

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERSEL LAZER TARAMA ÖLÇMELERİNDE
DOĞRULUK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökçen KARŞIDAĞ**

Anabilim Dalı : Geomatik Mühendisliği

Programı : Geomatik Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERSEL LAZER TARAMA ÖLÇMELERİNDE
DOĞRULUK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökçen KARŞIDAĞ
501071611**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Reha Metin ALKAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa YANALAK (İTÜ)
Prof. Dr. Halil ERKAYA (YTÜ)**

HAZİRAN 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Geomatik Mühendisliği Bölümünde “Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi” konusunda hazırlanmış Yüksek Lisans Tezinden ibarettir. Öncelikle, yüksek lisans eğitimim sürecinde ve bu çalışmada bana yol gösteren ve destek olan, Tez Danışmanım, Sayın Prof. Dr. Reha Metin ALKAN’a teşekkür ederim.

Lazer tarama çalışmalarına yardımcı olan, donanım ve yazılım desteği veren Solvo-Tek Mühendislik firmasından Sayın Bora SAYIN’a; malzemelerin temininde bana kolaylık sağlayıp destek olan Day-Co Metal firmasından Sayın Genel Müdür Yardımcısı Deniz AKYÜZ’e; Baytekin Teknik Cihazlar firmasından Sayın Ali BAYTEKİN’e; İTÜ Hidrolik laboratuvarında çalışmama imkan sağlayan Sayın Doç. Dr. Şevket ÇOKGÖR’e;

Bana her zaman destek olan ağabeyim Aydın KARŞIDAĞ’a; ölçmelerde yardımını, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen arkadaşım Muammer EREL’e; yüksek lisans eğitimim süresince bana her konuda destek olan arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ACAR’a;

Tezimin hazırlanması sırasında göstermiş olduğu anlayıştan dolayı Şefim Harita Mühendisi Özgür ORAL’a ve çalışma arkadaşım Harita Teknikeri İlyas BAĞIR’a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, yüksek lisans eğitimim sürecinde 1,5 yıl arayla kaybettiğim rahmetli Annem Nezihe KARŞIDAĞ ve rahmetli Babam Zeki KARŞIDAĞ’a teşekkür etmek isterdim.

Haziran 2011

Gökçen KARŞIDAĞ

Jeodezi ve Fotogrametri

Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. YERSEL LASER TARAMA TEKNOLOJİSİ.....	5
2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Ölçme Prensibi.....	7
2.2 Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması	9
2.2.1 Mesafe Tespiti Metodu İle İşlem Yapanlar	12
2.2.1.1 Bir Lazer Işınının Gidiş Geliş Zamanıyla İşlem Yapanlar (Uçuş Zamanı)	12
2.2.1.2 Faz Karşılaştırma Metoduyla İşlem Yapanlar (Faz Farkı)	13
2.2.2 Triangülasyon Metoduyla İşlem Yapanlar	13
2.2.2.1 Tek Kamera Çözümü	13
2.2.2.2 Çift Kamera Çözümü	14
3. UYGULAMA	15
3.1 Yersel Lazer Tarayıcı İle Ölçmeler	15
3.2 Objelerin Kenar Uzunluklarının Ölçülmesi.....	20
3.3 Yersel Lazer Tarayıcı İle Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi	22
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR.....	37

KISALTMALAR

TLS	: Yersel Lazer Tarayıcı (Terrestrial Laser Scanner)
TLSS	: Yersel Lazer Tarama Sistemi (Terrestrial Laser Scanning System)
3D	: 3 Boyutlu
CCD	: Charge Coupled Device

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Triangölasyon metoduyla işlem yapan tarayıcı.	11
Çizelge 2.2 : Uçuş zamanı - Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapan tarayıcılar.	11
Çizelge 3.1: Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı.	16
Çizelge A.1: Metal dikdörtgen prizma kenar uzunluk karşılaştırması.	45
Çizelge A.2: Siyah dikdörtgen prizma kenar uzunluk karşılaştırması.	46
Çizelge A.3: Kúp kenar uzunluk karşılaştırması.	47
Çizelge A.4: Kesik piramit kenar uzunluk karşılaştırması.	48
Çizelge A.5: Kesik koni uzunluk karşılaştırması.	49
Çizelge A.6: Silindir uzunluk karşılaştırması.	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı Sistemi.	6
Şekil 2.2 : Yersel Lazer Tarayıcının Prensibi (Vozikis et al, 2004).	7
Şekil 2.3 : TLS ve Yer Kontrol Noktalarının konumu.	8
Şekil 2.4 : Geri yansıtılmalı hedefler (Profil, Otomatik, Kağıt hedefler).	8
Şekil 2.5 : Yersel Lazer Tarayıcı Çeşitleri.	10
Şekil 2.6 : Uçuş zamanlı sistem (Boehler ve Marbs, 2002).	12
Şekil 2.7 : Faz farklı sistem (Wehr, 2005).	13
Şekil 2.8 : Tek Kamera Çözümü (Boehler ve Marbs, 2002).	14
Şekil 2.9 : Çift Kamera Çözümü (Boehler ve Marbs, 2002).	14
Şekil 3.1 : Düzgün geometrik şekilli objeler.	15
Şekil 3.2 : Çalışma ortamı ve düzgün geometrik şekilli objelerin yerleşimi.	16
Şekil 3.3 : Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı bileşenleri.	17
Şekil 3.4 : TLS istasyonları.	17
Şekil 3.5 : Hedeflerin dağılımı.	18
Şekil 3.6 : Objelerin TLS ile ölçümü – Laptop bağlantısı.	18
Şekil 3.7 : Z+F LaserControl tarama ekranı.	19
Şekil 3.8 : 8 farklı istasyonda elde edilen tarama dosyaları (zfs formatında).	19
Şekil 3.9 : Farklı istasyonlardan elde edilen 3D nokta bulutları (3m- high tarama).	20
Şekil 3.10 : Kumpasla ölçüm.	20
Şekil 3.11 : Obejelerin kumpasla ölçmeleri sonucu elde edilmiş boyutları (mm).	21
Şekil 3.12 : Taramalardan oluşturulan proje dosyaları.	22
Şekil 3.13 : Z+F LaserControl yazılımı ile yapılan işlemler.	23
Şekil 3.14 : Profil ve kağıt hedeflerin tanımlanması.	23
Şekil 3.15 : Otomatik hedeflerin tanımlanması.	24
Şekil 3.16 : Filtreleme ekranı.	24
Şekil 3.17 : Register ekranı.	25
Şekil 3.18 : Objelerin ptx formatına export edilmesi.	25
Şekil 3.19 : Cyclone yazılımında oluşturulan databaseler.	26
Şekil 3.20 : Siyah Dikdörtgen Prizmanın 3D nokta bulutları (3m-high).	26
Şekil 3.21 : Objelerin Cyclone’da birleştirilmiş nokta bulutları (3m-high).	27
Şekil 3.22 : Objelere ait farklı tarama modlarındaki 3D nokta bulutu dosyaları.	28
Şekil 3.23 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (3m-high).	28
Şekil 3.24 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (3m-superhigh).	29
Şekil 3.25 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-high).	29
Şekil 3.26 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-superhigh).	30
Şekil 3.27 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-ultrahigh).	30
Şekil 3.28 : 3D nokta bulutu verisinin AutoCAD’de açılması.	31
Şekil 3.29 : Autocad’de açılmış metal dikdörtgen prizmanın 3D nokta bulutu.	31
Şekil 3.30 : Metal dikdörtgen prizmanın 3D nokta bulutu ile çizimleri.	32
Şekil 3.31 : Silindirin 3D nokta bulutu ile çizimleri.	33
Şekil 3.32 : Küpün 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).	34
Şekil 3.33 : Silindirin 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).	34

Şekil A.1 : Z+F Imager 5006i Yersel Lazer Tarayıcı teknik özellikleri.	43
Şekil A.1 : Z+F Imager 5006i Yersel Lazer Tarayıcı teknik özellikleri (devam).	44

YERSEL LAZER TARAMA ÖLÇMELERİNDE DOĞRULUK ANALİZİ

ÖZET

Lazer Tarama Teknolojisi, 3 boyutlu (3D) ölçme teknolojisi alanında geliştirilen en son tekniklerden biridir. Bu ölçme tekniğinin en önemli avantajı, birçok farklı uygulama için objeye ait 3D konum verilerini hızlı ve düşük maliyetle detaylı bir şekilde toplama özelliğidir.

Yersel 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. 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 kullanılmaktadır.

Günümüzde, kendisine birçok yeni uygulama alanı kazanan, ölçme işlemine yeni bir boyut katan yersel lazer tarayıcılar, birçok araştırmanın konusu olmaktadır.

Tüm ölçme aletleri gibi yersel lazer tarayıcılarla yapılan ölçmelerin sonuçları da çevresel faktörler, ölçülen obje yüzeyinin geçirgenliği ve yüzeyin pürüzlülüğü gibi farklı nedenlerden dolayı hata verebilmektedir. Bu durumda verinin kalitesi için tüm ölçme alet ve donanımlarında olduğu gibi yersel lazer tarayıcılarında hangi doğrulukta ölçme yaptığının bilinmesi son derece önemlidir.

Bu tez çalışmasında yersel lazer tarayıcı sistemlerinin genel özelliklerinden, yersel lazer tarayıcıların ölçme prensibi ve sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Yapılan uygulamada düzgün geometrik şekle sahip objeler farklı uzaklıklardan, farklı tarama yoğunluklarında taranmıştır. Elde edilen 3D nokta verilerinden faydalanılarak objelerin çizimi yapılmıştır. Bu çizimler sonucu elde edilen kenar uzunlukları, kumpasla yapılan ölçmelerle elde edilen kesin kenar uzunluklarıyla karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarayıcılar, YLT, Nokta bulutları, Doğruluk, Doğruluk analizi, 3 Boyutlu.

ACCURACY ANALYSIS IN TERRESTRIAL LASER SCANNING MEASUREMENTS

SUMMARY

Laser scanning technology is one of the latest technologies improved regarding three dimensional surveying technology. The most crucial advantage of this surveying technique is its feature to gather 3D geodata of an object for various applications in rapid and detailed way with minimum cost.

By processing 3D point data that are gathered by Terrestrial Laser scanners and named as point cloud, 3D models are obtained. 3D models make it possible to access to many necessary geometric and visual data. Due to the help of its advantages, the applications of terrestrial laser scanners increase rapidly. Terrestrial Laser scanners are applied on many areas such as documenting cultural heritage, deformation measurements, planning applications, quality control, prototype production, crime scene analysis, movie industry.

Nowadays, terrestrial laser scanners that have gained various application areas and that have added a new dimension to surveying process are subjects of many researches.

As all of the surveying devices, the surveying results of terrestrial laser scanners can give error due to many facts such as environmental factors, surface permeability of the surveyed object and roughness of the surface. In these circumstances, as in the other surveying devices and equipments, it is vital to know in which accuracy the terrestrial laser scanners make surveying for the quality of the data.

In this thesis, it is mentioned about general characteristics, surveying principles and categorization of terrestrial laser scanners. In the applications, objects having smooth figure are scanned from separate distances and separate scanning densities. By using 3D point data that are obtained, drawings of these objects are implemented. By comparing side lengths obtained by these drawings with accurate side lengths obtained as the result of surveyings by caliper, accuracy analysis is implemented.

Key Words: Terrestrial Laser Scanners, TLS, Point clouds, Accuracy, Analysis of Accuracy, 3 Dimensional.

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. Lazer tarama tekniği ile objenin ya da ölçülecek bölgenin 3D konum bilgisi 3D nokta verileri olarak çok kısa sürede elde edilebilmektedir. Saniyede binlerce nokta verisi elde etmek mümkündür. Geleneksel ölçme yöntemleriyle bu denli yoğun veriyi toplamak uzun zaman ve maliyet demektir. Lazer tarama tekniği, zaman ve maliyette önemli bir azalma sağlar. Bilinen tekniklerin başarısız olduğu çok karışık, ulaşılamaz ve tehlikeli bölgelerin ölçülmesi lazer tarayıcılarla kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca, tarama işlemi için çevre aydınlatmasına gerek duyulmaz, gece bile tarama yapılabilir.

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.

Bilgisayar donanım ve yazılımlarının gelişimiyle birlikte Yersel Lazer Tarayıcıların (Terrestrial Laser Scanner-TLS) piyasada kullanımları da artmaktadır. Kültürel mirasın belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, planlama çalışmaları, kalite kontrolü, prototip üretimi, olay yeri inceleme, sinema endüstrisi gibi birçok alanda TLS'ler kullanılmaktadır.

Her ölçme tekniği gibi lazer taramanın sonuçları da çevresel faktörler, ölçülen obje yüzeyinin geçirgenliği ve yüzeyin pürüzlülüğü gibi farklı nedenler yüzünden hata verebilmektedir. Hata kaynaklarının belirlenebilmesi, verinin kalitesini korumak için gereklidir.

Tüm ölçme alet ve donanımlarının hangi doğruluklarda ölçme yaptığının bilinmesi son derece önemlidir. Klasik donanımların ölçme doğrulukları çeşitli çalışmalarla belirlenebilmektedir. TLS'lerle de çeşitli kontrol ve kalibrasyon ölçmeleri ile doğruluk analizi yapılması gerekmektedir.

Şimdiye kadar yapılan doğruluk araştırmalarından bazıları Lichti ve diğerleri (2000), Gordon ve diğerleri (2000, 2001), Balzani ve diğerleri (2001), Lichti ve diğerleri (2002a,b) ve Tucker (2002) tarafından açıklanmıştır. Johansson (2002) tarafından yapılan, uçuş zamanı metoduyla çalışan tarayıcıların performanslarının karşılaştırıldığı çalışma ilklerden biridir. Kapsamlı kalibrasyon deneyleri Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde (National Institute of Standards and Technology–NIST) gerçekleştirilmiştir. Lichti ve Harvey (2002), Clark ve Robson (2004), Koska ve diğerleri (2004), Kremen (2005) lazer tarayıcılarla yapılan ölçmelerde, yüzey yansırılığının etkisini araştırmışlardır. Santala ve Joala (2003), Leica HDS 2500 tarayıcısı ile kalibrasyon deneyleri yapmışlardır. TLS'ler için standartlaştırılmış performans değerlendirmesi ve prosedürlerinin gelişimi için yapılan önemli araştırmalar, Mainz Uygulama Bilimler Üniversitesi, Mekânsal Bilgi ve Ölçme Teknolojisi Enstitüsü'nde (Mainz University of Applied Sciences, Institute for Spatial Information and Surveying Technology) yapılmıştır. Bu araştırmalar, Boehler ve Marbs (2005)'de açıklanmıştır. Farklı tarayıcıların doğruluklarını, karşılaştırmalı olarak test etmek için çok sayıda farklı materyal kullanılmıştır (Reshetyuk, 2006).

Bu konuda yapılan çalışmalardan bir diğeri, 2006 yılında Yuriy Reshetyuk tarafından hazırlanan “Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners” isimli tez çalışmasıdır. Çalışmada, Yersel Lazer Tarama Sistemlerinden (Terrestrial Laser Scanning System-TLSS) detaylı olarak bahsedilmiştir. Uçuş zamanı metoduyla çalışan TLS'lerle yapılan ölçmelerdeki hataların araştırılması ve analizi yapılmış, 3 farklı model uçuş zamanlı tarayıcıya ait sistematik hatalar araştırılarak, bu cihazların kalibrasyon prosedürlerinin geliştirilmesi hakkında çalışmalar yapılmıştır (Reshetyuk, 2006).

Bu konuda ülkemizde yapılan bir çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde, "Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması" isimli tez çalışmasıdır. Bu çalışmada, yapılan uygulamalardan birinde farklı noktalardan yapılan taramaların 2 farklı yöntemle birleştirilmesi kıyaslanmış, diğer bir uygulamada 3D model oluşturulması ele alınmış ve bir başka uygulamada ise basit geometrik şekillere sahip objeler taranmış ve 3D modeli oluşturularak, model üzerinden alınan kesit uzunlukları ile kumpasla ölçülen uzunluklar karşılaştırılmıştır (Gümüş, 2008).

Bu tez çalışmasında TLSS'lerin genel özelliklerinden, TLS'nin ölçme prensibi ve sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Yapılan uygulamada düzgün geometrik şekle sahip objelerin farklı uzaklıklarda, farklı tarama yoğunluklarında yapılan yersel lazer tarama ölçmeleri ile 3D nokta verileri elde edilmiş ve elde edilen 3D nokta verilerinden faydalanılarak objelerin çizimi yapılmıştır. Bu çizimler sonucu elde edilen kenar uzunlukları, kumpasla yapılan ölçmelerle elde edilen kesin kenar uzunluklarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan, uzunluğun ve tarama yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

2. YERSEL LASER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Yersel Lazer Tarama Teknolojisi, 3D konum verisi elde etmek için kullanılan etkili bir ölçme teknolojisi olarak hızla gelişmektedir. Yaklaşık 10 yıldır piyasada olan TLS'lerin, son 5 yılda bilinen standart 3D veri toplama metotları (takeometri, fotogrametri ve GPS ölçmeleri) gibi kabul edilen bir yöntem olma yolunda olduğu görülmektedir. TLSS'ler, özellikle endüstriyel uygulamalarla piyasaya ilk çıktıkları zamandan bu yana önemli rol oynamaktadırlar. Bu ölçme sistemlerinin en önemli avantajı, birçok farklı uygulama için objeye ait 3D konum verilerini hızlı ve detaylı bir şekilde toplama özelliğidir. Özellikle son yıllarda, 3D modelleme, görüntüleme ve analiz çalışmaları, deformasyon ölçmeleri alanlarında TLS'lerin kullanımı artmaktadır (Kersten et al, 2009).

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 kullanımlarının yaygınlaşması da bir anlamda gelişen bilgisayar donanımları ve yazılımları sayesinde olmuştur (Pınarcı, 2007).

Bir TLSS şu bileşenlerden oluşmaktadır (Barber et al, 2002):

- Tarama ünitesi (Tarayıcı)
- Kontrol ünitesi
- Güç kaynağı (Batarya)
- Tripod ve bağlantı ünitesi

Şekil 2.1'de Yersel lazer tarayıcı sistemine örnek verilmiştir.

TLSS'de tarama ünitesi, diğer bir adıyla tarayıcı başlığı; Lazer Telemetresi (Mesafe ölçme sistemi) ve Lazer ışını saptırma ünitesi olmak üzere iki bileşenden oluşur. Tarama ünitesi bileşenlerinin özellikleri, Wehr ve Lohr (1999), Wehr (2005), Reshetyuk (2006), Gümüş (2008)'de detaylı olarak açıklanmıştır.



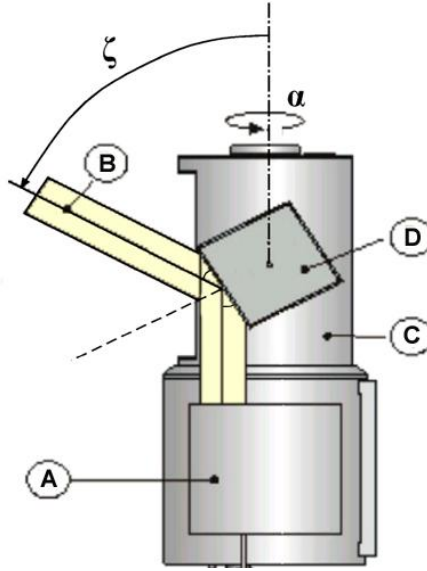
Şekil 2.1 : Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı Sistemi.

Her ölçme tekniği gibi lazer taramanın sonuçları da ölçme sürecini etkileyen faktörlerin çeşitliliğinden dolayı hata verebilmektedir. Hataya sebep olan faktörlerin belirlenmesi, veri kalitesinin ve tarayıcı performansının değerlendirilmesinde önemlidir. Tarayıcı performansının bilinmesi de uygulamalarda kullanılacak tarayıcıların seçimi için gereklidir.

TLS ölçmelerindeki hatalar, Staiger (2005)'den temel alınarak aletsel, objesel, çevresel ve metotsal olarak gruplara ayrılabilir. Ayrıca, Lichti ve Gordon (2004) basitçe TLS hatalarını, dâhili (aletsel) ve harici (objeyle ilgili, çevresel ve metotsal) olarak iki gruba ayırmışlardır. Bir başka mümkün sınıflandırma ise, yersel taramalar sırasında göze çarpan hataları dikkate alarak, uzunluk hataları ve açısal hatalar (yatay yönler ve düşey açılar) üzerine yapılabilir. Bu hataların her biri farklı faktörler tarafından ortaya çıkmıştır. TLS teknolojisinin sürekli gelişmesinden dolayı, gözlem ile ilgili hatalar son derece azaltılmıştır (Reshetyuk, 2006; Gümüş, 2008).

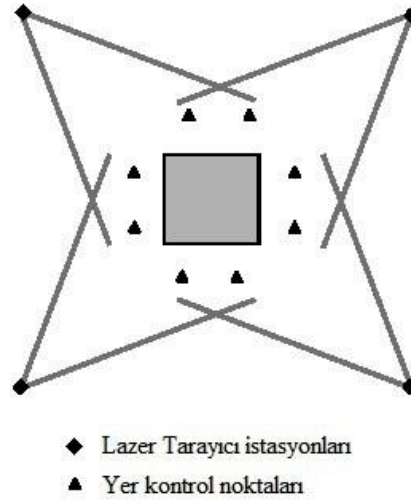
2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Ölçme Prensibi

Bir TLS, yatay ve düşey ekseninde lazer ışını dağıtan bir mekanizmaya sahip olmalıdır. Tarayıcının elektronik ünitesinden (Şekil 2.2, A) ayarlanmış şekilde gelen ışın, cihazın gövdesindeki hızla dönen ayna benzeri optik üniteye (Şekil 2.2, D) çarpar. Optik yüzey üzerindeki ışın yansıyarak ζ açısı ile cihazdan çıkar (Şekil 2.2, B). Tarayıcının ζ açısı ile veri edinmesi tamamlandıncı, cihazın üst kısmı (Şekil 2.2, C) düşey eksen etrafında çok küçük açılarla (Şekil 2.2, $\Delta\alpha$) dönerek taramaya devam eder. Bu işlem tarama işlemi tamamlanana kadar devam eder. Her bir tarama istasyonunda nokta bulutu olarak adlandırılan noktalar elde edilir ve bu nokta bulutundaki her bir lazer noktası kutupsal koordinatlarla (α , ζ , d) tanımlanır. (d- tarayıcı ile obje üzerinden ışının yansıdığı yer arasında ölçülen mesafe) (Vozikis et al, 2004). Cihaz bu kutupsal koordinatlarla taranan noktanın kartezyen koordinatlarını (X,Y,Z) hesaplar. Kartezyen koordinatlarının dışında kayıt edilen bir diğer veri de nesneye çarpıp geri yansıyan enerjinin yoğunluğudur (intensity). Görüldüğü üzere, çalışma prensibi incelendiğinde, lazer tarayıcılar aslında birer aktif uzaktan algılama sistemleridir (Fangi et al, 2001; Pınarcı, 2007).

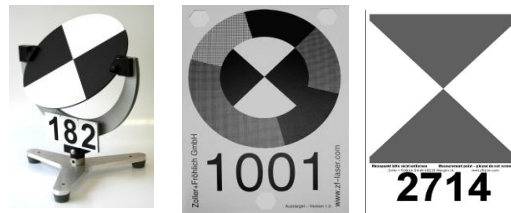


Şekil 2.2 : Yersel Lazer Tarayıcının Prensibi (Vozikis et al, 2004).

Öbje, yüzeyinin tam olarak taranabilmesi için farklı pozisyonlardan taranır (Şekil 2.3). Bu farklı pozisyonlardan yapılan taramaların hassas bir şekilde birleştirilmesi için, öbje köşelerinde küçük bindirmeli alanlar taranmasına dikkat edilmelidir. Tarayıcının konumlandırıldığı noktaların koordinatları jeodezik ölçmelerle belirlenir. Öbje noktalarının doğrudan koordinatlandırılmaları gerektiğinde tarayıcının her konumuna karşılık gelen yöneltme açılarının ve koordinatlarının bilinmesi gerekir. Ölçülen noktaların koordinatlarının doğruluğu tarayıcının konum ve yöneltme elemanlarının doğruluğuna bağlıdır. Tarayıcının konum ve yöneltmeleri bilinmiyorsa bunların yer kontrol noktaları yardımı ile dolaylı olarak hesaplanması gerekir. Yer kontrol noktaları olarak genellikle geri yansıtmalı hedefler kullanılır (Şekil 2.4) (Url-1) ve bunlar çok yüksek kontrastlı ve tek parça olduklarından görüntü üzerinde otomatik olarak bulunabilir. Her bir taramanın 6 yöneltme parametresinin hesaplanması için her bir taramada en az 3 yer kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Farklı taramaların nokta kümelerini birleştirmek için bağlantı noktalarına ihtiyaç vardır. Genellikle bunlar da geri yansıtmalı hedeflerdir (koordinatları bilinmez) ve değerlendirme işlemi sırasında sistem tarafından otomatik olarak bulunurlar. (Yılmaz ve diğ, 2008)



Şekil 2.3 : TLS ve Yer Kontrol Noktalarının konumu.



Şekil 2.4 : Geri yansıtmalı hedefler (Profil, Otomatik, Kağıt hedefler).

2.2 Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması

TLS'leri sınıflandırmak zordur. TLS'leri ölçme prensiplerine yada teknik özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Herşeyden önce tüm uygulamalar için kullanılacak evrensel bir TLS yoktur. Bazı tarayıcılar iç mekanda ve orta mesafe uzunluklarda (ölçme mesafesi 100m'ye kadar) kullanılırlar. Bazı tarayıcılar ise dış mekan ve uzun mesafe (ölçme mesafesi 100m'den fazla) ölçmeleri için uygundurlar. Hatta yakın mesafe (birkaç metre) ölçmeleri için yüksek hassasiyetli tarayıcılar vardır. Yapılacak uygulamaya göre, uygun lazer tarayıcı seçilmelidir (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004).

Tarayıcıların teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaları, sistemin performans ve olanaklarını görmek açısından daha faydalıdır. Bu da kullanıcıya amacına uygun tarayıcı seçimi yapabilme olanağı sağlar.

Bu teknik özelliklerin en önemlileri şunlardır:

- Tarama hızı, lazer ölçme sisteminin örnekleme oranı,
- Görüş alanı (Kamera görüntüsü, profil, görüntüleme),
- Mekansal çözünürlük (Örneğin, görüş alanında taranan nokta sayısı),
- Sistemin genel doğruluğu , mesafe ölçme sistemi ve ışın saptırma ünitesinin doğruluğu,
- Lazer tarayıcıya diğer cihazların monte edilme özelliği (GPS, kamera gibi) (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004).

Aşağıda Şekil 2.5'de piyasada kullanılan bazı TLS'lerden örnekler verilmiştir. Devam eden sayfadaki Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de (Url-2), TLS üreticileri, cihazlara ait ölçme mesafesi bilgileri ile kullanılan yazılımlar görülmektedir. Üretici web sayfalarından tarayıcılara ait detaylı bilgilere ulaşılabilir.



Riegl LMS Z620



Trimble GX



Leica HDS 3000



Optech Iris 3D



Faro LS 880



Z-F Imager 5006



Leica HDS 4500



Trimble (Mensi) GS 200



Callidus CP 3200

Şekil 2.5 : Yersel Lazer Tarayıcı Çeşitleri.

Çizelge 2.1 : Triangölasyon metoduyla işlem yapan tarayıcı.

Üretici	TLS	Ölçme Mesafesi (m)	Yazılım	Web Sayfası
Mensi (Trimble)	S10, S25	10, 25	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com

Çizelge 2.2 : Uçuş zamanı - Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapan tarayıcılar.

Üretici	TLS	Ölçme Mesafesi (m)	Yazılım	Web Sayfası
3rdTech	DeltaSphere	12	SceneVision-3D	www.3rdtech.com
CALLIDUS Precision System	CP 3200	32	3D-Extractor	www.callidus.de
Leica Geosystems	HDS 6000 HDS 4500 Scan Station HDS 3000 HDS 2500 (Cyrax)	79 50 134/300 100 100	Cyclone, CloudWorx	www.leica-geosystems.com
FARO	LS 420, LS 840, LS 880	20, 40, 80	FARO Scene	www.faro.com
I-SiTE Pty Ltd	I-SiTE 4400 LR	150/700	I-SiTE Studio	www.isite3d.com
Mensi (Trimble)	GS 100, GS 200	100, 200	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
MetricVision	MV224, MV260	24, 60		www.metris.com
Optech	ILRIS-3D	800/1500	PolyWorks	www.geo-konzept.de
Riegl Laser Measurement Systems	LMS-Zxxx series	350/1000	RiSCAN PRO	www.riegl.com
Trimble	GX-3D, GS200	200/350	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
Zoller+Froehlich GmbH	IMAGER 5006 IMAGER 5003	79 55	Light Form Modeller	www.zf-laser.com

TLS'lerin sınıflandırılması teknik özelliklerinin dışında aşağıdaki şekilde de yapılmaktadır:

1-Mesafe tespiti metoduyla işlem yapanlar

- Bir lazer ışınının geliş gidiş zamanıyla işlem yapanlar (Uçuş zamanı)
- Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar

2- Triangülasyon metoduyla işlem yapanlar

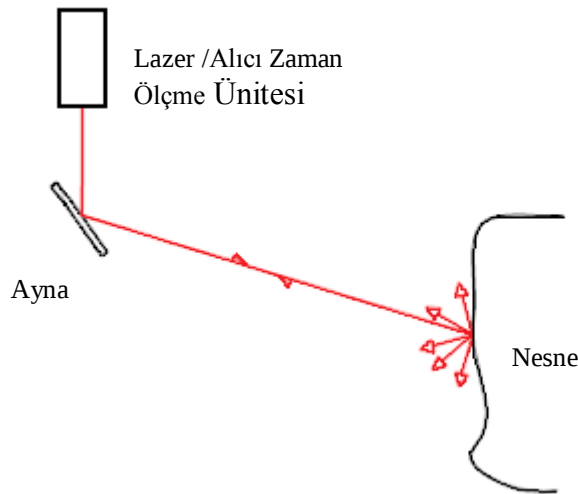
- Tek kamera çözümü
- Çift kamera çözümü

2.2.1 Mesafe Tespiti Metodu İle İşlem Yapanlar

2.2.1.1 Bir Lazer Işınının Gidiş Geliş Zamanıyla İşlem Yapanlar (Uçuş Zamanı)

Uçuş zamanı metodu, TLS'lerde kullanılan en yaygın ölçme metotlarından biridir (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004). Bu metotta, bir lazer ışını nesneye gönderilir. Gönderici ile ışını yansıtıcı yüzey arasındaki mesafe, lazer sinyalinin iletimi ile alımı arasındaki gidiş-geliş zamanı ile ölçülür (Şekil 2.6). Bu ölçme prensibi, elektronik takeometrelerin çalışma prensiplerinden dolayı da iyi bilinir (Boehler ve Marbs, 2002).

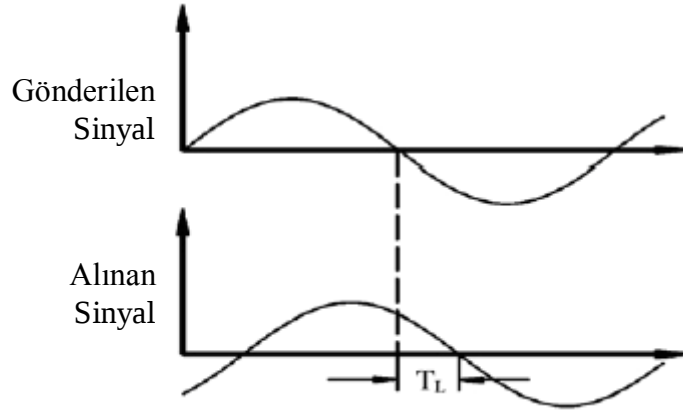
Bu prensiple çalışan sistemler, uzun mesafelerde (birkaç 100 m) ölçme yapabilir ve makul doğruluklar elde etme avantajına sahiptirler (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004).



Şekil 2.6 : Uçuş zamanlı sistem (Boehler ve Marbs, 2002).

2.2.1.2 Faz Karşılaştırma Metoduyla İşlem Yapanlar (Faz Farkı)

Bu teknikte lazer ışını, harmonik bir dalgayla ayarlanmış olarak iletilir ve mesafe, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır (Şekil 2.7). Kullanıcılar açısından bu metodun, uçuş zamanı metodundan farkı yoktur. Daha karmaşık sinyal analizi sayesinde sonuçlar daha doğru olabilir. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için, bu metotla çalışan tarayıcılar, kısa mesafe ölçme menziline sahiptirler ve daha fazla yanlış veya uçan nokta üretme eğilimindedirler (Boehler ve Marbs, 2002).

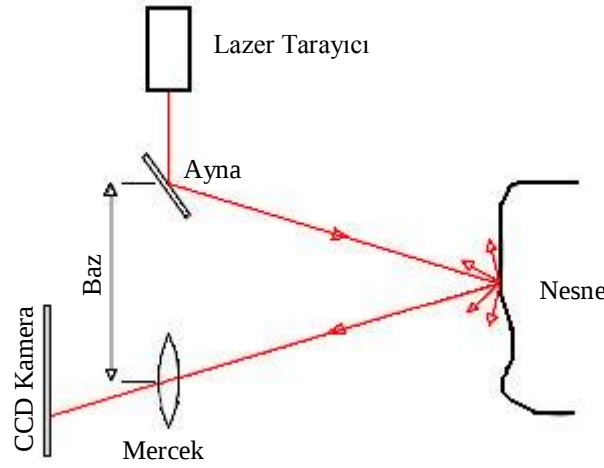


Şekil 2.7 : Faz farklı sistem (Wehr, 2005).

2.2.2 Triangülasyon Metoduyla İşlem Yapanlar

2.2.2.1 Tek Kamera Çözümü

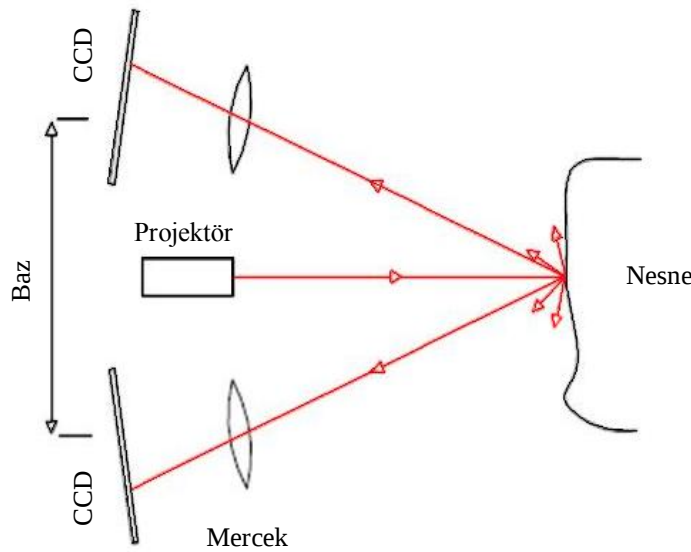
Bu tip tarayıcılar, mekanik bazın bir ucundaki, objeye kademeli olarak değişik açılarla lazer ışını gönderen bir aygıt ile mekanik bazın diğer ucundaki, obje üzerindeki yer ya da çizgiden gelen ışını algılayan bir CCD (Charge Coupled Device) kameradan oluşmaktadırlar. Objeye üzerindeki yer veya çizginin 3 boyutlu konumu, çıkan üçgenlerden elde edilir (Şekil 2.8). Bu metot aynı zamanda sabit tabanlı telemetrelerle yapılan ölçmelerde de vardır. Tüm bunlardan, alet ile obje arasındaki mesafenin hassasiyetinin, uzaklığın karesi ile azaldığı bilinmektedir. Pratik nedenlerden dolayı baz uzunluğu arttırılamaz. Ancak buna rağmen, bu tip tarayıcılar kısa mesafe ölçmelerinde, mesafe tespiti metoduyla işlem yapan tarayıcılardan çok daha fazla hassas olduklarından kısa mesafelerin ve küçük objelerin taranmasında önemli rol oynarlar (Boehler ve Marbs, 2002). Bu tip tarayıcılarla mikrometre seviyesinde doğruluk elde etmek mümkündür.



Şekil 2.8 : Tek Kamera Çözümü (Boehler ve Marbs, 2002).

2.2.2.2 Çift Kamera Çözümü

Bu metotla çalışan tarayıcıların tek kamera çözümü tarayıcılardan farkı bazın her iki ucunda birer CCD kamera olmasıdır. Belirlenecek olan yer veya desen, herhangi bir ölçme işlevi olmayan ayrı bir ışık projektörü ile elde edilir (Şekil 2.9). Çok çeşitli çözümler bulunabilir. Projeksiyon, hareketli ışık noktası veya çizgisi, hareketli şerit desenler veya statik geliş güzel desenler içerebilir. Bu tarayıcılarda geometrik çözüm, tek kamera çözümü tarayıcılarla aynıdır ve aynı hassasiyet elde edilir. Çift kamera çözümü kullanan hiçbir tarayıcı yüksek noktasal değerler sunmaz ve 3 boyutlu koordinat üretmezler. Fakat bunlar sağlanırsa bu tarayıcılar, mesafe tespiti metoduyla işlem yapan tarayıcılara alternatif olabilirler ve pratik gereksinimler için 3D tarayıcı olarak düşünülebilirler (Boehler ve Marbs, 2002).

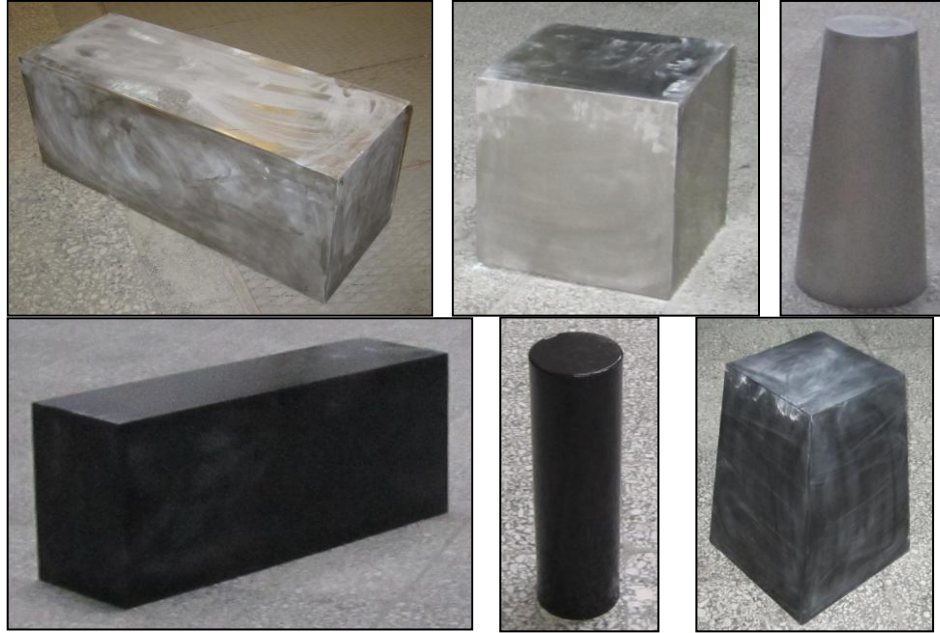


Şekil 2.9 : Çift Kamera Çözümü (Boehler ve Marbs, 2002).

3. UYGULAMA

Bu çalışmada TLS kullanılarak farklı mesafelerden farklı tarama modlarında yapılan ölçmelerle elde edilen yersel tarama verisi ile doğruluk analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma için düzgün geometrik şekillere sahip paslanmaz çelik objeler kullanılmıştır. Bu objelerden dikdörtgen prizma (30cmx30cmx80cm), küp (40cmx40cmx40cm), kesik koni (Ø20cmxØ30cmx60cm) metalik, dikdörtgen prizma (30cmx40cmx100cm), silindir (Ø15cmx50cm), kesik piramit siyah olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Yersel lazer tarama ölçmeleri, uygun ölçme koşulları nedeniyle İTÜ Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Düzgün geometrik şekilli objeler.

3.1 Yersel Lazer Tarayıcı İle Ölçmeler

Düzgün geometrik şekle sahip objeler zemine uygun şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.2). Objeye yüzeylerindeki parlaklığı azaltmak için yüzeylere pudra sürülmüştür.

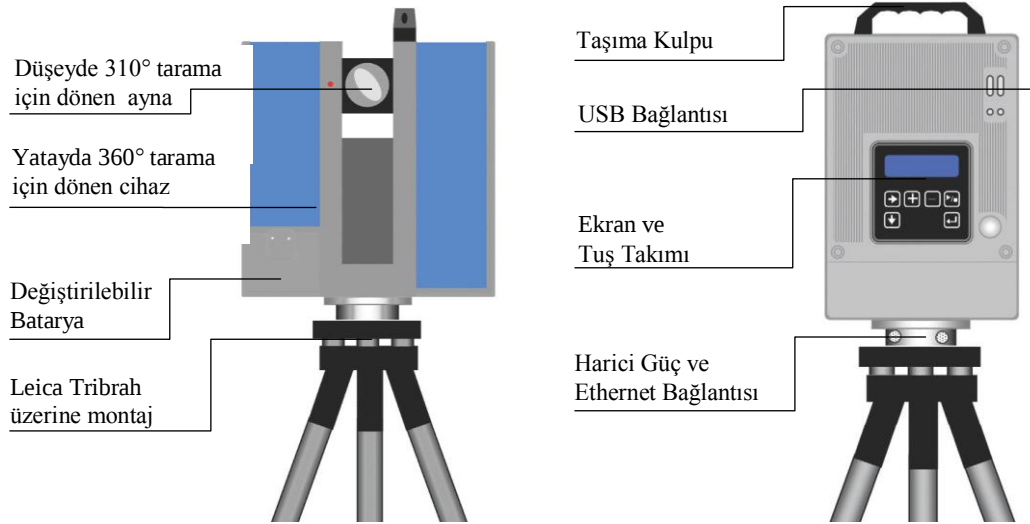


Şekil 3.2 : Çalışma ortamı ve düzgün geometrik şekilli objelerin yerleşimi.

Bu çalışmada **Z+F IMAGER 5006i** Yersel Lazer Tarayıcı kullanılmıştır. Tarayıcı, faz karşılaştırma metoduyla ölçme yapmaktadır. Çizelge 3.1’de cihaza ait bazı teknik özellikler 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 (Şekil 3.3). Tarayıcıya ait üreticisi tarafından verilen detaylı bilgileri içeren çizelgesi EK A.1’de sunulmuştur.

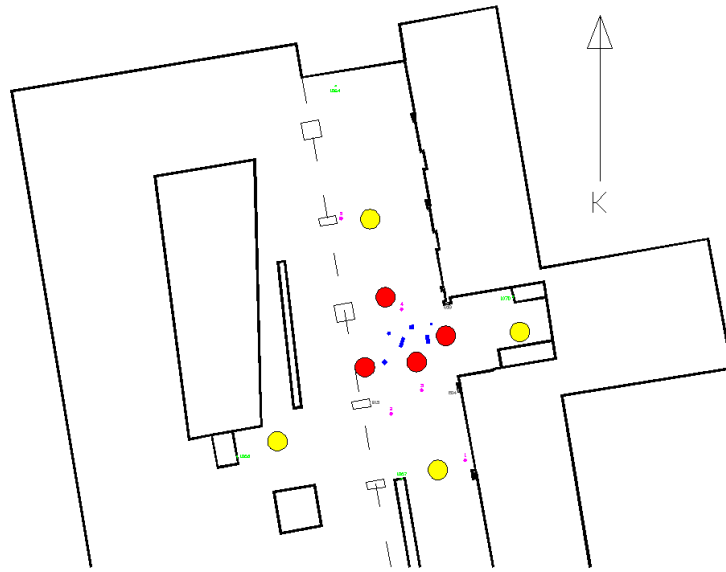
Çizelge 3.1: Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı.

	Z+F IMAGER 5006i	
	Ölçme Prensibi	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



Şekil 3.3 : Z+F IMAGER 5006i Yersel Lazer Tarayıcı bileşenleri.

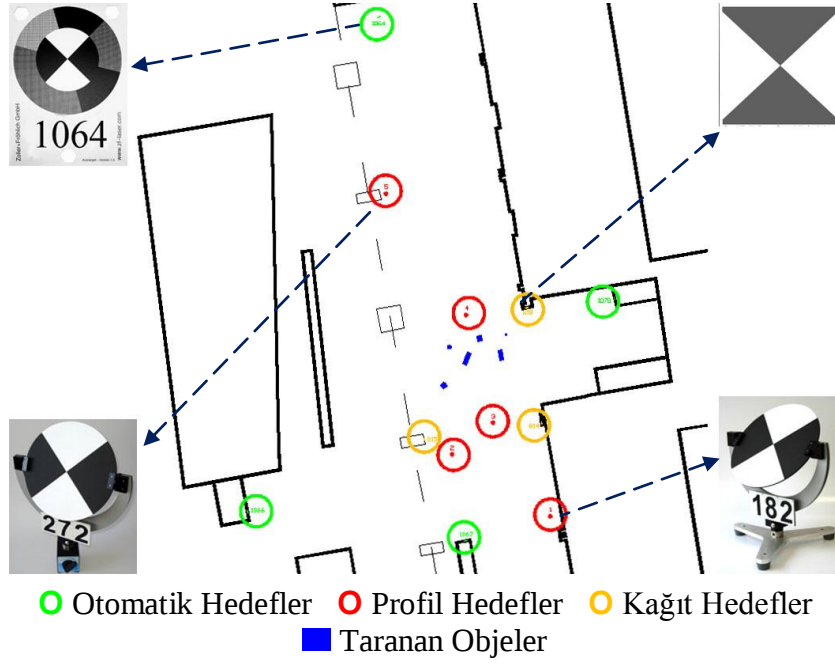
TLS ölçmeleri, objelere iki farklı ölçme uzaklığından (ortalama 3 m ve 10 m) 8 farklı istasyona alet kurularak yapılmıştır (Şekil 3.4).



- 1.Grup TLS istasyonları (Objelere yaklaşık 0-3 m uzaklığında).
- 2.Grup TLS istasyonları (Objelere yaklaşık 10-15 m uzaklığında).

Şekil 3.4 : TLS istasyonları.

Tarama öncesinde çalışma alanında uygun yerlere, TLS ile farklı istasyonlardan yapılan taramaların birleştirilmesinde kullanılmak için geri yansıtımlı hedefler yerleştirilmiştir. Bunun için 5 adet profil (kırmızı), 3 adet kağıt (sarı) ve 4 adet otomatik hedef (kırmızı) kullanılmıştır (Şekil 3.5).



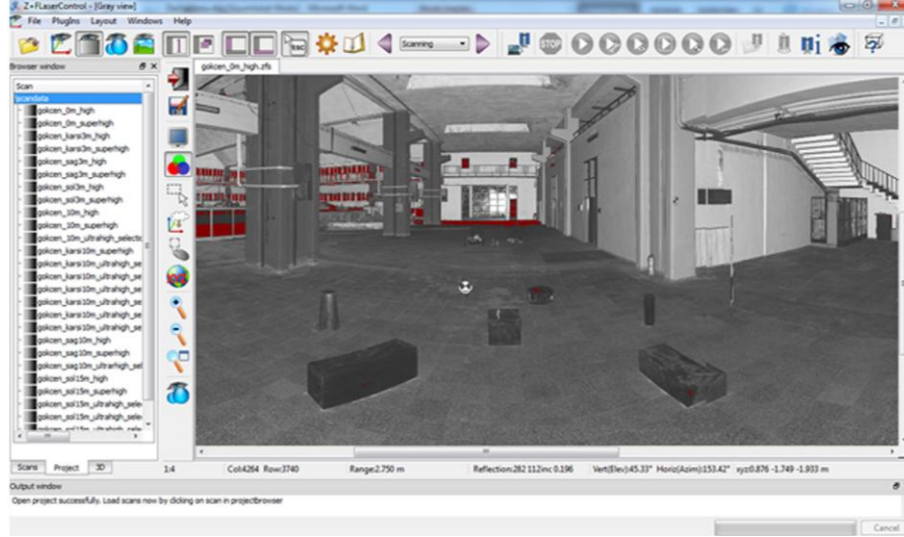
Şekil 3.5 : Hedeflerin dağılımı.

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. TLS, laptop ile WLAN bağlantı yapılarak Z+F LaserControl yazılımı ile kumanda edilmiştir (Şekil 3.6).



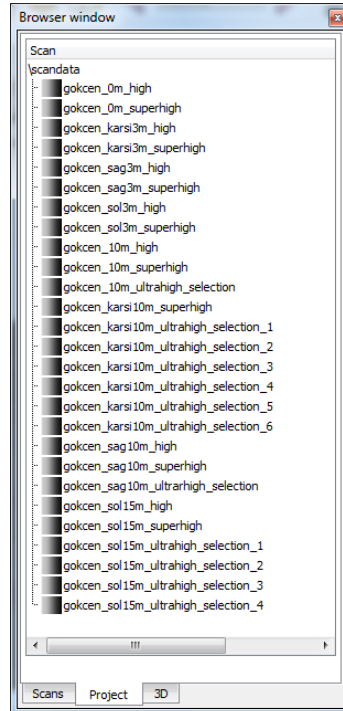
Şekil 3.6 : Objelerin TLS ile ölçümü – Laptop bağlantısı.

Z+F LaserControl yazılımında tarama verilerinin içine kaydedileceği proje dosyası (scandata.zfprj) oluşturulmuştur. Her bir tarayıcı istasyonunda yapılacak her farklı moddaki ölçmeler için, tarama dosyaları açılmış ve tarama parametreleri (taramanın yoğunluğu - high, superhigh, ultrahigh, taranacak bölgenin seçimi) belirlenerek taramalar yapılmıştır (Şekil 3.7).



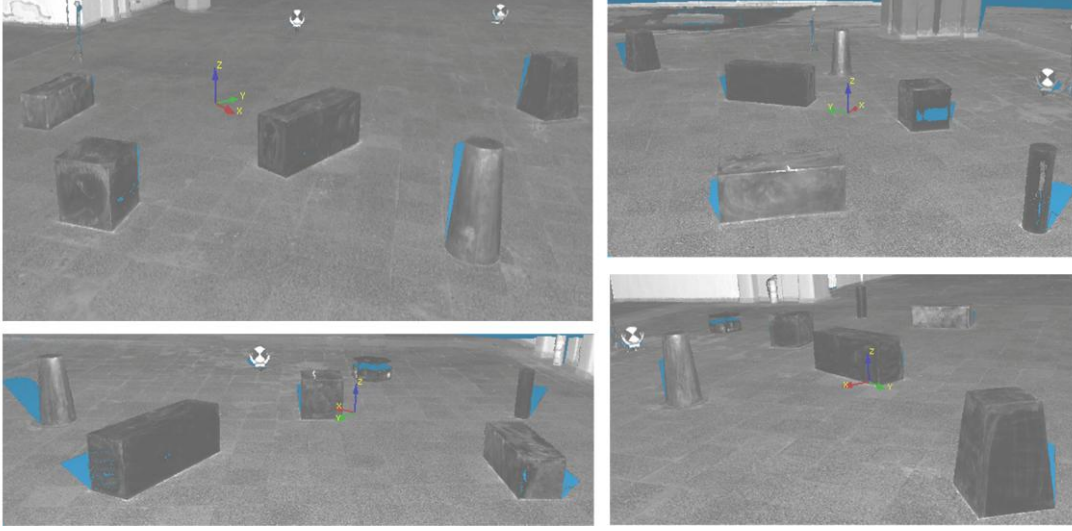
Şekil 3.7 : Z+F LaserControl tarama ekranı.

TLS'nin kurulduğu 8 farklı istasyondan taramalar tamamlanmıştır. Taramalar sonucunda, 28 adet tarama dosyası elde edilmiştir (*.zfs) (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 : 8 farklı istasyonda elde edilen tarama dosyaları (zfs formatında).

Objelere yaklaşık 3 m uzaklıktaki tarama istasyonlarından (1. Grup) elde edilen 3D nokta bulutları örnek olarak Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9 : Farklı istasyonlardan elde edilen 3D nokta bulutları (3m- high tarama).

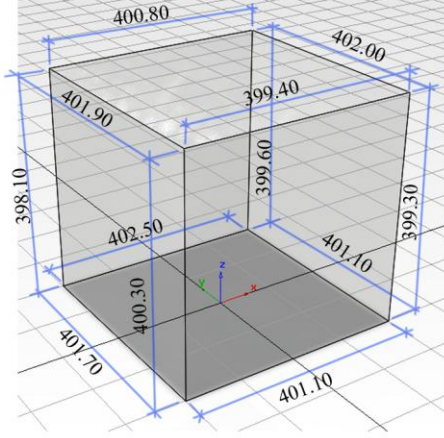
3.2 Objelerin Kenar Uzunluklarının Ölçülmesi

Karşılaştırmada kullanılacak olan kesin uzunluk değerlerinin belirlenmesi için her bir objenin kenarları mekanik bir kumpas ile ölçülmüştür (Şekil 3.10). Ölçmelerde, 0.1 mm okuma inceliğine sahip 500 mm’lik ve 0.02 mm okuma inceliğine sahip 1000 mm’lik kumpaslar kullanılmıştır.

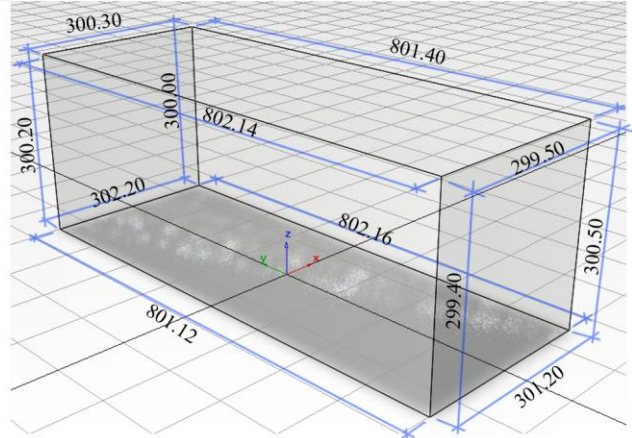


Şekil 3.10 : Kumpasla ölçüm.

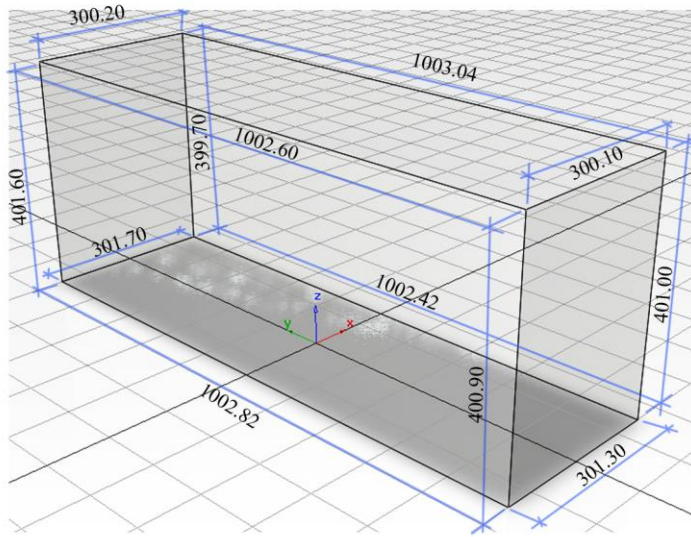
Dikdörtgen prizmalar, küp ve kesik piramitin kenar uzunlukları çoklu ölçümlerin ortalamasıyla elde edilmiştir. Kesik koninin üst, alt çapları ve eğik uzunluğu çoklu ölçümler ortalaması ile bulunmuş ve ortalama yükseklik hesaplanmıştır. Silindirin çapı ve yüksekliği çoklu ölçümler ortalaması ile elde edilmiştir (Şekil 3.11).



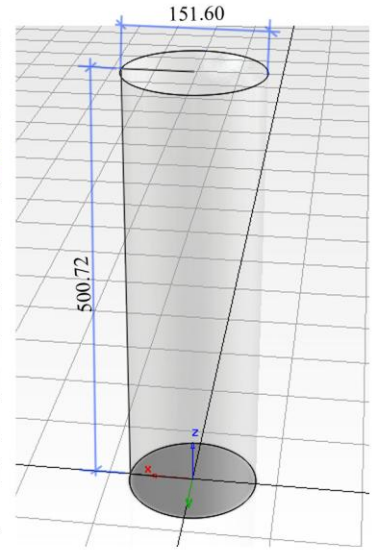
Küp



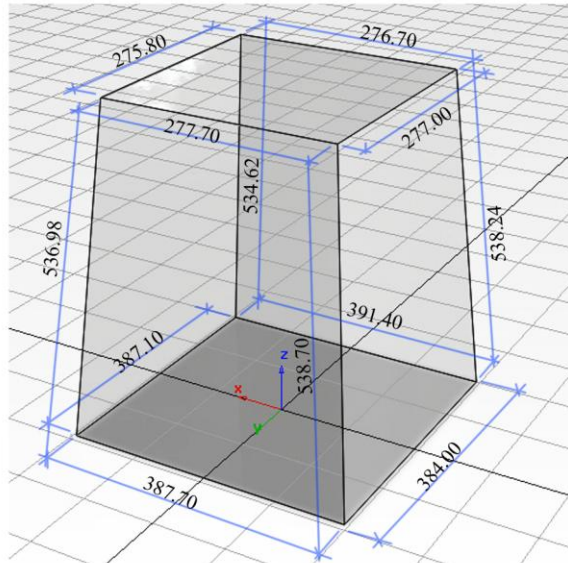
Dikdörtgen Prizma (Metal)



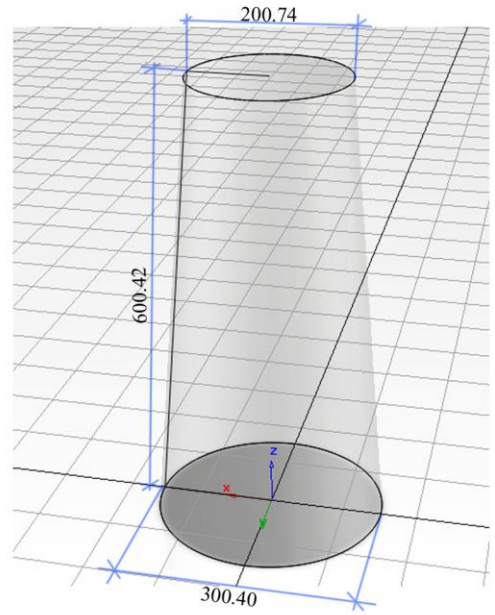
Dikdörtgen Prizma (Siyah)



Silindir



Kesik Piramit



Kesik Koni

Şekil 3.11 : Obejelerin kumpasla ölçmeleri sonucu elde edilmiş boyutları (mm).

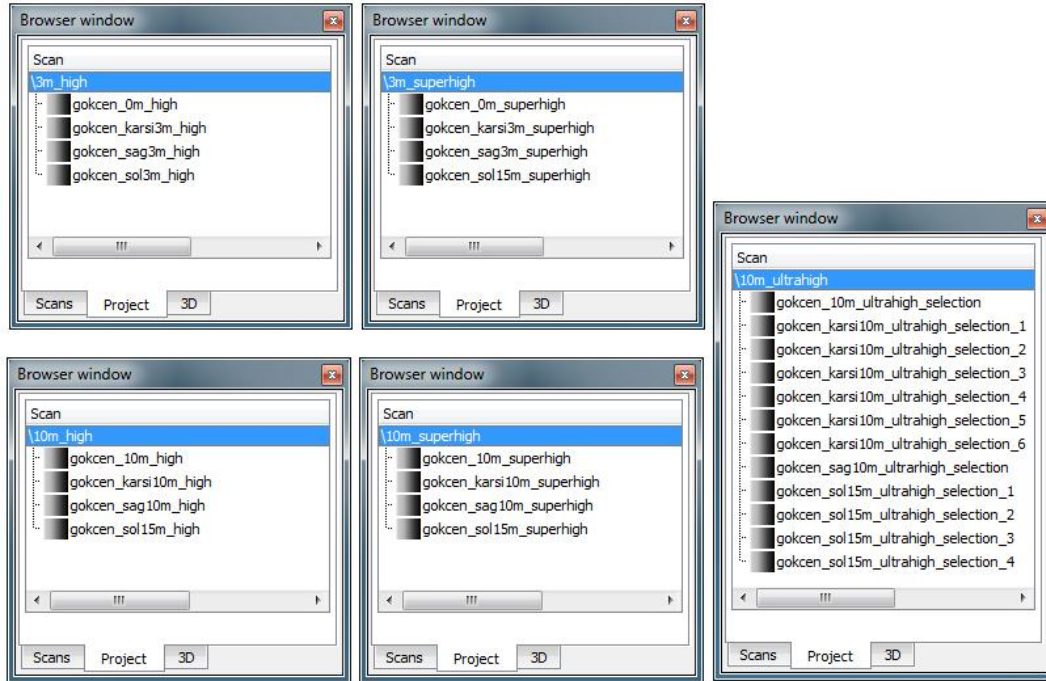
3.3 Yersel Lazer Tarayıcı İle Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi

TLS ile yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen veriler Z+F LaserControl yazılımında değerlendirilmiştir.

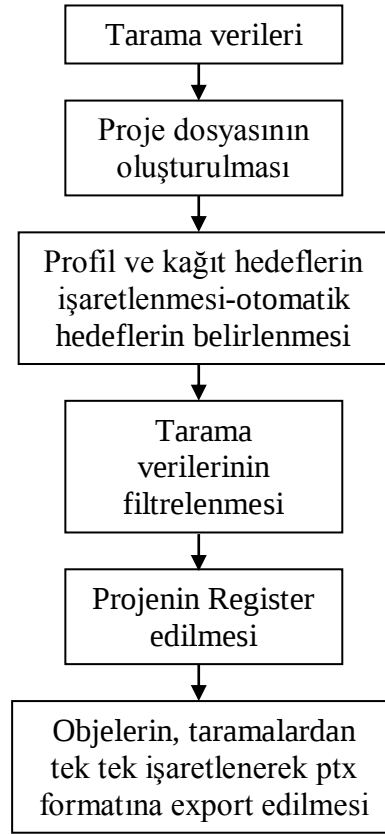
Z+F LaserControl programında 5 farklı proje dosyası oluşturulmuştur.

- 3m mesafeden yapılan “high” moddaki (3m_high.zfprj),
- 3m mesafeden yapılan “superhigh” moddaki (3m_superhigh.zfprj),
- 10m mesafeden yapılan “high” moddaki (10m_high.zfprj),
- 10m mesafeden yapılan “superhigh” moddaki (10m_superhigh.zfprj),
- 10m mesafeden yapılan “ultrahigh” moddaki (10m_ultrahigh.zfprj)

taramalardan elde edilen zfs uzantılı tarama dosyaları oluşturulan projeler içine alınmıştır (Şekil 3.12).

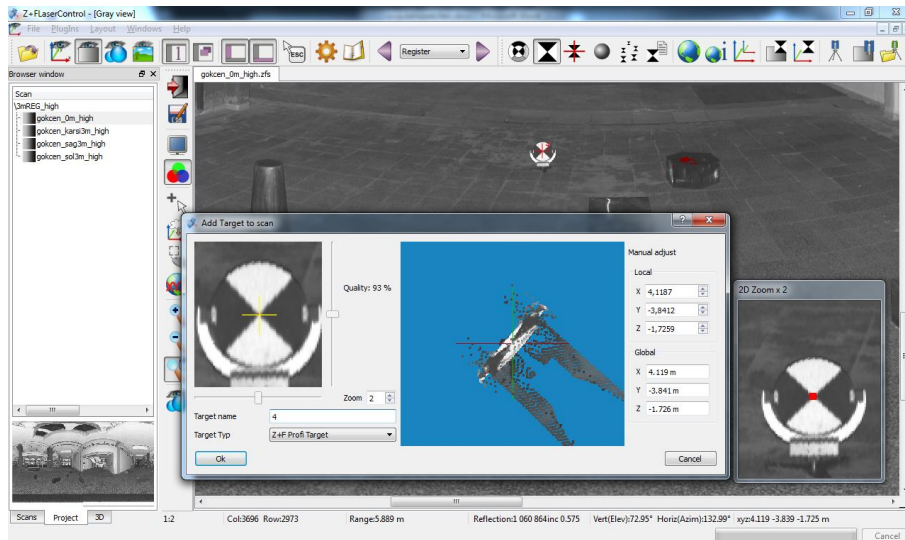


Şekil 3.12 : Taramalardan oluşturulan proje dosyaları.



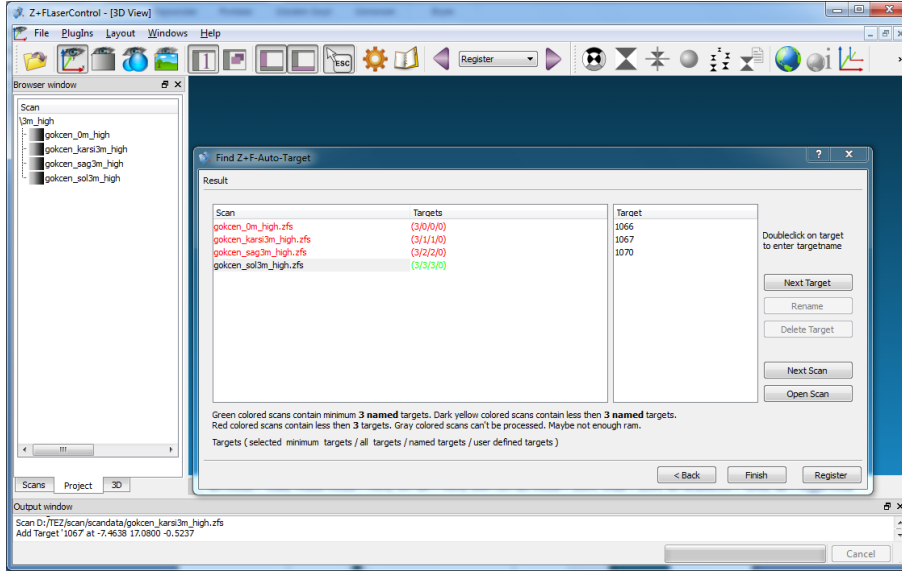
Şekil 3.13 : Z+F LaserControl yazılımı ile yapılan işlemler.

Oluşturulan her bir proje dosyasına Şekil 3.13'te sıralanan işlemler uygulanmıştır. Projeler içindeki tarama verileri tek tek açılarak taranan hedeflerden profil ve kağıt olanlar işaretlenerek tanımlanmıştır (Şekil 3.14).



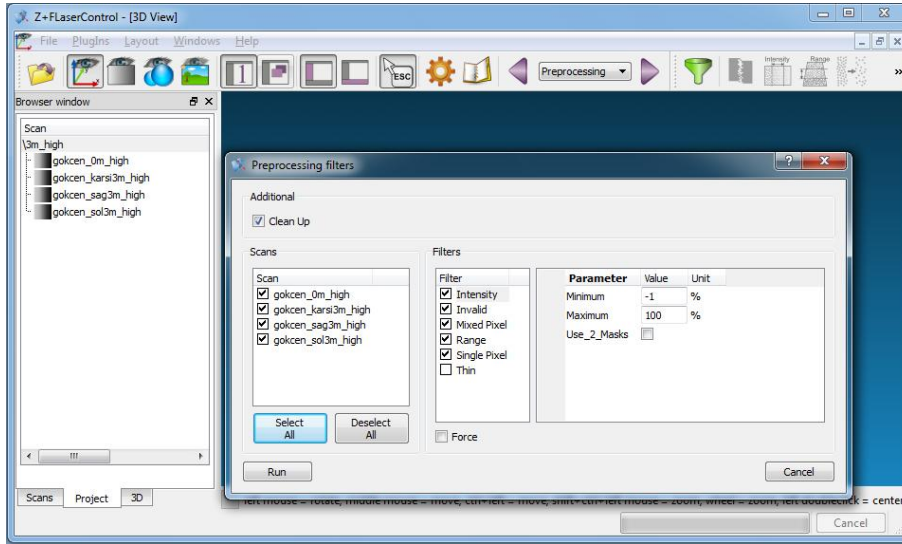
Şekil 3.14 : Profil ve kağıt hedeflerin tanımlanması.

Yapılan taramalarda, register işlemini hızlandırmak için Z+F Tarayıcı ile kullanılmak üzere üretici firma tarafından geliştirilmiş yüksek hassasiyetli 4 adet otomatik hedef kullanılmıştır. Bu hedefler Z+F LaserControl yazılımında yapılan bir işlemle otomatik olarak tanımlanmıştır Şekil (3.15).



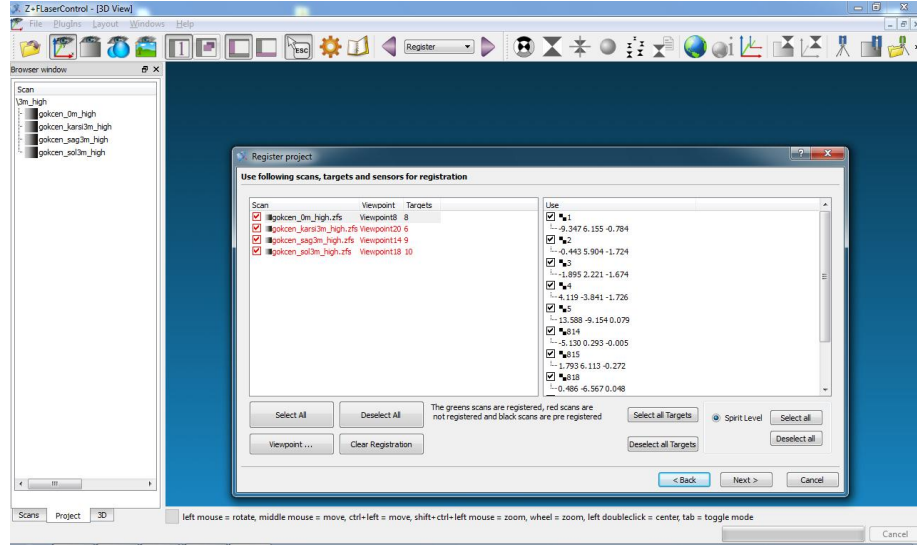
Şekil 3.15 : Otomatik hedeflerin tanımlanması.

Hedeflerin tanımlanması adımı tamamlandıktan sonra projelerde filtreleme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.16).



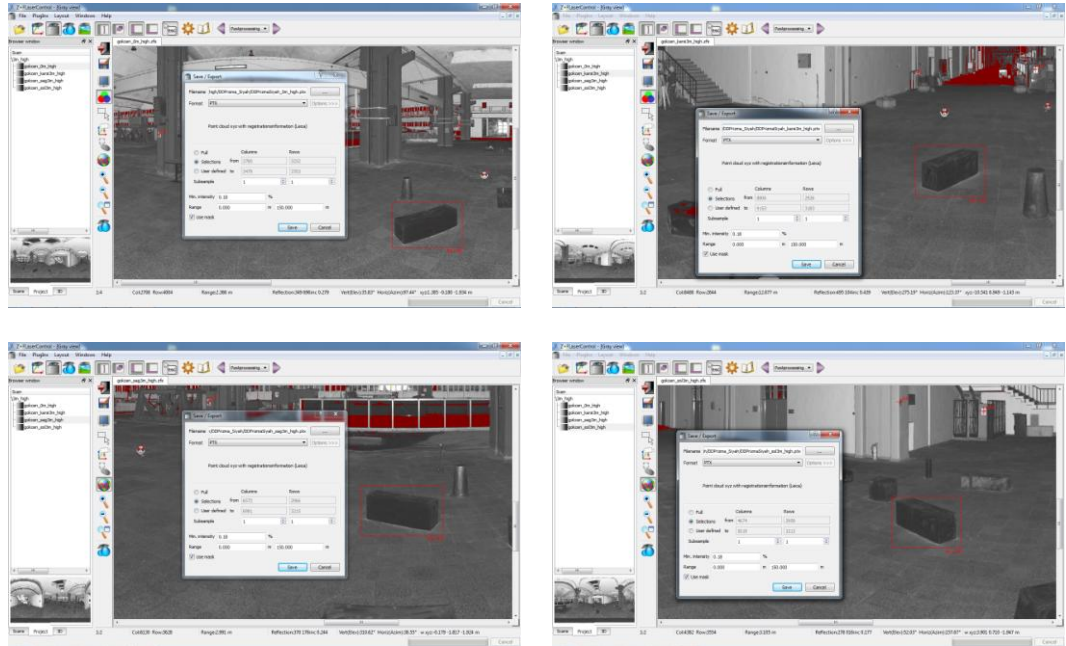
Şekil 3.16 : Filtreleme ekranı.

Hedeflerin tanımlanması ve filtreleme işlemi tamamlandıktan sonra farklı tarama pozisyonlarından elde edilen tarayıcı bazlı koordinat sistemine sahip nokta bulutlarını tek bir koordinat sistemine getirmek için register işlemi yapılmıştır (Şekil 3.17).



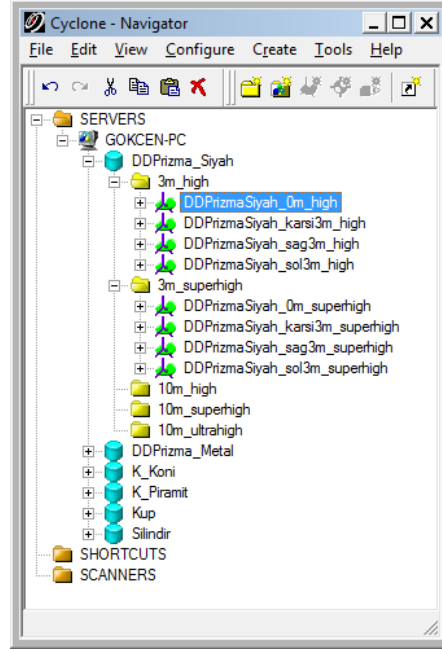
Şekil 3.17 : Register ekranı.

Projeler ayrı ayrı register edildikten sonra, 5 proje dosyasından, farklı pozisyonlardan elde edilen tarama verilerinden, 6 obje ayrı ayrı seçilerek veri, ptx formatına export edilmiştir (Şekil 3.18). Bu aşamadan sonra Cyclone yazılımı kullanılmıştır.



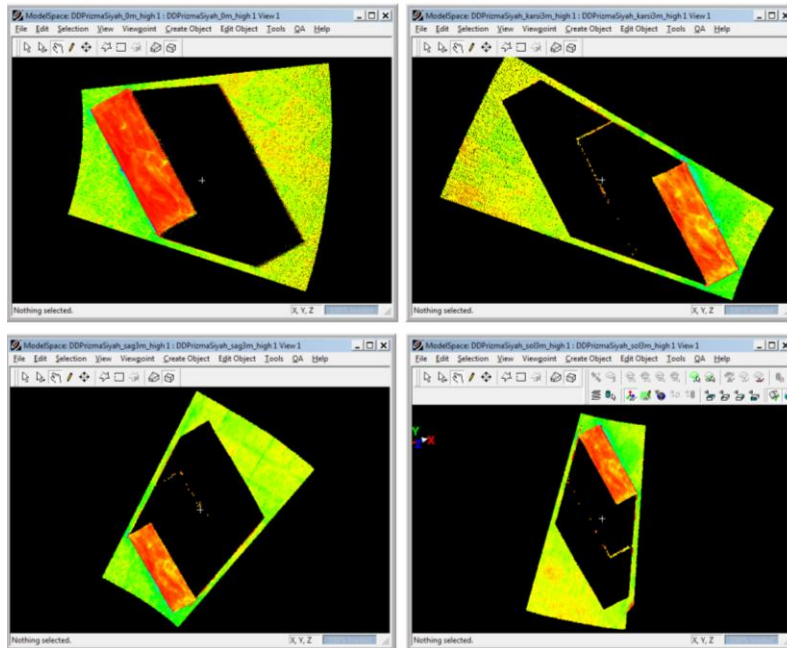
Şekil 3.18 : Objelerin ptx formatına export edilmesi.

Cyclone programında her bir obje için ayrı “database” oluşturulmuştur. Bu databaseler içine 5 farklı grup tarama için 5 dosya oluşturulmuş ve ptx formatındaki tarama verileri bu dosyalar içine import edilmiştir (Şekil 3.19).



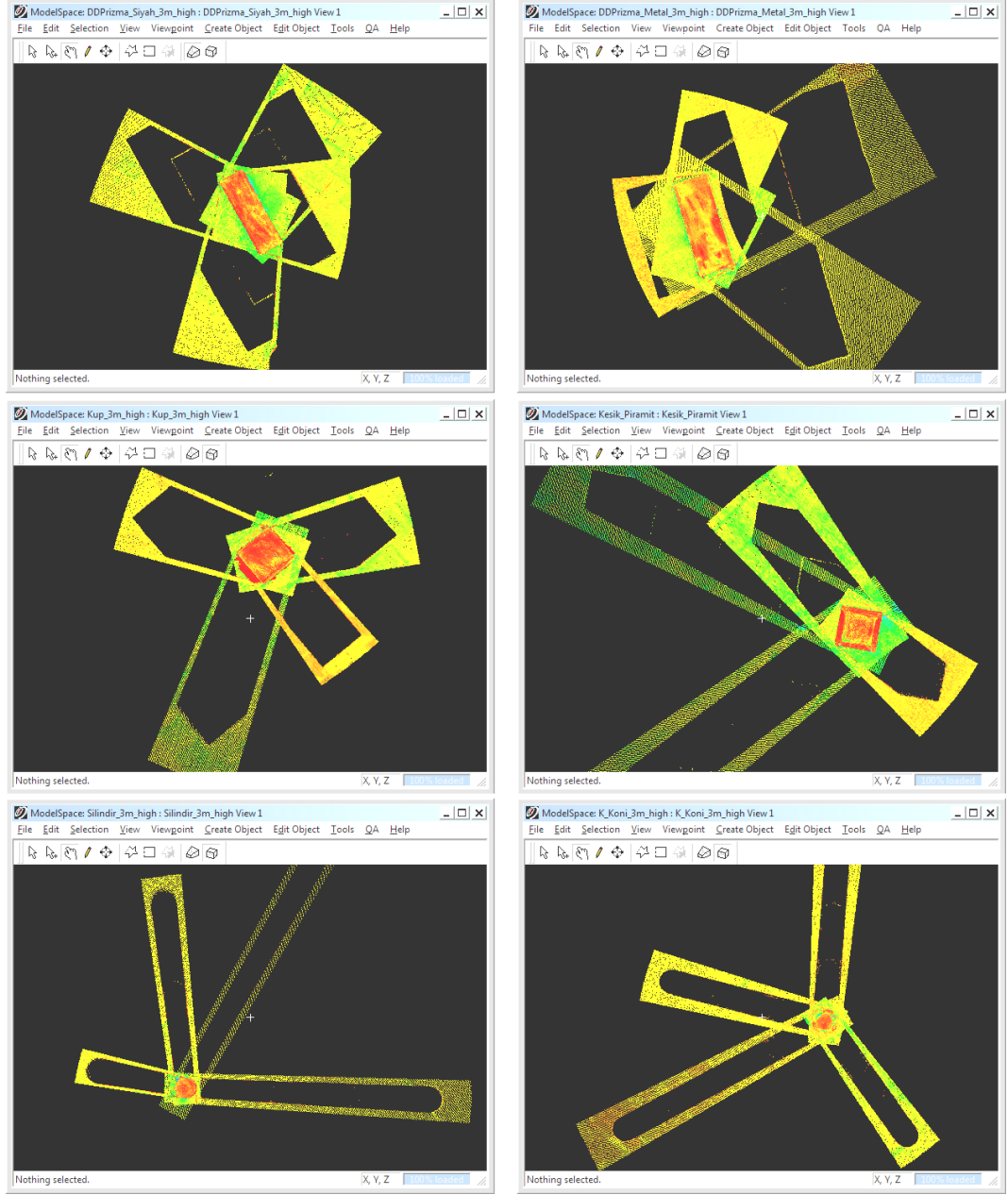
Şekil 3.19 : Cyclone yazılımında oluşturulan databaseler.

Z+F LaserControl yazılımında aynı koordinat sistemine getirilen (registration) ve sonrasında Cyclone yazılımı içinde oluşturulan dosyalara alınan nokta bulutları (Şekil 3.20) birleştirilmiştir (Şekil 3.21).



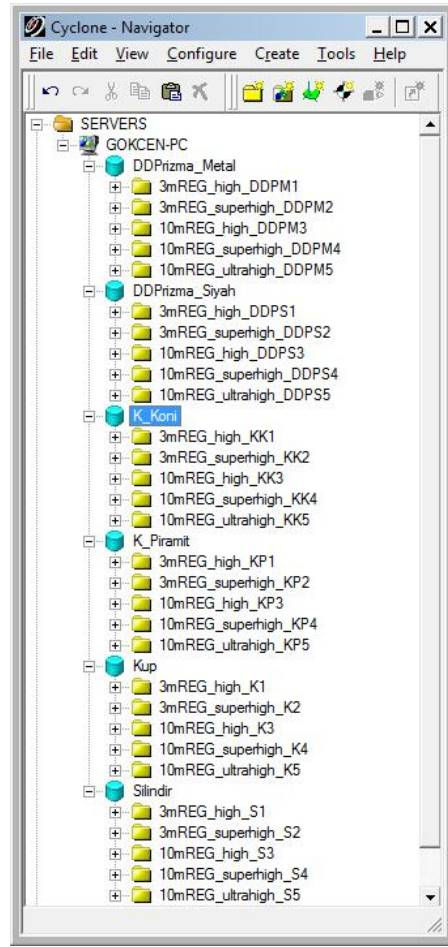
Şekil 3.20 : Siyah Dikdörtgen Prizmanın 3D nokta bulutları (3m-high).

Şekil 3.21’de birleştirilen nokta bulutlarından bir grup, örnek olarak görülmektedir. Birleştirme işlemi, her bir objenin 5 farklı tarama grubu için ayrı ayrı yapılmıştır.



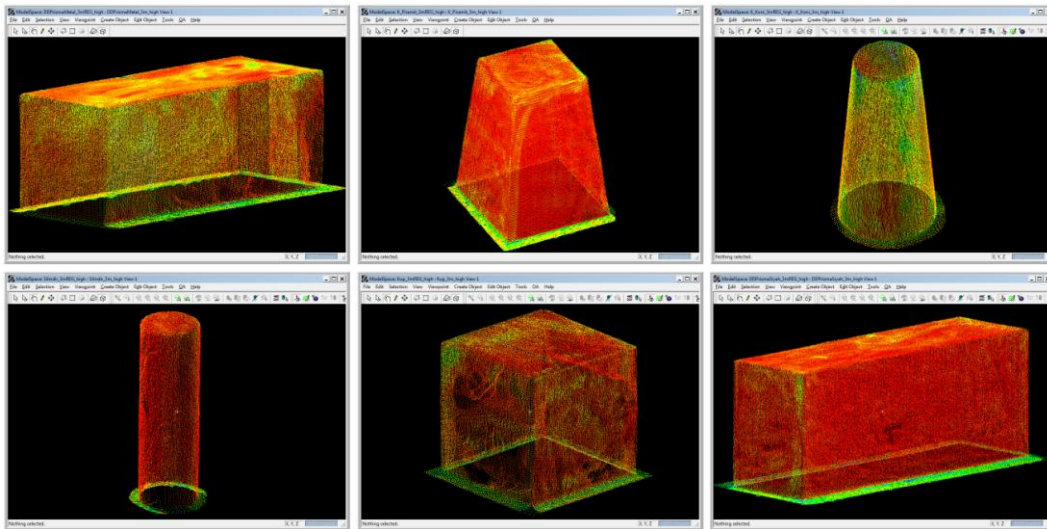
Şekil 3.21 : Objelerin Cyclone’da birleştirilmiş nokta bulutları (3m-high).

Birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra Cyclone yazılımında oluşan veri yapısı Şekil 3.22’deki gibidir.



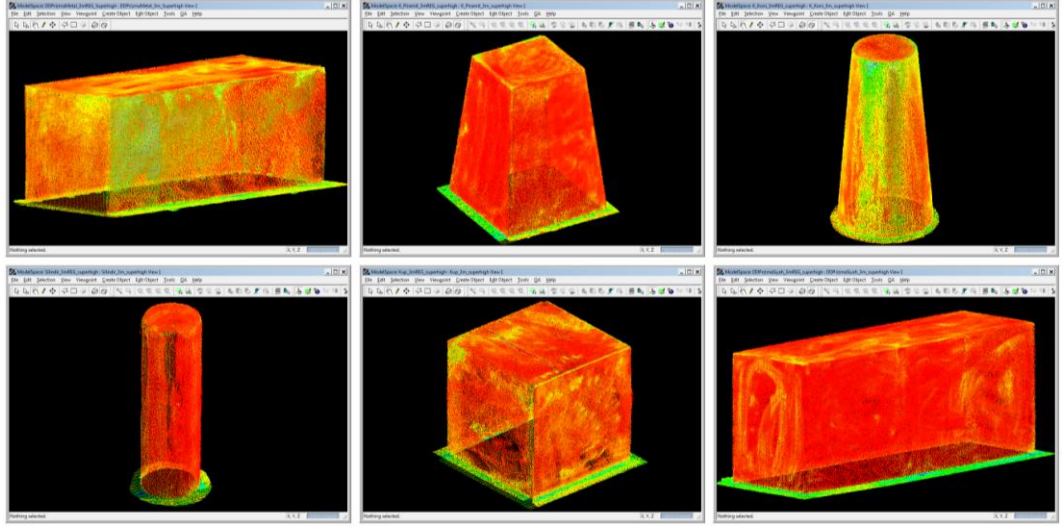
Şekil 3.22 : Objelere ait farklı tarama modlarındaki 3D nokta bulutu dosyaları.

Birleştirilen nokta bulutu verilerinden, objeler dışındaki gereksiz noktalar temizlenmiştir. Şekil 3.23'te objelerin 3 m mesafeden “high” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali görülmektedir.



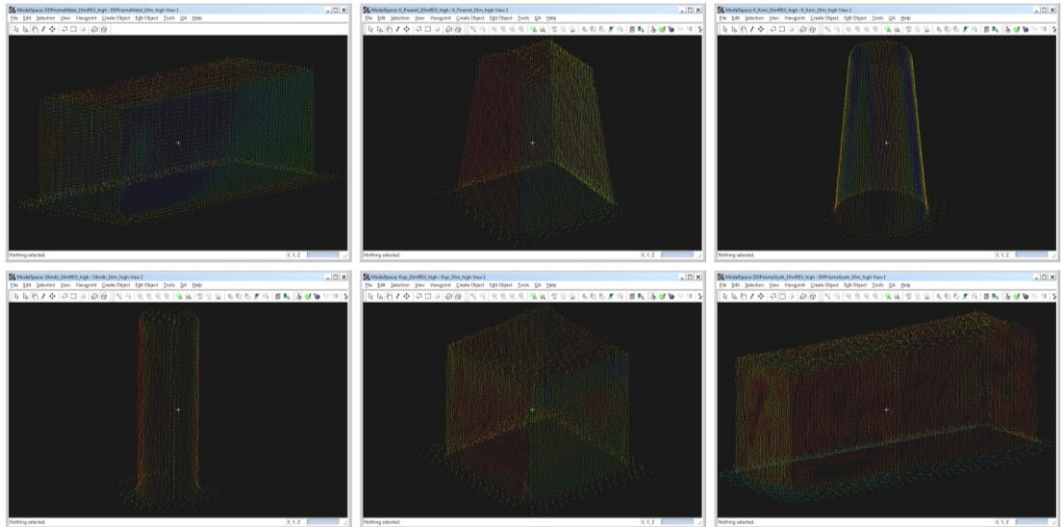
Şekil 3.23 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (3m-high).

Şekil 3.24’te objelerin 3 m mesafeden “superhigh” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali görülmektedir.



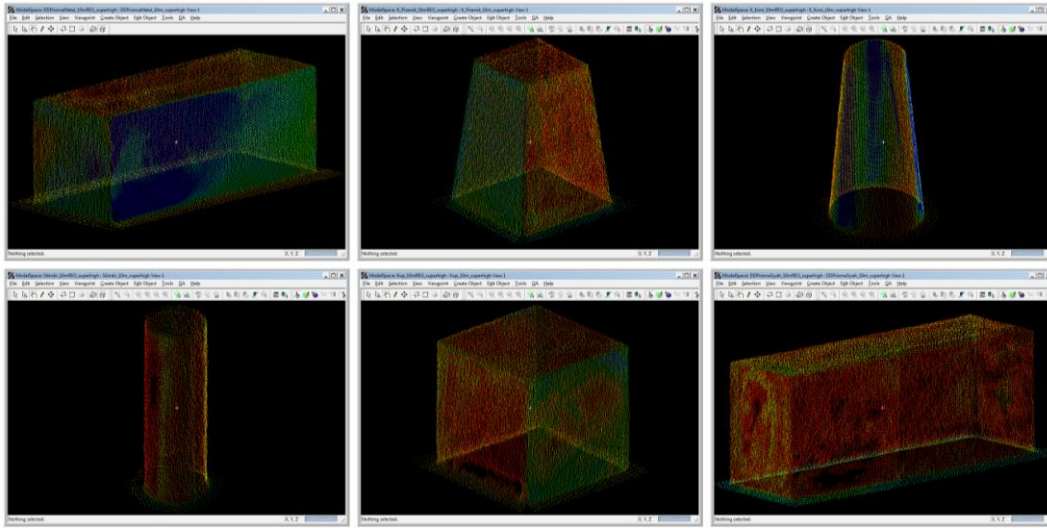
Şekil 3.24 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (3m-superhigh).

Şekil 3.25’te objelerin 10m mesafeden “high” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali görülmektedir.



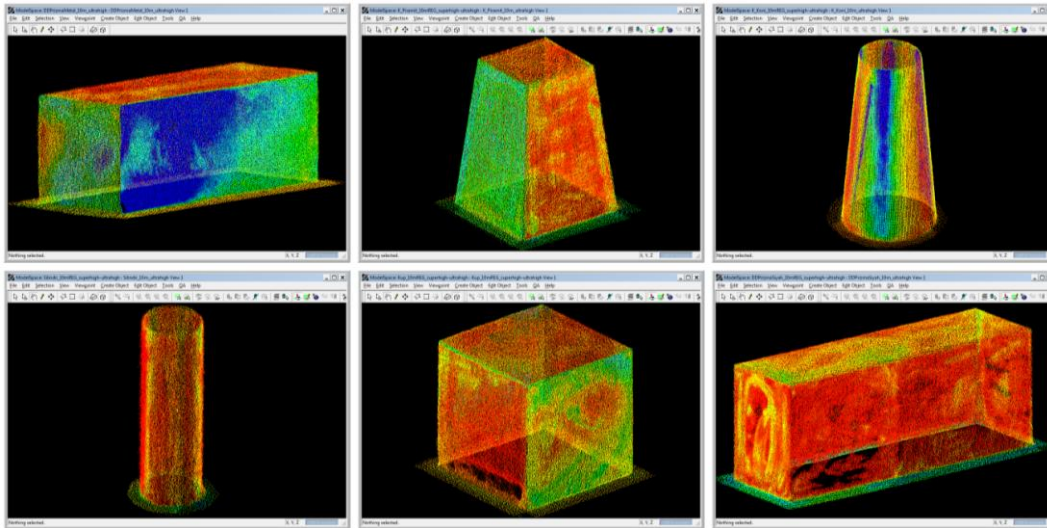
Şekil 3.25 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-high).

Şekil 3.26’da objelerin 10 m mesafeden “superhigh” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali görülmektedir.



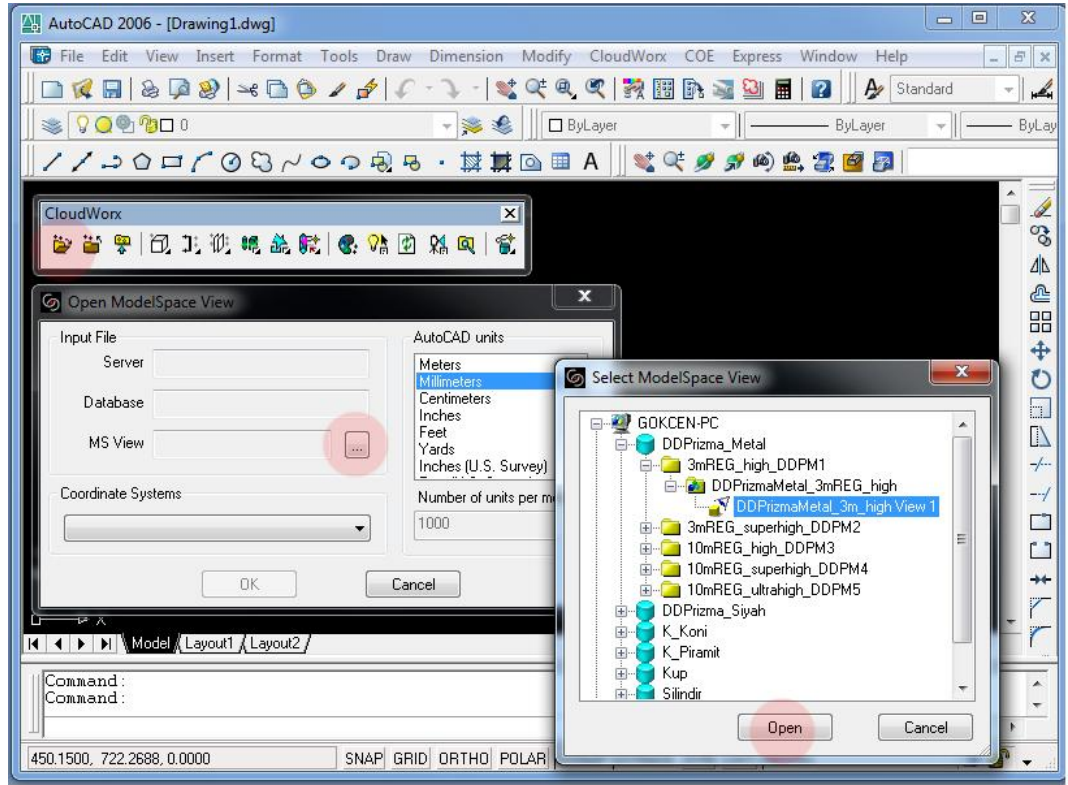
Şekil 3.26 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-superhigh).

Şekil 3.27’de objelerin 10 m mesafeden “ultrahigh” tarama yoğunluğunda elde edilen nokta bulutlarının temizlenmiş hali görülmektedir.



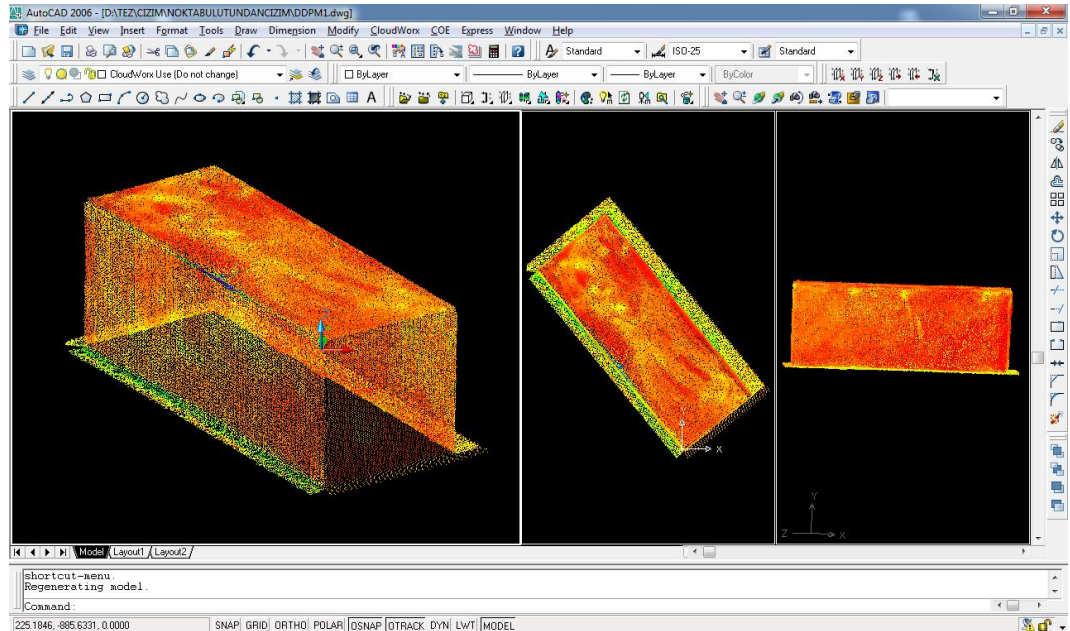
Şekil 3.27 : Objelerin temizlenmiş 3D nokta bulutları (10m-ultrahigh).

Elde edilen 3D nokta bulutları ile objelerin çizimleri yapılmıştır. Çizimler için “AutoCAD” yazılımı kullanılmıştır. Cyclone’da derlenen 3D nokta verilerini AutoCAD içine almak ve bu verileri kullanmak için Cyclone ile birlikte gelen “CloudWorx” yama yazılımı kullanılmıştır. Her bir 3D nokta bulutu Autocad’de ayrı projelerde açılmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 : 3D nokta bulutu verisinin AutoCAD’de açılması.

Şekil 3.29’da metal dikdörtgen prizmanın, AutoCAD’de açılan 3 D nokta bulutunun farklı açılardan görünümü verilmiştir.

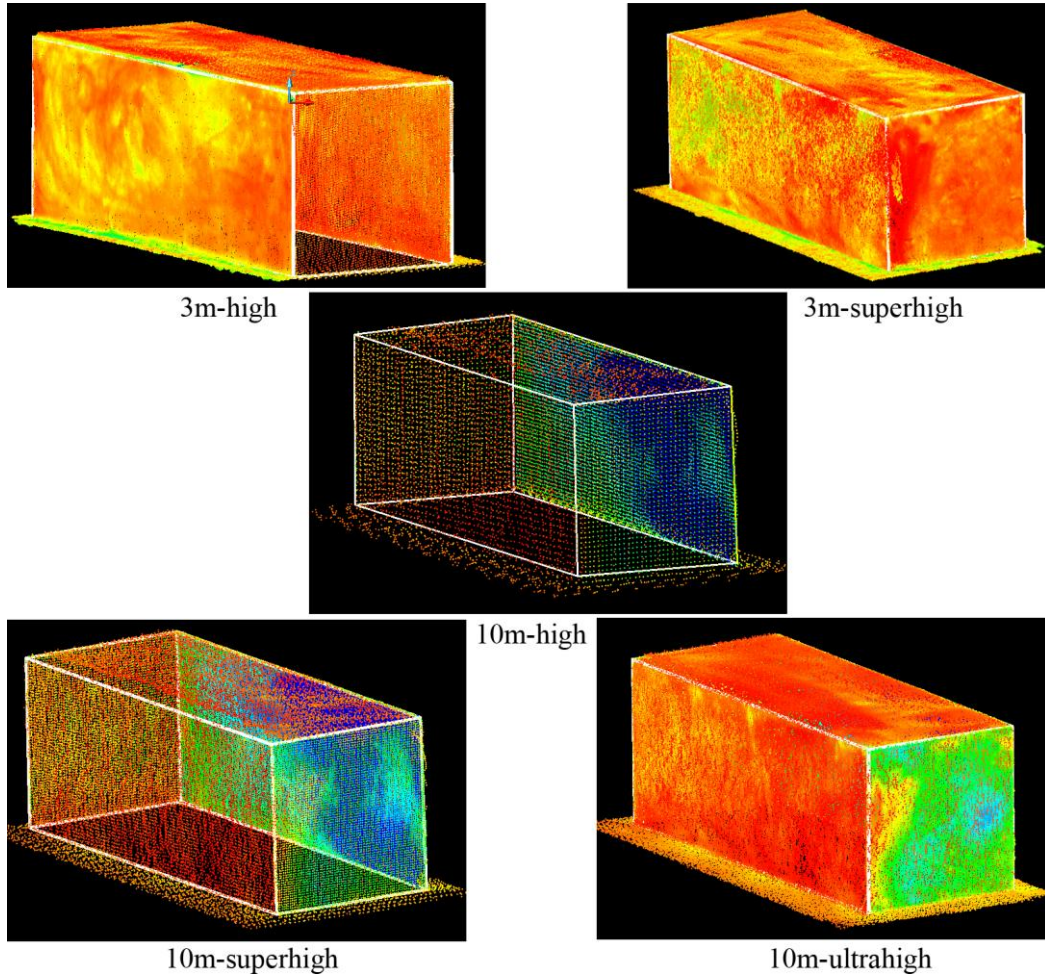


Şekil 3.29 : Autocad’de açılmış metal dikdörtgen prizmanın 3D nokta bulutu.

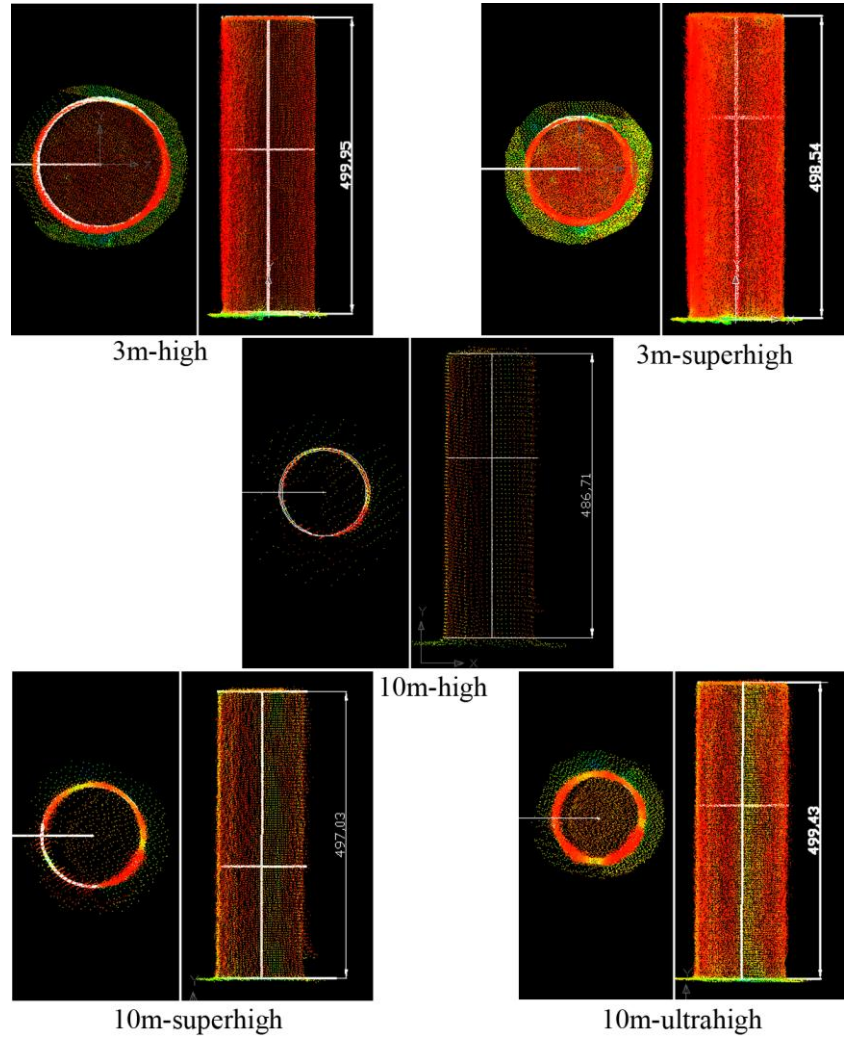
Dikdörtgen prizmaların, kesik piramit ve küpün ayrıtları, 3D nokta bulutlarından faydalanılarak çizilmiştir. Objelerin köşelerinde uygun ve yeteri kadar nokta bulunmadığı durumlarda aradaki noktalardan çizilmiş doğrular kesiştirilerek köşeler oluşturulmuştur. Aynı zamanda nokta bulutu yatay ve düşey 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 prizma ve silindirin, 5 farklı moddaki 3D nokta bulutu ile birlikte olan çizimleri Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de örnek olarak verilmiştir.



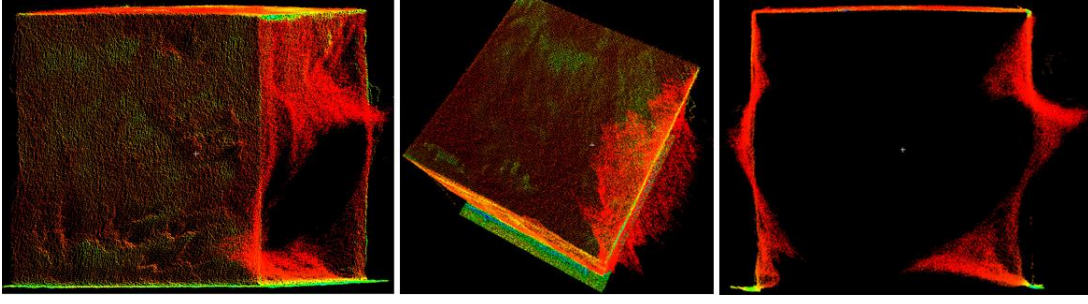
Şekil 3.30 : Metal dikdörtgen prizmanın 3D nokta bulutu ile çizimleri.



Şekil 3.31 : Silindirin 3D nokta bulutu ile çizimleri.

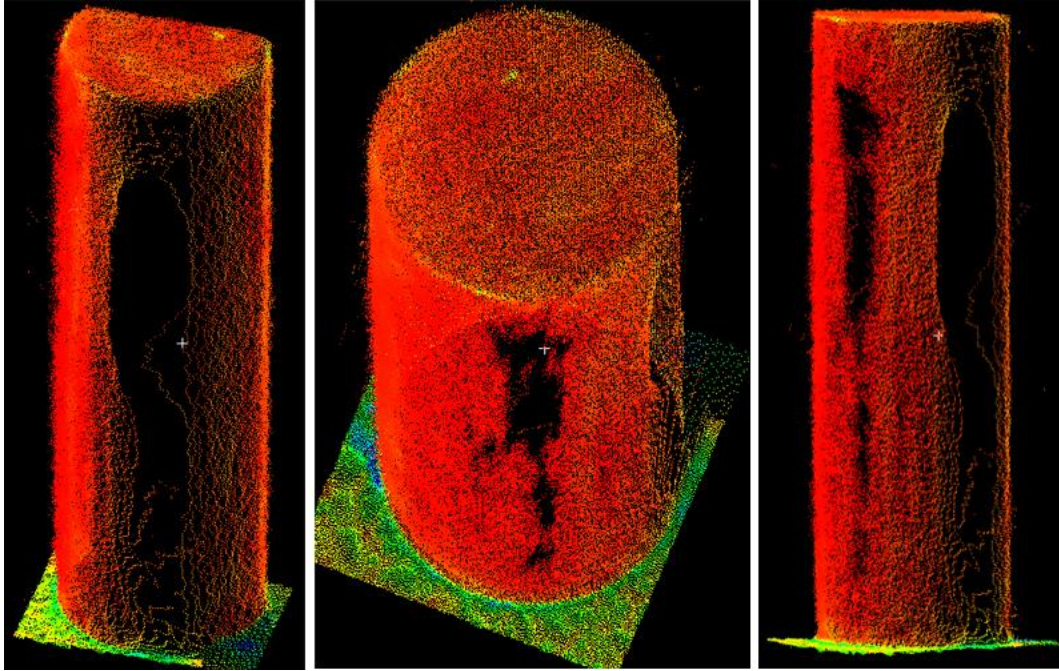
Tüm objelerin elde edilen çizimlerinden kenar uzunlukları tespit edilmiştir. Bu kenar uzunluklarının kumpasla yapılan ölçmelerden elde edilen kesin kenar uzunlukları ile olan farkları bulunmuştur. Objelere ait kenar uzunluk karşılaştırmaları ve grafikleri EK A.2'deki Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5 ve Çizelge A.6'da verilmiştir.

3D nokta verilerinin değerlendirilmesi sırasında, düzgün ve pürüzsüz olan obje yüzeylerinden elde edilen 3D nokta bulutu verilerinin düzensiz ve bozuk olduğu görülmüştür. Şekil 3.32'de 3 m'den superhigh modda yapılan taramalarla elde edilen 3D nokta verilerinden Küp'e ait nokta bulutu verisindeki bozulmalar verilmiştir.



Şekil 3.32 : K   n 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).

Ayrıca değerlendirmeler esnasında görölmüşür ki; siyah renkli objeler lazer ışınına daha az yansıtılmış, hatta obje yüzeylerinin bazı bölgelerinde hiç nokta verisi elde edilememiştir. Bu durum, Şekil 3.33’de 3 m’den superhigh modda yapılan taramalarla elde edilen Silindir’e ait 3D nokta bulutu verisinde görülmektedir.



Şekil 3.33 : Silindirin 3D nokta bulutu verisi (3m superhigh).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, deformasyon ölçmelerinden sinema endüstrisine kadar birçok alanda kendisine yeni uygulama alanları kazanan, ölçme işlemine yeni bir boyut katan yersel lazer tarayıcılar, birçok araştırmanın konusu olmaktadır.

Klasik donanımlara alternatif ve rakip olarak gelişmekte olan TLS'lerin hangi doğruluklarda ölçme yaptığının bilinmesi son derece önemlidir. Klasik donanımların ölçme doğrulukları çeşitli çalışmalarla belirlenebilmektedir. TLS'lerle de çeşitli kontrol ve kalibrasyon ölçmeleri ile doğruluk analizi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada düzgün geometrik şekle sahip objeler TLS ile ölçülmüş ve 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 bulunamadığı durumlarda doğrultular çizilerek, iki doğrultunun kesişimi ile köşe noktaları elde edilmiştir. 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.

Ayrıca objelerin renkleri ve parlaklıklarının 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 ışınına daha az yansıttığı, hatta obje yüzeylerinin bazı bölgelerinde hiç nokta verisi elde edilmediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan tarayıcının faz farkı metoduyla çalışan bir tarayıcı olduğu da dūřınılırse, bu tarayıcıların objeye daha yakın mesafelerde daha iyi sonuç verdikleri sōylenabilir. Obje yūzeylerinin yansıtıcılığı, rengi ve parlaklığı gibi ōzelliklerinin veri kalitesini etkilediği gōrūlmūřtır.

Birçok farklı uygulamada, objeye ait 3D konum verilerinin hızlı ve detaylı bir řekilde toplanması TLS'lerle mūmkūndūr. Uygulamada hangi tip tarayıcının kullanılacağına karar vermek en ōnemli adımdır.

Tarama verileri deėerlendirilirken, obje yūzeylerinin ōzellіğine gōre farklılık gōsterebilen 3D nokta bulutu verilerinin zaman zaman dūzensiz veya yanlış olabileceėi, taranan objeyi birebir yansıtmayabileceėi gōz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- Balzani, M., Pellegrinelli, A., Perfetti, N. and Uccelli, F.,** 2001: A terrestrial laser scanner: accuracy tests, *In Proceedings of 18th International Symposium CIPA*, Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 445 – 453.
- Barber, D., Mills, J. and Bryan, P.,** 2002: Laser Scanning and Photogrammetry: 21st Century Metrology, Department of Geomatics University of Newcastle upon Tyne, UK, Representative for CIPA, English Heritage Metric Survey Team, Tanner Row, York, UK. Url:<http://cipa.icomos.org/text%20files/potsdam/2001-08-db01.pdf>.
- Boehler, W. and Marbs, A.,** 2002: 3D Scanning Instruments, i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany. Url:http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/korfu/p05_Boehler.pdf.
- Boehler, W. and Marbs, A.,** 2005: Investigating Laser Scanner Accuracy, i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany Url: http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/Investigating_Accuracy_Mintz_White_Paper.pdf.
- Clark, J. and Robson, S.,** 2004: Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 laser scanner against surfaces of known color. *Survey Review*, Vol. 37, 294, pp. 626 – 638.
- Fangi, G., Fiori, F., Gagliardini, G. and Malinverni, E. S.,** 2001: Fast And Accurate Close Range 3D Modelling By Laser Scanning System, University of Ancona, via Brece Bianche, Ancona, Italy. Url:<http://cipa.icomos.org/text%20files/potsdam/2001-21-gf01.pdf>
- Fröhlich, C. and Mettenleiter, M.,** 2004: Terrestrial Laser Scanning – New Perspectives in 3D Surveying, *In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI-8/W2.
- Gordon, S., Lichti, D. and Stewart, M.,** 2001: Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements, *In Proceedings of the 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements*, March 19-22, Orange, California, USA, pp. 23 –32.
- Gordon, S., Lichti, D., Stewart, M. and Tsakiri, M.,** 2000: Metric performance of a highresolution laser scanner. *SPIE Proceedings*, Vol. 4309, pp. 174 – 184.

- Gümüş, K.**, 2008: Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul.
- Johansson, M.**, 2002: Explorations into The Behaviour Of Three Different High-Resolution Groundbased Laser Scanners in The Build Environment, *In Proceedings of International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording – Complementing or Replacing Photogrammetry*, Corfu, Greece, September 1-2.
- 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.
- Koska, B., Kremen, T., Stroner, M., Pospisil, J. and Kaspar, M.**, 2004: Development of Rotation Scanner, Testing of Laser Scanners, *In Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying*, Bratislava, Slovakia, November 11-13.
- Kremen, T.**, 2005: Testing of Terrestrial Laser scanners, *In Optical 3D Measurement Techniques VII*, A. Grün / H. Kahmen (Eds.), Vol. II, pp. 329 – 334.
- Lichti, D. D. and Gordon, S. J.**, 2004: Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, *In Proceedings of FIG WorkingWeek*, Athens, Greece, May 22-27.
- Lichti, D. D. and Harvey, B. R.**, 2002: An Investigation into The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Terrestrial Laser Scanner Measurements, *Geomatics Research Australasia*, No. 76, pp. 1 – 21.
- Lichti, D. D., Gordon, S. J., Stewart, M. P., Franke, J. and Tsakiri, M.**, 2002a: Comparison of Digital Photogrammetry and Laser Scanning, *In Proceedings of International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry*, Corfu, Greece, September 1-2.
- Lichti, D. D., Gordon, S. J. and Stewart, M. P.**, 2002b: Ground-based laser scanners: operation, systems and applications, *Geomatica*, Vol. 56, No. 1, pp. 21 – 33.
- Lichti, D., Stewart, M., Tsakiri, M. and Snow, A. J.**, 2000: Benchmark Tests on a Three-Dimensional Laser Scanning System, *Geomatics Research Australasia*, No. 72, pp. 1 – 24.
- 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.

- 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.
- Santala, J. and Joala, V.**, 2003: On the Calibration of a Ground-based Laser Scanner, *In Proceedings of FIG Working Week*, Paris, France, April 13-17,
 Url: http://www.fig.net/pub/fig_2003/TS_12/TS12_4_Santala_Joala.pdf.
- Staiger, R.**, 2005: The Geometrical Quality of Laser Scanner (TLS), *In Proceedings of FIG Working Week 2005 and GSDI-8*, Cairo, Egypt, April 16-21.
 Url: http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_38/ts38_05_staiger.pdf.
- Tucker, C.**, 2002: Testing and Verification of the Accuracy of 3D Laser Scanning Data, *In Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa, Canada, July 9-12. Url: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/537.pdf>.
- Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E. and Kraus, K.**, 2004: Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology, *In Proceedings of FIG Working Week 2004*, Athens, Greece, May 22-27,
 Url: http://www.fig.net/pub/athens/papers/wsa1/wsa1_4_vozikis_et_al.pdf
- Wehr, A.**, 2005: Laser Scanning and its Potential to Support 3D Panoramic Recording, *Proceedings of the ISPRS workshop on Panoramic Photogrammetry*, Berlin, Germany, February 24-25,
 Url: http://www2.informatik.hu-berlin.de/~knauer/ISPRS/panoramicworkshop2005/Paper/PanoWS_Berlin2005_Wehr.pdf
- Wehr, A. and Lohr, U.**, 1999: Airborne Laser Scanning – An Introduction and Overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 68 – 82.
- Yılmaz, H.M., Yakar, M., Karabörk, H., Yıldız, F., Kavurmacı, M.M., Mutluoğlu, Ö. ve Göktepe A.**, 2008: Bir Peri Bacasındaki Deformasyonun Yersel Lazer Tarama Teknolojisi İle Belirlenmesi, 2. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Kayseri, 13-15 Ekim.
 Url-1 < http://www.zf-laser.com/e_z_f-laserscanner.htm >, alındığı tarih 08.03.2011.
 Url-2 < <http://scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php> >, alındığı tarih 28.11.2008.
 Url-3 < http://www.zf-laser.com/Datenblatt_IMAGER5006i_E.pdf >, alındığı tarih 08.03.2011.

EKLER

EK A.1 : Z+F Imager 5006i Yersel Lazer Tarayıcı teknik özellikleri (Url-3).

EK A.2 : Uzunluk karşılaştırma çizelgeleri.

EK A.1

Technical data Z+F IMAGER® 5006i

The imaging 3D laser measurement systems are applicable in the fields of digital planning of factories, industrial plants, architecture, protection of historic monuments, landscape and virtual reality. They are based upon the spot Z+F Laser Measurement System LARA:

Laser measurement system

Ambiguity interval:	79 m
Min. range:	0.4 m
Resolution range:	0.1 mm
Data acquisition rate:	≤ 508 000 pxl/sec.
Linearity error up to 50m: ¹	≤ 1 mm
Range noise at 10 m: ^{1 2}	
> Reflectivity 10% (black):	1.2 mm rms
> Reflectivity 20% (dark grey):	0.7 mm rms
> Reflectivity 100% (white):	0.4 mm rms
Range noise at 25 m: ^{1 2}	
> Reflectivity 10% (black):	2.6 mm rms
> Reflectivity 20% (dark grey):	1.5 mm rms
> Reflectivity 100% (white):	0.7 mm rms
Range noise at 50 m: ^{1 2 3}	
> Reflectivity 10% (black):	6.8 mm rms
> Reflectivity 20% (dark grey):	3.5 mm rms
> Reflectivity 100% (white):	1.8 mm rms
Range drift over temp. (-10°– 45°C):	negligible due to internal reference

Optical transceiver

Laser:	visible
Beam divergence:	0.22 mrad
Beam diameter at 1 m distance:	3 mm circular
Laser safety class:	3R (ISO EN 60825-1)

Deflection unit

System vertical:	Rotating mirror
System horizontal:	Rotating device
Field of view vertical:	310°
Field of view horizontal:	360°
Resolution vertical:	0.0018°
Resolution horizontal:	0.0018°
Accuracy vertical: ¹	0.007° rms
Accuracy horizontal: ¹	0.007° rms
Max. scanning speed vertical:	≤ 50 rps
Typ. Scanning speed vertical:	25 rps

Resolution

Resolutions:	Pixel / 360° (vertical, horizontal)	Scanning time / 360°
"preview":	1 250	25 sec
"middle":	5 000	1 min 40 sec
"high":	10 000	3 min 22 sec
"super high":	20 000	6 min 44 sec
"ultra high":	40 000	26 min 40 sec
Max. resolution for selections:	100 000	-

¹⁾ detailed explanation on demand – please contact imager5006@zf-laser.com

²⁾ data acquisition rate: 127 000 pxl/sec., raw data, in High Power Mode

³⁾ values extrapolated

Şekil A.1 : Z+F Imager 5006i Yersel Lazer Tarayıcı teknik özellikleri.

EK A.1 (devam)

 Technical data Z+F IMAGER[®] 5006i 		
	Miscellaneous	
	Tilt measurement:	
	> Resolution:	1/1 000°
	> Accuracy (zero point): ⁴	1/500°
	Data interface:	Ethernet / USB 2.0
	Data storage:	Internal HDD (≥ 60GB)
	Communication interface:	Ethernet / WLAN
	Integrated operation panel:	
	> Display:	4 Lines
	> Keypad:	6 Buttons
	Power supply:	
	> Input voltage:	24V DC (scanner) 90–260V AC (power unit)
	Power consumption:	65 W max.
	Battery life time:	
	> Changeable battery pack:	2.5 h
	> External battery (TRAPP-15-24):	4 h
	Ambient conditions:	
	> Calibrated temperature:	-10°C – 45°C
	> Storage temperature:	-20°C – 50°C
	> Humidity:	non-condensing
	> Target reflectivity:	no retro-reflectors
	> Illumination:	all conditions from darkness to daylight
Dimensions and weights		
Scanner (w x d x h):	286 mm x 190 mm x 372 mm	14 kg
Bottom of scanner to horizontal axis:	242 mm	
Tripod:		
> Height:	approx. 80 cm – 140 cm	9 kg
> Diameter:	approx. 120 cm	

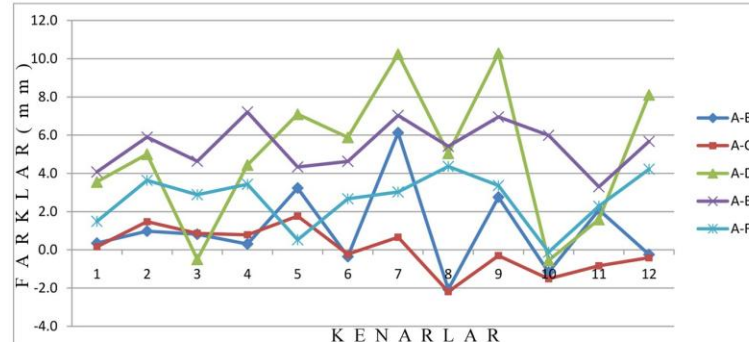
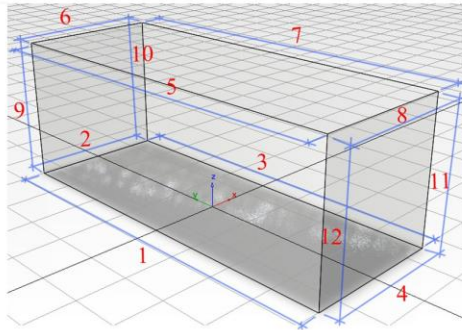
⁴ zero point determination by two layer measurements

Şekil A.1 : Z+F Imager 5006i Yersel Lazer Tarayıcı teknik özellikleri (devam).

EK A.2

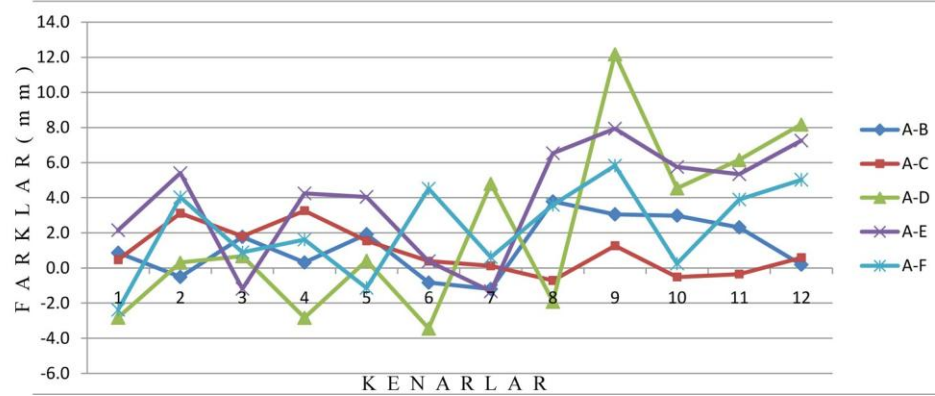
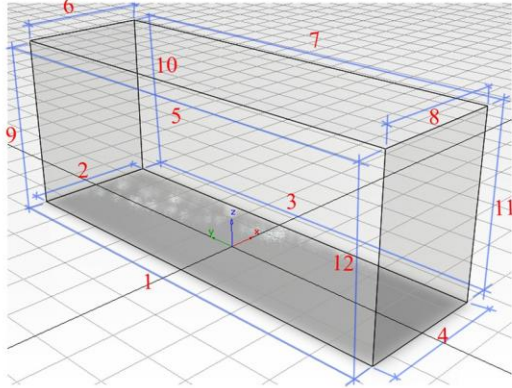
Çizelge A.1: Metal dikdörtgen prizma kenar uzunluk karşılaştırması.

Dikdörtgen Prizma Metal	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	801.12	800.77	800.96	797.57	797.05	799.63	0.3	0.2	3.6	4.1	1.5
2	302.20	301.22	300.73	297.20	296.31	298.57	1.0	1.5	5.0	5.9	3.6
3	802.16	801.34	801.30	802.65	797.52	799.27	0.8	0.9	-0.5	4.6	2.9
4	301.20	300.89	300.41	296.76	293.99	297.77	0.3	0.8	4.4	7.2	3.4
5	802.14	798.91	800.37	795.04	797.80	801.61	3.2	1.8	7.1	4.3	0.5
6	300.30	300.65	300.53	294.41	295.67	297.63	-0.4	-0.2	5.9	4.6	2.7
7	801.40	795.27	800.74	791.16	794.37	798.37	6.1	0.7	10.2	7.0	3.0
8	299.50	301.56	301.69	294.45	294.08	295.14	-2.1	-2.2	5.1	5.4	4.4
9	300.20	297.44	300.50	289.91	293.24	296.84	2.8	-0.3	10.3	7.0	3.4
10	300.00	301.17	301.52	300.55	294.01	300.12	-1.2	-1.5	-0.6	6.0	-0.1
11	300.50	298.40	301.33	298.91	297.20	298.22	2.1	-0.8	1.6	3.3	2.3
12	299.40	299.65	299.81	291.29	293.72	295.18	-0.2	-0.4	8.1	5.7	4.2



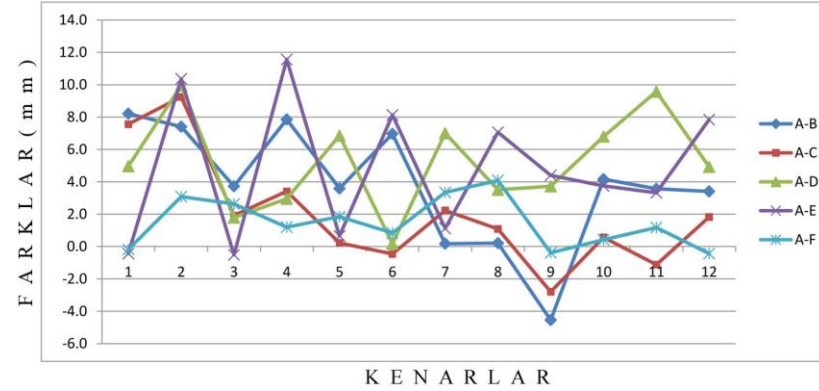
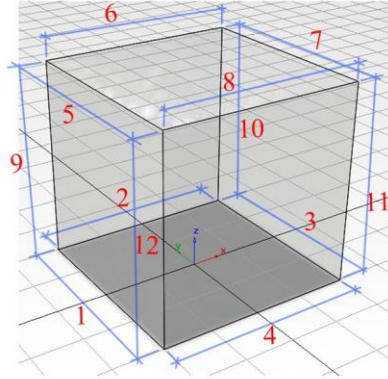
Çizelge A.2: Siyah dikdörtgen prizma kenar uzunluk karşılaştırması.

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



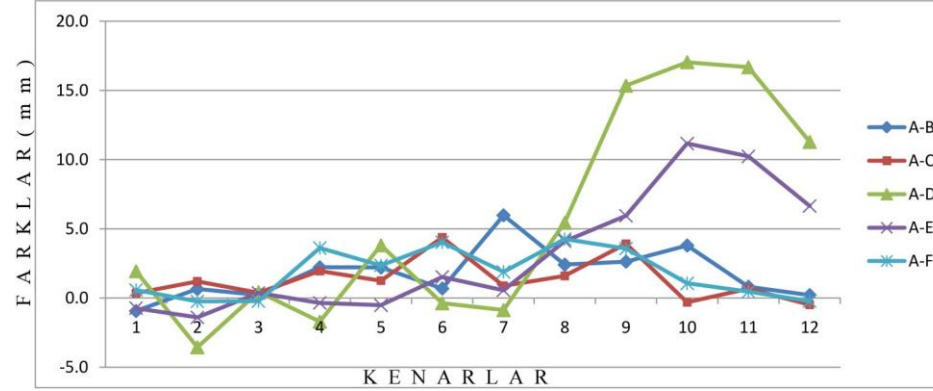
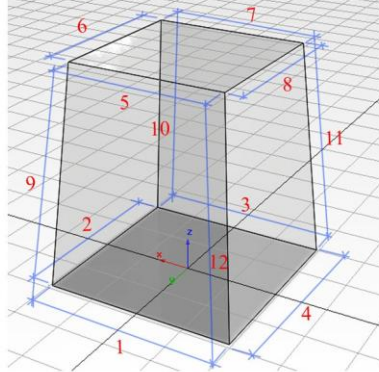
Çizelge A.3: Küp kenar uzunluk karşılaştırması.

Küp	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	401.70	393.49	394.14	396.74	402.14	401.88	8.2	7.6	5.0	-0.4	-0.2
2	402.50	395.09	393.26	392.55	392.14	399.42	7.4	9.2	9.9	10.4	3.1
3	401.10	397.37	399.18	399.31	401.62	398.47	3.7	1.9	1.8	-0.5	2.6
4	401.10	393.25	397.69	398.15	389.54	399.90	7.9	3.4	3.0	11.6	1.2
5	401.90	398.31	401.68	395.04	401.25	400.06	3.6	0.2	6.9	0.6	1.8
6	400.80	393.83	401.26	400.63	392.67	399.97	7.0	-0.5	0.2	8.1	0.8
7	402.00	401.83	399.77	395.00	400.88	398.66	0.2	2.2	7.0	1.1	3.3
8	399.40	399.19	398.31	395.89	392.34	395.31	0.2	1.1	3.5	7.1	4.1
9	398.10	402.65	400.90	394.38	393.70	398.48	-4.5	-2.8	3.7	4.4	-0.4
10	399.60	395.44	399.03	392.80	395.85	399.18	4.2	0.6	6.8	3.7	0.4
11	399.30	395.74	400.42	389.73	395.98	398.13	3.6	-1.1	9.6	3.3	1.2
12	400.30	396.89	398.48	395.38	392.46	400.73	3.4	1.8	4.9	7.8	-0.4



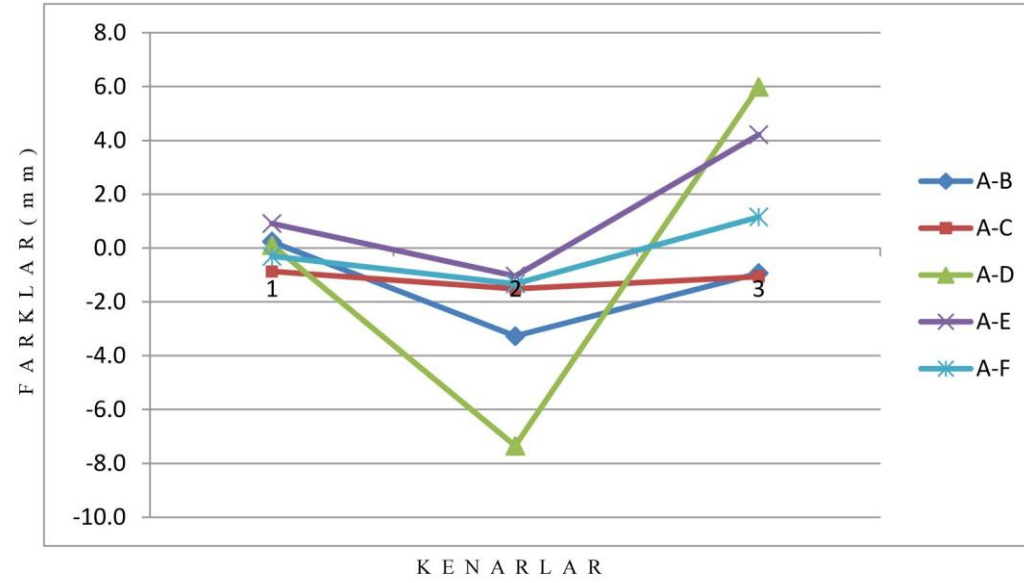
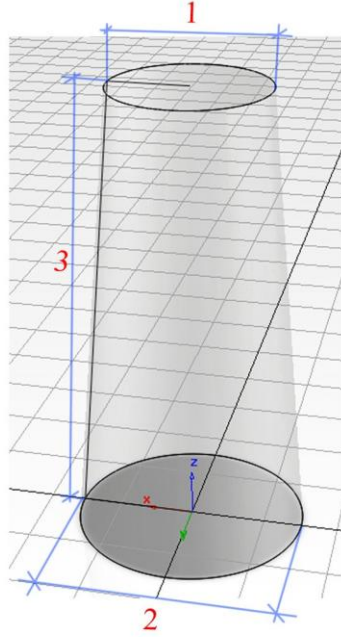
Çizelge A.4: Kesik piramit kenar uzunluk karşılaştırması.

Kesik Piramit	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	387.70	388.64	387.35	385.76	388.43	387.13	-0.9	0.4	1.9	-0.7	0.6
2	387.10	386.45	385.90	390.66	388.50	387.34	0.6	1.2	-3.6	-1.4	-0.2
3	391.40	391.18	391.02	390.96	391.04	391.62	0.2	0.4	0.4	0.4	-0.2
4	384.00	381.78	382.06	385.71	384.36	380.39	2.2	1.9	-1.7	-0.4	3.6
5	277.70	275.50	276.45	273.89	278.22	275.35	2.2	1.3	3.8	-0.5	2.4
6	275.80	275.11	271.43	276.18	274.28	271.78	0.7	4.4	-0.4	1.5	4.0
7	276.70	270.72	275.82	277.57	276.15	274.81	6.0	0.9	-0.9	0.6	1.9
8	277.00	274.58	275.40	271.56	272.89	272.75	2.4	1.6	5.4	4.1	4.3
9	536.98	534.35	533.06	521.63	531.04	533.41	2.6	3.9	15.3	5.9	3.6
10	534.62	530.82	534.94	517.58	523.46	533.56	3.8	-0.3	17.0	11.2	1.1
11	538.24	537.42	537.57	521.56	528.01	537.78	0.8	0.7	16.7	10.2	0.5
12	538.70	538.49	539.18	527.42	532.05	538.92	0.2	-0.5	11.3	6.7	-0.2



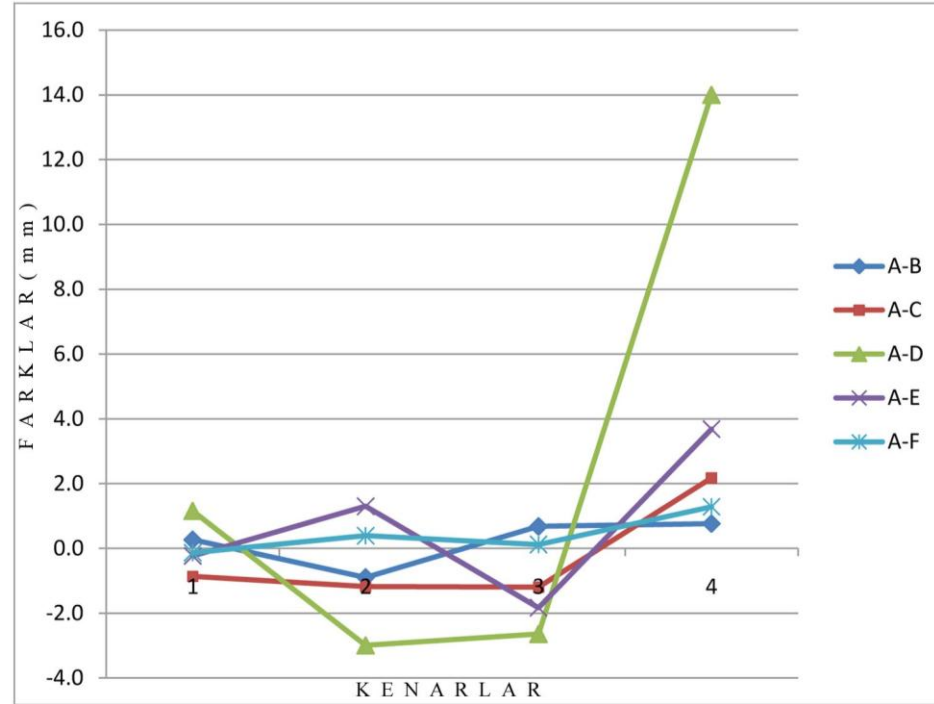
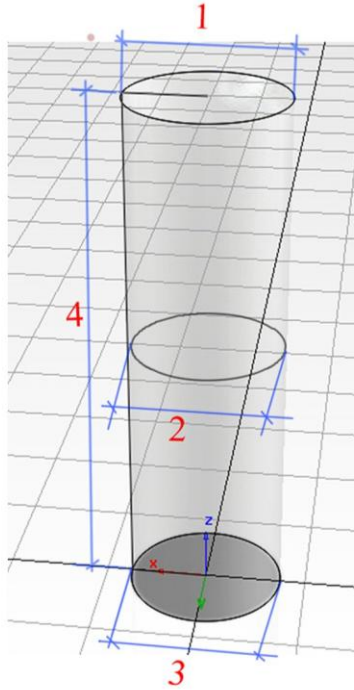
Çizelge A.5: Kesik koni uzunluk karşılaştırması.

Kesik Koni	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	200.74	200.50	201.61	200.63	199.83	201.05	0.2	-0.9	0.1	0.9	-0.3
2	300.40	303.67	301.92	307.74	301.44	301.73	-3.3	-1.5	-7.3	-1.0	-1.3
3	600.42	601.35	601.48	594.43	596.21	599.26	-0.9	-1.1	6.0	4.2	1.2



Çizelge A.6: Silindir uzunluk karşılaştırması.

Silindir	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	151.60	151.33	152.46	150.43	151.83	151.73	0.3	-0.9	1.2	-0.2	-0.1
2	151.60	152.49	152.77	154.59	150.30	151.20	-0.9	-1.2	-3.0	1.3	0.4
3	151.60	150.92	152.79	154.24	153.43	151.48	0.7	-1.2	-2.6	-1.8	0.1
4	500.72	499.95	498.54	486.71	497.03	499.43	0.8	2.2	14.0	3.7	1.3



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gökçen KARŞIDAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Nevşehir – 24.08.1976

Adres: Rasimpaşa mah. Prof. Dr. Macit Erbudak sok. No:19/6 Kadıköy-İSTANBUL

Lisans Üniversite: Selçuk Üniversitesi