

**Makale  
(Article)**

## **Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi**

**Gökçen KARŞIDAĞ<sup>\*</sup>, Reha Metin ALKAN<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>İ.B.B. İstanbul Ağaç ve Peyzaj A.Ş., İstanbul/TÜRKİYE, gokcenka@gmail.com

<sup>\*\*</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum, İTÜ İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, İstanbul/TÜRKİYE, alkanr@itu.edu.tr

### **Özet**

Lazer Tarama Teknolojisi, 3 boyutlu (3D) ölçme teknolojisi alanında geliştirilen en son tekniklerden biridir. Bu tekniğin en önemli avantajlarından birisi, birçok farklı uygulama için bir objeye ait 3D konum verilerini detaylı olarak hızlı ve düşük maliyetle toplama özelliğidir. Yersel Lazer tarayıcılarla elde edilen ve nokta bulutu olarak adlandırılan nokta verilerinin işlenmesiyle 3D modeller elde edilebilmektedir. Elde edilen bu modeller ile gerekli geometrik ve görsel birçok bilgiye ulaşmak mümkün hale gelmektedir. Sağladığı avantajlar sayesinde yersel lazer tarayıcıların kullanımı hızla artmaktadır. Kültürel mirasın belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, planlama çalışmaları, kalite kontrolü, prototip üretimi, olay yeri inceleme, sinema endüstrisi gibi birçok alanda yersel lazer tarayıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm ölçme aletleri gibi yersel lazer tarayıcılarla yapılan ölçmelerin sonuçları da çevresel faktörler, ölçülen obje yüzeyinin geçirgenliği ve yüzeyin pürüzlülüğü gibi farklı nedenlerden dolayı hatalı olabilmektedir. Bu durumda tüm ölçme alet ve donanımlarında olduğu gibi yersel lazer tarayıcılarında hangi doğrulukta ölçme yaptığının bilinmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, farklı geometrik şekillere sahip objeler, farklı uzaklıklardan, farklı tarama yoğunlukları ile taranmış ve elde edilen 3D nokta verilerinden faydalanılarak objelerin 3D modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden ölçülen kenar uzunlukları, kumpasla yapılan ölçmelerden elde edilen ve kesin kenar olarak kabul edilen uzunluklarla karşılaştırılarak, tarama mesafesinin ve tarama yoğunluğunun fonksiyonu olarak karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel Lazer Tarayıcılar, YLT, Nokta bulutları, Doğruluk, Doğruluk Analizi.

## **Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements**

### **Abstract**

Laser scanning technology is one of the latest techniques that have improved three-dimensional surveying. The major advantage of this surveying technique is that it facilitates complete and detailed 3 dimensional (3D) data acquisition of objects rapidly and at minimum cost for use in many applications. Using the point cloud system Terrestrial Laser Scanners (TLSs) process of 3D point data to produce 3D models. These models make it possible to access much of the necessary geometric and visual data. Thus, the use of TLSs has rapidly increased and TLSs are applied in many areas such as cultural heritage documenting, deformation measurements, planning applications, quality control, prototype production, crime scene analysis and the film making industry. As with all surveying instruments, errors can occur in the results from TLSs for many reasons such as environmental factors, surface permeability of the surveyed object and the roughness of the surface. In these circumstances, it is vital to identify the accuracy range of all surveying systems including TLS in order to ensure that the survey returns the best quality data. Therefore, in this study, geometric shaped objects were scanned from different distances and different scanning densities. Then using the 3D point data obtained from this scans, drawings of these objects were created. The side lengths of the drawings were compared with base side lengths measured by caliper and the results were analyzed.

**Keywords:** Terrestrial Laser Scanners, TLS, Point Clouds, Accuracy, Analysis of Accuracy.

*Bu makaleye atıf yapmak için*

*Karşıdağ G., Alkan R.M., "Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012, 4(2) 1-10*

*How to cite this article*

*Karşıdağ G., Alkan R.M., "Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements" Electronic Journal of Map Technologies, 2012, 4 (2) 1-10*

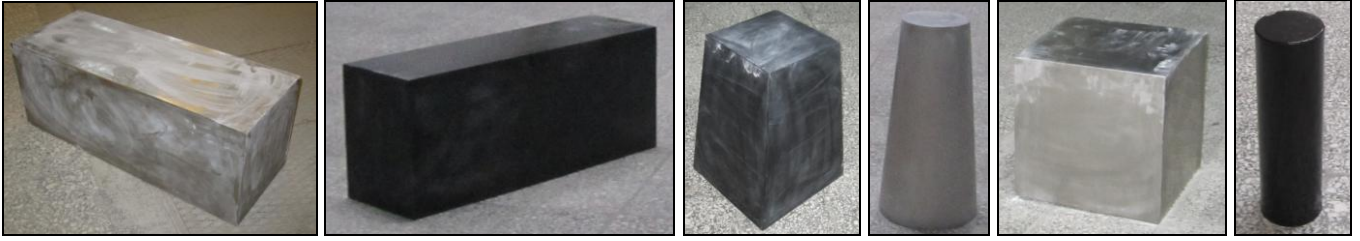
## 1. GİRİŞ

Son yıllarda hızlı bir şekilde gelişen teknoloji, jeodezik ölçme tekniklerinde de etkisini göstermiştir. Klasik ölçme tekniklerinin yerine, kullanıcıya doğrudan 3 boyutlu (3D) konum bilgisi sağlayan uydu bazlı ölçme sistemlerinin yanında doğruluğu yüksek ve klasik sistemlere göre daha hızlı ölçme yapabilen yeni nesil ölçme cihazları yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Lazer Tarama Teknolojisi, 3D ölçme teknolojisi alanında geliştirilen en son tekniklerden biridir. Geleneksel ölçme yöntemleriyle uzun zaman alan ve dolayısıyla yüksek maliyet gerektiren objenin ya da ölçülecek bölgenin çok yoğun 3D konum bilgileri, lazer tarama tekniği ile çok kısa sürede ve düşük maliyetle elde edilebilmektedir. Bilinen tekniklerin kolaylıkla uygulanamadığı yüksek ayrıntıya sahip karmaşık şekilli objelerin, ulaşılması güç veya tehlikeli bölgelerin ölçülmesinde lazer tarayıcılar efektif bir şekilde kolayca yapılabilmektedir. Ayrıca, tarama işlemi için ekstradan bir çevre aydınlatmasına da gerek duyulmaz [1-2]. Günümüzde birçok çalışmada, objelerin ve binaların mevcut durumunu belirlemek için çok sayıda 3D konum verisine ihtiyaç vardır. Lazer tarayıcılarla elde edilen ve nokta bulutu olarak adlandırılan 3D nokta verilerinin işlenmesiyle 3D modeller elde edilebilmektedir. Elde edilen bu 3D modeller ile gerekli geometrik ve görsel birçok veriye ulaşmak mümkün hale gelmektedir. Yersel Lazer Tarama Sistemleri, özellikle endüstriyel uygulamalarla piyasaya ilk çıktıkları zamandan bu yana önemli mesafeler kat ederek, yaygın olarak farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır [3]. Lazer tarayıcılarla elde edilen yüksek çözünürlüklü 3D nokta verileri, yoğun bir veri seti olduğu için, bu verilerin depolanması ve işlenmesi, yüksek hesap gücü ve depolama alanına sahip bilgisayarları kullanmayı zorunlu kılmaktadır. TLS'lerin kullanımının yaygınlaşması bir anlamda gelişen bilgisayar donanımları ve yazılımları sayesinde olmuştur [4]. Kültürel mirasın belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, planlama çalışmaları, kalite kontrolü, prototip üretimi, olay yeri inceleme, sinema endüstrisi gibi birçok alanda TLS'ler kullanılmaktadır.

Her ölçme tekniğinde olduğu gibi lazer taramanın sonuçları da çevresel faktörler, ölçülen obje yüzeyinin geçirgenliği ve yüzeyin pürüzlülüğü gibi farklı faktörlerin neden olduğu hatalara sahip olabilmektedir. Hata kaynaklarının belirlenebilmesi, verinin kalitesini korumak için son derece önemli ve gereklidir [1-2]. Tüm ölçme alet ve donanımlarında olduğu gibi bu donanımlarla da hangi doğruluklarda ölçmelerin yapıldığının bilinmesi son derece önemlidir. Klasik donanımların ölçme doğrulukları çeşitli çalışmalarla belirlenebilmektedir. TLS'lerle de farklı kontrol ve kalibrasyon ölçmeleri ile doğruluk analizi yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, düzgün geometrik şekle sahip farklı objelerin, farklı mesafelerden, farklı tarama yoğunluklarında yapılan yersel lazer tarama ölçmeleri ile 3D nokta verileri elde edilmiş ve elde edilen 3D nokta verilerinden faydalanılarak objelerin 3D modelleri elde edilmiştir. Bu modellerden kenar uzunlukları ölçülmüş ve bu uzunluklar taranan objenin aynı kenarlarının kumpasla yapılan ölçmeleri ile elde edilen uzunluklarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan, uzunluğun ve tarama yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak doğruluk analizleri yapılmıştır [5].

## 2. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada, TLS kullanılarak farklı mesafelerden farklı tarama modlarında yapılan ölçmeler değerlendirilerek, doğruluk analizleri yapılmıştır. Bu amaçla dikdörtgen prizma (30cm x 30cm x 80cm), küp (40cm x 40cm x 40cm), kesik koni (Ø20cm x Ø30cm x 60cm), dikdörtgen prizma (30cm x 40cm x 100cm), silindir (Ø15cm x 50cm) şeklinde paslanmaz çelik objeler kullanılmıştır. Objenin renginin taramaya olan etkisini belirlemek için objelerin bir kısmı metalik renkte, bir kısmı ise siyah renkte seçilmiştir (Şekil 1). Ölçme çalışmaları, uygun ölçme koşulları nedeniyle İTÜ Hidrolik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Düzgün geometrik şekilli objeler.

## 2.1 Yersel Lazer Tarayıcı ile Ölçmeler

Düzgün geometrik şekle sahip objeler zemine uygun şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 2). Objeye yüzeylerindeki parlaklığı azaltmak için yüzeylere pudra sürülmüştür.



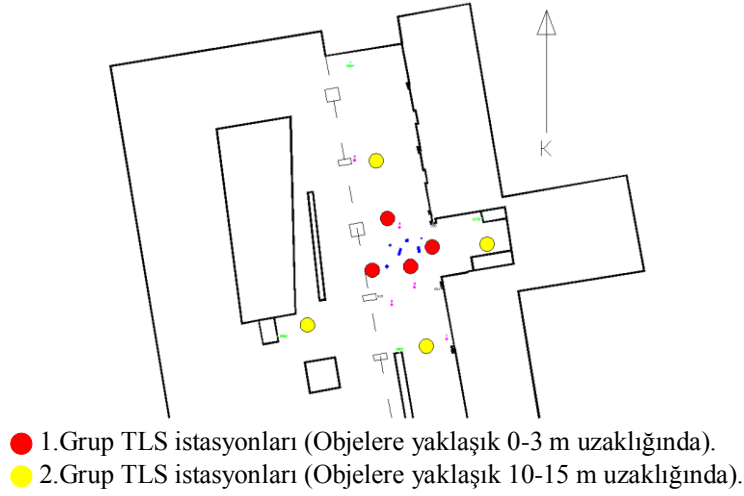
Şekil 2. Çalışma ortamı ve düzgün geometrik şekilli objelerin yerleşimi.

Bu çalışmada faz karşılaştırma metoduyla ölçme yapan Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcısı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan cihaza ait bazı teknik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir. Tarayıcı, WLAN bağlantı özelliği sayesinde laptop, bilgisayar ve hatta WLAN bağlantı özelliğine sahip uygun cep telefonu ile bağlantı kurularak Z+F LaserControl yazılımı ile kumanda edilmektedir. Cihazdan bilgisayara ya da harici kayıt ünitesine veri aktarımı ethernet veya USB bağlantısı ile yapılabilmektedir [6].

Çizelge 1. Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı [6].

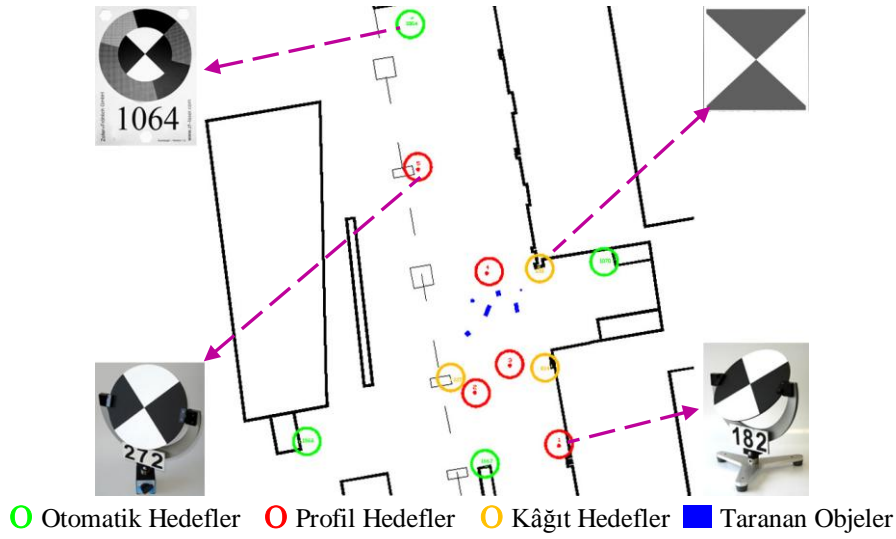
Z+F IMAGER 5006i	
Ölçme Prensipleri	Faz karşılaştırma
Mesafe ölçme aralığı	0.4 m - 79 m
Ölçme Hızı	508.000 pixel/sn
Görüş Alanı (Tarama açısı)	Düşeyde 310° Yatayda 360°
Doğrusallık Hatası	<1 mm/50 m
Lazer Sınıfı	3R Görünür
Dâhili Hafıza	min. 60 GB

TLS ölçmeleri, objelere iki farklı ölçme uzaklığından (ortalama 3 m ve 10 m), 8 farklı istasyona alet kurularak yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. TLS istasyonları.

Tarama öncesinde çalışma alanında uygun yerlere, TLS ile farklı istasyonlardan yapılan taramaların birleştirilmesinde kullanılmak için geri yansıtıcı hedefler yerleştirilmiştir. Bunun için 5 adet profil (kırmızı), 3 adet kağıt (sarı) ve 4 adet otomatik hedef (kırmızı) kullanılmıştır (Şekil 4).

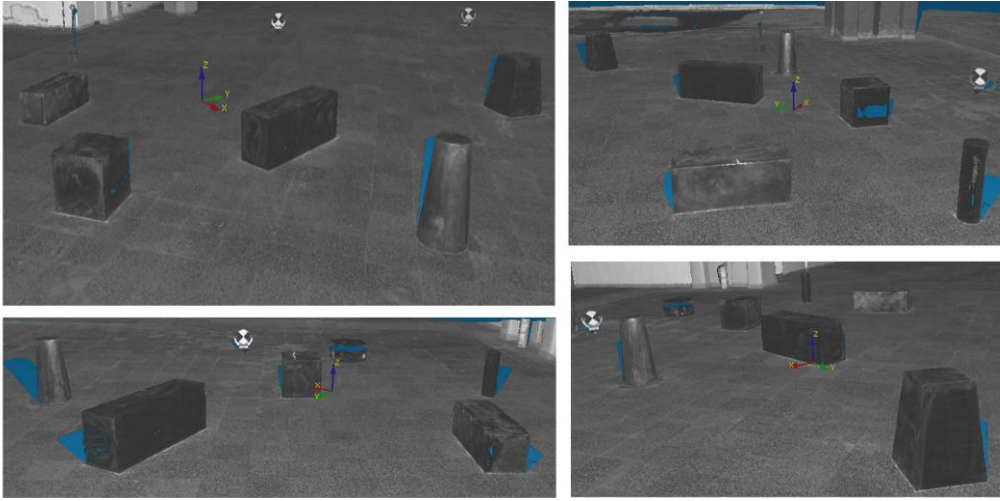


Şekil 4. Hedeflerin dağılımı.

**1. Grup** tarama istasyonlarının her birinde “high” ve “superhigh” modlarında (tarama sıklıklarında) taramalar yapılmıştır.

**2. Grup** tarama istasyonlarının her birinde “high” , “superhigh” ve “ultrahigh” modlarında (tarama sıklıklarında) taramalar yapılmıştır.

Objelere yaklaşık 3 m uzaklıktaki tarama istasyonlarından (1. Grup) elde edilen 3D nokta bulutları örnek olarak Şekil 5’te verilmiştir.



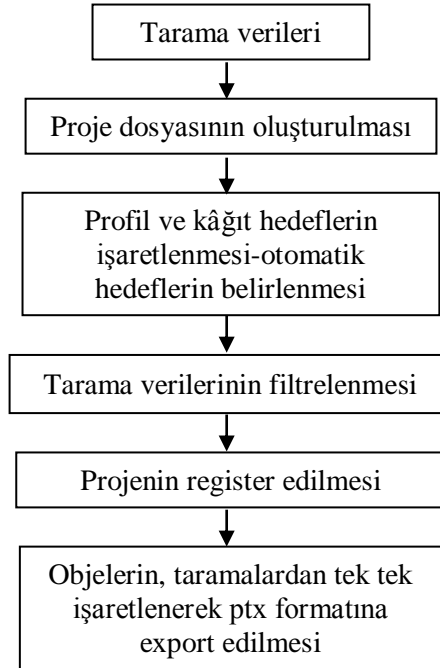
Şekil 5. Farklı istasyonlardan elde edilen 3D nokta bulutları (3m- high tarama).

## 2.2 Yersel Lazer Tarayıcı ile Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi

TLS ile yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen veriler Z+F LaserControl yazılımında değerlendirilmiş ve Z+F LaserControl programında 5 farklı proje dosyası oluşturulmuştur:

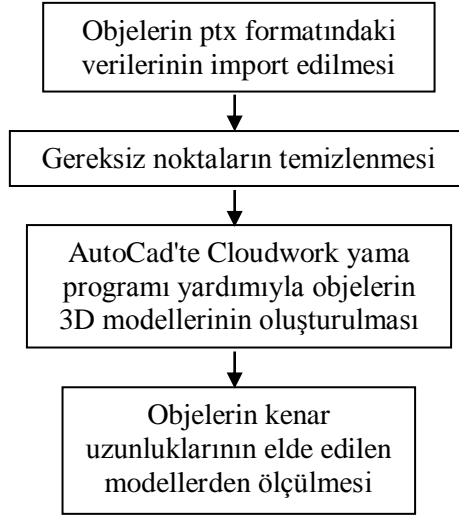
- 3m mesafeden yapılan “high”,
- 3m mesafeden yapılan “superhigh”,
- 10m mesafeden yapılan “high”,
- 10m mesafeden yapılan “superhigh”,
- 10m mesafeden yapılan “ultrahigh”

Oluşturulan her bir proje dosyasına Şekil 6’da verilen belirtilen tüm işlem adımları uygulanmıştır.



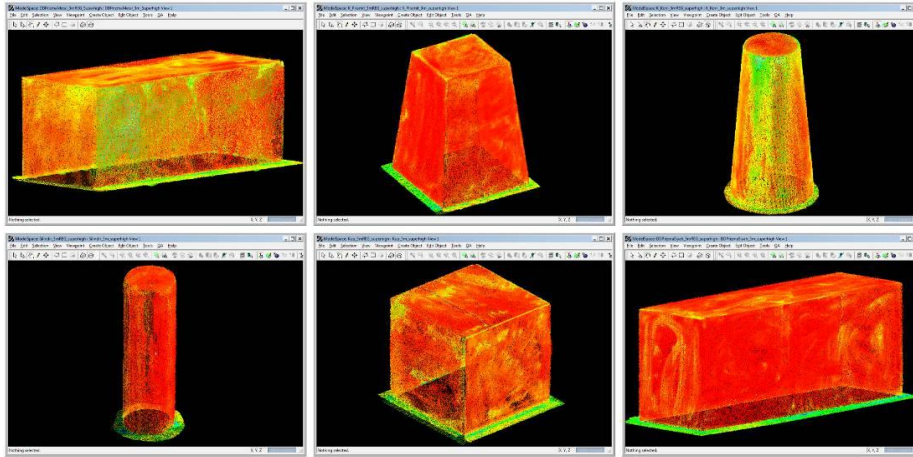
Şekil 6. Z+F LaserControl yazılımı ile yapılan işlemler.

Verilerin ptx formatına export edilmesinden sonra bu veriler Cyclone yazılımı kullanılarak Şekil 7’de verilen işlemler sırasıyla gerçekleştirilerek objelerin 3D modelleri elde edilmiş ve modellerden objelerin kenar uzunlukları ölçülmüştür.



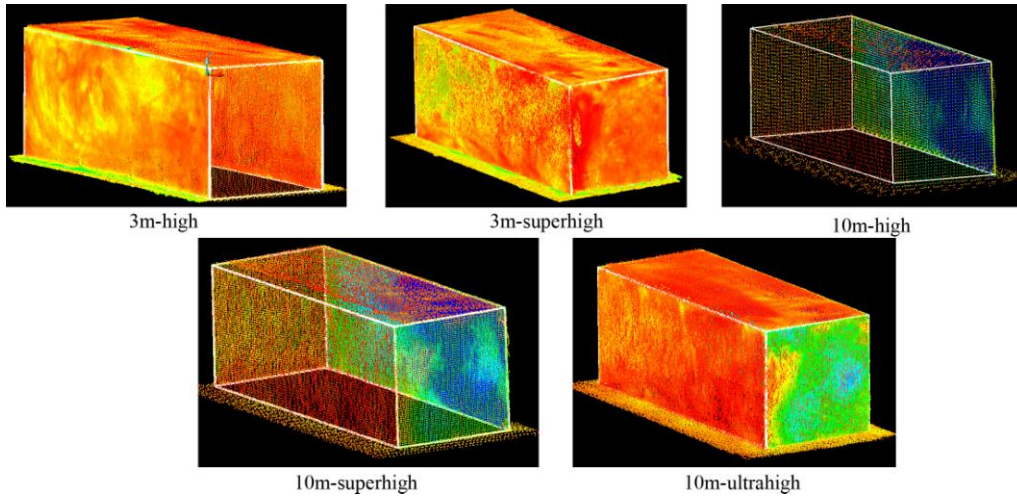
Şekil 7. Cyclone ve Cloudworks yazılımları ile yapılan işlemler.

Bir örnek olarak objelerin 3 m mesafeden “superhigh” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (3m-superhigh).

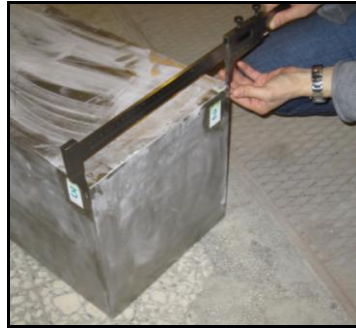
Dikdörtgen prizmaların, kesik piramit ve küpün ayrıtları, 3D nokta bulutlarından faydalanılarak çizilmiştir. Objelerin köşelerinde uygun ve yeteri kadar nokta bulunmadığı durumlarda aradaki noktalardan çizilmiş doğrular kesiştirilerek köşeler oluşturulmuştur. Aynı zamanda nokta bulutu yatay ve düşey kesitlerle ayrılarak kontroller yapılmıştır. Silindir için, nokta bulutunun yatay kesit görüntülerinden faydalanılarak, alt, orta ve üst daireler ile çizilmiş, nokta bulutunun düşey konumundan da silindirin yüksekliği alınmıştır. Kesik koni içinde aynı işlem yapılmıştır. Metal dikdörtgen prizmanın 5 farklı moddaki 3D nokta bulutu ile birlikte olan çizimleri Şekil 9’da örnek olarak verilmiştir.



Şekil 9. Metal dikdörtgen prizmanın 3D nokta bulutu ile çizimleri.

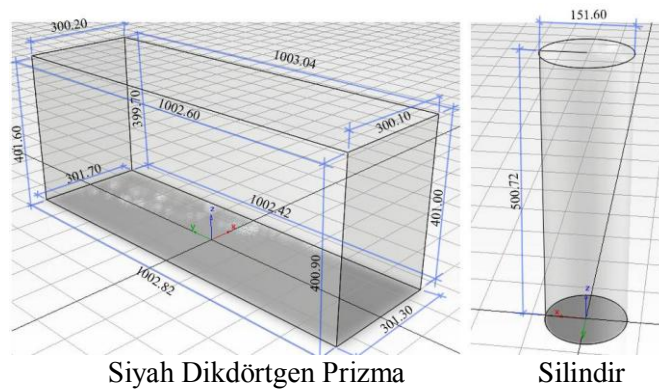
### 2.3 Objelerin Kenar Uzunluklarının Ölçülmesi

Karşılaştırmada kullanılacak olan kesin uzunluk değerlerinin belirlenmesi için her bir objenin kenarları mekanik bir kumpas ile ölçülmüştür (Şekil 10). Ölçmelerde, 0.1 mm okuma inceliğine sahip 500 mm'lik ve 0.02 mm okuma inceliğine sahip 1000 mm'lik kumpaslar kullanılmıştır.



Şekil 10. Kumpasla Ölçüm.

Dikdörtgen prizmalar, küp ve kesik piramidin kenar uzunlukları çoklu ölçümlerin ortalamasıyla elde edilmiştir. Kesik koninin üst, alt çapları ve eğik uzunluğu çoklu ölçümler ortalaması ile bulunmuş ve ortalama yükseklik hesaplanmıştır. Silindirin çapı ve yüksekliği çoklu ölçümler ortalaması ile elde edilmiştir (Şekil 11).



Siyah Dikdörtgen Prizma

Silindir

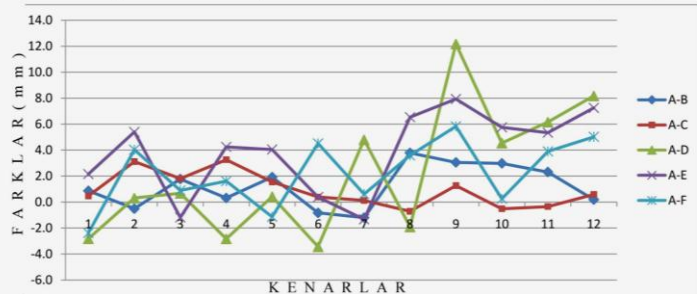
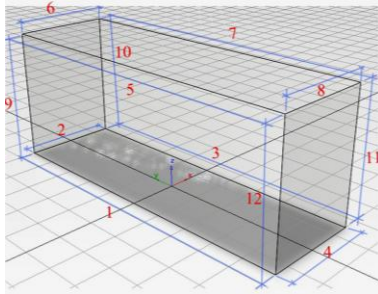
Şekil 11. Objelerin kumpasla ölçmeleri sonucu elde edilmiş boyutları (mm).

### 3. DEĞERLENDİRMELER

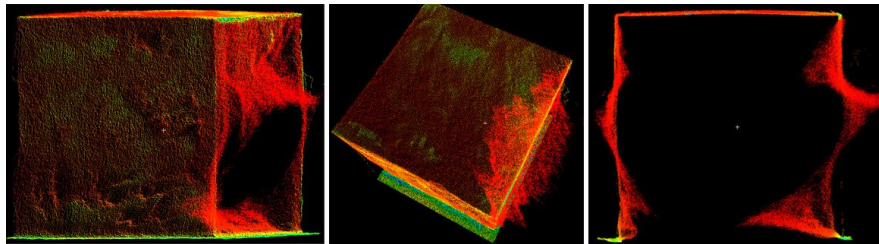
Bu çalışmada TLS ile elde edilen 3D nokta verilerinden çizimler yapılmıştır. Dikdörtgen prizma, kesik piramit ve küpün köşelerinde nokta verisinin objelerin yüzeylerine kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Çizimlerde, köşelerde uygun nokta bulunmadığı durumlarda doğrultular çizilerek, iki doğrultunun kesişimi ile köşe noktaları oluşturulmuştur. Çizimlerden elde edilen uzunluklar, kumpasla yapılan ölçmelerle elde edilen kesin uzunluklar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen uzunluk farklarının, 3 m mesafeden yapılan high mod taramada -4.5 mm ile 8.2 mm aralığında, 3 m mesafeden yapılan superhigh mod taramada -2.8 mm ile 9.2 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan high mod taramada -7.3 mm ile 17 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan superhigh mod taramada -1.8 mm ile 11.6 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan ultrahigh mod taramada -2.4 mm ile 5.8 mm aralığında olduğu görülmüştür. Farkların tarama yoğunluğu ile ters orantılı, tarama mesafesi ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Çizelge 2’de siyah dikdörtgen prizmanın kenar uzunluk karşılaştırmaları örnek olarak verilmiştir.

**Çizelge 2.** Siyah dikdörtgen prizmanın kenar uzunluk karşılaştırması

Dikdörtgen Prizma Siyah	Baz Kenar Uzunlukları (mm) (A)	UZUNLUKLAR (mm)					FARKLAR (mm)				
		High Model (3m) (B)	Superhigh Model (3m) (C)	High Model (10m) (D)	Superhigh Model (10m) (E)	Ultrahigh Model (10m) (F)	A-B	A-C	A-D	A-E	A-F
1	1,002.82	1,001.95	1,002.35	1,005.64	1,000.67	1,005.20	0.9	0.5	-2.8	2.2	-2.4
2	301.70	302.21	298.58	301.39	296.30	297.67	-0.5	3.1	0.3	5.4	4.0
3	1,002.42	1,000.64	1,000.62	1,001.74	1,003.60	1,001.52	1.8	1.8	0.7	-1.2	0.9
4	301.30	300.99	298.04	304.12	297.05	299.69	0.3	3.3	-2.8	4.3	1.6
5	1,002.60	1,000.68	1,001.05	1,002.17	998.55	1,003.73	1.9	1.5	0.4	4.0	-1.1
6	300.20	301.03	299.81	303.64	299.81	295.68	-0.8	0.4	-3.4	0.4	4.5
7	1,003.04	1,004.23	1,002.91	998.24	1,004.36	1,002.42	-1.2	0.1	4.8	-1.3	0.6
8	300.10	296.32	300.81	302.01	293.57	296.51	3.8	-0.7	-1.9	6.5	3.6
9	401.60	398.55	400.33	389.42	393.67	395.77	3.1	1.3	12.2	7.9	5.8
10	399.70	396.72	400.21	395.15	393.95	399.45	3.0	-0.5	4.5	5.7	0.3
11	401.00	398.69	401.35	394.84	395.66	397.10	2.3	-0.3	6.2	5.3	3.9
12	400.90	400.71	400.31	392.72	393.64	395.87	0.2	0.6	8.2	7.3	5.0



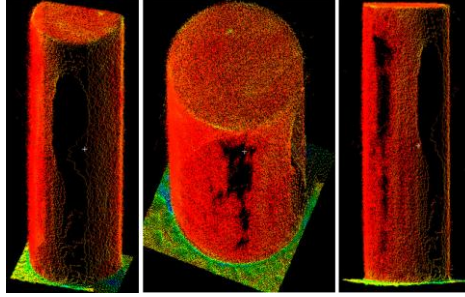
3D nokta verilerinin değerlendirilmesi sırasında, düzgün ve pürüzsüz olan obje yüzeylerinden elde edilen 3D nokta bulutu verilerinin düzensiz ve bozuk olduğu görülmüştür. Şekil 12’de 3 m’den superhigh modda yapılan taramalarla elde edilen 3D nokta verilerinden küp’e ait nokta bulutu verisindeki bozulmalar gösterilmiştir.



**Şekil 12.** Küpün 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).



Değerlendirmelerde siyah renkli objelerin lazer ışını daha az yansıttığı, hatta obje yüzeylerinin bazı bölgelerinde hiç nokta verisi elde edilemediği görülmüştür. Bu durum, Şekil 13'te 3 m'den superhigh modda yapılan taramalarla elde edilen silindir'e ait 3D nokta bulutu verisinde kolaylıkla görülmektedir.



Şekil 13. Silindirin 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).

#### 4. SONUÇLAR

Günümüzde, 3D konum verilerinin hızlı ve detaylı bir şekilde toplanması için deformasyon ölçmelerinden sinema endüstrisine kadar farklı birçok alanda yapılan uygulamalarda TLS'ler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. TLS'lerle yapılan uygulamalarda, hangi tip tarayıcının kullanılacağına karar vermek en önemli adımdır.

Bu çalışmada, yapılan uzunluk karşılaştırmalarında, farkların tarama yoğunluğu ile ters orantılı, tarama mesafesi ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, çalışmada kullanılan tarayıcının faz farkı metoduyla çalışan bir tarayıcı olduğu da düşünülürse, bu tip tarayıcıların objeye daha yakın mesafelerde daha iyi sonuç verdikleri söylenebilir.

Ayrıca obje yüzeylerinin yansıtıcılığı, rengi ve parlaklığı gibi özelliklerinin veri kalitesini etkilediği sonucuna varılmıştır. Düzgün ve pürüzsüz olan obje yüzeylerinden elde edilen 3D nokta bulutu verilerinin düzensiz ve bozuk olduğu görülmüştür. Siyah renkli objelerin lazer ışını daha az yansıttığı, hatta obje yüzeylerinin bazı bölgelerinde hiç nokta verisi elde edilmediği tespit edilmiştir. Tarama verileri değerlendirilirken, obje yüzeylerinin özelliğine göre farklılık gösterebilen 3D nokta bulutu verilerinin zaman zaman düzensiz veya yanlış olabileceği, taranan objeyi birebir yansıtmayabileceği göz ardı edilmemelidir.

İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne bu çalışmaya destekleri için teşekkür ederiz.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Reshetyuk, Y., 2006, "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, Stockholm, Sweden.
2. Gümüş, K., 2008, "Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul.
3. Kersten, T., Sternberg, H. and Mechelke, K., 2009, "Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser Scanning", FIG Working Week, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, Israel, May 3-8.

4. Pınarcı, E., 2007, "İki Boyutlu Kalman Filtresinin Yersel Lazer Tarama Verisine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Gebze, İstanbul.
5. Karşıdağ, G., 2011, "Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik, Maslak, İstanbul.
6. Url-1, <http://www.zf-laser.com>