



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**SİLİNDİRİK YAPILARDA YERSEL LAZER TARAYICININ  
KULLANILMASI: EĞRİ MİNARE ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat PALALI**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. H. Murat YILMAZ**

**AKSARAY, 2013**

**T.C.**  
**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KABUL ve ONAY BELGESİ**

Yüksek Lisans Öğrencisi **Murat PALALI** 'nın **Silindirik Yapılarda Yersel Lazer Tarayıcının Kullanılması: Eğri Minare Örneği** başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Harita Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak **Oy Birliği/Oy Çokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza

**Danışman** : Doç. Dr. H.Murat YILMAZ .....

**Üye** : Doç.Dr.Ferruh YILMAZTÜRK .....

**Üye** : Doç.Dr.Murat YAKAR .....

Tezin Savunulduğu Tarih : 30.01.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk REİS  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Günümüzde objelere ait verilerinin elde edilmesi ve bu verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilerek, objeler hakkında bilgi sahibi olmak, objelerin birebir üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi ve özellikle tarihi ve kültürel varlıkların gelecek nesillere aktarılması açısından önemli bir konudur. Üç boyutlu modelleme çalışmaları ve kültürel mirasların belgelenme çalışmaları uzun yıllardır Fotogrametrik yöntemlerle yapılmaktadır.

Zamanla bilgisayar teknolojisinin ve lazer tarama sistemlerinin gelişmesi sonucu, günümüzde yersel lazer tarayıcılar hızlı bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Yersel lazer tarayıcılar sayesinde objelerin üç boyutlu geometrik ve görsel bilgileri; doğru, hızlı, birebir ve düşük maliyetle elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada günümüzde hızla gelişen Yersel Lazer Tarayıcı'ların çalışma prensibi, bileşenleri, verileri birleştirme yöntemleri ve Topcon GLS-1000 Yersel Lazer Tarayıcı aleti tanıtılmıştır. Silindirik bir yapı olan Eğri Minare'nin üç boyutlu (3B) görüntüsü elde edilmiştir.

Murat PALALI

Ocak, 2013

## TEŞEKKÜR

Bana bu çalıőmalarımnda her tŒrlŒ yardım ve desteğini esirgemeyen danıőmanım Sayın Doç. Dr. Hacı Murat YILMAZ'a, ayrıca yine yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ferruh YILMAZTŒRK'e teőekkŒr ederim.

Ayrıca manevi desteğini esirgemeyen eőim Semra'ya, oğlum Efe Arda ve kızım Azra Ceren'e teőekkŒr ederim.

Murat PALALI

Ocak, 2013

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yersel Lazer Tarayıcılar.....	2
1.2. Lazer Tarayıcıların Çalışma Prensibi.....	3
1.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları.....	4
1.4. Yersel Lazer Tarayıcıların Özellikleri.....	5
1.5. Yersel Lazer Tarayıcıların Koordinat Sistemleri.....	6
1.6. Nokta Bulutu Verilerinin Birleştirilmesi.....	7
1.6.1. İteratif en yakın nokta yöntemi.....	8
1.6.2. En küçük karelerle 3B yüzey eşleme yöntemi.....	9
1.6.3. Bağımsız model yöntemi.....	11
1.6.4. Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmeler.....	12
1.7. Lazer Tarayıcıların Bileşenleri.....	15
1.7.1. Tarama ünitesi.....	15
1.7.1.1. Lazer telemetresi.....	16
1.7.1.2. Lazer ışını saptırma ünitesi.....	17
1.7.2. Kontrol ünitesi.....	17
1.7.3. Güç kaynağı.....	17
1.7.4. Tripod ve sehba.....	18

<b>1.8. Lazer Tarayıcıların Doğruluğu.....</b>	<b>18</b>
<b>1.9. Lazer Tarama Yönteminin Avantajları.....</b>	<b>20</b>
<b>1.10. Lazer Tarama Yönteminin Dezavantajları.....</b>	<b>20</b>
<b>2. LİTERATUR ÖZETİ.....</b>	<b>21</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Eğri Minare Hakkında Bilgi.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Topcon GLS-1000 Yersel Lazer Tarayıcının Özellikleri.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3. Yersel Lazer Tarayıcı ile Tarama Nasıl Yapılır?.....</b>	<b>30</b>
<b>4. UYGULAMA.....</b>	<b>32</b>
<b>5. BULGULAR.....</b>	<b>43</b>
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SİLİNDİRİK YAPILARDA YERSEL LAZER TARAYICININ KULLANILMASI: EĞRİ MİNARE ÖRNEĞİ

Murat PALALI

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. H. Murat YILMAZ

Bilgisayar ve lazer teknolojisindeki gelişmelerinin ışığında, yersel lazer tarayıcılar haritacılık sektöründe yoğun şekilde kullanılmaktadır. Özellikle objelere ait üç boyutlu konum verilerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi, objelerin modellenmesi bu yöntemi etkin kılmaktadır.

Bu çalışmada, yersel lazer tarayıcıyla yapılan tarama ölçülerinin silindirik yapılarda nasıl bir sonuç verdiği araştırıldı. Silindirik yapı olarak Aksaray'daki Eğri Minare seçildi. Eğri Minarenin beş ayrı noktadan tarama ölçüleri yapıldı. Ancak minare yüksek olduğundan dolayı, ayrıca yüksek binaların balkonlarından iki ayrı tarama daha yapıldı. Daha sonra bu tarama ölçüleri scanmaster ve polyworks yazılımları ile değerlendirildi. Değerlendirme sonucunda objeye ait tüm nokta bulutları birleştirildi. Nokta bulutlarının standart sapmaları 1 cm'nin altında hesaplandı. Eğri Minarenin üç boyutlu görüntüsü elde edildi. Yersel lazer tarayıcılarla silindirik yapıların üç boyutlu modellenmesinin, uygun tarama noktalarının seçilmesi durumunda rahatlıkla yapılabileceği gözlenmiştir.

**2013, 49 sayfa**

**Anahtar Kelimeler :** Lazer Tarama Teknolojisi, Lazer Tarayıcılar, 3B Modelleme, Eğri Minare, Silindirik Yapı

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### USING OF TERRESTRIAL LASER SCANNER ON CYLINDRICAL STRUCTURES: THE EXAMPLE OF THE CURVE MINARET

Murat PALALI

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatics Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

In the light of developments in computer and laser technology, terrestrial laser scanners have been extensively used in mapping sector. Especially, three-dimensional position data of objects have been obtained as a fast and reliable and modeling of objects that make this method effective.

In this study, it has been investigated that scan measuring of terrestrial laser scanners have been given how a result on the cylindrical structures. It was chosen Curve Minaret in Aksaray as cylindrical structure. Curve Minaret has been scanned from five different points. Two separate scans have been done more from balconies of two buildings, because, the Curve Minaret was higher. Later, these scannings have been evaluated by Scanmaster and PolyWorks software. All point clouds belong to object have been combined in evaluation result. Standard deviation in the point clouds have been computed below one cm. a three-dimensional model of the Curve Minaret was obtained. It was seen that modeling of cylindrical structures by terrestrial laser scanners, could have been easily used in the event of selecting the appropriate scan points.

**2013, 49 pages**

**Key words:** Laser scanning technology, Laser Scanners, 3D modeling, Curve Minaret, Cylindrical Structures



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Lazer tarayıcılar.....	2
Şekil 1.2. Yersel lazer tarayıcıların çalışma prensibi.....	3
Şekil 1.3. Değişik markalardaki lazer tarayıcıların özellikleri.....	5
Şekil 1.4. Lazer tarayıcıların koordinat sistemleri.....	6
Şekil 1.5. İteratif en yakın nokta yönteminin akış şeması.....	8
Şekil 1.6. Dürbün monte edilmiş yersel lazer tarayıcı.....	15
Şekil 1.7. Lazer telemetrenin çalışma sistemi.....	17
Şekil 1.8. Farklı lazer türleri için mesafe ölçüm doğruluğu (tek bir lazer noktası için) değerleri.....	19
Şekil 3.1 Eğri Minare.....	27
Şekil 3.2. Eğri Minare-2.....	27
Şekil 3.3. Eğri Minare-3.....	28
Şekil 3.4. Topcon GLS-1000 yersel lazer tarayıcı.....	30
Şekil 4.1. Eğri Minare'nin konumu ve tarama istasyonları.....	32
Şekil 4.2. Tarama istasyonuna ait nokta bulutu kümesi.....	33
Şekil 4.3. Gereksiz nokta bulutlarının işaretlenmesi.....	33
Şekil 4.4. Gereksiz nokta bulutlarından temizlenmiş tarama ölçüsü.....	34
Şekil 4.5. Dosyaların programa Import edilmesi.....	35
Şekil 4.6. Her iki projenin aynı ekranda görüntülenmesi.....	36
Şekil 4.7. Her iki projenin eşlenik noktaların işaretlenmesi.....	37
Şekil 4.8. Birleşmiş projenin standart sapmasının hesaplanması.....	38
Şekil 4.9. Birleşmiş projenin hata lopu.....	39
Şekil 4.10 Birleşmiş projenin histogram eğrisi.....	40
Şekil 4.11. Eğri minarenin 3 Boyutlu görüntüsü.....	41
Şekil 4.12. Eğri minarenin 3 Boyutlu görüntüsü-2.....	42
Şekil 5.1. Nokta bulutlarının birleştirilmesi sonuçları.....	43
Şekil 5.2. Eğri Minare'nin ölçüleri.....	44
Şekil 5.3. Eğri Minare'nin yüksekliği.....	45
Şekil 5.4. Eğri Minare'nin eğriliği.....	46

## KISALTMALAR DİZİNİ

2B	2 boyutlu
3B	3 boyutlu
AGC	Otomatik algılama kontrolü
EKK	En küçük kareler
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
RGB	Renkli resim kaydı (Red, Green, Blue)
SAM	Sayısal arazi modeli
TDC	Dijital çevirici
YKN	Yer kontrol noktası

## 1. GİRİŞ

*Laser* 'in kelime anlamı, “uyarılmış ışın salınımıyla ışığın kuvvetlendirilmesi” olup İngilizce kelimenin baş harflerinin alınmasından türetilmiş bir kelimedir.

*Tarama işlemi*’nden de bir cisme dokunmadan onu tamamen taramak ve bu biçimde elde edilen bilgilerle bilgisayar ortamında işlem yapmak anlaşılmaktadır.

Bu tanımlardan yararlanarak *lazer taramayı*; ışıklardan yararlanarak yeryüzündeki objelere dokunmadan objelerin üç boyutlu olarak geometrik verilerinin elde edilmesi olarak tanımlayabiliriz.

1960 yılından beri Lazer teknolojisi alanındaki çalışmalar devam etmektedir. Yersel lazer tarama teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak araştırma alanı haline gelmesi ise son 15 yılda olmuştur.

Haritacılıkta ilk lazer teknolojisi, total station’lerde kullanılmaya başlamıştır. Bu aletlerle kısa mesafeler reflektörsüz ölçülmüştür. Zamanla gelişerek ay’a olan mesafe lazerle ölçülmüştür. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, büyük verilerin kaydedilebilir olması ve işlemlerin hızlı bir şekilde yapılması kolaylaşmıştır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Yersel lazer tarayıcıların her detay noktasını, binlerce nokta bulutu şeklinde ölçmesi ve bu yoğun verilerin değerlendirilmesi, bilgisayar ve lazer teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesinin ürünüdür.

Objelerin üç boyutlu modellenmesi sonucunda, bu model üzerinde istenilen çalışmaların yapılmasına olanak sağlar. Tarihi ve kültürel mirasların gelecek nesillere aktarılması aşamasında, tarihi ve kültürel mirasların üç boyutlu modellenmesinin yapılması önem arz etmektedir. Tarihi ve kültürel varlıkların belgelenmesini sağlanarak, bu varlıkların ileride zarar gördüklerinde restorasyonunda çok büyük kolaylık sağlamaktadır.

Bu çalışmamda silindirik bir yapı olan, tarihi ve kültürel bir öneme sahip Aksaray ilinde bulunan Eğri Minare’de yersel lazer tarayıcının nasıl bir sonuç verdiği araştırılmıştır. Yersel lazer tarayıcı ile beş ayrı tarama istasyonundan tarama ölçüleri yapılmıştır. Ayrıca iki adet balkona da yersel lazer tarayıcı aleti kurularak ölçü

yapılmıştır. Tarama ölçülerine ait nokta bulutları, scanmaster programında düzenlenmiştir. Daha sonra tarama istasyonlarına ait nokta kümeleri, polyworks programında birleştirilmiştir. Aksaray'daki Eğri Minare'nin üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir.

### 1.1. Yersel Lazer Tarayıcılar

Lazer tarayıcılar genel olarak yer bazlı ve hava bazlı olmak üzere iki türdedir. Yersel lazer tarayıcılar genellikle mimari amaçlar için kullanılmakta, hava lazer tarayıcılar ise genellikle Sayısal Arazi Modeli (SAM) elde edilmesinde ağırlıklı kullanılmaktadır.

Yersel lazer tarayıcılarla, objelere dokunmadan hızlı bir şekilde ölçüm yapılabilmektedir. Düzensiz yüzeyli objelere ait verilerinin elde edilmesi, objelerin üç boyutlu modellerin oluşturulmasında ve yüksek hassasiyet istenen işlerde yersel lazer tarayıcının kullanılması büyük avantaj sağlamaktadır.

3B lazer tarayıcılar:

- Yerinde durarak sabit konumda işlem yapanlar (üretim hatları gibi uygulamalar)
- Bir tripod gibi bir düzeneğe işlem yapanlar (close-range)
- Topografik uygulamalar için kullanılan airborne sistemler

olarak sınıflandırılabilirler.



Şekil 1.1. Lazer tarayıcılar (Gümüş, 2008)

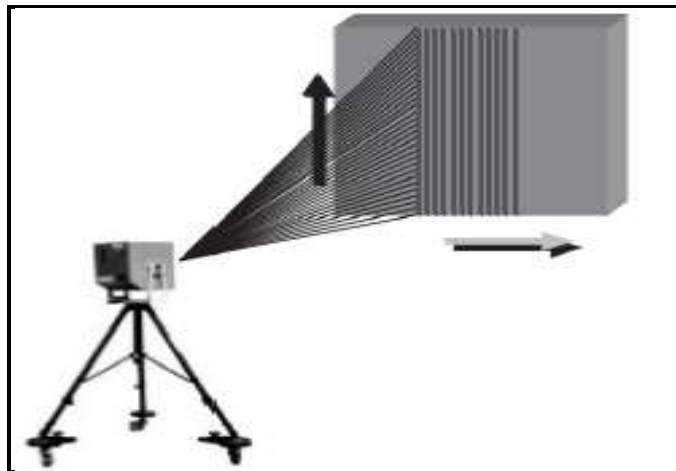
## 1.2. Lazer Tarayıcıların Çalışma Prensibi

Yersel lazer ölçmelerinde temel büyüklük, alet ve ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme, faz farkı ölçümü, ışığın gidiş/dönüş zamanı ölçümü ya da puls metodudur. Yersel lazer tarayıcılarda, kısa zaman aralıklarıyla lazer pulslarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan puls metodu kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004). Lazer tarayıcılarla taranan obje, üç boyutlu konum ve yansımaya değerleri bilgisi içeren bir nokta bulutu şeklinde elde edilmektedirler.

3B lazer tarayıcılar obje yüzeyi verisini 3B koordinat olarak elde etmektedir.

- Otomatik ve sistematik bir işlem yapılır.
- Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilmektedir.
- Bu nokta verileri üç boyutlu koordinat sistemi içinde elde edilmektedir.

Lazer tarayıcılarla, ölçülecek alanın 3B nokta verileri istenilen aralıklarla çok yüksek hızla ölçülür. Tarayıcıların tarama teknikleri satır tarama ya da sütun tarama şeklinde olabilir. Tarayıcıların çoğu ölçülecek alanın tamamı için satır ya da sütunlar oluşturacak şekilde hareket ederek tarama yapar. Bunlardan farklı olarak Optech Iris 3B lazer tarayıcı aleti ölçülecek alanı fotoğraf karelerine böler ve her fotoğraf karesini bir sonraki fotoğraf karesi ile bindirmeli olarak yatay satırlar halinde tarar. Tarama tekniği aletlerin doğrulukları ile ilgili olmayıp daha çok fonksiyonel olmalarıyla ilgilidir.



Şekil 1.2. Yersel lazer tarayıcıların çalışma prensibi

### 1.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları

Sensör teknolojisi ve bununla ilgili yazılım araçlarındaki hızlı gelişme; 3B Görselleştirme, Sanal Gerçeklik, Arkeoloji, Mimari Çalışmalar, Cephe Rölöveleri, Arşivcilik, Tarihi ve Resmi Çalışmalar, Şehir Modellemeleri, Sanal Fabrikalar, Orman Yönetimi, Olay Yeri İnceleme, Altyapı, Tıbbi Görüntüleme/ Uygulama, Madencilik, Sinema Endüstrisi, Şantiye Gözlemleri, Enerji Hatları, Koruma, Otomasyon ve Robotik, Kesit, Hacim ve Alan Hesaplamaları, Kalite Kontrolü, Prototip Üretimi, Taş Yüzü Analizi, Topografya, Tünel Ölçümleri, deformasyon analizi ölçümü gibi pek çok alanda geometrik verilerin elde edilmesinde yersel lazer taramayı önemli bir yöntem haline getirmiştir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Yersel lazer tarama tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte; sensor modelleme, detay çıkarma, nokta bulutu oluşturma, veri birleştirme ve diğer pek çok alanda yeni araştırma alanları ortaya çıkmıştır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Yakın resim fotogrametrisi ve yeni bir teknoloji olan yersel lazer tarama tekniğinin birlikte kullanılması 3B model oluşturmada, obje sınıflandırmada ve sanal gerçeklik uygulamalarında yeni fırsatlar ortaya çıkarmıştır. Lazer tarama teknolojisi ve yakın resim fotogrametrisi, birbirini tamamlayıcı yöntemler olarak görülmektedir. Hacim hesabı yapılacak bölgeye, beklenen doğruluk, maliyet ve zamana bağlı olarak yersel lazer tarayıcı ile de hacim hesapları yapılabilmektedir (Yakar, M., Yılmaz, H. M. ve Mutluoğlu, Ö., 2009). Tarihi kültürel ve turistik mirasların korunması, röleve çalışmaları ve arşivlenmesi çalışmalarında daha hızlı ve daha pratik olması açısından önem arz etmektedir. Yersel lazer tarama yüksek çözünürlüklü 3D model oluşturmak için gerekli nokta kümelerini kısa sürede ve düşük maliyette elde edebilen bir teknolojidir (Yılmaz, H. M., Yakar, M., 2006).

Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme verileri, ortofoto görüntüleri, 2B veya 3B çizimler, 3B animasyon, katı yüzey modelleri ya da doku giydirilmiş 3B modeller elde edilebilmektedir. Etkin bir veri toplama tekniği olan lazer tarayıcılar hem ölçmecilere hem de bu ölçüleri kullananlara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

#### 1.4. Yersel Lazer Tarayıcıların Özellikleri

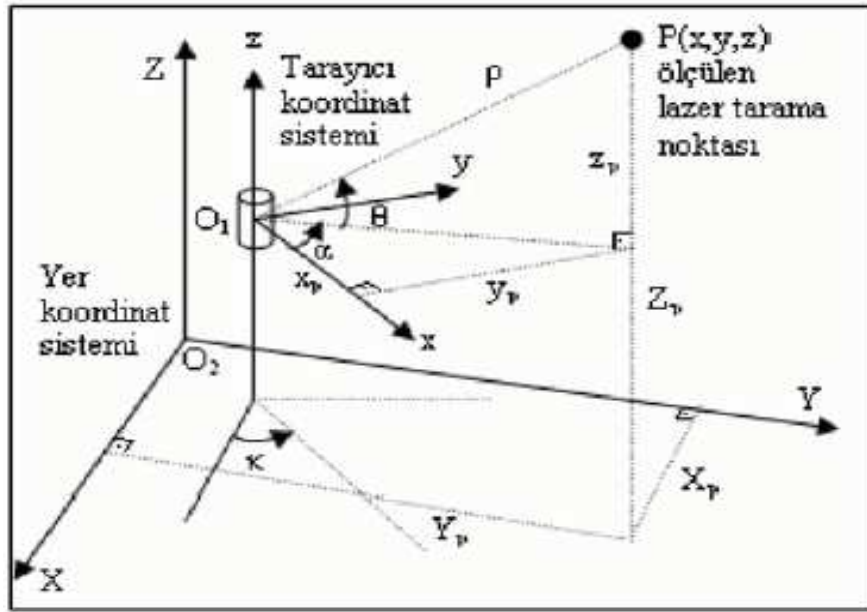
Pek çok marka ve modelde lazer tarayıcı bulunmaktadır (Optech, Riegl, Leica, Zoller+Fröhlich, Faro, Mensi, I-Site,vb.). Bunlardan bazılarında ait teknik özellikler Şekil 1.3. de verilmiştir. Şekilde verilen ışımsal açıklık aynı zamanda taranabilecek en küçük tarama aralığını da ifade etmektedir. Bu tarayıcıların ölçme prensipleri aynı olmakla birlikte ölçme uzunlukları, fonksiyonları ve kullanılışlarında farklılıklar bulunmaktadır. Tarayıcıların çoğunda bulunan dijital kameralar sayesinde ölçülen noktalara renk değeri atanarak renkli nokta bulutu elde edilebilmektedir (Topcon, 2008).

Marka	Model	Ölçme mesafesi (m)	Ölçme hızı	Tarama açısı	Mesafe doğruluğu	Konumsal doğruluk	Işımsal açıklık
Optech	Illris 3D	3m-1500m (%80 yansıtıcı yüzey)	2500 nokta/san	310° (V) 360° (H)	<u>7mm@100m</u>	<u>8mm@100m</u>	0.00974°
Riegl	LMS-Z420	2m-1000m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	<u>8mm@50m</u>	10mm@50m	0.25mrad
	LMS-Z390	1m-300m (%80 yansıtıcı yüzey)	11000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	<u>4mm@50m</u>	<u>6mm@50m</u>	0.25mrad
	LMS-Z210	4m-650m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	<u>10mm@50m</u>	<u>15mm@50m</u>	2.7mrad
Leica	Scan station	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 nokta/san	270° (V) 360° (H)	4mm@50m	<u>6mm@50m</u>	<u>4mm@50m</u>
	HDS 3000	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 nokta/san	270° (V) 360° (H)	4mm@50m	<u>6mm@50m</u>	<u>4mm@50m</u>
	HDS 4500 (53m)	53.5 m	500000 nokta/san	310° (V) 360° (H)	5mm+120ppm (%100 yansıtıcı yüzey)	<u>13.7mm@25m</u> (%100 yansıtıcı yüzey)	<u>8.5mm@25m</u>
	HDS 6000	79m (%80 yansıtıcı yüzey)	500000 nokta/san	310° (V) 360° (H)	<u>5mm@50m</u>	10mm@50m	3mm+0.22 mrad
Z-F	Imager 5006	1m-79m	500000 nokta/san	310° (V) 360° (H)	<u>0.1mm@50m</u>	<u>1mm@50m</u>	0.22 mrad
Faro	LS 880	1m-80m	120000 nokta/san	320° (V) 360° (H)	3mm	5mm	0.01°
Topcon	GLS-1000	330m (%90 yansıtıcı yüzey)	3000 nokta/san	35° (V) 360° (H)	1mm@100m	<u>4mm@150m</u>	0.0006°

Şekil 1.3. Değişik markalardaki lazer tarayıcıların özellikleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

## 1.5. Yersel Lazer Tarayıcıların Koordinat Sistemleri

Lazer tarayıcılar, ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu halinde görüntülenmesini sağlar. Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ölçülür. Bunlar; ölçülen noktaya olan eğik uzaklığın, ölçüm doğrusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı  $\alpha$  ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı  $\Theta$  dır. Aynı zamanda ölçülen yüzeyin yapısına ve ölçme uzaklığına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğu da ölçülerek kaydedilir. Yersel lazer tarayıcılarla ölçülen büyüklükler ve tarayıcı koordinat sistemi Şekil 1.4 'de görülmektedir.



Şekil 1.4. Lazer tarayıcıların koordinat sistemleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Şekil 1.4.'deki gösterimlerin açıklamaları aşağıdaki şekildedir.

- $x,y,z$ : Tarayıcı alet orijinli nokta bulutu koordinatları,
- $\rho$ : Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe,
- $\alpha$  : Işın doğrultusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı,
- $\Theta$ : Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı,
- $O_1$ : Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- $O_2$ : Yer koordinat sistemi merkezi.

Bu ölçüler arasındaki geometrik ilişki ve taranan noktaların tarayıcı alet orijinli 3B koordinatları  $(x,y,z)$ , aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \cos\theta \cdot \cos\alpha \\ \cos\theta \cdot \sin\alpha \\ \sin\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Lazer tarayıcı nokta bulutları ölçülen alanı gerçek ölçüleri ile temsil ettiği için objenin 1:1 ölçekli 3B modeli olarak da düşünülebilir. Bazı aletlerde sadece nokta üzerine kurulabilme özelliği vardır. Yersel lazer tarayıcıların total stationlar gibi belirli bir noktaya kurulup yönlendirilmeleri mümkün olmadığı için tarayıcı merkezli x,y,z eksenleri her defasında farklı bir doğrultuyu gösterecektir. Bu nedenle bir alan için yapılan bütün taramalar ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmelidir. Tarayıcı ile bütünleşik yapıda dijital kamera kullanılıyorsa bu durumda ölçülen her nokta için RGB kaydı da yapılabilmektedir.

Tarayıcı alet orijinli x,y,z nokta bulutu koordinatları, ek ölçüler ve hesaplamalarla jeodezik koordinat sistemine ya da başka bir referans koordinat sistemine dönüştürülür. Nokta bulutlarının birleştirilmesi ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi şu şekilde yapılır. Lazer tarayıcılarla binaları, tarihi eserleri ya da başka alanları tümüyle görüntüleyebilmek için değişik noktalardan çok sayıda tarama yapılır. Her bir taramadan elde edilen nokta bulutunun koordinatları, tarayıcı alet merkezli lokal koordinatlarıdır. Objenin 3B modelini oluşturmak için bütün nokta bulutları, seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilmelidir. Genellikle ilk taramanın koordinat sistemi referans olarak alınır. Bu durumda ilk taramadan sonraki taramaların referans koordinat sistemine 3B dönüşümlerinin yapılması gerekir. Nokta bulutları jeodezik koordinat sistemine dayalı olarak da birleştirilebilir. Bunun için birleştirme ya doğrudan jeodezik koordinat sisteminde yapılır ya da nokta bulutu içerisinde yeterli sayıda nokta tanımlanarak jeodezik koordinat sistemine dönüşüm yapılır. Jeodezik koordinatlar sayesinde yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının farklı yöntemlerle elde edilmiş veri kümeleri ile entegrasyonu da kolay olacaktır.

### **1.6. Nokta Bulutu Verilerinin Birleştirilmesi**

Nokta bulutlarının referans koordinat sisteminde birleştirilmesi aşağıdaki yöntemlerin birisiyle yapılmaktadır.

1.İteratif en yakın nokta yöntemi,

2.EKK 3B yüzey eşleme yöntemi,

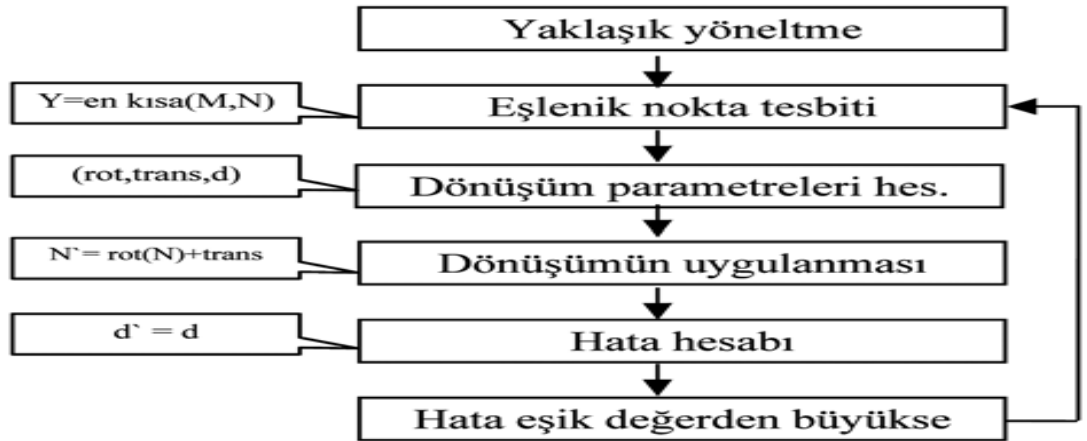
3.Bağımsız model yöntemi,

4.Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmeler

### 1.6.1. İteratif en yakın nokta yöntemi

Bu yöntemde nokta bulutları arasındaki 3B dönüşüm parametreleri iteratif olarak bulunur. Yöntem, referans nokta kümesi (M) ve araştırma nokta kümesi (N) aynı ölçekli kabul edilerek dönüşüm parametrelerinin en yakın nokta çiftleri ile bulunması temeline dayanır ve başlıca üç adımda uygulanır. Birinci adımda yüzeyler, aralarında benzerlik ilişkisi kurularak yaklaşık olarak yöneltilir. İkinci adımda, araştırma nokta kümesindeki her nokta için referans nokta kümesindeki en yakın nokta bulunarak noktalar eşleştirilir ve en yakın nokta çiftleri ile dönüşüm parametreleri hesaplanır. Üçüncü adımda, hesaplanan dönüşüm parametreleri araştırma nokta kümesinin bütün elemanları için uygulanarak dönüşüm yapılır. Bu üç adım, araştırma nokta kümesi referans nokta kümesi ile eşleştirilinceye kadar iteratif olarak devam eder. İlk yaklaşık değerler çok iyi seçildiğinde yöntem oldukça etkili bir yöntemdir. Dönüşüm, araştırma ve referans nokta kümeleri arasında öklid mesafesi en kısa olan eşlenik noktalarla yapılır.

Araştırma nokta kümesindeki noktaların referans nokta kümesindeki eşleniklerinin bulunması için araştırma nokta kümesine ait nokta ile referans nokta kümesinin bütün noktaları için öklid mesafesi hesaplanır. Öklid mesafesi en küçük olan nokta o noktanın eşleniği olarak alınır. Bu yöntemin uygulanmasında temel işlem adımları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.5. İteratif en yakın nokta yönteminin akış şeması (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Yöntem, yaklaşık yöneltmesi yapılmış nokta bulutlarının dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasında en çok kullanılan yöntemdir (Altuntaş ve Yıldız 2008). Yoğun hesaplama gerektirmesine rağmen kolay uygulanabilmesi ve yüksek doğrulukta sonuç vermesi nedeniyle lazer taramalarının eşleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle 20 ya da 30 iterasyondan sonra sonuca ulaşılmaktadır. İlk yaklaşık değerler iyi seçilirse ve şeklin belirgin geometrik özellikleri varsa 5-10 iterasyonda da sonuca ulaşılabilmektedir.

### 1.6.2. En küçük karelerle 3B yüzey eşleme yöntemi

En küçük karelerle 3B (EKK 3B) görüntü eşleme metodu, 2 Boyutlu (2B) görüntü eşleme algoritmasının genişletilerek 3B yüzeylerin eşlenmesinde kullanılması şeklindedir. EKK 3B görüntü eşleme yöntemi, 3B referans penceresini bir ya da daha fazla 3B araştırma penceresi ile yüzeyler arasındaki Öklid mesafelerinin kareleri toplamı minimum olacak şekilde eşleştirir.

Aynı objeye, yüzeyinin iki farklı nokta bulutundaki karşılıklı elemanları  $f(x,y,z)$  referans penceresi ve  $g(x,y,z)$  araştırma penceresi olmak üzere problem;  $f(x,y,z)$  ye en iyi uyan  $g(x,y,z)$  yüzeyinin konumunun, dönüklüğünün ve şeklinin aranarak bulunması şeklinde tanımlanır. Rasgele hatalar,  $e(x,y,z)$  hata vektörü olarak stokastik modele dahil edilirse fonksiyonel model aşağıdaki şekilde olur.

$$f(x,y,z)+e(x,y,z)=g(x,y,z) \quad (2)$$

$g(x,y,z)$ ' nin konumu,  $g^0(x,y,z)$ ' nin yaklaşık değerinden başlayarak tekrarlı hesapla bulunur.

Eşlenik yüzeyler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için, aşağıdaki genel ortogonal 3B dönüşüm eşitliğine göre 7 parametrelilik 3B benzerlik dönüşümü kullanılır:

$$[X \ Y \ Z]^T = mR\omega\phi K[x \ y \ z]^T + [t_x \ t_y \ t_z]^T \quad (3)$$

Burada;

$[XYZ]^T=2$ . Sistem koordinatları,

$R\omega\phi K$ =ortogonal dönüşüm matrisi elemanları

$[t_x \ t_y \ t_z]^T$ = Öteleme vektörü

$[x \ y \ z]^T = 1$ . sistem koordinatları,

$m$ = Ölçek katsayısıdır.

(2) nolu eşitlik Taylor serisine açılıp lineer hale getirilirse ve (3) nolu eşitliğin değişkenlere göre türevi (2) nolu eşitlikte yerine yazılıp düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$e(x,y,z) = g_x dx + g_y dy + g_z dz + (g_{xa_{10}} + g_{ya_{20}} + g_{za_{30}})dm + (g_{xa_{11}} + g_{ya_{21}} + g_{za_{31}})d\omega + (g_{xa_{12}} + g_{ya_{22}} + g_{za_{32}})d\varphi + (g_{xa_{13}} + g_{ya_{23}} + g_{za_{33}})dK - (f(x,y,z) + g^0(x,y,z)) \quad (4)$$

Gauss-Markoff modeline göre bütün noktalar için, lineer hale getirilmiş yukarıdaki hata denklemi yazılarak matematiksel model oluşturulmuş olur. ( $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$ ),  $g(x,y,z)$  fonksiyonunun değişkenlere göre birinci türevleridir. (4) eşitliği matris notasyonunda yazılırsa,

$$V = Ax - l, \quad P \quad (5)$$

(5) denklemi elde edilir.

Burada;

A: Katsayılar matrisi. (4) nolu eşitlikte bilinmeyenlerin katsayıları  $n$  adet nokta için A matrisi  $n \times 7$  boyutludur.

$x^T = [dx \ dy \ dz \ dm \ d\omega \ d\varphi \ dK]$ : Bilinmeyenler vektörü

$l = f(x,y,z) - g^0(x,y,z)$  : referans ve araştırma pencereleri arasındaki Öklid mesafelerini içeren ölçü vektörüdür.

Burada (2) nolu formülle verilen fonksiyonel model lineer değildir. Bilinmeyenlerin her biri için belirlenen bir minimum değer bulununcaya kadar çözüme iteratif olarak devam edilir. Her dengeleme sonunda bulunan bilinmeyenlerin değerleri bir sonraki dengelemede bilinmeyenler için yaklaşık değer alınır. İterasyon sonunda fonksiyonun minimum değere ulaşabilmesi için ilk yaklaşık değerlerin çok iyi seçilmesi gerekir. Bilinmeyenlerin ilk yaklaşık değerleri herhangi bir yöntemle hesaplanabilir (Gruen ve Akca, 2005).

### 1.6.3. Bağımsız model yöntemi

Bu yöntemde nokta bulutları ölçme işleminin amacına bağlı olarak önceden tanımlı yersel koordinat sisteminde, ya da lazer taramalarının referans alınan birisinin koordinat sisteminde birleştirilir. İlk durumda, bütün taramalarda yer kontrol noktalarının (YKN) bulunması gerekir. YKN kullanımını farklı zamanlarda yapılan lazer taramalarının birleştirilmesini, lazer noktalarının doğruluğunun artırılmasını, fotogrametrik ve topoğrafik ölçülerin bu ölçülerle birleştirilmesini sağlar.

YKN aynı zamanda bağlama noktalarının uygunsuz dağılımından ve ölçü metodundan kaynaklanan dönüşüm hatalarını da azaltır.

Bütün modellerin YKN'ye dayalı olarak koordinatlandırılması ölçü süresi ve maliyetini artıracığından lazer tarayıcıların kullanım avantajlarına da aykırı olacaktır. Bu nedenle nokta bulutlarının referans koordinat sisteminde birleştirilmesi için bağımsız model yöntemi geliştirilmiştir.

Bağımsız model yöntemi, hava nirengisi hesaplamalarında kullanılan bağımsız modeller yöntemine benzer olarak, farklı noktalardan alınan bütün 3B modellerin eş zamanlı dengelenmesi şeklindedir. Bağlama noktaları iki komşu modelin birbirine göre dönüklük ve ötelenmelerinin hesaplanmasını sağlarken, YKN modellerin verilen referans sistemine oturtulmasını sağlar. Yöntemin uygulanmasında ilk önce bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri hesaplanır, daha sonra EKK yöntemi ile 3B modellerin bağımsız model dengelemesi yapılır. Bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri lazer taramalarının ortak örtü alanında en az üç adet bağlama noktası ile hesaplanabilir. Bağlama noktası olarak tarama alanında tesis edilen işaretler ya da objenin doğal özellikleri kullanılabilir.

Bağımsız model dengelemesinden sonra her modelin (nokta kümesinin) dönüşüm parametreleri hesaplanmış olur. Bu parametrelerle (3) eşitliği kullanılarak her modelin referans koordinat sistemindeki koordinatları hesaplanabilir. YKN ve bağlama noktalarının dağılımına bağlı olarak bağımsız model yöntemi farklı şekillerde uygulanabilir (Scaioni, 2002).

1-Bir modelin içerdiği YKN sayısı, modeli yöneltmek için yeterli ya da daha fazla sayıda ise bu modelden başlanarak yöneltme işlemi yapılır.

2-YKN tüm alan için yeterli sayıda ancak herhangi bir nokta kümesi tek başına dönüştürülemez ve tüm bloğun dönüşümü yapılamıyorsa; bu durumda nokta kümelerinden birisi geçici referans sistemi alınır ve diğer bütün nokta kümeleri bu sisteme dönüştürülür. Referans olarak diğer nokta bulutları ile en fazla ortak nokta içeren nokta bulutu seçilir. Diğer nokta bulutlarının referans nokta bulutu ile birleştirilmesinden elde edilen blokta yeterli sayıda YKN olduğu anda bundan sonraki birleştirmeler bağımsız model yöntemine göre yapılır.

3-Nokta bulutları içinde hiçbir YKN bulunmuyorsa bu durumda kullanıcı tarafından seçilecek ya da 2. madde de belirtildiği şekilde seçilecek bir nokta bulutu referans alınarak bütün nokta bulutları bu sisteme dönüştürülür.

Nokta bulutlarından birisinin referans alınması durumunda her nokta bulutu bir önceki nokta bulutunun koordinat sistemine dönüştürülerek bütün taramalar ortak bir koordinat sisteminde birleştirilir.

Her modelin bir önceki model ile dönüklük parametreleri yeterli sayıda iterasyonla hesaplanarak nokta bulutları eşleştirilir ve bu şekilde bütün modeller tek bir blok halinde birleştirilmiş olur. Ancak böyle bir durumda küçük yöneltme hataları kontrolsüz bir şekilde yayılarak bütün bloğu etkiler. Çünkü yöneltmesi yapılan her nokta bulutu bir sonraki nokta bulutu için referans olarak alınır. Bu nedenle blok geometrisinin çok iyi olması yani YKN'nin blok içindeki dağılımının ideal olması blok deformasyonlarının kontrolünde ve dönüklük parametrelerinin belirlenmesinde etkili olacaktır.

#### **1.6.4. Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmeler**

Diğer yöntemlerin teknik, ekonomik ya da operasyonel nedenlerden dolayı uygulanamadığı durumlar için doğrudan jeodezik koordinatlı ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu bağlamda doğrudan jeodezik koordinatlı ölçü yapmayı gerektiren durumlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1-Objenin geometrik şekli ve boyutları nedeniyle YKN tesisi mümkün olmayan ya da YKN tesisinin çok pahalı olduğu geniş alanların ölçümünde (tünel, yol vb.),

2-Planlama ya da şehir modelleme amaçlı düşük doğruluklu olarak geniş alanların 3B görüntülenmesi uygulamalarında,

3-YKN tesisinin çok zor ya da mümkün olmadığı durumlarda.

Tünel, yol, maden işletmesi gibi çok büyük ve genellikle lokal kontrol imkanı dahi olmayan alanlarda, lazer taramalarının referans olarak seçilen bir taramanın koordinat sisteminde birleştirilmesi durumunda oluşacak model çok sayıda sistematik hata içerecektir. Bu sakıncayı gidermek için lazer tarayıcıdan elde edilen 3B model koordinatları jeodezik koordinatlara dönüştürülebilir. Bu ise çok sayıda YKN tesisini ve ölçüsünü gerektirecektir.

Lazer tarayıcı koordinat sistemi, lazer tarayıcı orijinli ve herhangi bir doğrultuya yönlendirilmemiş bir koordinat sistemidir ve taramalar arasında ölçek faktörü 1 olarak alınabilir. Bu durumda bir noktanın yer referans sistemi koordinatı ve lazer tarayıcı koordinatları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$[X \ Y \ Z]^T = mR_{\omega\phi\kappa}[x \ y \ z]^T + [tx \ ty \ tz]^T \quad (6)$$

$[X \ Y \ Z]^T$ : Yer koordinatları vektörü,

$R_{\omega\phi\kappa}$ : Alet ve yer koordinat sistemleri arasındaki dönüklük matrisi,

$[x \ y \ z]^T$ : Alet koordinatları vektörü,

$[tx \ ty \ tz]^T$ : Alet koordinat sistemi başlangıcının (alet kurulan nokta) yer koordinat sistemine göre koordinatlarıdır

Bağıntıdan da görüleceği gibi her lazer taramasını jeodezik koordinat sistemine dönüştürmek için dönüklük matrisi  $R_{\omega\phi\kappa}$ 'nin ve tx,ty,tz başlangıç noktası koordinatlarının hesaplanması gerekir. Bu değerlerin her lazer taraması işleminde hesaplanabilmesi için lazer taraması içerisinde en az üç noktanın jeodezik koordinatlarının bilinmesi gerekir. Dönüşümün doğruluğunun artırılabilmesi için üç'ten fazla ortak nokta olmalıdır. Bunun yanında ölçülen alanın büyük ve detaylarının fazla olması çok sayıda YKN tesisini gerektirecektir. Bu durum lazer tarayıcıların kullanım avantajlarına uygun olmayacağı için lazer tarayıcıların doğrudan jeodezik koordinatlar cinsinden ölçü yapabilmesini sağlayan “*doğrudan jeodezik koordinat*” yöntemi geliştirilmiştir.

Üzerine monte edilen dürbün yapısı ile lazer tarayıcılar, nokta üzerine konulup düzeçlenebilir ve yatay bir doğrultuya yönlendirilerek normal bir teodolit gibi kullanılabilir. Alet nokta üzerine kurulduğunda jeodezik koordinat sisteminin Z eksenini ( $H$  yüksekliği) ile alet koordinat sisteminin z eksenini çakışık olacaktır. Aletin orijin noktasının neresi olduğu kataloğlardan ve kalibrasyon raporlarından alınarak nokta ile alet arasındaki  $H$  yükseklik farkı ölçülebilir. Tarayıcı, üzerine monte edilen dürbün ile koordinatı bilinen YKN'ye ( $X_{02}, Y_{02}$ ) yönlendirilebilir.

Bu doğrultu aynı zamanda tarayıcı koordinat sisteminin x eksenini yönüdür. Bu durumda aletin xy düzlemi ile jeodezik koordinat sisteminin yatay düzlemdeki dönüklüğü  $k$ 'dır. Bu durumda, yer koordinat sistemine göre başlangıç doğrultusu  $k$  kadar dönük alet koordinat sistemi, z eksenini etrafında dönecektir. Tarayıcının düşey hareketi sadece x ya da y eksenini etrafındaki dönme olarak modellenilebilir. (Örneğin Riegl marka tarayıcıda y eksenini etrafındadır).

Tarayıcının dönme eksenini ile tarayıcı koordinat sisteminin  $O_1$  merkezi arasındaki farklar ( $e_x$  ve  $e_z$ ), tarayıcı aletlerin tanıtım broşürleri ya da kalibrasyon raporlarından alınabilir. Buna göre; bütün dönüklükler ve ötelemeler dikkate alındığında tarayıcı koordinatları ile jeodezik koordinatlar arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$[X \ Y \ Z]^T = RKR\varphi([x \ y \ z]^T - [e_x \ 0 \ e_z]^T) + [t_x \ t_y \ t_z]^T \quad (7)$$

RK : Z eksenini etrafındaki döndürme

$R\varphi$  : Y eksenini etrafındaki döndürme

$$K = \arctan \frac{Y_{02} - Y_{01}}{X_{02} - X_{01}}$$

$$e = \begin{bmatrix} e_x - re \cdot \cos(\varphi + \gamma) \\ 0 \\ e_z - re \cdot \sin(\varphi + \gamma) \end{bmatrix}, \quad re = \sqrt{e_x^2 + e_z^2}, \quad \gamma = a \tan\left(\frac{e_z}{e_x}\right)$$

$[X \ Y \ Z]^T$ : Ölçülen noktanın jeodezik koordinatları,

$[x \ y \ z]^T$ : Ölçülen noktanın tarayıcı alet orijinli yerel koordinatı,

RK: tarayıcı aletin yatay düzlemdeki  $k$  dönmesine ait dönüklük matrisi,

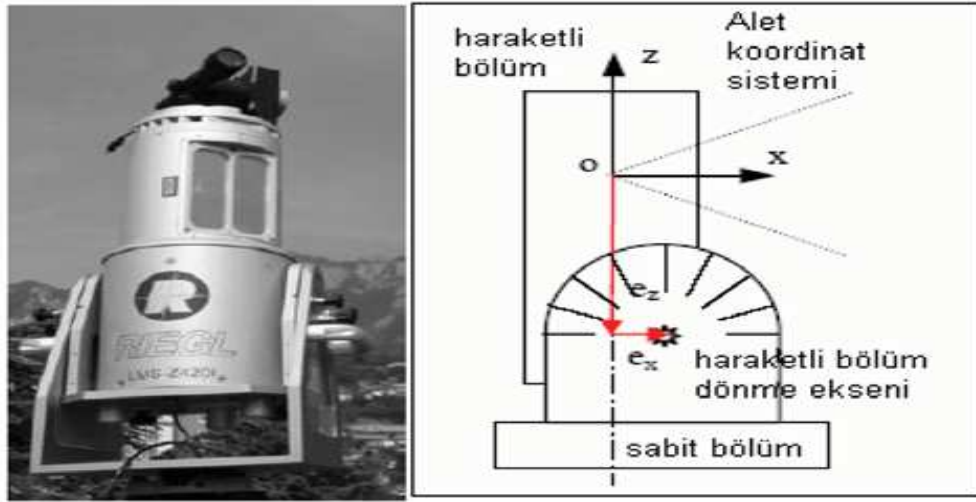


$R\phi$ : tarayıcı aletin düşey düzlemdeki  $j$  dönmesine ait dönüklük matrisi,

$e_x$  ve  $e_z$  : Tarayıcı aletin dönme eksenini ve koordinat başlangıç noktası arasındaki farklar,

$[t_x \ t_y \ t_z]^T$  : Tarayıcı aletin koordinat başlangıç noktasının arazi koordinat sistemine göre koordinatlarıdır.

Önerilen yöntem dürbün ile tarayıcının  $x$  koordinat eksenini yönünün bilinen bir noktaya yönlendirilmesi şeklinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, koordinatları belirli işaretlerin lazer tarayıcı ile taranarak tarayıcı konumunun hesaplanması ve  $x$  ekseninin yönlendirilmesi şeklinde de kullanılabilir.



**Şekil 1.6.** Dürbün monte edilmiş yersel lazer tarayıcı (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

## 1.7. Lazer Tarayıcıların Bileşenleri

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi şu bileşenlerden oluşur (Barber vd, 2001).

- 1) Tarama ünitesi (tarayıcı )
- 2) Kontrol ünitesi
- 3) Güç kaynağı
- 4) Tripod ve Sehpa

### 1.7.1. Tarama ünitesi

Tarayıcı ünitesi, boyut olarak bildiğimiz ölçü aletlerinden daha büyük bir yapıdadır. Bir

Yersel Lazer Tarayıcının öz bileşeni tarama ünitesidir. Bu bileşen basitçe direkt 3B veri yakalamak için kullanılan sistemdir. Bir lazer tarama ünitesi iki bileşenden meydana gelir (Wehr ve Lohr, 1999) .

- Lazer telemetresi (Lazer uzunluk ölçme sistemi )
- Lazer ışın saptırma ünitesi ( Optik mekaniksel tarayıcı )

#### **1.7.1.1. Lazer telemetresi**

Bir lazer telemetresi şunlardan oluşur

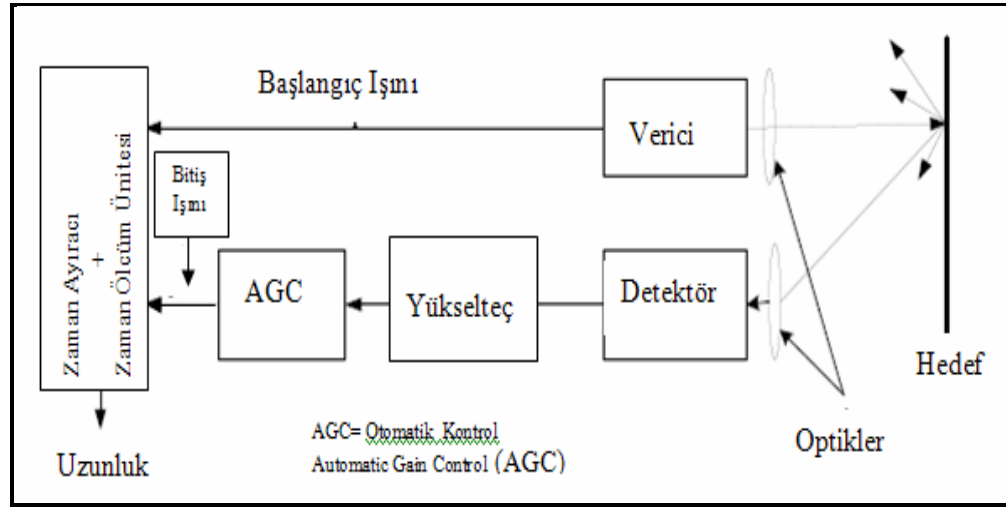
- Bir verici ( Transistorlü lazer veya yarı geçirgen lazer diyot )
- Alıcı kanal ( Otomatik Algılama kontrolü (AGC), detektör, yükselteç )
- Zaman ayırıcısı ve zaman ölçümü ünitesi ( Dijital çevirici (TDC) )
- Verici ve alıcı optikleri

Lazer vericisi, biri alıcıya gönderilen ve zaman ölçüm ünitesini başlatan, diğeri objeye gönderilen iki parçaya ayrılmış başlangıç lazer atımı yayar. Detektör, obje yüzeyinden geri saçılmış lazer sinyallerinin algılanmasında kullanılır. Taranmış objenin yüzeyine erişildiğinde lazer atımı geri saçılır ve bir kısmı detektöre geri döner. Lazer atımının parlak gücü, elektrik akımında dönüştürülür. Alınan güç miktarı ses sinyali oranını ve mesafe duyarlılığını etkilediğinden dolayı bu ilişkiyi analiz etmek önemlidir. Bahsedildiği gibi yayılmış lazer gücünün bir bölümü tarayıcıya dönecektir. Alınmış lazer gücü, verilmiş gücün çok küçük bir parçasıdır ve hedef yansımadaki değişikliklere bağlıdır. AGC vasıtasıyla zaman ölçümü ayarlanarak, alınmış atımın dinamikleri, optik veya elektriksel azaltıcı tarafından fark edilebilir. Lazer atımının geri saçılmış parçası, tespit edildikten sonra, zamanlamayı çalıştıran ve zaman ölçümü ünitesini durduran zaman ayırıcısına yollanır.

Atımlı lazer telemetreleri için belirli maksimum duyarlılıklı mesafe şunlara dayanır;

- TDC' nin maksimum erimi ( bit sayısı )
- Objeye yüzeyi yansırılıığı
- Lazer gücü
- Atmosferik iletim

- Işın sapması
- Dedektör duyarlılığı



Şekil 1.7. Lazer telemetrenin çalışma sistemi (Kostamovaara 1991, Amann 2001)

### 1.7.1.2. Lazer ışını saptırma ünitesi

Obje veya alanın mekânsal (3B) ölçümlerini sağlamak için lazer ışın saptırma ünitesi kullanılır. Bu üniteye temel öğe dikey yönde ve bazen yatay yönde ışının sapmasını sağlayan tarama aynasıdır. Normalde üç çeşit ayna kullanılır.

- Dönen düz aynalar
- Dönen çokgen aynalar
- Dalgalı (Galvanometrik) aynalar

### 1.7.2. Kontrol ünitesi

Tüm tarama işlemi ve veri kaydetmeyi kontrol etmek için, tarama yazılımı yüklü bir dizüstü bilgisayar kontrol ünitesi olarak kullanılır. Bu kontrol ünitesi, tarama işlemi süresince toplanan veri miktarının büyüklüğü yüzünden yeterli veri işleme ve depolama kapasitesine sahip olmalıdır. Parlak gün ışığında ekranı gösterirken yaşanan bazı problemleri önlemek için bazı gölgelendirmeler sağlanmalıdır.

### 1.7.3. Güç kaynağı

Tarayıcı için güç kaynağı bir veya birkaç pildir. Bu genellikle tarayıcı için güç sağlar, bu nedenle ekstra piller ve bir şarj aleti kontrol ünitesi için gereklidir.

#### **1.7.4. Tripod ve sehpa**

Tarayıcılar, genellikle yer üzerinde toprak veya diğer uygun yüzeylere bir sehpa ya da tripod vasıtasıyla kurulabilir. Bazı tarayıcılar bilinen bir nokta üzerine yerleştirilebilir ve düzeçlenebilir. Bazı sistemler örneğin Callidus 1.1 tarayıcısı gibi, iç tarama için uygun olan tekerlekli tripod kullanabilir.

#### **1.8. Lazer Tarayıcıların Doğruluğu**

Lazer tarayıcılarla ölçülen her nokta bulutu çok sayıda rastlantısal hata içerir. Bu hatalar; ışın yansımaları ve ışın kalınlığından kaynaklanan ölçme sistemi hatalarıdır. Ölçüler jeodezik koordinat sistemine dönüştürülecekse bu hatalara dönüşümde kullanılan noktaların hataları da eklenmektedir. Taranan noktaların doğruluğunu; tarayıcının açısal doğruluğu, mesafe doğruluğu, çözünürlüğü, kenar etkisi yani ışın kalınlığı, yansıyan sinyal gücü ile sıcaklık, atmosferik koşullar ve radyasyon gibi çevresel koşullar etkiler.

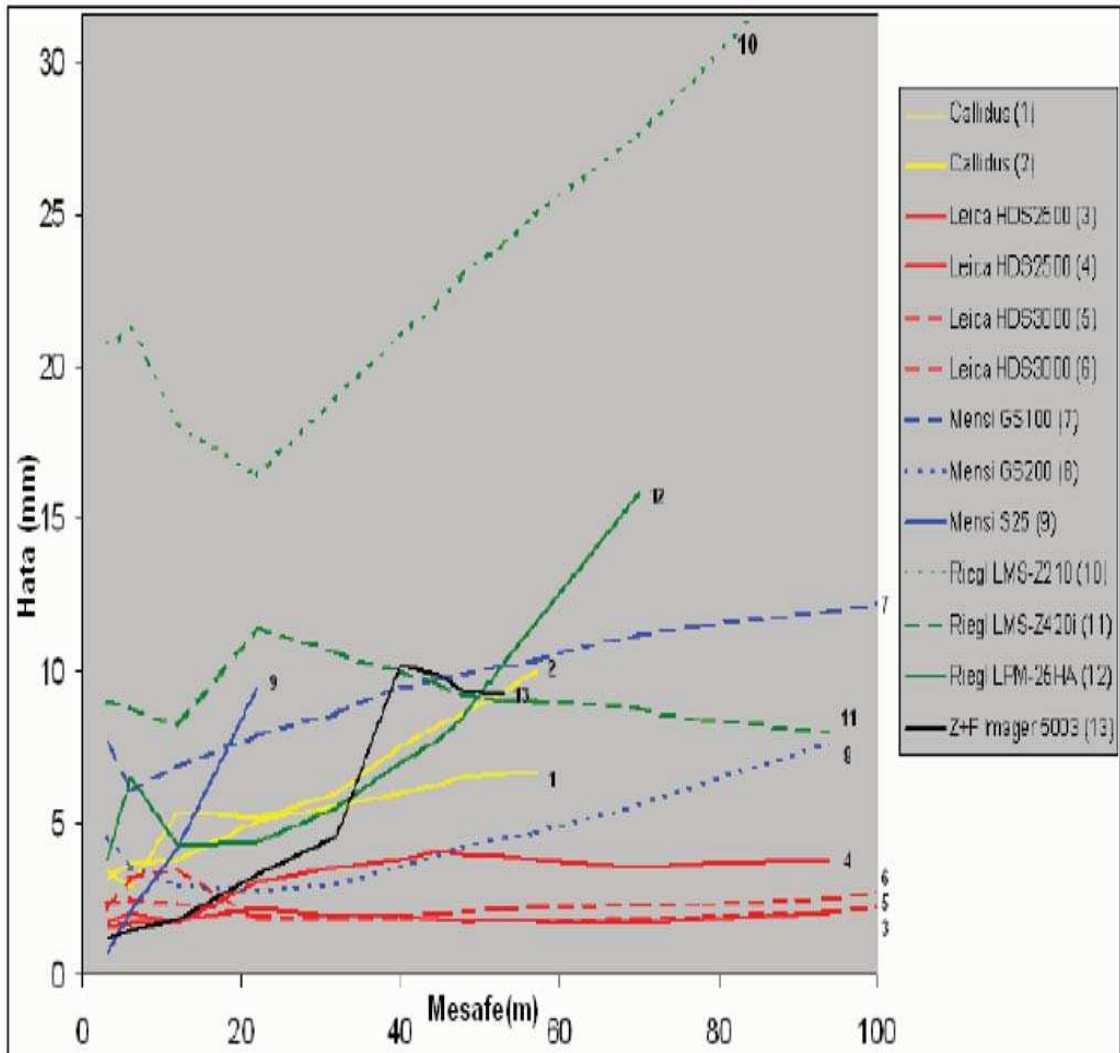
Lazer ışın kalınlığından dolayı obje kenarına çarpan ışının bir kısmı geri dönerken bir kısmı da diğer yüzeyden geri yansımaktadır. Bu durumda aynı lazer ışını için iki farklı ölçü noktası elde edilecektir. Bu hata, lazer ışın kalınlığının azaltılması ile en aza indirilebilir.

Tarayıcılardan gönderilen ve obje yüzeyinden dönen sinyaller kaydedilerek objenin gri tonlu yansıma görüntüleri oluşturulmaktadır. Yansıyan sinyalin gücü; yüzeyin parlaklığı, mesafe, atmosferik koşullar ve ışığın geliş açısına göre değişir. Beyaz yüzeylerden yansıma çok fazla olurken, siyah yüzeylerden yansıma çok az olmaktadır. Renkli yüzeylerde yansıma etkisi, lazer tarayıcının spektral özelliğine (yeşil, kırmızı, kızıl-ötesi) bağlı olarak değişir (Boehler vd. 2003). Atmosferik koşulların kısa mesafelerde etkisi çok azdır. Toz ve su buharı lazer ışın kalınlığından dolayı ölçüleri etkileyecektir. Bu hata obje kenarlarında lazer ışın kalınlığından dolayı kaçınılmaz olarak oluşan ölçü hatalarıyla aynı büyüklüktedir. Bu hatanın giderilmesi, ancak lazer nokta büyüklüğünün minimuma indirilmesiyle mümkündür.

Bir lazer tarayıcı, ancak kendi çalışma sıcaklığında optimum olarak çalışır. Sıcaklık, kendi çalışma aralığında olsa bile mesafe ölçümünde etkili olabilir. Tarayıcının iç sıcaklığı, çalışma ve radyasyon nedeniyle dış sıcaklıktan bir miktar fazla olacaktır.

Lazer tarayıcı aletlerin çoğu, çalışma sıcaklığı belirlenen aralığı aştığında otomatik olarak kapanmaktadır.

Lazer tarayıcıların doğruluk araştırmasıyla ilgili pek çok metot geliştirilmiş ve sonuçları yayınlanmıştır. Doğruluk araştırması için en iyi test alanı ve programı Almanya'da Mainz-University of Applied Sciences'da geliştirilen test alanıdır. Bu test alanında değişik lazer tarayıcıların mesafe ve yansıma ölçümlerine ilişkin test sonuçları Şekil 1.8.' de verilmiştir. Sonuç olarak, lazer tarayıcıların ölçü doğruluğu uzun mesafelerde (>1000m) 10cm, ışın yapısına bağlı olarak azalsa da kısa mesafelerde (<300m) ölçü hassasiyeti 1cm civarındadır. Genel olarak, Şekil 1.8.'den de görüldüğü gibi mesafe ölçme ve konum hatası 100m de 1cm' nin altında kalmaktadır.



Şekil 1.8. Farklı lazer türleri için mesafe ölçüm doğruluğu Test Almanya da Mainz'de Uni.of Applied Sciences'da yapılmıştır (Zweyer, 2006)

### **1.9. Lazer Tarama Yönteminin Avantajları**

- 1:1 ölçeğinde 3B geometri
- Ölçmeler çevredeki ışıktan bağımsızdır.
- Hızlı ve obje ile temas kurmadan otomatik ölçme,
- Düzensiz yüzeyler için mükemmel bir teknik olması,
- Çok kısa zamanda sonuçların elde edilebilmesidir.
- Aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama,
- Lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu,
- Daha güvenli veri toplama imkânı,
- Yüksek doğruluklu DTM üretebilme,
- Gerçek renkli görüntü üretebilme,
- Ölçme alanının belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesi olarak sıralanabilir (Waggot vd. 2005).

### **1.10. Lazer Tarama Yönteminin Dezavantajları**

- Renk, doku, ve malzeme hakkında detay bilgi yoktur.
- Nokta kümelerinin zor veya bazen imkânsız olan yorumlanması

## 2. LİTERATUR ÖZETİ

Bayrak ve diğ., (2005), “Eğri Minarenin Zamansal Davranışlarının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma” adlı yaptıkları çalışmalarında, minarenin eğilmesinin sebebinin zeminden mi kaynaklandığını araştırılmıştır. Araştırma kapsamında 16 metre derinliğe sahip sondaj kuyusu açılmıştır. Alınan veriler zeminde bir eğikliği göstermemiştir. Fotogrametrik çalışmalar kapsamında minarenin üç boyutlu modelini çıkartılarak minarenin boyu ve eğilme miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Eğri Minare'nin zeminde çeşitli derecelerde eğik olduğunu tespit edilmiştir. Eğri Minare'nin boyu da 30,6 metre olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; Eğri Minare'nin ustası tarafından eğik yapıldığını ortaya koyulmaktadır. Eğri minarenin taban kaidesi belli bir açıda ve kaideden sonrada farklı bir açıda eğik olduğu anlaşılmıştır. Eğri Minarenin Kuzey-Batı yönünde eğik olduğu ve yüksekliğinin 30.60m olarak bulunmuştur.

Yılmaz ve diğ., (2009), “Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması” isimli çalışmalarında fotogrametrik ve lazer tarama yönteminin hacim hesabındaki performansı incelendi. Bir kazı bölgesinde her iki yöntem ile hacim hesabı yapıldı. Yöntemler doğruluk, zaman ve maliyet açısından karşılaştırıldı. Sonuç olarak; yapılan çalışma sonucunda lazer nokta taramayla en yüksek doğruluk (% 96.35) elde edildi. Buna karşılık en fazla zaman da bu yöntemde harcanmaktadır. Fotogrametrik yöntemde ise doğruluk oranı % 93.13 olarak elde edildi. Düzgün geometriye sahip olmayan yüzeylerde kazılan, kazılacak ya da doldurulacak miktarın % 100 tespit edilmesi uygulamada mümkün olmamaktadır. Bu değerlerin en iyi doğrulukta, en uygun maliyette ve en az zamanda belirlenmesi arzu edilmektedir. Genel olarak bütün yöntemlerle % 10 hata sınırı içinde hacim hesapları yapılabilmektedir.

Demir ve diğ., (2005), “Lazer Tarama Sisteminin Mimarlıkta Kullanımı” isimli çalışmalarında insanlık tarihine ışık tutan, geçmişten günümüze dek ayakta kalan yapıların ve anıtların başka bir deyişle tarihsel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması uygar bir toplumun yapması gereken önemli bir görevdir. Koruma için yapıların belgelenmesi gerekmektedir. Yapı lazer tarama yöntemi ile belgelenmiştir. Mimari çalışmalar için gerekli olan üç boyutlu model, yapı kesiti, cephe çizimleri ve yapısal analiz için gerekli verilerin Lazer Tarama Sistemi ile elde edilebilirliği ortaya

konmuştur. Sonuç olarak; fotogrametrik veriler düzenlenerek mimari amaçlarla kullanılabilir. Ancak her iki bilim dalının birbirini anlamaya çalışması ve ortak terminolojiyi geliştirmesi gerekmektedir. Fotogrametrik veriler yapısal analiz programlarında kullanılmak üzere düzenlenebilir. Lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu Yapısal Analiz programına alınarak sonlu elemanlar modelinin kurulmasında kullanılabilir. Her iki yöntemde de koordinat bilgileri kullanıldığından bu yöntemler bütünleştirilebilir. Tüm bu bilgilere dayanarak; gerekli düzenlemeler yapıldığında, laser verilerinin mimarlıkta kullanılabileceğini söylemek mümkündür

Yılmaz ve diğ., (2009), “Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellemeye duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi” isimli çalışmalarında, jeodezik ve fotogrametrik tarayıcılar ile lazer nokta ölçme prensibi ile çalışan total station cihazlarının yer objelerinin 3B modellenmesinde uygulama duyarlılıklarını araştırmaktadır. Bu amaçla, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda bir ölçü düzeneği ve test ağı oluşturulmuştur. Test ağı tam cepheden 3, 8 ve 17 metre mesafelerden hem lazer tarayıcı ile hem de lazer nokta ölçme teknolojisi ile çalışan Total Station ile taranmıştır. Test alanındaki noktaların koordinatları bu tarama sonuçlarından elde edilmiş ve jeodezik yöntemle ölçülen koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Bu noktaların birbiri ile olan uzaklıkları yine jeodezik yöntemle ile hesaplanan uzaklıkları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; Optech Iris 3B lazer tarayıcısı ile 8203A Total Station aleti ile hemen hemen aynı doğrulukta ölçümler yapmasına rağmen ölçü hızı, detaylı objelerin ölçülebilmesi gibi özellikler dikkate alındığında, tarihi ve kültürel varlıkların 3B modellenmesinde Optech Iris 3B lazer tarayıcısının kullanımı daha uygun olacaktır. 8203A Total Station aleti ölçüm hızı geliştirilip ve minimum tarama aralığı iyileştirilebilirse alternatif olarak kullanılabilir.

Gümüş, (2008), “Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum doğruluklarının araştırılması” isimli Yüksek Lisans Tezinde, lazer teknolojisinde obje, yansıma yoğunluğu verisi içeren 3B nokta bulutu olarak elde edilmektedir. Elde edilen nokta bulutlarının düzenlenmesi, farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesi, kayıt, inceleme, nokta boşluklarının doldurulması, filtrelenmesi, yüzey triyngulasyonu ve 3B model oluşturma işlemleri yapılarak çizgi, yüzey, alan ve hacim gibi bilgiler elde edilmektedir. Bu tezin genelinde, yersel lazer tarayıcılar üzerine yapılan



araştırmalardan, yersel lazer tarama teknolojisinden, yersel lazer taramada ölçme prosedürlerinden, 3B verilerin değerlendirilmesi için kullanılan yazılımlardan, yersel lazer teknolojisinde hata kaynaklarından ve yersel lazer tarayıcıların kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Sonuç olarak, yersel lazer tarayıcının konum doğruluğunu etkileyen birçok faktör vardır. Bu etkenler yapılan değerlendirme, analiz ve tarama işlemleri sırasında hatayı önleyici işlemlerle giderilebilir. Ayrıca ölçüm hızı, menzil limitleri, görüş alanı, lazer çeşidi, taşıma ağırlığı ve kolaylığı, güç kaynağı, kötü havalarda çalışıldığında gösterdiği performans, kullanılabilirlik ve yazılımın kalitesi tarayıcıdan tarayıcıya göre değişmektedir. Bir obje (3B model) hakkında acilen bilgiye ulaşılmaması gereken durumlarda geleneksel jeodezik ölçüm ve sayısal fotogrametrik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Böyle durumlarda obje geometrisinin yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde 3B ölçümüne izin veren yersel lazer tarama teknolojisi kullanılabilir.

Altuntaş ve Yıldız, (2008), “Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi” isimli çalışmalarında, yersel lazer tarayıcıların ne şekilde ölçü yaptığı ve nokta bulutlarının birleştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada yersel lazer tarayıcıların hangi mantıkla hangi değerleri ölçüldüğünden bahsedilmiştir. Her lazer noktasına olan eğik mesafeyi, ölçüm doğrusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı  $\alpha$  ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı  $\theta$  dir. Ayrıca yansıma değerleri ölçülür. Nokta bulutları 4 yöntemle birleştirilir. Bunlar; İteratif en yakın nokta yöntemi, EKK 3B yüzey eşleme yöntemi, Bağımsız model yöntemi, Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçme yöntemi olarak sayabiliriz. Bunlar hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Sonuç olarak, nokta bulutları birleştirme yöntemi olarak en çok kullanılan iteratif en yakın nokta yöntemidir. Bilgisayarda yoğun hesaplama gerektirmesine rağmen, uygulanması en kolay ve hassas çözümler veren yöntemdir. İlk yaklaşık değerlerin uygun seçilmesi halinde iterasyon sayısı oldukça azalacaktır. EKK 3B model eşlemede durum bu şekildedir. Nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülecekse Bağımsız model yöntemi kullanılır. Yol güzergahı ve tünel gibi çalışmalarda doğrudan jeodezik koordinatlı ölçme yöntemi kullanılır. Ancak bu yöntemde sistematik hatalar artmakta ve model hassasiyeti azalmaktadır.

Gümüş ve Erkaya, ( 2007), “Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler” isimli çalışmalarında, yersel lazer tarayıcıların bileşenleri, avantajları ve çeşitli sektörlerde kullanılıp, kullanılmayacağını araştırmıştır. Yersel lazer tarayıcıların bileşenleri; tarama ünitesi (tarayıcı ), kontrol ünitesi, güç kaynağı, tripod ve sehbadır. Yersel lazer tarayıcının kullanım alanları açıklanmıştır. Çoğu sektörde kullanılmaktadır. Klasik yöntemeye göre, yersel lazer tarayıcının avantajlı yanları anlatılmıştır. Ölçme yöntemleri açıklanmıştır. Sonuç olarak, yersel lazer tarama teknolojisi hızla gelişen bir teknolojidir. Diğer 3B modelleme teknikleri ile karşılaştırıldığında avantajları vardır. Bu teknolojik sistemde de çözemediği sorunlar olduğudur. Birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

şenyurdusev, (2008), “Lazer tarayıcı verilerinde gürültü düzenleme ve yüzey ağı oluşturma algoritması” isimli Yüksek Lisans Tezinde, lazer tarayıcılardan elde edilen bir yüzeye ait nokta bulutu verilerini kullanarak sayısal ortamda 3B yüzey modeli oluşturulabilmesi için geliştirilen gürültü eliminasyonu algoritması anlatılmış ve tez kapsamında geliştirilen Gürültü Üzerinde Çalışan Lazer Uygulaması (GUCLU) yazılımı ile gürültüsü giderilen nokta verileri düzleme izdüşürülmüş delaunay üçgenleşmesi algoritması yardımıyla üçgenlenerek ideal bir 3B yüzey modeli oluşturulmuştur. Lazer tarayıcılardan elde edilen veriler, yansıma ve saçılma kaynaklı gürültü içermektedir. İlgili yüzeyin lazer tarayıcı ile taranması sırasında belirli parametrelere göre toplanan ölçü noktaları X, Y konumu açısından doğru olmasına karsın taranan yüzeyin yapısı ve bazı diğer etmenlerden ötürü Z koordinatı üzerinde yansıma ve saçılmaların etkisi bulunmaktadır. Bu etkiler yer yer küçük olmasına karsın bazı bölgelerde büyük sıçramalar olabilmektedir. Geliştirilen “GUCLU” yazılımı ve “Z Dönüşümü ile Gürültü Eliminasyonu Algoritması” ile bu gürültülü veriler daha kullanışlı hale getirilmektedir. X, Y koordinatı olarak uygun konumda bulunan ancak yansımalar sonucu Z koordinatı gerçek değerinden sapmış noktalara ilişkin veriler yeniden düzenlenerek en olası uygun konumuna getirilmekte ve bu şekilde gürültü elimine edilmektedir. Sonuç olarak, lazer tarayıcılar kullanılarak 3B objelerin, heykellerin, kabartmaların ve mimari yapıların taranması sonrası elde edilen 3B nokta bulutu verisi tez kapsamında geliştirilen GUCLU yazılımı ile açılabilmekte, düzenlenebilmekte, gözle görölür derecede hatalı olan yansıma ve saçılmalara ait noktalar silinerek dosya düzenli bir şekilde yeniden kaydedilebilmektedir. Yazılım

yardımı ile sayısal bir obje modeli oldukça hızlı ve kolay bir şekilde oluşturulabilmektedir.

Shulz ve Ingesand, (2004), "Terrestrial Laser Scanning- Investigations And Applications For High Precision Scanning", isimli çalışmalarında son yıllarda yersel lazer tarama sistemlerinin bir çok mühendislik uygulamalarında çok başarılı bir şekilde uygulandığını belirtmişlerdir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

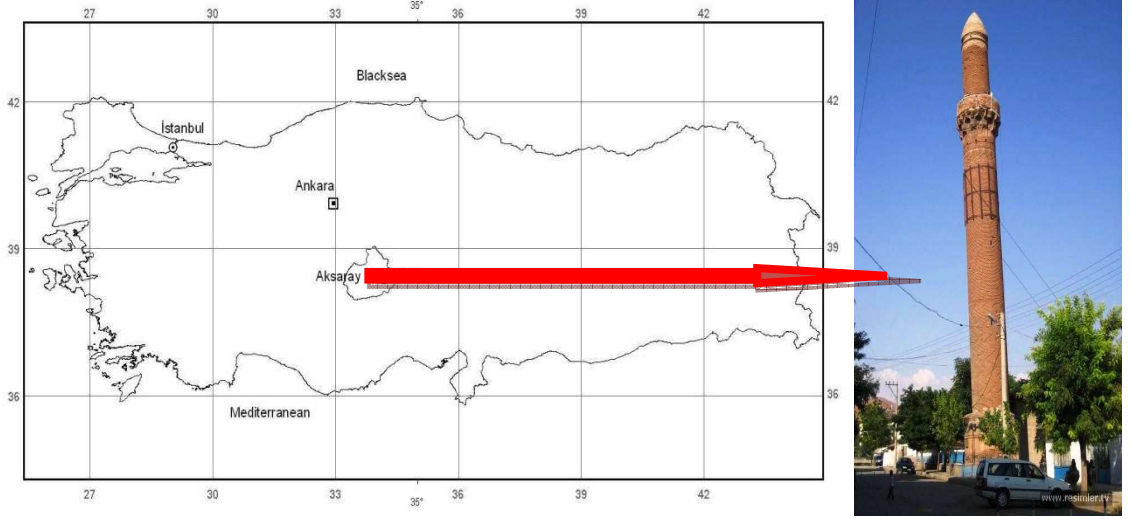
Tezin çalışma konusu olarak bir silindirik yapı olan Aksaray ilindeki Eğri Minare seçildi. Bu çalışmada Eğri Minare'yi TOPCON GLS-1000 marka ve modelindeki yersel lazer tarayıcı kullanılarak tarandı. Tarama verileri scanmaster ve polyworks değerlendirme programlarıyla, nokta bulutları düzenlenerek ve birleştirmeleri yapılarak Eğri Minare'nin 3B görüntüsünü elde edildi. Yöntem olarak yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır.

#### 3.1. Eğri Minare Hakkında Bilgi

Türk İslam dönemine ait eserlerden biride Aksaray ilindeki EĞRİ MİNARE'dir. Eğri minare Selçuklu'lar döneminde yapılmıştır. Eğri minare diğer adıyla Kızıl Minare bir İç Anadolu ili olan AKSARAY'ın en önemli tarihi yerleri arasında olmasına rağmen, Türkiye'de ve Dünya'da fazla bilinmemektedir.

Kitabesi kaybolduğu için Mimarının kim olduğu tam olarak bilinmemekle birlikte, Selçuklu Sultanı I. Keyhüsrev tarafından yapımına başlatılmış olup, ancak daha sonra 1221 ile 1236 tarihleri arasında I.Alâeddin Keykubad tarafından yaptırılmıştır. Minarenin yanındaki cami ise sonradan yapılmıştır. Minareye ait camiyi Selçuklu sultanı I. Keyhüsrev'in yaptırdığı sanılmaktadır.

Selçuklulardan sonra o bölgede meydana gelen depremden dolayı, caminin kubbesi yıkılmıştır. 1470 yılında Aksaray halkı İstanbul'a nakledilince, Aksaray birden boşalmıştır. Halk merkeze çekildiğinden dolayı Eğri Minare ve civarı kaderine terk edilmiştir. Depremden hemen sonra camide herhangi bir tamirat olmadığı için yıllarca metruk bir halde bırakılmıştır. Cami Osmanlılar zamanında tamirat görmüştür. Ancak cami çok harap bir vaziyette olduğu için 1883 yılında tekrar yıkılarak yerine yeni bir cami yapılmıştır. Bu camide 1937 yılında yenilenmiştir. Cami yapılan onarımlar nedeniyle asıl özelliğinden uzaklaşmıştır. Önünde birbirlerine kemerlerle bağlı beş bölümlü bir son cemaat yeri bulunmaktadır. İbadet mekânının ve son cemaat yerinin üzeri kırma çatı ile örtülüdür. İçerisinde mimari bir özelliğe rastlanmamaktadır. Minarenin külahı ise çok eskiden yıkılmış ve yok olmuştur.



**Şekil 3.1.** Eğri Minare

Fatih Sultan Mehmet dönemi ve sonrasına ait kaynaklar ile Aksaray Şer'i Sicil Defteri'nde Keyhüsrev Camisi ve Minaresi olarak adı geçer. Eserin 1628 yılında IV. Murad tarafından verilen bir de beratı bulunmaktadır.



**Şekil 3.2.** Eğri Minare-2 (URL-3)



**Şekil 3.3.** Eğri Minare-3 (URL-3)

İtalya'daki Pisa Kulesine benzerliği ile dikkat çeken Eğri minare 1917 yılında minarenin kaidesi genişletilerek külah ve âlemi yeniden yapılmıştır. 1970–1971 yıllarında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yapılan tamiratta daha önce zeminde iki sıra olan taş kısım bugünkü seviyeye yükseltilmiş ve eğim artışını durdurmak için gövdeye çelik halat bağlanmıştır. Ancak yapılan son araştırmalara göre bu halatların her hangi bir faydası bulunmamaktadır. Hatta minarenin tarihi görünümüne de zarar vermektedir. Nitekim 2004 yılında Aksaray'ı ziyaret eden Avrupa Birliği Kültürel Miras Ödülü (Europe Nostra Award) de juri başkanı Gianni Perbellini, Eğri minareye çekilen çelik halatların minareye zarar verdiğini ve minarenin yıkılmasını hızlandırdığını belirtmiştir. Minareye zarar vermemek için önündeki Nevşehir Caddesi, 1995 yılında trafiğe kapatılmıştır. 2009 yılında Eğri minare ve çevresi Aksaray Belediyesi tarafından düzenlenmiştir.

Horasan harcını kullanıldığı kırmızı renkli tuğlalardan yapıldığı için halk arasında da Kızıl Minare olarak da adlandırılmaktadır. Minare; tabanı kare kaideli, gövdesi ise silindirik şekillidir. Gövde kısmı kuzey-batı yönünde eğik olduğundan dolayı, eğri minare denilmiştir. Tuğla gövde ince bir silme ile ikiye ayrılmış olup, alt kısmı zikzaklı

bezemeler, üst kısmında da büyük çoğunluğu dökülmüş olan mavi ve yeşil renkli çiniler bulunmaktadır. Tek şerefeli olan minarenin içerisinde 92 basamak bulunmaktadır (URL1). Yaklaşık 776 yıldır ayakta kalabilmeyi başarabilen bu benzersiz yapı, Kuzeybatı yönünde  $27^{\circ}$  eğiktir. Yapılan hesaplamalara göre minarenin zeminden itibaren  $2^{\circ} 28' 14,16$  eğildiği, kaideden itibaren ise  $3^{\circ} 11' 18,08$  derecede eğildiği tespit edilmiştir. Minarenin boyu 30,6 metredir.

“Eğri Minarenin Zamansal Davranışlarının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma” başlıklı çalışmada ile Eğri minare'nin eğikliğini incelemişlerdir. Yapılan incelemelere göre Eğri Minare'nin ustası tarafından eğik yapıldığı ortaya çıkmıştır. Dünyada bu özellikleri taşıyan başka bir yapı bulunmamaktadır. Eğri minarenin zemin etüdünde yapılan son araştırmalara göre her hangi sorun görülmemektedir Eğri minare ise eğri olarak yapılmıştır. Müslüman Türklerin dünya medeniyetine yaptıkları katkılardan bir tanesi de, dünyanın ustası tarafından eğri yapılan ilk ve tek yapıtı olan EĞRİ MİNARE'dir. Bunun sebebi ise; Eğri minare yapıldığı yıllarda hemen kible tarafında bulunan Ulurmak nehri minareye muhtemelen bugünkünden çok daha yakın idi. Minareyi yapan mimar hem yerçekim kanununa muhalefet ederek, hem de bozuk bir zemin olan ırmak kenarına minareyi nehrin aksi istikametinde (Kuzeybatı yönünde) eğri yapması, tamamen mimarlık eseridir. (Akköse, M. Bayrak T. ve Yılmaz, H. M., 2005) 776 yılı aşkın geçen bir zaman diliminde minarede hala herhangi bir çatlama veya ekseninde oynama olmaması ise mimarın eşsiz gücünü göstermektedir. Minarenin özellikle kaide ve pabuç kısmının korunmasına yönelik yapılan onarımlar sonucu yer yer orijinal biçimi zarar görmüştür.

### **3.2. Topcon GLS-1000 Lazer Tarayıcının Özellikleri**

Topcon GLS-1000 Lazer tarayıcı aletinin boyutları; taban genişliği 24cm, yüksekliği 56,7 cm'dir. Ağırlığı bataryalarla birlikte 16 kg'dır. Aletimiz  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $+60^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklar arasında çalışabilmektedir.

Topcon GLS-1000 Lazer tarayıcı aletinin, Işınsal açıklık(en küçük tarama aralığı) düşeyde (vertical) ve yatayda (Horizontal) en küçük tarama aralığı (Işınsal açıklık) 6"dir. Aletimizin maksimum ölçme mesafesi, 330 m(%90 yansıtma)'dir. Mesafe doğruluğu, her 100 m'de 1 mm'dir. Tutarlı tek noktanın konumsal doğruluğu, 1m ile 150'ye kadar 4 mm'dir. Ölçme hızı 3000 nokta/saniye(hz)'dir. Mesafe ölçümünü, Faz farkının ölçümü yöntemiyle yapmaktadır. Topcon GLS-1000 Lazer tarayıcı aleti; Çift

eksenli kompansatörlü olup, yatayda 360° ve dikeyde +- 35 ° aralıklarda tarama yapabilir.

1. sınıf görünmez (Göz Güvenli) lazer kullanır. Aletin üzerinde bütünleşik kamera vardır. SD kart üzerinde dahili veri saklanabilmektedir. On-board lityum iyon pillerden (Çalışırken değiştirilebilen piller) 2 adet mevcut olup, 1 adet pilin çalışma süresi 4 -5 saattir. Kablosuz LAN (802.11b) ve USB(2.0) bağlantısı mevcut olup, tarama sırasında daha ayrıntılı denetim veya kontrol gerekiyorsa dahili Wi-Fi PC bağlantısı da sağlar. Kontrol panelleri alet üzerindedir.



**Şekil 3.4.** Topcon GLS-1000 Yersel Lazer Tarayıcı (URL-2)

### **3.3. Yersel Lazer Tarayıcı ile Tarama Nasıl Yapılır**

Topcon GLS-1000 Yersel Lazer Tarayıcı aleti ile tarama şu şekilde yapılır.

Aleti objeyi gören herhangi bir noktaya kurulum, düzeçlendi. Önce aletin bataryaları takıldıktan sonra, açma ve kapama(Power) düğmesine basılarak açılır. Alet kendini kalibre ederken alete dokunulmaması gerekir. Aletin kendini kalibre etmesi yaklaşık 2 dakika sürer. Ekranı “Project=.... Station=.... “ yazıları ekrana gelince



kalibrasyonunu bitirdiğini anlanır. “F1 New Project” ten yeni proje adını girilir. Daha sonra “F1 Station Menu” tuşuna basılarak, açılan menuden “F1 New Station” tuşuyla yeni istasyon bilgileri girilir veya “F2 Select Station” tuşuyla da daha önce çalışılan istasyon verisi bulunarak aynı istasyonda çalışılabilir. “F2 Scan Menu” tuşuna basılır. “F1 Scan Measert” tuşuna basılır. Ekranı “Distance” yazısı gelir. Buraya taranan obje ile alet arasındaki yaklaşık mesafe metre biriminde girilerek “Enter” tuşuna basılır. Daha sonra ekrana “ İnterval-H=... İnterval-V=...” yazısı çıkar. Buraya objenin hangi çözünürlükte taranacağını milimetre mertebesinde girilerek “Enter” tuşuna basılır. Daha sonra ekrana önce taranacak objenin sol üst köşesini aleti yönlendirmemizi belirten yazı ekrana gelir. Aletin dürbünündeki kılığını sol üst köşeye yönlendirerek “Enter” tuşuna basılır. Daha sonra taranacak objenin sağ alt köşesini aleti yönlendirmemizi belirten yazı ekrana gelir. Aletin dürbünündeki kılığını sağ alt köşeye yönlendirerek “Enter” tuşuna basılır. Burada alete girilen ortalama mesafe bilgisi, yatay ve düşey çözünürlük değeri ile taranacak alanın büyüklüğü, tarama süresi ile ilgili doğrudan ilgilidir.

Yersel lazer tarayıcı aleti, belirlenen alanın önce resimlerini çeker. Daha sonra nokta bulutu şeklinde tarama ölçülerini yapar. Bu işlemler objelerin tarama görüntüleri bindirmeli olarak şekilde uygun istasyon noktaları seçilerek tekrarlanır.

#### 4. UYGULAMA

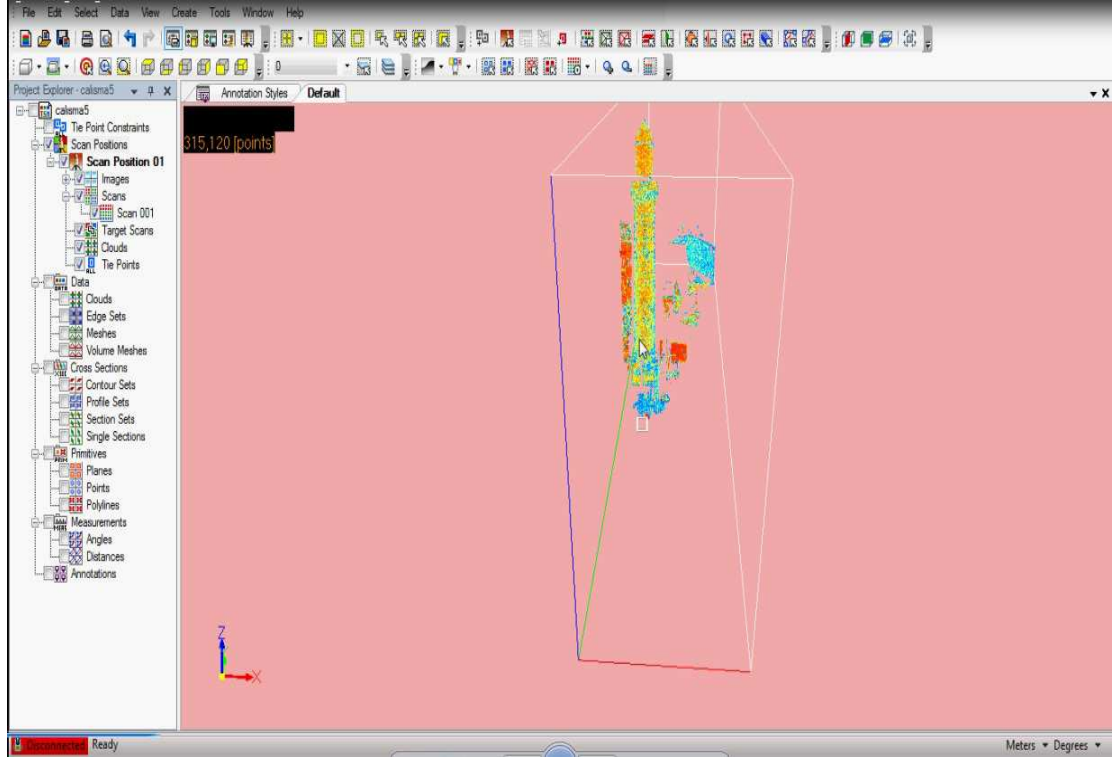
Tezin çalışma konusu olarak bir silindirik yapı olan Aksaray ilindeki Eğri Minare seçildi. Eğri minare tarama ölçüleri ilk olarak 22 Mart 2012 tarihinde yapılmıştır. Sıcaklık 17 °C ölçülmüştür. Daha sonra 20 Nisan 2012 tarihinde ikinci bir oturum yapılmıştır. Sıcaklık ise 22 °C ölçülmüştür.

Tarama ölçüleri TOPCON GLS-1000 yersel lazer tarayıcı aleti ile yapılmıştır. Eğri Minare, bindirmeli olacak şekilde beş ayrı noktadan tarama yapılmıştır. Ayrıca eğri minare yüksek olduğundan, yerden yapılan taramalarla kubbesinin birleştirilmesi mümkün olmadığından aralarında yaklaşık 200<sup>s</sup>'lık açılı olacak şekilde iki binanın balkonundan da tarama yapılmıştır (Şekil 4.1.). Bu tarama ölçülerine ait nokta bulutlarından, gereksiz nokta bulutları temizlendi.

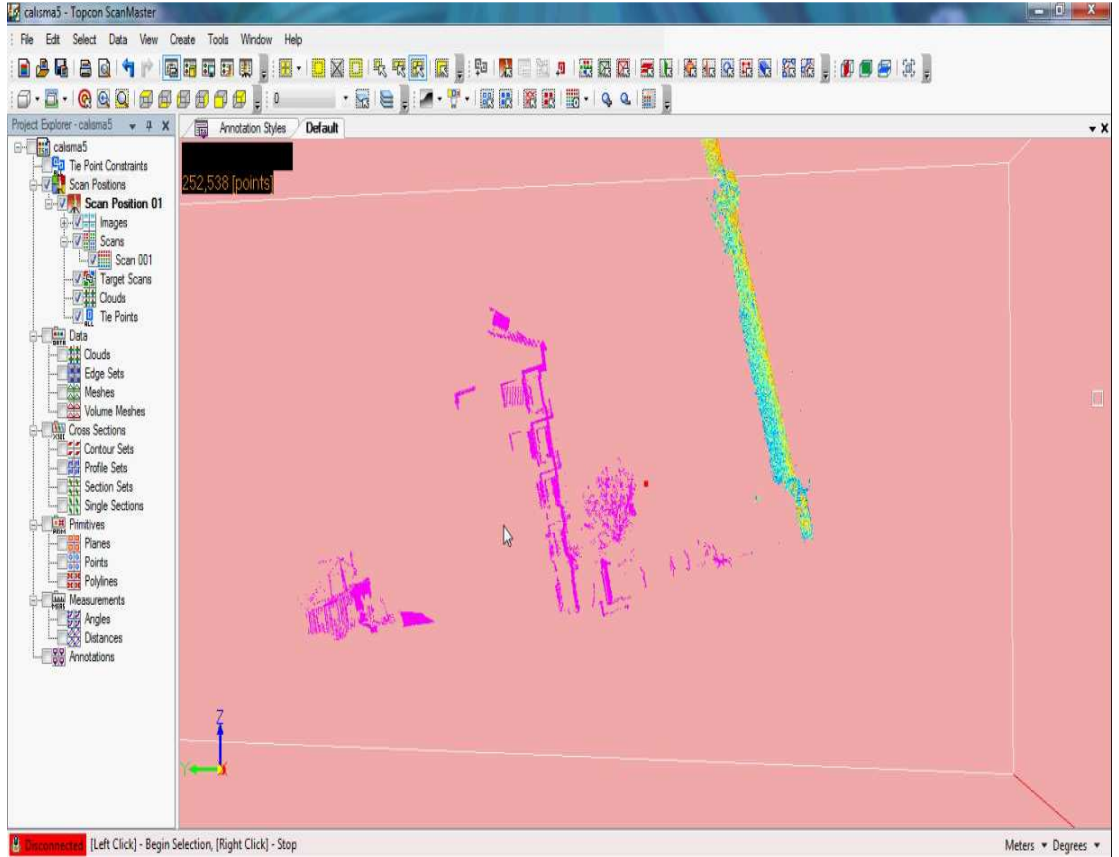


Şekil 4.1. Eğri Minare'nin konumu ve tarama istasyonları ( URL-1)

Gereksiz nokta bulutlarını temizleme işlemi, scanmaster programında yapıldı. Programa önce ilk tarama istasyonuna ait jpg uzantılı resim dosyaları ile clr uzantılı tarama ölçülerini (nokta bulutu kümesini) programa aktarıldı (Şekil 4.2.). Daha sonra eğri minarenin etrafındaki gereksiz nokta bulutlarını işaretlendi. İşaretlenen nokta bulutları mor rengi almaktadır (Şekil 4.3.).

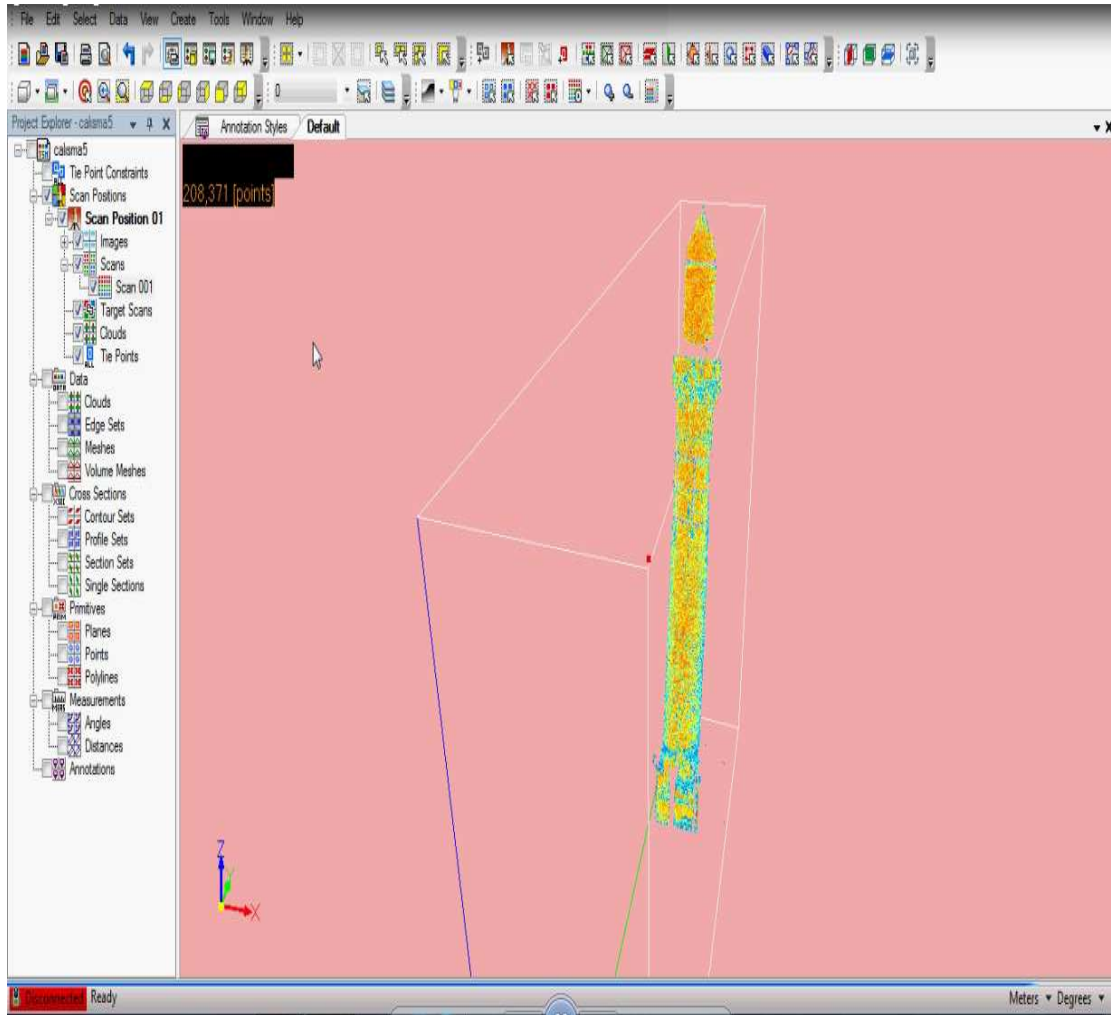


Şekil 4.2. Tarama istasyonuna ait nokta bulutu kümesi



Şekil 4.3. Gereksiz nokta bulutlarının işaretlenmesi

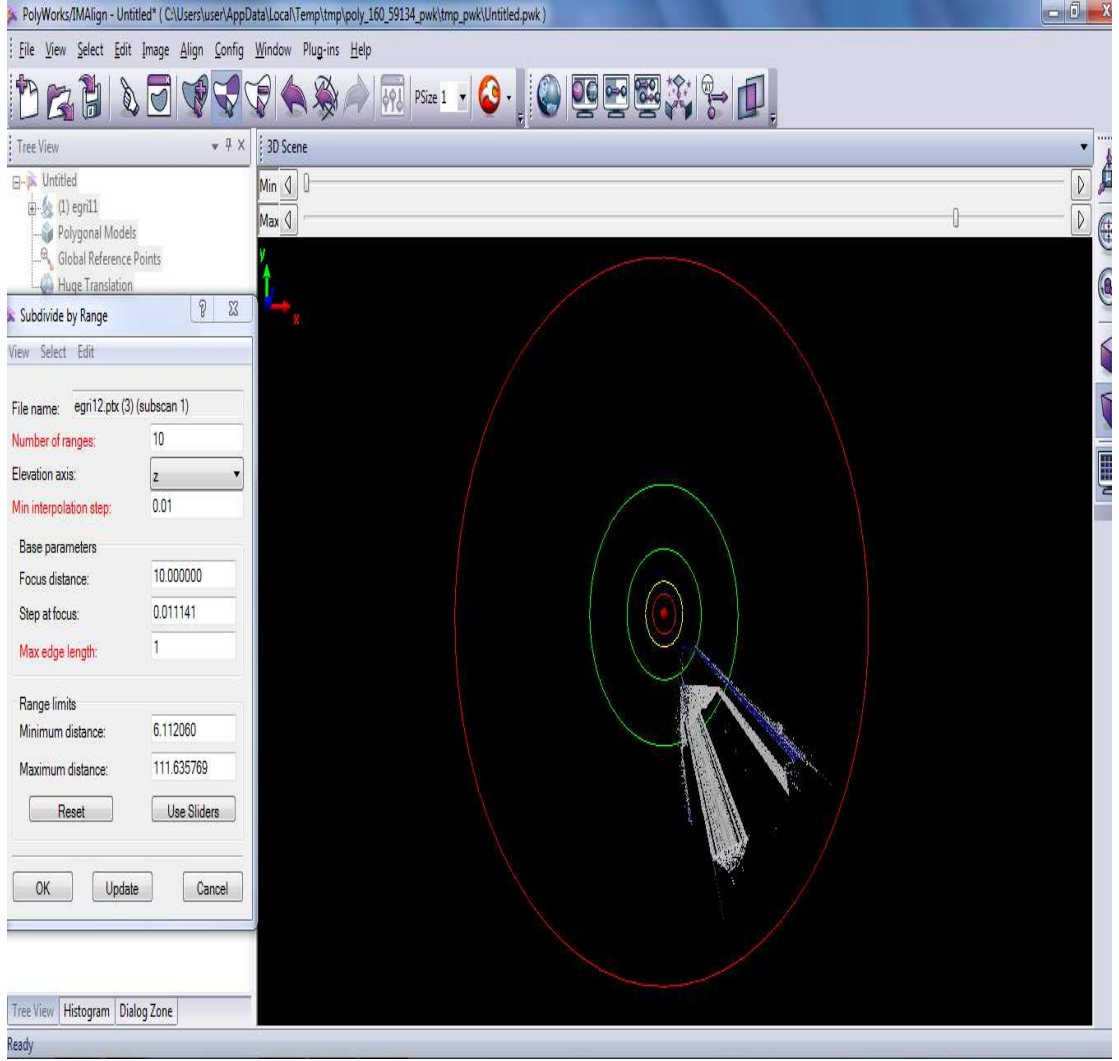
Daha sonra delete tuşuna basarak temizlendi. Tüm gereksiz nokta bulutları işaretledikten sonra, silinerek aynı işlemler tekrar ediliyor (Şekil 4.4.). Projede “color from images” tuşuna basılıyor. Daha sonra “export” tuşu ile bu projeyi ptx uzantılı olarak saklanır.



**Şekil 4.4.** Gereksiz nokta bulutlarından temizlenmiş tarama ölçüsü

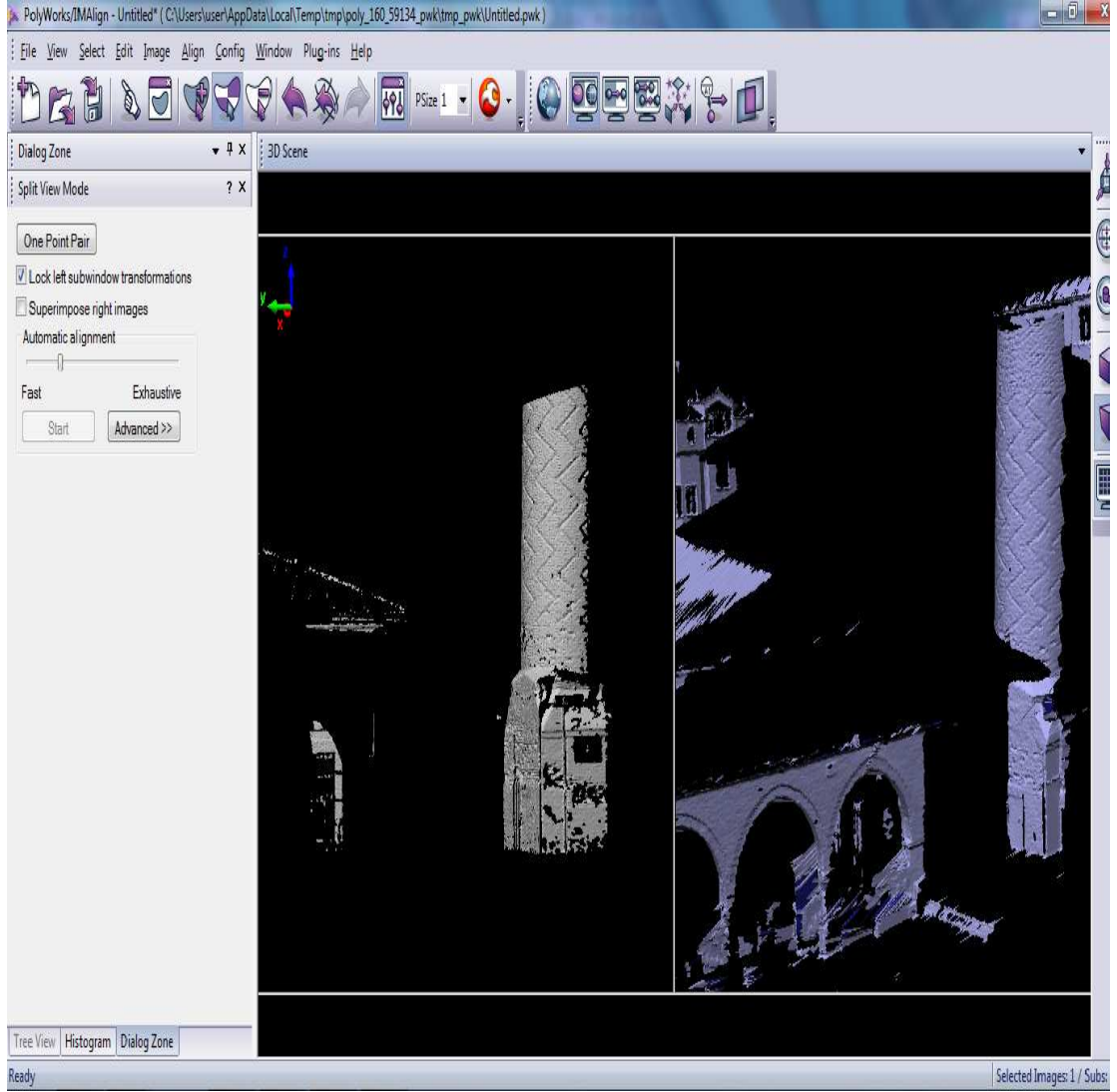
Daha sonra tarama yapılan istasyonlardaki nokta bulutları birleştirildi. Bu nokta bulutlarını birleştirirken polyworks programını kullanıldı. Polyworks programında IMAlign modülü açıldı. Bu modülde önce projemize ait parametreleri girildi. Uzunluk birimi olarak “metre” yi, ölçü yaptığımız alet markası olarak “Topcon” seçildi.

Daha önce scanmaster programında kaydedilmiş olan ptx uzantılı projeyi import ediyoruz. Projeyi import ettikten sonra çıkan menüden ”min step, number of ranges, max angle ve max edge length” parametre ayarları yapılarak proje create tuşuyla ekranda oluşturulur (Şekil 4.5.).



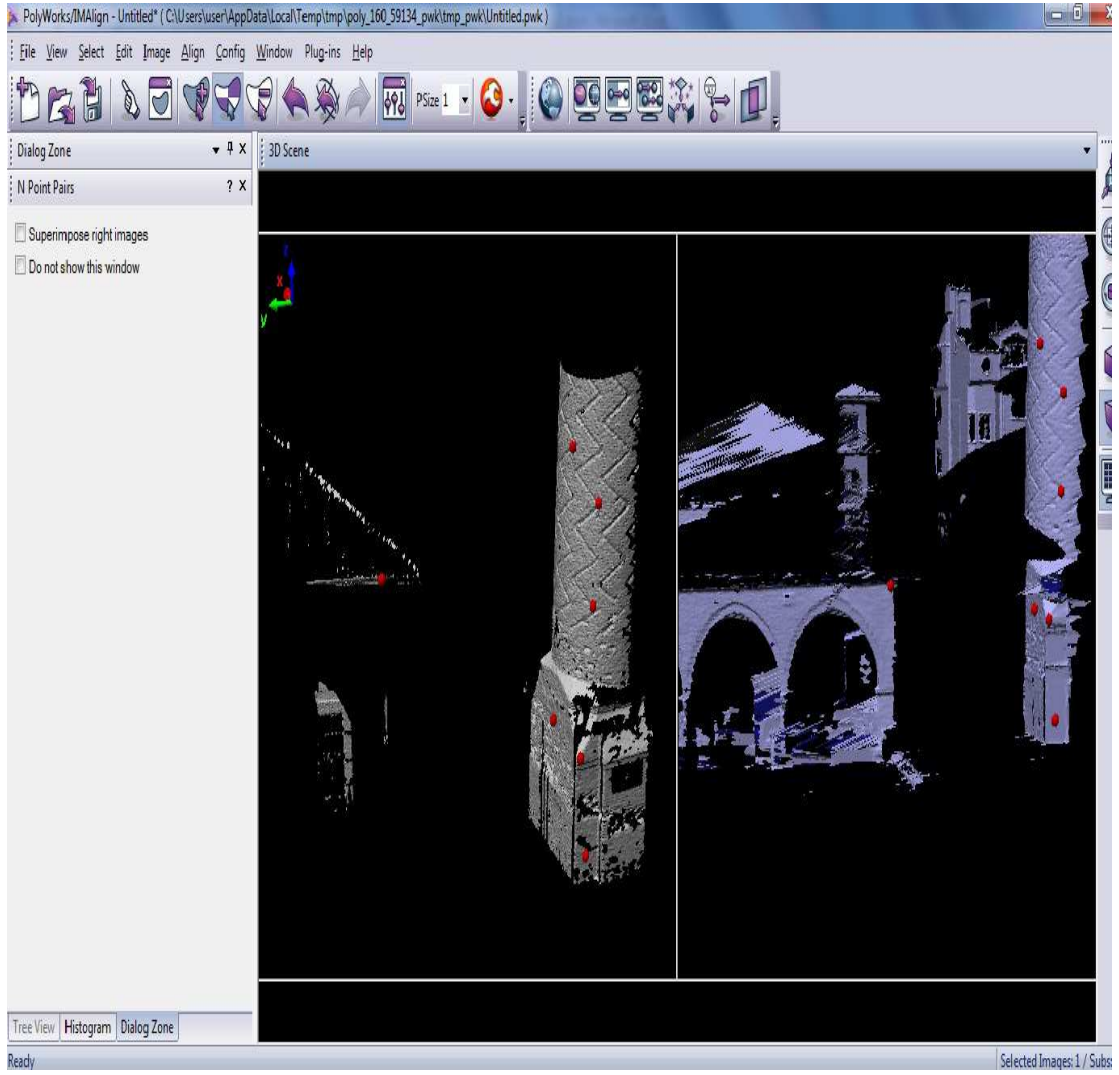
**Şekil 4.5.** Dosyaların programa Import edilmesi

Aynı yöntemle 2. Oturuma ait projede programa Import edilir. İki projede import edildikten sonra 1. Proje kilitlenir. Daha sonra “split view alignment” tuşuna basılarak, her iki proje aynı ekranda gözükür (Şekil 4.6.). Her iki proje yaklaşık aynı ölçekte olacak şekilde; ekranda büyütülüp, küçültme yapılarak veya sağa sola, aşağı yukarı döndürülür.



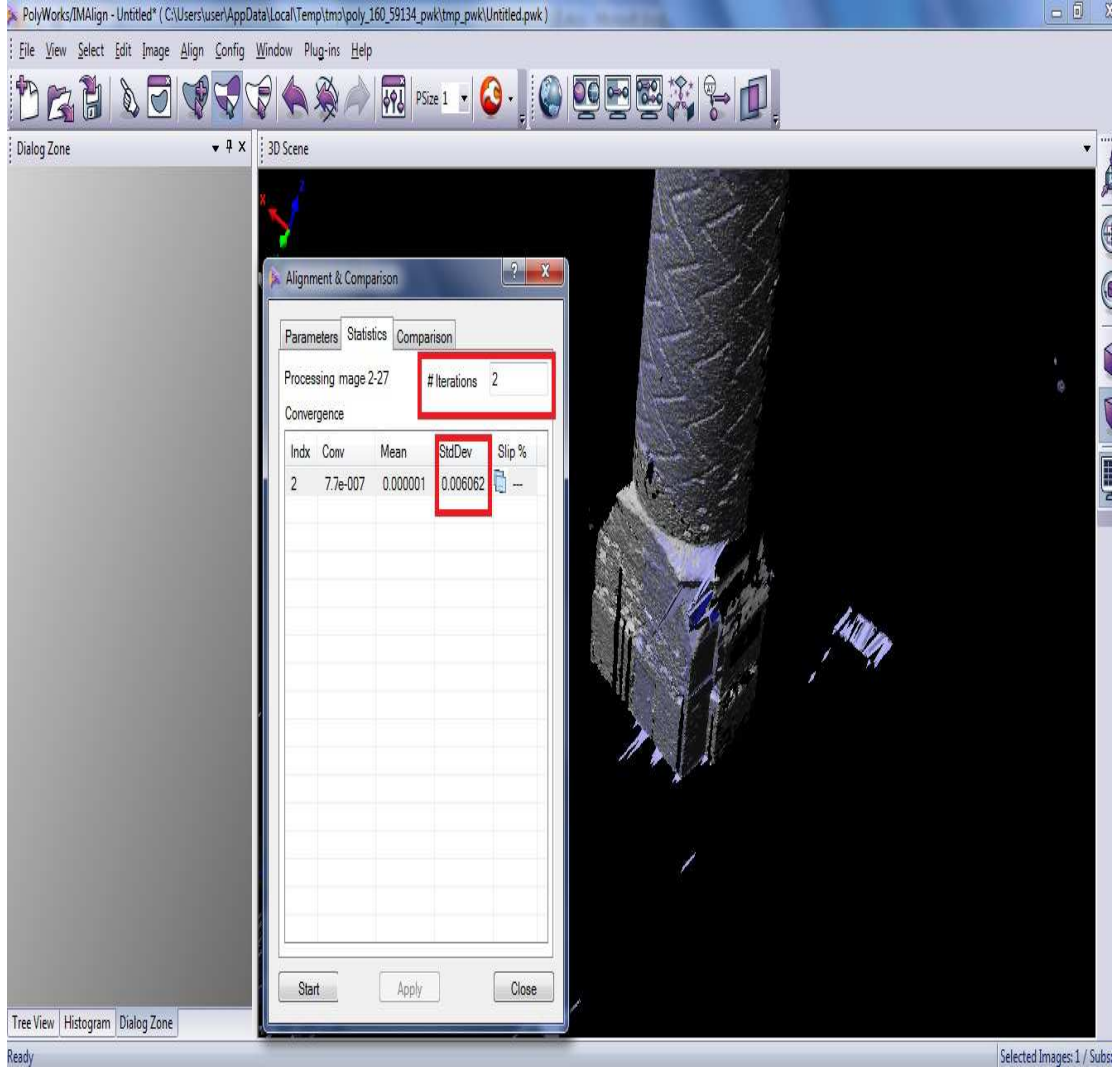
**Şekil 4.6.** Her iki projenin aynı ekranda görüntülenmesi

Her iki proje yaklaşık ölçeğe getirildikten sonra “N point pair Alignment” tuşuna basılarak, referans nokta kümesi (1. Proje) ile araştırma nokta kümesi (2. Proje) arasında benzerlik ilişkisi kurularak referans nokta kümesi ile araştırma nokta kümesi arasında eşlenik noktalar (ortak noktalar) işaretlenir (Şekil 4.7.). İki proje birleşince uygun olarak birleşip birleşmediği kontrol edilir.



**Şekil 4.7.** Her iki projenin eşlenik noktaların işaretlenmesi

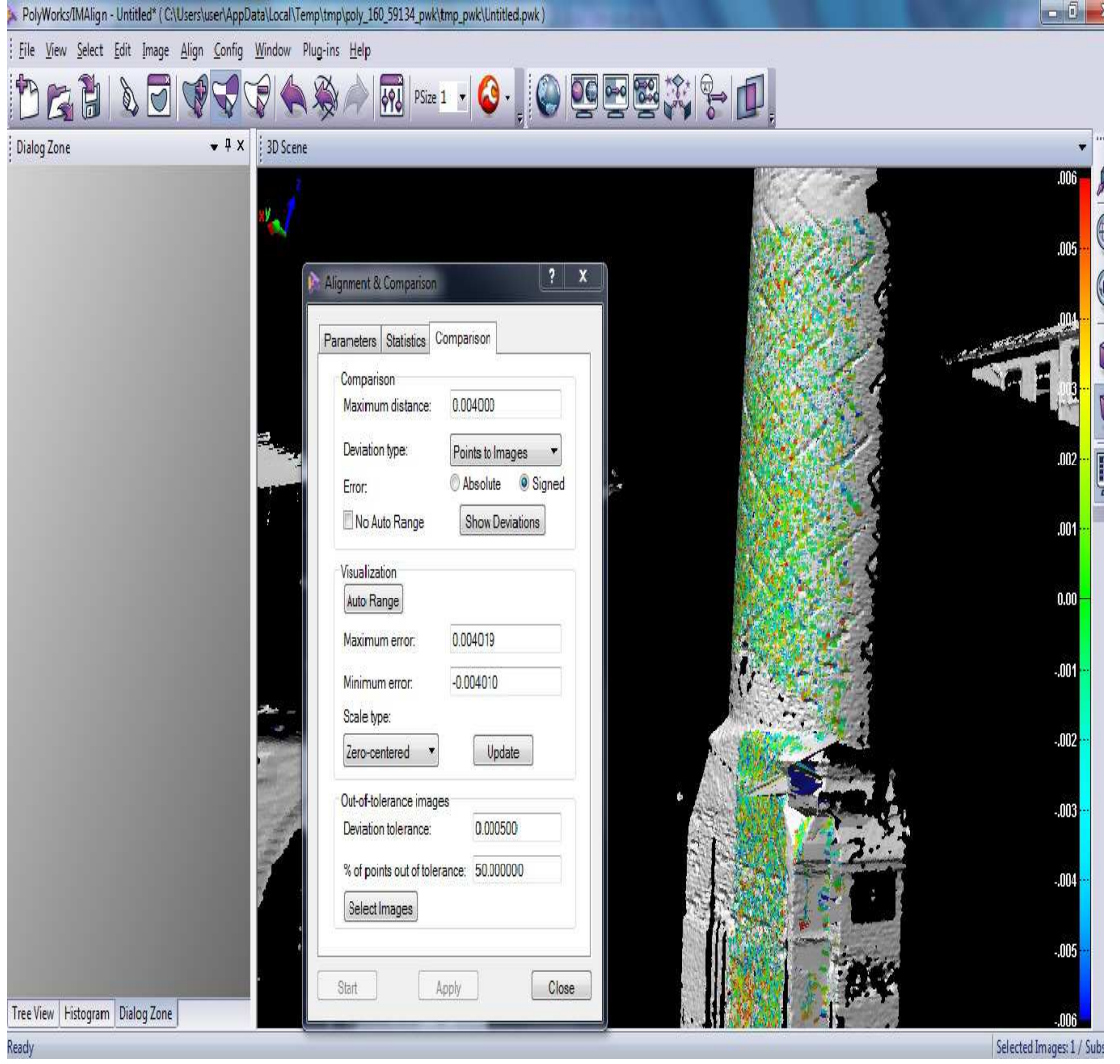
Eğer iki projenin birleşiminde bir sorun yoksa “Best fit Alignment&comparaison” tuşuna basılarak ortalama hataları hesaplatılır. İterasyon sayıları ve standart sapmaları en az olacak şekilde işlemler tekrarlanır. Standart sapmalarının mm mertebesinde çıkmıştır (Şekil 4.8.).



**Şekil 4.8.** Birleşmiş projenin standart sapmasının hesaplanması

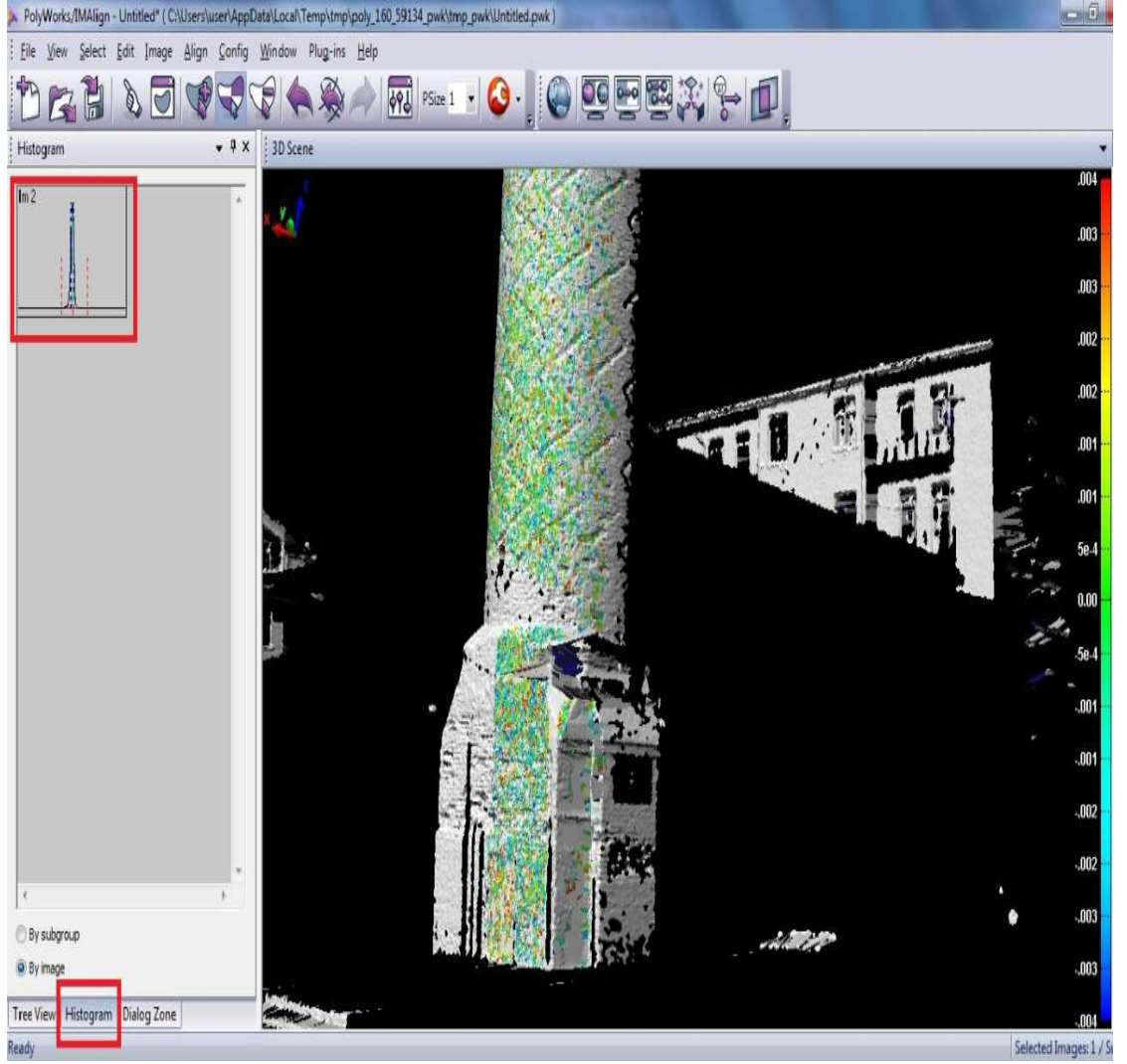
Daha sonra “Comparison” tuşuna basılarak, show deviations tuşuna basılarak nokta bulutlarının renklendirilmiş hata payları ekranda hata lopunda görülür (Şekil 4.9.).





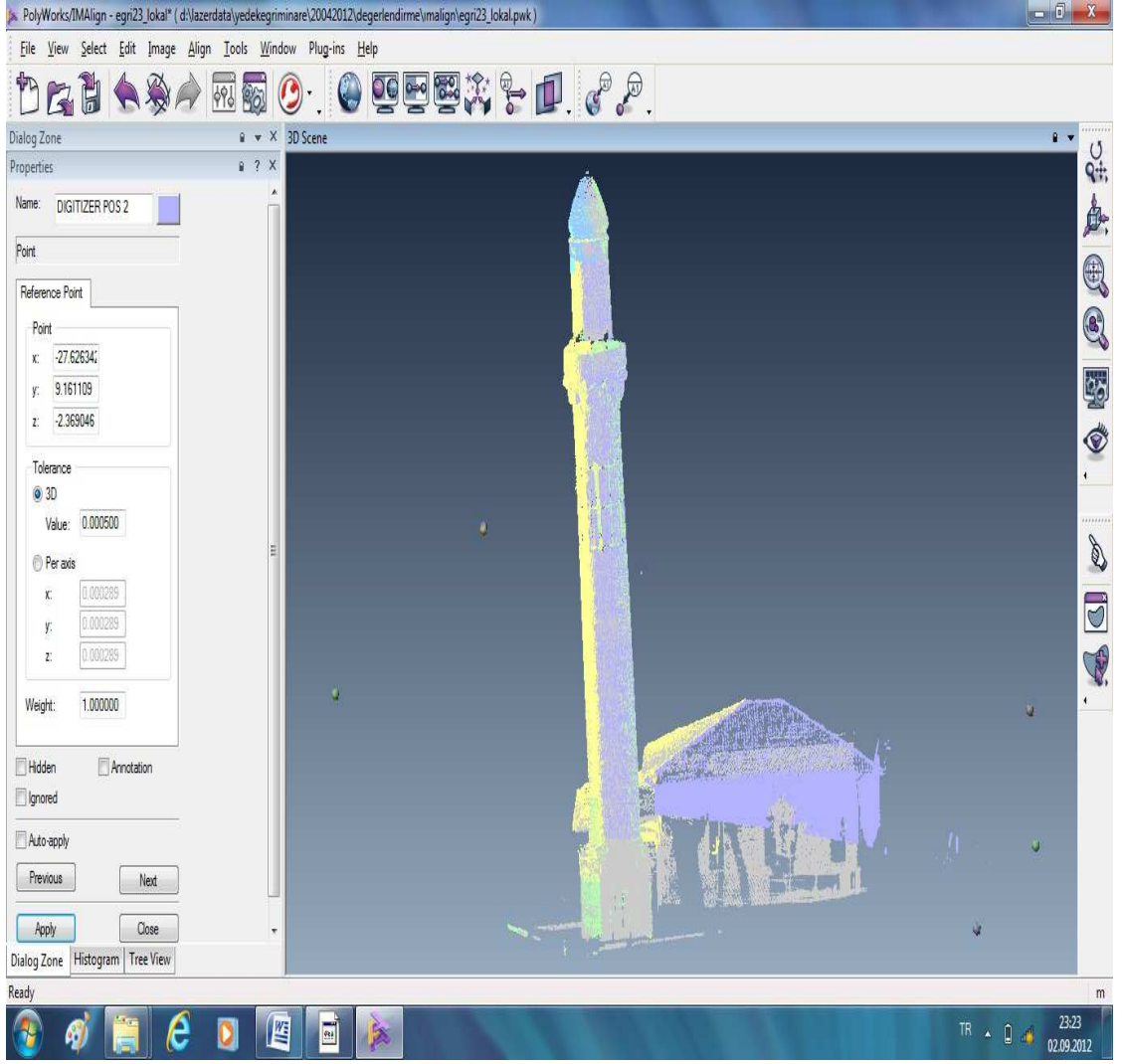
**Şekil 4.9.** Birleşmiş projenin hata lopu

Daha sonra birleştirilmiş projenin histogram eğrilerine bakılır (Şekil 4.10.). Bu histogram eğrileri ne kadar dik olursa yani tepe noktası ne kadar yukarıda olursa o kadar iyidir.

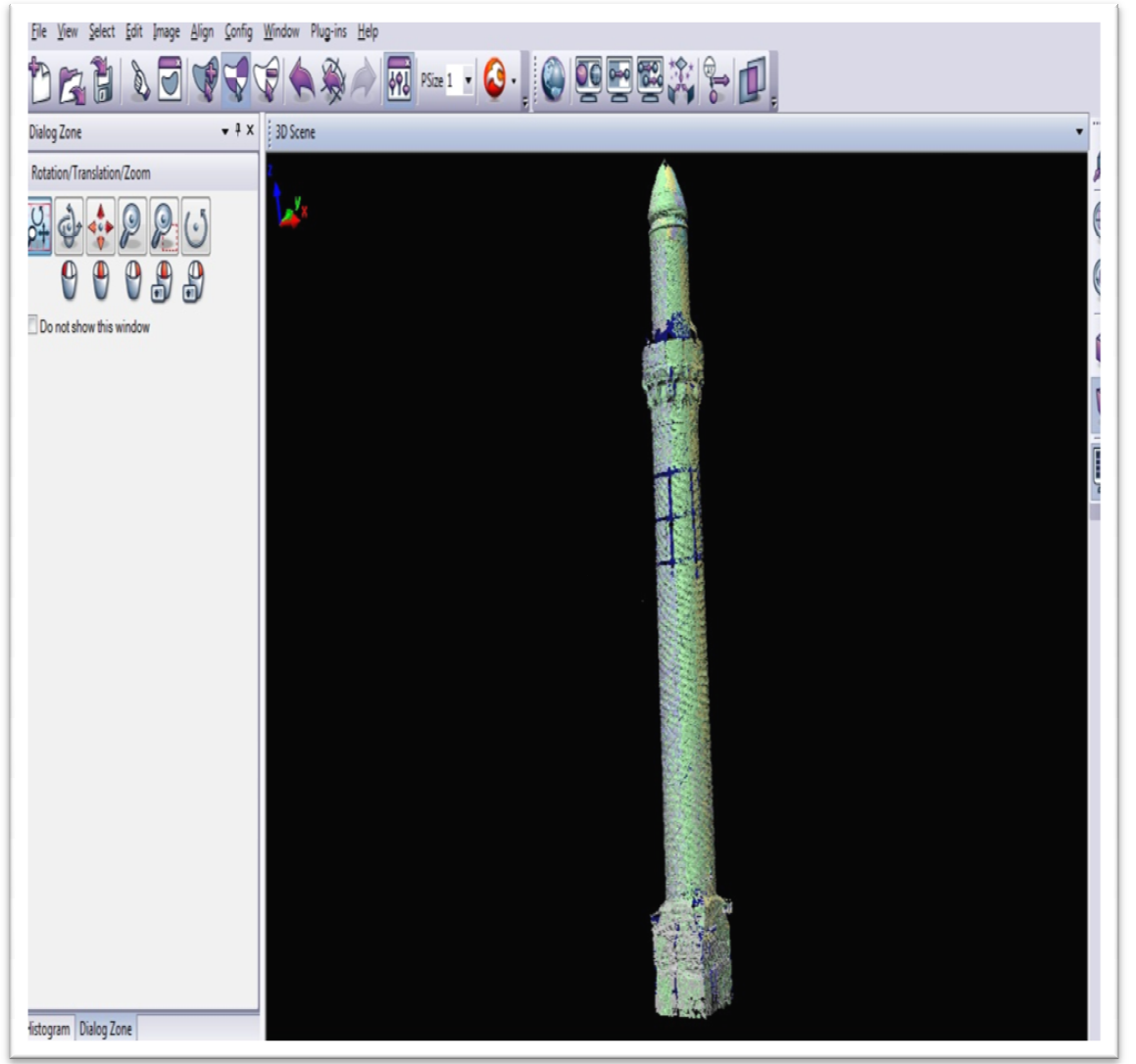


**Şekil 4.10.** Birleşmiş projenin histogram eğrisi

Her iki proje “group” yapılarak, tek bir proje haline getirilir. Daha sonra bu projeyi kilitleyerek, üçüncü oturuma ait ptx uzantılı dosyayı import edilir. Daha sonra Şekil 4.6. ile Şekil 4.10. arasındaki tüm işlemler tekrarlanarak, eğri minarenin 3B görüntüsü elde edilir (Şekil 4.11.). Daha sonra proje pwk uzantılı olarak kaydedilir.



Şekil 4.11. Eğri minarenin 3 Boyutlu görüntüsü



**Şekil 4.12.** Eğri minarenin 3 Boyutlu görüntüsü-2

## 5. BULGULAR

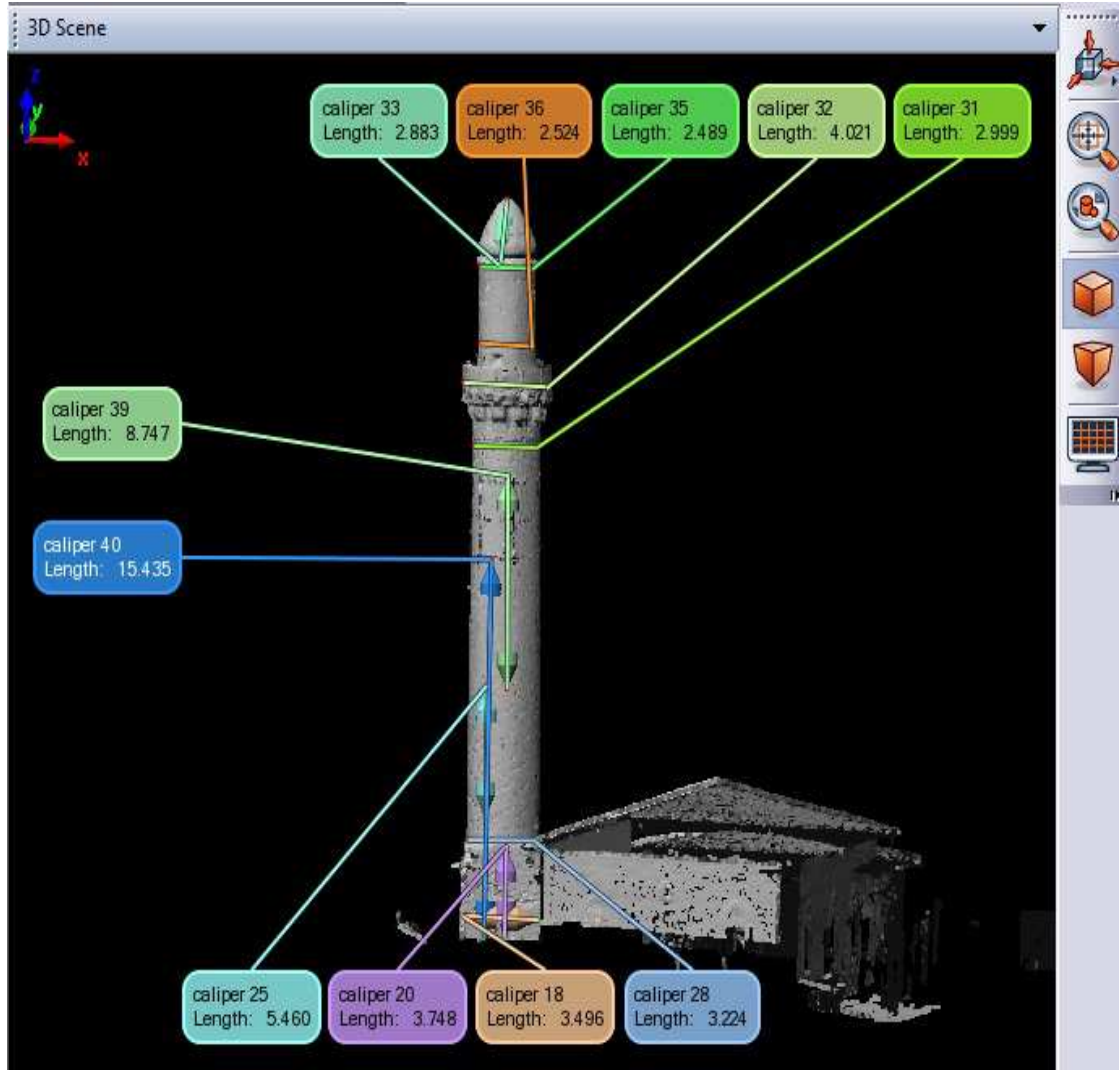
Eğri Minare'nin 5 adeti yer noktalarından, 2 adeti de binanın balkon noktalarından olmak üzere 7 adet istasyondan tarama ölçüleri yapıldı. Bu tarama ölçülerinin polyworks programında birleştirilmesi sonucunda aşağıdaki eşlenik nokta sayıları, iterasyon sayıları ve standart sapmalar elde edilmiştir.

Eşlenik Nokta Sayısı	İterasyon sayısı	Standart Sapma(cm)
9	7	0,5159
7	4	0,4869
6	8	0,4944
6	4	0,5616
4	33	0,8112
5	5	0,5086

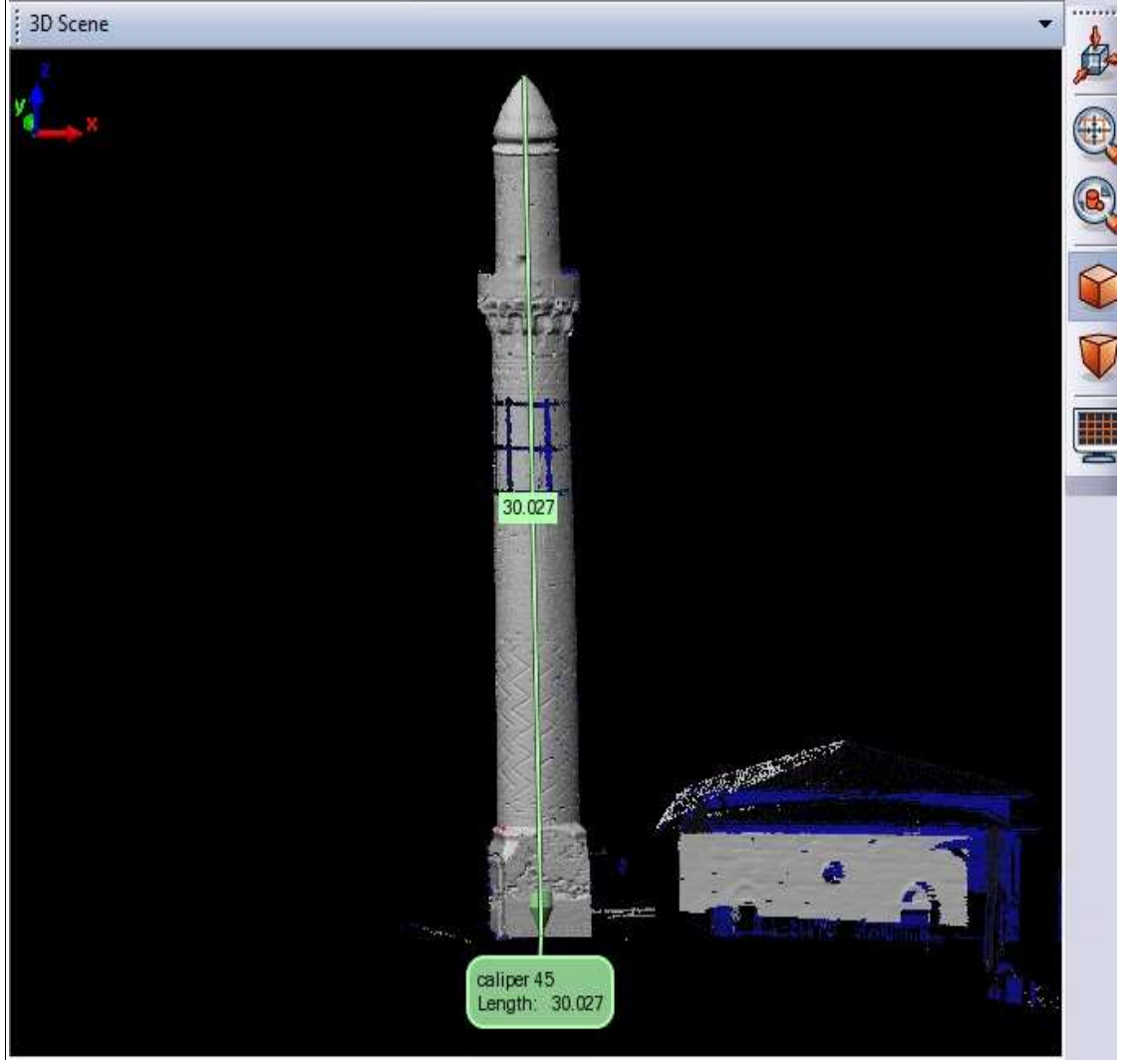
**Şekil 5.1.** Nokta bulutlarının birleştirilmesi sonuçları

Buradan eşlenik noktaların sayısının az veya çok seçilmesi, iterasyon sayısı ve standart sapmasıyla ilgili değildir. Esas önemli olan eşlenik nokta sayısı değil; nokta bulutu kümelerinde, eşlenik noktaların homojen dağılımda ve iyi seçilmesi önem arz etmektedir.

Eğri minarenin tabanı kare kaideli olup kaidenin genişliği 3.50 m, yüksekliği 3.75 m ölçüldü. Kare kaidenin üstünde minarenin silindirik yapısı başlar. Silindirik yapının kaidenin üstündeki çapı 3.22 m, şerefenin altında 3 m, şerefenin üstünde ise çapı 2.50 m olarak ölçüldü. Minarenin üzerindeki zikzaklı yapının yüksekliği 5,46 m, zikzaklı yapıdan sonda yatay tuğla süslemeye kadar olan yüksekliği 8.75 ölçülmüştür. Süslemeler ile şerefe arasındaki yükseklik 3.46 m ölçülmüştür. Şerefenin genişliği 4.02 m, kubbenin genişliği 2.53 m, kubbenin yüksekliği 2.88 m olarak ölçülmüştür (Şekil 5.2.). Eğri minare eğilmesin diye; silindirik yapısına çelik çubuklar, yere çelik halatlarla bağlanmıştır. Bu demir çubuklar minarenin yerden 15,44 m ile 18.77 m arasına monte edilmiştir. Eğri minarenin yüksekliği 30.03 m ölçülmüştür (Şekil 5.3.).

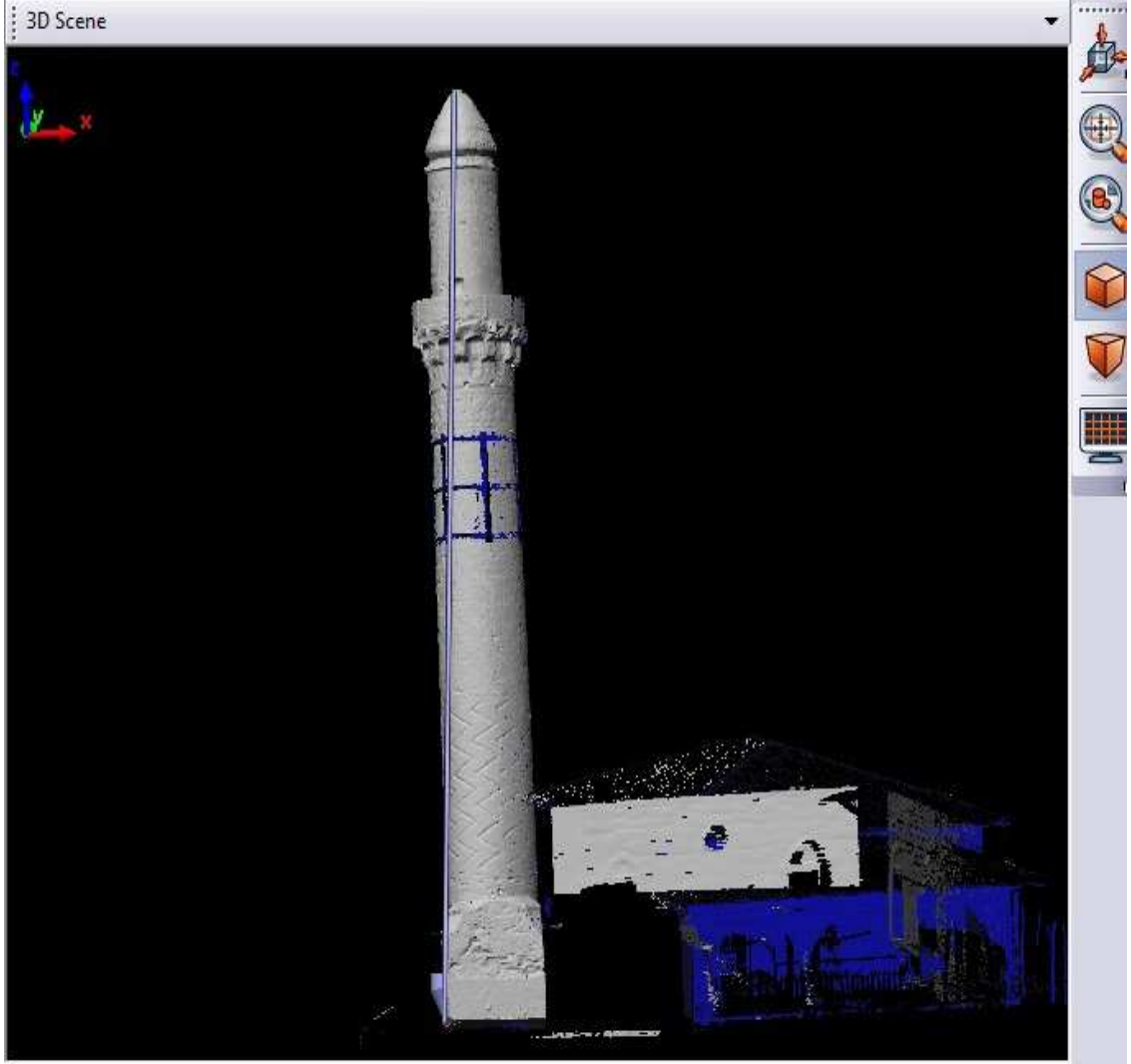


Şekil 5.2. Eğri Minare'nin ölçüleri



**Şekil 5.3.** Eğri Minare'nin yüksekliği

Eğri minare taban kaidesine paralel (batı ve doğu yönünde) çizgi çizildiği zaman, kuzey yönünde bir eğiklik olduğu görülmüştür. Aynı şekilde taban kaidesine paralel (kuzey ve güney yönünde) çizgi çizildiği zaman, eğri minarenin batı yönünde  $3^\circ$  eğiklik olduğu görülmüştür (Şekil 5.4.). Yani eğri minarenin kuzey-batı yönünde eğik olduğu tesbit edildi.



Şekil 5.4. Eğri Minare'nin eğriliği



## 6. SONUÇLAR

Son yıllarda yersel lazer tarayıcıların tarama hassasiyetleri ve kullanım alanları gittikçe artmıştır. Birçok mühendislik uygulamalarında oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Özellikle objelerin üç boyutlu modelleme çalışmalarında etkili bir yöntemdir. Fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibi objeyle doğrudan temas kurulmadan obje hakkındaki bilgiler tarama sonunda oluşturulan nokta bulutlarından elde edilen görüntüler yardımıyla elde edilmektedir. Teknoloji tarihi ve kültürel mirasların belgelenme ve arşivlenme çalışmalarında rahatlıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmalar sonucunda Aksaray ilindeki Eğri Minareye ait 3B görüntü elde edilmiştir. Bu tarama ölçülerindeki, nokta bulutlarının birleştirilmesi sonucunda en küçük 0,4869 cm ile en büyük 0,8112 cm standart sapma değeri elde edildi. Yani eğri minareye ait 3B görüntüsünün standart sapması 1 cm'nin altında elde edildi.

Bu tür objelerin taranmasında tarama istasyonlarının veri boşluğu bırakmayacak şekilde seçilmesi önem arz etmektedir. Nokta bulutlarının birleştirilmesinde bir problem yaşanmamıştır. Objeye yüksekliği arttıkça tarama zorlukları yaşanmakta ve veri boşlukları oluşmaktadır. Bu da değerlendirme işlemini olumsuz etkilemekte ve doğruluğu azaltmaktadır. Sonuç olarak; silindirik yapıların 3B modellenmesinde, yersel lazer tarayıcılarla uygun tarama noktalarının seçilmesi durumunda rahatlıkla kullanılabilceği gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akca D. ve Gruen A., 2005, Fast correspondence search for 3D surface matching, ISPRS WG III/3. III/4. V/3 Workshop Laser scanning, The Netherlands
- Akköse, M., Bayrak T. ve Yılmaz, H. M., 2005, Eğri minarenin zamansal davranışlarının incelenmesi üzerine bir araştırma, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul
- Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2008. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı:98, Ankara
- Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2009, Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi, Harita Dergisi, Temmuz 2009, Sayı 142
- Barber, D., Mills, J. and Bryan, P. G., 2001, Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology. Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 360 – 366.
- Boehler W., Bordas V. M., Marbs A., 2003, Investigating laser scanner accuracy, Proceedings of 19th CIPA International Symposium, Antalya
- Demir, N., Vatan, M. ve Alkış, Z., 2005, Laser tarama sisteminin mimarlıkta kullanımı, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu Bmıs'2005, Kocaeli
- Gümüş, K. ve Erkaya, H., 2007. Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, HKMO 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Gümüş, K., 2008, Yersel lazer tarayıcılar ve konum doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Karabörk, H., Göktepe, A., Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Yıldız, F., Yakar, M., 2009, Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellemeye duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15 Mayıs 2009, Ankara
- Kostamovaara, J., Määttä, K., and Myllylä, R., 1991, Pulsed time-of-flight laser Rangefinding techniques for industrial applications. SPIE Proceedings, Vol. 1614, pp. 283 – 295.
- Lichti D. D., Gordon S. J., 2004, Error propagation in directly eoreferenced terrestrial laser scanner point clouds for cultural, heritage recording, proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Greece
- Scaioni M., 2002, Independent model triangulation of terrestrial laser scanner data, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences

Shulz T., Ingesand H., 2004, Terrestrial Laser Scanning- Investigations and Applications For High Precision Scanning, Fig Working Week 2004, Athens, Greece.

Şenyurdusev G., 2008, “Lazer tarayıcı verilerinde gürültü düzenleme ve yüzey ağı oluşturma algoritması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ,Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Topcon, 2008. Instruction manuel laser scanner GLS-1000

Waggot S. M., Clegg P., Jones R. R., 2005, Combining terrestrial laser scanning RTK and 3D visualisation:Application of optical 3D measurement in geological exploration, proceedings of the 7th conference on 3-D optical measurement Techniques, Austria

Wehr A, and Lohr U., 1999, Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRSJournal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, pp. 68 – 82.

Yakar, M., Yılmaz, H. M. ve Mutluoğlu, Ö., 2009, Hacim hesaplamalarında laser tarama ve yersel fotogrametrinin kullanılması, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15Mayıs 2009, Ankara

Yılmaz, H. M., Yakar, M., 2006, Yersel Laser Tarama Teknolojisi, Yapı teknolojileri Elektronik dergisi

Zweyer A., 2006, HDS Products and solutions, proceedings of ISPRS lidar workshop, İstanbul

### **İnternet Kaynakları:**

URL-1, [http://www.mekan360.com/360fx\\_egriminareaksaray-anasayfa.html](http://www.mekan360.com/360fx_egriminareaksaray-anasayfa.html), Eğri Minare, Ekim 2012

URL-2, <http://www.sparpointgroup.com>, Temmuz 2012

URL-3, <http://www.muzafferay.mame.tr>, Kasım 2012

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Murat PALALI  
**Doğum Yılı** : 1974

### Eğitim Durumu

**Lisans** : Selçuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, 1997  
**Yüksek Lisans** : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2013

### İletişim Bilgileri

**Adres** : Kadastro Müdürlüğü TUNCELİ  
**Telefon** : Cep:0542 632 41 86 İş: (0428) 213 33 13  
**E-posta** : muratpalali@hotmail.com