3 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde saha çalışmaları, saha çalışmalarının genel iş akışı, kullanılan yazılım ve donanım hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde uygulama sonucunda elde edilen bulgular tartışılmıştır.

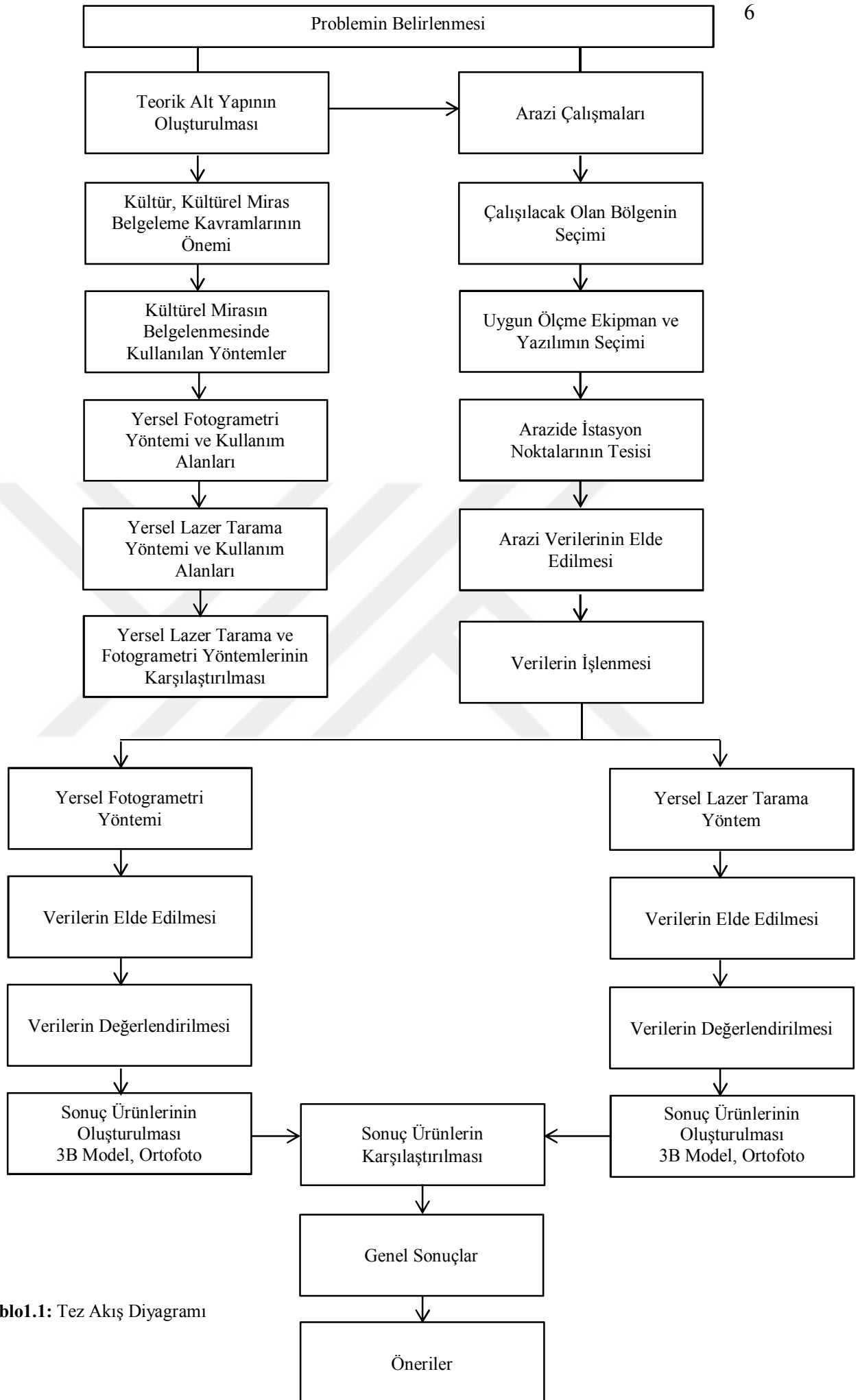
Beşinci bölümde ise uygulama sonucunda belgeleme çalışmalarında ilgili sonuç ve öneriler dile getirilmiştir.

Çalışmada Antalya İli Gazipaşa İlçesinde bulunan Selinus Antik Kentine ait tarihi su kemerinin belgelenmesi ve Konya İli Karatay İlçesi Osmanlı yakın dönemine ait mimari eserler seçilmiştir. Çalışmadaki amaç kültürel miras belgelenmesinde yersel fotogrametri ve lazer tarama yöntemleri kullanılarak iki yöntemin kullanılabilirliği ve kıyaslanması, ortofotoların üretilmesi, ortofotoların çözünürlük ve boyutları kıyaslanmıştır.

## 1.2. Materyal ve Metot

Bu tezin yapılmasındaki önem, lazer tarama ve fotogrametrik yöntemle kültürel mirasın belgelenme çalışmalarında kullanılabilirliğidir. Bütüncül bir dokümantasyon için hiçbir zaman tek bir yöntem yeterli olmamaktadır. Bu nedenle farklı yöntemlerin kültürel miras belgelemede entegrasyonu önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda çalışmada iki farklı veri elde etme yöntemi kullanılacak ve elde edilen veriler kıyaslanacaktır. Her yöntemde olduğu gibi, bu iki yöntemin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışma, yöntemlerin sahip olduğu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak her iki yöntemin kullanım alanlarının araştırılması, bir yöntemin yeterli olmadığı durumlarda diğer yöntemin dokümantasyon sürecine nasıl katkı verebileceği ve her iki yöntemin entegrasyonun sağlanıp sağlanmaması konusunda yapılan bir araştırmadır.

Çalışmada kullanılan materyaller, arazi çalışmalarında yersel lazer tarayıcı Faro Focus 3D\*120S, yersel fotogrametri de jeodezik ölçümler için Topcon GPT 3007N ve fotogrametrik görüntülerin elde edilmesinde 18 megapiksel Canon 700D dijital fotoğraf makinesi, yersel lazer tarama verilerin değerlendirilmesinde 32 GB RAM ve 64 bit işlemcili bilgisayar, yersel fotogrametri verilerinin değerlendirilmesinde ise 12 GB RAM ve 64 bit işlemcili bilgisayar kullanılmıştır. Araziden elde edilen verilerin işlenmesinde fotogrametrik yöntemle 3B modelin elde edilmesinde PhotoModeler Scanner programı, yersel lazer tarayıcı aletinden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Scene yazılımı kullanılmıştır.



**Tablo1.1:** Tez Akış Diyagramı

### 1.3. Literatür Özeti

Kültür, kültürel miras, belgeleme kavramları, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasındaki önem, kültürel miras belgelemesinin önemi, Can, M., '*Kültürel Miras ve Müzecilik*', kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında kullanılan teknikler hakkında Karabörk ve ark., '*Tarihi ve Kültürel Varlıkların Belgelemesinde Disiplinlerarası Çalışmanın Önemi*', mimarlıkta fotogrametri kavramı, belgeleme çalışmalarındaki kurum ve kuruluşlardan ise Güleç, A., '*Yersel Fotogrametri Yöntemi ile Rölöve Alım Tekniğinin Taç Kapılarda Uygulanışı Konya Örnekleri*', fotogrametri ve yersel fotogrametrinin tanımı, fotogrametrinin sınıflandırılması, yersel fotogrametrinin bileşenleri, işlem adımları ve kullanım alanları, Gürbüz H., '*Fotogrametriye Giriş*', lazer tarayıcıların genel özellikleri, sınıflandırılması, ölçüm tekniklerinde ise Gümüş K.'nın '*Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması*' eserinden yararlanılmıştır.

Korumaz (2016), Aksaray'da sivil mimari eserin yersel lazer tarama ile 3B modelinin yapılması ve yersel lazer taramanın işlem adımları genel olarak ele alınmıştır. Haritacılık alanının mimarlık alanına göre yersel lazer tarama yönteminin daha çok uygulama alanına sahip olduğu ve bunun nedenleri, 3B model üretmede kullanılan metotların birbiri ile kıyaslanması ele alınmıştır. Lazer tarama metodunun avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Aksaray'daki sivil mimari örneği olan bu çalışma için total station ve lazer tarama ölçüm aletleri kullanılmıştır. Lazer taramadan nokta bulutu, total stationdan ise topografik veriler elde edilmiştir. Bu her iki ölçüm yönteminden elde edilen verilerin işlenmesi ise Cyclone yazılımında veriler birleştirilmiş ve bu veriler tek bir koordinat sisteminde birleştirilmiştir.

Kuçak (2013), yaptığı yüksek lisans çalışmasında, çalışma alanı Almanya'nın Karlsruhe şehrinde, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Süd kampüsünde bulunan "Chinese Tea House" (Çin Çay Evi) yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama metoduyla 3B modeli elde edilmiş, bu iki veri elde etme yöntemlerinin iş akışı hakkında, bu iki yöntemde verilerin değerlendirilmesinde kullanılan programlar hakkında bilgi vermekte ve elde edilen 3B modellerin birbiri ile kıyaslanmasının tartışılması üzerine yapılmış bir yüksek lisans çalışmasıdır. Lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemlerinin genel iş akışı hakkında, lazer tarama ve yersel fotogrametride kullanılan programlar hakkında bilgi verilmektedir. Uygulamada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde lazer taramadan elde edilen verilerin işlenmesi Cyclone 6.0, Cloudworx for AutoCAD ve 3D Reshaper yazılımları, yersel fotogrametri

için ise PhotoModeler ve Leica SmartWorxViva v4.03 yazılımları kullanılmıştır. Çalışmada yapılan güvenilirlik testlerinin sonucuna göre yersel fotogrametri ve lazer taramanın birbiri yerine tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Gümüş ve Erkaya (2007), bu çalışmalarında yersel lazer taramanın çalışma prensibi, lazer taramanın kullanım alanları hakkında genel olarak bahsedilmiştir. Uygulama da ise Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Yıldız kampüsünde bulunan Yıldız sarayının bir parçası olan Güvercinlik olarak bilinen yapının yersel lazer tarama aletiyle taraması yapılmış ve modellenmiştir. Optech Ilris-3D adlı lazer tarama aleti kullanılmıştır. Lazer taramadan elde edilen nokta bulutları Parser yazılımı kullanılarak Polyworks yazılımında birleştirilmiş, modelin detay çizimleri ise Z-Map yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Yersel lazer tarama sonucu 3B modelin elde edilmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır.

Korumaz ve ark. (2011), yapmış olduğu çalışmada kültürel mirasın belgelenmesinde yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemlerinin kullanımının incelenmesi, mimari belgeleme çalışmalarının aşamaları, fotogrametrik yöntem, lazer tarama yöntemi, iki metodun birbiri ile kıyaslanması üzerine yapılmış bir makaledir.

Çömert ve ark. (2012), uygulama alanı Eskişehir'in Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapının yersel lazer tarama ile modellenmesi, kültürel mirasın belgelenmesinde yersel lazer tarama teknolojisinin kullanılabilirliği, yersel lazer teknolojisinin çalışma prensibi, yersel lazer tarama verilerinin işlenmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır.

Böge (2013), yapılan tez çalışmasındaki amaç yapıların farklı özellikteki eserlerin yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri teknikleri kullanılarak modellenmesinin yapılabilirliğidir. Çalışmada genel olarak fotogrametri, lazer tarama yöntemlerinden, bu yöntemlerin uygulanması, röleve, restitüsyon, restorasyon kavramları, kullanılan donanım ve yazılımlardan genel olarak bahsedilmiştir. Bu çalışma için seçilen alanlar Konyada'ki Sille Aya-i Eleni Kilisesi, Karatay Medresesinin kapıları ve İnce Minare müzesinin kapılarıdır. Sille Aya-i Eleni Kilisesinin yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Konyada'ki Sille Aya-i Eleni Kilisesinin yersel lazer tarama, yersel fotogrametri, insansız hava aracı kullanılarak 3B modellenmesi yapılmıştır. 10 farklı istasyondan 3D Optech yersel lazer tarama aleti ile taraması yapılarak 3B modeli elde edilmiştir. Yersel fotogrametri ile de dış cepheleri, İHA ile kilisenin çatı kısmının verileri elde edilmiş, bu elde edilen veriler Autocad ortamında birleştirilerek 3B model elde edilmiştir. Yersel lazer tarama ve

yersel fotogrametri ile oluşturulan 3B modelin karşılaştırılması üzerine yapılmış yüksek lisans çalışmasıdır. Bu çalışma sonucunda lazer tarama yönteminin yersel fotogrametriye göre çizim olarak daha kolay, ortofoto, belgeleme olarak avantajları bulunduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

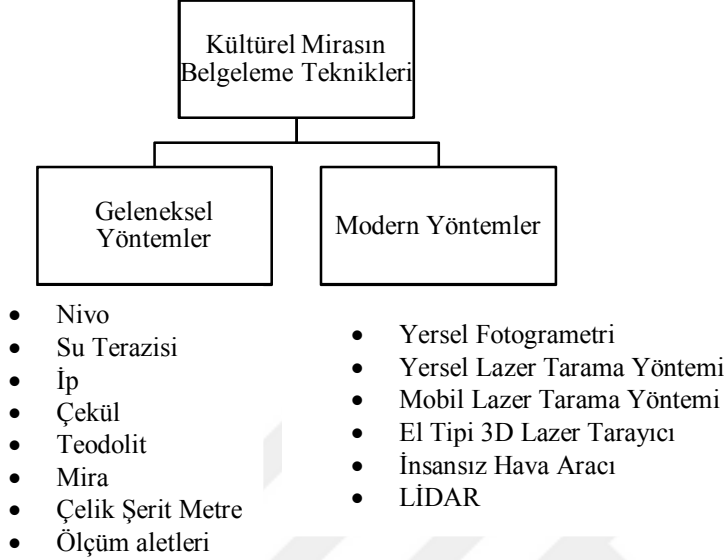
Fassi ve ark. (2013), bu çalışmasında birbirinden farklı dört tane tarihi alanda farklı ölçüm teknikleriyle (lazer tarama, total station ve dijital fotoğraf makinesiyle) elde edilen veriler yardımıyla ve bu verilerin nasıl elde edildikleri, bu verilerin işleme süreleri, standart sapmaları karşılaştırılmış, sayısal yükseklik modelleri ve ortofotoları kıyaslanmıştır.

Kertsen ve ark.(2015), çalışmalarında Katar'da Zubarah Kalesi'nin yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri ile kalenin 3B modeli elde edilmiştir. Yersel fotogrametride görüntülerin işlenmesi için farklı yazılımlar kullanılmıştır, bu çeşitli yazılımlardan elde edilen veriler ile yersel lazer tarama verilerinin karşılaştırılması üzerine yapılmış bir makaledir.

Grussenmeyer ve ark. (2012), makale çalışmasında iki farklı çalışma sahası seçilmiştir. Uygulamada yersel lazer tarama ve fotogrametri yardımıyla çalışma sahalarının 3B modelinin üretilmesi, çalışma alanlarında kullanılan yersel lazer tarama ve fotogrametri yöntemleriyle 3B model üretme tekniklerinin kullanılabilirliği üzerine yapılmış bir makaledir.

## 2. KÜLTÜREL MİRASIN BELGELEME TEKNİKLERİ

Kültürel mirasın belgeleme çalışmaları olarak birçok yöntem sıralanabilir. Bunları genel olarak geleneksel ve modern yöntemler olmak üzere iki kısım olarak ele alabiliriz.



**Tablo 2. 1:** Kültürel Mirasın Belgeleme Teknikleri

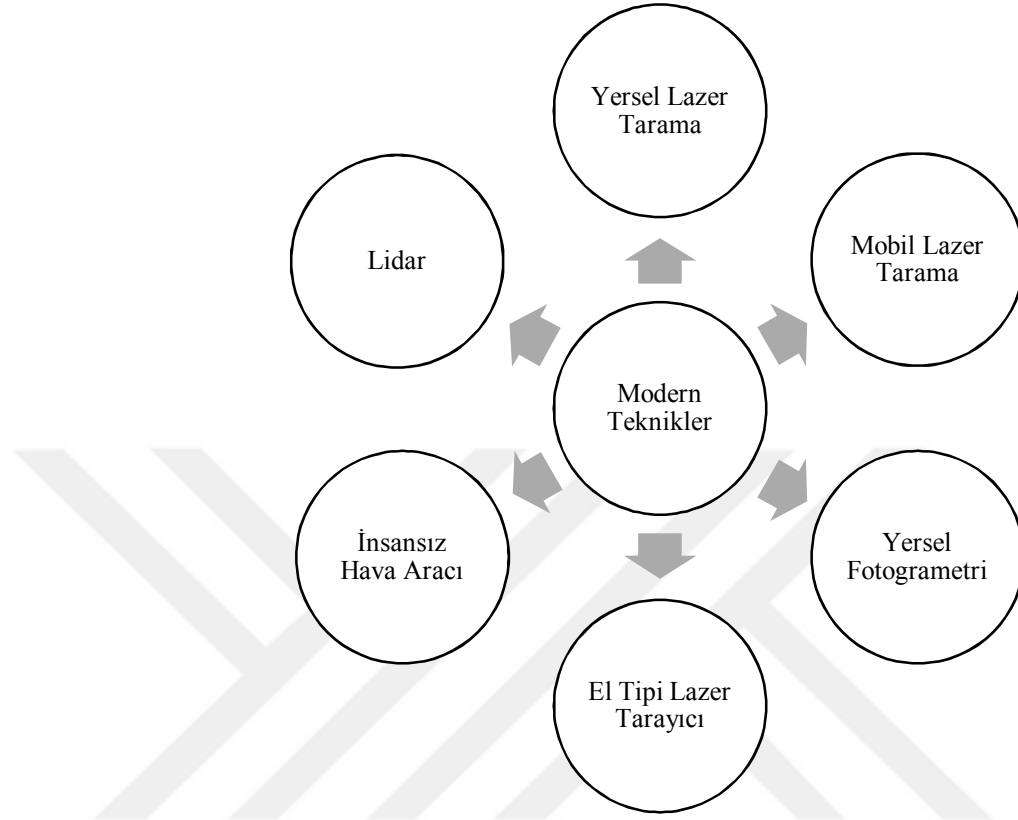
Geleneksel teknikler olarak kullanılan aletler ise nivo, teodolit, mira, çelik şerit metre, çekül, su terazisi, ip ve total station olarak sıralanabilir. Geleneksel yöntemlerde kullanılan aletleri de göz önünde bulundurursak kaba hata yapma olasılığımız yüksektir. Bu gibi durumlar ve teknolojinin de ilerlemesiyle modern tekniklerde gelişmiş ve yeni teknikler ortaya çıkmıştır. Geleneksel metotlardan ölçüm aletleri ile kültürel miras belgeleme çalışmalarında sıkça başvurulan yöntemler olarak gösterilir. Ölçüm aletleri ile belgeleme çalışmasında objenin ölçüm aletleriyle koordinatlarının belirlenmesi olarak yapılır. Ölçüm aletleri ile ölçümü zor ya da uzak olan kısımlarda reflektörsüz total station aleti kullanılarak ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm aletleriyle elde edilen verilerin doğruluk kıstasları da oldukça yüksektir. Geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda sıklıkla modern yöntemlere de başvurulmaktadır. Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarındaki gelişmeler yaklaşık 5 yıl öncesinde hızlanmış ve ölçüm yöntemleriyle yapılan çalışmalar, yerini modern yöntemlere bırakmıştır.



**Şekil 2.1:** Geleneksel Ölçüm Aletleri Soldan sağa Topcon AT-B Serisi Nivo, Topcon DT-209 Teodolit, Topcon GTS-250W Total Station, Topcon GR-5 GNSS alıcısı (URL.2)



Modern teknikler kendi içinde birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Modern tekniklerde yersel fotogrametri, yersel lazer tarama yöntemi, mobil lazer tarama yöntemi, el tipi 3D lazer tarayıcı, insansız hava aracı, lidar olarak sıralanabilir.



**Tablo2. 2:** Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Modern Teknikler

Yersel fotogrametri, yer yüzeyinde bulunan bir noktadan çekilmiş fotoğraflarla değerlendirme işlemi yapan bir tekniktir. Yersel fotogrametriyle yapılan belgeleme çalışmalarında ise genellikle jeodezik ölçümler için total station aleti yardımıyla yapıya ait detay ölçümleri gerçekleştirilir, belgeleme çalışması yapılacak olan alana ait fotoğrafların elde edilmesiyle ilgili yazılımlarda değerlendirme işlemlerinin yapılması esasına göre yapılmaktadır. Ölçüm aletlerinin seçiminde reflektörsüz ölçüm yapabilme özelliğine dikkat edilir. Objeye ait detay ölçümlerinde esere zarar verilmeden detay ölçümleri total station aletiyle yapılabilmektedir. Ancak son teknolojik gelişmelerle verilerin değerlendirilmesinde kullanılan yazılımlarla sadece fotoğraflarla jeodezik ölçümlere gerek kalmadan belgeleme çalışmaları yapılabilmektedir.

Yersel lazer tarama ile belgeleme çalışması yapılacak olan bölge eğer ulaşılması zor, tehlikeli ve belgeleme sırasında esere zarar verilebilecek nitelikte ise yersel lazer tarama yöntemi tercih edilebilmektedir. Yersel lazer tarama yöntemiyle veriler hızlı, doğru bir şekilde elde edilebilmektedir. Yersel lazer taramayla veriler istenilen hassasiyete göre seçilen yoğunlukta nokta bulutları şeklinde elde edilir ve nokta

bulutlarının birleştirilmesiyle tek nokta bulutu oluşur. Nokta bulutunun renklendirilmesiyle objeye ait yüzey modeli oluşturularak belgeleme çalışmalarında kullanılmaktadır.



**Şekil 2.2:** Yersel Lazer Tarama Aletleri Soldan Sağa Faro (URL.5), Z+F (URL.3)

Mobil lazer tarama, hareketli bir platform üzerinde monte edilmiş algılayıcılar kullanılarak (konumlama ve görüntüleme sensörleri) eş zamanlı olarak genel bir koordinat sisteminde coğrafi veri toplayan bir teknolojidir.(Karabörk, 2015) Mobil lazer tarama sistemleri belgeleme çalışmalarında tarihi bir kenti, kentin sokaklarını modellemede rahatlıkla kullanılabilir.



**Şekil 2.3:** Mobil Lazer Tarama Araçları, Z+F (URL.3), Geomatics (URL.1)

El tipi lazer tarayıcı sistemleri daha çok ölçüm aletlerinin, yersel lazer tarama ve mobil lazer tarama yöntemlerinin kullanılmadığında kullanılan lazer tarama cihazıdır. Yersel lazer taramada her istasyon noktasında uzun süreli taramalar yapılabilir, el tipi lazer tarayıcılarla süre olarak yersel lazer tarama yöntemine karşı avantajları vardır. Mobil lazer tarama, yersel lazer tarama sistemleriyle her yere rahatlıkla ulaşamayacağından el tipi lazer tarayıcı tercih edilebilir. Jeodezik ölçüm aletlerinin kullanılmadığı durumlarda da el tipi lazer tarayıcılar tercih edilebilmektedir.



Şekil 2.4: El Tipi Lazer Tarayıcılar, Geomatics El Tipi Lazer Tarayıcı (URL.1), Faro El Tipi Lazer Tarayıcı (URL.5)

İnsansız hava araçları içinde pilot olmadan uzaktan kumanda ile otomatik, yarı otomatik ya da manuel olarak kontrol edilebilen, fotogrametrik görüntüleme ve verilerin elde edilmesi için gerekli donanımları barındıran araçlardır. Kültürel miras alanlarına insan ve diğer çevre faktörlerinin girmesinin sakıncalı olduğu durumlarda, kültürel mirasın çatı detaylarına ait alımların yapılmasında insansız hava araçlarıyla veriler hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilebilir.



Şekil 2.5: İnsansız Hava Aracı Çeşitleri (URL.2, URL.1)

## 2.1. Fotogrametrik Yöntemler

### 2.1.1. Fotogrametri tanımı

Geçmişten günümüze kadar birçok alanda ve kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında fotogrametrik yöntemlere sık sık başvurulmaktadır. Fotogrametri teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelişmekte ve belgeleme çalışmalarında tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir.

Fotogrametri kelime anlamı olarak ise birçok tanımı vardır. Fotogrametri eski Yunanca'daki fotos, grama, metron kelimelerinin anlamlarının birleşmesiyle (fotos: ışık, grama: çizim, metron: ölçme) meydana gelmiş olup, "ışık yardımıyla ölçme – çizim" anlamını karşılamaktadır. (Gürbüz, 1982)

ISPRS' e göre fotogrametri fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır. (Yıldız, 2012)

Fotogrametri cisimlerin görüntülerini herhangi bir fiziksel temas olmaksızın elde edilmesi ve elde edilen görüntülerin verilerin analizini yapan bilim dalı olarak adlandırabiliriz.

Fotogrametri haritacılık ve farklı meslek disiplinlerinde ortak olarak kullanılan bir bilim dalıdır. Fotogrametride amaç ise, bir objenin bir ya da birkaç resimden yararlanarak şeklinin, boyutlarının ve konumunun hassas bir biçimde belirlenmesini amaçlamaktadır.(Duran, 2003)

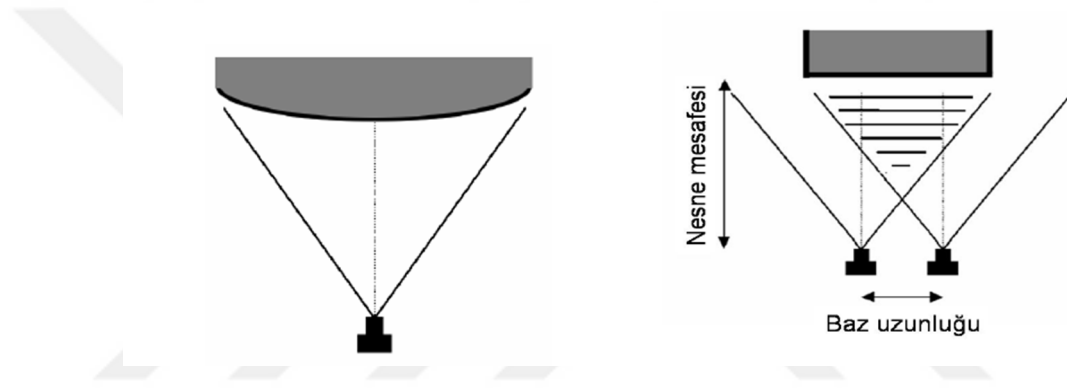
### 2.1.2. Fotogrametrinin sınıflandırılması

Fotogrametriyi gelişen teknoloji ve uygulama alanlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırabiliriz. Genel olarak fotogrametriyi sınıflara ayırırsak;

- Uygulama Alanına Göre
  - Topografik fotogrametri
  - Topografik olmayan fotogrametri
    - Foto yorumlama
    - Mühendislik fotogrametrisi
- Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre
  - Tek resim değerlendirilmesi
  - Çift resim değerlendirilmesi
- Değerlendirme Yöntemine Göre
  - Plançete değerlendirme yöntemi
  - Analog değerlendirme yöntemi
  - Analitik değerlendirme yöntemi
  - Sayısal (dijital) değerlendirme yöntemi
- Değerlendirilecek Objenin Büyüklüğüne Göre
  - Mikro fotogrametri
  - Makro fotogrametri
- Resimlerin Çekilme Konumuna Göre
  - Yersel
  - Hava fotogrametrisi
  - Uzaktan algılama olmak üzere sınıflandırılabilir. (Gürbüz, 1982)

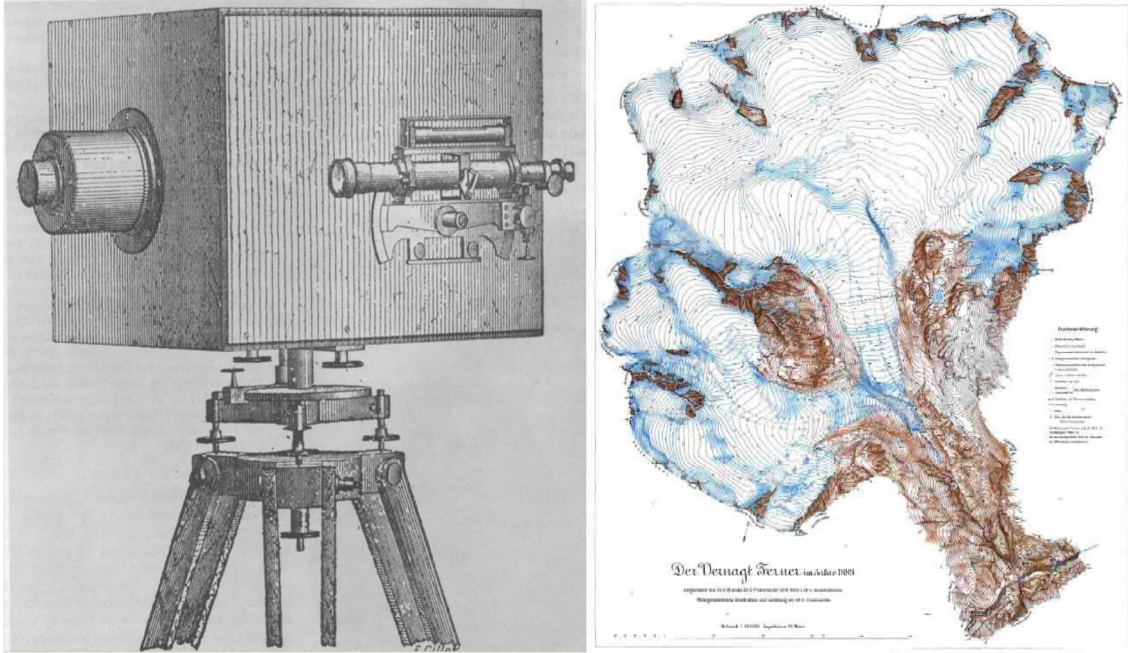
Uygulama alanına göre fotogrametri topografik ve topografik olmayan fotogrametridir. Topografik fotogrametri harita üretimi için, topografik amaçlar için üretilmektedir. Topografik olmayan fotogrametri kendi içinde foto yorumlama ve mühendislik fotogrametrisi olarak kullanılmaktadır. Topografik olmayan fotogrametri fotoğraf yorumlama, mimari modelleme, arkeoloji, tersine mühendislik gibi uygulama alanları olarak incelenmektedir.

Değerlendirilmede kullanılan resim sayısına göre ise tek ve çift (stereo) resim değerlendirilmesi olarak sınıflandırılmaktadır. Tek resim değerlendirilmesinde tek tek resimlerin değerlendirilmesi ile fotoğraflardan metrik bilgi elde etmeyi sağlar. Çift resim değerlendirilmesi ise resimlerin bindirme oranlarına göre stereo görüntü elde etmeyi sağlayan değerlendirme yöntemidir.

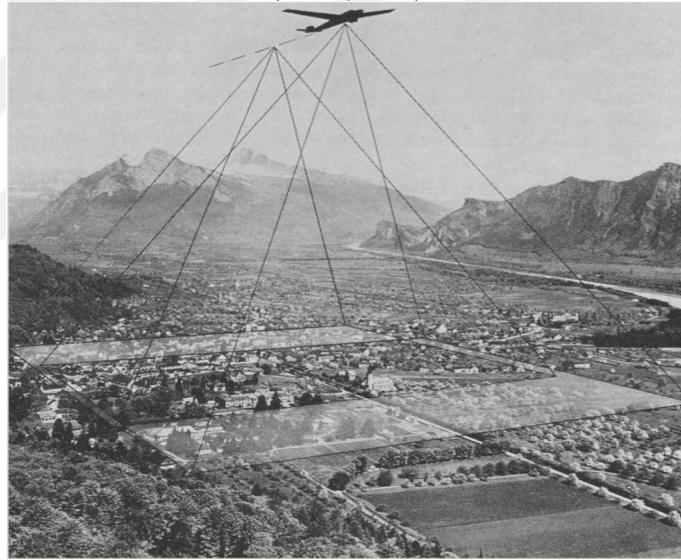


**Şekil 2.6:** Tek Resim Değerlendirmesi ve Çift Resim Değerlendirilmesi  
(Hanke ve Grussenmeyer, 2002)

Değerlendirme yöntemine göre ise fotogrametri plançete, analog, analitik ve sayısal(dijital) fotogrametri olarak sınıflandırılmaktadır. Plançete fotogrametri, fotoğraflar üzerinden elde edilen uzunluk ve açı yardımıyla matematiksel bağıntılarla çizgisel harita üretimidir. Analog fotogrametri optik ya da optik mekanik aletlerle stereo görüntüleri değerlendirme ve üç boyutlu modelinin elde edilmesidir. Analitik fotogrametri, stereoskopi yöntemine bilgisayarların eklenmesiyle, otomatik ya da yarı otomatik olarak değerlendirme işlemlerinin yapılmasıdır. Sayısal fotogrametri, bütün işlemlerin sayısal formda olmasıdır. Görüntüler analog ya da sayısal olabilir. Analog olan görüntüler sayısal forma dönüştürülür ve değerlendirme işlemleri sayısal ortamda gerçekleştirilmesine sayısal fotogrametri denir.

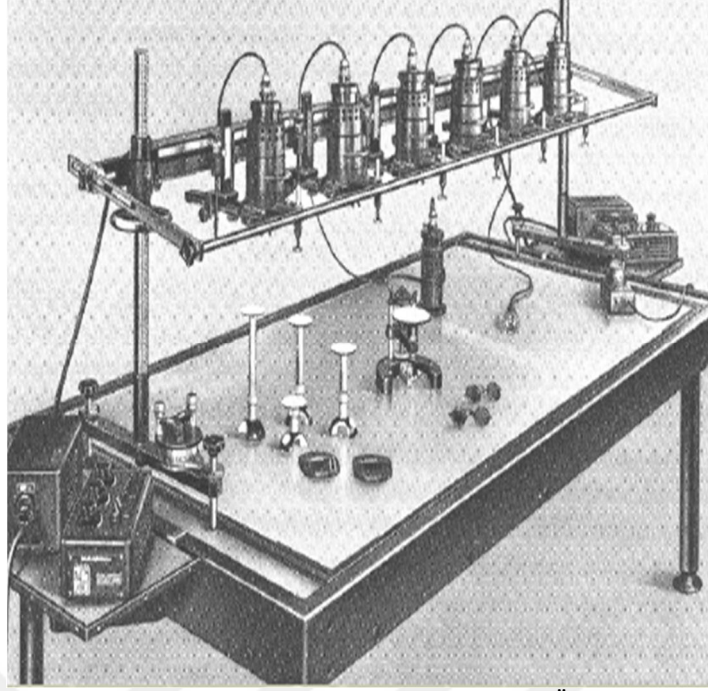


**Şekil 2.7:** Plançete Fotogrametri, Solda çatılardan fotoğraf çekmek için kullanılan alet, sağda ise Vernagt Buzulu'nun yersel fotogrametri ile yapılan haritası  
(Yıldız, 2012)



**Şekil 2.8:** Analog Fotogrametri, Havadan Stereoskopik Görüntü Alımı  
(Yıldız, 2012)





**Şekil 2.9:** Analog Fotogrametri, Fotogrametrik Nirengi Ölçmeleri, (Zeiss Multiplex Projector) (Yıldız, 2012)



**Şekil 2.10:** Analitik Fotogrametri (Yıldız, 2012)

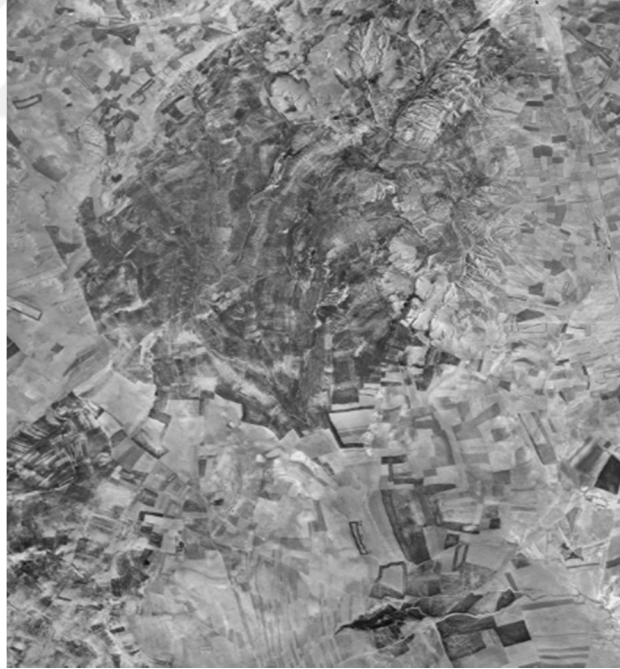
Değerlendirilecek objenin büyüklüğüne göre fotogrametri makro ve mikro fotogrametri olarak sınıflandırılmaktadır. Mikro fotogrametri küçük cisimlerin, makro fotogrametri ise büyük cisimlerin, arazilerin fotogrametrik olarak değerlendirilmesidir. (Gürbüz, 1982)

Resimlerin çekim yerlerine göre yersel fotogrametri, hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama olarak sınıflandırılmaktadır. Yersel fotogrametri cisimlerin yer üzerinden resimlerinin elde edilmesi ve bu resimlerin değerlendirilmesidir. Yersel fotogrametride kendi içinde yakın ve yer fotogrametrisi olmak üzere iki alt başlıkta incelenmektedir. Hava fotogrametrisi uçaktan ya da uçak benzeri herhangi bir aracın bulundurmuş olduğu kamera ya da kameralarla çekilmiş olan fotoğrafların

değerlendirilmesiyle veri elde etmeye dayalı fotogrametriye hava fotogrametrisi denir. Uzaktan algılama uydular yardımıyla elde edilen resimler yardımıyla bu resimlerin ölçme ve değerlendirilme işlemidir.



Şekil2.11: Hava Fotogrametrisi İnsansız Hava Aracı Topcon Sirius Mavinci(URL.2),



Şekil2.12: Ankara Karacaviran (Karacaören) Mahallesinin 1950 yılına ait ortofoto

## 2.2. Yersel Fotogrametri

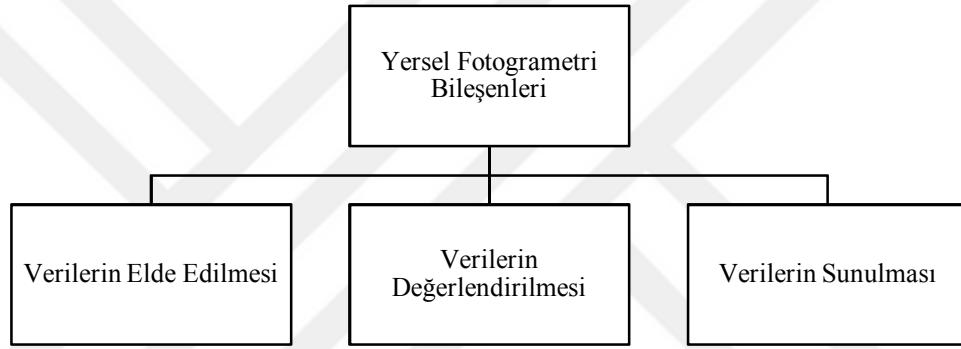
Fotogrametride resimlerin çekim yerlerine göre sınıflandırıldığında yersel, hava ve uzaktan algılama olarak sınıflandırılmaktadır. Yer yüzeyinden çekilen resimlerle yapılan uygulamalara yersel fotogrametri denilmektedir. Yersel fotogrametride kendi içinde yakın resim ve yer fotogrametrisi olarak sınıflara ayrılmaktadır. Yakın resim



fotogrametrisi objeye yakınlığı yaklaşık 100m den az ise, objeye olan uzaklığı 100 m den fazla ise yer fotogrametrisi denir. ABD'deki sivil havacılık kurulusu Federal Havacılık İdaresi (FAA) ise bu mesafe sınırını 300 m olarak kabul etmiştir. Ancak yakın resim fotogrametrisinin avantajları her iki durumda da değişmemektedir. Ölçülecek nesnenin yakından fotoğraflarının çekilebiliyor olması, çok yüksek çözünürlüklü görüntülerinin alınabilmesi anlamına gelmektedir. (Tunçay, 2006)

### 2.2.1.Yersel fotogrametri bileşenleri

Fotogrametrinin bileşenlerini verilerin toplanması, elde edilen verilerin işlenmesi ve sonuç ürünlerinin elde edilmesi olarak sınıflandırılabilir. Fotogrametride yapılan bu bileşenlerin aynısı yersel fotogrametri için de kabul edebiliriz. Yersel fotogrametride bu bileşenleri üç başlık altında inceleyebiliriz.(Keleş, 2010)



**Tablo 2.3:** Yersel Fotogrametri Bileşenleri

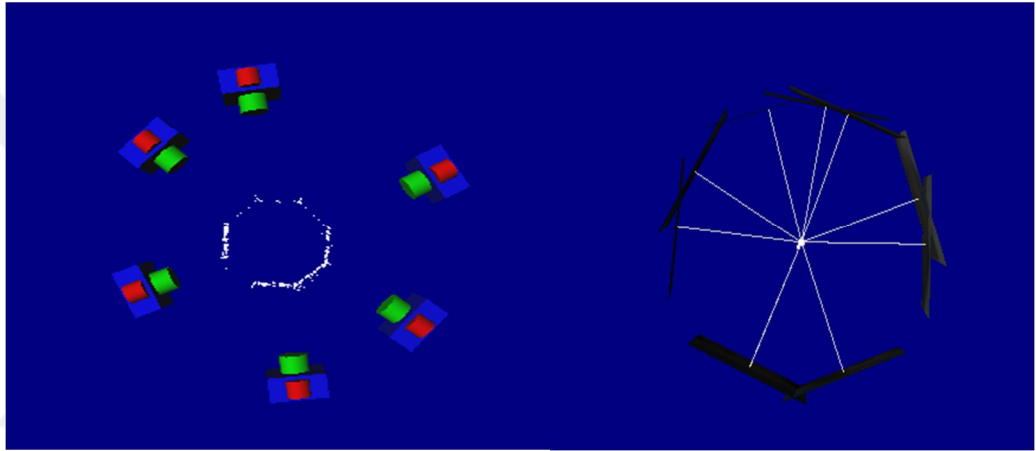
Verilerin elde edilmesi: Fotogrametrik çalışmanın ana unsurudur. Yersel fotogrametride veriler iki türdür. Fotografik veriler (fotoğrafların elde edilmesi) ve jeodezik ölçülerin (poligon noktaları, istasyon noktaları ve kontrol noktalarının ölçümü) elde edilmesidir.

Yersel fotogrametride fotografik verilerin elde edilmesi için fotoğrafların alımı ve kamera kıstasları vardır. Fotoğrafların doğru bir şekilde elde edilmesi ve değerlendirme işlemlerinin yapılabilmesinde resimlerin elde edilmesindeki 3\*3 kuralına uyulmalıdır.

3\*3 kuralı;

- Geometrik kural
  - Objeye üzerindeki kontrol noktalarının belirlenmelidir.
  - Fotoğraf alımındaki enine ve boyuna bindirme oranlarının belirlenmelidir.
  - Stereoskopik görüntü elde etme yönteminin (normal, konvergent) belirlenmelidir.

- Fotografik kural
  - Çalışmaya uygun fotoğraf makinesinin seçilmelidir.
  - Fotoğrafların çekileceği zamanın belirlenmesidir.
  - Fotoğraflar çekilirken odak uzaklığı değişmemeli, sabit olmalıdır.
- Düzenleme kuralı
  - Taslak ve eskizlerin yapılmalıdır.
  - Fotoğraflanan objeye ait raporların tutulmalıdır.
  - Sonuçların kontrollerinin yapılması ve depolanmalıdır.(Güleç, 2007)



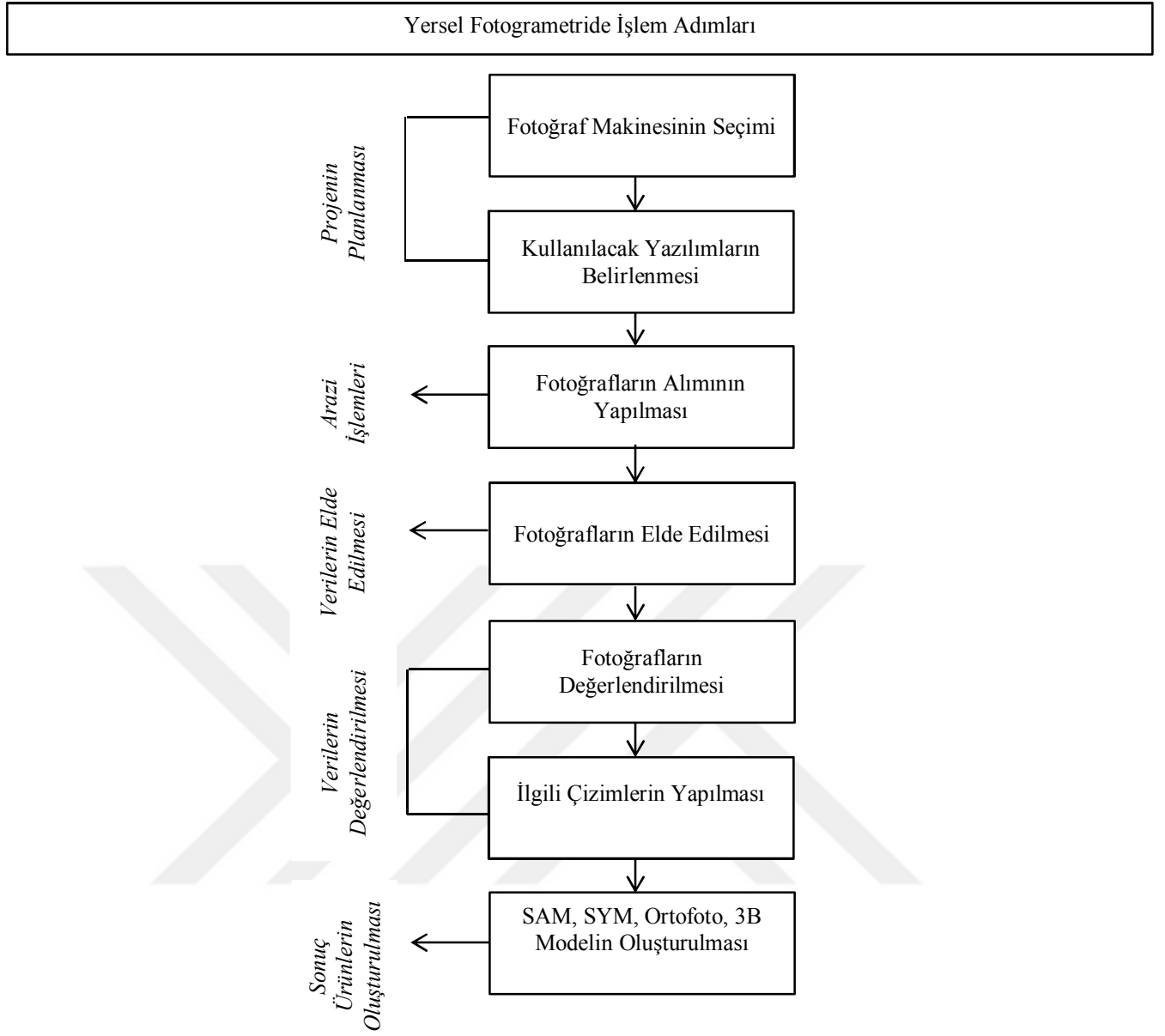
Şekil2.13: Yersel Fotogrametri Fotoğraf Çekimi

Verilerin değerlendirilmesi: Sonuç ürünlerinin elde edilmesi için verilerin hesaplanması ve ilgili programlarda değerlendirilmesi gereklidir. Fotogrametrik değerlendirme yapan yazılımlar ise PhotoModeler, Pictran, Geomagic, Agisoft Photoscan, Autocad 123d Catch, iWitness olarak sıralanabilir. Fotogrametrik ürünler elde edebilmek için değerlendirme yazılımlarına gereksinim vardır.

*Verilerin sunulması ise*, yersel fotogrametrinin değerlendirilme işlem adımlarından sonra oluşan sonuç ürünleridir. Sonuç ürünleri ise 3B model, ortofoto, SYM, SAM olabilir.

### 2.2.2 Yersel fotogrametri işlem adımları

Yersel fotogrametride yapılacak olan fotogrametrik işleme göre ve istenilen hassasiyete göre işlem adımları da farklılık göstermektedir. Yersel fotogrametri kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında kullanılırken genel olarak iş akışı



**Tablo2. 4:** Yersel Fotogrametri İşlem Akışı

- Projenin planlanması
- Arazi işlemleri
- Verilerin değerlendirilmesi
- Sonuç ürünlerinin oluşması olmak üzere dört başlık altında toplanabilir.

Projenin planlamasında çalışılacak olan alanın seçilmesi, çalışmada istenilen doğrulukta veriler elde edilmesinde kullanılacak olan fotoğrafların elde edilmesinde fotoğraf makinesi seçimi, jeodezik ölçme aletleri ve değerlendirme işlemleri için yazılımların belirlenmesi gerekir.

Arazi işlemlerinde fotoğrafların çekileceği ve jeodezik ölçümlerin yapılacağı istasyon noktaları seçilir. İstasyon noktalarının jeodezik ölçümleri ve hesaplanması yapılır. Obje üzerinde kullanılacak olan hedef noktaları yerleştirilir. Fotoğrafların alımı,

belirlenen istasyon noktaları üzerinden belirlenen bindirme ve baz uzunluklarına göre fotoğrafların alımı gerçekleştirilir.

Yapılan arazi işlemlerinden sonra verilerin değerlendirilmesinde, elde edilen veriler proje planlama aşamasında belirlenmiş olan yazılımlarla değerlendirilir ve çizim işlemleri yapılır.

Verilerin değerlendirilmesinden sonra sonuç ürünleri 3B model, ortofoto, sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modelleri oluşturulur ve sunulur.

### **2.2.3. Yersel fotogrametri kullanım alanları**

Fotogrametri uygulama alanlarına göre sınıflandırılırsa,

- Topografik fotogrametri
- Topografik olmayan fotogrametri
  - Foto yorumlama
  - Mühendislik fotogrametrisi olarak sınıflandırılmaktadır.

Topografik fotogrametri, harita yapımı, topografik amaçlar için kullanılan fotogrametridir. Topografik olmayan fotogrametri ise harita üretimi olmayan fotogrametriyi kapsamaktadır ve kendi içinde foto yorumlama ve mühendislik fotogrametrisi olmak üzere incelenmektedir.

Teknolojinin her gün gelişmesiyle fotogrametriye olan önem artmakta ve birçok bilim dalında uygulama alanı bulmaktadır. Bunun yanı sıra fotogrametri ulaşılması ya da ölçümü zor olan uygulama alanlarına ait veriler elde edilebilmekte ve veriler değerlendirilebilmektedir.

Yersel fotogrametrinin uygulama alanlarını mimari belgeleme çalışmalarında(Kuçak (2013), Böge(2013), Fabris ve ark.(2012), Kersten ve ark.'nın(2015)) arkeoloji alanında(Uysal ve ark (2017) ve Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından 2015 yılında yapılan Enez (Ainos) kazı çalışmalarında), trafik kazalarında, madencilik(Oturanç ve Yıldız'ın (2014)),deformasyon analizlerinde(Taşçı (2013)), endüstri(Jing ve ark.'nın (2015)), veterinerlik ve tıp (Şeker ve ark(2002)) gibi birçok bilim alanıyla ilişkili ve uygulama alanına sahiptir.

#### **2.2.3.1.Arkeoloji**

Arkeolojik alanlardaki verilerin gelecek nesillere aktarılmasında, arkeolojik eserlere zarar verilmeden belgelenmesi ve 3B modellerinin üretilmesinde yersel fotogrametri yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca arkeolojik kazı alanlarının tespitinde ve arkeolojik eserlerin çıkarılması aşamasında da yersel fotogrametriden

yararlanılmaktadır. Arkeolojik alanların 3B modeli üretilerek kayıt altına alınmasında Uysal ve ark (2017), Uslu ve ark.nın(2016) yapmış oldukları çalışmalarında arkeolojik alanların belgeleme çalışmalarında yersel fotogrametriden yararlanılmıştır. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından, Enez (Ainos) 2015 kazı çalışmalarında, Bücherl tarafından yapılan doktora tezinde Enez (Ainos) kale duvarlarının mimarlık tarihine ilişkin 3B belgeleme çalışmaları fotogrametrik yöntemle yapılmıştır. Uslu ve ark.(2016)'nın yapmış olduğu Kütahya Arkeoloji Müzesi'ndeki Amazonlar Lahdi ve mezar stelinin yersel fotogrametri ile 3B modeli üretilmiştir.

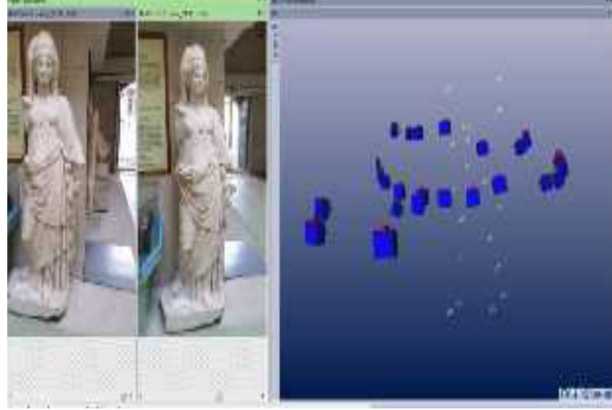


**Şekil 2.14:** Kütahya Arkeoloji Müzesi'ndeki Amazonlar Lahdinin Yersel Fotogrametri İle 3B Modeli (Uslu ve ark.2016)



**Şekil 2.15:** Mezar Stelinin Yersel Fotogrametri İle 3B Modellenmesi(Uslu ve ark.2016)

Uysal ve ark (2017) yapmış olduğu çalışmada Kütahya Arkeoloji Müzesi'ndeki Demeter Heykelinin 3B modellemesi yapılmıştır. Demeter Heykelinin yersel fotogrametri yöntemi ile verilerinin sanal olarak kayıt altına alınması amaçlanmıştır.



**Şekil 2.16:** Kütahya Arkeoloji Müzesi'ndeki Demeter Heykelinin 3B Modellenmesi İçin Fotoğraf Çekimi (Uslu ve ark.2017)



**Şekil 2.17:** Kütahya Arkeoloji Müzesi'ndeki Demeter Heykelinin 3B Modellenmesi(Uslu ve ark.2017)

### **2.2.3.2.Trafik kazaları**

Yersel fotogrametrisinin bir diğer uygulama alanı trafik kazalarıdır. Trafik kazalarının anlık görüntülerine, kaza meydanındaki elde edilen fotogrametrik verilerle trafik kazalarını nedenlerini yersel fotogrametri ile tespit edilebilir. Elde edilen verilerle trafik kazasına ait herhangi bir detay atlanmamış olur, kazaya ait veriler yersel fotogrametri ile tekrarlanabilir. Trafik kazalarında yersel fotogrametrinin kullanımı ile araçlarda ve etrafta meydana gelen hasarların boyutları tespit edilebilir ve trafik aksamaz, trafik en kısa sürede normal akışına dönmesi hedeflenir, kaza öncesine, anına ve sonrasına ait herhangi bir detayın atlanmaması gibi avantajlarından dolayı trafik kazalarında yersel fotogrametri kullanılmaktadır.

Trafik kazalarında yersel fotogrametri yönteminin uygulanması 1994 model Toyota aracında yapılmıştır. Aracın çarpma sonucu ön kısmında meydana gelen hasarın tespit edilmesinde, aracın çarpma öncesi ve sonrası olmak üzere verilerin elde edilmesinde yersel fotogrametriden yararlanılmıştır.



Şekil 2. 18: Kaza Öncesi Aracın Modellenmesi (URL.6)



Şekil 2. 19: Kaza Sonrası Aracın Modellenmesi (URL.6)

Trafik kazalarında yersel fotogrametri kullanılmasına dair bir diğer örnek uygulama ise meydana gelmiş trafik kazasında, iki aracın yersel fotogrametri ile analizi yapılmıştır. Yersel fotogrametri ile trafik kazası belgeleme çalışmasıyla kazaya ait veriler 3B model olarak kayıt altına alınmakta ve istenildiğinde tekrar tekrar değerlendirilebilmektedir. (URL.6)



Şekil 2.20: Trafik Kazası Belgeleme Çalışmaları (URL.6)



### 2.2.3.3.Madencilik

Madencilikte zor ve tehlikeli alanların ölçümünde, maden rezervleri, enkesit ve kübaj hesaplamalarında yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Hacim hesaplamalarının yapılması üzerine İncekara ve Şeker'in (2016) İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'ndeki kayaç yüzeyleri üzerinde yersel fotogrametri çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmadaki amaç ise kayaç yüzeylerinin yersel fotogrametri yöntemiyle verilerinin elde edilmesi verilerin 2B alan ve 3B hacim bazındaki doğruluk analizleri üzerine yapılmış bir uygulamadır. (İncekara, 2016)

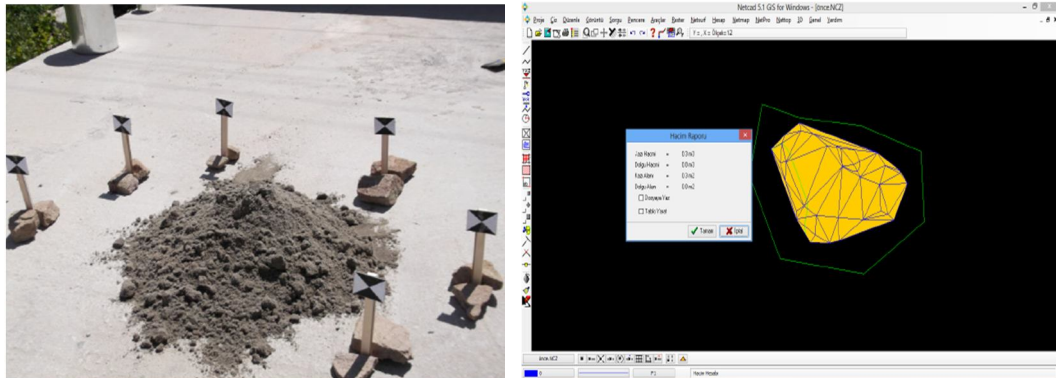


Şekil2.21: Kayaç Yüzeylerinin Hacim Hesaplanması İçin Oluşturulan 3B Mesh (İncekara, 2016)



Şekil2.22: Kayaç Yüzeylerinin Hacim Hesaplanması İçin Oluşturulan 3B Resim Giydirilmiş Model (İncekara, 2016)

Oturanç ve Yıldız'ın (2014) yapmış olduğu çalışmada kumun hacminin hesaplanması yapılmıştır. Kazı öncesi ve kazı sonrası olmak üzere kumun hacimleri yersel fotogrametrik yöntemle belirlenmiş ve hacimlerin doğruluk analizleri yapılmıştır. (Oturanç, 2014)

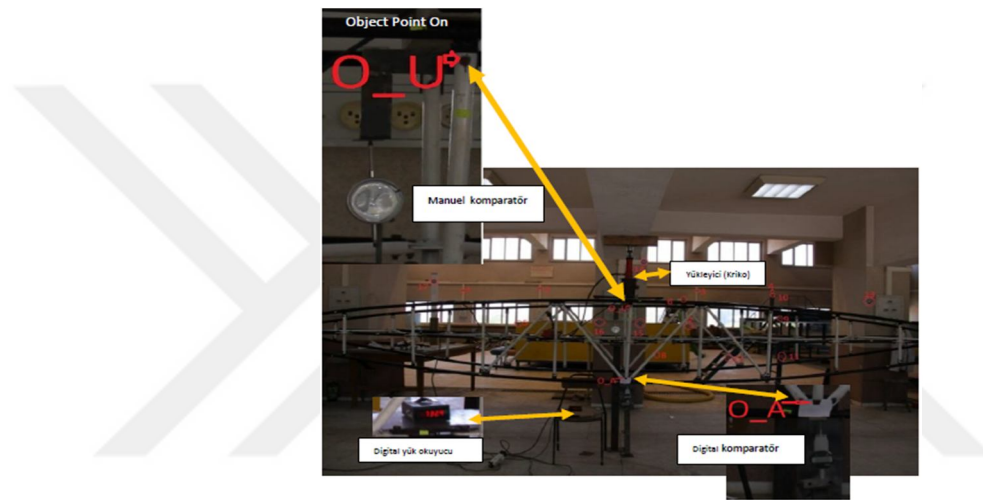


Şekil 2. 23: Yersel Fotogrametri Yönteminin Hacim Hesaplamalarında Kullanımı (Oturanç, 2014)



#### 2.2.3.4. Deformasyon

Deformasyon, mühendislik yapıları ve binalarda zamanla meydana gelen yatay ya da düşey yöndeki oluşabilecek değişimlerdir. Deformasyonların belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden bir tanesi ise yersel fotogrametridir. Başlıca deformasyonlar baraj, köprü, tünel, bina deformasyonları olarak sıralanabilir. Yersel fotogrametrinin köprü deformasyonlarında kullanımı olarak Taşçı'nın (2013) yapmış olduğu çalışmada Fırat Üniversitesi inşaat mühendisliği öğrencileri tarafından hazırlanan çelik kemer köprü kullanılmıştır. Bu çalışmayla köprünün yükü olmadan ve yüklü olduğu zamandaki meydana gelen değişimi yersel fotogrametri yöntemiyle izlenmiş ve değerlendirilmiştir. (Taşçı, 2013)



Şekil 2.24: Yersel Fotogrametrinin Deformasyon İzlemede Kullanımı (Taşçı, 2013)

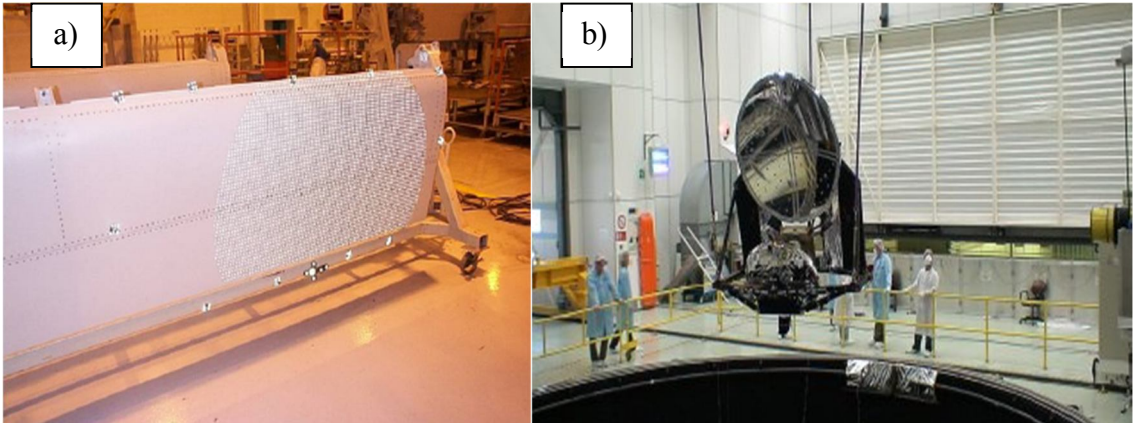
Maas'in (1998) yapmış olduğu çalışmada ise baraj deformasyonlarının izlenmesinde fotogrametrik yöntemin kullanılabilirliği üzerinedir. Pilot çalışma alanı olarak 1997 yılının yaz döneminde, İsviçrede Grisons eyaletinde baraj duvarlarındaki hedef noktaları kullanılarak yapılmıştır. Ancak baraj duvarındaki tüm hedef noktalarının ölçümü ve tekrarlayan ölçümlerin olması nedeniyle fotogrametrinin, jeodeziyle desteklenmesi gerektiği ve çalışmada aynı anda ölçümlerin gerçekleştirilmesinden dolayı deformasyon incelenmesi yapılamamış, doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda baraj deformasyonlarında fotogrametrik yöntemler bağımsız olarak kullanılsa da ilerleyen zamanlarda kullanılabileceği ve noktalar 2-3 mm hassasiyette fotogrametrik yöntemle elde edilmiştir. (Maas, 1998)

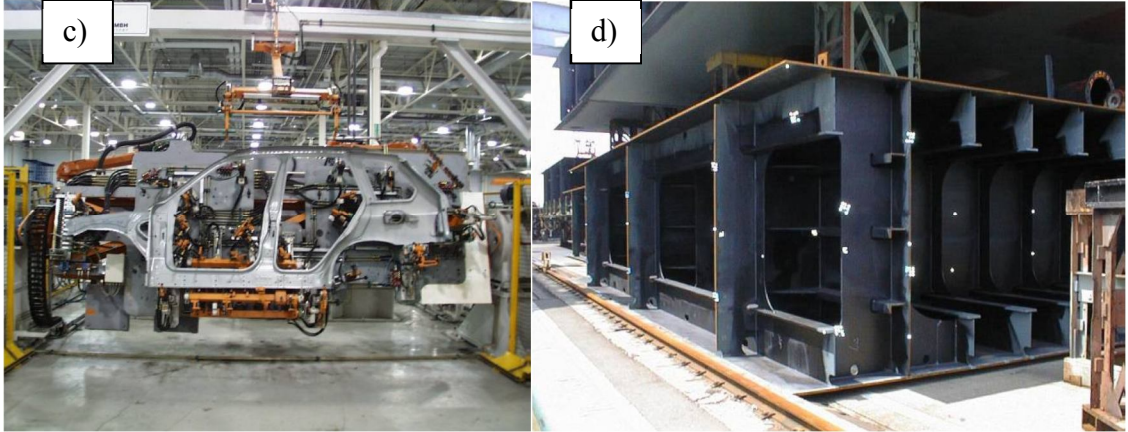


Şekil 2. 25: Yersel Fotogrametrinin Baraj Deformasyonlarını İzlemede Kullanımı(Maas, 1998)

### 2.2.3.5.Endüstri ve otomotiv

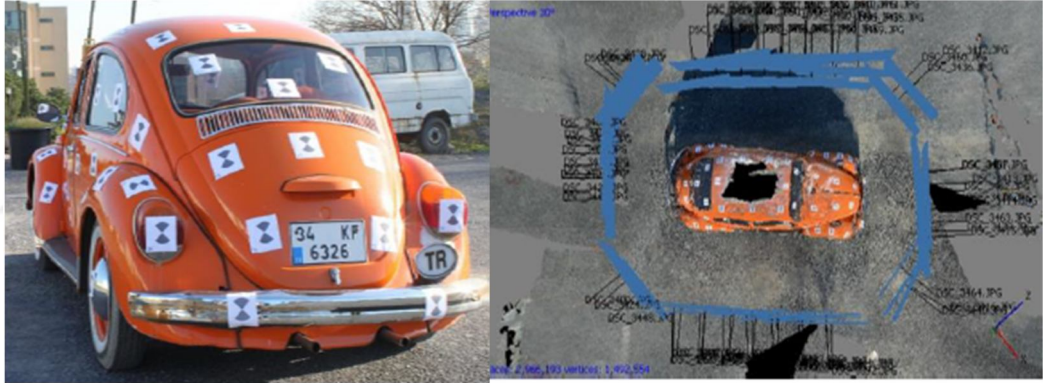
Endüstri ve otomotiv sektöründe yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Endüstri alanındaki 3B modellerde, yedek parça üretiminde ve otomotiv sektöründe yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Çeşitli endüstriyel alanlarda da yersel fotogrametri kullanılmaktadır. Örneğin, havacılık, otomotiv, gemi endüstrisinde yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Jing ve ark.'nın (2015) yapmış olduğu çalışmada endüstriyel alanlarda yersel fotogrametri kullanımı çeşitli örneklerle desteklenmiştir. Havacılık ürünlerinin üretimi özel koşullar altında gerçekleşmektedir. İmalat koşullarında yersel fotogrametriden farklı diğer ölçüm aletlerinden vakumlu ortam olması nedeniyle yararlanılamamaktadır. Yersel fotogrametri nesneye temas etmeden ölçümler yapılabilmektedir. Havacılık endüstrisinde kullanımında makine parçaları, geometrik olarak karmaşık yapıda ve işleme, montajında yüksek hassasiyet isteyen işler olduğu için yersel fotogrametriyle bu işlemler kontrol edilebilmektedir. Otomotiv endüstrisinde ise parça üretimleri seri ve kaliteli olmalıdır. Otomobilin verimliliğini artırtmak için, otomobil parçalarının ölçümü yersel fotogrametri yöntemiyle yapılmaktadır. Gemi endüstrisinde ölçülecek olan parçalar büyük olması ve metrelerce ölçüm aralıklarında hassasiyet istenildiğinde yersel fotogrametri yöntemi kullanılmaktadır. (Jing, 2015)





**Şekil2. 26:** a,b) Yersel Fotogrametrinin Havacılık Endüstrisinde Kullanımı, c) Yersel Fotogrametrinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, d) Yersel Fotogrametrinin Gemi Endüstrisinde Kullanımı(Jing, 2015)

Yersel fotogrametri uygulamasının yapıldığı diğer uygulama ise Duran ve ark(2017)nın yapmış olduğu 1974 model Volkswagen otomobilin yersel fotogrametriyle modellenmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır. Çalışma sonucunda ise yersel fotogrametriyle elde edilen 3B modelin nokta konum doğruluğunun iyi olduğu tespit edilmiştir.(Duran, 2017)

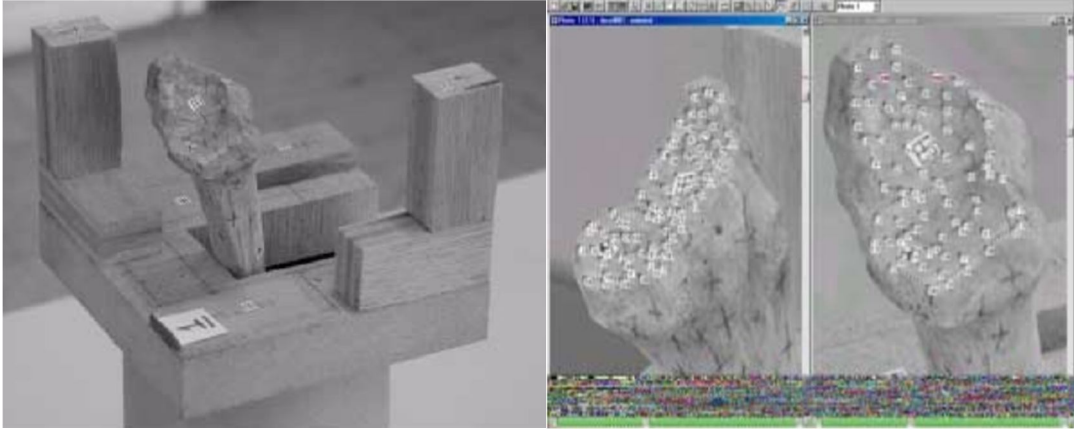


**Şekil2. 27:** Yersel Fotogrametrinin Otomotiv Modellemede Kullanımı (Duran, 2017)

### 2.2.3.6.Tıp ve veterinerlik

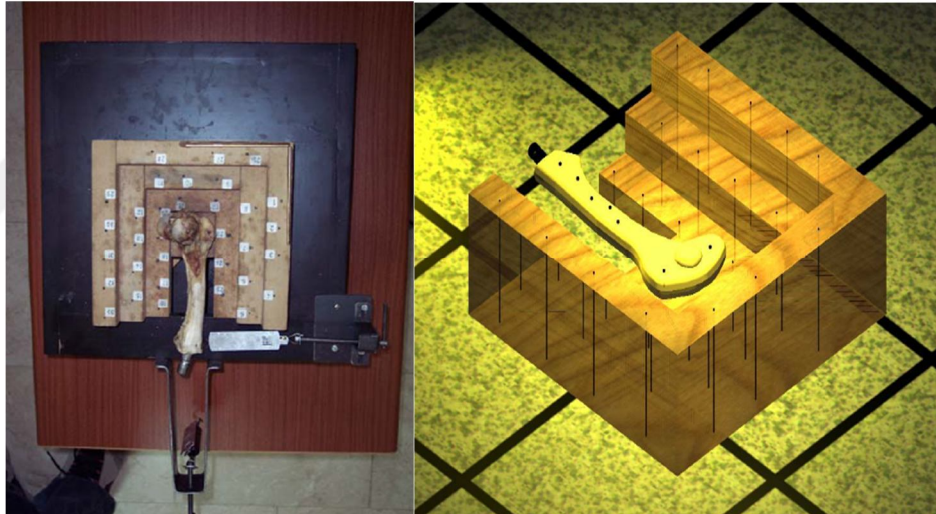
Yersel fotogrametri tıp ve veterinerlikte modellenmesi güç olan bölgelerde, düzensiz kemik yüzeylerinde yersel fotogrametriden yararlanılmaktadır. Göktepe ve ark'nın (2009) yapmış olduğu çalışmada cansız koyun femurlarına ait protezler üretilmiş ve kemiğe monte edilmiştir, femurlara yük uygulanmış ve yük uygulanmamış durumlarındaki değişimler yersel fotogrametriyle incelenmiş ve çalışma sonucunda canlı varlıklar üzerinde de yersel fotogrametrinin uygulanmasının sağlık açısından herhangi bir sakıncası olmadığı tespit edilmiştir.(Göktepe, 2009)





Şekil 2.28: Solda Resim Çekme Düzenegi, Sağda Kemiğin 3B Modelinin Değerlendirilmesi(Göktepe ve ark., 2009)

Şeker ve ark(2002) yapmış olduğu çalışmada ise sağ ve sol kola ait 20 den fazla kemiklerin radius distal eklem yüzeyleri yersel fotogrametri ile incelenmiştir. Sonuç olarak yersel fotogrametrinin pürüzlü olan yüzeylerde radius distal eklem yüzeyi gibi alanlarda tıbbın ve biyomedikal alanda rahatlıkla uygulanabileceği tespit edilmiştir.(Şeker, 2002)



Şekil2. 29: Solda Kalibrasyon Düzenegi, Sağda Kemiğin 3B Modelinin Üretilmesi(Şeker, 2002)

### 2.2.3.7.Mimari

Mimari belgeleme çalışmalarında pek çok yöntem kullanılmaktadır. Yersel fotogrametrinin belgeleme çalışmalarında kullanımıyla, mimari yapıya herhangi bir fiziksel temas olmadan elde edilen verilerle yapıda meydana gelen bozulmalar gözlenebilmekte ve yapılan çalışma ile yapı sanal olarak kayıt altına alınmış olur. Yapının sanal olarak elde edilmesiyle zamanla deforme ya da herhangi bir etken sonucu mimari eserin yok olma durumunda eser yersel fotogrametri ile kayıt altına alınmış olacaktır.

Mimari eser belgelemede sayısal ya da analog görüntüler kullanarak, görüntülerin değerlendirilmesinde ise sonuç ürünlerinden istenilen hassasiyete, kullanılan

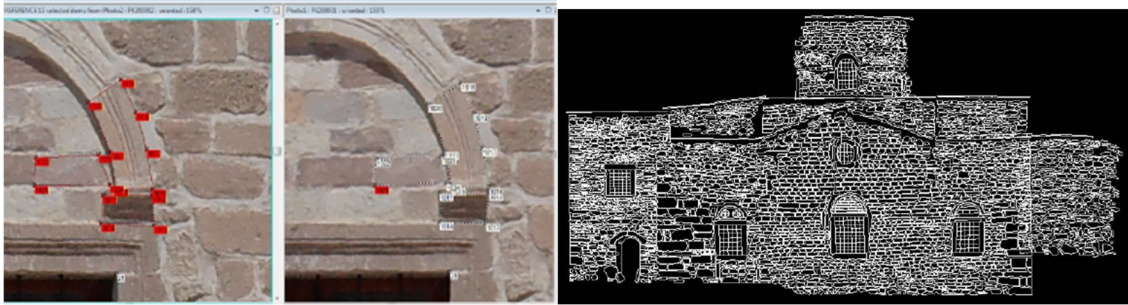
fotoğrafların sayısına, çalışma alanının büyüklüğüne göre farklılık göstermektedir. Sayısal fotogramrideki kriterler dikkate alınarak değerlendirme yöntemleri tek fotoğraf değerlemesi, çift fotoğraf değerlendirme, ışın demetleri yöntemi ve ortofoto yöntemidir.

Kuçak (2013) yapmış olduğu çalışmada yersel fotogrametri yöntemiyle Almanya'nın Karlsruhe şehrinde, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Süd kampüsünde bulunan "Chinese Tea House" (Çin Çay Evi) yersel fotogrametri yöntemiyle modellemiştir. Çalışmadaki amaç yersel fotogrametriyle elde edilen sonuçların güvenilirlikleri test edilmiştir.(Kuçak,2013)



**Şekil 2. 30:** Solda Çin Çay Evine Ait Kontrol Noktaları, Sağda PhotoModeler Programı İle Oluşturulan 3B Model.(Kuçak, 2013)

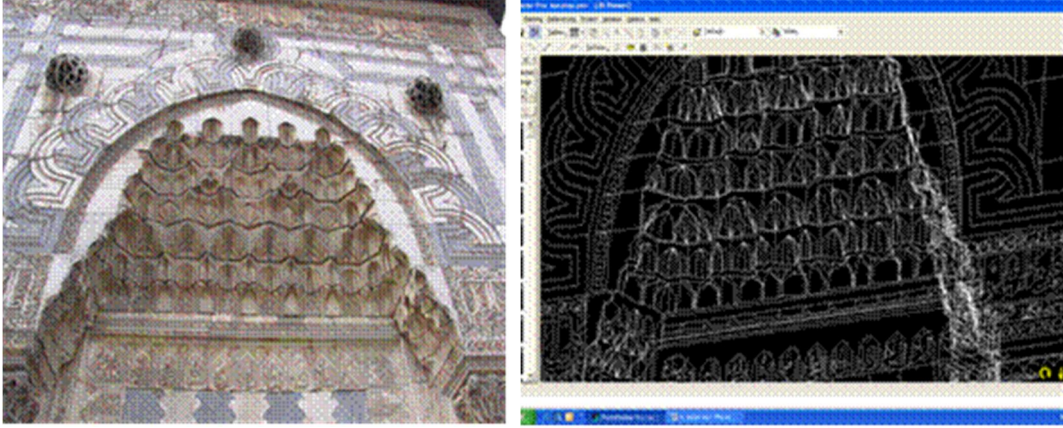
Mimari belgelemede yapılmış olan bir diğer uygulama Böge (2013) Sille Aya-i Eleni Kilisesinin yersel fotogrametri ile 3B modellemesidir. Çalışmada kilisenin dış cepheleri ayrı ayrı çizilerek Autocad ortamında birleştirilmiş ve yersel fotogrametri yöntemi ile kilisenin 3B modeli elde edilmiştir.(Böge, 2013)



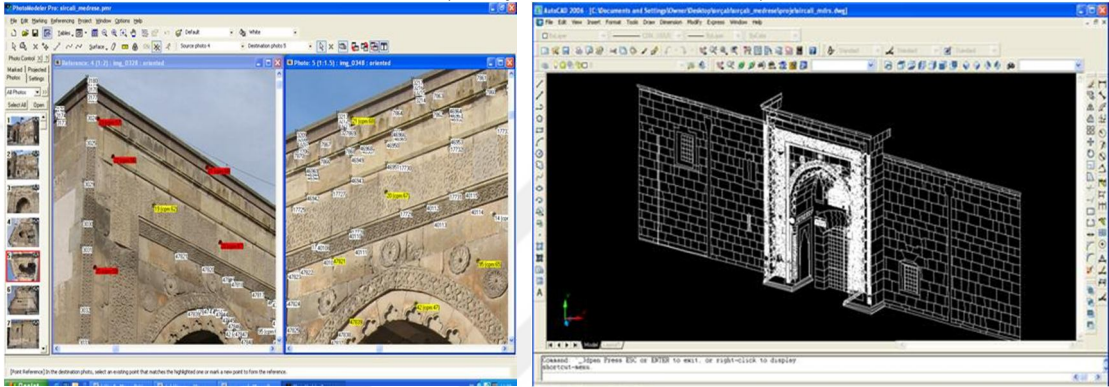
**Şekil 2. 31:** Solda Sille Aya-i Eleni Kilisesinin Eşlenik Noktaları, Sağda Kilisenin 3B Modeli. (Böge, 2013)

Güleç Korumaz ve ark'nın (2011) yapmış oldukları çalışmada ise, Konya Sırçalı Medrese Taç Kapısının ve Konya Karatay Medresesinin Taç Kapısının yersel fotogrametri yöntemiyle belgeleme çalışmalarında kullanılabilirliği üzerine yapılmıştır.



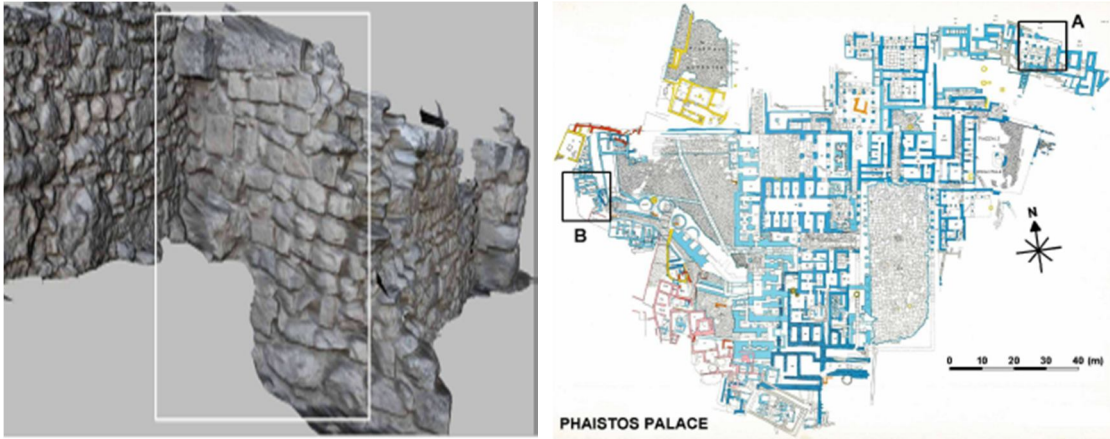


Şekil 2.32: Solda Konya Karatay Medresesinin Taç Kapısı, Sağda Kapının 3B Modeli.  
(Güleç Korumaz ve ark. 2011)



Şekil 2.33: Solda Konya Sırçalı Medrese Taç Kapısı, Sağda Kapının 3B Modeli.  
(Güleç Korumaz ve ark. 2011)

Fabris ve ark.'nın(2012) yapmış olduğu çalışma Grit adasındaki Phaistos Sarayının bir bölümünün 3B modellenmesinde yersel fotogrametri yönteminin kullanılması ve hassasiyeti araştırılmıştır. (A bölgesi)



Şekil 2.34: Grit Adasındaki Phaistos Sarayının Duvarının A Bölgesine Ait 3B Modellenmiş Bir Bölümü

Fassi ve ark.'nın (2013) yapmış olduğu çalışmada 3 farklı çalışma bölgesi vardır. Çalışmanın amacı farklı mimari yapılarda yersel fotogrametri yönteminin uygulanabilirliğinin araştırılması üzerinedir. Çalışma bölgelerinde çeşitli modelleme teknikleri kullanılmıştır. Yersel fotogrametri yöntemiyle mimari 3B modelleme çalışma alanları ise Napoli yer altından Roma Termal kalıntıları, Sant'Erasmus kilise cephesi,

Mantuadaki Andrew Katedralinde, Andrea Mantegna'nın cenaze tören yerinin modellenmesi yapılmıştır.

İlk uygulama alanı, Napoli yer altı kalıntılarında, Roma Termal kalıntılarının fotogrametrik yöntemle modellenmesidir. Roma Termal Kalıntılarının duvarları fotogrametrik yöntemle modellenmiştir.



**Şekil 2.35:** Roma Termal Kalıntılarının Duvarlarının Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi (Fassi ve ark., 2013)

İkinci uygulama alanı, Sant'Erasmus kilise cephesinin fotogrametrik yöntemle modellenmesi yapılmıştır. Kilisede 2012 yılının mayıs ayında meydana gelen depremde büyük bir hasar görmüştür. Kilisedeki hasar tespitinde yersel fotogrametri yönteminden yararlanılmıştır.



**Şekil 2.36:** Soldan Sağa, Depremden Önce, Depremden Sonra, Kilisenin 3B Modelinin Üretilmesi (Fassi ve ark., 2013)

Üçüncü uygulama alanı, Mantuadaki Andrew Katedralinde, Andrea Mantegna'nın cenaze tören yerinin yeniden yapılandırılmasında fotogrametrik yöntemle yapılmıştır.



Şekil 2.37: Andrea Mantegna'nın Cenaze Tören Yerinin 3B Modeli(Fassi ve ark., 2013)

Kersten ve ark.'nın(2015) yapmış olduğu çalışmada Katar Müzesi Müdürlüğü sisteminde Katar İslami ve Arkeoloji Mirası projesinde HafenCity üniversitesi tarafından, Al Zubarah kalesinin yersel fotogrametri yöntemiyle belgelenmesi ve farklı yazılımlarla oluşturulan sonuç ürünlerinin kıyaslanmıştır.



Şekil 2.38: Al Zubarah Kalesi'nin Yersel Fotogrametri Yöntemi İle Agisoft Programında Üretilmiş 3B Modeli (Kersten ve ark., 2015)

## 2.3. Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

### 2.3.1. Fotogrametri ve değerlendirme yöntemleri

Fotogrametride nesne koordinat sistemi ve fotoğraf sistemi arasındaki bağıntının sağlanabilmesi için farklı değerlendirme yöntemleri tercih edilebilir. Değerleme yöntemlerinin tercihi ise kullanılan fotoğrafların sayısına, kamera özelliklerine, üretilecek olan sonuç ürününe, çalışılan objenin büyüklüğüne göre değişmekte ve fotogrametride değerlendirme yöntemleri tek resim, çift resim, ışın demetleri yöntemi ve ortofoto yöntemi olarak sıralanabilir.(Yastıklı, 2016 )



### 2.3.1.1. Tek resim değerlendirilmesi

Tek tek resimlerin değerlendirilmesi yöntemidir. Mimari eserin yüzeylerinin bilindiği ve eserin yüzey dokusu ve detay verilerinin elde edilmesinde kullanılır. Tek resim değerlendirilmesinde derinlik ayırt edilmez.

Tek resim değerlendirilmesi genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır.

- İlk aşamada resimlerin elde edilmesi ve distorsiyonların giderilmesidir. Resimleri olabildiğince mimari objenin merkezine dik olacak şekilde çekilmelidir.
- Elde edilen sayısal resimler ise ilgili yazılımlarda düzeltilir.



Şekil 2.39: Tek Resim Değerlendirmesi (Hanke ve Grussenmeyer,2002, URL.9)

Değerleme yöntemlerinde karşılaşılabilecek sorunlardan birisi ise kamera parametre bilgileri ve parametrelerin belirlenmesidir. Kullanılan fotoğraf makinesinin metrik, yarı metrik ya da amatör kamera olmasına göre uygulanacak olan matematiksel bağıntı değişmektedir.

Tek resim değerlendirilmesinde resim ve arazi koordinatları arasındaki bağıntı projektif eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\frac{X - X_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{11} \cdot x + a_{12} \cdot y - a_{13} \cdot c}{a_{31} \cdot x + a_{32} \cdot y - a_{33} \cdot c} \quad (2.1)$$

$$\frac{Y - Y_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{21} \cdot x + a_{22} \cdot y - a_{23} \cdot c}{a_{31} \cdot x + a_{32} \cdot y - a_{33} \cdot c} \quad (2.2)$$

Tek resim değerlendirilmesinde kullanılacak olan dijital fotoğraf kamerası metrik ya da yarı metrik kamera ise, kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerinin bilinmesidir ve matematiksel çözüm izdüşüm denklemleriyle gerçekleşmektedir. İç ve dış yöneltme parametreleri bir resmin merkezi izdüşümünü ifade etmektedir.

Değerlendirme için kullanılan kamera metrik ya da yarı metrik bir kamera ise diğer bir deyişle kameranın iç yöneltme elemanları ve dış yöneltme elemanları biliniyorsa;

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{a_{11} \cdot x + a_{12} \cdot y - a_{13} \cdot c}{a_{31} \cdot x + a_{32} \cdot y - a_{33} \cdot c} \quad (2.3)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{a_{11} \cdot x + a_{12} \cdot y - a_{13} \cdot c}{a_{31} \cdot x + a_{32} \cdot y - a_{33} \cdot c} \quad (2.4)$$

$$X = \frac{a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3}{a_7 \cdot x + a_8 \cdot y + 1} \quad (2.5)$$

$$Y = \frac{a_4 \cdot x + a_5 \cdot y + a_6}{a_7 \cdot x + a_8 \cdot y + 1} \quad (2.6)$$

$$A = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Eşitlikler normal alımda nesne yüzeyi, resim düzlemine paralel olması durumunda  $\omega = \varphi = 0$  olur ve eşitlik düzenlenirse,

$$X = X_0 + \frac{h}{f} \cdot \cos \kappa (x' - x_0) - \sin \kappa (y' - y_0) \quad (2.8)$$

$$Y = Y_0 + \frac{h}{f} \cdot \sin \kappa (x' - x_0) + \cos \kappa (y' - y_0) \quad (2.9)$$

oluşur.

Değerlendirilmede kullanılan kamera metrik ya da yarı metrik bir kamera değil ve dış yöneltme parametreleri bilinmiyorsa projektif eşitlikler kullanılarak çözüm yapılır.

$$X = \frac{a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1} \quad (2.10)$$

$$Y = \frac{b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki eşitlikten de görüleceği gibi amatör kameraların tek resim değerlendirilmesinde iç yöneltme elemanlarının bilinmesine gerek yoktur. X ve Y arazi koordinatları, x ve y resim koordinatları,  $a_i, b_i, c_i$  parametreleri ise bilinmeyen 8 parametredir. 8 parametre ( $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$ ) her iki koordinat sisteminde bilinen 4 kontrol noktası yardımıyla hesaplanır. Bilinmeyen 8 parametre 4 kontrol noktasının bilinmesi ile bulunabilir.

Tek resim değerlemesi genellikle düz arazilerde, fotoplan, foto-mozaiklerin yapımında kullanılmaktadır.

### 2.3.1.2. Çift resim değerlendirilmesi

Stereoskopik görüş, gözün derinlik ayırt edebilmesidir. Stereoskopik görüş elde etme yöntemlerine dayanarak stereoskopik görüntü elde edilmektedir. Stereoskopik görüntü düz olmayan objeler üzerinde derinlik ayırt etmede, obje yüzeyine ait geometrik bilgilerin toplanmasında kullanılmaktadır. Stereoskopik görüntü yönteminde mimari eserin geometrik yüzeyi hakkında yeterli bilgi yoksa ve tek resim değerlendirme yöntemi ile gerekli veriler elde edilemezse stereo görüntü yöntemi kullanılır. Stereoskopik görüş elde etmede kamera eksenine göre yaygın olarak kullanılan alım yöntemi normal alımdır, ancak objenin niteliğine, derinlik ayırt edilmesine bağlı olarak konvergent ya da eğik görüntü alımı yapılabilir. Stereoskopik görüntü yönteminde iki tane fotoğrafın bindirme alanlarından elde edilen ortak yerler ile elde edilmesi ve ilgili stereoskopik görüntü elde etme kurallarına dayanarak üç boyutlu görüş elde etme yöntemidir.

Çift resim değerlendirme kullanılan kameranın özelliklerine bakılmaksızın yöneltme ve değerlendirme işlem adımlarından oluşmaktadır.

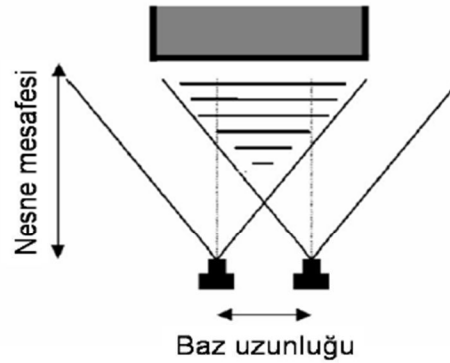
Yöneltme işlemleri ise iç ve dış yöneltmeler olmak üzere iki aşamadan gerçekleşmektedir.

İç yöneltme işlemiyle kameraya ait verilerin sisteme tanıtılması yapılmaktadır. Kameraya ait bu verilerin elde edilmesine kalibrasyon denilmektedir. Kalibrasyon, belirli ölçüm şartlarında elde edilen kamera parametrelerinin elde edilmesidir. Kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen rapora kalibrasyon raporları denilmektedir. Kalibrasyon raporlarının içeriğinde ise iç yöneltme elemanları, distorsiyon parametreleri ve objektifin ayırma gücü bulunmaktadır. İç yöneltme elemanları asal noktanın koordinatları, kameranın odak uzaklığı, izdüşüm merkezinin koordinatlarından oluşmaktadır.

İç yöneltme elemanlarının belirlenmesinden sonra resme ait dış yöneltme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Dış yöneltme iki aşamada gerçekleşmektedir. Karşılıklı ve mutlak yöneltme işlemleridir. Resimlerin karşılıklı ve mutlak yöneltmenin yapılabilmesi için 12 tane bilinmeyen vardır. (Alp, 2004) Bu parametrelerin 7 tanesi karşılıklı yöneltmeyle, 5 tanesi de mutlak yöneltme yapılmasıyla bilinmeyenler çözümlenir. Karşılıklı yöneltme parametreleri  $\omega, \varphi, \kappa$  ve mutlak yöneltme parametreleri  $X_0, Y_0, Z_0$  parametreleridir.

Karşılıklı yöneltme ile resim eğiklikleri ve dönüklükleri giderilir ve stereo resim çifti birbirine nazaran çekildikleri konuma getirilir. (Gürbüz, 1982) Karşılıklı yöneltme ile oluşan 3B model ölçekli ve araziye paralel değildir ve mutlak yöneltme yapılır. Mutlak yöneltme ile model ölçekli, araziye paralel, resim ve arazi koordinat sistemi arasında gerekli uyum sağlanır.(Gürbüz, 1982)

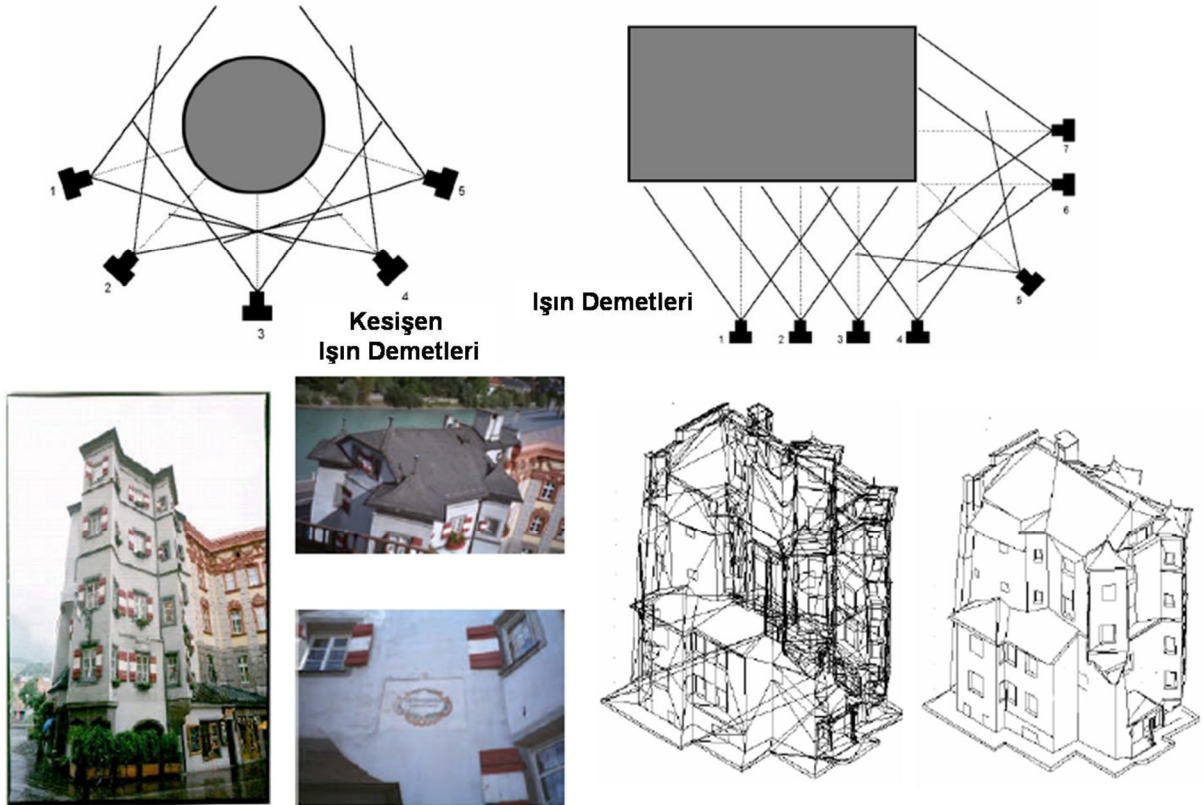
Gerekli yöneltmeler yapıldıktan sonra değerlendirme adımına geçilir. Elde edilen fotoğraflar ilgili yazılımlarla işlenerek stereoskopik görüntü elde edilir. Steroskopik görüntü elde edilirken, kamera istasyonlarının birbirine mümkün olduğunca paralel olmalı, kameralar arasında, kamera ve obje arasındaki mesafe 1:5 ve 1:15 olmalıdır.



Şekil 2.40: Çift Resim Değerlendirmesi (Hanke ve Grussenmeyer,2002)

### 2.3.1.3. Işın demetleri yöntemi

Işın demetleri yöntemi, stereo yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Ancak karmaşık yapıların geometrik modeli ve yüzey modelinin oluşturulmasında tek bir stereo çifti yeterli olmamaktadır. Yapının bir bütün olarak elde edilmesinde daha fazla fotoğraf çiftine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu fotoğrafları elde ederken ise ışın demetleri yönteminde kamera ve obje arasındaki paralellikten ve mesafe oranları dikkate alınmaz. Elde edilecek görüntüler rastgele noktalardan birbirini takip edecek şekilde çekilmelidir. Aynı alanı içeren fotoğraflardaki eşlenik noktaların koordinatları ilgili yazılımlarda hesaplanır. Işın demetlerinde fotoğrafların alım yöntemlerinde herhangi bir standart yoktur, normal, eğik, konvergent resimler kullanılabilir. Fotoğraf makinesinin kalibrasyonu fotoğraflar çekilirken yapılabileceği gibi, daha sonradan da yapılabilmekte ve fotoğrafların elde edilmesinde hem de CAD ortamında uygulanabilirliği açısından olan avantajlarla günümüz mimarlık fotogrametrisinde tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.



Şekil 2.41: Işın Demetleri Yöntemi (Hanke ve Grussenmeyer, 2002)

#### 2.3.1.4. Ortofoto yöntemi

Ortofoto, resimlerdeki yükseklik, dönüklük ve eğikliklerin giderilmesiyle elde edilen ölçekli görüntülerdir (Yastıklı, 2016). Geometrik yapısı bilinen objenin yeniden yapılandırılmasında tek resim kullanılarak yapılabilen, ancak tek resimde yetersiz kalabilmektedir. Tek resim kullanılarak ve geometrik yapısı bilinen objeler için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Tek resim değerlendirilmesi iki aşamada yapılır. İlk olarak resimlerdeki distorsiyonların giderilmesi ve ikinci olarak da görüntülerin yazılımlarda işlenir. Distorsiyonların geometrik olarak düzeltilmesiyle elde edilen doğru resimlere ortofoto ve yapılan bu işleme rektifikasyon denilmektedir. Böylece elde edilen fotoğraflardaki yükseklik, dönüklük ve eğiklikler giderilmiş olmaktadır. Harita ya da ölçekli çizimler üzerinden direkt ölçüm yaparken ortofotolar kullanılabilir. Ortofotolar üzerine grafik elemanların eklenmesiyle ortofoto haritalar ve hava resim haritaları oluşturulur. Coğrafyacılar, şehir plancıları ve diğer disiplinler kendi çalışma alanlarıyla ilgili verileri bulabilmek için ortofotoları kullanarak tematik verilerini oluşturmaktadırlar. (Keleş, 2010)



Şekil 2.42: Marmoralais'in Büyük Holünün Tavanının Metrik Fotoğrafı (Hemmler ve Wiedemann, 1997)



Şekil 2.43: Marmoralais'in Büyük Holünün Rektife Edilmiş Sayısal Modeli (Hemmler ve Wiedemann, 1997)





Şekil 2.44: Binanın Ortofoto Görüntüsü (Guerra ve ark., 2005)

#### 2.4. Yersel Lazer Tarama Yöntemi

Yersel lazer tarama yöntemi, objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3B koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Yersel lazer tarayıcı sistemleri çok kısa bir sürede fiziksel verilerin hassas ve yoğun bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır. (Avdan, 2013)

Lazer tarayıcılar nesne yüzey verisini 3B koordinat olarak elde etmektedirler. Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir işlem akışına sahiptirler. Tarayıcı ayrıca taranan nesne yüzeyinin yansıma değerlerini de 3B koordinatlara ek olarak sağlayabilmektedir. 3B tarayıcılar; yerinde durarak sabit konumda işlem yapan (üretim hatları gibi işlem yapan), bir tripod gibi bir düzeneğe işlem yapanlar (close-range), topografik uygulamalar için kullanılan uçağa monte (airborne) sistemler olarak sınıflandırılabilirler. (Aşkın, 2009)

Üç boyutlu lazer tarayıcı objeyi bir lazer ışınıyla seçilebilir bir grid yoğunluğuna göre taramaktadır. Hedef noktasıyla eğik mesafeyle beraber yatay ve düşey açı da kaydedilmektedir. Çok kısa sürede binlerce 3B vektör yaratılmaktadır, taranan obje 3B koordinat uzayında büyük bir grid formunda gösterilmektedir. Bu yüzden 3B lazer tarayıcıya 1:1 sayısallaştırıcı da denmektedir. Tarama işlemi sonucu oluşan nokta bulutu bilgisayar ekranında eş zamanlı gösterilmektedir. Kullanılan tarayıcı tipine bağlı olarak nokta mesafesine göre nokta bulutu renkli olabilir veya bir yoğunluk değeri (intensity) gösterebilir. (Aşkın, 2009)

Nokta bulutu tarama işlemi süresince istenen mesafe ve perspektifte döndürülebilmektedir; uygun olmayan noktalar elimine edilebilmektedir. Lazer tarama teknolojisi bir tersinir mühendislik uygulamasını olanaklı hale getirmektedir. Sonuç

olarak; tarama işlemi sonunda işlenen veriler CAD ortamında sunulabilmektedir. Mimari belgeleme çalışmalarında yersel lazer tarama yöntemi diğer yöntemlerle de bütünleşme sağladığından hızla kabul görmüştür.(Aşkın, 2009)

#### **2.4.1. Yersel lazer tarayıcıların genel özellikleri**

Yersel lazer tarayıcılarda kaliteli sonuçlar elde edebilmek için hem aletsel hem de çevresel bir takım özellikler vardır. Bu özellikler elde edilebilecek verileri bazıları doğrudan bazıları ise dolaylı olarak etkilemektedir. Bu özellikleri sıralamak gerekirse hız, çözünürlük ve ışın boyutu, değer limitleri ve karışan radyasyon etkisi, görüş alanı, kayıt araçları, görüntüleme kameraları, güç kaynağı, tarama yazılımı, taşıma kolaylığı olarak sıralanabilir. (Gümüş, 2008)

**Hız:** Lazer tarama aletinin özelliğine bağlı olarak taranan objeye ait saniyede üretilen nokta sayısı önemli bir faktördür. Lazer taraması yapılacak nesnenin büyüklüğü, doğruluk derecesine göre tarama yoğunlukları değişebilmekte ve lazer tarama aletinin nokta üretim hızı da buna bağlı olarak değişebilmektedir. Lazer tarama aletlerinde genel olarak saniyede 100 nokta üretimi düşük, 1000 nokta üretimi ise iyi olarak ifade edilmektedir. (Gürcan, 2012)

**Çözünürlük ve Işın Boyutu:** Lazer taraması yapılacak objenin, istenilen doğruluk derecesine göre yoğun çözünürlükte ya da düşük çözünürlükte olabilir. Nesne çözünürlüğü, kuramsal olarak açısız artımın bir fonksiyonudur ve lazer ışınının açısız çözünürlüğüne ve yansıyan ışının nesne üzerindeki alanına bağlıdır. (Gürcan, 2012)

**Değer Limitleri ve Karışan Radyasyon Etkisi:** Lazer tarama aletlerinin bazı özellikleri taraması yapılan objenin yüzey pürüzlülüğüne göre, objenin ışığı soğurması ya da yansıtması, atmosferdeki radyasyon etkisi, atmosferik koşullar gibi çevresel etkenlerden etkilenebilmekte ve lazer tarama aletinin ölçüm anındaki duyarlılığını değiştirebilmektedir. (Gürcan, 2012)

**Görüş Alanı:** Lazer tarama aletleri üretici firmaya bağlı olarak, eksenleri kendi etraflarında belirli açılarla dönmektedirler. Lazer tarama aletleri eksenleri açısından incelenirse, rotasyon için motorlu eksenler olmadan sabitlenen tarayıcılar yaklaşık olarak  $40^\circ \times 40^\circ$  lik alanı, tek eksenli tarayıcılar,  $45^\circ \times 320^\circ$  lik alanı, iki eksenliler ise  $30^\circ$  konik alan dışındaki alanı tarayabilmektedirler. (Gürcan, 2012)

**Kayıt Araçları:** Lazer tarama ile her istasyonda yapılan taramalardan sonra elde edilen nokta bulutlarının birleştirilip tek bir nokta bulutuna dönüştürülmesi gerekir. Nokta bulutlarının ilgili yazılımlarda birleştirilirken, yazılımın ortak noktaları, ortak alanları birbiri ile bağdaştırması gerekir. Ortak noktaların birbiri ile ilişkilendirilmesi



için ölçümü yapılacak alan üzerinde hedef noktalarının (özel işaret) olması gerekir. Lazer tarama aletine ve değerlendirme yazılımına göre farklı hedef noktaları üretilmektedir. (Gürcan, 2012)

**Görüntüleme Kameraları:** Lazer tarama aleti ile nokta bulutlarının elde edilmesi ve nokta bulutlarının birleştirilmesi 3B model oluşturmak için yeterli olmamaktadır. Objenin yapı dokusuna uygun bir şekilde, oluşturulan nokta bulutunun renklendirilmesi gerekir. Renklendirilme işleminde lazer tarama aletinin içinde bulundurduğu kameralarla ya da sonradan dahil edilen kameralar ile renklendirilebilmekte ve objenin dokusu oluşturulmaktadır. (Gürcan, 2012)

**Güç Kaynağı:** lazer taraması yapılacak yerin niteliğine göre lazer tarama aletlerinin çalışmasında, akü, jeneratör, elektrik hattından güç kaynağı olarak faydalanılabilmektedir. Çalışma alanının niteliğine göre güç kaynağı seçimi yapılmalıdır. (Gürcan, 2012)

**Tarama Yazılımı:** Yazılım, tarama pencerelerinin ve çözünürlük değerlerinin basit bir arabirimi olmalıdır. Tarama ilerlemesini ve kalan tarama zamanını elde etmek için bir olasılık vardır. Daha karmaşık özelliklere (otomatik hedef tespiti) de ihtiyaç duyulabilir. Eğer geniş nesnelere kaydedilirse, taramanın tamlığını kontrol etmek için gözlemin farklı noktalarından alınan nokta bulutlarının genel bir kaydının edinilmesi olasıdır. (Gürcan, 2012)

Yersel Lazer Tarama Aleti	Kullanılan Yazılım
3rdTech	Scene Vision- 3D
Callidus Precision System	3D- Extractor
Leica Geosystems	Cyclone, CloudWorx
FARO	FARO Scene
1-SİTE Pty Ltd	I-Site Studio
Mensi(Trimble)	3Dipsos,RealWorks
Metric Vision	---
Optech	Polyworks
Riegl Laser Measurement Systems	Riscan Pro
Trimble	3Dipsos, Real Works
Zoller+Froehlich	Light Form Modeller

**Tablo 2.5:** Güncel kullanılan yersel lazer tarayıcılar ve kullanılan yazılımları(Karşıdağ, 2011)

### 2.4.2. Yersel lazer tarayıcıların bileşenleri

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi şu bileşenlerden oluşur:

- Tarama ünitesi (tarayıcı)
- Kontrol ünitesi
- Güç kaynağı
- Tripod ve Sehpa (Aşkın,2009)

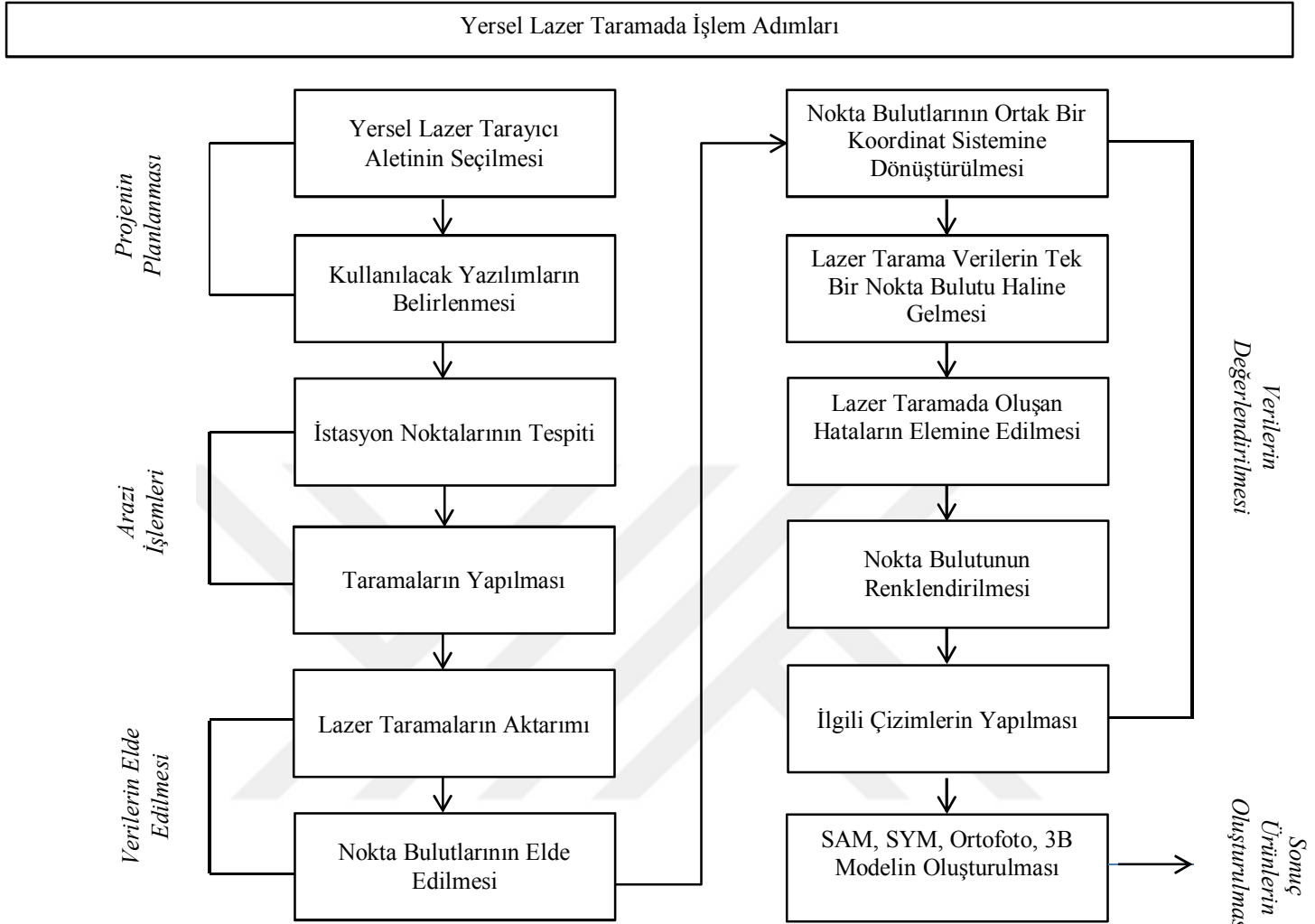


**Şekil 2.45:** Yersel Lazer Tarayıcı ve Bileşenleri

Bir yersel lazer tarayıcı sisteminin 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:

- Lazer telemetresi (Lazer uzaklık ölçer)
- Lazer ışın saptırma ünitesi (Optik mekanik tarayıcı) (Gürcan,2012)

### 2.4.3 Yersel lazer tarama işlem adımları



**Tablo 2.6:** Yersel Lazer Tarayıcı İşlem Akışı

- Projenin planlanması
- Arazi işlemleri
- Verilerin elde edilmesi
- Verilerin değerlendirilmesi
- Sonuç ürünlerinin oluşması olmak üzere beş başlık altında toplanabilir.

Projenin planlamasında çalışılacak olan alanın seçilmesi, çalışmadaki hassasiyet, hız, görüş açısı, nokta yoğunlukları, kriterlerine göre yersel lazer tarayıcı aleti seçilir, yersel lazer tarama verilerini aktarımı ve verilerin değerlendirilmesi için ilgili yazılımların belirlenmesidir.

Arazi işlemlerinde lazer taraması yapılacak objenin, istasyon noktaları tesisi yapılır. Objeye hedef noktaları yerleştirilir. Gerekli jeodezik ölçümler ve hesaplamalar yapılır.

Arazide yapılan belirlenen istasyon noktalarında yapılan taramalarla elde edilen veriler proje planlanmasında belirlenen yazılımlara aktarılır ve lazer tarama sonucunda nokta bulutları oluşturulur. Nokta bulutları tek nokta bulutuna dönüştürülür ve nokta bulutunun renklendirilmesi yapılır. Lazer tarayıcı dahilindeki kamera, nokta bulutunu renklendirmede yetersiz kalıyorsa objeye ait fotoğrafların alımı yapılır.

Verilerin değerlendirilmesinde elde edilen nokta bulutları ortak bir koordinat sisteminde birleştirilir ve tek bir nokta bulutu haline getirilir. Nokta bulutundaki gereksiz noktalar silinir. Nokta bulutunun tüm bu işlemlerden sonra renklendirilmesi yapılır ve ilgili çizimler yapılır.

İşten istenilen sonuç ürünleri sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modeli, 3B model, ortofoto elde edilir.

#### **2.4.4. Yersel lazer tarayıcıların sınıflandırılması**

Yersel lazer tarayıcıları sınıflandırmak zordur. Yersel lazer tarayıcılar ölçme prensiplerine ya da teknik özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Her şeyden önce tüm uygulamalar için kullanılacak evrensel bir yersel lazer tarayıcı yoktur. Bazı tarayıcılar iç mekanda ve orta mesafe uzunluklarda (ölçme mesafesi 100 m'ye kadar) kullanılırlar. Bazı tarayıcılar ise dış mekan ve uzun mesafe (ölçme mesafesi 100 m'den fazla) ölçmeleri için uygundur. Hatta yakın mesafe (birkaç metre) ölçmeleri için yüksek hassasiyetli tarayıcılar vardır. Yapılacak uygulamaya göre, uygun lazer tarayıcı seçilmelidir. (Karşıdağ,2011)

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:

- Tarama hızı, lazer ölçme sisteminin örnekleme oranı,
  - Görüş alanı (Kamera görüntüsü, profil, görüntüleme),
  - Mekansal çözünürlük (Örneğin, görüş alanında taranan nokta sayısı),
  - Sistemin genel doğruluğu, mesafe ölçme sistemi ve ışın saptırma ünitesinin doğruluğu,
  - Lazer tarayıcıya diğer cihazların monte edilme özelliği (GPS, kamera gibi)
- (Karşıdağ,2011)

ÖLÇME YÖNTEMİ	UZUNLUK (m)	DOĞRULUK (mm)	ÜRETİCİ FİRMA
Uçuş Zamanlı	< 100	< 10	Callidus, Leica, Mensi, Optech, Riegl
	< 1000	< 20	Optech, Riegl
Faz Karşılaştırma	< 100	< 10	IQsun, Leica, VisImage, Zoller+Fröhlich
Triangulasyon	< 5	< 1	Mensi, Minolta

**Tablo 2.7.**Yersel Tarama Aletlerinin Uzunluk ve Doğruluk Değerleri (Gümüş, 2008)

## 2.4.5. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri

### 2.4.5.1. Uçuş zamanlı

Bir lazer ışını nesneye gönderilir. Gönderici ile yüzey arasındaki uzunluk, sinyal iletimi ile alımı arasındaki uçuş zamanıyla ölçülür. Bu prensip, total stationların çalışma prensibinden dolayı da iyi bilinir. Motor bir total station tarama aleti olarak çalışmaya programlanabilir. Ancak aletin kütlesi nedeniyle eksen etrafındaki artan rotasyon basamakları yeterince hızlı değildir. Bununla birlikte sinyal süreci çok vakit alır ve açısal değerler kodlanmış çemberlerden zahmetli bir şekilde okunmaktadır. Bundan dolayı ölçüm oranları çok düşük olmaktadır. Tarayıcılar, lazer ışının açısal sapması için küçük dönüş aletleri ve uzunluk hesaplaması için basit algoritmalar kullanırlar. Uzunluk ölçümlerinin tipik standart sapmaları, birkaç milimetre olmaktadır. 3B doğruluğu aynı zamanda, ışının açısal noktalama doğruluğundan etkilenir (Gümüş, 2008).



**Şekil 2.46:** Uçuş Zamanlı Yersel Lazer Tarayıcı Çalışma Prensibi

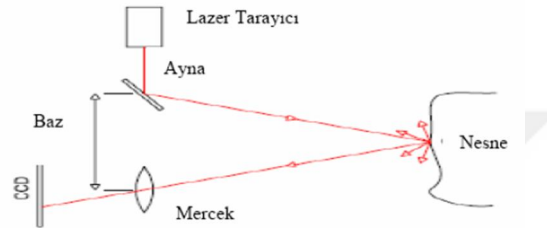
### 2.4.5.2. Faz karşılaştırma

Uzunluk, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanıcıların bakış açısından bu yöntemin, uçuş zamanı yönteminden farkı yoktur. Daha karışık sinyal analizinden dolayı sonuçlar daha doğru olmaktadır. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için faz karşılaştırma yöntemini kullanan tarayıcılar, kısa uzunluklarda daha etkilidir (Gümüş, 2008).

### 2.4.5.3. Triangulasyon metodu

#### 2.4.5.3.1. Tek kamera çözümü

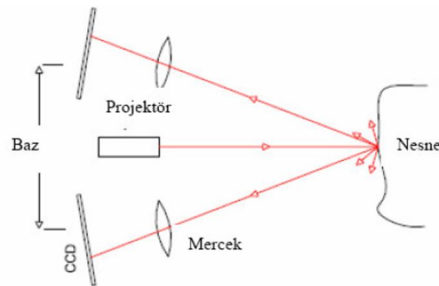
Bu tarayıcı, basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşur. Tarayıcıdan nesneye, artan değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir CCD kamerasıyla lazer ışını gönderir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3B konumları, sonuç üçgeninden elde edilir. Bu prensip, menzil bulucuların kullanıldığı araştırmada önceliklere sahiptir. Bu açıdan, tarayıcı ve nesne arasındaki uzunluğun doğruluğu, uzunluk alanıyla birlikte ifade edilir. Bu tarayıcılar, doğruluk isteyen daha hassas çalışmalarda kısa mesafeler ve küçük nesnelere için önemli bir rol oynar (Gümüş, 2008).



Şekil 2.47: Tek Kamera Çözümü Yersel Lazer Tarayıcı Çalışma Prensibi

#### 2.4.5.3.2. Çift kamera çözümü

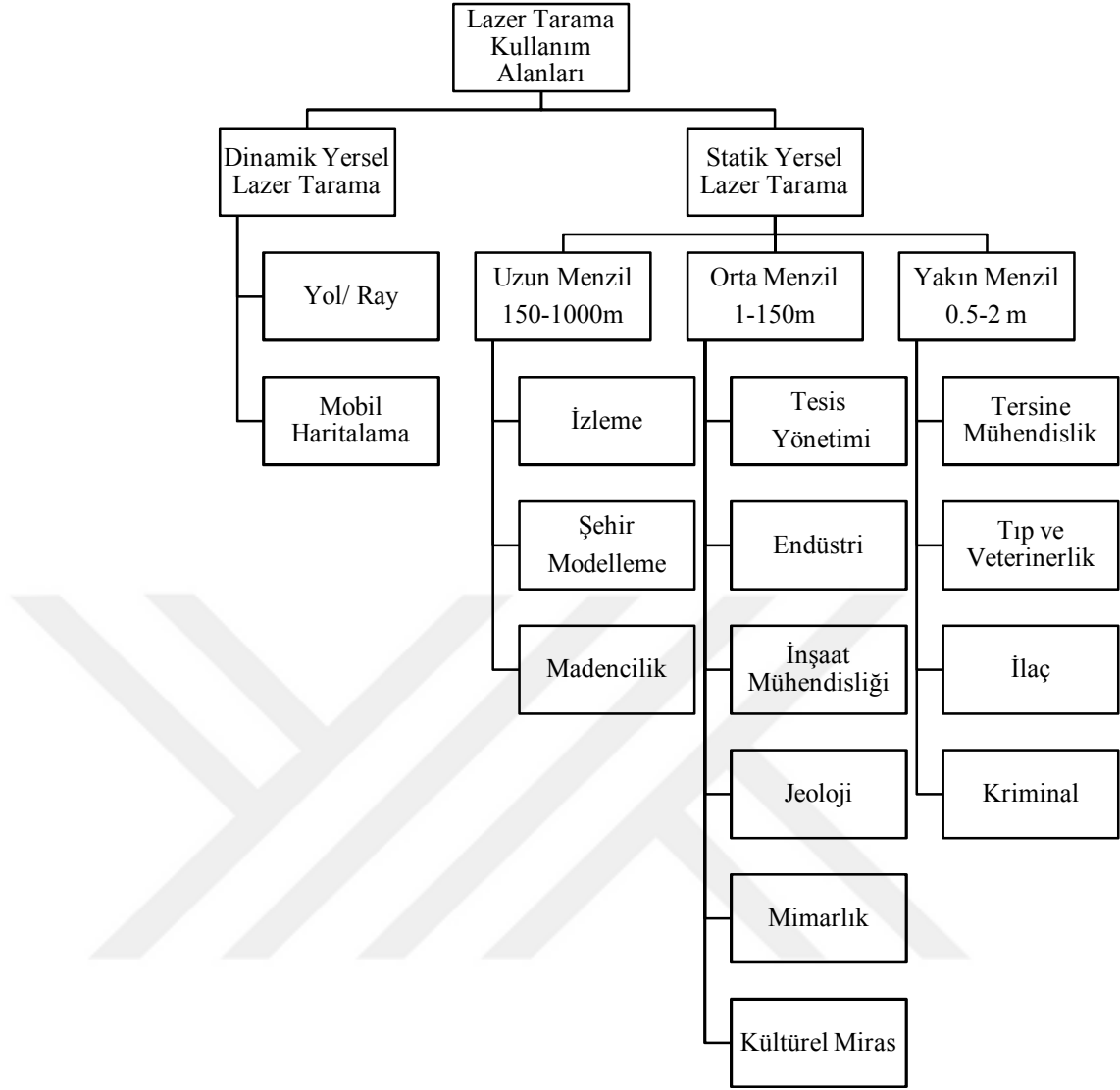
Triangulasyon prensibinin bir değişkeni, iki CCD kamerası kullanımınıdır. İncelenecek nokta ya da bölge, hiçbir ölçme fonksiyonu olmayan ayrı bir ışık projektörü ile üretilir. Projeksiyon, hareket eden şerit bölümlerinin bir ışık çizgisinden oluşur. Geometrik çözüm, tek kamera prensibiyle aynıdır ve aynı doğrulukta sonuç verir. Bu tarayıcılar, yukarıda belirtilen tarama aletlerine bir alternatif olarak görülebilir (Gümüş, 2008).



Şekil 2.48: Çift Kamera Çözümü Yersel Lazer Tarayıcı Çalışma Prensibi

### 2.5. Yersel Lazer Tarama Kullanım Alanları

Lazer tarama kullanım alanlarını iki sınıf altında toplayabiliriz. Bunları dinamik ve statik lazer tarama olarak sınıflandırılabilir. Dinamik lazer tarama kendi içinde yol ve mobil yersel lazer tarama olarak sınıflandırılabilir. Statik yersel lazer tarama uygulama alanlarının mesafesine göre yakın, orta ve uzun olarak sınıflandırılmaktadır.(Zeybek,2013)



**Tablo2.8:** Yersel Lazer Tarama Kullanım Alanları(Zeybek, 2013)

### 2.5.1. Arkeoloji

Yersel lazer tarama yöntemiyle incelenen arkeolojik alanlarda hasar, mevcut durumun incelemesi, gelecekte meydana gelebilecek yeniden yapılandırmada kullanılmaktadır. Lazer tarama aletinde kullanılan lazer ışının arkeolojik alanlara zarar verebilecek bir tehlikesi olmadığından korunması gereken alanlarda rahatlıkla kullanılabilir. Arkeolojik alanların yersel lazer tarama yönteminin kullanımıyla arkeolojik alanlara ait veriler dijital olarak saklanabilmektedir. Ülkemizde de arkeolojik alanların kazı çalışmalarında Kültür ve Turizm Bakanlığınca yürütülen projelerde yersel lazer tarama yöntemi sıkça başvurulan yöntemler arasındadır.

Günümüzde Türkiye’de yapılmış olan arkeolojik alanların belgeleme çalışmalarında kullanılan lazer tarama çalışmalarına örnek olarak;

Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından 21.07.2015 ve 16.10.2015 tarihinde Çorum İli’nin, Boğazkale İlçesi’nde Boğazköy-Hattuşa Ören alanında Napoli

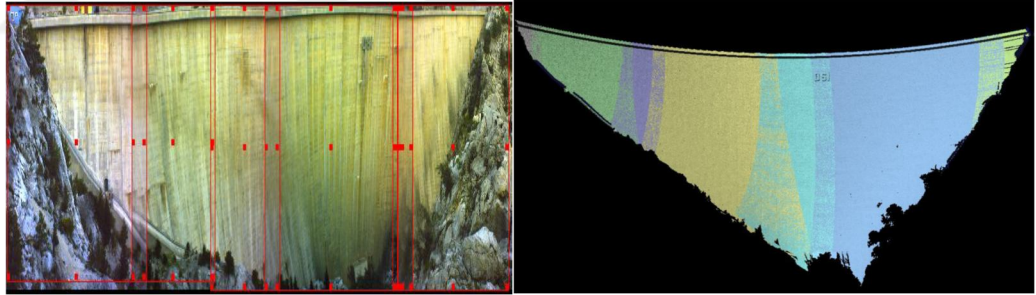
Üniversitesi ve M. Marazzi'nin ekibiyle Nişantepe yazıtı ve Yazılıkaya açık hava tapınağında da bu alanların belgeleme çalışmalarında lazer tarama tekniği kullanılmıştır.

2015 Yılı Zerzevan Kalesi Kazı Çalışmalarında Zerzevan Kalesi'nin belgeleme çalışmalarında lazer tarama teknolojisi kullanılmıştır.

Phrygia Hierapolis'i (Pamukkale) 2015 Yılı Kazı ve Restorasyon Çalışmalarında, Torino Politeknik geomatik araştırmaları grubu, Aziz Philippus Martyrionun kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında lazer tarayıcı kullanmıştır.

### 2.5.2. Deformasyon

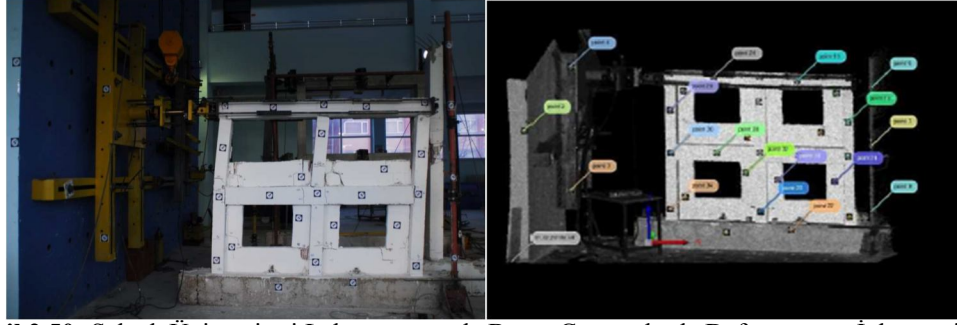
Yapılarda iç ve dış kuvvetlerin etkisiyle (ışık, su, insan) meydana gelen değişimlere deformasyon denilmektedir. Baraj, yol, köprülerdeki bina deformasyonların izlenmesinde yersel lazer tarama sıkça başvurulan bir tekniktir. Barajlardaki deformasyonların izlenmesinde Gümüş'ün(2014) Antalya Oymapınar Barajındaki suların değişiminin baraj gövdesindeki meydana getirdiği değişimleri izlenmesi hedeflenmiş ve farklı zamanlarda yapılan yersel lazer tarama verilerinden elde edilen sonuçlar yersel lazer taramanın barajlardaki deformasyon ölçümlerinde kullanılabileceği tespit edilmiş, sadece baraj deformasyonlarında değil mühendislik yapılarının izlenmesinde de kullanılabileceği üzerine yapılmış çalışmadır.



Şekil 2.49: Antalya Oymapınar Barajındaki Deformasyonların İzlenmesinde YLT Kullanımı (Gümüş, 2014)

Gümüş (2010) Selçuk Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü deprem laboratuvarında yapılmış olan 2 farklı beton çerçeve üzerinde yersel lazer tarama ölçümleri 2 periyot şeklinde gerçekleştirilmiş ve uygulama sonucunda deformasyonların izlenmesinde yersel lazer tarama yönteminin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. (Gümüş,2010)



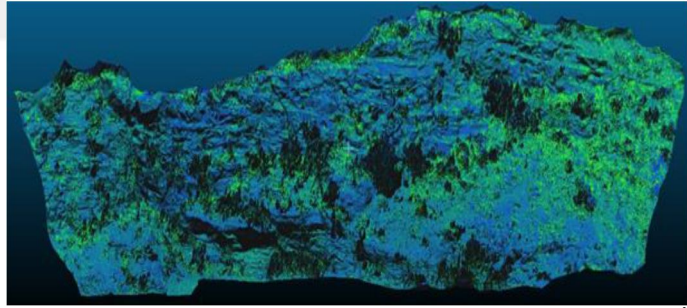


Şekil 2.50: Selçuk Üniversitesi Laboratuvarında Beton Çerçevesinde Deformasyon İzlenmesinde YLT'nin Kullanılması(Gümüş, 2010)

### 2.5.3.Madencilik

Madencilik sahalarında gidilmesi tehlikeli olan, gidildiğinde göçük oluşabilecek alanların rezervlerinin hesaplanması, hacim hesaplarının yapılması, plan ve kesitlerinin çıkarılmasında yersel lazer tarama yöntemi kullanılmaktadır. Lazer tarama yöntemi diğer yöntemlere göre daha kısa sürede, çalışılacak bölgenin niteliğine göre daha az tehlike taşıdığından tercih edilmektedir.

İncekara ve Şeker'in (2016) yapmış olduğu çalışmada İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde yer alan kayaç yüzeylerinin yersel lazer taramayla 3B modelinin elde edilmesi bu elde edilen model üzerinden 2B alan ve 3B hacim bazındaki doğruluk analizlerinde yersel lazer tarama tekniği kullanılarak yapılmış bir çalışmadır.



Şekil 2.51 :Kayaç Yüzeylerinin Yersel Lazer Taramayla 3B Modelinin Üretilmesi (İncekara ve Şeker, 2016)

Özdoğan(2015) yapmış olduğu çalışmada 3 farklı alanda farklı periyotlarda yersel lazer tarama yapılmıştır. Çalışmadaki amaç maden havzalarındaki deformasyonlar, heyelanların izlenmesi ve heyelanların yön tespitinde yersel lazer tarama tekniğinin kullanılabilirliği üzerine yapılmış yüksek lisans çalışmasıdır. Çalışma alanlarından bir tanesi Kütahya Tunçbilek kömür havzası açık ocaklarından harman sahasında heyelanların tespit edilmesinde yersel lazer tarama yöntemi kullanılmış ve üç farklı periyotta ölçümleri yapılmıştır. İkinci çalışma bölgesi ise ETİ maden işletmeleri genel müdürlüğü Bigadiç Bor işletme müdürlüğü Simav ocağı heyelan takip çalışmalarında simav ocağının küçüktepe (doğu) ve güney heyelanlarının izlenmesinde

yersel lazer tarama yöntemi ile yapılmıştır. Bu alanla yapılan çalışmada heyelanların yönleri tespit edilmeye çalışılmış ve iki farklı periyotta ölçüm yapılmıştır.

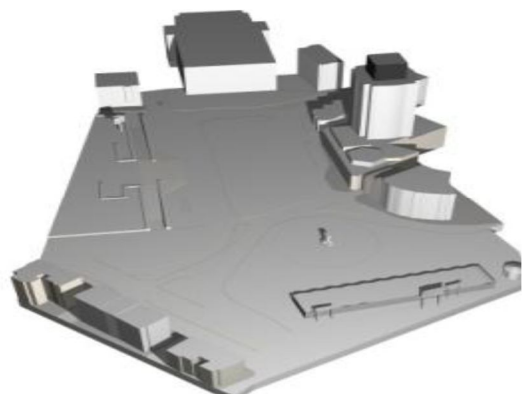
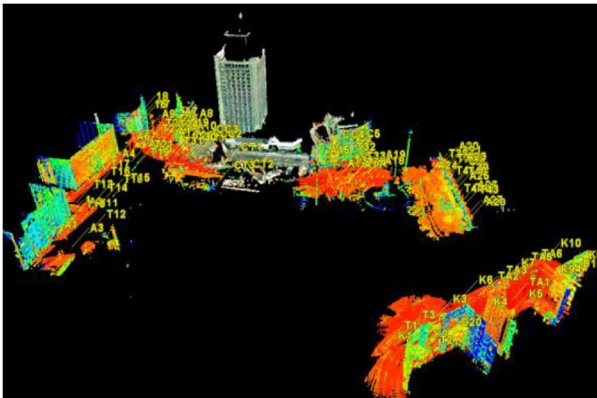
TKİ Ege Linyit İşletmelerinde Soma Açık ocağı kısrakdere bölgesi G- Panosu Güney şevlerinde meydana gelen deformasyonları belirlemek amacıyla dört farklı zamanda yersel lazer tarama yöntemiyle ölçüm yapılmıştır.

Özdoğan (2015) yapmış olduğu çalışmalar sonucunda maden alanlarındaki deformasyonlarda, heyelanlarda, heyelanların hareket yönlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

#### 2.5.4. Kent modellemede

Bir kentin 3B olarak modellenmesinde yersel lazer tarama tekniği kullanılan bir yöntemdir. Vosselman'ın (2006) yapmış olduğu çalışmada, bir kente ait güvenlik analizleri ve kentsel planlamada 3B kent modelinden yararlanılmaktadır. Güvenlik analizleri, fiziksel güvenlik (altyapı güvenliği) ve sosyal güvenlik (yaşanılabilirlik) analizi olarak sınıflandırılabilir. Vosselman (2006) yapmış olduğu çalışmada, bina özelliklerinin otomatik olarak çıkarılması yapılmıştır. Lazer tarama yöntemiyle kentin 3B modeli, CBS projeleriyle entegre olabilir ve plancıların bir kentin tasarlaması için gerekli olan bilgiler 3B kent modelinden elde edilebilir. Yersel lazer taramayla kent modellemede plancı kenti tasarlarken araziye çıkmadan bir şehrin planını tasarlayabilmesine olanak sağlamaktadır.

Şahin ve Alkış'ın (2012) yaptığı çalışmada, planlama ve tasarım çalışmalarında altlık olarak kullanılacak olan 3B kent modelini yersel lazer tarama yöntemiyle üretilmiştir. Uygulamada, Taksim Cumhuriyet Meydanına bakan binaların ön cepheleri yersel lazer tarama yöntemiyle modellenmiştir.

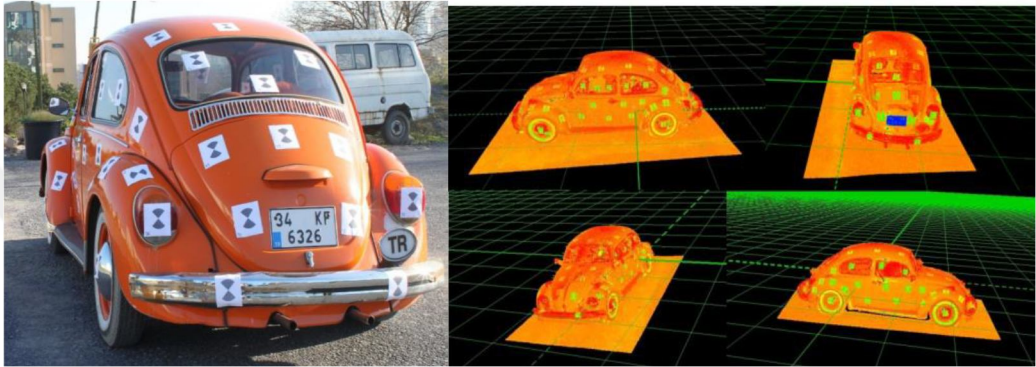


Şekil 2.52: Taksim Cumhuriyet Meydanı YLT İle 3B Modelinin Üretilmesi, Solda YLT Nokta Bulutu, Sağda Oluşturulan 3B Katı Model (Şahin ve Alkış, 2012)

### 2.5.5. Endüstri

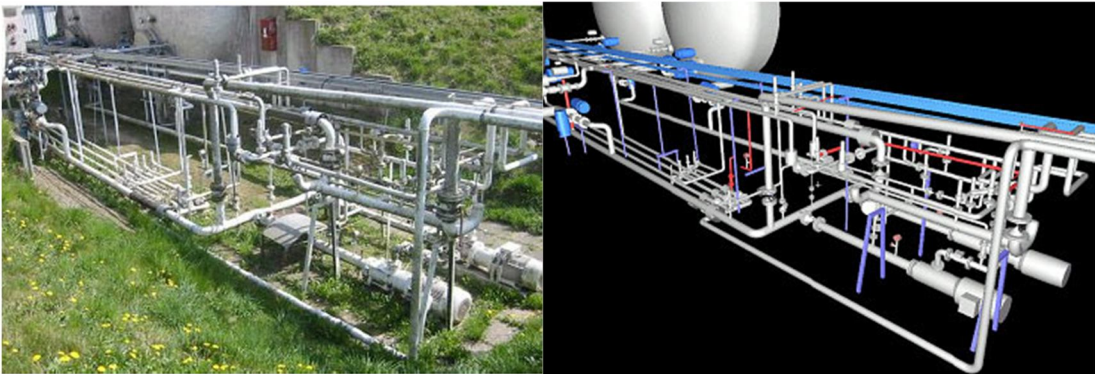
Yersel lazer tarama sadece haritacılık faaliyetlerinde değil, endüstriyel uygulamalarda da sıkça başvurulan bir yöntemdir. Otomotiv, yan sanayi ürünlerinin 3B katı modelleri, endüstriyel ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Yersel lazer taramayla objelerin üretiminde problem oluşması ve problemin ortadan kaldırılmasında yersel lazer tarama yöntemi kullanılabilir.

Duran ve ark.'nın (2017) yapmış olduğu çalışmada yersel lazer tarama ile 1974 model Volkswagen otomobilinin 3B modeli elde edilmiş ve nokta konum doğrulukları üzerine analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.53: Otomotiv Endüstrisinin YLT ile 3B modelinin Üretilmesi(Duran ve ark., 2017 )

Sternberg ve ark.'nın (2004) yapmış olduğu çalışmada Boie in Lübeck'in Almanya'daki boru hatlarının yersel lazer tarama yöntemi kullanılarak modellenmesi üzerine yapılmıştır. Çalışma sonucunda yersel lazer tarama yönteminin endüstri ürünlerinin modellenmesinde kullanılabileceğine ulaşılmıştır.



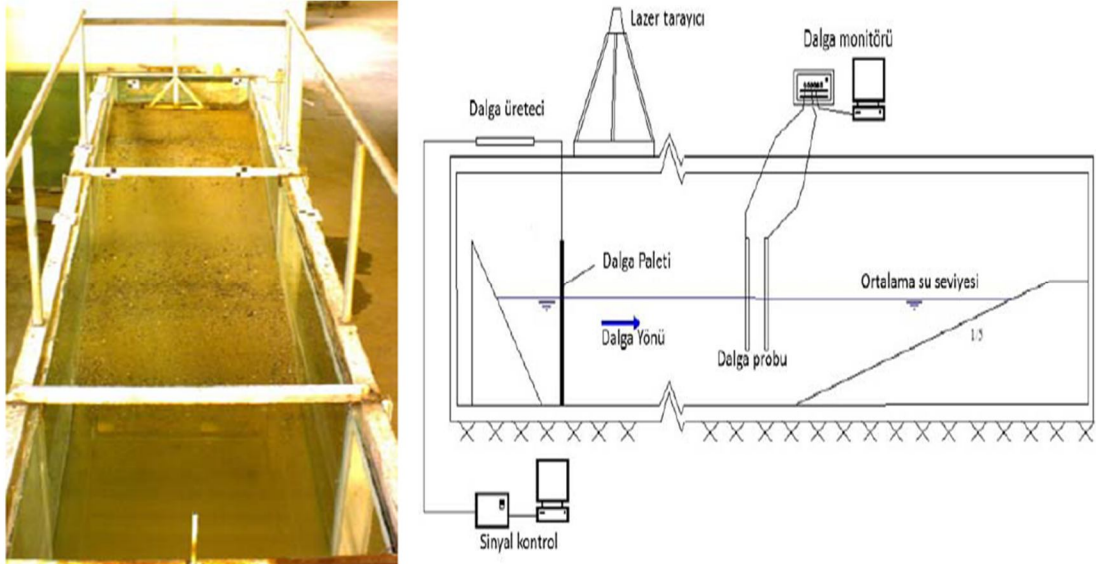
Şekil 2.54: Boru Hatlarının YLT İle 3B Modelinin Üretilmesi (Sternberg ve ark. 2004)

### 2.5.6. Kıyı bölgelerin izlenmesi

Kıyıların izlenmesinde dalgaların, küresel iklim değişikliklerinin kıyılarda meydana getirdiği değişimleri lazer tarama yöntemiyle izlenmekte ve ülkelerin gerekli önlemleri almasında başvurdukları bir yöntemdir.

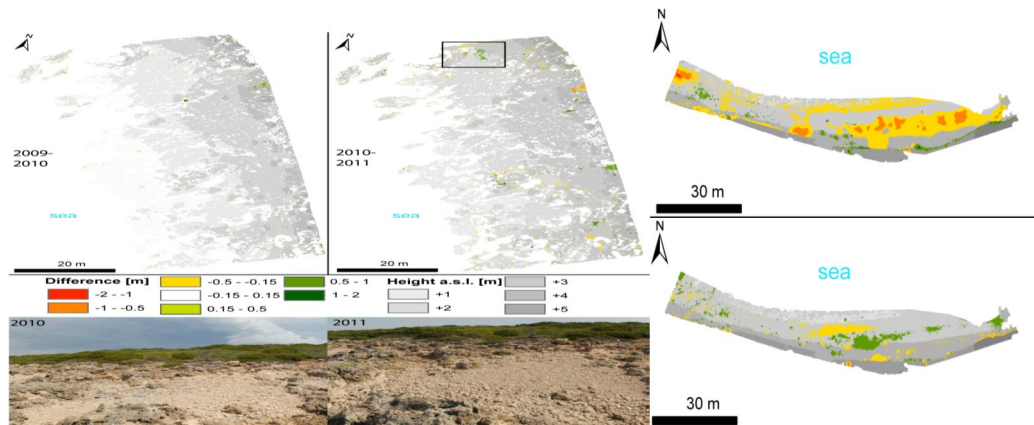


Göktepe ve ark.nın (2011) yaptığı çalışmada kıyı erozyonunu incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan deney kanalında yapılmıştır. Çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda yersel lazer tarama yönteminin kıyı yapıları ve iklim değişiklikleriyle kıyılarda meydana gelebilecek değişikliklerin izlenmesinde kullanılabileceğine ulaşılmıştır.



Şekil 2.55: Kıyı Bölgelerinde Meydana Gelen Değişimlerin YLT İle İzlenilmesi (Göktepe ve ark. 2011)

Hoffmeister ve ark.(2012)'nin araştırmasına göre kıyı alanları, gelgit, kıyı erozyonu, fırtına ve tsunami gibi etkilerle değişmekte ve kayalar yerinden oynayabilmektedir. Çalışma alanında etkenler dikkate alınarak uygulama alanı Batı Yunanistandaki tektonik bir bölge seçilmiştir. Yersel lazer tarama yöntemi ile kaya kütlelerinin hesaplanmasında, yılın belirli zamanlarında yapılan ölçümlerle yıllık kıyı değişimleri izlenmiştir.

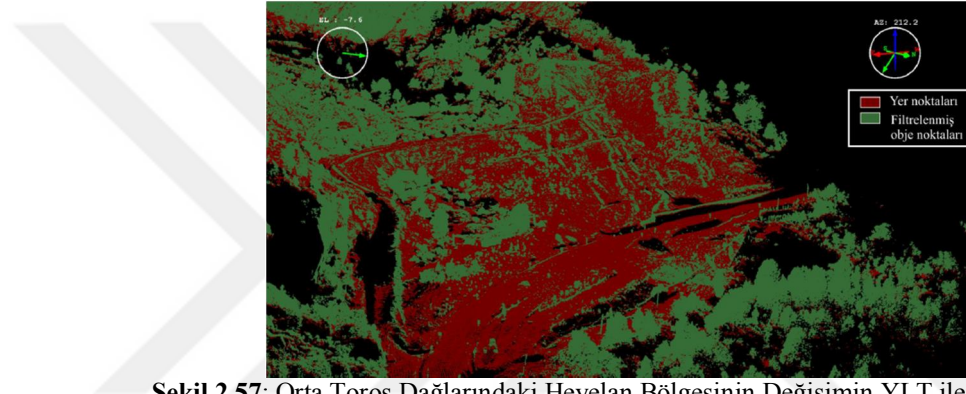


Şekil 2.56: Batı Yunanistanın Kıyı Bölgelerinde Meydana Gelen Yıllık Değişimlerin YLT ile İzlenilmesi (Hoffmeister ve ark. 2012)

### 2.5.7. Doğal afetlerin izlenmesinde

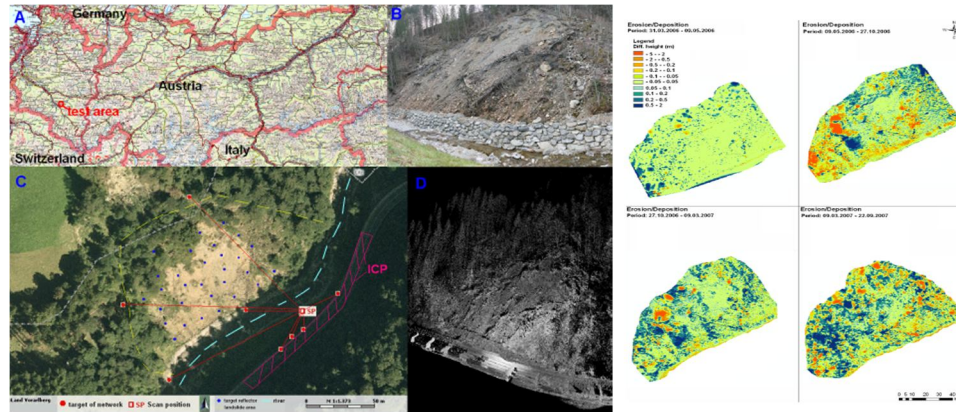
Heyelan, çığ, taş ocaklarında meydana gelen göçükler ya da kaymaların meydana gelmesi ve oluşan tahribatları yersel lazer tarama yöntemiyle izlenmesinde kullanılmaktadır. Doğal afetlerin izlenmesinde olayların öncesi ve sonrası olmak üzere değerlendirilebilmekte, veriler hızlı, doğru bir şekilde elde edilmektedir.

Zeybek ve ark.nın (2015) yapmış olduğu çalışmada heyelanların yersel lazer tarama yöntemiyle izlenmesi hedeflenmiştir. Uygulama alanı Orta Toros Dağlarındaki heyelan bölgesi seçilmiştir. Bölgenin heyelan öncesi ve heyelan sonrası yersel lazer taramaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda ise heyelan çalışmalarında yersel lazer taramanın yüksek doğruluk ve çözünürlükte veriler elde edildiği ve heyelan çalışmalarında kullanılabilceği, sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.57: Orta Toros Dağlarındaki Heyelan Bölgesinin Değişimin YLT ile İzlenilmesi (Zeybek ve ark. 2015)

Prokop ve ark.(2009) yapmış olduğu çalışmada hareket hızı yavaş olan heyelanların izlenmesinde lazer tarama tekniğinin kullanılabilirliği üzerine yapılmıştır. Bitki örtüsünün bulunduğu ve bitki örtüsünün olmadığı yerlerde nokta bulutu filtreleme yöntemleri ile incelenmiştir.



Şekil 2.58: Heyelanın YLT ile İzlenilmesi (Prokop ve ark., 2009)

### 2.5.8. Mimari

Mimari belgeleme çalışmalarında yersel fotogrametri kullanılmasına karşın yersel lazer tarama yöntemi de belgeleme çalışmalarında sıkça başvurulan bir yöntemdir. Çok katlı mimari yapıların belgelenmesinde lazer tarama aletinin görüş açısından faydalanılarak 3B modeli üretilebilmektedir. Ancak lazer tarama yöntemi mimari yapıların belgeleme çalışmalarında mimarlar tarafından yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun sebebini Korumaz (2016) yapmış olduğu çalışmada mimari projelerde yersel lazer taramanın kullanımı ile ilgili yönetmelik olmayışı, mimarlık eğitiminde yeterli eğitimin verilmemesi ve lazer tarama aletlerinin pahalı olması nedenlerini göstermiş ve uygulama olarak Aksarayda'ki sivil bir mimari eserin belgeleme çalışmaları yapılmıştır. (Korumaz, 2016)



**Şekil 2.59:** Sivil Mimari Eserin YLT ile 3B Modellenmesi, Üstte Soldan Sağa Yersel Lazer Tarama Aleti, Nokta Bulutunun Perspektif Görüntüsü, Altta Nokta Bulutunun Güney Cephesi (Korumaz, 2016)

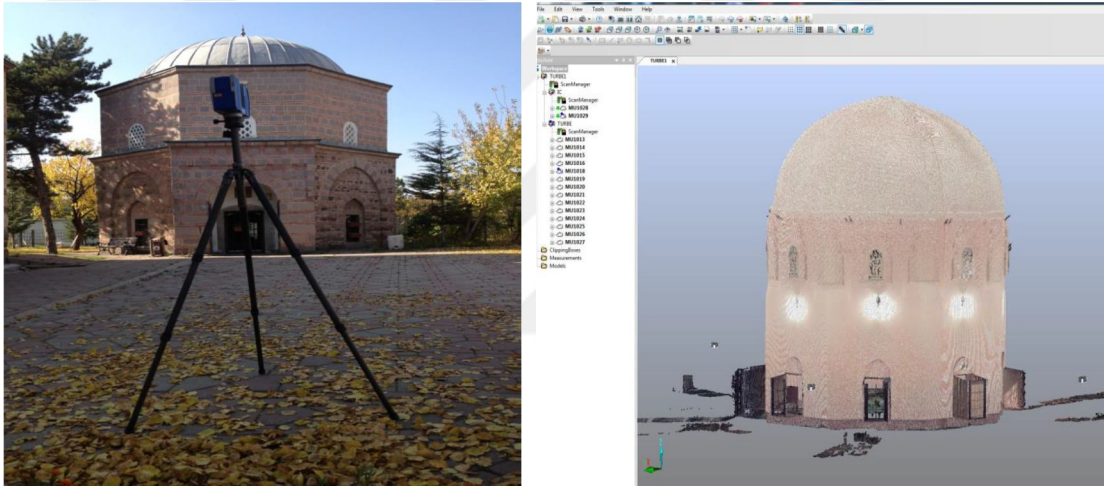
Kuçak (2013), çalışma alanı Almanya'nın Karlsruhe şehrinde, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Süd kampüsünde bulunan "Chinese Tea House" (Çin Çay Evi) nin lazer tarama yöntemiyle 3B modeli elde edilmesi üzerine yapılmış yüksek lisans çalışmasıdır.(Kuçak, 2013)





Şekil 2.60: Çin Çay Evi'nin YLT ile Modellenmesi(Kuçak, 2013)

Hepyörük'ün (2015) yapmış olduğu çalışmada ise Ankaradaki Karacabey türbesinin yersel lazer tarama yöntemiyle 3B modelinin elde edilmesi üzerine yapılmış bir kültürel mirasın belgeleme çalışmasıdır. (Hepyörük, 2015)



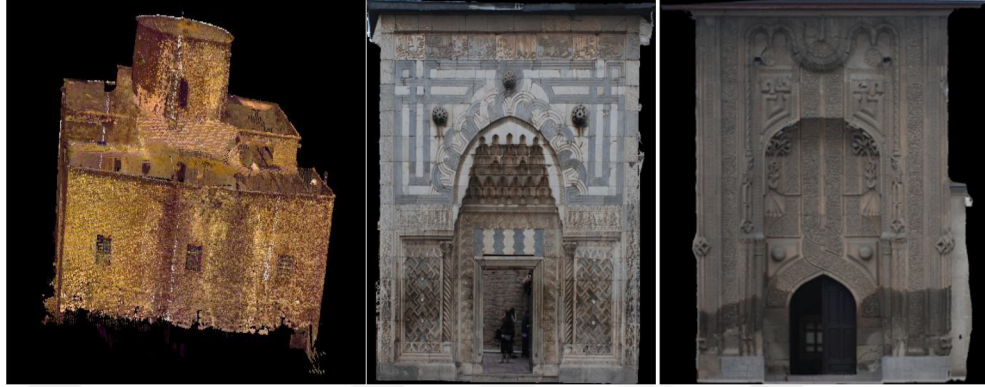
Şekil 2.61: Ankara'daki Karacabey Türbesinin YLT ile Modellenmesi (Hepyörük, 2015)

Çömert ve ark.'nın (2012), yapmış olduğu çalışmada Eskişehir'in Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapının lazer tarama ile belgelemesinin yapılabilirliği üzerine yapılmış bir çalışmadır.(Çömert, 2012)



Şekil 2.62: Eskişehir'in Seyitgazi İlçesinde Bulunan Eski Askerlik Şubesinin YLT ile İzlenilmesi Solda Askerlik Şubesi, Sağda YLT ile Üretilmiş 3B Model (Çömert ve ark., 2012)

Böge'nin (2013) Konyada'ki Sille Aya-i Eleni Kilisesi, Karatay Medresesinin kapıları ve İnce Minare müzesinin kapılarını yersel lazer tarama yöntemiyle 3B modelleri üretilerek, farklı özellikteki yapıların yersel lazer tarama yöntemiyle modellerinin üretilmesi araştırılmıştır.(Böge, 2013)

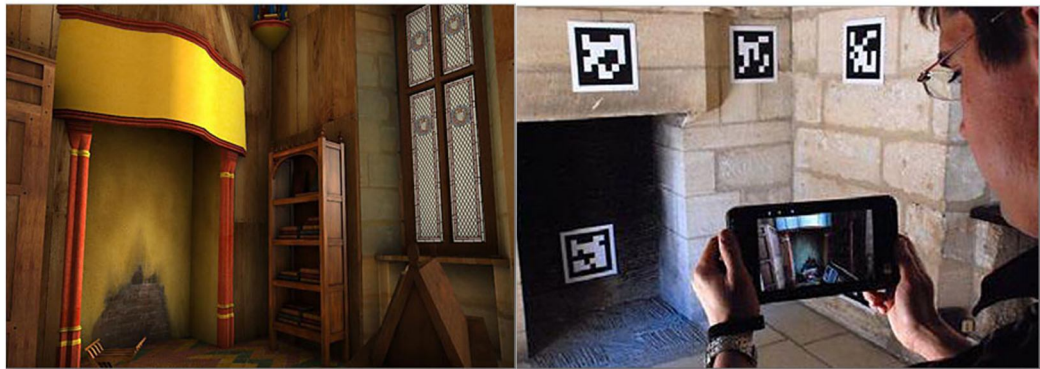


**Şekil 2.63:** Soldan Sağa, Konyada'ki Sille Aya-i Eleni Kilisesinin 3B Nokta Bulutu, Karatay Medresesinin Kapısı ve İnce Minare Müzesinin Kapısının Ortofotolarının YLT ile Üretilmesi (Böge, 2013)

Kültür Turizm Bakanlığı'nın 2015 yılı çalışmalarında Bursa'da İznik Tiyatrosunun mimari belgeleme çalışmaları Bursa Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Turizm Daire Başkanlığı Harita Şubesi mühendisleri tarafından lazer tarama ile belgeleme çalışmaları yapılmıştır.

Kültür ve turizm bakanlığı tarafından yürütülen Sivas Divriği Ulu Cami ve Şifahane'sinin röleve, restorasyon, retitüsyon işlemlerini Alman şirketi ei-Survey tarafından lazer tarama ile yapılmıştır.

Dünyadaki kültürel alanların mimari belgeleme çalışmalarında lazer tarama uygulamaları ise Paristeki Vincennes Sarayı'ndaki Charles V'in ofisi lazer tarama ile 3B modeli elde edilmiştir.



**Şekil 2.64:** Paristeki Vincennes Sarayı'ndaki Charles V'in ofisinin YLT ile 3B Modellenmesi (URL.5)



Bükreş'te olan Romanya Ulusal Tarih Müzesi'nin lazer tarama ile verilerinin kayıt altına alınması sağlanmıştır.



Şekil 2.65: Romanya Ulusal Tarih Müzesi'nin Verileri YLT ile Belgeleme Çalışmaları (URL.5)

## 2.6. Yersel Fotogrametri Ve Yersel Lazer Tarama Tekniğinin Karşılaştırılması

Günümüz kültürel miras belgeleme çalışmalarında her iki yöntem de aktif olarak kullanılmaktadır. Kuçak'ın (2013) yapmış olduğu akademik çalışmada, Almanya da Karlsruhe şehrinde, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Süd kampüsünde bulunan "Chinese Tea House" (Çin Çay Evi) 3B modellenmesinde, yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yönteminin kullanılması ve iki yöntemin kıyaslanması üzerine yapılmış bir çalışmadır. Elde edilen verilerin standart sapmalarına Kolmogorov-Simirnov, Lilliefors ve Jargue-Bera güvenilirlik testleri uygulanmış ve bu test sonucunda yersel fotogrametri yönteminin yersel lazer tarayıcı yöntemine göre daha hassas olduğu elde edilmiştir. Yersel lazer tarayıcı ve yersel fotogrametrinin belgeleme çalışmalarında bütüncül bir fonksiyonunun kullanılmasında hız, çözünürlük, doğruluk kriterlerinde daha iyi sonuçlar elde edileceği gözlemlenmiştir.

Kültürel miras belgeleme çalışmalarında farklı metotların kullanılması ve sonuç ürünlerinin kıyaslanması üzerine Böge'nin(2013) yapmış olduğu Konyada'ki Sille Aya-i Eleni Kilisesinin 3B modeli yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle elde edilmiştir ve iki yöntemin kıyaslanması yapılmıştır.(Böge, 2013)

Yastıklı (2005) de yapmış olduğu çalışmada farklı uygulama alanlarında yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri kıyaslanmıştır. Yersel fotogrametri için Yıldız Teknik Üniversitesi Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalının yaptığı Fatih Camii Fotogrametrik Röleve Projesi ve Erzurum Çifte Minareli Medrese minarelerinin yakın resim fotogrametrisi ile değerlendirilmesi, yersel lazer tarama yöntemi için uygulama alanları Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki tarihi çeşmelerden bir tanesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş kampüsündeki Fen Bilimleri Enstitüsü olarak kullanılan Çukursaray'ın ön kısmının modellenmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda ise yakın resim fotogrametrisindeki teknolojik gelişmelerle lazer tarama

yöntemine karşı birtakım üstünlükleri olduğu, lazer tarama aletinin pahalı olması yakın resim fotogrametrisinin ihtiyaç duyduğu gereksinimlerin ise pahalı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.(Yastıklı, 2005)

Uzar ve Ögütçü'nün (2016) yapmış olduğu Sivas'taki Tavra Deresi Kilisesinin yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemiyle ortofotoların oluşturulması ve kıyaslanmasıdır.(Uzar, 2016)

Duran ve ark(2017), 1974 model Volkswagen otomobil üzerinde yapılan bu çalışmada yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yönteminin kullanılarak 3B model elde etme, elde edilen bu 3B modellerin doğruluk analizlerini kıyaslaması üzerine yapılmış bir çalışmadır. (Duran, 2017)

İncekara ve Şeker (2016), İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde yer alan kayaç yüzeylerinin yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemlerinin alan, hacim, doğruluk analizlerinin kıyaslaması ve yöntemlerin birbiri yerine kullanılabilirliği üzerine yapılmış bir çalışmadır. Bu analizler sonucunda her iki yöntem hakkında birbirlerine yakın değerler elde edildiği ve yersel fotogrametrinin teknolojideki gelişmeleriyle yersel lazer taramaya bir takım avantajlarının olduğu tespit edilmiştir. (İncekara, 2016)

### **2.6.1 Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniğinin avantajları**

Yersel fotogrametri yönteminin avantajları

-Eskiden fotoğraf çekimi ve fotoğrafların değerlendirilmesi işlemi çok zor ve maliyetliydi. Günümüzde ise herhangi bir fotoğraf makinesi, fotoğrafların değerlendirilmesi için bilgisayar ve ilgili yazılım yeterli olmaktadır.

-Teknolojinin gelişmesiyle geliştirilen yazılımlarla, fotoğraf makinesinin iç yöneltme parametrelerinin hesaplanması için kalibrasyon kağıdına ihtiyaç duyulmamaktadır. Programlar sayesinde kalibrasyon yapılmadan iç yöneltme işlemleri otomatik olarak hesaplanmaktadır.

-Yersel fotogrametri yönteminde yapılacak olan jeodezik ölçümler artık gerekli durumlarda yapılmaktadır. Yersel fotogrametri yönteminde geliştirilen yazılımlarla üretilen nokta bulutları hassas bir şekilde elde edilebilmektedir. Jeodezik ölçümlerin gerekli durumlarda olması ya da olmaması arazide geçirilecek olan süre, maliyet olarak yapılacak olan işe yansımaktadır.

-Yersel fotogrametri yöntemiyle veriler elde edilirken, modellemesi yapılacak objeye herhangi bir zararı olmaz.

-Yersel fotogrametri yönteminde veriler elde edilirken (jeodezik ölçümler yoksa), fotoğrafların çekimi için bir tane kalifiye elemanın olması yeterlidir.

-Yersel fotogrametride, jeodezik ölçümlerin ihtiyaç duyulmadığında donanım olarak fotoğraf makinesi ve kullanılacak yazılım yeterli olmaktadır.

-Yazılım ve kullanılan donanımlar pahalı değildir ve ekonomiktirler.

Yersel lazer tarama yönteminin avantajları

-Lazer tarama yöntemiyle kısa zamanda lazer tarayıcının özelliğine de bağlı olarak fazla veri elde edilebilir,

-Yersel lazer tarama aletinde seçilen tarama yoğunluğuna göre istenilen hassasiyette veri elde edilebilir.

-Lazer tarama verileri elde edilirken daha az personel kullanılır.

-Lazer tarama etrafına ve modellemesi yapılacak objeye ve insana zarar vermeyen lazer ışını kullanılmaktadır.

-Yersel lazer tarama yöntemiyle elde edilen nokta bulutları istenildiği zaman tekrar değerlendirilebilmektedir.

-Fotoğraflarının çekiminin zor olduğu, jeodezik ölçümlerin yapılmasının güç olduğu yerlerde yersel lazer tarayıcılar yüksek hassasiyette veri elde etmektedir.

## **2.6.2 Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniğinin dezavantajları**

Yersel fotogrametri yönteminin dezavantajları

- Yersel fotogrametride fotoğrafları elde ederken uygun açı altında ve çevresel etmenlere dikkat edilmelidir. Çevresel etmenler ışık, su, ışığın geliş açısı, objenin parlamasına dikkat edilmelidir. Bu faktörler elde edilen fotoğrafların kalitesini etkileyerek doğrudan 3B modelin doğruluğunu etkilemektedir.

- Farklı çözünürlükte kameralar kullanmak modelin doku kalitesini etkilemektedir. Yüksek çözünürlükteki kameralar daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu faktörlerin uygulama alanında incelenmesini İncekara ve Şeker (2016), yapmış olduğu çalışmada yersel fotogrametri yönteminde için kullanılan iki adet farklı çözünürlükte kameralar farklı sonuçlar vermiştir.

- Yersel fotogrametri yönteminde gerektiği durumlarda jeodezik ölçümler, detay ölçümleri yapılmaktadır. Bu da arazide geçirilen zaman ve maliyet olarak artmaktadır.

- Yersel fotogrametride eğer arazide jeodezik ölçüm yapılacaksa ölçüm aletlerini kullanabilen kalifiye elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Verilerin elde edilmesi ve verilerin değerlendirilmesi kısmında da kalifiye elemana ihtiyaç duyulmaktadır.

- Yersel fotogrametride fotoğraflar ve jeodezik ölçümler elde edilirken objenin önünde görüntü alımına engel olabilecek alanlara dikkat edilmelidir. Eğer görüntü ve detay alımına engel durumlar varsa obje tam anlamıyla modellenemez.

- Fotoğraflar elde edilirken doğru yerlerden ve yeterli sayıda fotoğraflar elde edilmelidir. Bunun sebebi gereksiz fotoğraflarla zaman kaybının önüne geçilmesidir.

Yersel lazer tarama yönteminin dezavantajları

- Yersel lazer tarama aletinin ve yazılımlarının pahalı olması.

- Yersel lazer tarama aletini kullanabilecek ve lazer tarama verilerini işleyebilecek kalifiye elemana ihtiyaç olması.

- Lazer taraması yapılacak objenin yüzeyinin pürüzlülüğü, ışığı soğurması ya da yansıtması gibi etmenler veri elde kalitesini etkilemektedir. Karşıdağ ve Alkan'ın (2012) yapmış olduğu çalışma, uygun ölçme koşulları nedeniyle İTÜ Hidrolik laboratuvarında farklı geometrik yüzeylerin 3B modellerini, farklı uzaklıklar, farklı tarama yoğunlukları kullanılmış ve objelerin pürüzlülüğü, ışığı soğurması ya da yansıtması gibi faktörlere dikkat edilerek 3B modelleri elde edilmiştir.

- Lazer tarama yöntemini etkileyen bir diğer faktör ise hava şartları ve ışıktır. Hava şartlarının kötü olması, ışığın yetersiz olması gibi durumlar verilerin kalitesini etkilemekte ve yetersiz veri elde edilmesine sebep olmaktadır.

- Yersel lazer taraması yapılan işin niteliğine, objenin büyüklüğüne ve hassasiyete göre arazide geçirilen zaman değişebilmektedir. Büyük ve hassas objelerin yersel lazer tarama işlemlerinde istasyon noktalarında geçirilen vakit artabilmektedir.

- Lazer taramanın içinde bulundurduğu kamera sayesinde nokta bulutları renklendirilebilmektedir. Eğer lazer tarama dahilindeki kamera yetersiz kalırsa tekrar fotoğraf makinesi ile görüntü alınması gerekebilir.

### 3. ALAN ÇALIŞMASI

#### 3.1.Yazılım Ve Donanım

Yersel lazer tarama için Faro Focus 3D\*120S aleti kullanıldı. Yersel lazer tarama sonucu elde edilen veriler Scene programında işlenerek ortofotoları elde edildi. Yersel lazer tarama sonucu elde edilen verileri 32 GB RAM ve 64 bit işlemcili bilgisayar kullanıldı.

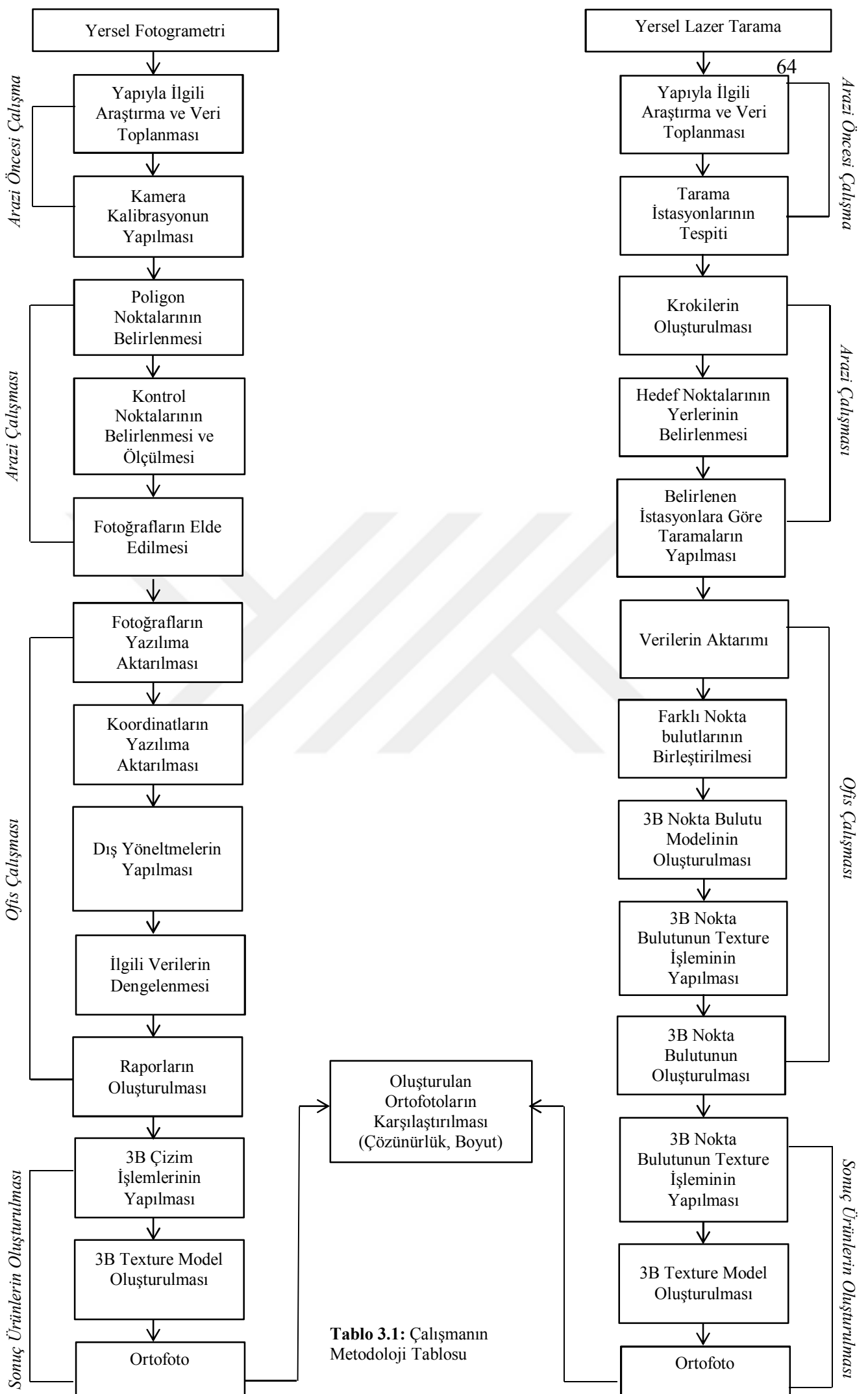
Yersel fotogrametrik modelleme için 18 megapiksel çözünürlükte Canon 700D fotoğraf makinesi kullanıldı. Fotoğraflar 18 mm odak uzaklığında elde edildi. Bina üzerindeki detay noktalarının alımı ise reflektörsüz ölçüm özelliğine sahip Topcon GPT 3007N Total Station aleti kullanıldı. Yersel fotogrametri ile modelleme işleminde, fotoğrafların ve total station verilerinin işlenmesi için PhotoModeler Scanner Programı kullanıldı. Yersel fotogrametriden elde edilen verilerin işlenmesi için de 12 GB RAM ve 64 bit işlemcili bilgisayar kullanıldı.



Şekil 3.1: Saha Çalışmasında Kullanılan Donanımlar

#### 3.2. Saha Çalışmaları

Konya ve Antalya saha çalışmaları olmak üzere iki bölgede uygulama yapıldı. Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yönteminin genel olarak metedoloji tablosu aşağıdaki gibidir.





Metodoloji tablosuna göre ilk olarak saha çalışmaları hakkında bilgi toplandı.

İlk saha çalışması Konya İli Karatay İlçesindeki Osmanlı yakın dönemine ait sivil mimari eserin yersel lazer taraması ve yersel fotogrametri yöntemi ile modellenmesi yapıldı. Osmanlı Döneminde çeşmeler, hanlar, hamamlar, evler sivil mimari kapsamına girmektedir. Tanzimat ile birlikte batılılaşma hareketleri daha da hızlanmış ve mimaride barok, rokoko, neogotik ve amper üslupları etkin olmuştur. Şehir yeni alanlara doğru genişlemeye başlamış ve şehirleşme giderek hızlanmıştır. Mimari kamusal alanda hizmet vermeyi bırakıp bireye hizmet etmeye başlamıştır. Ancak Osmanlı yakın dönem sivil mimari eserlerden pek azı günümüze kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.2: Konya Çalışma Sahasının Konumu ve Uygulama Alanının Resmi

Diğer saha çalışması Antalya İli Gazipaşa İlçesinde Selinus Antik Kentine ait tarihi su kemerinin yersel lazer taraması ve yersel fotogrametri yöntemi ile modellenmesi yapıldı.

Antik Selinus Kenti Antalya İli Gazipaşa İlçesinde yat limanının ve Hacı Musa Çayı'nın güneybatısındaki denize dirsek gibi uzanan bir tepenin üzerinde ve yamacında yer alır. Kentin akrapolü tepeye kurulmuştur. Ayrıca bu tepe üzerinde Orta Çağ Kalesi de yer almaktadır. Akrapol içerisinde kilise ve sarnıç günümüze kadar gelmiş önemli yapılardır. Selinus kentinin diğer yapıları sahilde ve yamaçta yer almaktadır. Bu yapılar arasında hamamlar, agoralar, Selçuklu Köşkü, su kemeri ve Nekrapol alanı bulunmaktadır. Selinus dağlık Klikya bölgesinin en önemli bölgesidir. Roma İmparatorlarından Trijan'ın bu kente ölmesinden dolayı kent bu adı almıştır.



Şekil 3.3: Antalya İli Çalışma Sahasının Konumu ve Uygulama Alanının Resmi

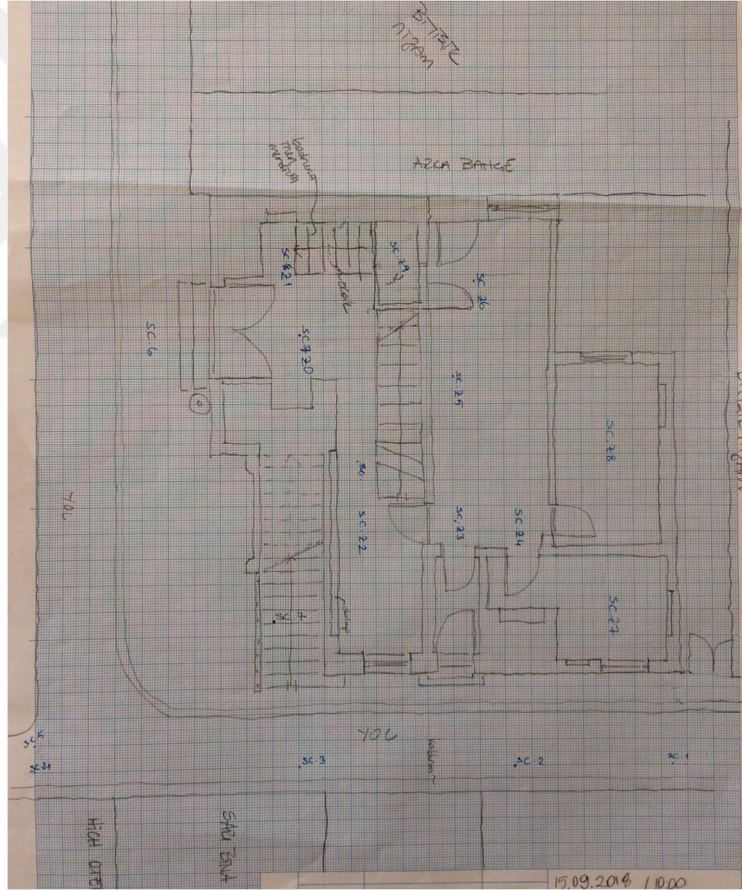
### 3.2.1. Konya saha çalışması

#### Yersel Lazer Tarama İşlem Akışı

Yersel lazer taramada işlem akışı projenin planlanması, arazi işlemleri, verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesi ve sonuç ürünlerinin oluşturulması aşamalarından oluşmaktadır.

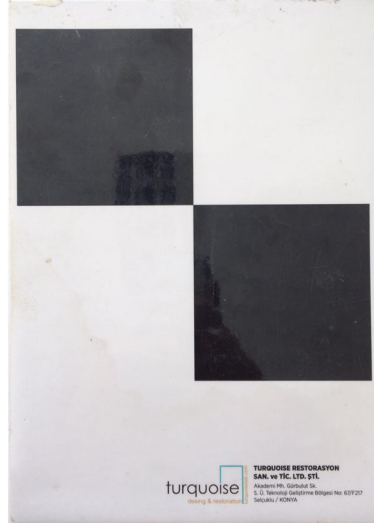
Proje planlamasında ilk saha çalışmamız olan Konya İli Karatay İlçesinde sivil mimari eserin yersel lazer tarama ile 3B modeli üretilmesi hedeflenmiştir. Yersel lazer taramada proje planlamasında Faro Focus 3D\*120S aleti ve Scene yazılımının kullanılması planlanmıştır.

Arazi işlemlerinde, YLT başlamadan önce taraması yapılacak olan eserin tarama istasyonları tespit edildi. Yedi tane istasyon noktası tesis edildi. Tarama istasyonlarının tespitinden sonra çalışma alanının krokisi çıkarıldı.



**Şekil 3.4:** YLT İstasyon Noktaları İçin Oluşturulan Kroki

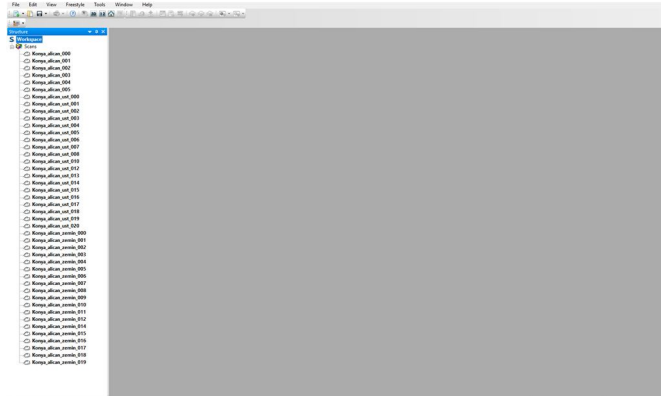
İstasyon noktalarının tespiti ve krokiler çıkarıldıktan sonra hedef noktaları bina üzerine yerleştirildi. Hedef noktaları istasyon noktalarına kurulacak yersel lazer tarama aletinin görüş açısına göre en az üç tane olacak şekilde bina üzerine yerleştirildi.



**Şekil 3.5:** YLT için Kullanılan Hedef Noktası

Arazi işlemlerinde hedef noktalarının yerlerinin tespitinden sonra tarama işlemine başlandı. Tarama işleminde arazi içi ya da arazi dışında çalışmamıza göre tarama için gerekli parametreler girildi. Belirlenen istasyonlardan tarama işlemi başlandı. Her istasyon noktasında yaklaşık 15 dakika tarama işlemi yapıldı. Tarama işlemleri için arazide toplam 105 dakika harcandı. Tarama işleminden sonra arazideki işlemler sonlandı ve ofis kısmına geçildi.

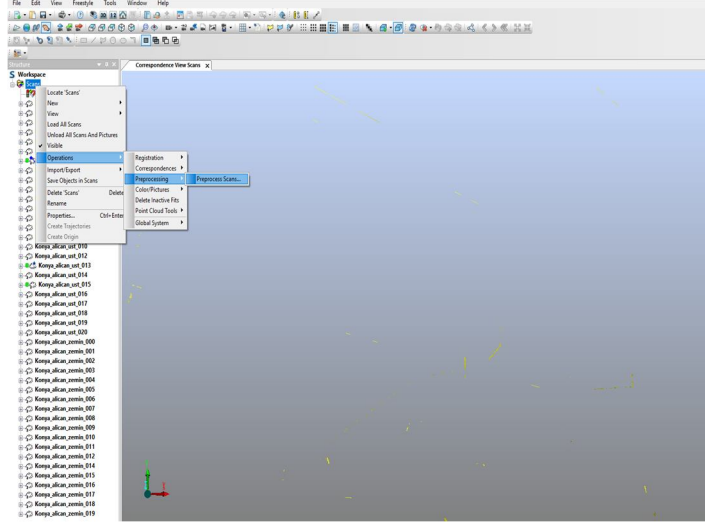
Verilerin değerlendirilmesinde, Konya'daki yersel lazer taraması yapılan binanın verileri 4.97 GB boyutunda, verileri 32 GB RAM ve 64 bit işlemcili bilgisayarda Scene programında işlenmek üzere verilerin aktarımı yapıldı.



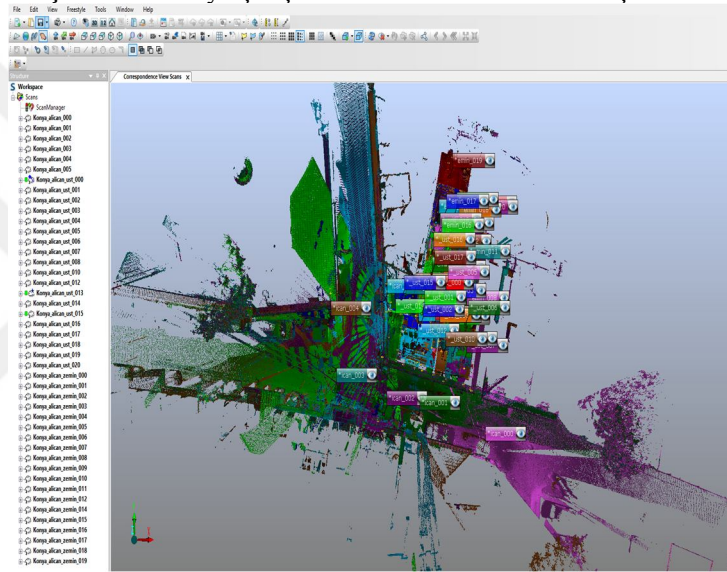
**Şekil 3.6:** Scene Programına Yersel Lazer Tarama Verileri Aktarıldı

Verilerin ön işleme yapıldı. Scene programında 'Operations-Preprocessing-Preprocess Scans' komutları uygulandı. Gerekli parametreler girildi ve tarama istasyonlarına ait nokta bulutları oluştu.



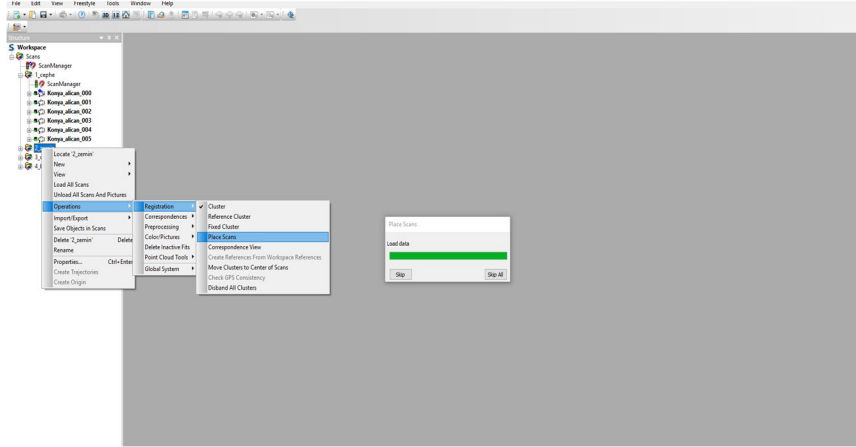


Şekil 3.7: Konya Çalışma Sahası YLT Verilerin Ön İşlemesi

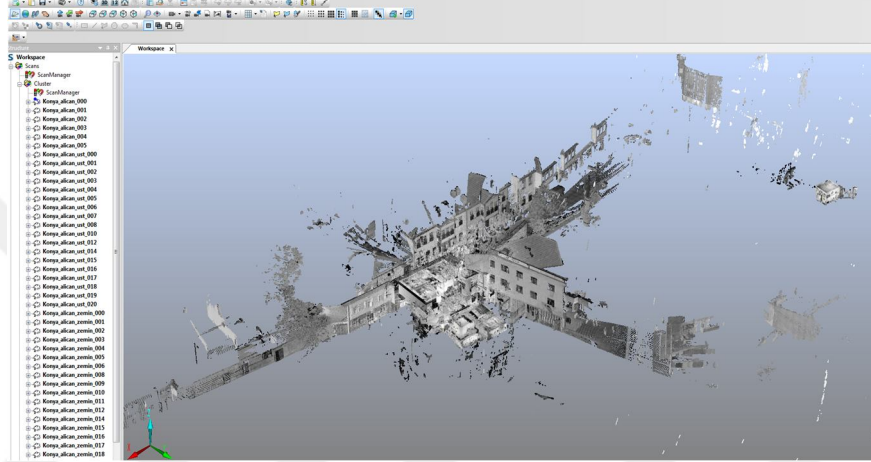


Şekil 3.8: Konya Çalışma Sahası YLT İstasyonlarına Ait Nokta Bulutları

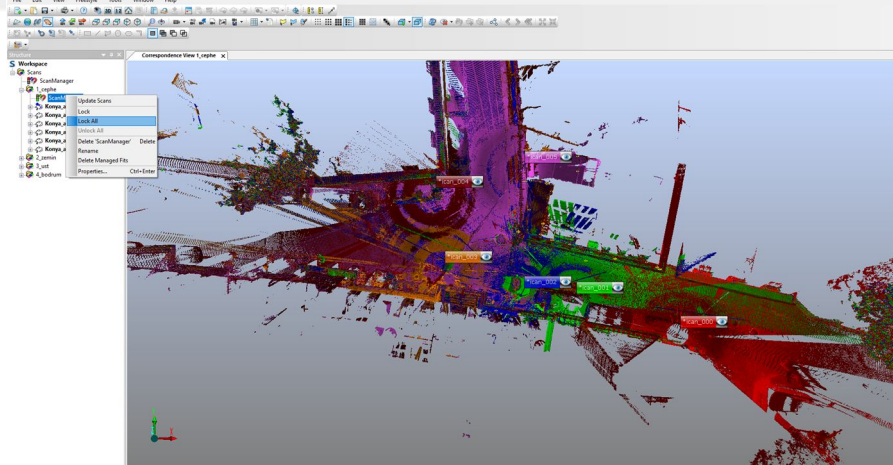
Preprocess işleminden sonra lazer tarama verileri hedef noktalarına göre birleştirildi. Scene programında 'Operations-Registration-Place Scans-Target Based' komutları uygulandı. Birleştirme işlemlerinde hedef noktalarını (target) görmeyen yerler için manuel olarak hedef noktası atıldı ve hedef noktaların göre birleştirme komutları tekrarlandı. Ayrı ayrı olan nokta bulutları birleştirme işlemi sonucunda tek bir nokta bulutu haline geldi.



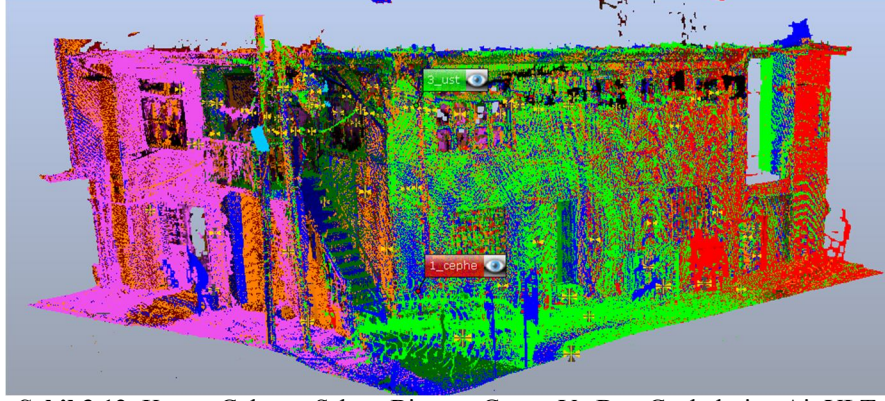
Şekil 3.9: Konya Çalışma Sahası YLT İstasyonlarına Ait Birleştirme Parametreleri



Şekil 3.10: Konya Çalışma Sahası YLT İstasyonlarının Birleşmeyen Kısımları



Şekil 3.11: Konya Çalışma Sahası YLT Verilerinin Tek Nokta Bulutuna Dönüşmüş Hali  
Lazer tarama verileri hedef noktalarına (Target Based) göre birleştirildikten sonra nokta bulutuna(Cloud to Cloud) göre konumlandırıldı. Scene programında 'Operations-Registration-Place Scans - Cloud to Cloud' komutları uygulandı.



**Şekil 3.12:** Konya Çalışma Sahası Binanın Güney Ve Batı Cephelerine Ait YLT Verileri Nokta bulutunun, yersel lazer tarama aletinde mevcut olan kamera ile taraması yapılan alanların renklendirilmesi yapıldı. Scene programında ‘Operations-Color Pictures-Apply Pictures’ komutları uygulandı ve yersel lazer tarama nokta bulutunun renklendirilme işlemi tamamlandı.



**Şekil 3.13:** Konya Çalışma Sahası Yersel Lazer Taramanın Renklendirilmiş Hali Konya sahasında yersel lazer tarama işleminin sonuç ürünlerinin elde edilmesinde, Binanın yersel lazer taramadaki işlemlerinden sonra binanın güney ve batı cephelerine ait ortofotoları çıkarıldı. ‘Create orthophoto’ komutu ile ‘tif’ formatında ortofotolar elde edildi.



Binanın Batı cephesine ait 1/100 ölçekli 989\*611 piksel boyutlarında ortofotosu elde edilmiştir.



Şekil 3.14: Konya Çalışma Sahası Yersel Lazer Tarama İle Binanın Batı Cephesine Ait Ortofotosu

Binanın Güney cephesine ait 1/100 ölçekli 1098\*662 piksel boyutlarında ortofotosu elde edilmiştir.



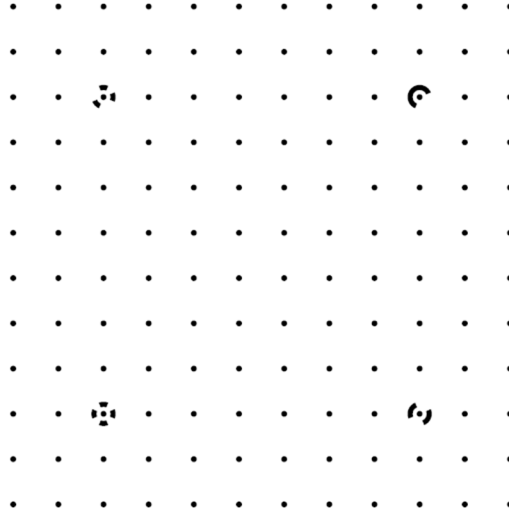
Şekil 3.15: Konya Çalışma Sahası Yersel Lazer Tarama İle Binanın Güney Cephesine Ait Ortofotosu

Konya Sahası yersel fotogrametri ile yapılan işlem akışı ise;

Konya sahası yersel fotogrametri uygulamasında genel iş akışı projenin planlanması, verilerin elde edilmesi, arazi işlemleri, verilerin değerlendirilmesi ve sonuç ürünlerin oluşturulması şeklindedir. Konya İli Karatay İlçesinde sivil mimari eser seçilmiş ve proje planlanması yapılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan aletler reflektörsüz ölçüm yapabilen Topcon GPT3007N total station aleti, 18 mp Canon 700D fotoğraf makinesi ve PhotoModeler Scanner yazılımı olarak belirlenmiştir.

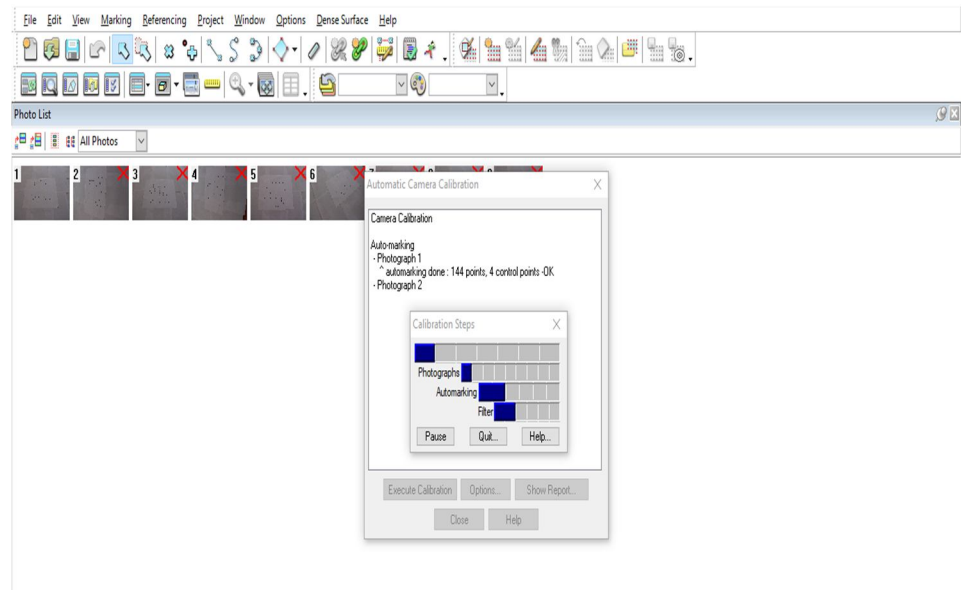


Verilerin elde edilmesinde ilk olarak yersel fotogrametri yönteminde kalibrasyon işlemi için kalibrasyon kağıdı ve Canon 700D fotoğraf makinesi kullanıldı. Kalibrasyon kağıdının fotoğrafları çekilirken normal ışık altında, flaş kullanılmadan fotoğraf çekilmesine dikkat edilmiştir. Fotoğraf makinesi 18 mm odak uzaklığında, fotoğraflar çekilirken zoom yapılmadan kalibrasyon ve çalışma sahalarının fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 3.16: Kalibrasyon Kağıdı

Kalibrasyon kağıdına eşit uzaklıkta durularak kamera 90 derece çevrilerek kağıdın her kenarından fotoğrafları çekilmiştir. Kalibrasyon kağıdının fotoğraflarının çekimi sonucunda 9 tane kalibrasyon fotoğrafı elde edilmiştir ve PhotoModeler Scanner programında kalibrasyon projesi için işleme sokulmuştur. Kalibrasyon sonucunda elde edilen hata, hata sınırları içinde olduğu için fotoğraf makinesine ait kalibrasyonu kütüphaneye Canon 700D adı altında kaydedilmiştir. Fotoğraf makinesine ait kalibrasyon raporu ise EK.3'te sunulmaktadır.



Şekil 3.17: PhotoModeler Scanner Programında Kalibrasyon Projesi

Kalibrasyon yapıldıktan sonra fotoğraf makinesi ile binanın fotoğrafları elde edildi. Fotoğraflar çekilirken dikkat edilenler ise;

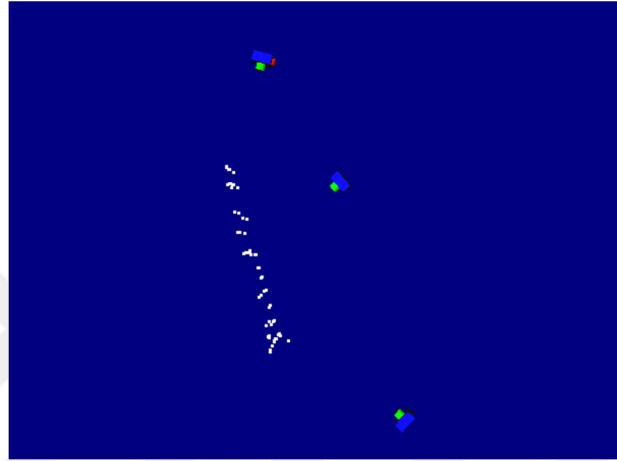
Çalışmaya yönelik uygun fotoğraf makinesi belirlendi.

Fotoğrafa makinesinin odak uzaklığı sabit tutuldu.

Fotoğrafların çekileceği zaman belirlendi. Güneş ışınından dolayı oluşabilecek yansımaların önlenmesi için.

Fotoğraflar elde edilirken enine ve boyuna bindirme oranlarına dikkat edildi.

Bina cephelerine eşit uzaklıkta olacak şekilde fotoğraflar elde edilmeye çalışıldı.



**Şekil 3.18:** Konya Çalışma Sahası PhotoModeler Scanner Programında Güney Cephesine Ait Fotoğrafların Çekim Konumu

Konya çalışmasında bina cepheleri Güney ve Batı cepheleri olmak üzere iki kısımda ele alındı. Yersel fotogrametri projesinde ilk olarak iç yöneltme işlemi yapıldı. İç Yöneltme işleminde ise önceden yapmış olduğumuz Canon 700D fotoğraf makinesinin kalibrasyon parametrelerini PhotoModeler Scanner programına aktardık.

Kalibrasyon ve fotoğraf çekim işlemleri tamamlandıktan sonra arazi işlemleri için jeodezik ölçümler yapıldı. Daha sonra modelin koordinatlandırma işlemi, nokta hassasiyetleri ve karesel ortalama hatanın hesaplanması için binanın Güney ve Batı cephelerinde toplamda 30 tane noktanın jeodezik ölçümü yapılmıştır. 30 noktanın alımı yapılırken bina yüzeyinde belirgin hedefler (kapı, pencere köşelerinin jeodezik ölçümleri yapılmıştır) olduğu için target yapıştırılmamıştır. Detay noktalarının alımı için reflektörsüz ölçüm yapabilen Topcon GPT3007N total station aleti kullanılmıştır. Elde edilen jeodezik noktalar EK.4'te sunulmuştur ve dış yöneltme işlemleri için ölçmüş olduğumuz jeodezik koordinatlar projeye aktarıldı.

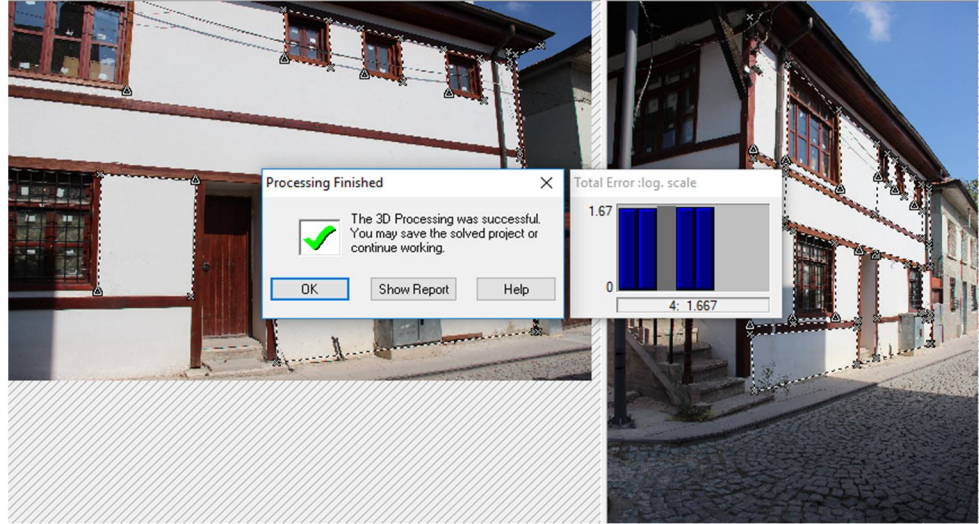


Şekil3.19: Konya Çalışma Sahası Batı Cephesine Ait Jeodezik Ölçümlerin Krokisi

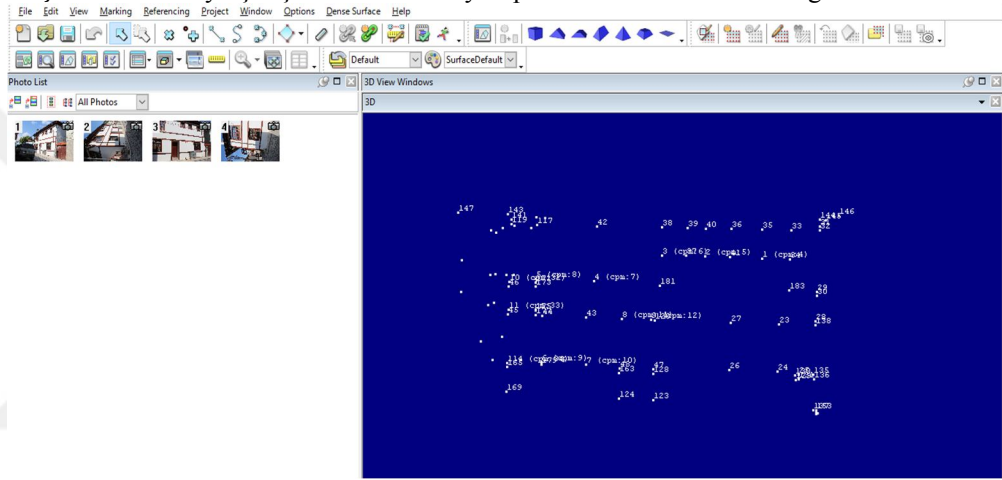


Şekil3.20: Konya Çalışma Sahası Güney Cephesine Ait Jeodezik Ölçümlerin Krokisi

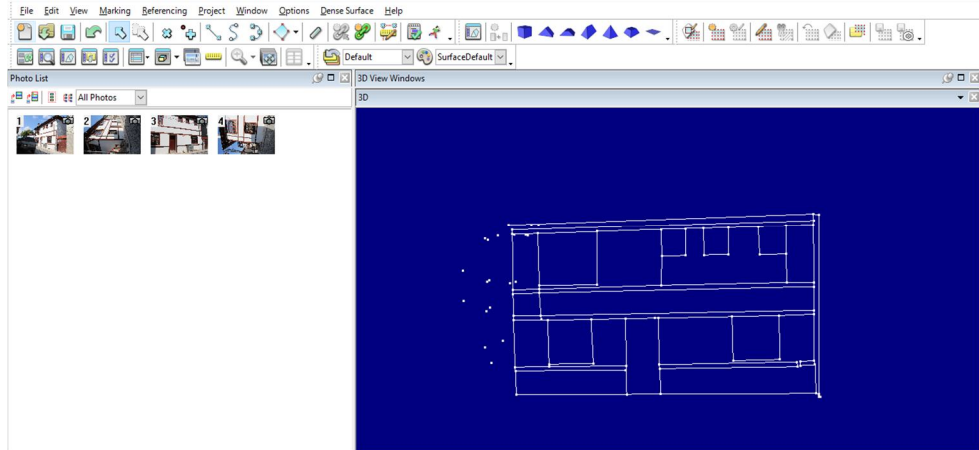
Verilerin değerlendirilmesi işleminde PhotoModeler Scanner programı kullanıldı. Güney Cephesi için Güney cephesine ait toplamda dört adet fotoğrafa arazide ölçmüş olduğumuz kontrol noktaları ilgili fotoğraflarda işaretlenmiştir. Fotoğraflar üzerinde kontrol noktaları birbirleriyle eşleme (refecence mode) işlemi tamamlandı ve dengeleme işlemine sokuldu. Dengeleme sonucunda 1.667 piksel hata oranı ile güney cephesine ait üç boyutlu noktalar oluştu.



Şekil3.21: Konya Çalışma Sahası Güney Cephesine Ait Noktaların Dengeleme Sonucu

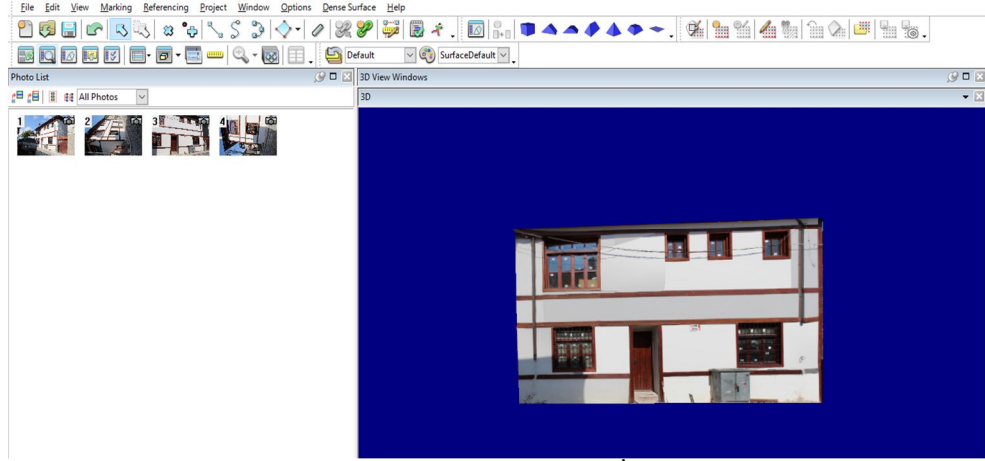


Şekil 3.22: Konya Çalışma Sahası Güney Cephesine Ait 3B Noktalar Oluşturdu  
3B noktaların çizim işlemleri ve çizimlere ait texture işlemleri yapıldı.



Şekil 3.23: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Güney Cephesine Ait Çizim İşlemleri





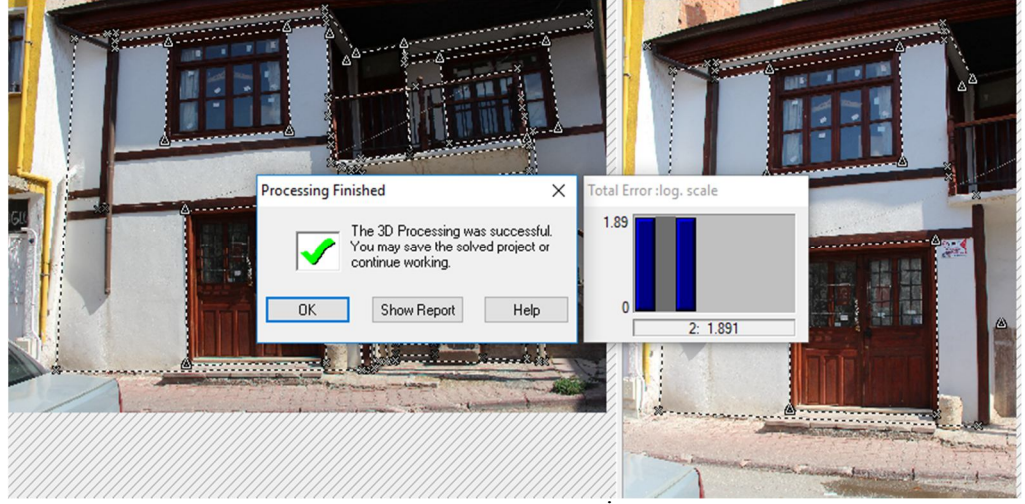
**Şekil 3.24:** Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Güney Cephesine Ait Texture İşlemleri

Binanın Güney Cephesine ait texture işlemi yapıldıktan sonra sonuç ürünlerinin elde edilmesine geçildi. Yersel fotogrametri yöntemiyle Güney Cephesinin 512\*251 piksel boyutlarında ortofotosu elde edilmiştir.

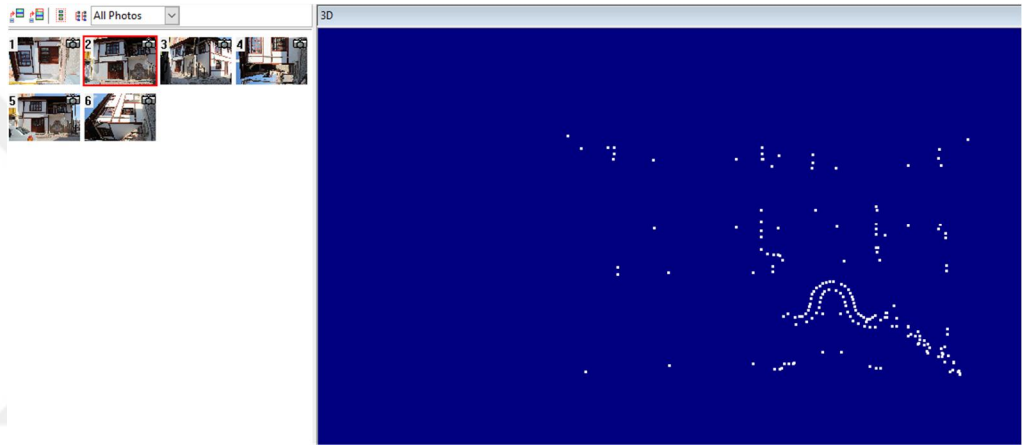


**Şekil 3.25:** Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Güney Cephesine Ait Ortofoto

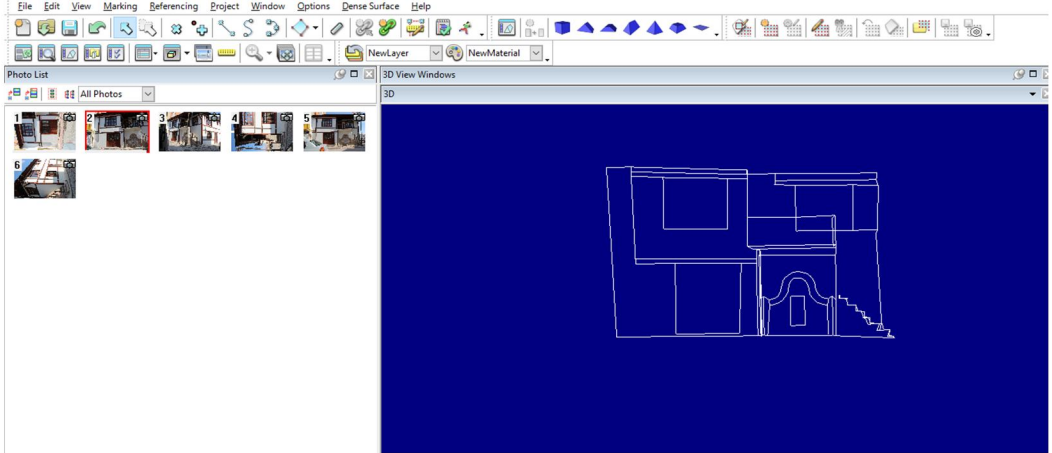
Yersel fotogrametride, Güney Cephesinde uygulanan işlem adımlarının hepsi Batı Cephesi içinde uygulandı. Batı cephesinde toplamda yersel fotogrametri için altı tane fotoğraf kullanıldı. Fotoğraflar üzerinde Şekil 3.12 deki jeodezik koordinatlar fotoğraflar üzerinde işaretlendi ve dengeleme hatası 1.891 piksel olarak elde edildi. 3B noktalar elde edildi ve noktalar yardımıyla binanın çizim ve texture işlemleri yapıldı.



Şekil 3.26: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Batı Cephesine Dengeleme Hatası



Şekil 3.27: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Batı Cephesine Ait 3B Noktaları



Şekil 3.28: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Batı Cephesine Ait Çizim İşlemleri



Şekil 3.29: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Batı Cephesine Ait Texture İşlemleri

Çizim ve texture işleminden sonra batı cephesine ait 512\*316 piksel boyutlarında ortofotosu elde edildi.



Şekil 3.30: Konya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri İle Binanın Batı Cephesine Ait Ortofotosu

### 3.2.2. Antalya Saha Çalışması

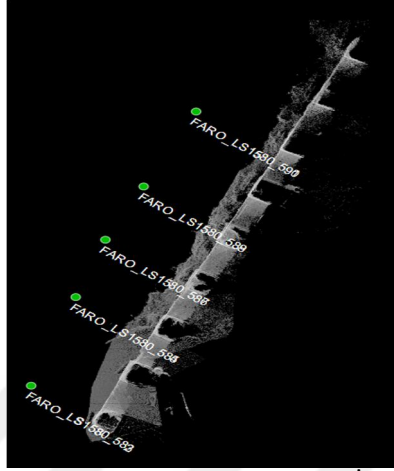
Yersel lazer taramada işlem akışı Konya çalışma sahasında uyguladığımız gibi, projenin planlanması, arazi işlemleri, verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesi ve sonuç ürünlerinin oluşturulması aşamalarından oluşmaktadır.

Projenin planlanmasında ikinci çalışma sahası olan Antalya çalışma sahasına göre planlandı. Faro Focus 3D\*120S lazer tarama aleti kullanıldı.

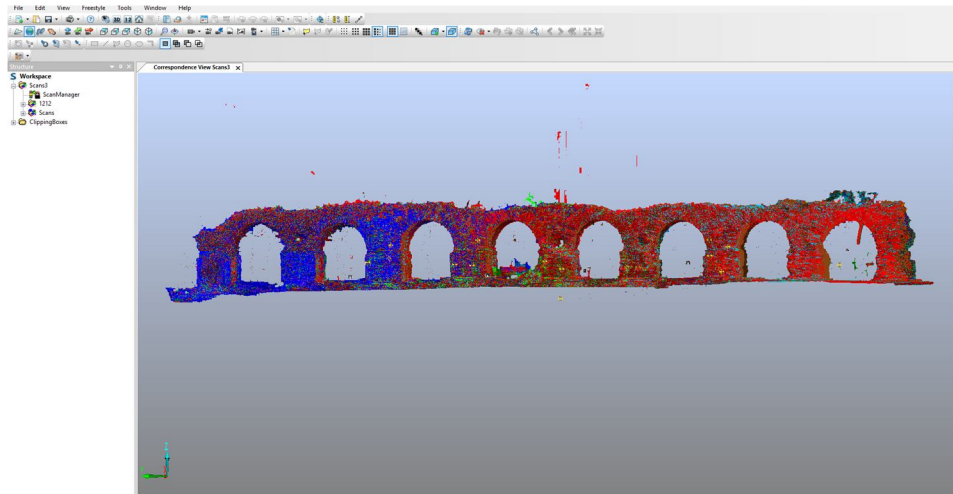
Proje planlanmasından sonra arazi işlemlerinde istasyon noktalarının tesisi yapıldı. Selinus antik kentine ait su kemerinin Güney-Batı cephesinin yersel lazer tarama ile modellenmesi için beş adet istasyon noktası tespit edildi. Yine istasyon



noktalarına göre en az üç tane hedef noktasını lazer tarama aleti görece şekilde targetlar su kemeri üzerine yerleştirildi. Her istasyon noktasında tarama işlemi yaklaşık 15 dakika sürdü. Toplamda arazide tarama için yaklaşık 75 dakika sürdü. Arazi verileri elde edildikten sonra veri aktarımı ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmak üzere ofis kısmına geçildi.

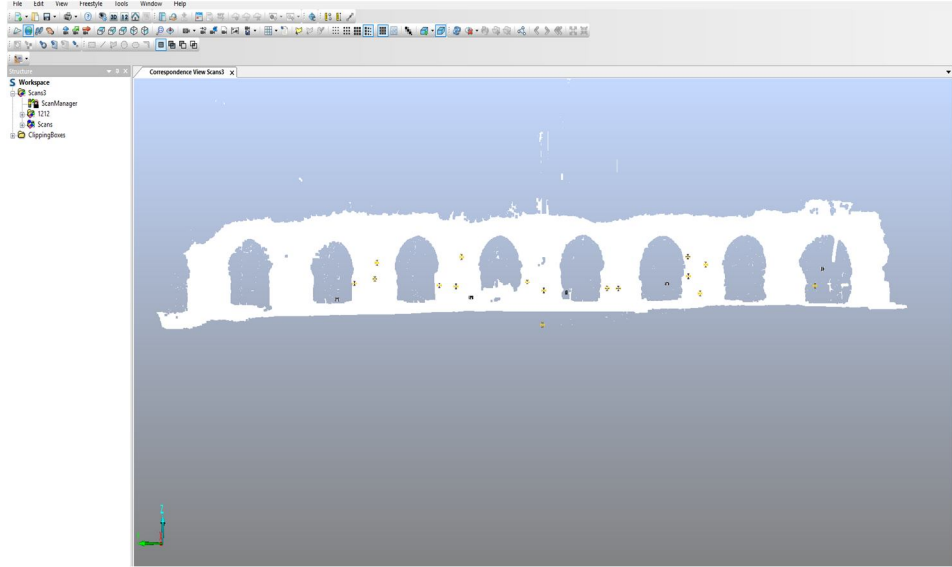


**Şekil 3.31:** Antalya Çalışma Sahası Yersel Lazer Tarama İstasyon Noktalarının Tespiti Verilerin değerlendirilmesinde Scene programı kullanıldı. Konya yersel lazer tarama çalışmasında uygulanan işlem adımları Antalya sahası için de uygulandı. Arazide elde edilen veriler programa aktarıldı ve tarama istasyonlarına ait nokta bulutları oluşturuldu. Nokta bulutları tek bir nokta bulutuna haline getirildi.

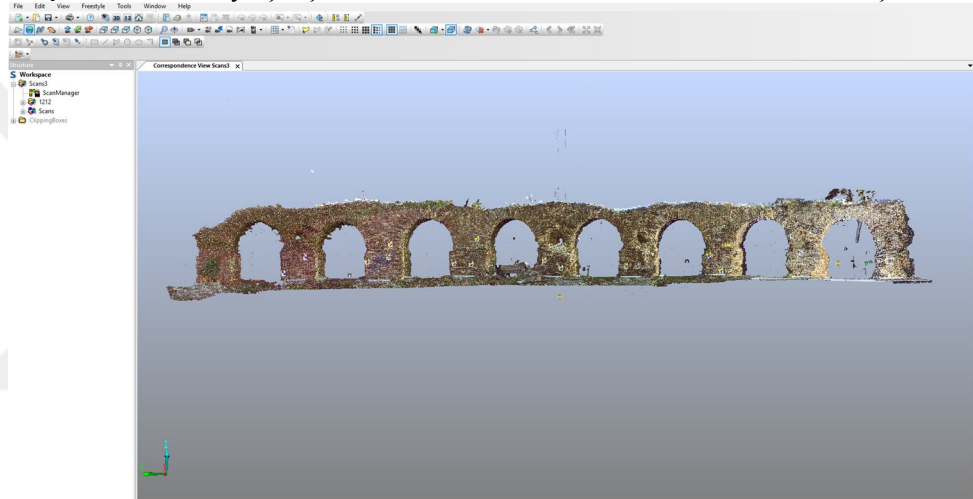


**Şekil 3.32:** Antalya Çalışma Sahası YLT Verilerinin Tek Bir Nokta Bulutu Haline Dönüştürülmesi

Nokta bulutu, lazer taramanın içinde barındırdığı fotoğraf makinesi ile renklendirilmesi yapıldı.



**Şekil 3.33:** Antalya Çalışma Sahası YLT Nokta Bulutunun Renklendirilmemiş Hali



**Şekil 3.34:** Antalya Çalışma Sahası YLT Nokta Bulutunun Renklendirilmiş Hali

Sonuç ürünlerinin oluşturulmasında ise Scene programında işlenen verilerden 1/100 ölçeğinde 4130 x 571 boyutlarında ortofoto elde edildi.

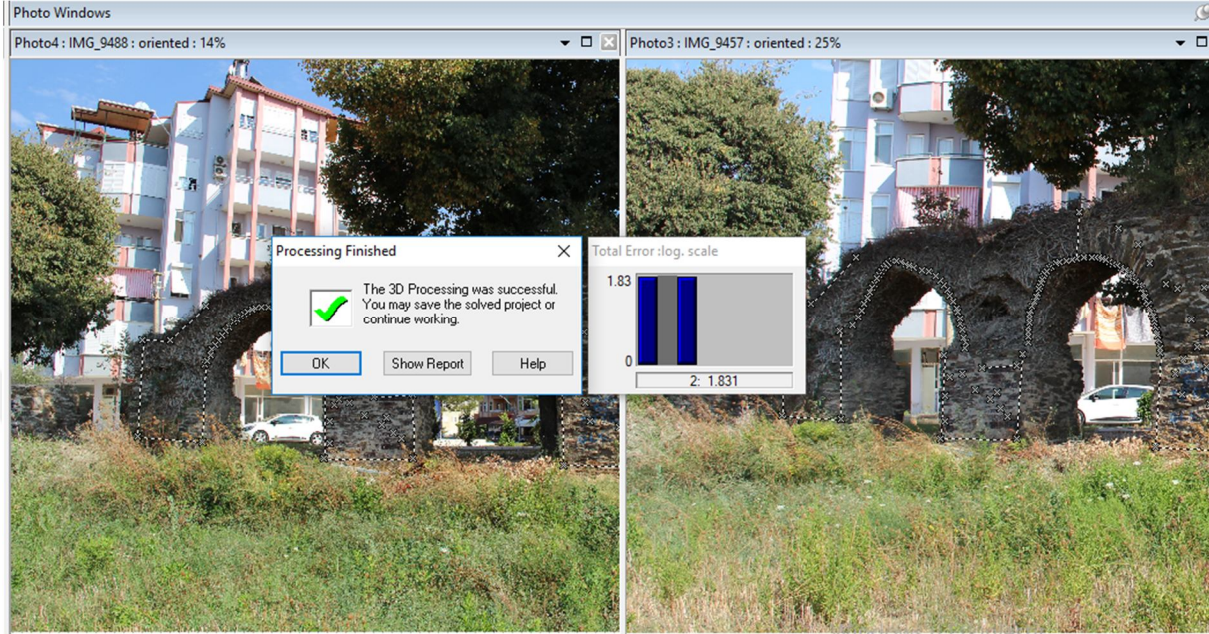


**Şekil 3.35:** Antalya Çalışma Sahası YLT Sonucu Elde Edilen Ortofoto  
Yersel Fotogrametri Yöntemi İle Yapılan Modelleme

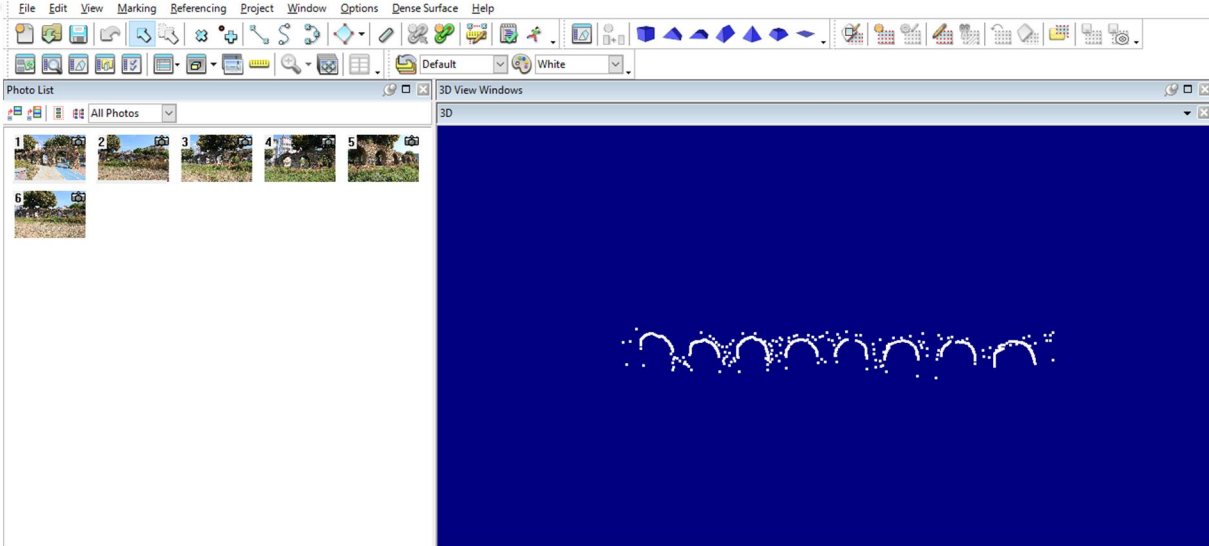
Su kemerinin yersel fotogrametri yöntemi ile modellenmesinde daha önce Konya saha çalışmasında kullanmış olduğumuz Canon 700D fotoğraf makinesi kullanıldı. Fotoğraf makinesinin kalibrasyon ayarları PhotoModeler Scanner programına tanıtıldı ve iç yöneltme işlemi yapıldı. İç yöneltme işleminden sonra fotoğraflara dış yöneltme işlemi yapıldı. Antalya saha çalışmasında toplamda altı adet fotoğraf kullanılmıştır. Fotoğraflar elde edilirken yine Konya sahasında olduğu gibi

fotoğraflar çekilirken, odak uzaklığı sabitlendi, zoom yapılmadı ve çevresel faktörler gibi hususlara dikkat edilerek fotoğraflar elde edildi.

Antalya saha çalışmasında jeodezik olarak detay alımı gerçekleştirilmediği için fotoğraflar üzerinden manuel olarak nokta atımı yapıldı ve 1.831 piksel dengeleme hatası ile 3B noktalar elde edildi.



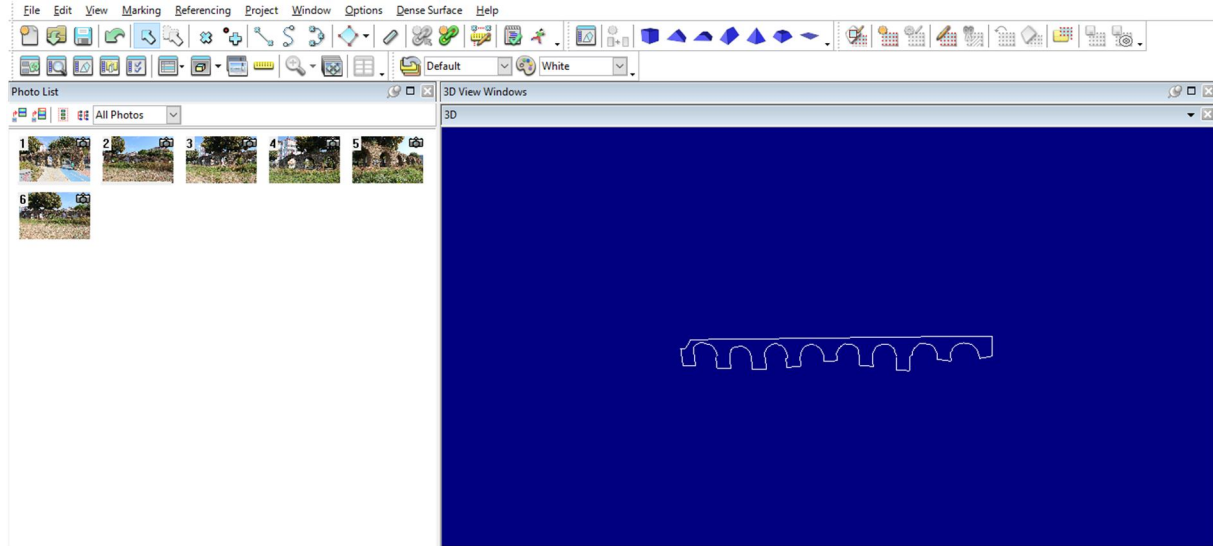
**Şekil 3.36:** Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Yöntemiyle Noktaların Dengeleme Sonucu



**Şekil 3.37:** Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Yöntemiyle Üretilmiş 3B Noktaları

3B noktalar elde edildikten sonra çizim işlemleri yapıldı.

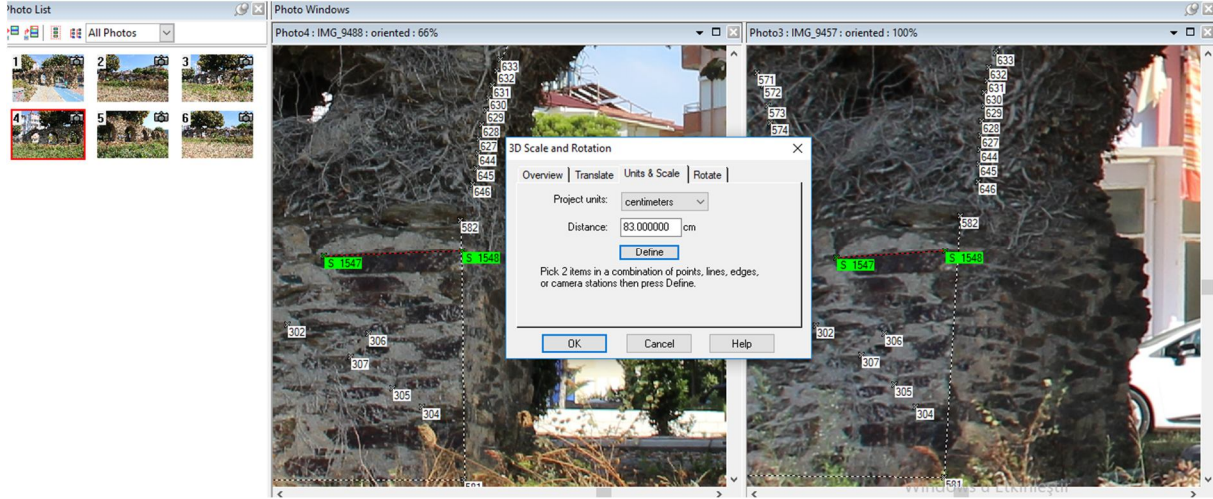




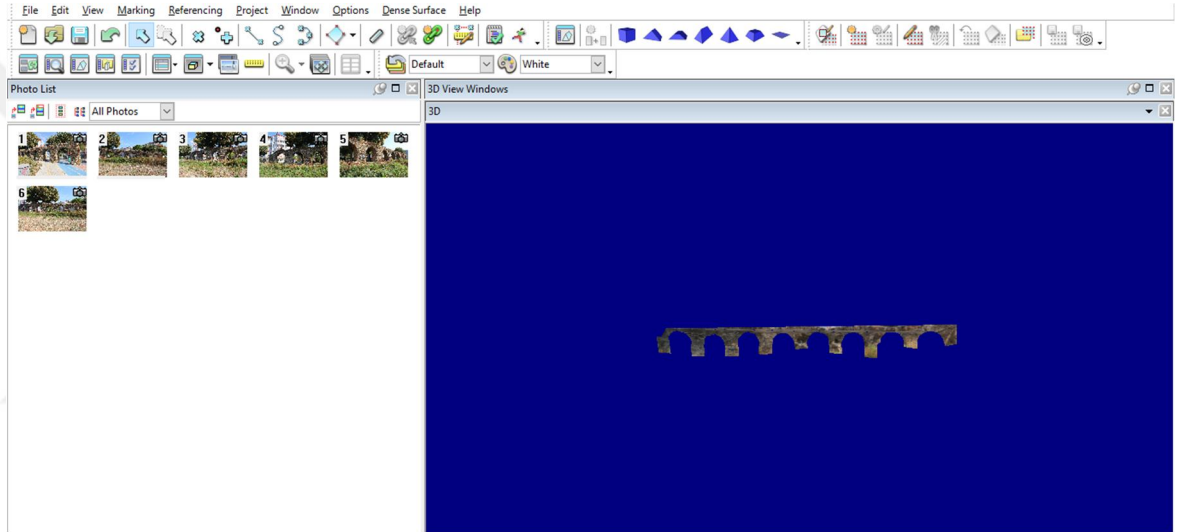
**Şekil 3.38:** Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Yönteminin Çizim İşlemleri  
Antalya çalışma sahasında çizim işlemlerinden sonra projenin ölçeklendirilmesi yapıldı. PhotoModeler Scanner programında üretilen '1547 ve 1548' 3B noktalarının arazideki karşılığı 83 cm olarak ölçülmüştür. PhotoModeler Scanner programında 3D Scale ve Rotation modülünden Units&Scale komutuna girilerek projenin ölçeklenmesi yapılmıştır.



**Şekil 3.39:** Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Noktalarının Arazideki Uzunluğu



Şekil 3.40: Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Yönteminin Ölçeklendirilmesi  
Ölçeklendirme işleminden sonra projenin texture yapılmıştır.



Şekil 3.41: Antalya Çalışma Sahası Yersel Fotogrametri Yönteminin Çizim İşlemleri  
Çizim, ölçekleme ve texture işlemlerinden sonra sonuç ürünü olarak 512\*60  
piksel boyutlarında su kemerinin ortofotosu elde edildi.



Şekil 3.40: Antalya Çalışma Sahası Su Kemerinin Yersel Fotogrametrik Yöntemle Elde Edilen  
Ortofotosu

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA





Konya ve Antalya olmak üzere iki çalışma sahası bulunmakla birlikte, her iki çalışma sahasının çalışma yüzeyleri birbirinden bağımsızdır.

Yersel fotogrametri yöntemi ile yapılan çalışmalarda, modellerin 3B oluşturulması için Canon 700D fotoğraf makinesi ve PhotoModeler Scanner yazılımı kullanılmıştır. Yersel fotogrametride fotoğraflar elde edilmeden önce fotoğraf makinesinin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon ortalama hata değeri 0.168 piksel olarak elde edilmiştir. Yersel fotogrametrik modelleme yapılırken PhotoModeler Scanner programında fotoğraflar üzerinden manuel noktalar atılmıştır. Yersel fotogrametrik modellemede Konya sahasında jeodezik ölçümler yapılmıştır. Yersel fotogrametri yönteminde de her iki çalışma sahasında ortalama verilerin elde edilmesinde ve değerlendirilmesinde süreler yakınlık göstermektedir.

Yersel lazer tarama çalışmaları ise her iki bölge içinde çalışma süreleri verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesi bakımından birbirine yakınlık göstermektedir.

Genel olarak çalışma sonuçları ise;



Konya Örneği yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama verilerinin karşılaştırılması;

Yazılım	Yersel Fotogrametri		Yersel Lazer Tarama	
	PhotoModeler Scanner		Scene	
<i>Fiyat</i>	2995 Dolar		5500 Avro	
Donanım	12 GB RAM 64 bit işlemcili		32 GB RAM ve 64 bit işlemcili	
Arazide Veri Elde Etme Süresi (Kişi*Saat)	1*2		1*2:45	
Ofiste Veri Elde Etme Süresi (Kişi*Saat)	1*6		1*12	
Ortofoto	Güney Cephesi	Batı Cephesi	Güney Cephesi	Batı Cephesi
				
Orotfoto Çözünürlük (yatay*dikey çözünürlük dpi)	150*150	150*150	3*3	3*3
Ortofoto Boyut (genişlik*yükseklik piksel)	512*251	512*316	1098*662	989*611
3B Modelin Hata Payı (piksel /m)	1.703 piksel	1.756 piksel	0.0040m	0.0040m
3B Modelin Nokta Hassasiyetleri(m)	0.00909	0.0637	0.0040	0.0040

**Tablo 4:** Konya Örneği Yersel Fotogrametri Ve Yersel Lazer Tarama Verilerinin Karşılaştırılması



Antalya Örneği yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama verilerinin karşılaştırılması;

	Yersel Fotogrametri	Yersel Lazer Tarama
Yazılım	PhotoModeler Scanner	Scene
Fiyat	2995 Dolar	5500 Avro
Donanım	12 GB RAM 64 bit işlemcili	32 GB RAM ve 64 bit işlemcili
Arazide Veri Elde Etme Süresi (Kişi*Saat)	1*1	1*2:15
Ofiste Veri Elde Etme Süresi (Kişi*Saat)	1*8	1*12
Ortofoto		
Orotfoto Çözünürlük (yatay*dikey çözünürlük dpi)	150*150	3*3
Ortofoto Boyut (genişlik*yükseklik piksel)	512*60	4130*571
3B Modelin Hata Payı (piksel /m)	1.434 piksel	0.0115 m
3B Modelin Nokta Hassasiyetleri (m)	0.0475	0.00115

**Tablo 4.2:** Antalya Örneği Yersel Fotogrametri Ve Yersel Lazer Tarama Verilerinin Karşılaştırılması

#### *Yersel Fotogrametri Çalışmalarının Karşılaştırılması;*

Çalışma kapsamında Yersel fotogrametri yöntemi ile yapılan çalışmalarda, modellerin 3B oluşturulması için Canon 700D fotoğraf makinesi ve PhotoModeler Scanner yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca Konya çalışması için binanın jeodezik koordinatlarının alımı yapılmıştır ve fotoğraflar elde edilmeden önce fotoğraf makinesinin kalibrasyonu yapılmıştır. Fotogrametrik modelleme yapılırken PhotoModeler Scanner programında Konya saha çalışmasında ilk olarak elde edilen jeodezik veriler programa aktarıldı. Daha sonra ise jeodezik noktaların yeri fotoğraflar üzerinden işaretlendi. Antalya çalışmasında ise jeodezik ölçümler olmayıp sadece fotoğraflar üzerinden manuel noktalar atılmıştır.

Fotoğraf üzerinde manuel nokta atılırken, modellemesi yapılacak objenin karmaşıklığına da bağlı olarak kaba hata yapma olasılığımız yüksektir. Antalya Gazipaşa'daki tarihi su kemerinin fotogrametrik modellenmesinde obje karmaşıklığından dolayı kaba hata payı yüksektir. Konya örneği ise düzgün bir yüzeye

sahiptir. Hata payını en aza indirmek için fotoğraflar fotogrametrinin fotografik kurallarına göre elde edilmiştir.

Her iki çalışma sahasında fotoğraflar elde edilirken obje önünde görüntü alımını engelleyici faktörlerin azaltılmasına dikkat edilmiştir.

Yersel fotogrametrik modellemede her iki saha çalışmasında da birbirine yakın süreler geçirilmiştir. Konya örneğinde jeodezik ölçümler olması nedeniyle sahada geçirilen süre uzamıştır.

Antalya çalışma sahasında obje yüzeyi karmaşık olduğu için ofiste geçirilen süre uzamıştır. Konya çalışma sahasında ise batı cephesi karmaşık bir yapıda olduğu için, güney cephesine göre daha uzun sürede modellenmiştir.

Genel olarak Antalya ve Konya örneklerinde yersel fotogrametride arazi, ofis, iş gücü yaklaşık olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir.

#### *Yersel Lazer Tarama Çalışmalarının Karşılaştırılması;*

Her iki çalışma sahasının yersel lazer tarama çalışmalarında ise ilk olarak tarama istasyonları tespit edildi, krokiler oluşturuldu ve hedef noktaları (target) taraması yapılacak objenin üzerine yapıştırılmıştır. Bu işlemler Antalya ve konya sahalarında yaklaşık olarak bir saat sürmüştür. Arazi ön işlemleri bittikten sonra lazer tarama işlemi yapıldı. Konya çalışma sahasında 7 istasyon, Antalya'da ise 5 istasyondan taramalar yapılmıştır. Her tarama istasyonunda ortalama 15 dakika harcanmıştır. Çalışma sahalarının büyüklüğüne bağlı olarak toplamda Konya'da 2 saat 45 dakika, Antalya'da ise 2 saat 15 dakika geçirilmiştir. Sonuç olarak her iki çalışma alanında geçirilen süreçlerin yersel fotogrametrik yöntemdekine benzer olarak yaklaşık olduğu görülmektedir.

Arazi işlemlerinden sonra ofis kısmına geçildi ve veriler işlenmek üzere Scene programına aktarıldı. Elde edilen veri dosyalarının büyüklüğüne bağlı olarak ofiste geçirilen süre, iş gücünün birbirine yakın olduğu görülmektedir.

#### *Yersel Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarama Yöntemlerinin Kıyaslanması*

Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemlerinin her ikisi de obje üzerinde herhangi bir zarar vermemiştir.

Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılan yazılım ve donanım olarak kıyaslandığında, yersel fotogrametri yersel lazer tarama yöntemine göre daha ekonomiktir. Yersel fotogrametide donanım olarak eğer jeodezik ölçüm yapılacaksa reflektörsüz ölçüm yapabilen herhangi bir total station, fotoğraf makinesi, yazılım ve bilgisayar yeterli olmaktadır. Eğer jeodezik ölçüm yapılmayacaksa sadece

fotoğraf makinesi, yazılım ve bilgisayar yeterli olmaktadır. Yersel lazer taramada ise yersel lazer tarama aleti, yazılım ve bilgisayar yeterli olmaktadır.

Yersel fotogrametri ve yersel lazer taramada arazi ve ofiste geçirilen süre, iş gücü yersel fotogrametride daha kısadır.

Her iki yöntemde elde edilen ortofotoların çözünürlük, boyut ve hassasiyetleri kıyaslandı. Ortofotoların her iki çalışma sahasındaki çözünürlükleri yersel fotogrametri ile elde edilen ortofotoların çözünürlükleri yersel lazer taramaya göre daha iyi kalitedir. Bunun nedeni ise yersel lazer tarama verilerinin nokta olarak ortofotosu elde edilmiş, Konya çalışmasında ise çizimlere texture yapılarak elde edilmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Ortofotoların boyutları her iki yöntemde kıyaslandığında ise yersel lazer taramadan elde edilen ortofotoların boyutlarının daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

3B noktaların hassasiyetleri ise her iki çalışma alanında yersel lazer tarama verileri daha hassas olduğu tespit edilmiştir. Konya çalışmasında yersel fotogrametrik çalışmada güney cephesi, batı cephesine göre hassas olduğu, yersel lazer ile yapılan güney ve batı cepheleri ise yersel fotogrametriye göre hassas olduğu tespit edilmiştir.

Yersel lazer tarama verilerinden elde edilen sonuç ürünlerinin daha güvenilir ve sağlıklıdır. Ancak Konya saha çalışmasının güney cephesi düzgün bir yüzey olduğu için 3B modellenmesinde yersel lazer tarama yöntemi yerine yersel fotogrametri yöntemi tercih edilebilir.

## **5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Kültürel mirasın belgelenmesi gerekliliği geçmişten günümüze kadar süregelen bir olgudur. Kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında eserde meydana gelebilecek herhangi bir deformasyon, yıkılma gibi durumlar belgeleme çalışmalarının gerekliliğinin göstermekte ve eser sanal olarak kayıt altına alınmış olmaktadır. Kültürel mirasın belgelenmesi için çeşitli metotlar kullanılmıştır. Bu metotların bir kısmı belgeleme çalışmalarında yeterli olmuştur, bir kısmı ise yetersiz kalmıştır. Bu gibi ve diğer nedenlerden dolayı ve teknolojik gelişmelerin de etkisiyle belgeleme çalışmaları da günden güne gelişmiştir. Bu yüzden belgeleme çalışmalarını iki kısımda ele almaktayız. Geleneksel ve modern metotlardır. Geleneksel metotlar teknolojinin de gelişmesiyle giderek kullanımı azalmış ve modern metotlara yerini bırakmıştır. Modern metotlar genellikle yersel fotogrametri, yersel lazer tarama, mobil lazer tarama, insansız

hava aracı, lidar, el tipi lazer tarayıcı yöntemleridir. Yapılacak çalışma alanına, yapıya göre, maliyete, hassasiyete göre kullanılacak metotta farklılık göstermektedir.

Çalışma kapsamında iki tane çalışma sahası seçilmiştir. Çalışma sahaları yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle belgeleme çalışmaları yapılmıştır. Kullanılan belgeleme çalışmalarının genel olarak birbiri ile kıyaslanmıştır. Her iki yöntemde de üretilen orotofotoların boyut, çözünürlükleri ve hataları kıyaslanmıştır.

Buna göre şu sonuçlar elde edilmiştir;

Her iki saha çalışmasının sonuçları objenin niteliği, çalışma sahasına göre değişmektedir. Yersel fotogrametri ile yapılan 3B modellerde objenin detay barındırma türüne göre değişmektedir. Antalya örneğinde karmaşık ve düzgün olmayan objelerde çizim ve 3B model üretme işlemi daha zor iken düzenli ve karmaşık olmayan Konya sahası çalışmasında objelerin çizim ve modelleme işlemi daha rahat olduğu görülmektedir. Ancak Konya sahasında Batı cephesinde merdiven detaylarının çizim ve texture işlemlerinin yersel fotogrametriyle tamamlanmadığı bu kısımda yersel lazer tarama yönteminin ise daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Antalya örneğinde, yersel fotogrametri yönteminde arazinin dikenli bölgelerine girilemediği ve bu yüzden yakın fotoğraf alımı yapılamamıştır ve su kemerinin ayak detayları yersel fotogrametri yöntemi ile tam olarak çizilememiştir. Ancak yersel lazer taramada böyle bir durum söz konusu değildir. Yersel lazer tarama aleti ile dikenli bölgelerin alımı yapılmıştır ve detayların gösterimi tam yapılmıştır.

Yersel fotogrametrik yöntem kullanılan donanım ve yazılım bakımından yersel lazer tarama yöntemine göre daha ekonomiktir. Ancak yersel fotogrametrinin yeterli olmadığı durumlarda yersel lazer tarama yöntemine başvurulmaktadır.

Yersel lazer tarayıcı ve yersel fotogrametri yöntemlerinde veriler, daha az personel sayısı, daha kısa sürede veri toplama, elde edilen verilerin bozulma gibi bir tehlikesi olmaması, istenildiğinde tekrar tekrar değerlendirilebilmesi ve belgelemesi yapılacak olan objeye herhangi bir zarar vermemektedir.

Yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle günümüzde veriler hızlı bir şekilde veri elde edilmekte ve hızlı bir şekilde işlenmektedir.

Her iki çalışma sahasında yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle yapılan modellemelerde; yersel fotogrametri yönteminin düzgün yüzeylerde yersel lazer tarama yöntemine göre tercih edilebilir bir yöntem olduğu, ancak karmaşık yüzeylerde yersel fotogrametrinin yetersiz kaldığı ve yersel lazer tarama ile desteklenmiştir.

Sonuç olarak kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında her iki yöntemin de teknoloji ile paralel olarak geliştiği, avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte veri kalitesinde, verilerin elde edilmesinde, verilerin değerlendirilmesi aşamalarındaki zaman, ekonomik olarak farkları görmekteyiz. Yersel lazer tarama ya da yersel fotogrametrinin tek başına değil de birbirine entegre olarak çalışılınca daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Önümüzdeki yıllar içerisinde de kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında, teknolojinin de gelişmesiyle modern metotların daha da gelişerek daha hızlı daha hassas veri elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Böylece modern metotların kullanımının giderek artacağını söyleyebiliriz.





## KAYNAKLAR

Alp, L., 2004, İnterfil Erkeklerde Üreme Hücrelerinin Analizinde Digital Fotogrametrik Tekniklerin Kullanılması Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Aşkın, H., 2009, Lazer Tarama Verileriyle 3B Obje Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Avdan, U., Pekkan, E., Çömert, R., 2013, Mağara Ölçümlerinde Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanılması (Tozman Mağarası Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5, No: 2, 2013*, 16-28.

Bacaksız, B., 2010, Fotogrametride Küresel Yüzeyle Objelerin Resim Çekim ve Değerlendirme Teknikleri Üzerine Deneysel Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Böge, S., 2013, Tarihi ve Kültürel Varlıkların Röleve Alımı İçin Farklı Yöntemlerin Birlikte Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Can, M., 2009, Kültürel Miras ve Müzecilik, *Kültür ve Turizm Bakanlığı, Eylül, 2009*.

Çömert, R., Avdan, U., Tün, M. ve Ersoy, M., 2012, Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4, No: 1, 2012*, 1-18.

Duran, Z., Atik, M., Çelik, M., 2017, Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Taramanın Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi, *Harita Genel Komutanlığı Harita Dergisi, Yıl:83, Sayı:158, Temmuz 2017*, 20-25.

Duran, Z., 2003, Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelemesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Fabris, M., Achilli, V., Artese, G., Bragagnolo, D., Menin, A., 2012, High Resolution Survey of Phaistos Palace (Crete) by Tls and Terrestrial Photogrammetry, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012*, Melbourne, Australia.

Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S., De Troia, V., 2013, Comparison Between Laser Scanning and Automated 3D Modelling Techniques to Reconstruct Complex and Extensive Cultural Heritage Areas, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013 3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25 – 26 February 2013*, Trento, Italy.

Guerra, F., Pilot, L., Vernier, P., 2005. "The Facades of Gothic Buildings in Venice: Surveys Verifying Construction Theories". CIPA 2005 XX International Symposium, 26 Eylül – 01 Ekim, 2005, Torino, İtalya

Güleç, A., 2007, Yersel Fotogrametri Yöntemi ile Rölöve Alım Tekniğinin Taç Kapılarda Uygulanışı Konya Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Gümüş, K., 2008, Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Gümüş, M., 2010, Yersel Lazer Tarayıcıların Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Gümüş, K., 2014, Yersel Lazer Tarayıcıların Doğruluk Araştırması ve Mühendislik Yapılarında Kullanılabilirliği: Oymapınar Barajı Örneği, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Gürcan, Y., 2012, Yersel Lazer Tarama Yöntemi ve Klasik Ölçme Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Göktepe, A., Kocaman, E., Yıldız, F., Yensel, U., 2009, Deneysel Biyomekanik Uygulamaların Digital Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 25 (1-2), 2009, 426-436.

Gürbüz, H. 1982. "Fotogrametriye Giriş". Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayını

Hanke, K., Grussenmeyer, P., 2002. "Architectural Photogrammetry : Basic theory, Procedures, Tools" .Corfu, September 2002. ISPRS Comission 5 Tutorial

Hemmler, M., Wiedemann, A., 1997. "Digital Rectification and Generation of Orthoimages in Architectural Photogrammetry". CIPA International Symposium, Göteborg, Sweden, 1-3 October 1997, IAPRS, Vol. XXXII, Part 5C1B, pp. 261-267.

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

Hoffmeister, D., Tilly, N., Curdt, C., Aasen H., Ntageretzis, K., Hadler H., Willershäuser, T., Vött, A., Bareth, G., 2012, Terrestrial Laser Scanning For Coastal Geomorphologic Research in Western Greece, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012*, Melbourne, Australia.

İncekara, A., Şeker, D., Kayaç Yüzeyleri İçin Yakın Resim Fotogrametrisi ve Lazer Tarama Tekniklerinin Karşılaştırılması, 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana.

Jing, X., Zhang, C., Sun, Z., Zhao, G., Wang, Y., 2015, The Technologies of Close-range Photogrammetry and Application in Manufacture, *3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA 2015)*.

Karabörk, H., Karasaka, L., Yaldız, E., 2015, Tarihi ve Kültürel Varlıkların Belgeleneğinde Disiplinlerarası Çalışmanın Önemi, 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Deverilmesi Sempozyumu*, 2015.

Karşıdağ, G., 2011, Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Karşıdağ, G. ve Alkan, R., 2012, Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4, No: 2, 2012*, 1-10.

Kersten, T., Mechelke, K., Maziull L., 2015, 3D Model of Al Zubarah Fortress in Qatar–Terrestrial Laser Scanning vs. Dense Image Matching, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, 2015 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February 2015*, Avila, Spain.

Keleş, S., 2010, Fotogrametrik Yöntemlerle Cephe Rölevesi Alımı: Şevket Bey Konağı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

Korumaz, M., 2016, Kültürel Mirasın 3D Belgeleneğinde Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı: Aksaray'da Bir Sivil Mimarlık Örneği, *Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Teknik-Online Dergi, Cilt 15, Sayı:2, 2016*.

Kuçak, R., 2013, Tarihi Eserlerin Dokümantasyonunda Çeşitli Veri Toplama Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Maas, H., 1998, Photogrammetric techniques for deformation measurements on reservoir walls, *IAG SC4 Symposium Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, 20- 22 April, 1998*, Eisenstadt, Austria.

Oturanç, S. ve Yıldız, F., 2014, Hacim Hesabında Dijital Fotogrametrinin Kullanılması ve Doğruluğu, 5. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Özdoğan, V., 2015, Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

Prokop, A., Panholzer, H., 2009, Assessing The Capability of Terrestrial Laser Scanning for Monitoring Slow Moving Landslides, *Natural Hazards and Earth System Sciences 9, 1921–1928, 2009*.

Shi Pu, S. and Vosselman G., 2006, Automatic Extraction of Building Features From Terrestrial Laser Scanning, *Commission VI*.

Sternberg, H., Kersten, Th., Jahn, I. and Kinzel, R., Terrestrial 3D Laser Scanning-Data Acquisition and Object Modelling for Industrial as- Built Documentation and Architectural Applications, *ISPRS ThS-17 Laser Scanning Acquisition and Modelling Techniques*.

Schuhmacher, S., Böhm, J., Georeferencing of Terrestrial Laser Scanner Data for Applications in Architectural Modelling, *Comission V, WG V/4*.

Sternberg, H., Kersten, Th., Jahn, I., Kinzel, R., 2004, Terrestrial 3D Laser Scanning – Data Acquisition and Object Modelling for Industrial as-Built Documentation and Architectural Applications, *Presented paper at the XXth ISPRS Congress, Istanbul, July 2004, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Commission VII, Part B2, pp. 942-947*

Şahin, C., Alkış, A., 2012, Kentsel Tasarım Çalışmalarında Kullanılmak Üzere Görüntü İşleme Teknikleri Yardımıyla Üç Boyutlu Bütünleşik Model Üretimi: Taksim Cumhuriyet Meydanı, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, 225-234.

Şeker, D., Köroğlu, A., Kabdaşlı, S., Karabörk, H., Göktepe, A., Varol, E., 2011, Yersel Lazer Tarayıcıların Kıyılardaki Profil Değişimlerinin İzlenmesinde Kullanımı, 7. *Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 2011.

Şeker, D., Duran, Z., Ege, A., 2002, Digital Fotogrametrinin Tıp Alanında Uygulanmasına Bir Örnek, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002*, Konya

Taşçı, L., 2013, Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Köprü Deformasyonlarının Belirlenmesi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013)*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.

Tunçay, F., 2006, Yakın Resim Fotogrametrisinde Kullanılan Steroskopik Resim Çekme Yöntemlerinin Değerlendirme ve Nokta Duyarlılıklarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Turan, M., 2004, Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik. Mimarlık. Fakültesi. Dergisi, Cilt 19, No 1, 2004*, 43-50.

Uslu, A., Polat, N., Toprak, A. ve Uysal, M., 2016, Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 8, No: 2, 2016*, 165-176.

Uysal, M. ve Uslu, A., 2017, Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği, *TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu 2017*.

Uzar, M., Öğütçü, H., Yersel Lazer Tarayıcı Kullanılarak Tavra Deresi Kilisesi'nin Ölçümü ve Ortofoto Üretimi, *6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana*

Yastıklı, N., 2005, Sayısal Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarayıcılar ile Belgeleme ve Üç Boyutlu Modelleme, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara*

Yastıklı, N. 2016, *Yersel Fotogrametri Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi

Yıldız, F. 2012, *Genel Fotogrametri Ders Notları*, Selçuk Üniversitesi

Yılmaz, H., Karabörk, H., Yakar, M., 2000, Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları, *Nğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 4 Sayı 1, 2000, 18-28.*

Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ. ve Genç, A., 2015, Yüksek Çözünürlüklü Yersel Lazer Tarama Verilerinin Filtrelenmesi ve Filtrelemelerin Heyelan İzlemeye Etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Cilt:1, Sayı:1-2, Temmuz 2015, Sayfa:11-20.*

Zeybek, M., 2013, Heyelanların İzlenmesinde GNSS ve Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Birlikte Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.*

URL.1 <https://geomaticsgroup.com/>

URL.2 <http://www.paksoytekni.com.tr/>

URL.3 <http://www.zf-laser.com>

URL.4 <https://www.mngsurvey.com>

URL.5 <https://www.faro.com>

URL.6 <http://www.iwitnessphoto.com/solutions/crush.html>

URL.7 <http://www.antalyakulturturizm.gov.tr/TR-67967/selinus-antik-kenti.html>

URL.8 <http://www.restoraturk.com/index.php/mimarlik/361-osmanli-mimarisi-hakkinda>

URL.9 <http://www.yapidergisi.com/makaleicerik.aspx?MakaleNum=41>

Kültür ve Turizm Bakanlığı

**EKLER****EK.1 GPT 3007N TOTAL STATION TEKNİK ÖZELLİKLER**

<b>MESAFE ÖLÇÜMÜ</b>	
<i>Prizma Modu</i>	
Ölçüm Alanı*1	
Küçük prizma	1,000m
1 prizma	3000m
Ölçüm Doğruluğu	$\pm(2\text{mm}+2\text{ppmxD})\text{m.s.e}$
Ölçme Zamanı	1mm: Yaklaşık. 1.2 dk. (Başlangıç 3 dk.)
<i>Prizmasız Mod</i>	
Ölçüm Alanı	1.5m arası 250m
Ölçüm Doğruluğu	$\pm(5\text{mm})\text{m.s.e.}$
Ölçme Zamanı	1mm: Yaklaşık. 1.2 dk. (Başlangıç 3 dk.)
<i>Prizmasız Uzak Mod</i>	
Ölçüm Alanı	5m arası 2,000m
Ölçüm Doğruluğu	1mm: $\pm(10\text{mm}+10\text{ppmxD})\text{m.s.e.}$
Ölçme Zamanı	Yaklaşık. 1.5- 4.5 dk (Başlangıç 6 arası 8 sec.)
<b>AÇI ÖLÇÜMÜ</b>	
Minimum Okuma	1"
Doğruluk	2"
<b>GÖRÜNTÜ</b>	
Görüntü Birimi	Grafikler LCD
Klavye	Alfa-Numerik tuş
<b>EĞİM DÜZELTME</b>	
Eğilim Sensör	Çift eksen
Dengeleme Alanı	$\pm 3'$
Hassaslık Düzeyi	
Dairesel Düzey	10' /2mm
Levha Düzeyi	30" /2mm
<i>Diğerleri</i>	
Kablosuz WPAN modemi	Bluetooth
Lazer Sınıfı	Sınıf 1
Aygıt Yüksekliği	176mm
Boyut	336(H)x184(W)x172(L)mm
Ağırlık (bataryalı)	5.3kg
Dayanıklılık	
Su ve toza karşı koruma	IP66 (IEC60529 standartlarına dayalı)
Dış Çevre Sıcaklığı Aralığı	-20°C to +50°C
Ölçüm yapma zamanı	
EDM ölçümünü kapsayan	Yaklaşık olarak 8 saat
Sadece açı ölçümü	38 saat



## EK.2 FARO FOCUS 3D\*120S TEKNİK ÖZELLİKLER

Ölçüm Aralığı	0,6-120m içeri yada dış mekanlarda
Ölçüm Hızı(nokta/dk)	122/244/488/976
Hata Aralığı	10-25m de $\pm 2$ mm
Renk Çözümleme	70 megapiksel
Görüş Sahası(Dikey/ Yatay )	300 <sup>0</sup> /360 <sup>0</sup>
Lazer Sınıfı	3R
Ağırlık	5kg
Boyut	240*200*100mm
Depolama Alanı	SD, SDHC™, SDXC™; 32GB dahili kart



## EK.3 KALİBRASYON RAPORU

### Status Report Tree

Project Name: \*\*\* Project has not yet been saved \*\*\*

Problems and Suggestions (0)

Project Problems (0)

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Mon Oct 8 08:35:09 2018

Version: PhotoModeler 2018.1.2.2314, evaluation (64-bit)

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: on (full calibration)

Constraints: off

Total Error

Number of Processing Iterations: 3

Number of Processing Stages: 2

First Error: 1.438

Last Error: 1.342

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera 1: Canon EOS 700D [18.00]

Focal Length

Value: 18.202162 mm

Deviation: Focal: 0.013 mm

Xp - principal point x

Value: 11.495799 mm

Deviation: Xp: 0.006 mm

Yp - principal point y

Value: 7.622928 mm

Deviation: Yp: 0.008 mm

Fw - format width

Value: 22.774813 mm

Deviation: Fw: 0.002 mm

Fh - format height

Value: 15.163800 mm

K1 - radial distortion 1

Value: 5.843e-004

Deviation: K1: 2.6e-006

K2 - radial distortion 2

Value: -7.173e-007

Deviation: K2: 3.2e-008

K3 - radial distortion 3

Value: 0.000e+000

P1 - decentering distortion 1

Value: 6.052e-005

Deviation: P1: 6.1e-006

P2 - decentering distortion 2

Value: -1.283e-004

Deviation: P2: 4.8e-006

### Quality

Photographs

Total Number: 9

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 9

Number Oriented: 9

Number with inverse camera flags set: 0

**Cameras**

Camera 1: Canon EOS 700D [18.00]  
Calibration: yes  
Number of photos using camera: 9  
Average Photo Point Coverage: 85%

**Photo Coverage**

Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0

**Point Marking Residuals**

Overall RMS: 0.168 pixels  
Maximum: 0.834 pixels  
Point 47 on Photo 3  
Minimum: 0.100 pixels  
Point 87 on Photo 8  
Maximum RMS: 0.466 pixels  
Point 47  
Minimum RMS: 0.058 pixels  
Point 87

**Point Tightness**

Maximum: 0.00093 m  
Point 47  
Minimum: 0.00014 m  
Point 87

**Point Precisions**

Overall RMS Vector Length: 0.000166 m  
Maximum Vector Length: 0.000219 m  
Point 140  
Minimum Vector Length: 0.000138 m  
Point 7  
Maximum X: 0.000109 m  
Maximum Y: 0.000156 m  
Maximum Z: 0.000156 m  
Minimum X: 4.56e-005 m  
Minimum Y: 5.31e-005 m  
Minimum Z: 0.000116 m

EK.4 KONYA YERSEL FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİNDE ELDE EDİLEN  
JEODEZİK NOKTA KOORDİNATLARI

Nokta No	X	Y	Z
P.1	1000.000	1000.000	1000.000
P.2	1020.528	1000.000	1000.202
1	1018.828	999.372	1004.694
2	1017.084	998.885	1004.735
3	1015.742	998.525	1004.734
4	1013.614	997.95	1003.885
5	1011.719	997.417	1003.904
6	1011.943	997.496	1001.339
7	1013.405	997.897	1001.329
8	1014.503	998.21	1002.769
9	1015.441	998.478	1002.769
10	1010.937	996.225	1004.007
11	1010.941	996.22	1005.6
12	1011.399	994.366	1005.606
13	1011.553	993.728	1006.013
14	1011.828	992.794	1006.025
15	1011.322	992.600	1005.651
16	1010.244	992.373	1005.648
17	1009.732	991.717	1005.556
18	1009.748	989.708	1005.541
19	1009.728	989.721	1003.872
20	1009.723	991.714	1003.884
21	1009.685	992.138	1002.794
22	1009.711	990.067	1002.784
23	1009.697	990.093	1000.538
24	1010.308	993.007	1001.725
25	1009.739	995.107	1001.732
26	1009.042	995.005	1003.379
27	1010.742	997.012	1004.011
28	1010.846	997.189	1003.793
29	1010.837	997.191	1002.938
30	1010.809	997.213	1001.265

**ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** Hilal KIVANÇ  
**Uyruğu** T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** Alanya 08/01/1992  
**Telefon** 05375735939  
**Faks**  
**e-mail** hilalkvnc@gmail.com

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
<b>Lise</b>	A. Fevzi Alaettinoğlu Lisesi	2009
<b>Üniversite</b>	Selçuk Üniversitesi	2014
<b>Yüksek Lisans</b>		
<b>Doktora</b>		

**İŞ DENEYİMLERİ Yılı**

2015-2016

2016-

**UZMANLIK ALANI****YABANCI DİLLER****BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER****YAYINLAR****Kurum**

Turan Taşınmaz Geliştirme A.Ş.

İstanbul Ayvansaray Üniversitesi

**Görevi**

Harita Mühendisi

Öğretim Görevlisi