

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YERSEL LAZER TARAMA VE YERSEL FOTOGRAMETRİ İLE ELDE  
EDİLEN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ VERİLERDEN ÜRETİLMİŞ ÜÇ  
BOYUTLU MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Samed ÖZDEMİR**

**NİSAN 2014  
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YERSEL LAZER TARAMA VE YERSEL FOTOGRAMETRİ İLE ELDE  
EDİLEN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ VERİLERDEN ÜRETİLMİŞ ÜÇ  
BOYUTLU MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Samed ÖZDEMİR**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
“Harita Mühendisliği Anabilim Dalı”  
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.02.2014**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 14.03.2014**

**NİSAN 2014**



## KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Temel BAYRAK danışmanlığında Samed ÖZDEMİR tarafından hazırlanan **“YERSEL LAZER TARAMA VE YERSEL FOTOGRAMETRİ İLE ELDE EDİLEN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ VERİLERDEN ÜRETİLMİŞ ÜÇ BOYUTLU MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi **Harita Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK

Üye (Danışman)

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Üye

Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL

ONAY

Bu tez .... / .... / .... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN  
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YERSEL LAZER TARAMA VE YERSEL FOTOGRAMETRİ İLE ELDE  
EDİLEN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ VERİLERDEN ÜRETİLMİŞ ÜÇ  
BOYUTLU MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Samed ÖZDEMİR

Gümüşhane Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Temel BAYRAK

2014, 65 sayfa

Günümüzde kültürel varlıkların, mühendislik projelerinin 3B dokümantasyonu büyük önem arz etmektedir. Yapılan dokümantasyon çalışmalarında dokümantasyona konu olan nesnenin mümkün olan en yüksek detay ve doğruluk ile elde edilmesi hedeflenmektedir. Bugüne kadar 3B dokümantasyon çalışmalarında gelişen bilgisayar teknolojisinin de yardımı ile yersel fotogrametrik yöntemler kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Son 10 yıllık zaman diliminde gittikçe yaygınlaşan lazer tarama teknolojisi sunduğu yüksek kapasite nedeniyle revaç bulmuş ve günümüzde pek çok projede yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Yapılan uygulamalarda yersel lazer tarama aleti olarak uçuş zamanı yöntemi ile çalışan Leica C10 Lazer tarayıcı ve yersel fotogrametrik amaçla da Canon Eos 550d

kamera kullanılmıştır. Bu çalışmada yersel lazer tarayıcılar ile yersel fotogrametrik yöntemlerin farklı senaryolarda birbirlerine göre konumsal ve model doğrulukları incelenmiştir. Bu senaryolar, farklı alet nesne arası mesafelerdeki hedeflerin ölçölerek bu mesafelerdeki hata miktarlarının araştırılması, düzensiz geometriye sahip olan bir yüzeyin modellenerek hacim ve yüzey alanlarının karşılaştırılması ve son olarak da geometrisi bilinen küçük nesnelerin boyutlarının karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmada kullanılan donanımların hangi tür çalışmalar için uygun olacağı maliyet, zaman, taşınabilirlik ve doğruluk açılarından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda yersel lazer tarayıcıların ve yersel fotogrametrik yöntemlerin en uygun olduğu durumlar araştırılmıştır. alışmalar sonucunda yersel lazer tarayıcılar cm altı doğruluğa sahip doğrudan 3B veri elde edebilen ağır, hassas ve pahalı aletler olarak karşımıza çıkmıştır. Yersel fotogrametrik yöntem ise cm seviyesinde doğruluğa sahip, hızlı, ekonomik, ancak fotoğrafların çekim geometrisinden ve nesne yüzeyindeki dokudan ve çevre aydınlatmasından etkilenen bir yöntem olarak karşımıza çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğruluk, Hacim, Karşılaştırma, Model, Yersel Fotogrametri, Yersel Lazer Tarama, Yüzey.

**ABSTRACT**  
**MS THESIS**

**COMPARISON OF 3D MODELS OBTAINED BY HIGH RESOLUTION  
TERRESTRIAL LASER SCANNING AND TERRESTRIAL PHOTGRAMMETRY  
DATA**

Samed ÖZDEMİR

Gümüşhane University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Temel BAYRAK

2014, 65 pages

Nowadays 3D documentation of cultural heritage and engineering projects became an important matter. In these documentation applications, an accuracy and detail requirement of the subject has to be as high as possible. Thanks to the developments in computer science, terrestrial photogrammetric methods are using in 3D documentation applications. Terrestrial laser scanners gained popularity in this last decade because of their high capacity and today they are being widely used in many projects.

In the applications, Leica C10 time of flight laser scanner used as terrestrial laser scanning equipment and Canon Eos 550d is used for the terrestrial photogrammetric purpose. In this study, laser scanner and terrestrial photogrammetric methods' spatial and model accuracies under various scenarios has been investigated. These scenarios are,

measuring targets at different instrument to object distances then investigating the accuracy of these measurements, modeling an irregular shaped surface to compare two surfaces volume and surface areas, at last comparing dimensions of known geometrical shaped small objects. In this study, terrestrial laser scanners and terrestrial photogrammetric methods' most suitable conditions investigated in terms of cost, time, portability and accuracy. Terrestrial laser scanner has the ability to, measure distances below cm accuracy and directly measuring 3D world but there is also some drawbacks like sensitive, bulky and expensive equipment. When it comes to terrestrial photogrammetry, it has above cm accuracy, fast, inexpensive but it can be affected by the coarse geometry, surface texture and the environmental lighting.

**Key Words:** Accuracy, Volume, Comparison, Model, Terrestrial Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning, Surface.



## TEŞEKKÜR

Yersel Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametri İle Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Verilerden Üretilmiş Üç Boyutlu Modellerin Karşılaştırılmasını konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Temel BAYRAK'a teşekkürü bir borç bilirim. Arazi çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Ömer Özdemir'e, Fırat ALTINTAŞ'a ve çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca Eğitim hayatım süresince kendimi geliştirmeme vesile olan tüm hocalarıma, aileme ve yakın dostlarıma bütün samimiyetimle teşekkür ederim.

Samed ÖZDEMİR  
Gümüşhane, 2014

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	V
TEŞEKKÜR .....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ .....	2
2. LAZER TARAYICI SİSTEMLER.....	5
2.1. Lazer Tarayıcıların Çalışma Prensipleri .....	7
2.1.1. Uçuş Zamanı Lazer Tarayıcılar .....	7
2.1.2. Faz Karşılaştırmalı Lazer Tarayıcılar .....	8
2.1.3. Triangulasyon Lazer Tarayıcılar.....	10
2.2. Lazer Tarayıcıların Hassasiyetine Etki Eden Faktörler .....	11
2.2.1. Açısal Hassasiyet .....	11
2.2.2. Mesafe Hassasiyeti .....	12
2.2.3. Çözünürlük.....	13
2.2.4. Kenar Etkisi .....	14
2.2.5. Yüzey Yansıtıcılığının Etkisi.....	15
2.2.6. Çevresel Koşullar.....	16
2.2.7. Hassasiyetin Haricinde Kalan Özellik Ve Düşünceler .....	17
2.3. Lazer tarayıcıların Kalibrasyonu.....	17
3. Yersel Fotogrametrik Sistemler .....	22
3.1. Yersel Fotogrametrik Sistem Çeşitleri.....	24

3.1.1.	Metrik Kameralar.....	25
3.1.2.	Stereometrik Kameralar .....	26
3.1.3.	Metrik Olmayan Kameralar .....	26
3.2.	Fotogrametride Hassasiyete Etki Eden Koşullar .....	27
3.2.1.	Çözünürlük.....	28
3.2.2.	Kalibrasyon .....	28
3.2.3.	Fotoğraflar Arasındaki Açılış .....	29
3.2.4.	Çevresel Koşullar.....	29
4.	UYGULAMALAR .....	31
4.1.	Leica Scan Station C10 Lazer Tarayıcı .....	31
4.2.	Canon EOS 550D Kamera .....	33
4.2.1.	Kamera Kalibrasyonu .....	34
4.3.	Topcon GPT 3100 NW Total Station .....	38
4.4.	Derinlik Hassasiyetinin Değerlendirilmesi .....	39
4.5.	Şekilleri Bilinen Nesnelerin Geometrisi .....	50
4.6.	Yüzey Alanlarının Karşılaştırılması .....	53
5.	BULGULAR VE İRDELEME .....	57
6.	SONUÇLAR.....	60
7.	KAYNAKLAR .....	61
	ÖZGEÇMİŞ .....	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Leica C10 uçuş zamanı lazer tarayıcı.....	8
Şekil 2.2. Leica HDS 6200 faz karşılaştırmalı lazer tarayıcı.....	9
Şekil 2.3. Faz karşılaştırma ve uçuş zamanı yöntemlerinin çalışma prensibi (Hiremagalur, 2007).....	9
Şekil 2.4. Konica minolta vivid 9i triangulasyon lazer tarayıcı.....	10
Şekil 2.5. Triangulasyon Prensibi: Tek Kamera Çözümü (Gümüş, 2008).....	11
Şekil 2.6. Açısal Çözünürlüğün belirlenmesi (Schulz T. 2007).....	12
Şekil 2.7. Çözünürlük test hedefi (Boehler ,2004 ).....	13
Şekil 2.8. Beton bloğun arkasında oluşan kenar etkisi.....	15
Şekil 2.9. Yüzey yansıtıcılığı etkisi.....	16
Şekil 2.10. Yersel lazer tarayıcıların kalibrasyon işlemi (Abbas M. A. Vd 2013).....	18
Şekil 2.11. İsviçre Widnau'da bulunan kalibrasyon alanı (URL -2).....	19
Şekil 2.12. Leica c10 otomatik kalibrasyon alanı (Abbas M. A. Vd 2013).....	20
Şekil 3.1. Merkezi perspektif izdüşüm (Yılmaz H. M. Vd 2007).....	22
Şekil 3.2. Epipolar düzlem (Yılmaz vd, 2007).....	23
Şekil 3.3. Rollei Orta Format Réseau metrik kamera.....	25
Şekil 3.4. Alet sehпасı üzerine monte edilmiş metrik ve stereometrik kameralar.....	26
Şekil 3.5. Günümüzde yersel fotogrametrik amaçlı olarak kullanılan metrik olmayan kameralar.....	27
Şekil 3.6. PhotoModeler yazılımına ait kalibrasyon levhası.....	29
Şekil 4.1. Uygulamada kullanılan Leica c10 lazer tarayıcı ve taşıma çantasının boyutları (URL 1).....	32
Şekil 4.2. Canon EOS 550d dijital kameranın boyutları.....	34
Şekil 4.3. Fotoğrafların PhotoModeler yazılımına aktarımı ve kalibrasyon türünün seçimi.....	35

Şekil 4.4.	Kalibrasyon levhası ve üzerinde kırmızı renkte işaretlenmiş noktalar.....	36
Şekil 4.5.	Kamera kalibrasyon sonucu.....	37
Şekil 4.6.	Topcon GPT 3100 NW Lazer Total Station.....	38
Şekil 4.7.	Hedef işaretlerinin yerleşimi.....	39
Şekil 4.8.	Lazer tarayıcı nokta bulutu.....	40
Şekil 4.9.	PhotoModeler yazılımına koordinatların aktarılması.....	40
Şekil 4.10.	Sağ panelde görünen noktalar herhangi bir resim üzerinde karşılık gelen hedef işareti ile ilişkilendirilmiştir.....	41
Şekil 4.11.	Cyclone yazılımında hedef işaretlerinin işaretlenmesi.....	41
Şekil 4.12.	Cyclone registration penceresinde tarama ve koordinat verileri.....	42
Şekil 4.13.	Ölçülen hedeflerdeki hata miktarları.....	47
Şekil 4.14.	Lazer tarayıcı ve Yersel Fotogrametrik yöntemin derinlik ölçme hataları.....	49
Şekil 4.15.	Lazer tarayıcı nokta bulutu.....	50
Şekil 4.16.	Fotogrametrik nokta bulutu.....	50
Şekil 4.17.	Lazer nokta bulutunda görülen kenar etkisi ve aykırı noktalar.....	51
Şekil 4.18.	Siyah küp sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta bulutu.....	52
Şekil 4.19.	Silindir sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta bulutu.....	52
Şekil 4.20.	Küp: sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta Bulutu.....	53
Şekil 4.21.	Yüzeye ait nokta bulutunun ön yüzden görünüşü Kırmızı lazer tarama beyaz fotogrametrik yöntem.....	54
Şekil 4.22.	Yüzeye ait nokta bulutunun arka yüzden görünüşü Kırmızı lazer tarama beyaz fotogrametrik yöntem.....	54
Şekil 4.23.	Fotogrametrik yüzey modeli.....	55
Şekil 4.24.	Lazer Tarama yüzey modeli.....	55
Şekil 5.1.	Cam yüzeyden geçen lazer ışınının geri yansımada oluşan etki.....	58

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfo No</u></b>
Tablo 2.1. Uçuş zamanı yersel lazer tarayıcılara ait teknik özellikler (URL -1).....	6
Tablo 2.2. Farklı lazer tarayıcı türlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları.....	7
Tablo 2.3. Farklı model ve türdeki lazer tarayıcıların çözünürlükleri ( Boehler, 2004).....	14
Tablo 3.1. Metrik, stereometrik ve metrik olmayan kameralara ait bilgiler.....	25
Tablo 4.1. Leica C10 teknik özellikleri.....	31
Tablo 4.2. Lazer tarayıcı yazılımlarına ait özellikler.....	33
Tablo 4.3. Canon EOS 550d teknik özellikleri.....	33
Tablo 4.4. PhotoModeler Scanner yazılımının özellikleri.....	34
Tablo 4.5. Topcon GPT 3100 NW lazer total station teknik özellikleri.....	38
Tablo 4.6. Total station, yersel fotogrametri ve lazer tarama yöntemleri ile elde edilen koordinatlar.....	43
Tablo 4.7. Yersel fotogrametri ve Yersel lazer tarama yöntemlerine ait hatalar ve ağırlıkları.....	44
Tablo 4.8. Ağırlıksız olarak hesaplanan değerler.....	45
Tablo 4.9. Ağırlıklı olarak hesaplanan değerler.....	45
Tablo 4.10. Ağırlıklı olarak hesaplanmış konum doğrulukları.....	46
Tablo 4.11. Lazer tarama ve yersel fotogrametrik yöntem ölçülen nesne uzunlukları ve hataları.....	53
Tablo 4.12. Lazer tarama ve Yersel fotogrametrik yöntemle elde edilmiş yüzey modellerine ait bilgiler.....	55

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3B	: Üç Boyutlu
ALS	: Airborne Laser Scanner
CAD	: Computer Aided Drawing
CCD	: Charged Coupled Device
ISO	: Işık Duyarlılığı
TOF	: Time of Flight
TLS	: Terrestrial Laser Scanner
b	: Baz uzaklığı
c	: Odak uzaklığı
n	: Nokta sayısı
Pi	: Ölçümlerin ağırlık değeri
R	: Dönüşüm matrisi
$\mu$	: Ölçek faktörü
$\omega$	: x eksenindeki dönüklük
$\varphi$	: y eksenindeki dönüklük
$\kappa$	: z eksenindeki dönüklük
$\gamma_{11}$	: Dönüşüm matrisi elemanı

## 1. GİRİŞ

Tarihi ve arkeolojik yapıların dokümantasyonu, mühendislik projelerinin izlenmesi, coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları ve deformasyon ölçmeleri günümüzün en fazla önem arz eden konularından birkaçıdır ve minimum giderle hızlı ve eksiksiz 3B geometrik ve görsel bilgiye sahip olmanın büyük önemi vardır (Kern, 2001). Bu konularda genellikle klasik yöntem ile yapılan ölçmeler yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak artan yüksek detaylı ve nitelikli 3B veri ve bu verilerin 3B olarak görselleştirilmesi ve sunulması ihtiyacı klasik yöntemlerle karşılanamamaktadır ve bundan dolayı bu ihtiyacı en iyi biçimde karşılayacak olan ve aynı zamanda klasik yöntemlerin doğruluğuna sahip olan yeni yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Bu sorunsalın çözümünde gelişen bilgisayar teknolojisinin de yardımıyla yersel fotogrametrik yöntemler günümüze kadar kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Ancak son 10 yılda hızla yaygınlaşan ve gün geçtikçe doğruluğu ve kullanım alanı artan yersel lazer tarayıcılar da ön plana çıkmış ve yersel fotogrametrinin karşısında yeni ve güçlü bir alternatif olarak bulunmaktadır. Yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri yöntemlerinin kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Arkeoloji,
- Mimari restorasyon çalışmaları,
- Şehir modellemeleri,
- Sanal fabrikalar, sanal gerçeklik uygulamaları,
- Madencilik ve altyapı projeleri,
- Tünel ve yol ölçümleri,
- İmalat kontrolü,
- Olay yeri inceleme,
- Endüstriyel tasarım çalışmaları vb. (Ay, 2009)

Arkeolojik uygulamalar ve mimari restorasyon çalışmaları göz önüne alındığında yersel modelleme teknikleri bu yapıların kayıt altına alınması ve restorasyon amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bu yapıların 3B görselleştirme çalışmaları yapılarak web üzerinden gösterimi sağlanmaktadır.



Şehir modellemeleri ve sanal gerçeklik uygulamalarında ise yersel lazer tarama ve ya yersel fotogrametrik yöntem ile elde edilmiş 3B modeller üzerlerine cephe resimlerinin giydirilmesi ve CAD ortamına aktarılması ile bu yapıların yatay ve düşey kesit bilgileri, alan ve hacim hesaplamaları, konum bilgilerinin sorgulama gibi bilgilere ulaşılmasını sağlar.

Madencilik ve altyapı projelerinde ise; maden galerilerinin modellenerek 3B sunumla gerçeğe yakın olarak gösterimi, klasik yöntemle ulaşımın mümkün olmadığı yerlerin hızlı, ekonomik ve güvenli bir şekilde ölçümü ve hacim hesaplarının hızlı ve hassas olarak elde edilmesi yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri ile mümkün olmaktadır.

Uzun yıllar boyunca kullanılan klasik yersel fotogrametri yönteminde belgeleme ve röleve amacıyla fotoğraflar metrik kameralar ile çekilmekteydi. Tarihi ve kültürel mirasın özellikleri göz önünde bulundurularak mono olarak çekilen fotoğraflar tek fotoğraf değerlendirmesi (rödresman), ya da stereo çekim durumunda analog stereo değerlendirme aletlerinde değerlendirilmekteydi. Sayısal fotogrametri yöntemi ile birlikte semi metrik kameralar ya da sayısal kameralar ile çekilen fotoğraflar sayısal fotogrametrik değerlendirme aletlerine aktarılmaktadır. Bütün yöneltme ve çizim işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sayısal fotogrametri yöntemi, otomatik ölçme işlemleri, sayısal üç boyutlu vektör veri, sayısal ortofoto, sayısal arazi ve yüzey modelleri gibi birçok imkânlar sunmaktadır (Yastıklı, 2005).

Günümüzde yersel fotogrametri halen kültürel mirasların korunması amaçlı dokümantasyon çalışmalarında, değişim izleme çalışmalarında ve Coğrafi Bilgi Sistemi uygulamalarında kullanılmaktadır. Yakar vd. (2011), Sultan Hanı Kervansarayının yersel fotogrametrik yöntem ile röleve alımını başarılı bir biçimde gerçekleştirmiştir. Avşar vd, (2006, 2007, 2009, 2011) İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü'nde yersel fotogrametrik yöntemin kültürel mirasların korunması amaçlı dokümantasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yılmaz vd, (2005, 2007) yersel fotogrametrik yöntem ile hacim hesabı çalışması gerçekleştirmiş ve klasik yöntemler ile kıyaslayarak elde edilen sonuçlar zaman, maliyet ve doğruluk açılarından kıyaslamışlardır. Asri vd, (2012) yersel fotogrametrik yöntem ile üzerine GPS yerleştirilmiş hareketli bir platform üzerinden hacimsel analiz gerçekleştirerek yersel fotogrametrik yöntemin daha da geliştirilebileceğini göstermiştir.

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar 1960 yılından beri devam etmektedir. 1990'lı yıllarda lazer teknolojisi total stationlarda kullanılmıştır. Reflektörsüz total

stationlar, bir bakıma modern lazer tarayıcıların öncüleri sayılmaktadır. Yersel lazer tarama ile hava lazer tarama tekniklerinde aynı ölçme prensipleri kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcıların ticari olarak piyasaya ilk çıkışından itibaren geçen zaman içerisinde farklı alanlardaki kullanımı gözle gözükür şekilde artmıştır. Hava yollu lazer tarama teknolojisi (ALS-Airbone Laser Scanning) 1980'lerde gelişmiştir. 1988'de Stuttgart Üniversitesi, ALS tekniğiyle sayısal arazi modeli ve yüzey modelleri uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Şahin, 2011).

Günümüzde ise lazer tarayıcılar sundukları olanaklardan dolayı dikkatleri üzerine toplamış, gerek lazer tarayıcıların kendileri ve gerekse uygulama alanları ile alakalı yapılan pek çok uygulama ile ciddi bir biçimde irdelenmiştir. Altuntaş vd. (2008), lazer tarayıcılar ile elde edilen nokta bulutlarının hangi yöntemler ile nasıl birleştirilebileceği üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalarda nokta bulutlarının birleştirilmesinde karşılaşılan hatalar ve doğruluk analizleri gerçekleştirilerek en uygun yöntem araştırılmıştır. Şimşek vd. (2009), lazer tarayıcıların kültürel mirasın dokümantasyonu ve şehir modeli oluşturulması çalışmalarında kullanmışlardır. Gümüş vd. (2012), yılında lazer tarayıcıların uzunluk ölçme doğruluğunu test etmek için bir çalışma yapmışlar ve lazer tarayıcıların ölçme doğruluğunun nelerden etkilendiğine dair irdemelerde bulunmuşlardır. Gürcan, (2012) lazer tarayıcıların klasik ölçme yöntemine göre avantaj ve dezavantajlarını araştırmıştır. Lazer tarayıcıların doğruluklarını tespit etmek için yapılan güncel çalışmalardan birisi de Alkan vd, (2012) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada lazer tarayıcı geometrik şekilleri bilinen farklı nesnelere üzerinde kullanılmış ve elde edilen verilerden lazer tarayıcıların siyah nesnelere istenilen doğruluğu elde edemediği ancak yine de gayet başarılı ve doğru sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca Lazer tarayıcıların iç mekân taramalarında da başarılı sonuçlar verdiği Çelik vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir.






Ülkemizde ve dünyada yersel lazer tarayıcılar ve yersel fotogrametri üzerine pek çok araştırma yapılmış halen de yapılmaya devam etmektedir. Yersel fotogrametri ortaya çıktığı ilk günden beri gelişen bilgisayar teknolojisinin de gücünü arkasına alarak günümüze kadar gelişerek gelmiş ve günümüzde de olgunluğa ulaşmış bir yöntem olarak karşımızda bulunmaktadır. Lazer tarayıcılar ise her ne kadar 1960'lardan beri var olsalar da popülerliklerini içinde bulunduğumuz son 10 yıl içinde elde etmiş ve uygulama alanı bulabilmişlerdir. Yersel lazer tarayıcılar günümüzde 3B modelleme çalışmalarında aktif olarak kullanılmakta ve yersel fotogrametrik yöntemin yerini almaktadır. Ancak her

yöntemin kendisine has avantaj ve dezavantajları bulunduğu ve bundan dolayı da her yöntemin her koşulda mükemmel sonuçlar veremeyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu açıdan bakıldığında yersel fotogrametrik yöntem hassasiyet gereksinimlerinin cm civarında olduğu ve arazide geçirilen sürenin en az olması beklenen düşük maliyetli projelerde kullanılmaya uygunken lazer tarayıcılar ise donanım olarak pahalı ve ağır olmakla beraber cm altı hassasiyetlerde sonuçlar üretebilmektedir.

## 2. LAZER TARAYICI SİSTEMLER

Yersel lazer tarama tekniği ile hava lazer tarama tekniklerinde aynı ölçme prensipleri kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcı ile taranacak yüzey üzerindeki bir nokta arasındaki uzunluk, lazer sinyalinin yüzeye gönderilmesi ve yüzeyden geri dönen lazer sinyalinin tespiti arasında geçen zamanın yüksek doğrulukla belirlenmesiyle hesaplanır. Objeler, optik-mekanik tarayıcılar ile ölçme uzunluğuna bağlı olarak, yatay ve düşey yönlendirmelerle taratılır. Tarama işlemi sonucunda elde edilen, objenin milyonlarca noktadan oluşan detaylı 3B görüntüsünün çıkarılmasını sağlayan, yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu nokta kümelerine nokta bulutu denir. Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. Bu şekilde, taraması yapılan obje yüzeyinin durumu yoğunluk verisi ile tanımlanmaktadır. 50 metrede 1.4 – 15 mm tek nokta doğruluğuyla yüzlerce metre uzaklıktaki objeye, ölçüm yapabilen birçok lazer tarayıcı mevcuttur (Ingensand, 2006). Sabit veya hareketli bir platformdan taramayı gerçekleştirmek mümkündür. 3B modeli elde edilmeye çalışılan objelerin geniş ve karışık şekilli olmalarından dolayı, tek seferde tarama yapılarak obje geometrisi elde edilememektedir. Bu yüzden, farklı konumlardan taramalar yapılır. Objenin tamamlanmış gösterimini sağlamak için, bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür. İkinci olarak yersel lazer tarayıcı verisinin, diğer mekânsal veriyle (örneğin GPS ölçümleri) entegrasyonu çok önemlidir. Birçok CAD yazılım paketi, bu amaçlar için kullanılmaktadır (Reshetyuk, 2006a). Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajı, 3B obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı yakalama özelliğidir (Reshetyuk, 2006b).

Tablo 2.1. Uçuş zamanı yersel lazer tarayıcılara ait teknik özellikler (URL -1)

	<b>ILRIS-HD</b>	<b>Leica c10</b>	<b>RIEGL VZ-1000</b>	<b>CX</b>	<b>RODEONscan</b>
					
<b>Çıkış Yılı</b>	2008	2009	2010	2010	2012
<b>Ağırlık [kg]</b>	21	13.8	9.8	11.8	14
<b>Batarya Tipi</b>	harici	harici ve dahili	harici	harici	harici
<b>Batarya başına tarama süresi[saat]</b>	5	3.5	8		6
<b>Mesafe Ölçüm Yöntemi</b>	Puls	Puls	Puls	Puls	Puls
<b>Dalga boyu [nm]</b>	1535	532	-	660	905
<b>Min. Menzil [m]</b>	3	0.1	2.5		0.5
<b>Max. Menzil [m]</b>	2000	300	1400	-	250
<b>Mesafe Çözünürlüğü[m m]</b>	0.1	1	5		3.9
<b>Işın çapı [mm]</b>	9.2	6	7	3	5
<b>50 m'de spot boyutu [mm]</b>	12	6	18	13	7
<b>Max. Dikey görüş</b>	360°	270°	100°	360°	330°
<b>Max. Yatay görüş</b>	360°	360°	360°	300°	360°
<b>Min. Yatay adım [derece]</b>	0.000745	0.0002	0.0024	0.002	0.0025
<b>Min. Düşey adım [derece]</b>	0.000745	0.0002	0.0024	0.002	0,008
<b>Işın sapıtma mekanizması</b>	çift ayna	Akıllı X-ayna	Dönen çok yüzlü ayna; dönen başlık	dönen ayna	prizma
<b>Max. Ölçüm hızı [kHz]</b>	10	50	300	54	15
<b>Dahili kamera</b>	Var	Var	Yok	Var	Var
<b>Dahili kontrol paneli</b>	Var	Var	Var	Yok	Yok
<b>Harici Kamera</b>	Var	Var	Var		Yok
<b>Ek sensörler</b>	INS; GPS	çift eksenli kompensatör; lazer çekül	Eğim sensörü; Eşzamanlayıcı; GPS; Lazer Çekül, Pusula		
<b>Yöneltilme/Kayıt yöntemi</b>	geriden kestirme; backsight; ortak noktalar	hedef; nokta bulutu / geçiş; geriden kestirme; backsight;	kontrol / bağlam noktası; backsight; bindirmeli yüzeyler	Çeşitli	

## 2.1. Lazer Tarayıcıların Çalışma Prensipleri

Yersel Lazer Tarayıcılarda taranılacak objenin karakteristiği ve mesafesine bağlı olarak 3 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar uçuş zamanı (Time of Flight), faz karşılaştırma (Phase based) ve Triangulasyon yöntemleridir. 3 yöntemin de kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Tablo 2.2.).

Tablo 2.2. Farklı lazer tarayıcı türlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları

	<b>Triangulasyon</b>	<b>Faz karşılaştırma</b>	<b>Uçuş zamanı</b>
<b>Menzil</b>	3 m'ye kadar	100 m'ye kadar	100 m ve üzeri
<b>Mesafe Çözünürlüğü</b>	0.1 mm	0.1 mm	1 mm
<b>Tarama Hızı</b>	Çok hızlı	Hızlı	Yavaş
<b>Avantajları</b>	Hızlı veri alımı, düşük noise, yüksek çözünürlük	Yüksek doğruluk, hızlı veri elde etme, düşük noise	Geniş ölçüm menzili (0.1 m – 1000 m arası)
<b>Dezavantajları</b>	Düşük menzil, kısıtlı görüş alanı, düşük aydınlatma koşullarında başarısız	Kısıtlı menzil	Düşük doğruluk, yüksek noise, yavaş tarama hızı

### 2.1.1. Uçuş Zamanı Lazer Tarayıcılar

Uçuş zamanı ölçme yöntemi; gönderilen lazer ışınının bir yansıtıcı yüzeyden yansıyıp tekrar lazer tarayıcıya ulaşması arasındaki zaman farkının hassas biçimde gözlenmesine dayanır. Aradaki zaman farkını gözlemlenmek ve nesneye olan mesafeyi hesaplamak için gelişmiş yüksek hızlı elektronik sistemler kullanılmaktadır. Aynı zamanda ölçülen her bir mesafe ile birlikte yüksek çözünürlüklü açı (Yatay ve Düşey) bilgisi de kaydedilerek noktanın 3B konumu belirlenir. Bu ölçme yöntemi günümüz Lazer Total Stationlarının ölçme yöntemleri ile aynıdır ancak; bir Total Station saniyede en fazla 8 nokta ölçebilirken lazer tarayıcı saniyede 50.000 nokta ölçebilmektedir. (Hiremagalur vd, 2007) uçuş zamanı lazer tarayıcılar, sahip oldukları uzun tarama mesafeleri sayesinde günümüzde pek çok projede yaygın olarak kullanılmaktadırlar.



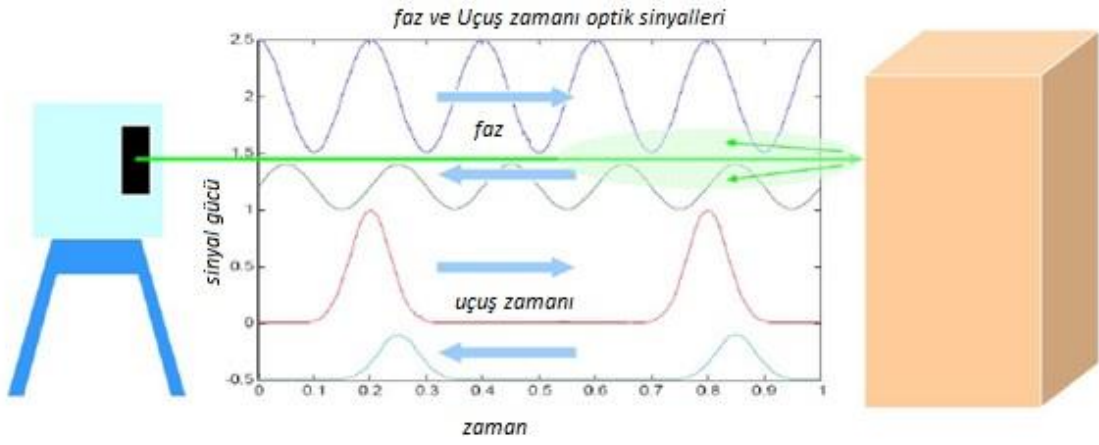
Şekil 2.1. Leica C10 uçuş zamanı lazer tarayıcı

### 2.1.2. Faz Karşılaştırmalı Lazer Tarayıcılar

Faz karşılaştırmalı ölçüm yöntemi, gönderilen sürekli bir lazer ışını dalgasının nesnenin yüzeyinden yansıdıktan sonra geri dönen lazer ışını dalgasının şiddetlerinin kıyaslanması şeklindedir. Nesneye olan mesafe faz değişimine ve gönderilen sinyalin dalga boyuna orantılıdır. Faz karşılaştırmalı (Şekil 2.2.) ve uçuş zamanı lazer tarayıcıların ölçme prensipleri Şekil 2.3 'de gösterilmiştir. Faz karşılaştırmalı lazer tarayıcılar, uçuş zamanı ile çalışan lazer tarayıcılara oranla saniyede 5 kat ya da daha fazla nokta ölçebilmektedirler. Ancak ölçüm yapılabilecek en uzun mesafe düşünüldüğünde faz karşılaştırmalı tarayıcılar 25 - 100 metre arasında kalırken uçuş zamanı lazer tarayıcılar 75 metreden 1000 metreye kadar ulaşabilmektedirler. Bu da Faz karşılaştırmalı lazer tarayıcıların daha çok menzil ihtiyacının kısa ve engellerden dolayı birden fazla taramanın tercih edildiği iç mekânlarda (fabrika vs) kullanmaya uygun olduklarını ortaya koymaktadır (Hiremagalur vd, 2007).



Şekil 2.2. Leica HDS 6200 faz karşılaştırmalı lazer tarayıcı



Şekil 2.3. Faz karşılaştırma ve uçuş zamanı yöntemlerinin çalışma prensibi (Hiremagalur Vd, 2007)



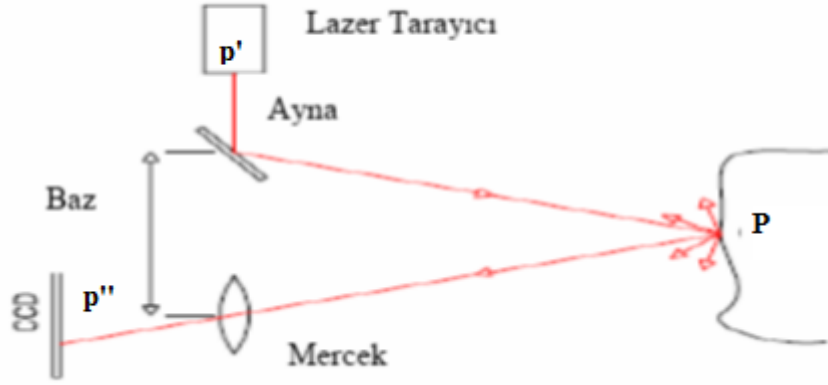
### 2.1.3. Triangulasyon Lazer Tarayıcılar

Bu tarayıcı, basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşur. Tarayıcıdan nesneye, artan değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir CCD kamerasıyla lazer ışınını gönderir (Şekil 2.4.). 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 (Boehler, 2001).



Şekil 2.4. Konica minolta vivid 9i triangulasyon lazer tarayıcı

Triangulasyon yönteminin tipik bir uygulaması Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Kamera ve lazer tarayıcı arasındaki konumsal ilişki hassas bir biçimde bilindiğinde P noktasının karşılığı lazer tarayıcıda ve kamera üzerinde P-p' ve P-p'' doğrularının kesişim noktası olarak bulunur (Forest, 2004).



Şekil 2.5. Triangulasyon Prensibi: Tek Kamera Çözümü (Gümüş, 2008)

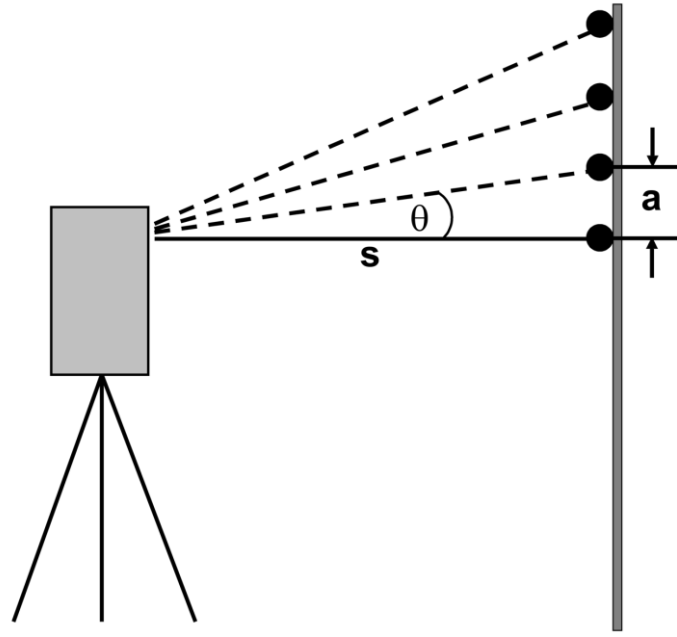
## 2.2. Lazer Tarayıcıların Hassasiyetine Etki Eden Faktörler

Lazer tarayıcı üreticilerinin broşürlerinde ve teknik belgelerinde verdikleri bilgilerin birbirleri ile kıyaslanması mümkün olmamaktadır. Küçük seriler halinde üretilen bu aletlerin hassasiyetleri aletten alete farklılık göstermekle beraber her bir aletin kalibrasyonuna göre de farklılık göstermektedir. Bundan dolayı çoğu zaman verilen hassasiyet değerlerine güvenilmemelidir.

Lazer tarayıcılar tarafından üretilen tüm nokta bulutlarında dikkate değer miktarda noktada kaba hata görülebilmektedir. Bir ölçüm sonucu elde edilen nokta bulutu için, diğer ölçme aletleri, yöntemleri ve sonuçları için verilen kalite garantisi verilemez (Boehler, 2004).

### 2.2.1. Açısal Hassasiyet

Lazer ışını dönen küçük bir alet (prizma, ayna) tarafından yansıtılarak buradan hedef nesneye gönderilir. Birinci açıya dik olan ikinci açı optik ya da mekanik bir alet ile değiştirilebilir. Bu açı okumaları 3B nokta bulutundaki noktaların koordinatlarını hesaplamak için kullanılır. Eksenlerden ya da açı okuma aletlerinden kaynaklanan hatalar yayılma eksenine dik hatalara neden olur. Bu hatalar yatayda ve düşeyde kısa mesafelere konumlandırılmış ve tarayıcıya eşit mesafedeki hedeflerin ölçülerek, daha hassas ölçme yöntemleri ile de ölçülerek kıyaslanması şeklinde belirlenebilir (Boehler, 2004). Şekil 2.6.'da s uzunluğundaki bir bazda noktalar arası a mesafesi  $\Theta$  açısal çözünürlük olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.6. Açısal Çözünürlüğün belirlenmesi (Schulz, 2007)

### 2.2.2. Mesafe Hassasiyeti

Uçuş zamanı veya Faz karşılaştırması yöntemine göre ölçüm yapan lazer tarayıcılar 100 metreye kadar olan her mesafede yaklaşık olarak aynı hassasiyeti göstermektedirler. Bu durum triangulasyon lazer tarayıcılarda tarayıcı ve nesne arasındaki mesafenin karesi ile orantılı olarak hassasiyet azalmaktadır.

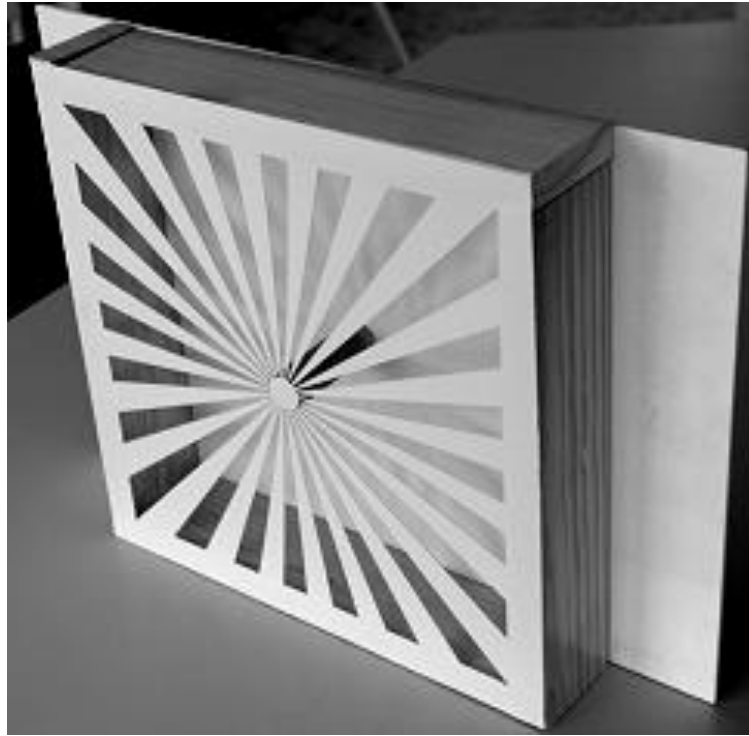
Mesafe hassasiyeti; sabit bir noktaya kurulan lazer tarayıcı ile ölçülen bilinen mesafelerin kıyaslanması şeklinde belirlenebilir. Eğer sabit bir nokta yoksa, belirlenen hedef noktalar hassasiyeti yüksek olan alet ve yöntemler ile ölçüler elde edilen sonuçlar kıyaslanabilir.

Oysaki sistematik ölçek hatası ölçülen her bir mesafede mevcut bulunmaktadır, sabit sistematik (sıfır) hata ölçüm yönünde ölçülen mesafelerin farkları belirlenerek yok edilebilir. Tarayıcı tarafından görülen farklı yönlerde bulunan noktalarda da sabit sistematik hata görülecektir. Eğer iki nokta da tarayıcıdan aynı uzaklıkta bulunuyorsa ve aralarındaki açı farkı 60 derece ise ölçülen mesafe hatası sabit sistematik hata kadar olacaktır. Açı farkınının 180 derece olduğu durumda ise iki katı olacaktır (Örneğin odanın ortasındaki panoramik bir tarayıcı ile odanın tamamının taranması). Sistematik mesafe hataları yansıma yüzeyine göre farklılık gösterdiğinden dolayı sıfır hatası için genel bir düzeltme getirilememektedir.

Hızlı ve kolay bir biçimde gürültü (noise) kontrol etmek için tarama doğrultusuna dik bir düz hedef yerleştirilerek taranarak bu nokta bulutunda oluşturulacak ortalama bir yüzey belirlenir ve aralarındaki mesafenin standart sapması hesaplanır (Boehler, 2004).

### 2.2.3. Çözünürlük

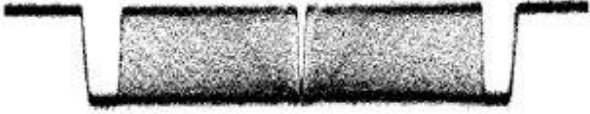

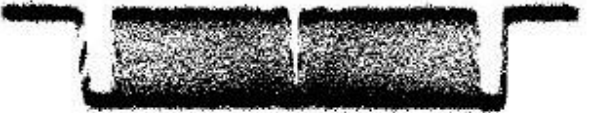




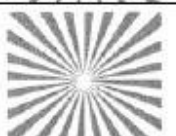
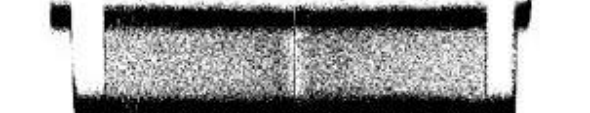
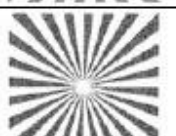






Çözünürlük terimi lazer tarayıcıların performansı söz konusu olunca farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Bir kullanıcının bakış açısından çözünürlük bir nokta bulutunda tespit edilebilen en küçük nesneyi ve ya özelliği temsil etmektedir. Teknik olarak, iki farklı lazer tarayıcı tanımı bu duruma işaret eder; iki nokta arasında ölçülebilen en küçük açı ve nesnenin üzerine düşen lazer ışını noktasının boyutu. Bu iki tanım bir arada çözünürlüğü ifade eder (Boehler, 2004).



Şekil 2.7. Çözünürlük test hedefi (Boehler, 2004)

Yukarıda Şekil 2.7.'de gösterilen ve lazer tarayıcıların çözünürlük testi için kullanılan bu hedefin lazer tarayıcı ile en yüksek çözünürlükte tarandığında, lazer tarayıcının bu hedefin üst ve alt yüzeyinde okumalara yapması beklenmektedir. Aşağıdaki Tablo 2.3.'de bazı lazer tarayıcıların 6 metre mesafeden hedef taranarak gerçekleştirilen çözünürlük testi sonuçları görülmektedir.

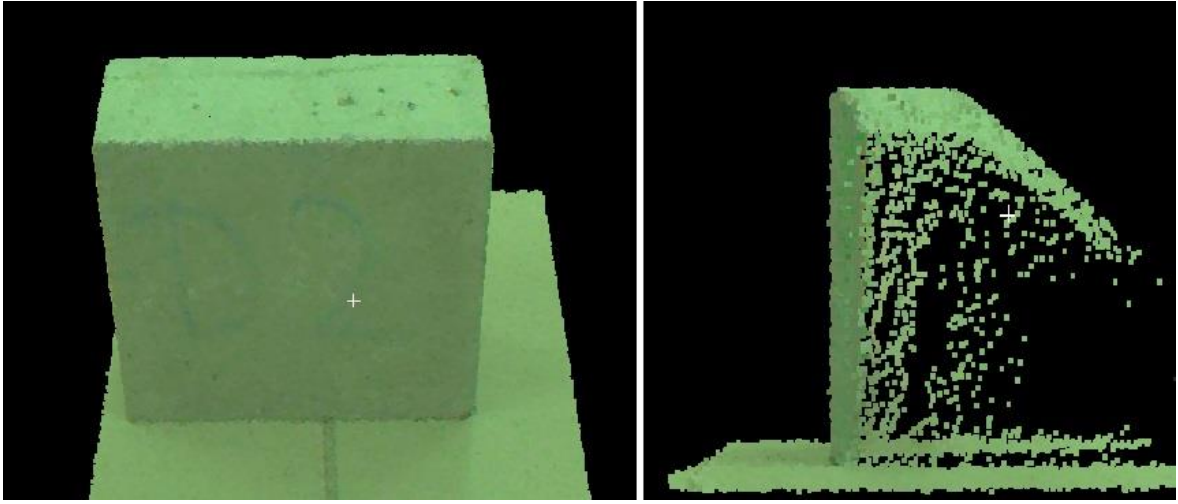
Tablo 2.3. Farklı model ve türdeki lazer tarayıcıların çözünürlükleri.( Boehler, 2004)

Leica HDS 2500		
Leica HDS 3000		
Mensi S25		
Mensi GS100		
Mensi GS200		
Riegl LMS-Z420i		
Riegl LPM-25HA		
Z+F Imager 5003		

#### 2.2.4. Kenar Etkisi

Lazer ışını ne kadar iyi odaklanırsa odaklansın nesnenin üzerinde hep belirli bir büyüklüğe sahiptir. Lazer ışını bir nesnenin kenarına çarptığında, kenardan sadece bir kısmı yansıtacaktır geri kalanı ise kenarın arkasında kalan farklı bir yüzeyden yansıtacaktır ya da hiç yansımaz (Tarayıcının menzili dâhilinde herhangi bir nesne olmazsa). Uçuş zamanı, faz karşılaştırmalı ve triangulasyon lazer tarayıcıların hepsi de kenar bölgelerde hatalı noktalar üretirler. Bu hatalı noktalar lazer tarayıcıdan gelen ve nesnenin kenarından geçen doğrultuda kenarın arkasında (Şekil 2.8.) bulunabilirler. Bu

durumdaki mesafe hatası bir kaç milimetreden on santimetrelere kadar ulaşabilir. Ek olarak, bu hatalı noktaların nokta bulutundaki gösterimi esnasında aynı doğrultu üzerinden birden fazla kayıt olacağı için gerçekte olduğundan daha büyük olacaktır. Açıkçası lazer ışınının büyüklüğü nokta seviyesine kadar odaklanamayacağı için bu hatalı noktalardan kaçınılması mümkün değildir. Buradan hareketle daha iyi odaklanmış lazer ışınları ile daha iyi sonuçlar alınabilir (Boehler, 2004).



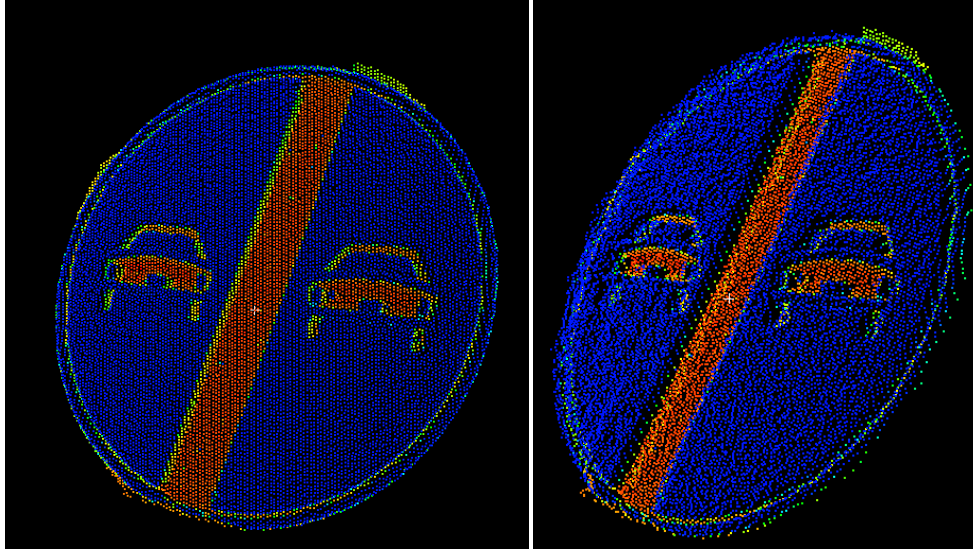
Şekil 2.8. Beton bloğun arkasında oluşan kenar etkisi

### 2.2.5. Yüzey Yansıtıcılığının Etkisi

Lazer tarayıcılar hedef nesnenin yüzeyinden yansıyan ve alıcının triangulasyon lazer tarayıcılar söz konusu olduğunda ise kameranın üzerine düşen sinyale güvenmek zorundadırlar. Her iki durumda da dönen sinyal yansıdığı yüzeyin yansıtıcı özelliklerinden etkilenmektedir. Beyaz yüzeyler yüksek yansıtıcılığa sahipken siyah yüzeylerden gelen yansımalar daha zayıftır. Renkli yüzeylerin yansıtıcılığı ise kullanılan lazerin spektral (yeşil, kırmızı, yakın kızılötesi) karakteristiklerinden etkilenmektedir. Parlak yüzeylerin kaydedilmesi genellikle çok zordur.

Farklı yansıtıcılığa sahip yüzeylerin mesafe ölçümlerinde sistematik hatalara neden olduğu gözlemlenmiştir (Reshetyuk, 2006d). Bazı malzemelerde bu hata tek bir mesafe ölçümündeki standart sapmanın bir kaç katına kadar ulaşabilmektedir. Açıklık (Aperture) ayarı yapabilen bazı lazer tarayıcılarda yansıtıcılığının bir önceki alana göre çok değiştiği yere lazer ışınının ulaşması durumunda ilk noktaları yanlış olarak ölçtüğü ve doğru mesafe uzunluğuna ancak bir kaç nokta ölçüldükten sonra ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Şekil

2.9.'da lazer tarayıcı ile taranan trafik levhasında farklı renklerdeki bölgelerin taranması sonucunda oluşan ve 5 santimetreye ulaşan hatayı gösterilmektedir. Farklı malzemelerden veya renklerden oluşan bir yüzey tarandığında çok ciddi hatalarla karşılaşılacağı unutulmamalıdır. Bu durumdan kaçınmanın yöntemi ise nesnenin geçici bir malzemeyle kaplanmasıdır ki çoğu durumda bu mümkün olmamaktadır (Boehler, 2004).



Şekil 2.9. Yüzey yansıtıcılığının etkisi

### 2.2.6. Çevresel Koşullar

**Sıcaklık:** Her tarayıcı ancak belirli bir sıcaklık aralığında kullanıldığında iyi sonuçlar verir. Hatta belirlenen sıcaklık aralığında bile mesafe ölçümlerinde belirli sapmalara rastlanabilmektedir. Şuna dikkat edilmelidir ki tarayıcının içindeki sıcaklık dış etkenlerden ya da tarayıcının çalışması nedeniyle oluşan iç ısınmadan dolayı dışarıdan daha sıcak olacaktır. Uzun bir periyot düşünüldüğünde bu sıcaklığın etkileri sistematik değişimlere neden olacaktır (Boehler, 2004).

**Atmosferik koşullar:** Her optik alette olduğu gibi atmosferdeki sıcaklık ve basınç değişimi ışığın yayılma hızını ve dolayısıyla elde edilen sonuçları etkiler. Kısa mesafelerde bu durum ihmal edilebilir. Ayrıca çevrede buhar ve tozun bulunduğu durumlarda kenar etkisine benzeyen etkiler kullanıcılar tarafından rapor edilmiştir (Boehler, 2004).

**Radyasyon karışması:** Lazerler çok kısıtlı bir frekans aralığında çalışmaktadır. Bundan dolayı alıcı birime bazı filtreler uygulanarak algılayıcının üzerine sadece izin verilen frekans aralığının ulaşması sağlanır. Eğer ışık kaynağının radyasyonu lazer sinyaline göre daha güçlü ise, bu çevresel radyasyon filtreyi geçerek algılayıcıya ulaşarak hassasiyeti aşağılara çeker ya da hiç ölçüm yapılmasına müsaade etmez (Boehler, 2004).

### **2.2.7. Hassasiyetin Haricinde Kalan Özellik ve Düşünceler**

Lazer tarayıcıların kullanılabilirliğini etkileyen, hassasiyetin dışında da faktörler vardır. Bunlar arasında, ölçüm hızı, menzil sınırlamaları, görüş alanı, lazer ışınının sınıfı, birkaç taramanın birleştirilebilmesi ve bir koordinat sistemine geçilebilmesi için gerekli hedef işaretleri, lazer tarayıcıya entegre edilmiş bir kameranın varlığı, ağırlık ve taşıma kolaylığı, güç kaynağı (batarya, ek güç kaynağı vs), kötü hava koşullarına ve çevresel hasarlara karşı koruma, yazılım desteği ve kalitesi bulunmaktadır. Kullanıcı desteği ve garanti koşulları da bunlar arasında sayılabilir (Boehler, 2004).

### **2.3. Lazer Tarayıcıların Kalibrasyonu**

Her ölçme aletinde olduğu gibi yersel lazer tarayıcıların kalibrasyonu önemli bir konudur. Kalibrasyon hassas ve güvenilir 3B metrik bilginin elde edilebilmesi için şarttır (Remondino ve Fraser, 2006). Kalibrasyon yapılan ölçümlerin gerçek değerlerine ulaşabilmesi için uygulanması gereken parametrelerin belirlenmesi işlemidir (Schofield ve Breach, 2007). Çoğunlukla kalibrasyon, gerçekteki ve olması gereken alet arasındaki uyumsuzluklar gibi mekanik kusurlardan kaynaklanan aletsel hataların belirlenmesi ile ilgilidir (Schulz, 2007).





Şekil 2.10 Yersel lazer tarayıcıların kalibrasyon işlemi (Abbas Vd, 2013)

Lazer tarayıcıların kalibrasyonu aşağıdaki yöntemlerden biri ile gerçekleştirilebilir:

**Bileşen Kalibrasyonu:** Aletin mesafe ölçüm sistemi ve açı ölçüm sistemi gibi farklı bileşenlerinin ayrı ayrı incelenmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu tip kalibrasyon tarayıcı hata modelinin hassas bir biçimde bilinmesini gerektirir. Ancak, bu bilgiler tarayıcıların dışı kapalı yapıları itibarıyla çok kısıtlıdır. Ek olarak, bileşen kalibrasyonunun gerçekleştirilebilmesi için kullanıcının ulaşmasının mümkün olmadığı tesislere erişim gerektirmektedir (Şekil 2.11.) (Reshetyuk, 2009).



Şekil 2.11. İsviçre Widnau’da bulunan kalibrasyon alanı (URL -2).

**Sistem Kalibrasyonu:** fotogrametrideki sistem kalibrasyonunu tanımına göre bir projede kullanılan tüm kameraların (fotoğrafların) iç yöneltme parametrelerinin ve tüm sistematik hataların belirlenmesidir (Gruen ve Huang, 2001). Sistem kalibrasyonu, otomatik kalibrasyon (self calibration) ile gerçekleştirilebilir. Kalibrasyonu yapılmış lazer tarayıcıların jeodezik amaçlı uygulamalarda daha verimli bir biçimde kullanılabilir (Reshetyuk, 2006c). Fotogrametride son kısımdaki “tüm sistematik hataların belirlenmesi” ek parametrelerin tahmini yöntemi ile diğer tüm parametrelerin birden belirlenmesi (demet dengelemede olduğu gibi) olarak tanımlanmıştır. Yersel lazer tarayıcı sistemler söz konusu olduğunda ise, otomatik kalibrasyon diğer tüm sistem parametreleri ile birlikte lazer tarayıcının sistematik hatalarının belirlenmesi olarak yeniden tanımlanabilir. Bileşen kalibrasyonunun aksine, otomatik kalibrasyonda tarayıcının hata modelinin bilinmesi çok da önemli değildir. Hata modeli (ya da düzeltme fonksiyonu) kalibrasyon sırasında en küçük kareler dengelemesi ile elde edilir (Schulz, 2007). Bundan dolayı hata kaynakları bilinmeden de aletsel hataların belirlenmesi mümkündür.



Şekil 2.12. Leica c10 otomatik kalibrasyon alanı (Abbas Vd, 2013)

Son yıllarda otomatik kalibrasyon yöntemi lazer tarayıcıların kalibrasyonunda popüler bir yaklaşım haline gelmiştir. Bu yöntem fotogrametride 1970'lerin başından beri kullanılmış ve en güçlü kalibrasyon yöntemi olarak görülmüştür (Gruen ve Beyer, 2001). Lazer tarayıcıların otomatik kalibrasyonu için kullanılan yaygın yöntemlerden biri kapalı mekana hedef işaretlerinin yerleştirilerek bir kalibrasyon alanı oluşturulmasıdır (Şekil 2.12.). İkincisi ise, “nokta tabanlı” örneğin otomatik kalibrasyonda kullanılan hedeflerin (düz ve ya küresel hedefler) geometrik merkezleri ya da düzlemsel özellikleri olabilir. Otomatik kalibrasyonda kalibrasyon alanının oluşturulması zor değildir ve bundan dolayı pek çok kullanıcı tarafından lazer tarayıcıların kalibrasyonu rahatlıkla yapılabilmektedir. Otomatik kalibrasyonun altından yatan matematik model ise tarayıcının aletsel hatalarının da dâhil edildiği tarayıcı ile gerçek koordinat sistemi arasındaki rijit gövde dönüşümüdür (3B geriden kestirme olarak da bilinir). Bundan dolayı lazer tarayıcıların nokta tabanlı hedefler ile gerçekleştirildiğinde aşağıdaki parametreler elde edilir (Reshetyuk, 2009);

**Dış yöneltme parametreleri:** Harici koordinat sistemine bağlı farklı istasyon noktalarındaki dış yöneltme parametreleri, rijit gövde dönüşümü parametreleri:

3 öteleme (harici koordinat sistemindeki tarayıcının merkez koordinatları):  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ;

3 dönüklük koordinat sisteminin eksenlerindeki dönüklükler  $\omega$ ,  $\varphi$  (“eğim” açısı),  $\kappa$  (“azimut”).

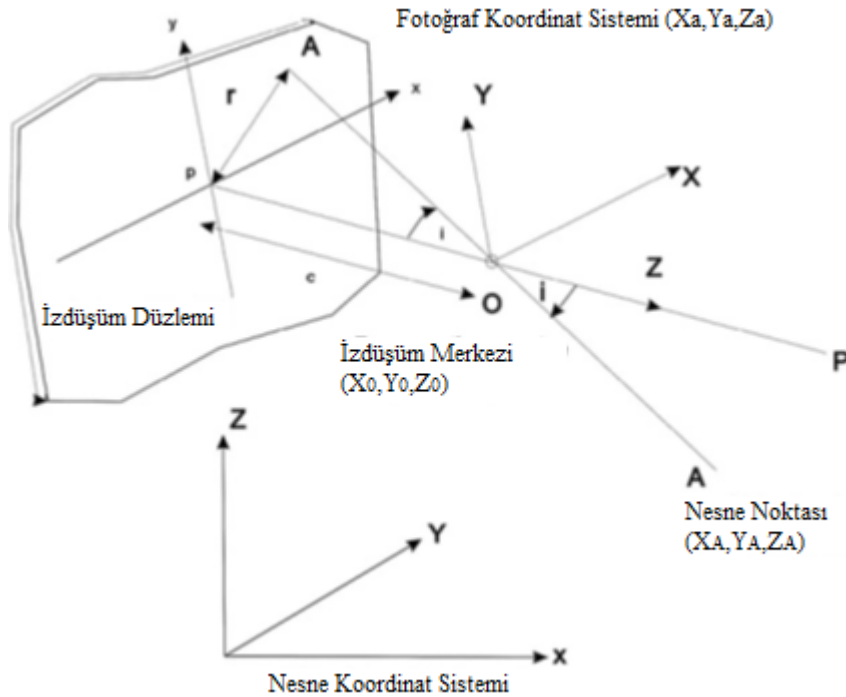
**Tarayıcı kalibrasyon parametreleri:** genellikle ek parametreler olarak bilinir.

**Nesne nokta koordinatları:** harici koordinat sistemindeki hedef merkezlerinin koordinatları

### 3. YERSEL FOTOGRAMETRİK SİSTEMLER

Bir fotoğraf, bir kameranın optik merkezinden geçerek bir algılayıcı yüzey üzerine ışınların iz düşürülmesi ile oluşur. Fotogrametri ise yöneltmeye temel teşkil eden bu 2B fotoğraflar üzerindeki veriyi kullanarak 3B nesnelerin temsil edilmesini sağlayan bir tekniktir (Stojaković, 2008). Fotogrametri iki ya da daha fazla bindirmeli olarak çekilmiş fotoğrafın yöneltmelerinin yapılarak bir blok haline getirilmesi ve kolinearite eşitlikleri ile bu bindirmeli bölgelerden 3B konum bilgisinin çıkartılmasını sağlamaktadır (Kraus, 1997).

Yersel fotogrametrinin en basit anlamdaki tanımı merkezi perspektif izdüşümdür. Birincil koordinat sistemi nesne uzayına keyfi bir biçimde yerleştirildiğinde ikincil koordinat sistemi de kameranın izdüşüm merkezine (O) yerleştirilir. İzdüşüm merkezine yerleştirilen koordinat sisteminin Z eksenini Şekil 3.1.'deki gibi görüntü uzayında dışa doğru yönelmiş olur (Yılmaz vd, 2007).



Şekil 3.1. Merkezi perspektif izdüşüm (Yılmaz H. M. Vd 2007)

Birinci sistemde izdüşüm merkezi "O" ve nesne noktasının uzaydaki koordinatları olan, sırasıyla  $(X_0, Y_0, Z_0)$  ve  $(X_A, Y_A, Z_A)$  bilinmektedir. A'nın O'dan geçerek fotoğraf düzlemine izdüşümü ikinci koordinat sisteminde  $\mathbf{a} (x_a, y_a, c)$  ile ifade edilmektedir. c odak

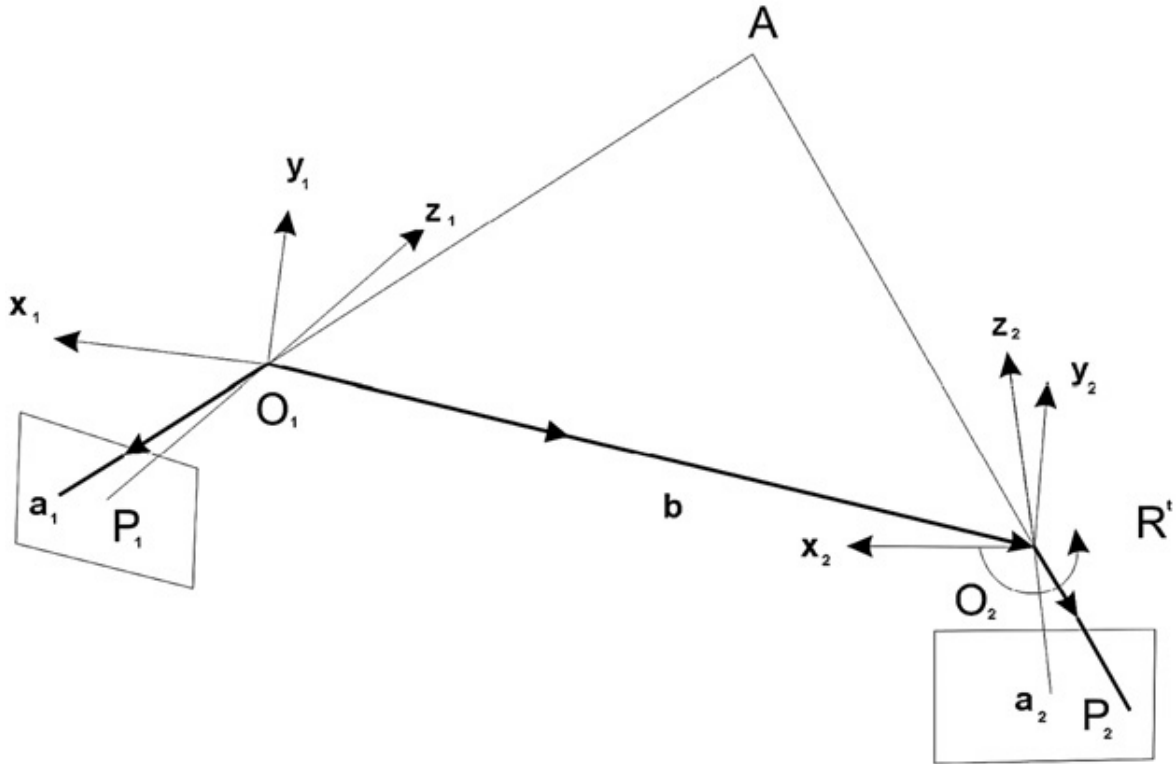
uzaklığı O ile p arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. A ve a noktaları da eşlenik noktardır. Böylece  $X_A = X_0 + (-\mu)R^t x_a$ , elde edilir. Buradaki  $\mu$  ise A'dan O'ya olan uzaklığa orantılı olan ölçek faktörüdür (Yılmaz vd, 2007). Ters dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ -c \end{bmatrix} = \mu^{-1} \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \gamma_{31} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \gamma_{32} \\ \gamma_{13} & \gamma_{23} & \gamma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A & X_0 \\ Y_A & Y_0 \\ Z_A & Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki ters dönüşüm matrisi ölçek faktörü kullanılmadan (3.2 ve 3.3)'deki şekilde yazılabilir. Böylelikle kolinearite eşitlikleri elde edilmiş olur.

$$x_a = \frac{-c[\gamma_{11}(X_0 - X_A) + \gamma_{12}(Y_0 - Y_A) + \gamma_{13}(Z_0 - Z_A)]}{[\gamma_{31}(X_0 - X_A) + \gamma_{32}(Y_0 - Y_A) + \gamma_{33}(Z_0 - Z_A)]} \quad (3.2)$$

$$y_a = \frac{-c[\gamma_{21}(X_0 - X_A) + \gamma_{22}(Y_0 - Y_A) + \gamma_{23}(Z_0 - Z_A)]}{[\gamma_{31}(X_0 - X_A) + \gamma_{32}(Y_0 - Y_A) + \gamma_{33}(Z_0 - Z_A)]} \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Epipolar düzlem (Yılmaz vd, 2007)

Bu da şu anlama gelmektedir, epipolar düzlem 3 bilinen nokta (2 izdüşüm merkezi ve nesne noktası) ile tanımlandığı için nesne noktasının bir fotoğraftaki karşılığı biliniyorsa ve uzaydaki fotoğraf düzleminin kesin konumu biliniyorsa, diğer fotoğraftaki epipolar iz bulunabilir. Nesne noktası ikinci fotoğrafta da bulunduğunda, bu noktanın keyfi bir koordinat sistemindeki konumu belirlenir (Stojaković, 2008).

A hedefinin bulunduğu  $a_1$  ve  $a_2$  görüntüleri göz önünde bulundurulduğunda aşağıdaki eş düzlemsel vektörler elde edilir. Burada  $b$  görüntü çifti arasındaki baz uzaklığını temsil etmektedir.

$$a_1 = (-\lambda)[x_1 y_1 (-c_1)]^t \quad (3.4)$$

$$a_2 = (-\mu R^t)[x_2 y_2 (-c_2)]^t \quad (3.5)$$

$$b = [b_x b_y b_z]^t \quad (3.6)$$

Baz vektörünün 0 olmadığı varsayılırsa ve  $R^t a_2 = a'_2 = [x'_2 y'_2 z'_2]^t$  formülü kullanılırsa A noktasına ait aşağıdaki koplanairete eşitlikleri elde edilmiş olur;

$$\det \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x'_2 \\ \frac{b_y}{b_x} & y_1 & y'_2 \\ \frac{b_z}{b_x} & -c_1 & z'_2 \end{bmatrix} = 0 \quad (3.7)$$

Karşılıklı yönlümenin 5 parametresinin ( $b_y/b_x$ ,  $b_z/b_x$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ )çözülebilmesi için en az 3 kontrol noktası ve ya 6 koordinat gerekmektedir. Karşılıklı yönlüme gerçekleştirildikten sonra 2 resimde de bulunan bir noktaya ait koordinatlar hesaplanabilir.

### 3.1. Yersel Fotogrametrik Sistem Çeşitleri

Bu bilgilerin elde edilmesi için kullanılan 3 farklı türde kamera bulunmaktadır; metrik, stereometrik ve metrik olmayan (amatör) kameralar. Aşağıdaki Tablo 3.1. Bu kameralara ait bazı bilgiler verilmektedir.

Tablo 3.1. Metrik, stereometrik ve metrik olmayan kameralara ait bazı bilgiler

	<b>Metrik Kamera</b>	<b>Stereometrik Kamera</b>	<b>Metrik Olmayan Kamera</b>
<b>İç Yönelme</b>	Bilinen	Bilinen	Bilinmeyen
<b>Dış Yönelme</b>	Bilinmeyen	Bilinen	Bilinmeyen
<b>Odak Uzaklığı</b>	Sabit	Sabit	Sabit - Değişken
<b>Netleme</b>	Yok	Yok	Var
<b>Müşir noktaları</b>	Var	Var	Yok
<b>Menzil</b>	Kısa	Kısa	Uzun

### 3.1.1. Metrik Kameralar

Metrik kameraların iç geometrileri hassas olarak bilinmekle beraber çok düşük lens distorsiyonuna sahiptirler. Bundan dolayı da pahalı aletler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Odak uzaklığı sabit olan bu kameralarda herhangi bir netleme işlemi yapılamaz dolayısıyla bu kameraların kısıtlı çalışma menzilleri vardır (Şekil 3.3.). Ayrıca bu kameraların, kameranın gövdesine sabitlenmiş 4 (genellikle) adet müşir noktası ile koordinat sisteminin belirlenmesine yardımcı olunur. Bu kameralar alet sehpaları ve Total Stationlar ile birlikte kullanılabilir (Kraus, 1997).



Şekil 3.3. Rollei Orta Format Réseau metrik kamera.



### 3.1.2. Stereometrik Kameralar

Bir nesnenin iki farklı noktadan resimleri çekilirse, bu iki noktayı birleştiren çizgiye baz adı verilir. Eğer iki fotoğrafın da görüş doğrultuları baz ile doğru açıda ve birbirlerine paralel ise (fotogrametride normal durum) bu durumda gözlerimizde oluşan görüntü ile aynı özelliklere sahip olur. Bundan dolayı bu iki fotoğrafın bindirmeli kısımları (stereo çift) 3B olarak görülebilir tıpkı gözlerimizde olduğu gibi. Uygulamada bir stereo çift tek bir kamera ile 2 farklı konumdan elde edilebileceği gibi bir stereometrik kamera kullanılarak da elde edilir. Stereometrik kamera ise hassas biçimde uzunluğu (genellikle 40 ya da 120 cm) bilinen bir bazın iki ucuna metrik kameranın yerleştirilmesinden meydana gelir (Şekil 3.4.). Bazın iki ucunda iki kameranın normal durumda yerleştirildiği sabit bazın kullanılması ile her iki fotoğrafın yönlendirmelerinin 12 elemanı lokal koordinat sistemine göre bilinmektedir. Bu nedenle bu tür fotogrametrik uygulamalarda kontrol noktası kullanılmamaktadır. Ancak başka bir koordinat sistemine geçilecekse kontrol noktası kullanılmalıdır (Kraus, 1997).



Şekil 3.4. Alet sehvası üzerine monte edilmiş metrik ve stereometrik kameralar

### 3.1.3. Metrik Olmayan Kameralar

İç geometrisinin bilinmeyen ve değişken olan kameralara metrik olmayan kameralara denir. Bu kameralar basit bas-çek kameralardan ileri seviye tam kare

kameralara kadar uzanmaktadır ve kalibrasyonları yapılarak yersel fotogrametrik amaçlar için kullanılabilirler. Ancak bu kameralarla çekilen fotoğrafların değerlendirilmesi karmaşık matematik modeller ile sağlanmaktadır ve bu da verinin işleme zamanını uzatmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin geldiği nokta açısından veri işleme artık sorun olmaktan çıkmıştır (Kraus, 1997). Şekil 3.5.'te günümüzde yersel fotogrametrik amaçlı uygulamalarda kullanılan metrik olmayan kameralar görülmektedir.



Şekil 3.5. Günümüzde yersel fotogrametrik amaçlı olarak kullanılan metrik olmayan kameralar

## 3.2. Fotogrametride Hassasiyete Etki Eden Koşullar

Fotogrametride, özellikle de yersel fotogrametride kullanılan kameralar açısından bakıldığında kameraların iç parametrelerinin tam olarak bilinmesi sağlıklı uygulamalar yapmak için vazgeçilmezdir. Ayrıca fotogrametride kullanılan kameraların çoğu görünür bölgede kayıt yaptıklarından dolayı güneş ışığına ihtiyaç duymaktadırlar. Güneş ışığının lensten geçene kadar, lensten geçerken ve algılayıcının üzerine düşerken pek çok etkiye maruz kalır.

### 3.2.1. Çözünürlük

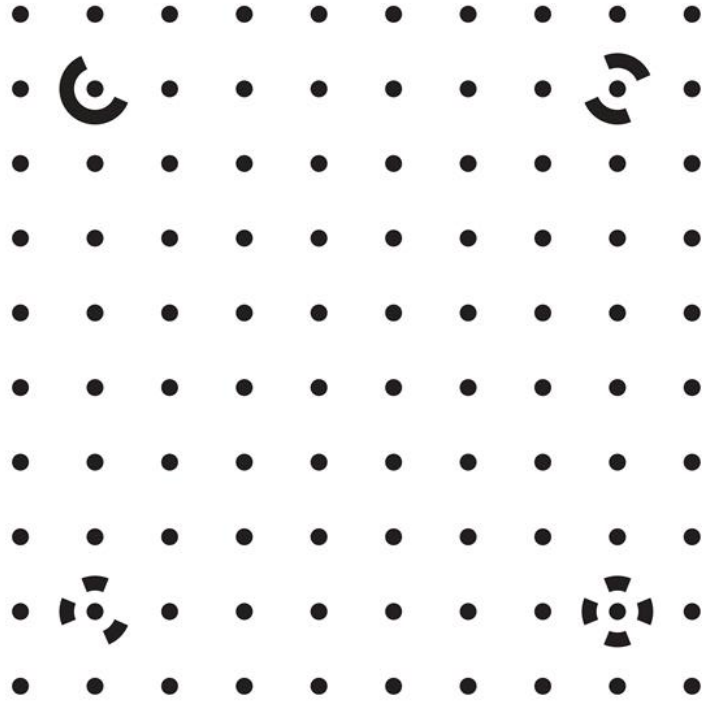
Dijital görüntüler bilgisayarlardaki özel dizilerdir. Bu dizideki her eleman aynı özelliğe sahiptir. Bu elemanlar görüntünün yapı taşları olup piksel olarak bilinmektedirler. Dijital görüntü bir pikseller bütünüdür. Görüntü kalitesini üç faktör belirlemektedir. Konum çözünürlüğü, radyometrik çözünürlük ve boyut. Dijital görüntünün konum çözünürlüğü piksel boyutundan türetilmektedir. Piksel boyutu ne kadar küçülürse dijital görüntü kalitesi o kadar artacaktır. Radyometrik çözünürlük, bir pikselin alabileceği renk

değerlerinin miktarı olarak tanımlanabilir. Örneğin 8 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip bir görüntüde, bir pikselin  $2^8 = 256$  farklı renk değeri alabileceği anlaşılmaktadır. Radyometrik çözünürlüğün diğer bir özelliği ise görüntüdeki kanal sayısıdır. Bu kanallar çeşitli formlarda olabilmektedir. Her optik alette olduğu gibi kameralarda da çözünürlük çok önemlidir. Birim alana düşen veri miktarındaki artış bir pikselin yerde temsil ettiği büyüklüğün azalmasına neden olarak daha fazla detay toplanmasına müsaade eder (Canıberk, 2008).

### **3.3.2. Kalibrasyon**

Bir kameranın algılayıcısının ebatları, piksel büyüklükleri ve kullanılan lense bağlı olarak odak uzaklıkları üreticiler tarafından teknik özellikler listesinde belirtilmişse de bunlar genelde yaklaşık değerlerdir ve fotogrametride kullanmak için yeterli hassasiyete sahip değildirler. Hassas bir fotogrametrik uygulama yapmak için algılayıcı boyutları, piksel büyüklüğü, odak uzaklığı, lens distorsiyonları ve iz düşüm merkezinin konumu hassas bir biçimde bilinmelidir. Bu bilgiler ancak kameranın kalibre edilmesi ile elde edilebilirler.

Kamera kalibrasyonu için Şekil 3.6.'daki gibi rölatif konumları bilinen bir levha ya da konumları bilinen ve 3 boyutlu biçimde yerleştirilmiş kontrol noktaları bulunan bir kalibrasyon yüzeyi belirlenerek yatay ve 90 derece döndürülmüş şekilde fotoğraflarının çekilerek kolinearite eşitlikleri ve demet dengeleme ile kamera kalibrasyon yazılımında kameranın iç yöneltme parametreleri belirlenir.



Şekil 3.6 PhotoModeler yazılımına ait kalibrasyon levhası

### 3.3.3. Fotoğraflar Arasındaki Aç

Eğer iki fotoğraf birbirine çok yakın ve düşük açılar ile çekilmişse bu durumda birbirlerine yaklaşık 90 derecelik açı ile çekilmiş fotoğraflardan elde edilecek doğruluktan daha azı elde edilebilir. Bu durumdan kaçınmak için modellenecek nesnenin etrafında iyi yayılmış olarak çekilmiş fotoğraflar ile daha iyi sonuçlar elde edilecektir. Ayrıca bir noktanın ikiden fazla fotoğrafta bulunması da istenen bir durumdur (Matthews, 2009).

### 3.3.4. Çevresel Koşullar

Görünür bölgede çalışan kameralar ile çalışırken dikkat edilmesi gerek en önemli etkenlerden biri ışığın durumudur. Yeterli aydınlatmanın ya da uygun ışık koşullarının oluşmadığı karanlık ve ya bir tarafın parlak bir tarafın da karanlık kaldığı durumlarda yapılan fotoğraf alımları istenen sonucu vermeyecektir. Ayrıca görüşün düştüğü sisli, tozlu hava koşullarında fotogrametrik yöntem çalışmayacaktır.

Yersel fotogrametride istenen en yüksek doğruluğa ulaşmak için kamera ayarlarının doğru yapılması önemlidir. Bunun için çekim esnasında algılayıcının ışığa duyarlılık hassasiyeti olan ISO hassasiyetini ışığın durumuna göre en uygun ayara getirilmelidir. Örneğin güneşli bir havada en düşük ISO ayarında fotoğraf çekmek algılayıcının oluşturacağı gürültüyü azaltır böylece daha keskin sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca kameranın açıklığının ışığın durumuna göre daha küçük olması (f8 - f11) netlik derinliğini artırarak odağın daha uzun bir aralıktaki nesnelere yakalanmasını sağlar ve böylelikle alımı yapılan nesne en net biçimde çekilebilir. Ek olarak daha düşük açıklık lens distorsiyonunu ve aberasyonları azaltarak daha kaliteli bir alım yapılmasına olanak sağlar bundan dolayı çekim anında kameranın açıklık önceliği modunda bulunması ve diğer ayarların buna göre yapılması tercih edilir. Obtüratör hızı ise algılayıcının ne kadar süre ışığa maruz kalacağını belirler bu da daha yüksek hızlarda tripod kullanılmaması durumunda oluşabilecek sarsılmaların önlenmesi anlamına gelir. Ayrıca odak ayarının manuel yapılması ve çekimin başından sonuna kadar aynı konumda kalması üretilecek olan modelin kalitesini ciddi anlamda etkilemektedir. Ancak alımı yapılacak olan nesne ile kamera arasındaki mesafe sabit kalacak ise otomatik odak ayarı da kullanılabilir. Kaliteli bir kamera ve lensin yanında bir de tripod kullanılması kameranın çekim anında sabit kalmasını sağlayarak daha düşük açıklık ayarlarında daha uzun pozlamaya olanak sağlayarak görüntü yürümesinden (motion blur) arındırılmış kaliteli fotoğraflar çekilebilecektir (Matthews, 2009).

## 4. UYGULAMALAR

Bu bölümde yersel lazer tarama yöntemi ve yersel fotogrametrik yöntem çeşitli senaryolarda birbirleri ile kıyaslanacaktır. Bu kıyaslamada, noktasal, alansal ve hacimsel karşılaştırmaların yanı sıra zaman, maliyet ve işletim kolaylıkları da ele alınacaktır.

### 4.1. Leica Scan Station C10 Lazer Tarayıcı

Yersel lazer tarayıcı olarak uçuş zamanı prensibine göre çalışan çift eksen kompensatörlü, nokta üzerine kurulabilmesi için lazer çekülü ve dâhili kamerası bulunan Leica C10 (Şekil 4.1.) lazer tarayıcı kullanılacaktır.

Tablo 4.1. Leica C10 teknik özellikleri

<b>Alet Türü</b>	Çift eksen kompensatörlü, yüksek hızlı, ölçme hassasiyetine uygun mesafe ve görüş alanı olan lazer tarayıcı
<b>Veri Depolama</b>	80 GB dâhili SSD
<b>Kamera</b>	Dâhili otomatik ayarlı yüksek çözünürlüklü dijital kamera
<b>Tek Ölçüm Hassasiyeti</b>	Konum: 6mm, Mesafe: 4mm, Açık (yatay/düşey): 12"/12"
<b>Model Yüzeyi Hassasiyeti</b>	2 mm
<b>Hedef Belirleme</b>	2 mm
<b>Lazer tipi</b>	Pulse; özel mikroçipli
<b>Renk</b>	Yeşil; görünür (532 nm dalga boyu)
<b>Menzil</b>	%90 yansıtıcılıkta 300 m, %18 yansıtıcılıkta 134 m
<b>Tarama hızı</b>	50000 nokta/saniye'ye kadar
<b>Tarama Çözünürlüğü</b>	Nokta Boyutu: 0-50 m <7 mm
<b>Görüş alanı</b>	Yatay: 360 derece Düşey: 270 derece
<b>Tarama optiği</b>	Yatayda hareket eden yapı üstünde düşeyde hareket eden ayna
<b>Dahili Kamera</b>	360 x 270 derece görüş açılı, otomatik ışık duyarlılıklı yakınlaştırma yapabilen Tek resimde 17 x 17 derece, 1920 x 1920 piksel (4 MP)



Şekil 4.1. Uygulamada kullanılan Leica c10 lazer tarayıcı ve taşıma çantasının boyutları (URL-2).

3B tarama verileri değerlendiren yazılımlar pek çok bileşenden oluşur. Tarayıcıyı kontrol eden yazılımlar taranacak nesnenin hangi kısımlarının hangi çözünürlükte taranacağı seçilebilmelidir. Nokta bulutunun işlenmesi için de yüksek yoğunluktaki nokta bulutunu görselleştiren, veri silme, filtreleme, yoğunluk azaltma, basit şekil yerleştirme ve referanslandırma işlemleri yapılabilmelidir. Karmaşık yapılı şekillerin yüzeylerinin modellenmesi, yüzeyin yumuşatılması ve yüzeye doku giydirilmesi bu yazılımlardan beklenen özelliklerdir (Boehler, 2002).

Leica c10 lazer tarayıcı ile yapılan taramaların değerlendirilmesi için Leica Cyclone yazılımı kullanılacaktır. Cyclone yazılımında nokta bulutlarının birleştirilmesi, koordinat sistemine yerleştirilmesi, nokta bulutlarının yoğunluğunun azaltılması, nokta bulutlarından yüzey modelinin çıkartılması, alan ve hacim hesaplarının yapılması mümkündür. Tablo 4.2.'de Leica Cyclone yazılımı ile diğer lazer tarayıcı üreticilerinin nokta bulutu işleme yazılımları gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Lazer tarayıcı yazılımlarına ait özellikler

Yazılım Adı	Otomatik Bağlama Noktası Bulma	Gerçek Zamanlı Görselleştirme	Geo-referanslama	Basit Şekil Yerleştirme	Basit Şekil Özellikleri	Max. Model Boyutu [milyon nokta]
Leica Cyclone	Var	Var	Var	Var	çizgi; düzlem; silindir; küre	-
RiSCAN PRO	Var	Var	Var	Var	çizgi; düzlem;	30
Trimble RealWorks	Var	Var	Var	Var	çizgi; düzlem; silindir; küre	-
ILRIS Controller	Var	Var	Var	Var	çizgi; düzlem;	-
Z+F LaserControl / LFM	Var	Var	Var	Var	çizgi; düzlem;	20

#### 4.2. Canon EOS 550D Kamera

Yersel Fotogrametrik amaçla 18 MP Canon EOS 550d 18-55mm (18mm'ye sabitlenmiş) lens ile kullanılacaktır (Şekil 4.2.). Tablo 4.3. 'te kameraya ait bazı teknik bilgiler verilmiştir.

Tablo 4.3. Canon EOS 550d teknik özellikleri

Algılayıcı tipi	CMOS
Algılayıcı boyutu	22.3 x 14.9 mm
Piksel sayısı	18 milyon
En boy oranı	3:2
Lens Çarpanı	1.6x
ISO hassasiyeti	100 - 6400
Obtüratör hızı	30- 1/4000 saniye
Resim Boyutu	5184 x 3456 piksel (8 bit JPEG)





Şekil 4.2 Canon EOS 550d dijital kameranın boyutları

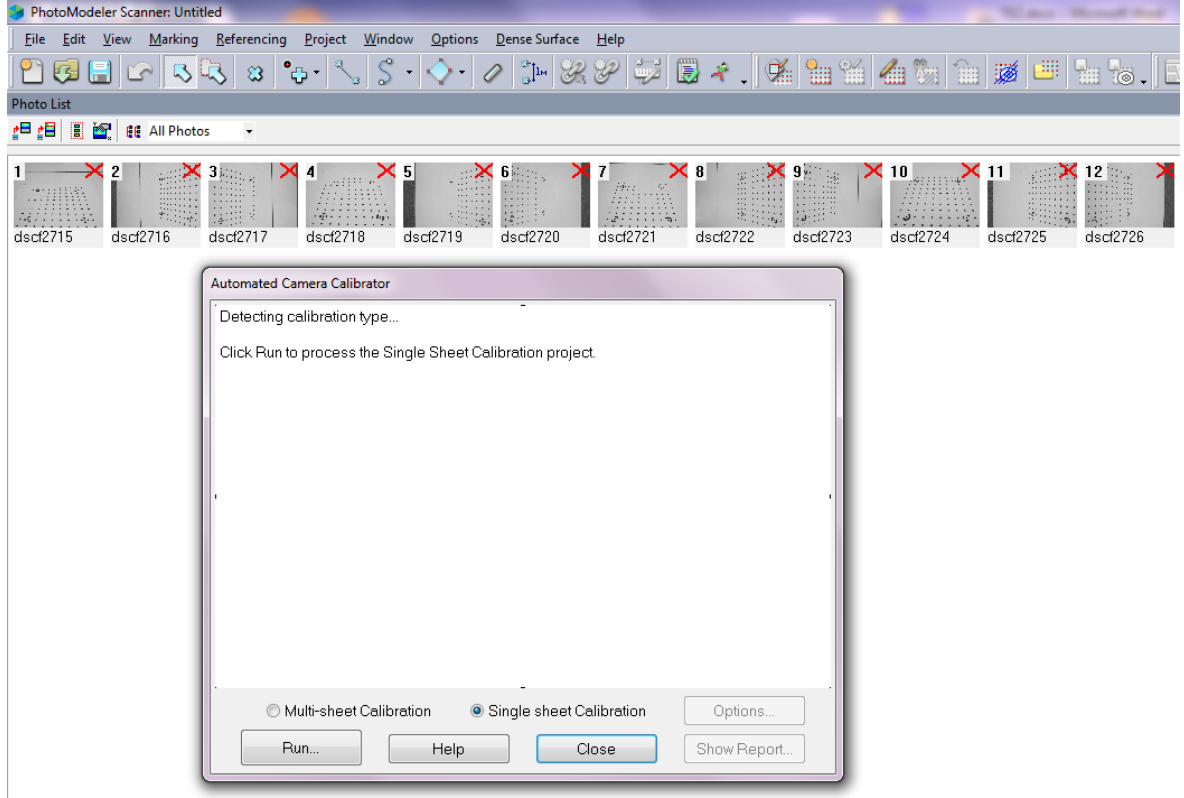
PhotoModeler Scanner yazılımı resim değerlemesi için kullanılacaktır. PhotoModeler Scanner yazılımının öne çıkan bazı özellikleri aşağıdaki tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4 PhotoModeler Scanner yazılımının özellikleri

<b>PhotoModeler Scanner</b>	
<b>Smart Match</b>	Üzerinde herhangi bir hedef bulunmayan fotoğrafların birbirine bağlanması için nokta üretme.
<b>Coded Target</b>	PhotoModeler yazılımı tarafından üretilen kodlanmış hedef noktalarıdır. Yazılım tarafından otomatik olarak tanınarak fotoğraflar üzerinde işaretlenir.
<b>Dense Surface</b>	Bu algoritma ile fotoğraf çiftleri üzerinden detay noktalarına ait 3B nokta bulutu üretilir.
<b>Statistical Outlier Removal Neighborhood Based Outlier Removal</b>	Dense surface algoritması ile üretilen nokta bulutlarında bulunan aykırı noktaları ve noise temizleme.
<b>Triangulasyon</b>	Nokta bulutunun 3B yüzey modelini oluşturma, düzeltme ve eşyükselti eğrileri geçirme.
<b>Marking Mode</b>	Kare, Silindir, koni, düzlem ve çizgi işaretleme ve yüzey oluşturma.

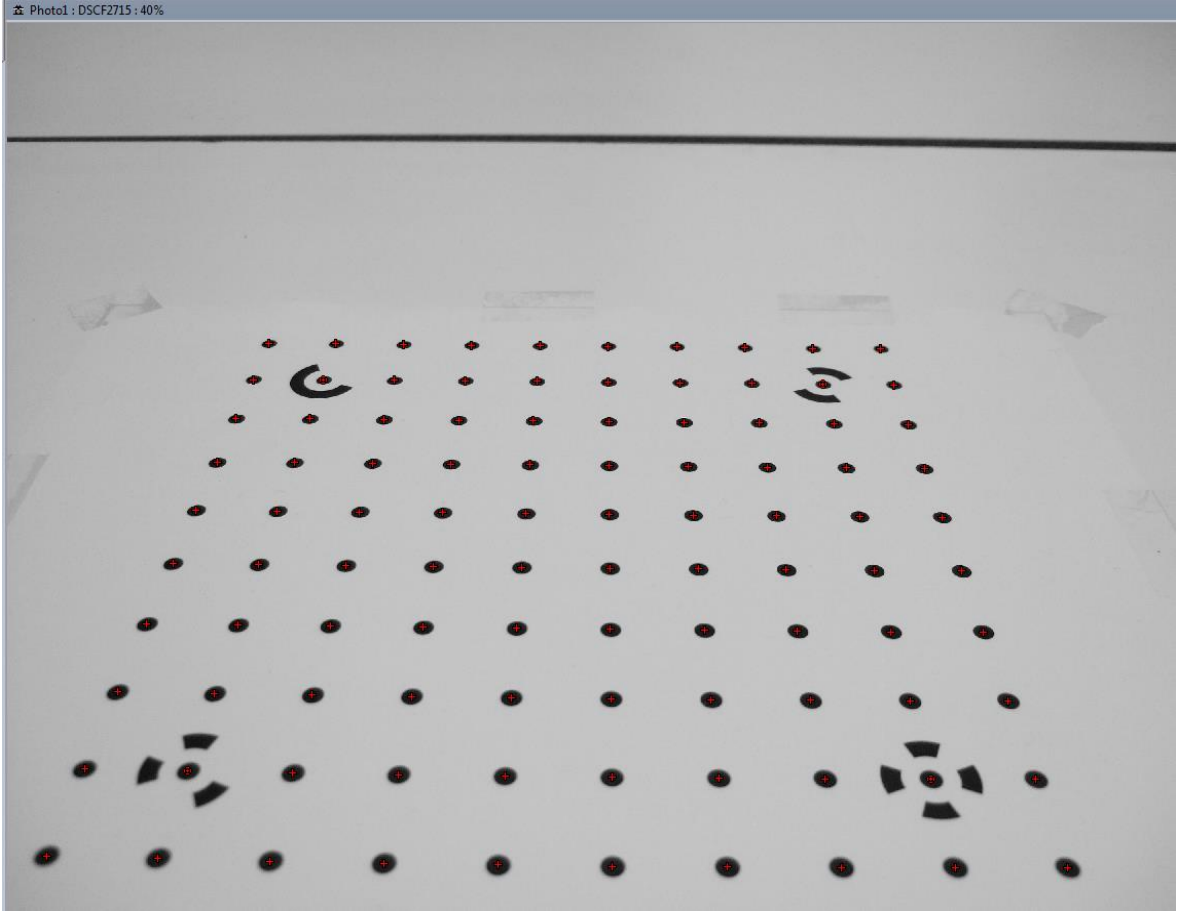
#### 4.2.1. Kamera Kalibrasyonu

Canon Eos 550d dijital kameranın kalibrasyonu PhotoModeler yazılımında gerçekleştirilmiştir. Kamera kalibrasyonu için PhotoModeler tarafından hazırlanmış olan bu levhanın dört kenarından kameranın yatay ve dikey konumlarında 12 adet fotoğraf çekilerek PhotoModeler yazılımına kalibrasyon projesi olarak aktarılmıştır (Şekil 4.3.).



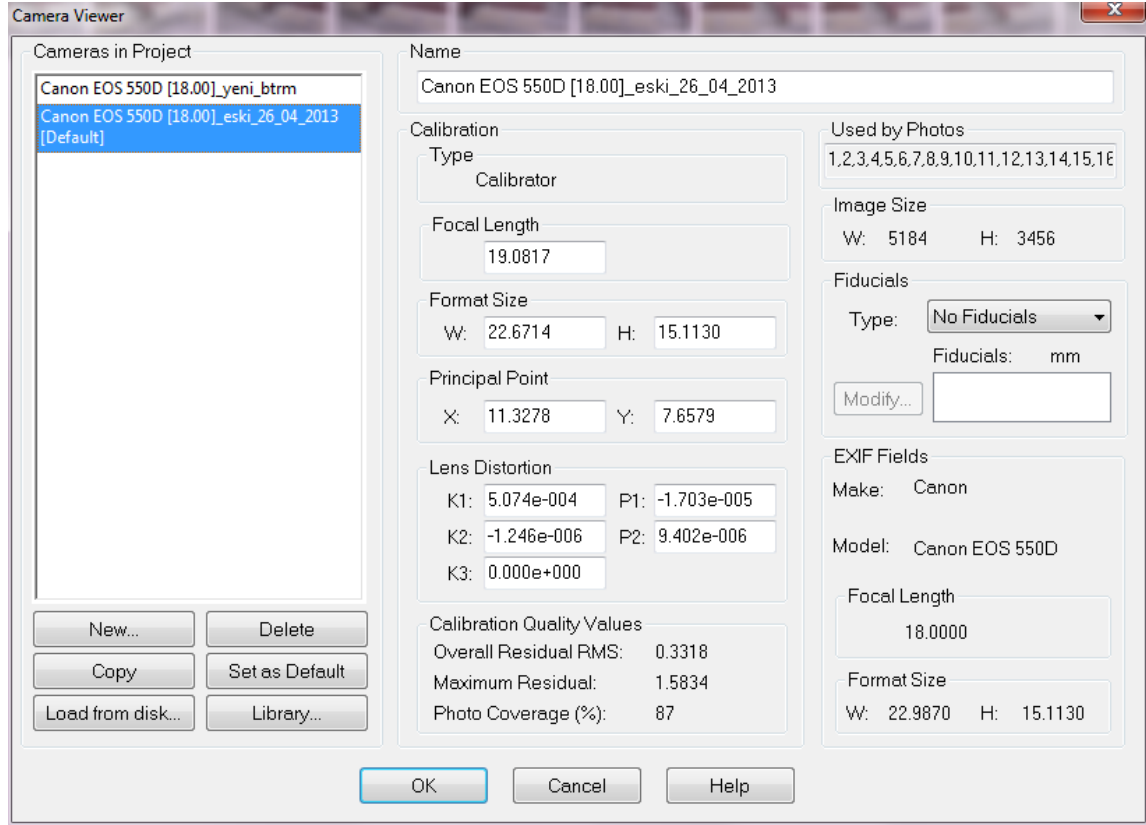
Şekil 4.3. Fotoğrafların PhotoModeler yazılımına aktarımı ve kalibrasyon türünün seçimi.

Kalibrasyon türü seçildikten sonra “Run” komutu ile kalibrasyon levhası üzerindeki hedef noktaları farklı noktalardan belirlenerek kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Kalibrasyon levhası ve üzerinde kırmızı renkte işaretlenmiş noktalar

Yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda Şekil 4.5.'te görülen iç yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. Kameranın odak uzaklığının 18 mm'ye ayarlanmış olmasında rağmen yapılan kalibrasyonda bu uzaklığın 19.0817 mm çıktığı görülmüştür. Ayrıca kamera algılayıcısının gerçek boyutları ve izdüşüm merkezinin koordinatları tam olarak hesaplanmış ve lens distorsiyonları belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Kamera kalibrasyon sonucu

### 4.3. Topcon GPT 3100 NW Total Station

Yapılan ölçümler Topcon GPT 3100 NW Lazer Total Station (Şekil 4.6.) ile değerlendirilmiştir. Bu Total Station'ın mesafe hassasiyeti  $\pm 3\text{mm}+2\text{ppm}$  olarak kullandığımız lazer tarayıcının hassasiyetinden yüksektir (Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. TOPCON GPT 3100 NW lazer total station teknik özellikleri

TOPCON GPT 3100 NW Teknik Özellikleri	
Yakınlaştırma	30x
Görüş Alanı	1°30'
En Kısa Odak Mesafesi	1.3 m
Lazer Ölçüm aralığı	1.5 m – 350 m
Prizma İle Max. Ölçme Mesafesi	3000 m
Prizma ile Ölçme Doğruluğu	$\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$
Lazer ile Ölçme Doğruluğu	$\pm 3\text{mm} + 2\text{ppm}$
En küçük Açık Okuması	5" / 1" (1mgon / 0.2mgon)
Açık Okuma Doğruluğu	2" (0.6mgon)



Şekil 4.6. Topcon GPT 3100 NW Lazer Total Station

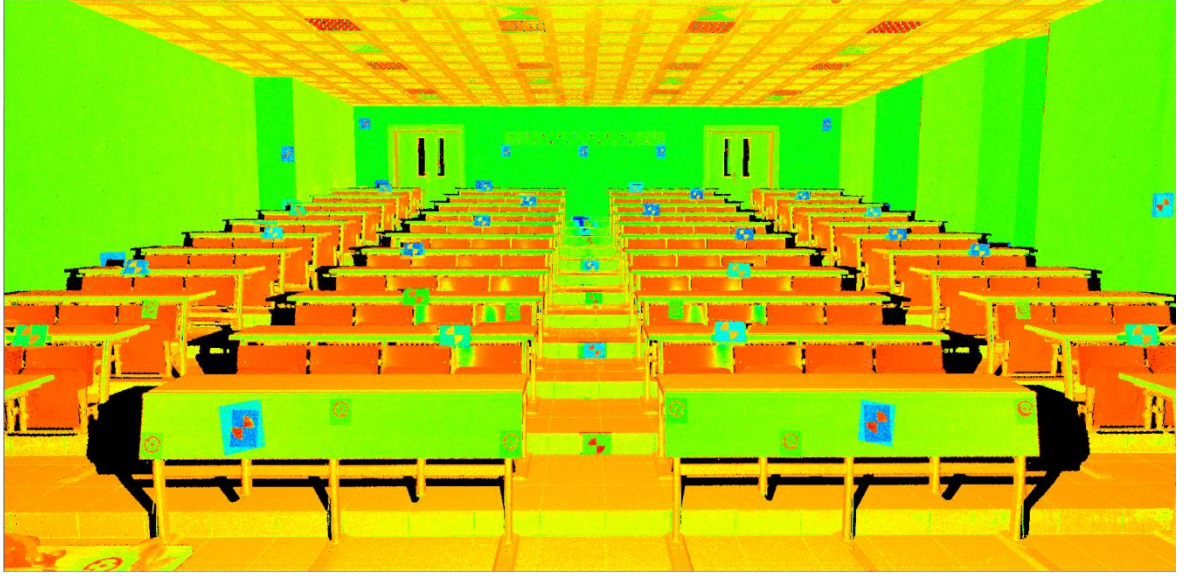
#### 4.4. Derinlik Hassasiyetinin Değerlendirilmesi

Derinlik hassasiyetinin değerlendirilmesi amacıyla üniversitemiz mühendislik fakültesinin bulunan amfilerden birine hedef işaretleri konularak lazer tarayıcı ile taranarak, kamera ile de resim alımları yapıldı. Bu çalışmadaki amaç değişik alet hedef arasındaki mesafelerde 2 yöntemin birbirine göre hassasiyetlerinin incelenmesidir. Bunun için amfinin duvarlarına çeşitli yüksekliklerde, zemine ve ayrıca sıralar üzerine hedefler aralıklı olarak Şekil 4.7.'deki gibi yerleştirilmiştir.



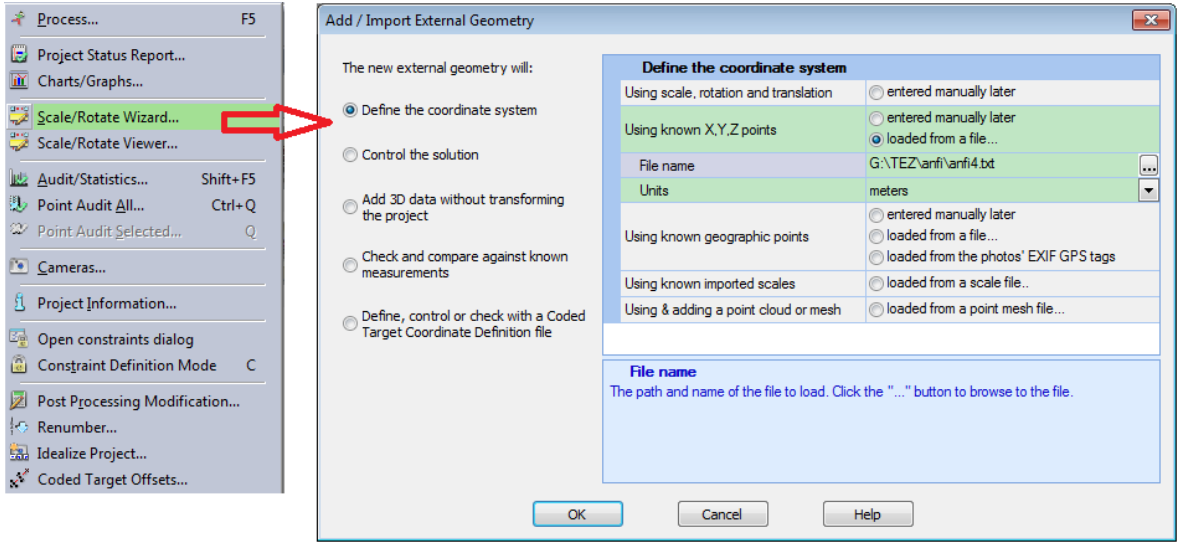
Şekil 4.7. Hedef işaretlerinin yerleşimi

Lazer tarayıcı ile daha sonra hedeflerin rahatça üzerinden seçilerek tekrar taratılabilmesi için düşük çözünürlükte bir tarama yapılmış ardından da bu tarama üzerinden hedefler tek tek seçilerek en yüksek çözünürlükte taranmıştır (Şekil 4.8.). Ardından tripod üzerine sabitlenmiş kamera ile uygun geometriyi oluşturacak biçimde fotoğraf alımı yapılmıştır. Fotoğraf alımı sırasında netlik derinliğini artırabilmek için açıklık değeri olarak f:8, iso hassasiyeti olarak da 100 tercih edilmiş ve alımlar buna göre yapılmıştır. En son olarak da lazer Total Station ile y ekseninin derinliği tanımladığı lokal bir koordinat sistemi belirlenerek tüm hedef işaretleri ölçülmüştür.



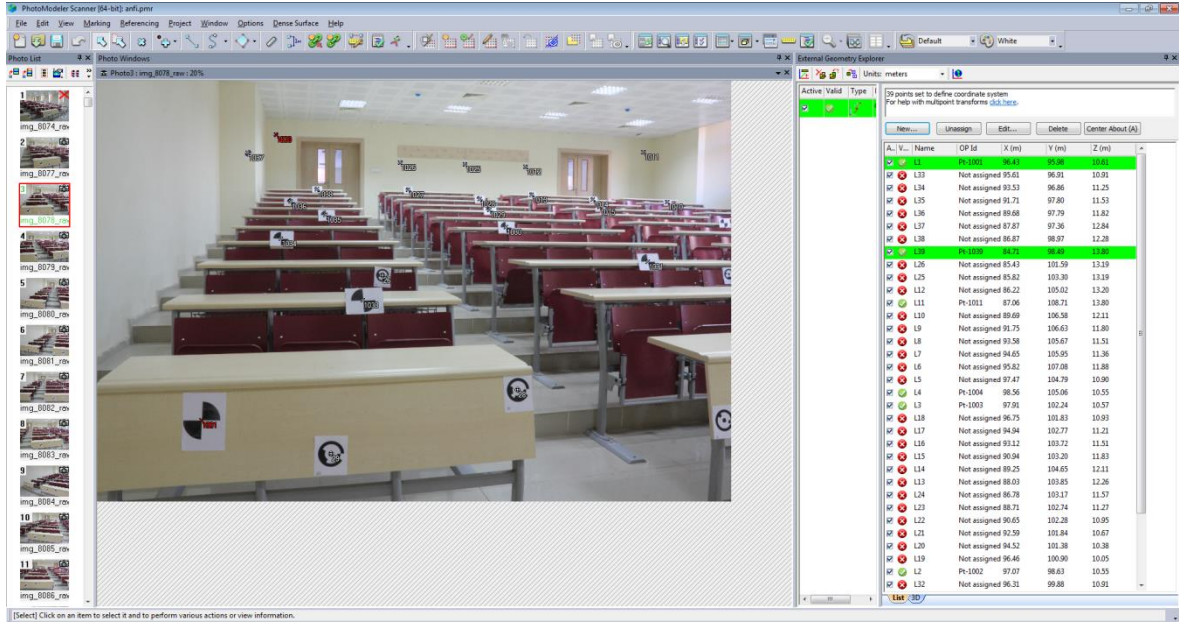
Şekil 4.8. Lazer tarayıcı nokta bulutu

Ölçülen hedef işaretlerinden bir kısmı kontrol noktası olarak belirlenmiştir. Bu kontrol noktalarının koordinatları PhotoModeler yazılımına Şekil 4.9.'da gösterildiği gibi aktarılmıştır.



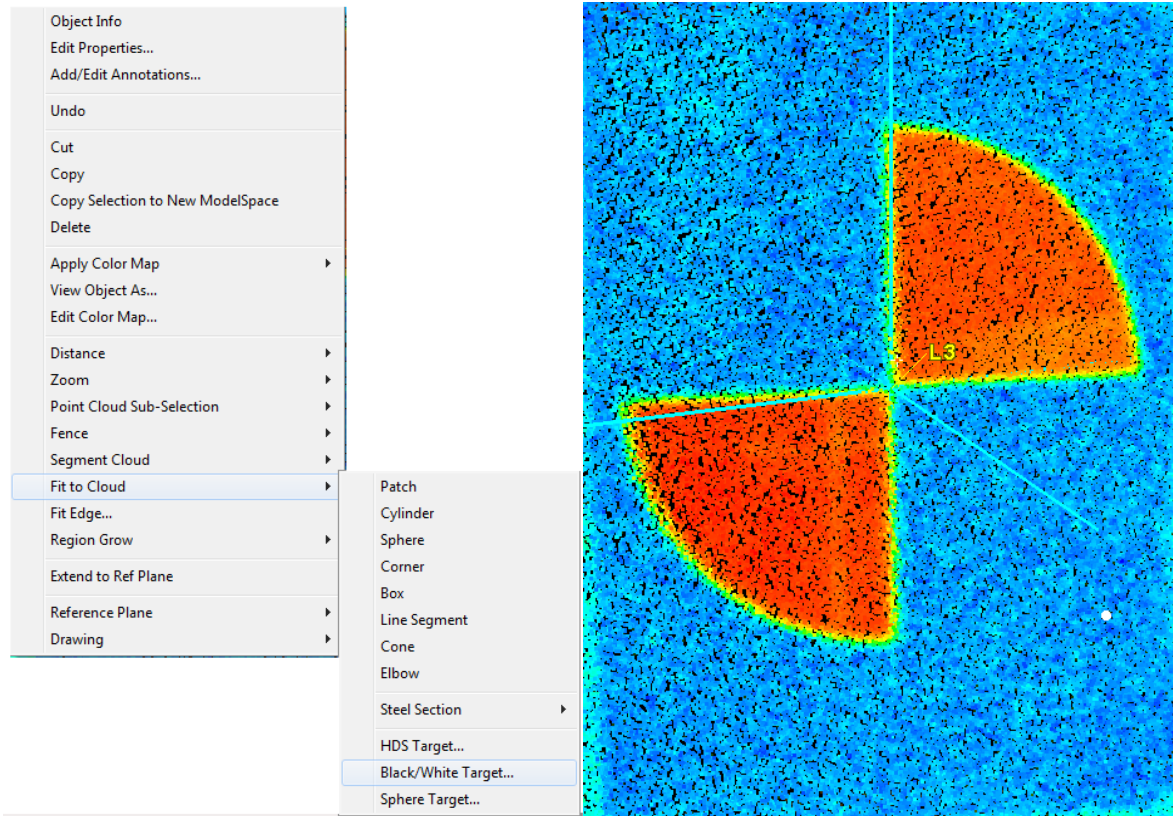
Şekil 4.9. PhotoModeler yazılımına koordinatların aktarılması

Daha sonra aktarılan bu noktalar karşılık gelen hedef işaretleri ile ilişkilendirilerek yersel fotogrametrik yöntemle ölçülen ve fotoğraf koordinat sisteminde bulunan noktaların yeni tanımlanan koordinat sistemine dönüşümü tamamlanmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Sağ panelde görünen noktalar herhangi bir resim üzerinde karşılık gelen hedef işareti ile ilişkilendirilmiştir

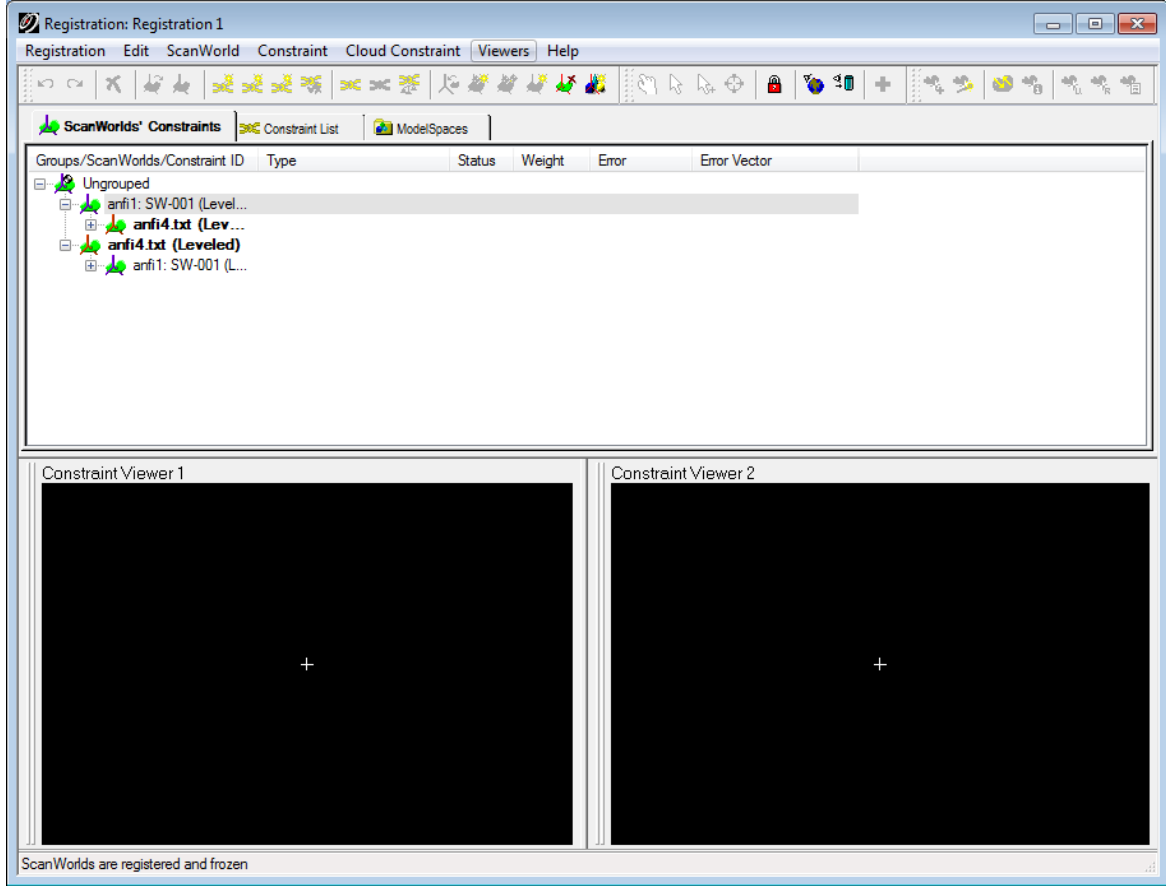
Cyclone yazılımında ise hedef işaretleri seçilerek Fit to Cloud Black & White target komutu ile hedef işaretinin merkezine nokta yerleştirilmiştir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Cyclone yazılımında hedef işaretlerinin işaretlenmesi



Tüm hedefler işaretlendikten sonra koordinatların bulunduğu txt uzantılı dosya Cyclone yazılımına import komutuyla aktarılır. Ardından seçili projede create registration ile açılan pencereden lazer tarama verisi ile koordinat bilgileri seçilerek isimleri eşleşen hedefler otomatik olarak eşleştirilerek registration işlemi yapılır ve yeni koordinat sistemindeki nokta bulutu oluşturularak işlem tamamlanır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Cyclone registration penceresinde tarama ve koordinat verileri

Lazer tarama ve yersel fotogrametri verileri ortak bir koordinat sistemine dönüştürüldükten sonra elde edilen koordinat değerleri Tablo 4.6.'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.6. Total station, yersel fotogrametri ve lazer tarama yöntemleri ile elde edilen koordinatlar

Total Station				Yersel Fotogrametri			Yersel Lazer Tarama		
ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
L1	102.242	97.910	10.566	102.227	97.907	10.557	102.242	97.911	10.566
L2	100.901	96.461	10.053	100.911	96.482	10.047	100.903	96.461	10.053
L3	99.876	96.308	10.911	99.899	96.325	10.894	99.878	96.309	10.911
L4	101.829	96.754	10.934	101.824	96.768	10.916	101.830	96.755	10.934
L5	99.600	95.222	11.069	99.622	95.249	11.052	99.601	95.222	11.069
L6	98.560	105.057	10.551	98.562	104.982	10.554	98.560	105.055	10.551
L7	96.432	95.985	10.610	96.469	96.041	10.614	96.433	95.987	10.610
L8	95.606	96.906	10.913	95.640	96.952	10.908	95.607	96.908	10.913
L9	97.465	104.786	10.900	97.477	104.727	10.890	97.464	104.785	10.900
L10	101.375	94.520	10.379	101.377	94.560	10.369	101.376	94.521	10.379
L11	102.774	94.936	11.211	102.757	94.973	11.191	102.774	94.936	11.211
L12	96.861	93.527	11.246	96.894	93.565	11.238	96.862	93.529	11.246
L13	101.839	92.587	10.669	101.839	92.630	10.655	101.839	92.587	10.669
L14	103.723	93.117	11.513	103.700	93.167	11.494	103.722	93.118	11.513
L15	100.506	91.345	11.670	100.514	91.382	11.652	100.506	91.345	11.670
L16	102.283	90.648	10.950	102.283	90.687	10.937	102.283	90.647	10.950
L17	97.791	89.680	11.820	97.797	89.697	11.811	97.790	89.681	11.820
L18	106.627	91.747	11.800	106.589	91.803	11.788	106.625	91.747	11.800
L19	101.472	89.504	11.988	101.475	89.532	11.972	101.471	89.503	11.988
L20	102.737	88.709	11.270	102.732	88.768	11.261	102.736	88.710	11.270
L21	104.650	89.245	12.113	104.642	89.280	12.099	104.648	89.245	12.113
L22	106.585	89.695	12.108	106.568	89.735	12.098	106.583	89.695	12.108
L23	103.851	88.030	12.262	103.850	88.051	12.250	103.850	88.029	12.262
L24	100.948	87.340	12.296	100.950	87.345	12.286	100.946	87.341	12.296
L25	103.165	86.780	11.569	103.164	86.809	11.562	103.163	86.780	11.569
L26	98.858	86.347	10.491	98.861	86.321	10.491	98.858	86.348	10.491
L27	101.591	85.429	13.185	101.592	85.411	13.182	101.588	85.430	13.185
L28	98.493	84.712	13.802	98.481	84.670	13.811	98.490	84.712	13.802
L29	97.162	84.496	12.777	97.166	84.518	12.779	97.160	84.498	12.774
L30	108.712	87.058	13.798	108.723	87.056	13.800	108.709	87.056	13.798
L31	99.423	80.231	11.895	99.426	80.288	11.901	99.419	80.227	11.892
L32	96.484	80.252	11.423	96.492	80.284	11.427	96.481	80.252	11.421
L33	97.012	77.836	10.493	97.013	77.791	10.495	97.010	77.836	10.492
L34	99.221	73.847	12.482	99.230	73.950	12.493	99.219	73.847	12.480
L35	98.677	70.658	13.001	98.685	70.645	13.010	98.672	70.656	12.996
L36	97.596	66.454	12.561	97.603	66.388	12.572	97.590	66.451	12.565

Elde edilen bu koordinat değerlerinden Total Station ile yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemlerinin farkları alınarak hata miktarları belirlenmiştir. Hata miktarları ve ortalama mesafe ( $S_0$ ) 10 metre seçilerek  $P_i=10/S_i$  formülüne göre hesaplanana ağırlıklar ile beraber Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Yersel fotogrametri ve Yersel lazer tarama yöntemlerine ait hatalar ve ağırlıkları

Yersel Fotogrametri			Yersel Lazer Tarama			Mesafe (Si) So=10 (m)	Ağırlık Pi=10/Si
Vx (mm)	Vy (mm)	Vz (mm)	Vx (mm)	Vy (mm)	Vz (mm)		
15	3	9	0	-1	0	3.117	3.21
-10	-21	6	-2	0	0	3.652	2.74
-23	-17	17	-2	-1	0	3.805	2.63
5	-14	18	-1	0	0	3.841	2.60
-22	-27	17	-1	0	0	4.912	2.04
-2	75	-3	0	2	0	5.287	1.89
-37	-56	-4	-1	-2	0	5.406	1.85
-34	-46	5	-1	-2	0	5.451	1.83
-12	59	10	1	1	0	5.490	1.82
-2	-40	10	-1	-1	0	5.663	1.77
17	-37	20	0	0	0	5.900	1.70
-33	-38	8	-1	-2	0	7.301	1.37
0	-43	14	0	0	0	7.667	1.30
23	-50	19	1	-1	0	7.970	1.25
-8	-37	18	0	0	0	8.829	1.13
0	-39	13	0	1	0	9.673	1.03
-6	-17	9	1	-1	0	10.710	0.93
38	-56	12	2	0	0	10.736	0.93
-3	-28	16	1	1	0	10.784	0.93
5	-59	9	1	-1	0	11.687	0.86
8	-35	14	2	0	0	11.906	0.84
17	-40	10	2	0	0	12.410	0.81
1	-21	12	1	1	0	12.776	0.78
-2	-5	10	2	-1	0	12.901	0.78
1	-29	7	2	0	0	13.684	0.73
-4	26	0	0	0	0	13.709	0.73
-1	18	3	3	-1	0	15.000	0.67
12	42	-9	3	0	0	15.826	0.63
-4	-22	-3	2	-1	3	16.004	0.62
-11	2	-2	3	2	0	16.057	0.62
-3	-57	-6	3	4	3	19.868	0.50
-9	-32	-5	2	0	2	20.109	0.50
-1	45	-2	2	1	1	22.370	0.45
-10	-103	-11	2	1	2	26.282	0.38
-8	13	-10	5	2	5	29.524	0.34
-7	66	-11	6	3	-4	33.729	0.30

Yapılan ölçümlerin ağırlıksız ve ağırlıklı karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıdaki (4.1, 4.2 ve 4.3) formüllere göre yapılmıştır.

$$\text{Ağırlıksız} \quad Sx_0 = \sqrt{\frac{[V_x V_x]}{n-1}} \quad Sy_0 = \sqrt{\frac{[V_y V_y]}{n-1}} \quad Sz_0 = \sqrt{\frac{[V_z V_z]}{n-1}} \quad (4.1)$$

$$\text{Ağırlıklı} \quad Sx_0 = \sqrt{\frac{[PV_x V_x]}{n-1}} \quad Sy_0 = \sqrt{\frac{[PV_y V_y]}{n-1}} \quad Sz_0 = \sqrt{\frac{P[V_z V_z]}{n-1}} \quad (4.2)$$

$$\text{Konum doğruluğu} \quad S_{3B} = \sqrt{Sx_0^2 + Sy_0^2 + Sz_0^2} \quad (4.3)$$

Tablo 4.8. Ağırlıksız olarak hesaplanan değerler

Ağırlıksız Hesaplanan Değerler	Yersel Fotogrametri (mm)			Yersel Lazer Tarama (mm)		
	Sx	Sy	Sz	Sx	Sy	Sz
Standart Sapma	15.549	42.766	11.249	2.050	1.342	1.316
Konum Doğruluğu	46.875			2.781		

Tablo 4.9. Ağırlıklı olarak hesaplanan değerler

Ağırlıklı Hesaplanan Değerler	Yersel Fotogrametri (mm)			Yersel Lazer Tarama (mm)		
	Sx	Sy	Sz	Sx	Sy	Sz
Standart Sapma	19.332	43.796	13.323	1.633	1.270	0.870

Ağırlıksız olarak hesaplanan doğruluk değerleri her nokta için aynı olmaktadır. Ancak ağırlıklı olarak her bir noktanın doğruluğunu hesaplamak için aşağıdaki (4.4 ve 4.5) formüllerden yararlanılmıştır.

$$Sx_i = \frac{Sx_0}{\sqrt{P_i}} \quad Sy_i = \frac{Sy_0}{\sqrt{P_i}} \quad Sz_i = \frac{Sz_0}{\sqrt{P_i}} \quad (4.4)$$

$$S_{3B} = \sqrt{Sx_i^2 + Sy_i^2 + Sz_i^2} \quad (4.5)$$

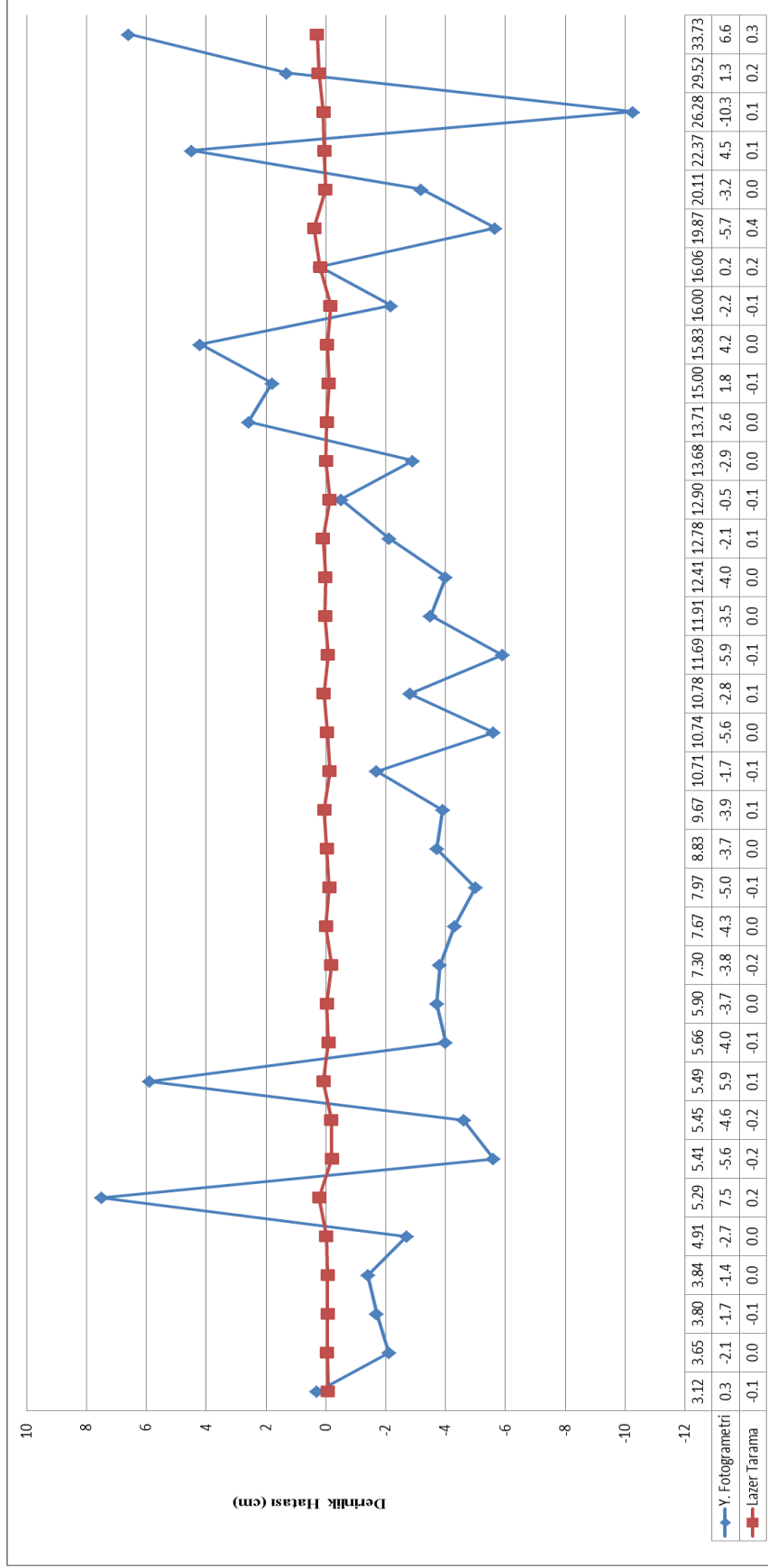
Üç eksendeki standart sapma miktarları ve üç eksenin toplam standart sapma miktarı Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Ağırlıklı olarak hesaplanmış konum doğrulukları

ID	Yersel Fotogrametri				Yersel Lazer Tarama			
	Sx (mm)	Sy (mm)	Sz (mm)	S3B (mm)	Sx (mm)	Sy (mm)	Sz (mm)	S3B (mm)
L1	11	24	7	28	1	1	0	1
L2	12	26	8	30	1	1	1	1
L3	12	27	8	31	1	1	1	1
L4	12	27	8	31	1	1	1	1
L5	14	31	9	35	1	1	1	2
L6	14	32	10	36	1	1	1	2
L7	14	32	10	37	1	1	1	2
L8	14	32	10	37	1	1	1	2
L9	14	32	10	37	1	1	1	2
L10	15	33	10	37	1	1	1	2
L11	15	34	10	38	1	1	1	2
L12	17	37	11	42	1	1	1	2
L13	17	38	12	44	1	1	1	2
L14	17	39	12	44	1	1	1	2
L15	18	41	13	47	2	1	1	2
L16	19	43	13	49	2	1	1	2
L17	20	45	14	51	2	1	1	2
L18	20	45	14	51	2	1	1	2
L19	20	45	14	52	2	1	1	2
L20	21	47	14	54	2	1	1	2
L21	21	48	15	54	2	1	1	2
L22	22	49	15	55	2	1	1	2
L23	22	50	15	56	2	1	1	3
L24	22	50	15	56	2	1	1	3
L25	23	51	16	58	2	1	1	3
L26	23	51	16	58	2	1	1	3
L27	24	54	16	61	2	2	1	3
L28	24	55	17	63	2	2	1	3
L29	24	55	17	63	2	2	1	3
L30	24	55	17	63	2	2	1	3
L31	27	62	19	70	2	2	1	3
L32	27	62	19	70	2	2	1	3
L33	29	66	20	74	2	2	1	3
L34	31	71	22	81	3	2	1	4
L35	33	75	23	85	3	2	1	4
L36	36	80	24	91	3	2	2	4



Yapılan bu ölçümlerde Şekil 4.13. 'de görüldüğü üzere lazer tarayıcı ölçme doğrultusu boyunca hatası 1 cm'nin altında kalmıştır. Ancak Yersel Fotogrametrik yöntemde ise son ölçüm noktası olan 33 metrede ise hata miktarı 6 cm'yi aşmıştır. Ayrıca bazı noktalarda çıkan yüksek hata miktarının nedeni bu noktalarda resim eksikliğinden kaynaklanan bozulan resim geometrisidir. Resim geometrisindeki bozulma en büyük etkiyi derinlikte göstermektedir (Şekil 4.14.). Lazer tarayıcı ise derinliği en az hata ile ölçebilmektedir.

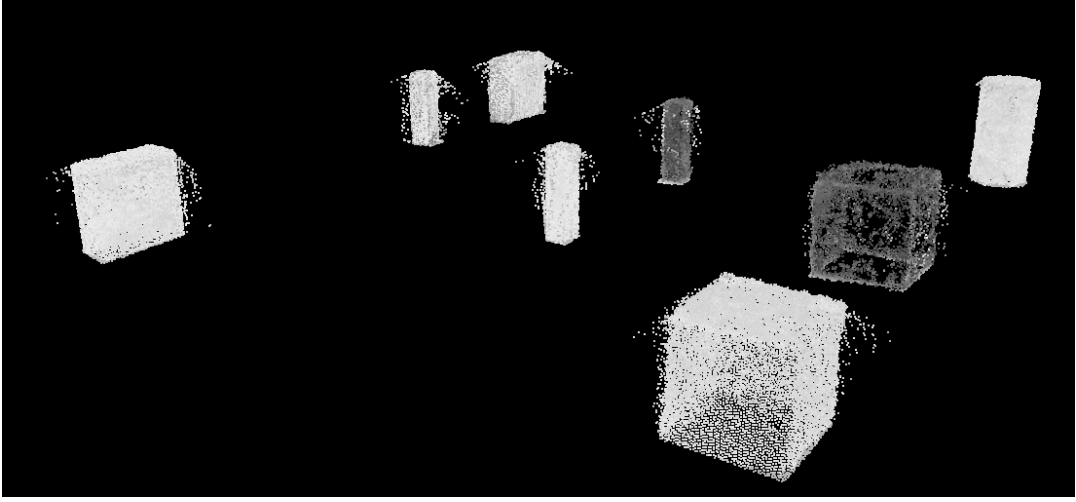


Şekil 4.14. Lazer tarayıcı ve Yersel Fotogrametrik yöntemin derinlik ölçme hataları

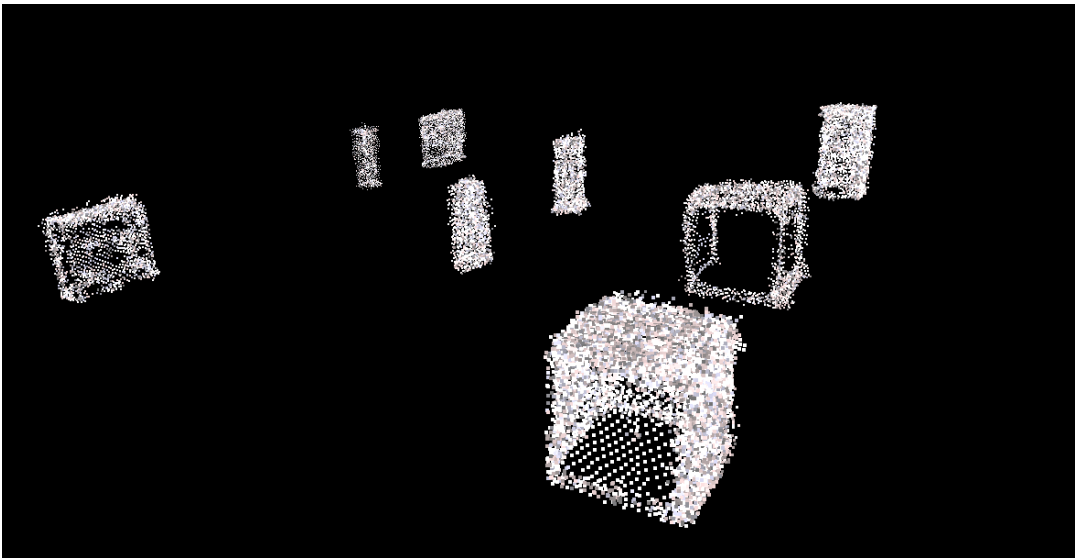


#### 4.5. Şekilleri Bilinen Nesnelerin Geometrisi

Gümüşhane Üniversitesinin ölçme laboratuvarında zemine yerleştirilen küp, dikdörtgen prizma, silindir ve bunların siyaha boyanmış olan beton bloklar lazer tarayıcı ile yüksek çözünürlükte taranmış (Şekil 4.15.) ve ardından da fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğrafların değerlendirilmesi Photomodeler Scanner yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Nesnelerin köşe noktaları işaretlenerek boyutları ölçülmüş ayrıca Photomodeler Scanner yazılımında bulunan dense surface algoritması ile de nokta bulutları oluşturulmuştur (Şekil 4.16.).

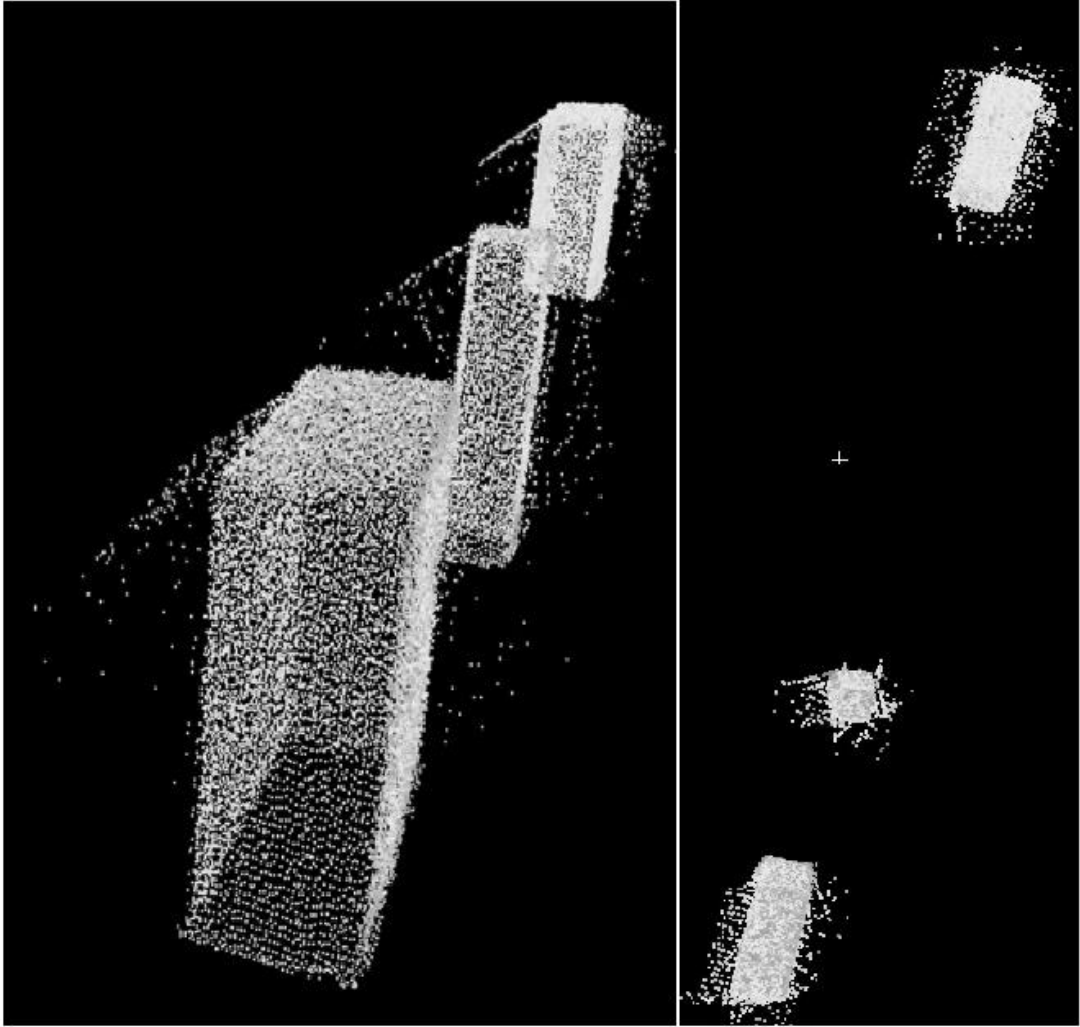


Şekil 4.15. Lazer tarayıcı nokta bulutu



Şekil 4.16. Fotogrametrik nokta bulutu

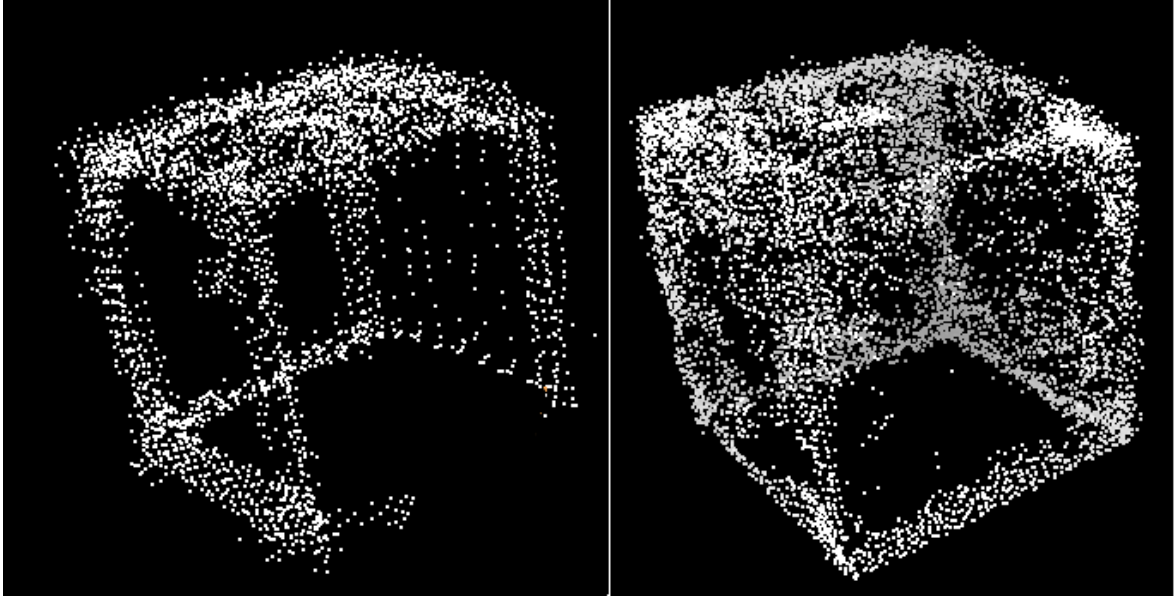
İki nokta bulutu ayrı ayrı incelendiğinde lazer tarayıcının oluşturduğu nokta bulutunda taramanın 3 metre mesafeden yapılmasından kaynaklanan kenar etkisine rastlanmaktadır (Şekil 4.17.). Yersel fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutunda ise kullanılan dense surface algoritmasından kaynaklanan yüksek miktarda aykırı (outlier) nokta ve gürültü (noise) bulunmaktadır. Bahsedilen kenar etkisi ve aykırı noktalar daha sonra yazılım ile temizlenmiş ve geriye sadece nesnelere ait noktalar kalmıştır.



Şekil 4.17. Lazer nokta bulutunda görülen kenar etkisi ve aykırı noktalar

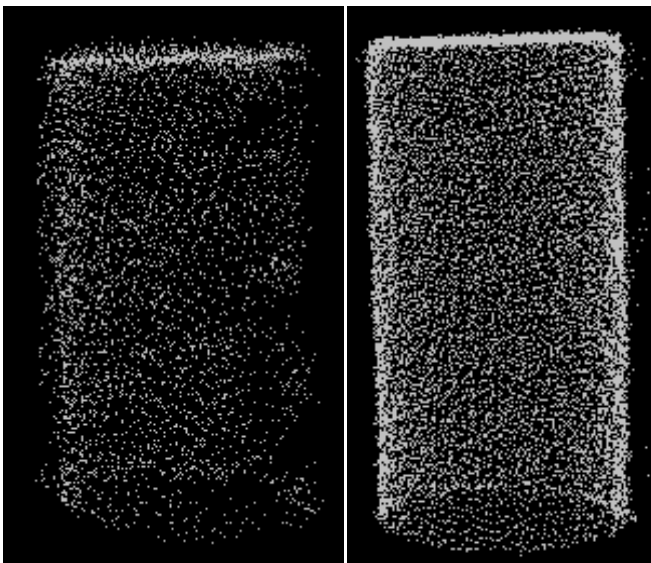
Yapılan uygulamada Şekil 4.18.'de görüldüğü üzere lazer tarayıcının düzgün yüzeyli siyah nesnelere taramada herhangi bir sıkıntıyla karşılaşmamasına rağmen yüzey yapısının bozulduğu ve yansıtıcılığın değişkenlik gösterdiği bölgelerde veri elde edememiştir. Ancak yine de nesnenin geometrisini düzgün bir biçimde algılamayı başarmıştır. Yersel fotogrametrik yöntemde ise siyah küpün kenar bölgelerinde yoğun

olacak şekilde düşük yoğunluklu bir nokta bulutu elde edilebilmiştir ancak buradaki nokta bulutları küpün geometrisini tam olarak oluşturmakta başarısız olmuştur.

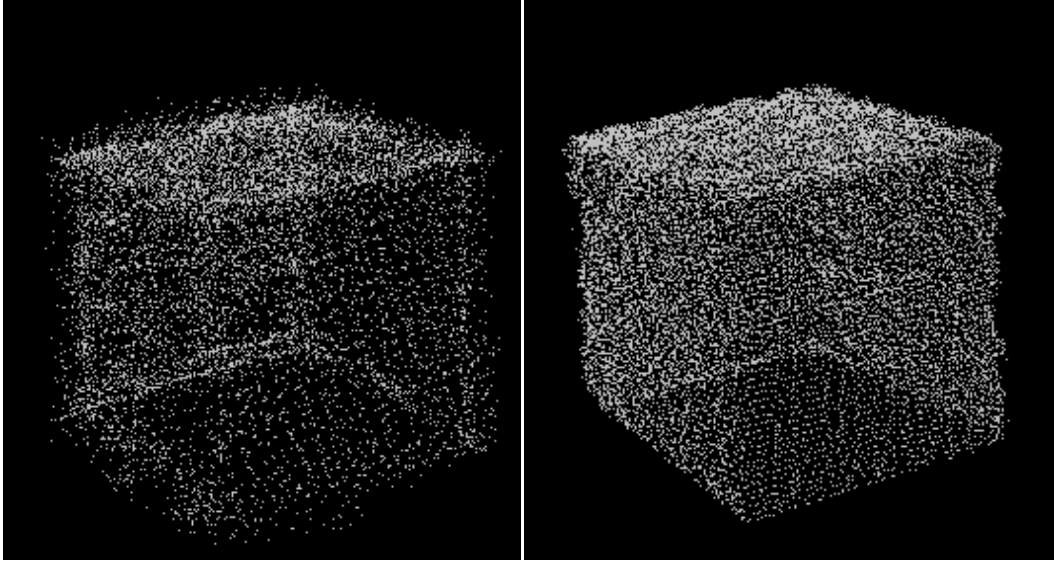


Şekil 4.18 Siyah küp sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta bulutu

Küp, silindir ve dikdörtgen prizma üzerinden yapılan ölçümler ile yersel fotogrametrik yöntemde doğrudan fotoğraf üzerinden ölçülen uzunluklar ile lazer tarayıcı nokta bulutu üzerinden yapılan ölçümler Tablo 4.11.'de kıyaslanmıştır (Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.).



Şekil 4.19. Silindir sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta bulutu



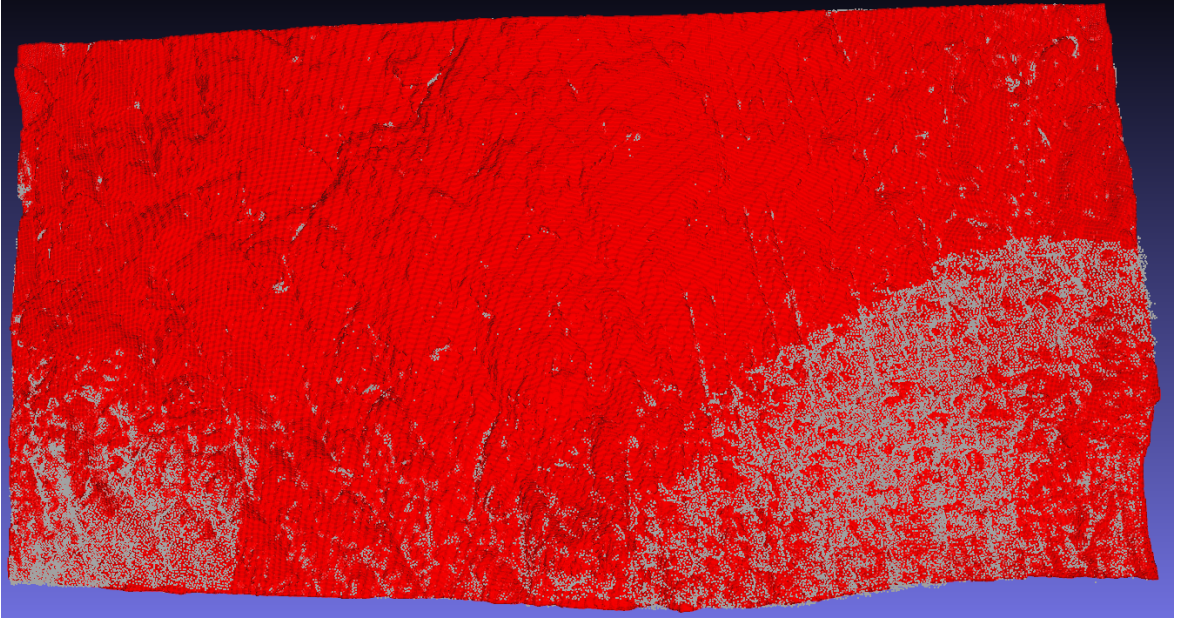
Şekil 4.20. Küp: sol resim fotogrametrik nokta bulutu, sağ resim lazer tarama nokta bulutu

Tablo 4.11. Lazer tarama ve yersel fotogrametrik yöntem ölçülen nesne uzunlukları ve hataları

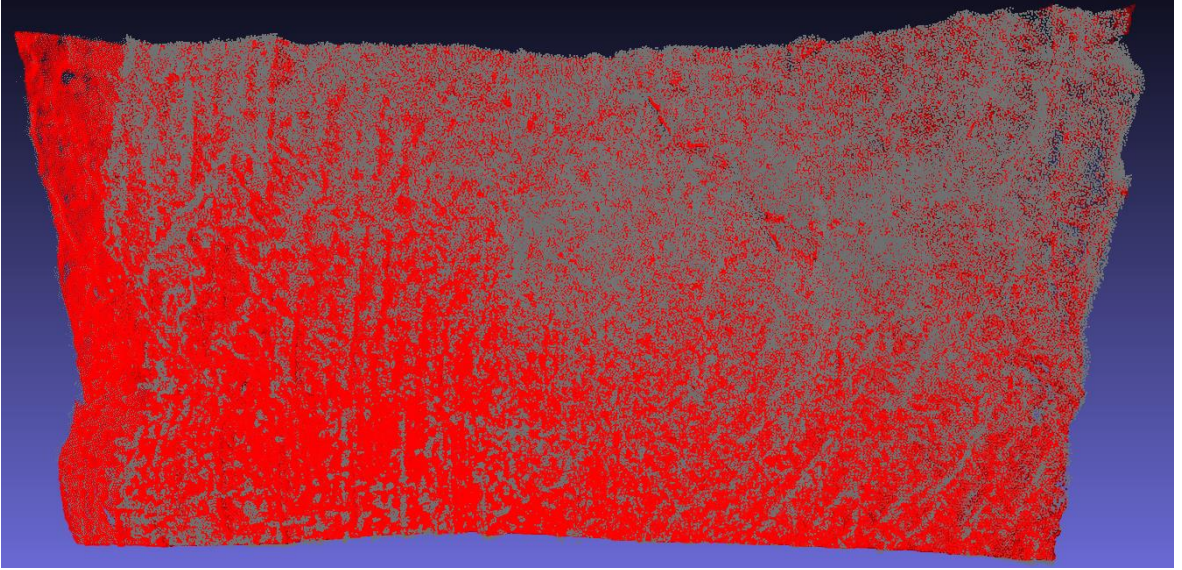
Nesne Boyutları (cm)	Yersel Fotogrametri (cm)	Lazer Tarama (cm)	Yersel Fotogrametri Hata (cm)	Lazer Tarama Hata (cm)
15.00	14.90	15.03	0.10	-0.03
6.10	6.00	6.12	0.10	-0.02
15.00	14.80	15.00	0.20	0.00
6.10	5.90	6.05	0.20	0.05
15.00	14.90	14.97	0.10	0.03
6.00	5.90	6.01	0.10	-0.01
15.00	14.90	15.02	0.10	-0.02
6.00	6.00	5.98	0.00	0.02
15.00	14.90	14.98	0.10	0.02

#### 4.6. Yüzey Alanlarının Karşılaştırılması

Yersel fotogrametrik yöntemin ve lazer taramanın geometrik olarak düzenli olmayan yüzeyler üzerindeki davranışlarını test etmek için bir kaya yüzeyi seçilerek, lazer tarayıcı ile en yüksek (highest resolution) çözünürlükte taranmıştır. Aynı yüzeyin fotoğrafları çekilerek yüzey modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.).



Şekil 4.21. Yüzeğe ait nokta bulutunun ön yüzden görünüşü Kırmızı lazer tarama beyaz fotogrametrik yöntem

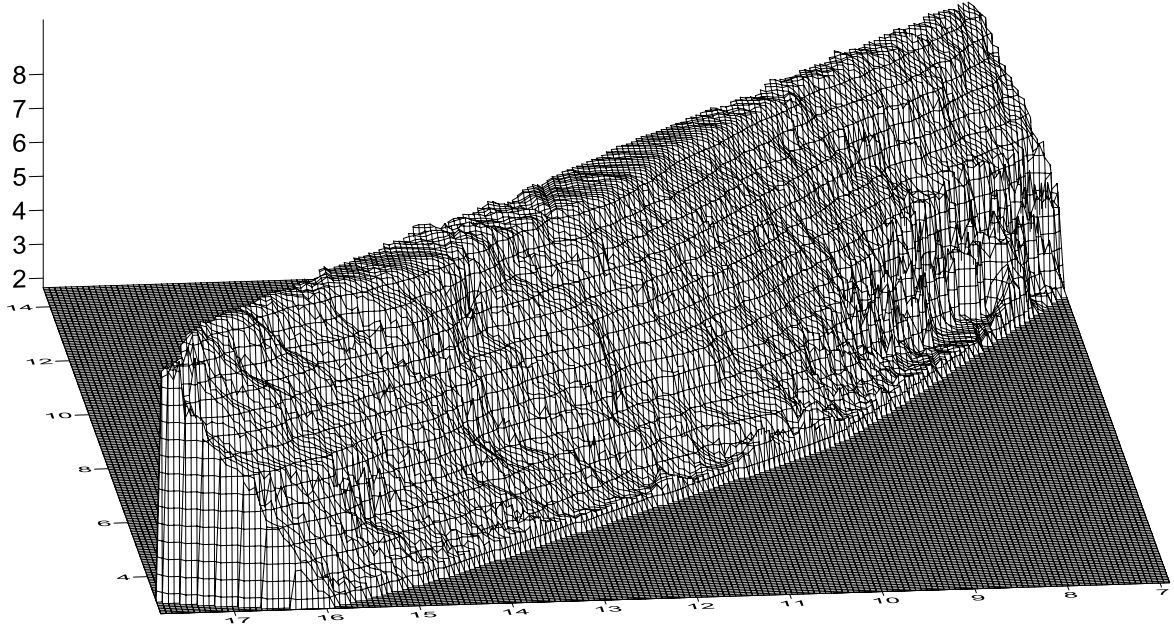


Şekil 4.22. Yüzeğe ait nokta bulutunun arka yüzden görünüşü Kırmızı lazer tarama beyaz fotogrametrik yöntem

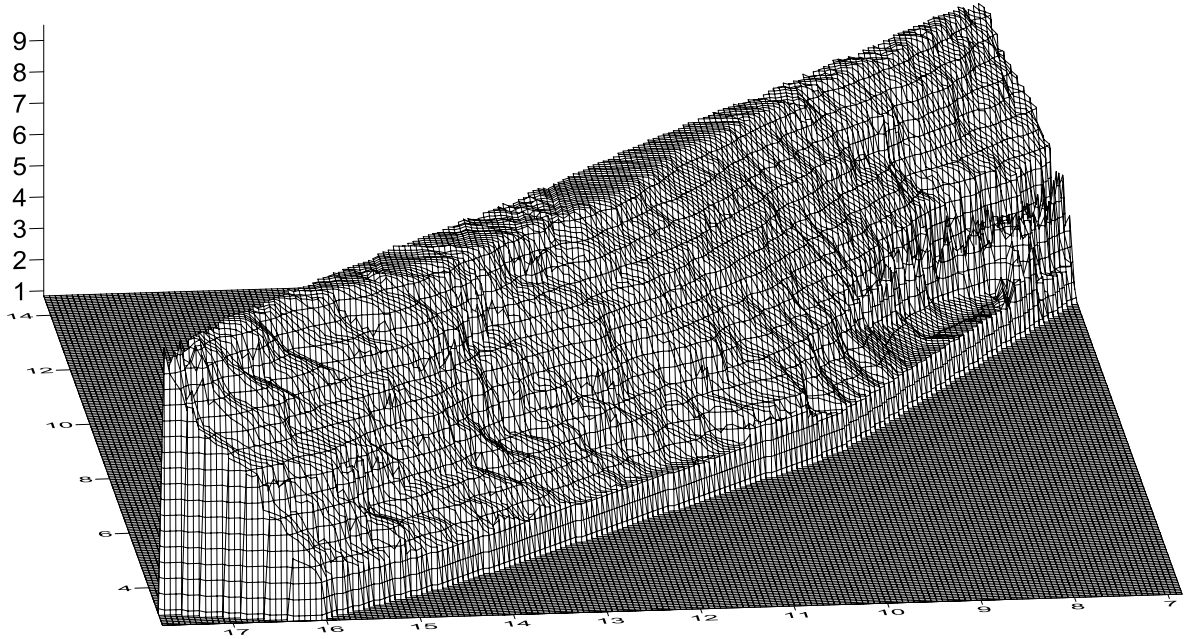
Lazer tarama yöntemiyle elde edilen nokta bulutunun yüzey alanı  $128.34 \text{ m}^2$ , hacmi de  $199.40 \text{ m}^3$  olarak hesaplanırken fotogrametrik yöntemle elde edilen yüzeyin alanı  $129.44 \text{ m}^2$ , hacmi  $200.38 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Lazer tarama ve Yersel fotogrametrik yöntemle elde edilmiş yüzey modellerine ait bilgiler

	Lazer Tarama	Yersel Fotogrametri
Nokta sayısı	34000000	5000000
İndirgenmiş Nokta Sayısı	600000	300000
Model Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	128.34	129.44
Model Hacim (m <sup>3</sup> )	199.40	200.38



Şekil 4.23. Fotogrametrik yüzey modeli



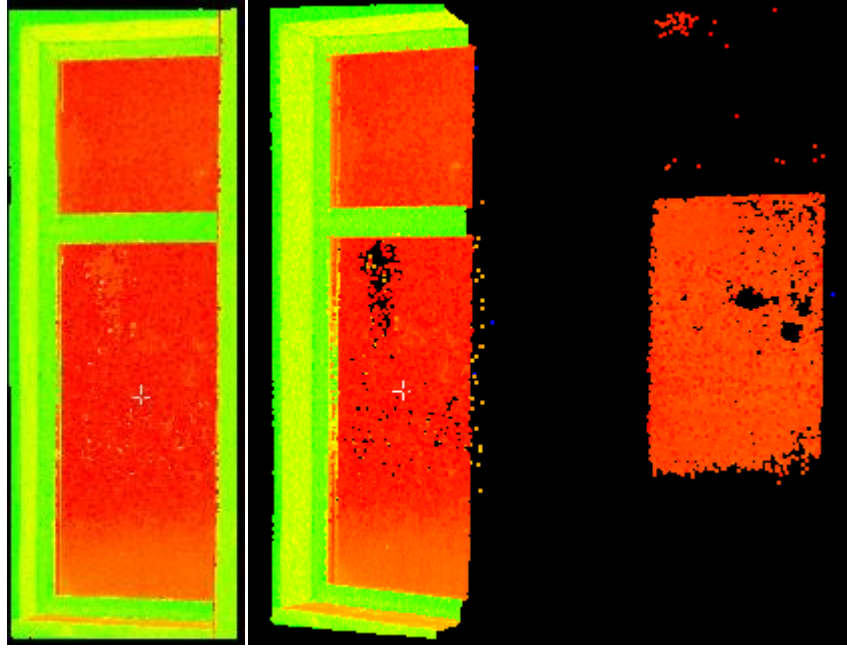
Şekil 4.24. Lazer Tarama yüzey modeli

Yapılan taramada lazer tarayıcı ile yüzey arasındaki ortalama mesafe 15 metre, en yüksek çözünürlükte nokta bulutundaki iki nokta arasındaki mesafe de 2 mm ve tarama alanındaki toplam nokta sayısı yaklaşık 34 milyondur. Fotoğraf çekiminde de ortalama mesafe 15 metre ve elde edilen nokta sayısı yaklaşık 300 bindir. Lazer tarayıcı nokta bulutu çok daha keskin ve detaylı olmakla beraber gürültü ya da aykırı nokta bulunmamaktadır (Şekil 4.23.). Ancak fotogrametrik yöntemle elde edilen nokta bulunun gürültü ve aykırı noktalardan arındırılması gerekmektedir (Şekil 4.24.).

## 5. BULGULAR VE İRDELEME

Lazer tarama günümüzde artık sıklıkla kullanılmaya başlanmış bir 3B ölçme yöntemidir. Bu yöntemin en büyük avantajı Leica c10 lazer tarayıcı baz alındığında 360 derecelik bir tarama alanına sahip olması ve üzerindeki kamera ile nesnelerin rengini nokta bulutuna entegre ederek gerçekçi bir yüzey modeli oluşturulmasına imkan sağlamasıdır. Tarayıcıdan tarayıcıya değişmekle beraber 300 metreye kadar olan mesafelerde yüksek doğrulukta alım yapılabilmesidir. Ayrıca Leica c10 en yüksek çözünürlükte 10 metre mesafede 0.2 mm'nin altında 100 metrede ise 2 cm nokta aralığı ile ölçüm yapabilmektedir. Böylelikle çok detaylı yüzeylerin hiçbir detay kaybı yaşamadan alımının ve modelinin yapılması gayet kolay olmaktadır. Bunların yanı sıra tarayıcı ile Cyclone yazılımı bir nokta bulutunun birleştirilmesi, işlenmesi ve modellenmesi gerekli tüm özelliklere sahip olmakla beraber nokta bulutunun filtrelenmesi için gerekli özelliklerden yoksun bulunmaktadır. Leica c10 lazer tarayıcı ile yapılan ölçümlerde 3 metre ve daha yakından tarama yapılması durumunda kenar etkisi ile karşılaşmaktadır ancak bu duruma 3 metre üzerinde rastlanmamıştır. Diğer bir durum da yansıtıcı özelliklere sahip yüzeylerden (trafik levhaları, cam ve su gibi) yansıyan lazer ışınlarının yüksek miktarda hata içerdiği görülmüştür. Ayrıca cam gibi geçirgen yüzeylerden geçen lazer ışınlarının geri yansımalarında bazı hatalı ölçümlere rastlanmıştır (Şekil 5.1.).





Şekil 5.1. Cam yüzeyden geçen lazer ışınının geri yansımada oluşan etki

Yapılan ölçümler sırasında dikkat çeken konulardan birisi de lazer tarayıcının hiç aydınlatmanın olmadığı ve tarayıcı nesne arasındaki mesafenin 100 metrenin üzerinde olduğu durumlarda bile yeterince iyi sonuçlar vermiş olmasıdır. Ancak tüm bunlarında yanında lazer tarayıcının ürettiği nokta bulutu en düşük yoğunluklu taramada bile 4 milyon üzerinde nokta sayısına sahip olduğu ve bu taramanın resim alımı hariç 5 dakika civarı resim alımıyla birlikte 10 dakikaya yaklaştığı belirlenmiştir. Bu derece yüksek yoğunluklu nokta bulutunun görüntülenebilmesi ve işlenebilmesi kullanılan yazılımla beraber yüksek donanım özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılması gerekmektedir. Tüm bunların yanında taşıma çantası dahil ağırlığı 27 kg 'dan fazla olan bir aletin arazide ulaşımın güç olduğu yerlere taşınması zahmetli olmaktadır.

Yersel fotogrametrik yöntemde ise doğruluk kullanılan donanımın kalitesinden daha çok bu donanımın ne kadar iyi kalibre edildiğine ve yöntemin arazide ne kadar iyi uygulandığına dayanmaktadır. Bundan dolayı yersel fotogrametrik yöntemde araziye çıkılmadan önce bir alım planı oluşturulması ve tüm fotoğrafların bu plan dâhilinde alınmasının yapılması gerekmektedir. Ayrıca kullanılan lensin odak uzaklığına bağlı olarak yersel fotogrametrik yöntemin doğru sonuçlar üretebilecek olduğu menzil de değişiklik göstermektedir. Ayrıca lensin odak uzaklığına ve algılayıcının çözünürlüğüne bağlı olarak alımı yapılan nesneye olan uzaklığın 10 metrenin üzerine çıkmaması sonuç modelin kalitesine iyi yönde etki edecektir. Bunun için mümkün mertebe değişken odak uzaklığına

sahip lensler kullanmak yerine sabit odak uzaklığına sahip lenslerin kullanımı tercih edilmelidir. Bozuk resim geometrisi fotoğraflar üzerinden yapılacak olan ölçümün kalitesi ciddi oranda etkileyerek istenmeyen sonuçların alınmasında neden olmaktadır. Ayrıca alımı yapılacak olan nesnenin üzerine ve etrafına tüm fotoğrafların üzerine düzgün biçimde yayılmış kontrol noktalarının atılması sonuç verinin kalitesi katkıda bulunacaktır. Alım sırasında güneşin alımı yapılacak nesneyi karşıdan aydınlatması, üzerinde gölgeli alan bırakmaması ve bulutlu havalarda alım yapılırken aydınlatmaya dikkat edilmesi daha sonra değerlendirme aşamasında kolaylık sağlayacağından bu faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca yersel fotogrametrik yöntemde elde edilen fotoğrafların değerlemesi ve bundan istenen verilerin çıkarılması yazılım tarafından gerçekleştirilmektedir. Fotoğraflar üzerindeki kontrol noktalarının işaretlenmesi (yazılım tarafından tanınan bir hedef işareti kullanılıyor ise işaretleme otomatik olarak yapılmaktadır), düzgün geometriye sahip nesnelere detay noktalarını işaretlenmesi fotoğraf sayısına da bağlı olarak uzun zaman alan bir işlemdir. Eğer detaylar yazılım tarafından otomatik olarak çıkartılacak ise bu işlem daha da uzun sürmekte ve zaman zaman hata vererek işlemin başarısız olmasına neden olmaktadır. Ayrıca PhotoModeler Scanner yazılımında dense surface algoritması ile oluşturulan nokta bulutlarının her ne kadar bunlar daha sonra yazılımda bulunan filtreler ile temizlenebilse de yüksek miktarda aykırı nokta ve gürültü ürettiği gözlemlenmiştir.

## 6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ışığında yersel fotogrametri santimetre seviyesinde doğruluğa sahip, ulaşımın güç olduğu yerlere daha rahat taşınabilecek, arazide geçirilecek zamanı olabildiğince azaltan ve küçük çaplı uygulamalar için daha uygun olan ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların yanı sıra yersel fotogrametrik yöntem derinlik farkının bulunduğu, yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve iç mekân çalışmalarında yetersiz bulunmuştur. Ayrıca her ne kadar arazide geçirilen süre kısaltılmış olsa da yersel fotogrametrik yöntemde ofis çalışmaları işlenecek verinin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermekle beraber uzun sürmekte ve bazen de çalışma esnasında yazılım kaynaklı hatalarla karşılaşılabilir.

Lazer tarama ise büyük çaplı, yüksek doğruluk gerektiren ve detaylı uygulamalar için daha elverişli bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarama süreleri istenen çözünürlük ve renk bilgisine olan ihtiyaca göre değişkenlik göstermekle beraber bir oturum ortalama 10 dakika kadar sürmektedir. Yapılan taramaların ofis çalışması ise eğer birden fazla tarama varsa bu taramaların birbirlerine bağlanması ve istenen koordinat sistemine dönüştürülmesi haricinde doğrudan 3B veri işlenebilecek durumda bulunmaktadır. Ancak tüm bunların yanında lazer tarayıcı donanımının arazide ulaşımın güç olduğu yerlere taşınması zor olmakta ve uzun süreli oturumlarda ek güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

- Abbas M. A., Setan H., Majid Z., Lichti D. D., Chong A. K., (2013), A Self-Calibration of the Leica ScanStation C10 Scanner, IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC), Malaysia.
- Alkan R. M., Karşıdağ G., (2012), Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements, FIG Working Week 2012 Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Altuntaş C., Yıldız F., (2008), Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2008/1 sayı : 98.
- Asri İ., Çorumluoğlu Ö., Güner S., (2012), Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sisteminin Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 3-5 Ekim 2012, Afyon Kocatepe Üniversitesi- Afyonkarahisar.
- Avşar E.Ö., Aydar U., Seker D.Z., (2006), Virtual Reconstruction of a Semi Destroyed Historical Bridge , 5th Turkish German Joint Geodetic Days, Berlin, Almanya.
- Avşar E.Ö., Aydar U., Şeker D.Z., (2007). Tarihi Köprülerin Digital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Avşar E.Ö., Dur an Z., Akyol O., Toz G., (2009). Apollo Smintheus Tapınağının Yersel Fotogrametri Yöntemiyle Modellenmesi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, Ankara.
- Avşar E.Ö., Aydar U., Seker D.Z., (2011), İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümünde Kültürel Mirasın Dokümantasyonuna Yönelik Olarak Öğretilen Yöntemler Ve Yersel Fotogrametri Eğitimi, TMMOB Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı 1822 Nisan 2011, Ankara.
- Ay E., (2009), Lazer Tarama Verisinde Geometrik Obje Tabanlı Üç Boyutlu Filtreleme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- Boehler, W., Heinz, G. and Marbs, A., (2001), The potential of non-contact close-range laser scanners for cultural heritage recording. In Proceedings of 18th International Symposium CIPA2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 430 – 436.
- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A., Siebold, M.(2002), 3D Scanning Software: An Introduction, University of Applied Sciences, Mainz, Germany.
- Boehler, W., Bordas Vicent, M. and Marbs, A., (2004) Investigating Laser Scanner Accuracy. XIXth CIPA Symposium, Antalya, Turkey.

- Canberk M., (2008), Gps Ve Lazer Destekli Bir Cbs Veri Toplama Sisteminin Yersel Fotogrametri İle Bütünleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çelik M. F., Küçükosman G., Yüksel E., Duran Z., Aydar U., Avşar E. Ö., (2013), Lazer Tarayıcı Yardımı İle Üç Boyutlu İç Mekan Modeli Oluşturulması Ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013 11-13 Kasım 2013, Ankara.
- Fabris M., Achilli V., Artese G., Boatto G., Bragagnolo D., Concheri G., Meneghello R., Menin A., Trecroci A., (2009), IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W8 – Paris, France, September 1-2.
- Forest J., (2004), New Methods for triangulation-Based Shape Acquisition Using Laser Scanners, Universitat de Girona Departament d'Electronica, Informatica i Automatica, Spain.
- Gümüş K., (2008), Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Gümüş K., Erkaya H., (2012), Yersel Lazer Tarayıcıların Uzunluk Ölçme Doğruluğunun Araştırılması, 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 3-5 Ekim 2012, Afyon Kocatepe Üniversitesi- Afyonkarahisar
- Gürcan Y., (2012), Yersel Lazer Tarama Yöntemi Ve Klasik Ölçme Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.
- Gruen A, Beyer HA (2001) System Calibration Through Self-Calibration. In: Gruen A, Huang ThS (eds.) Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 163 – 193.
- Gruen A, Huang ThS (eds) (2001) Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hiremagalur J., Yen K., Akin K., Bui T., (2007), Creating Standarts and Specifications for the Use of Laser Scanning in Caltrans Projects, AHMCT Research Report, University of California, California, U.S.A.
- Ingensand, H., (2006), Methodological Aspects İn Terrestrial Laser-Scanning Technology. InProceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineeringand 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Kern, F., (2001), Supplementing Laserscanner Geometric Data With Photogrammetric Images Formodelling. In Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 454 – 461.
- Kraus K., (1997). Photogrammetry. Vol. 1: Fundamentals and Standard Processes ; Vol. 2: Advanced Methods and Applications. Dümmler, Bonn.

- Matthews, N. A. (2009). Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation. Technical Note 428. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, Colorado. 42 pp.
- Remondino F, Fraser C (2006) Digital Camera Calibration Methods: Considerations And Comparisons. In: Proceedings of ISPRS Commission V Symposium "Image Engineering and Vision Metrology", Dresden, Germany, 25-27 September.
- Reshetyuk, Y., (2006a), Calibration Of Terrestrial Laser Scanners Callidus 1.1, Leica HDS 3000 and Leica HDS 2500. Accepted for publication in Survey Review.
- Reshetyuk Y. (2006b) Investigation And Calibration Of Pulsed Time-Of-Flight Terrestrial Laser Scanners, Licentiate thesis in Geodesy Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy.
- Reshetyuk, Y, (2006c), Calibration Of Terrestrial Laser Scanners For The Purposes Of Geodetic Engineering. In Proceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Reshetyuk, Y., (2006d), Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner Leica HDS 3000. ZfV (Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement), Vol. 131, No 2, pp. 96 – 103.
- Reshetyuk, Y., (2009), Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy, Stockholm.
- Stojaković V., (2008), Terrestrial Photogrammetry And Application To Modeling Architectural Objects, Architecture and Civil Engineering Vol. 6, No 1, 2008, pp. 113 - 125.
- Schofield W, Breach M (2007) Engineering surveying. Butterworth-Heinemann, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- Schultz T., 2007, Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy, PhD thesis, Technical University of Berlin, Germany.
- Şahin C., (2011), Taksim Cumhuriyet Meydanı Örneğinde Fotogrametri Ve Lazer Tarama Verileriyle Bütünleşik 3b Kent Modeli Üretimi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Şimşek İ., Bahur S., Büyüksalih G., Baz I., (2009), Kültürel Mirasın Lazer Tarama Teknikleri İle Dökümantasyonu Ve 3-Boyutlu Kent Modeli Üretimi: İstanbul Tarihi Yarımada Ve Mostar Tarihi Kent Merkezi Örnek Uygulamaları, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2009 02-06 Kasım 2009, İzmir.

URL-1[http://www.gim-international.com/productsurvey/id52-Terrestrial\\_Laser\\_Scanning.html](http://www.gim-international.com/productsurvey/id52-Terrestrial_Laser_Scanning.html)

URL-2[http://africageodownloads.info/032\\_walsh\\_norton.pdf](http://africageodownloads.info/032_walsh_norton.pdf)

URL-3<http://www.sccssurvey.co.uk/news/2012/01/carry-case-dimensions-leica-scanstation-c10/>

Yakar M., Ferruh Yıldız, Atacan Özkütük, Onur Neşeli, Esat Kurhan, Osman Durdu, (2011) Sultanhanı Kervansarayı Fotogrametrik Rölöve Alımı Ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 18-22 Nisan 2011, Ankara.

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

Yılmaz , H. M., Yakar, M., Karabörk H., Bayrak T., (2005), Dıgital Yersel Fotogrametri İle Hacim Hesabı, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.

Yılmaz , H. M. ve Yakar, M., (2007), “Digital Yersel Fotogrametrinin Hacim Hesabında Kullanılması” TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2 – 6 Nisan 2007, Ankara

Yılmaz H. M., Yakar M., Yıldız F.,(2007), Documentation Of Historical Caravansaries By Digital Close Range Photogrammetry, Automation in Construction 17.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1986 yılında Kocaeli'nde doğdu, ilk ve orta öğretimini burada tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans öğrenimini tamamladıktan sonra 2011 yılında Mersin Anamur'da 22/a uygulamasında çalışmaya başladı. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve hala burada çalışmaya devam etmektedir.