



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

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YERSEL LAZER TARAYICILARIN TARAMA AÇISI VE
MESAFESİNE BAĞLI OLARAK KONUM DOĞRULUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydan YAMAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. H.Murat YILMAZ

AKSARAY, 2013



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

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YERSEL LAZER TARAYICILARIN TARAMA AÇISI VE
MESAFESİNE BAĞLI OLARAK KONUM DOĞRULUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydan YAMAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. H.Murat YILMAZ

AKSARAY, 2013

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

Yüksek Lisans Öğrencisi Aydan YAMAN' ın “Yersel Lazer Tarayıcıların Tarama Açısı ve Mesafesine Bağlı Olarak Konum Doğruluğunun Araştırılması” 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 (Aksaray Üniversitesi)	
1.Jüri	:Doç. Dr. Ferruh Yılmaztürk (Aksaray Üniversitesi)	
2.Jüri	:Yrd. Doç. Dr. Turan Karabörk (Aksaray Üniversitesi)	

Tezin Savunulduğu Tarih : 24.12.2013

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih vesayılı kararı ile Aydan YAMAN 'ın Harita Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** derecesi alması onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Selçuk REİS

ÖNSÖZ

Lazer tarama teknolojisi istenilen obje yüzeyini tarayarak kısa zamanda ve yüksek duyarlıklılı olarak objeye ait üç boyutlu nokta verilerinin elde edilmesini sağlayan yeni bir teknolojidir. Lazer tarama teknolojisi ile yapılan çalışmalar kısa sürede, ekonomik olarak yapılabilmekte, istenilen veriler klasik yöntemlere göre çok daha yüksek hassasiyette elde edilmektedir.

Bu çalışmada yersel lazer tarama sistemlerinden, bazı lazer tarayıcıların doğruluklarından ve teknik özelliklerinden, lazer tarama sisteminin çalışma ilkesinden, bu teknolojinin kullanımında ortaya çıkabilecek hata kaynaklarından ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

Yapılan çalışmada Optech Iris 3D marka yersel lazer tarayıcı ile test alanı farklı açı ve farklı mesafelerden taranmış ve elde edilen sonuçlardan tarayıcının konum doğruluğu araştırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü yardım ve desteğini gördüğüm, değerli bilgi ve önerileri ile bana destek olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Hacı Murat YILMAZ hocama çok teşekkür ederim.

Tezim için gerekli olan test alanının yaptırılmasında yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin Kara hocama teşekkür ederim.

Çalışmalarıma olan katkılarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Ali Ulvi hocama çok teşekkür ederim.

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi BAP koordinatörlüğünün 2013-76 nolu projesi tarafından desteklenmiştir. Maddi destek veren Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam süresince benden hiçbir yardımı esirgemeyen sevgili eşim Alper Yaman ve değerli aileme vermiş oldukları destek için sonsuz teşekkür ederim.

Aydan YAMAN

Aralık,2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Lazer Tarama Teknolojisi.....	2
1.1.1. Yersel lazer tarama teknolojisi.....	3
1.2. Lazer Tarama Sisteminin Çalışma İlkesi.....	13
1.2.1. Yersel lazer tarayıcıların koordinat sistemleri.....	14
1.3. Yersel Lazer Tarama Sisteminin Bileşenleri.....	16
1.4. Yersel Lazer Tarama Teknolojisinde Hata Kaynakları.....	16
1.5. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları.....	17
1.6. Yersel Lazer Tarayıcıları Geleneksel Ölçüm Tekniklerinden Ayıran Farklar.....	19
1.7. Doğruluk ve Hassasiyet Kavramları.....	20
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1. Malzeme.....	30
3.1.1. Test alanı.....	30
3.1.2. Optech Iliris 3D yersel lazer tarayıcı.....	31
3.2. Yöntem.....	33
4. BULGULAR.....	46
5. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERSEL LAZER TARAYICILARIN TARAMA AÇISI VE MESAFESİNE BAĞLI OLARAK KONUM DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Aydan YAMAN

TC.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H.Murat YILMAZ

Lazer tarama, henüz yeni bir teknoloji olmasına rağmen günümüzde teknolojiye ilerlemelerle birlikte bu teknoloji de gelişmekte olup bununla beraber kullanım alanı da giderek artmaktadır.

Lazer tarama teknolojisi ile istenilen objelerin üç boyutlu görüntüleri diğer klasik ölçme yöntemlerine göre çok daha hızlı, pratik, kolay ve yüksek doğrulukla elde edilebilmekte ve ölçümler her türlü hava koşulunda yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile objeler, temas zorunluluğu olmadan uzaktan ölçülebilmektedir.

Yapılan çalışmada Optech Iliris 3D Yersel Lazer Tarayıcı' nın tarama mesafeleri ve objeye göre tarama açılarının konum doğruluğuna etkisi araştırıldı. Bunun için düşey konumda duran 2.10 m x2.80 m boyutlarına sahip bir test alanı 100 m mesafede 10 m aralıklarla karşıdan, sağ ve sol yandan tarandı. Taramalardan elde edilen Y ve Z koordinatları yer değiştirilerek test alanı yatay hale getirildi. Bu durumda oluşan yarım dikdörtgen prizmanın olması gereken hacmi ile taramalardan elde edilen hacimleri hesaplandı. Hacim farklarına göre yapılan değerlendirmeler sonunda bu tarayıcının 100 m' lik tarama mesafesinde konum doğruluğunun 5.8 mm ile 12.2 mm arasında olduğu görüldü. Ayrıca en uygun taramanın 40-50 m mesafede karşıdan yapılan tarama olduğu gözlemlendi.

2013, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hacim, Konum Doğruluğu, Lazer Tarama Teknolojisi, Tarama Açısı, Tarama Mesafesi

ABSTRACT

Master of Science

INVESTIGATING TERRESTRIAL LASER SCANNER POSITION ACCURACY BASED ON SCANNING ANGLE AND DISTANCE

AYDAN YAMAN

T.R.

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

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

The terrestrial laser scanning systems are a relatively new measurement technology. Along with technological advances, these systems are gaining popularity and have been increasingly used in many different fields.

With terrestrial laser scanning technology, three- dimensional (3D) information and images of objects can be obtained more practical, easy and with high accuracy compared to conventional methods. Additionally, measurement of an object is performed without being in physical contact.

In this study, effects of Optech Iris 3D Terrestrial Laser Scanner' s scanning distances and position accuracy of the scan angle according to the object were investigated. Our test area, 2.10m $\times$ 2.80m in vertical position, was scanned at 10m intervals within 100m area from different directions (front, left and right). By switching Y and Z coordinates obtained from laser scanning, test area was changed to horizontal position. In this case, expected a half rectangular prism' volume and volumes obtained from laser scanning were calculated. Based on our volume differences evaluation results, it was found that within scanning distance of 100 meters position accuracy of this laser scanner is between 5.8 mm and 12.2 mm. In addition, the optimal laser scanning for front measurement was 40-50 m.

2013, 55 Pages

Key Words: Laser Scanning Technology, Position Accuracy, Scan Angle, Scan Distance, Volume

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tarihi eser ve üç boyutlu görüntüsü.....	4
Şekil 1.2. Optech ve Riegl marka lazer tarama cihazı.....	11
Şekil 1.3. Leica ve Zoller+Fröhlich marka lazer tarama cihazı.....	12
Şekil 1.4. Faro ve Mensi marka lazer tarama cihazı.....	12
Şekil 1.5. Topcon ve Maptek marka lazer tarama cihazı.....	12
Şekil 1.6. Yersel lazer tarayıcı koordinat sistemi.....	15
Şekil 1.7. Hedef levhası yardımı ile duyarlık, doğruluk ve çözünürlük kavramlarının gösterimi.....	22
Şekil 1.8. Farklı lazer tarayıcılar için mesafeye bağlı ölçüm doğrulukları...	24
Şekil 3.1. Sabit test alanının karşıdan görünümü.....	30
Şekil 3.2. Sabit test alanının arkadan görünümü.....	31
Şekil 3.3. Yapılan uygulamada kullanılan Optech Ilris 3D yersel lazer tarayıcısı.....	32
Şekil 3.4. Test alanı üzerinde oluşturulan grid ağı.....	33
Şekil 3.5. Test alanındaki grid ağının üç boyutlu görüntüsü.....	34
Şekil 3.6. X koordinatları arasındaki sistematiklik.....	35
Şekil 3.7. Y koordinatları arasındaki sistematiklik.....	35
Şekil 3.8. Z koordinatları arasındaki sistematiklik.....	36
Şekil 3.9. Yapılan taramaların şematik olarak gösterilmesi.....	37
Şekil 3.10. Test alanının 10 metre mesafeden dik olarak taratılması.....	39
Şekil 3.11. Test alanının 20 metre mesafeden açılı taratılması.....	39
Şekil 3.12. Test alanının “Parser” programında görünümü.....	40
Şekil 3.13. Test alanının ham nokta bulutu verileri ile görünümü.....	41
Şekil 3.14. Test alanının fazla nokta bulutlarından temizlendikten sonraki görünümü.....	41
Şekil 3.15. Düzenli olmayan nokta bulutlarının görünümü.....	42
Şekil 3.16. Bir tarama istasyonuna ait minimum ve maksimum koordinatlar.....	43
Şekil 3.17. “1_1” numaralı tarama istasyonundan elde edilen görünümü...	44
Şekil 3.18. “Surfer” programında bir taramaya ait üç boyutlu görüntü.....	44
Şekil 3.19. “Surfer” programında “1_1” numaralı istasyona ait şeklin hacmi.....	45

Şekil 4.1. Tüm tarama istasyonları için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi.....	48
Şekil 4.2. Dik olarak taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi....	49
Şekil 4.3. Farklı açılarla taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bazı lazer tarayıcılar ve özellikleri.....	11
Çizelge 1.2. Yersel lazer tarayıcıların sınıflandırılması.....	13
Çizelge 3.1. Optech Irlis 3D yersel lazer tarayıcının bazı özellikleri.....	32
Çizelge 3.2. Taramaların yapıldığı istasyon noktaları ve tarama açıları.....	38
Çizelge 4.1. Hesaplanan hacim değerlerinin toplu olarak gösterilmesi.....	47
Çizelge 4.2. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen hacimler.....	48
Çizelge 4.3. Test alanının sağdan ve soldan taranması ile elde edilen hacimler.....	49
Çizelge 4.4. Kenar uzunlukları 1 mm artırılan prizmanın hacim ve fark değerleri.....	51
Çizelge 4.5. Tarama istasyonlarına ait tarama mesafeleri ve tarama hassasiyetleri.....	51

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
kg	Kilogram
KHz	Kilohertz
m	Metre
mm	Milimetre

KISALTMALAR DİZİNİ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
GPS	Global Positioning System
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LIDAR	Light Detection and Ranging
RGB	Red Green Blue
RTK	Real Time Kinematic

1. GİRİŞ

Lazer tarama teknolojisi henüz yeni bir teknoloji olmasına rağmen kullanıcılara sağladığı çok fazla avantaj ile son derece tercih edilen bir yöntemdir.

Bu teknoloji havadan (lidar) ve yersel (terrestrial) olmak üzere iki şekilde uygulanmakta olup her iki yöntemin de çalışma prensipleri aynıdır. Bu prensip, tarayıcı ile ölçülmesi istenen obje arasındaki mesafenin, tarayıcıdan objeye lazer ışınının gönderilmesi ve sinyalin objeden geri yansıtılarak tekrar tarayıcıya ulaşması arasında geçen sürenin belirlenmesi ile hesabı ilkesine dayanmaktadır (Reshetyuk, 2006; Gümüş vd., 2009).

Lazer tarama teknolojisinde, tarayıcı ile nesne yüzeyi hızlı bir şekilde taranarak saniyede binlerce üç boyutlu nokta verisi elde edilmekte ve üç boyutlu konumu belli olan bu noktalar ise nokta bulutunu oluşturmaktadır (Reshetyuk, 2006; Gümüş vd., 2009). Böylece nokta bulutları ile istenilen objenin üç boyutlu modeli oldukça hızlı ve yüksek doğrulukla elde edilebilmektedir.

Geleneksel jeodezik ölçüm metotları, tüm yer ölçümü veya gerçek zamanlı (RTK) GPS ölçümleri, objenin hızlı bir şekilde geometrik ve görsel bilgilerine ulaşmak için çok uygun değildir. Bunlar sadece tek tek nokta ölçümüne izin verirler. Bu nedenle bu metotlar genellikle yavaştır. Bu dezavantajlar yersel lazer tarama teknolojisini ön plana çıkarmıştır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Ayrıca yersel lazer tarayıcıların özellikle ölçme bakımından risk taşıyan bölgelerde ve jeodezik yöntemlerle ölçülemeyen veya ölçülmesi oldukça zor olan bölgelerde uzaktan ölçüm yapabilme şansı sağladığı için diğer klasik ölçme yöntemlerine göre üstünlüğü ön plana çıkmaktadır (Karşıdağ ve Alkan, 2012).

Lazer tarama teknolojisi özellikle jeodezi ve inşaat mühendisliği ile ilgili çalışmalarda, tünellerde, madencilikte, deformasyon ölçmeleri, arkeoloji çalışmaları, şehir modellemeleri, hasar tespiti, restorasyon ve röleve çalışmaları, ulaşım ve altyapı çalışmaları, kıyıların izlenmesi, alan ve hacim hesaplamaları, endüstriyel tasarımlar, tıbbi görüntüleme çalışmaları, coğrafi bilgi sistemi uygulamaları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Yıldız ve Altuntaş, 2009).

Bununla birlikte, bu yöntem ile obje hakkında üç boyutlu geometrik ve görsel bilgi elde edilmektedir. Ulaşılan veriler, istenilen koordinat sistemine dönüştürülebildiği için başka tür yapılan ölçü sonuçları ile kolaylıkla birleştirilebilmektedir.

Yersel lazer tarama teknolojisi, karmaşık yapıdaki, tehlikeli bölgelerde bulunan ve yanına gidilemeyen objelerin bile yanına gitme zorunluluğu olmadan ölçümlerine olanak vermesi, ölçümleri hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirme imkanı sağlaması ve üç boyutlu noktaların doğrudan elde edilmesini sağlamasından dolayı son derece tercih edilen bir yöntemdir (Reshetyuk, 2006; Aydar vd., 2011).

1.1. Lazer Tarama Teknolojisi

“Lazer” kelimesi, İngilizce uyarılmış ışın salınımı tarafından ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelen “laser” (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kelimesinin baş harflerinden oluşmaktadır.

Lazer tarayıcı sistemlerde de bu ışıklardan yararlanılmaktadır. Lazer ışını, yüksek genlikli ve birbirine paralel olan, aynı frekansa sahip dalgalardan meydana gelir. Lazer tarama sistemleri, havadan (LIDAR) ve yersel (Terrestrial) olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Yersel lazer tarama, yer bazlı lazer tarayıcılar kullanılarak istenilen objenin üç boyutlu koordinatlarının ölçülmesidir. Yersel lazer ve havadan lazer tarama teknolojilerinin çalışma prensipleri aynıdır. Objeye tarayıcı tarafından yatay ve düşey yönlerdeki yönlendirmelerle taratılmaktadır (Gümüş vd., 2009).

Lazer tarama ile objeye ait veriler hızlı bir şekilde toplanmakta, görüntüler renkli olarak da oluşturulabilmekte, yapılan ölçümlerde reflektöre gerek duyulmamaktadır. Özellikle karmaşık şekilli yapıların hassas ölçümünün gerektiği çalışmalarda lazer tarama yöntemi hem hızlı olması bakımından hem de ölçümlerin diğer yöntemlere göre çok daha hassas olarak gerçekleştirilmesinden dolayı son derece tercih edilen bir yöntemdir.

Lazer tarama cihazları ile yapılan ölçümlerde insanlardan kaynaklanan hatalar en aza indirilebildiği için ölçüm sonuçları da klasik yöntemlere göre çok daha hassas olmaktadır (Gümüş vd., 2009). Ayrıca ölçümlerin doğruluğu da arazide ölçüm sırasında kontrol edilebilmektedir.

Bu teknoloji, arazi verilerinin toplanması çalışmalarında etkili ve tercih edilen bir yöntem olup, yüksek nokta yoğunluğu ve yüksek doğrulukta verilerin toplanmasına imkan sağlar, yapılan çalışmaların süreleri de büyük oranda kısalmaktadır.

Lazer tarayıcılarla, nesnenin üç boyutlu görüntüsünün elde edilebilmesi için nesne yüzeyi taranarak her saniyede binlerce üç boyutlu nokta verisi elde edilebilmektedir. Nesnenin taranması sonucu elde edilen ve üç boyutlu konumu belli olan noktalar ise nokta bulutlarını oluşturmaktadır. Nokta bulutu, yoğunluk veya RGB gibi bilgileri içeren, objenin üç boyutlu x, y, z koordinatlarının toplamıdır (Mettenleiter, 2000). Elde edilen noktaların RGB değerlerinin olması da modelleme işleminde önemlidir.

1.1.1. Yersel lazer tarama teknolojisi

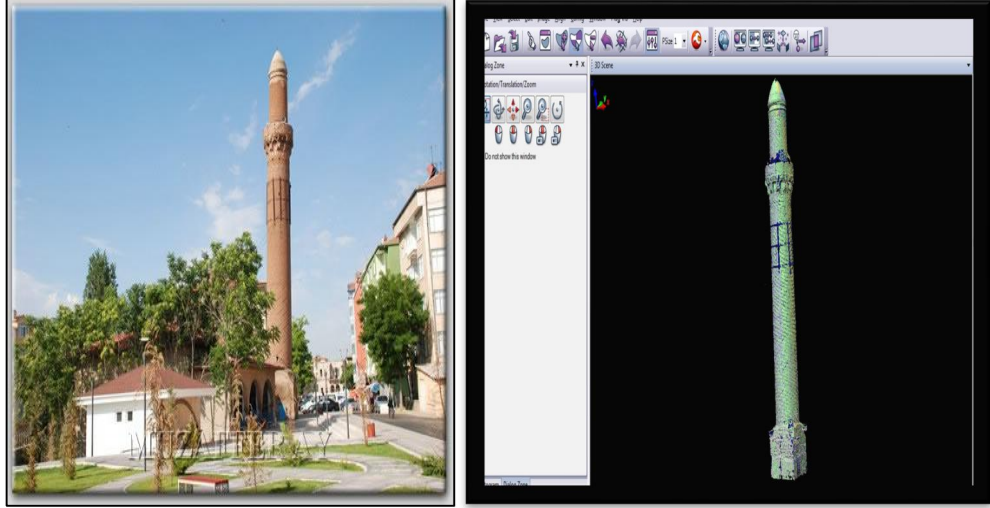
Yersel lazer tarama teknolojisi oldukça yeni bir teknoloji olmasına rağmen, karmaşık yapıdaki objelerin bile ölçümüne olanak vermesi, ölçümleri hızlı ve kolay gerçekleştirme imkanı sağlaması ve üç boyutlu noktaların doğrudan elde edilmesini sağlamasından dolayı yapılan çalışmalarda son derece tercih edilen bir yöntemdir (Karşıdağ ve Alkan, 2012).

Lazer tarama yöntemi lazer ışınları ile ölçümün yapılarak verilerin toplanmasını kapsayan arazi aşaması, toplanan bu verilerin de bilgisayar yazılımları ile değerlendirildiği ofis aşamalarından oluşmaktadır. Arazi çalışmasında lazer tarayıcı alet sehpa ile taranacak objeye belirli bir mesafeye konur ve tarama işlemi gerçekleştirilir. Yersel lazer tarama tekniklerinin gelişmesi ile birlikte detay çıkarma, elde edilen verilerin birleştirilmesi, mimari detaylar, fabrika ve mühendislik uygulamaları gibi çeşitli alanlarda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yersel lazer tarama teknolojisi ile, ilgili obje yüzeyinde üç boyutlu nokta ölçümü yüksek doğrulukla yapılmakta, ve bu üç boyutlu noktalar kullanılarak hem modelleme yapılabilmekte hem de elde edilen veri kolay bir şekilde görsel hale getirilebilmektedir. Bu teknoloji ile yapılacak çalışmalar da çok hızlı olarak tamamlanmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar da yeterli duyarlılıktadır. Yersel lazer tarayıcıların, kısa zamanda ve hızlı bir şekilde üç boyutlu (x, y, z) nokta bilgisi ölçmesi, nokta sıklığının ayarlanabilmesi ve ölçüm sonucu elde edilen verinin farklı formatlarda

görüntülenebilme imkanı sağlaması yöntemin önemli avantajlarından (Yıldız vd., 2010).

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte lazer tarama teknolojisinin de üç boyutlu modelleme çalışmalarında kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Objelerin üç boyutlu modellemesi nokta kümeleri yardımıyla yapılmakta olup, nokta kümesindeki tüm noktalarda üç boyutlu koordinatlara sahiptir (Karabörk vd., 2009).



Şekil 1.1. Tarihi eser ve üç boyutlu görüntüsü (Palalı M.,2013)

Yersel lazer tarama teknolojisinin gelişmesiyle orantılı olarak hem aletlerin tarama hızı artmış, hem de istenilen veriler daha duyarlı olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu gelişme ile taranması istenilen obje ile alet arasındaki maksimum mesafe sınırı da artmıştır. Objeye ilgili 3 boyutlu geometrik ve görsel bilginin elde edilmesi amacıyla, gerçek zamanlı GPS ölçümleri (RTK) veya klasik ölçme tekniklerinden yararlanıldığı zaman, tek tek noktaların koordinatlarının ölçülmesi gerekir. Bu durum da, çok fazla zaman almakta hem de elde edilen nokta sayısı oldukça az sayıda olmaktadır. Elde edilen noktalar, objenin gerçek modelinin elde edilebilmesi için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yersel lazer tarama sistemi, çok kısa zamanda ve istenilen sıklıkta binlerce üç boyutlu noktayı hızlı bir şekilde elde edebildiği için tercih konusunda ön plana çıkmıştır (Gümüş ve Erkaya, 2007). Bir yapının belgelenmesi işlemi yapılacağı zaman yapının geometrisi yani planları, görünüşü gibi özellikleri ile ilgili bilgi toplanır. Bu özelliklerin elde edilmesine yapının rölevesi denir. Bu işlem, lazer tarama yöntemi ile yapıldığında hem çok kısa zaman alır hem de yapıdaki tüm detaylar elde edilebilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar klasik yöntemlere göre çok daha kısa sürede ve çok daha hassas

olmaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda diğer ölçme yöntemlerinden hız, pratiklik ve kolaylık açısından daha üstündür.

Lazer tarama ile elde edilen üç boyutlu görüntülerden taranan objenin istenilen kısmından çeşitli yüksekliklerde ve her noktadan yatay veya dikey kesitler alınabilmektedir. Böylece yapının mevcut durumu hakkında bilgi sahibi olunabilir, yapılarda ortaya çıkabilecek eksen kaymaları tespit edilebilir, ayrıca yapılardaki hasarlar da gözlem altında tutulabilmektedir. Bu da kullanıcılara büyük avantaj sağlamaktadır.

Yersel lazer tarama yönteminin klasik ölçme yöntemleri ile birlikte kullanılma imkanı vardır ve ulaşılan sonuçlar diğer ölçme yöntemleri ile elde edilen verilerle birleştirilebilir. Lazer tarama teknolojisinin sağladığı avantajların yanı sıra diğer klasik ölçme teknikleri ile birlikte kullanıldığı zaman elde edilen modelin gerçeğe olan yakınlığında, ölçme doğruluğu ve duyarlılığında, elde edilen veri kalitesinde sonuçlar daha iyi olmaktadır. Ayrıca bu şekilde yapılan taramalar sonucunda ortaya çıkan hatalar da en aza indirilmiş olmaktadır.

Bazı çalışmalarda çalışmanın amacına göre yersel lazer tarama yöntemi diğer ölçme yöntemlerinin yerine kullanılmayıp bu yöntemlerle (fotogrametri ve jeodezik ölçmeler) birlikte kullanılırsa daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Aydar vd., 2011). Her iki yöntemin birlikte kullanıldığı durumlarda yöntemler arasında bütünlük sağlanmalı ve ortak bir koordinat sistemi tanımlanmalıdır.

Yersel lazer tarama sistemi, yersel fotogrametri ile karşılaştırılırsa bazı dezavantajlarına karşın, oldukça fazla avantaja sahip olduğu görülmektedir. Ancak objelerin üç boyutlu modelinin elde edilmesinde her iki sistemin birlikte kullanılması en uygun yöntem olarak görülmektedir.

Yine yersel lazer tarama teknolojisi dijital fotogrametri ile birlikte kullanıldığı zaman da tarihi, kültürel ve turistik yapıların korunması ve röleve çalışmalarının yapılmasında da daha iyi sonuçlar vermektedir (Yastıklı N., 2005).

Yersel lazer tarama teknolojisi ve yakın resim fotogrametrisi yöntemleri bir arada kullanıldığı zaman her iki yöntem de birbirinin eksiklerini tamamlamakta ve yapılan çalışmalardan daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Çünkü yersel lazer tarayıcılar

obje ile ilgili üç boyutlu bilgileri kolay ve hızlı bir şekilde elde etme imkanı sağlarken, aynı bilgilerin yakın resim fotogrametrisinde elde edilebilmesi çok uzun zaman almakta ve çok fazla çalışma gerektirmektedir. Yersel lazer tarayıcılar çok yüksek çözünürlükte olmayıp, yakın resim fotogrametrisi yönteminde dijital kameralar kullanıldığı için sonuçlar yüksek çözünürlüklü olarak elde edilebilmektedir. Aynı zamanda yersel lazer tarama ile ölçüm yapılırken aletin kurulduğu noktadan objeye yatay ve düşey açılarla bakılırken, yakın resim fotogrametrisinde kamera ile objenin tamamının görüntülenebilme olanağı vardır.

Lazer tarayıcılar, fotogrametri ile karşılaştırıldığı zaman noktaların üç boyutlu koordinatlarının doğrudan elde edilebilmesi, istenilen yüzeyi fazla sayıda üç boyutlu nokta şeklinde göstermesi, klasik yöntemlerle ölçülemeyecek düzensiz geometrik şekle sahip yapıların kolayca ve kısa sürede ölçülebilmesi, yine istenilen sonuçların kısa sürede elde edilmesi gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır.

Fotogrametri yöntemi ise, yüksek çözünürlüklü olması, eski görüntülerin kullanılarak modelin elde edilmesi ve lazer tarama yöntemine göre maliyetinin çok daha ucuz olması yönleri ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca bu yöntemde, resimler basit olarak yorumlanabilir ve verilere eş zamanlı olarak ulaşılabilir. Fotogrametri yönteminde yine sonuçlar yüksek doğrulukla elde edilebilir ve bu konuda güvenilir bir yöntemdir (Yakar vd., 2009).

Yöntemlerin dezavantajlarına bakıldığı zaman, fotogrametrik yöntemde cismin veya bölgenin üç boyutlu görüntüsünün elde edilebilmesi için aynı bölgeye ait en az iki resim gereklidir. Lazer taramada ise, elde edilen sonuçlardan renk, doku gibi ayrıntılara ulaşamaz. Nokta kümelerinin yorumlanması da bazen zor hatta imkansız olabilmektedir.

Eğer kısıtlı bir sürede objenin basit şekilde üç boyutlu modeline ihtiyaç duyulursa, bu durumda fotogrametrik yöntem uygulanabilir. Fakat objenin üç boyutlu modeli detaylı şekilde istenirse bu durumda lazer tarayıcılar kullanılmalıdır.

Lazer tarama teknolojisi, kültürel miras kaydında ve mimari ölçümlerde de diğer dijital fotoğraflama yöntemlerine göre hem geometrik doğruluğu daha yüksektir, hem de resim

işleme ve yönlendirmelerinin yapılmasına gerek bırakmadan çalışmalar çok daha hızlı bir şekilde bitirilebilmektedir.

Klasik ölçme yöntemleri ile yapılan çalışmalarda hem ölçüm işlemleri çok fazla zaman almakta, hem de arazinin engebeli ve ulaşımı zor olduğu durumlarda istenilen yerlere ulaşamamaktadır. Yersel lazer tarayıcılar ile istenilen çalışmalar hızlı ve düşük maliyetle yapılabilmekte, tarayıcının sabit bir yere kurulması ile her türlü arazi şartında istenilen veriler toplanabilmekte ve kullanılan yazılımlarla istenilen bilgilere kolayca ulaşılabilir (Karabörk vd., 2009).

Lazer tarayıcılar, ölçülecek alanda operatör tarafından belirlenen yatay ve dikey yöndeki aralıklarda belli bir açı ile bakarak, arazi yüzeyini otomatik olarak tarar, obje ile aralarındaki mesafeyi ölçer ve taradıkları bölgede çok sayıda noktanın bir araya gelerek nokta bulutu oluşturması ile görüntü meydana gelir. Bu noktalar, tarama esnasında, tarayıcıda bulunan dönen aynanın lazer ışınını nesneye göndermesi ile elde edilir. Bunun sonucunda da, noktaların üç boyutlu koordinatları elde edilmektedir.

Lazer tarayıcılar geniş bir bakış açısına sahiptir. Yatayda 360^0 dikey yönde ise 270^0 olan bu bakış açısıyla ölçümleri kolayca, kaliteli ve hassas olarak gerçekleştirmektedirler. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte yatay ve dikey yönlerde 360^0 tarama yapabilen lazer tarayıcılar kullanılmakta ve bu özellik arkeoloji ve mimaride çok fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu yöntem ile bakılan obje üzerindeki her ayrıntı ölçülebilir. Satır tarama ya da sütun tarama yöntemi ile istenilen aralıklarla hızlı bir şekilde ölçüm yapmaktadırlar. Ayrıca lazer tarayıcılar ile taranan objeye ait veriler doğrudan bilgisayar ortamında saklanabilir.

Lazer tarama sistemlerinde görüntüleme, iki düz açılı aynadan oluşan ve lazer ışınlarını saptıran optik mekanik tarayıcı ile gerçekleştirilmektedir.

Yersel lazer tarayıcılar ile tarama işlemi yapılırken, ölçülmesi istenen objenin tamamıyla görüntülenebilmesi amacıyla taraması tek noktadan değil değişik noktalardan yapılır, binlerce nokta birkaç saniye gibi kısa bir sürede üç boyutlu olarak taranır ve bu üç boyutlu noktalar tarayıcıya göre tanımlanmış olan alet merkezli bir koordinat sisteminde kaydedilir. Yapılan bu taramaların hem diğer lazer tarayıcılarla yapılan ölçümlerle hem de diğer yöntemler sonucu elde edilen ölçülerle rahatlıkla

birleştirilebilmesi için ortak bir koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Yani yapılan bağımsız taramaların birbiri ile bütünleştirilmesi sağlanır (Gümüş vd., 2009).

Lazer tarama yöntemi ile elde edilen sonuçlar, istenilen koordinat sistemine dönüştürülebildiği için başka tür yapılan ölçü sonuçları ile kolaylıkla birleştirilebilmektedir.

Mühendislik yapıları, tarihi binalar gibi büyük ve karmaşık şekilli objelerin ölçümünde tarama bir kez yapılmayıp, birkaç kez farklı yönlerden yapılmaktadır. Taramalar sonucunda elde edilen verilerin diğer verilerle birleştirilebilmesi amacı ile bu taramalar birleştirilerek jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmektedir (Yıldız ve Altuntaş, 2009). Bu şekildeki yapıların üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi jeodezik ve fotogrametrik yöntemlerle yapılabilmesine rağmen, bu modellemeler yersel lazer teknolojisi ile ölçüğe bağlı kalınmadan kolaylıkla ve kısa sürede yapılabilir.

Lazer teknolojisi ile taranan objenin üç boyutlu nokta verileri elde edilebilmekte, ulaşılan veriler yardımıyla da istenilen başka verilere tekrar alana gidip ölçüm yapma zorunluluğu olmadan ulaşılabilir.

Eğer ölçülecek obje yüzeyi düzgün ve geometrik şekle sahip değilse ve fotogrametrik alım ve proje süresi kısıtlı ise bu durumda yersel lazer tarayıcılar önemli avantaja sahiptir ve özellikle tercih edilirler. Bu teknoloji ile karmaşık yapıda olan ve ölçüm yapılmasını neredeyse imkansız hale getiren yapıların bile korunması ve yenileme çalışmaları kısa sürede ve kolay bir şekilde yapılabilir. Ayrıca hacim hesapları gibi çalışmalarda da lazer tarama aletleri kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemin, hem yeni olması sebebiyle maliyeti yüksektir, hem de tarama aralığı küçüldükçe tarama zamanının artması ve mesafe sınırlaması gibi dezavantajları da mevcuttur.

Günümüzde gelişen otomatik lazer tarayıcı aletler ile jeodezik yöntemlerin kullanılmasıyla ortaya çıkan ölçülecek obje ile alet arasındaki mesafenin artması ile arazinin tanımlanacağı noktaların seçiminin zorlaşması gibi olumsuzluklar da ortadan kalkmıştır. Ancak bu yöntemde de araziye temsil eden noktalar eğer tarama aralığının dışında kalırsa, bu durumda tarama aralığının küçültülmesi gerekir. Bu durumda da tarama zamanında artış meydana gelecektir (Yakar vd., 2009).

Lazer tarayıcıların ölçme prensipleri aynıdır fakat yapılacak çalışmaya göre ölçme uzunlukları, bazı fonksiyonları ve kullanılış amaçları farklılık göstermektedir. Ayrıca tarayıcıların çoğunda dijital kameralar bulunmaktadır ve bu kameralar yardımıyla elde edilen nokta bulutlarına renk değeri atanabilir.

Yapılacak tüm çalışmalarda tek bir çeşit lazer tarayıcı sistem kullanılmayıp, çalışmanın türüne göre lazer tarama sistemleri değişiklik gösterir ve bu aletlerin çalışmanın amacına göre seçilmesi gerekir. Bu sistemlerin sınıflandırılmasında hızı, çözünürlüğü, ışın boyutu, görüş alanı, görüntüleme kameraları, taşıma kolaylığı, alım uzaklığı, ışık kaynağının ayırma gücü, elde edilen nokta doğrulukları, lazer ışınının hem yatayda hem de düşeydeki hareket aralığı, aletin saniyede kaydettiği nokta sayısı ve sistemden beklenen doğruluğa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çünkü tarayıcıların bazıları yapıların içi ve yüz metreye kadar olan orta mesafelerde kullanılmak üzere tasarlanmış olup, bazıları açık alanda ve birkaç yüz metreye kadar olan fazla mesafelerin söz konusu olduğu çalışmalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ayrıca mesafenin çok kısa olduğu ve sonuçlardan çok yüksek doğruluk beklenen çalışmalar için de lazer tarayıcılar üretilmiştir (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004). Birkaç metrelik kısa mesafeler için kullanılan bu tarayıcılar daha çok endüstriyel çalışmalarda ve mühendislik uygulamalarında kullanılırlar. Bu tarayıcılarla sonuçlar mikrometre hassaslığında elde edilebilmektedir. Bu nedenle üç boyutlu modelleme çalışmaları yapılırken tarayıcıların özellikleri ve bu tarayıcıların çalışma prensipleri göz önüne alınmalıdır (Karabörk vd., 2009).

Lazer tarama cihazları satın alınacağı zaman maliyeti yüksektir ancak diğer klasik yöntemlerle karşılaştırıldığı zaman hem arazide ihtiyaç duyulan çalışan sayısı hem de çalışmanın süresi azalacağı için bu ilk maliyet diğer yöntemlere göre çok yüksek görülmemelidir. Ayrıca teknoloji geliştikçe bu cihazların maliyetleri de buna paralel olarak düşmektedir.

Lazer tarayıcılar için alım uzaklığı, nesne yüzeyinin gelen ışını ne kadar yansıttığı, güneş ışığını alıp almadığı ve nesnenin yakın çevresinde radyasyon kaynağı bulunup bulunmadığına bağlıdır.

Işınsal açıklık özelliği ise aletin tarayabileceği en küçük tarama aralığını göstermektedir. Sinyal tekrarlama oranı, tarayıcıdan gönderilen sinyal sayısıdır ve KHz

olarak ölçülmektedir. 1 KHz sinyal saniyede tarayıcıdan 1000 sinyal gönderiliyor anlamını taşır.

Lazer taramada taranan objenin özelliğine göre yoğunluk da değişiklik göstermekte olup, objenin hassas olarak taranması isteniyorsa tarama açısı veya tarama sıklığı değeri küçük olmalıdır. Bu şekilde tarama sonucunda daha fazla nokta elde edilebilmektedir. Elde edilen nokta sayısı arttıkça taranan obje üzerindeki detaylarda o kadar iyi görülebilmektedir. Tarama açısı ne kadar geniş alınırsa taramanın süresi de o oranda azalmaktadır. Ancak tarama açısı genişledikçe obje üzerindeki detaylar da zor görülür. Yani tarama hızlı yapıldığı zaman objeye ait detaylar daha az elde edilirken, yavaş yapılan tarama sonucunda detaylara çok daha net olarak ulaşılabilir.

Lazer tarayıcılar, farklı özelliklere sahip oldukları için kullandıkları yazılımlarda birbirinden farklıdır. Yersel lazer tarama teknolojisinde kullanılan özel yazılımlar ile elde edilen veriler çeşitli şekilde gösterilebilir, modellenabilir veya nokta bulutu yardımı ile direkt ölçme işlemi yapılabilir. Bu yazılımlar ile noktaların üç boyutlu koordinatları farklı dosya uzantıları şeklinde kaydedilerek daha sonra başka yazılımlarda da kullanılabilir. Kullanılan yazılımların geliştirilmesi ile birlikte alan ve hacim hesaplamaları yapılabilmekte, obje ile ilgili kesit bilgilerine de ulaşılabilir ve üç boyutlu (x, y, z) konum bilgileri sorgulanabilmektedir. Yapılan taramalar sonucunda kolay ve hızlı bir şekilde veriler elde edilmekte, ulaşılan bu veriler ile de yine kullanılan özel yazılımlar aracılığıyla yeni veriler de üretilebilmektedir.

Farklı marka ve modellerde lazer tarayıcılar mevcuttur. Bunlardan bazıları Optech, Riegl, Leica, Zoller+ Fröhlich, Faro, Mensi, Topcon vb. şeklinde sayılabilir. Farklı markalardaki lazer tarayıcıların bazı özellikleri Çizelge 1.1.' de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı lazer tarayıcılar ve özellikleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Marka	Model	Ölçme Mesafesi (m)	Ölçme Hızı	Tarama Açısı	Mesafe Doğruluğu	Konumsal Doğruluk	Işınsal Açıklık
Optech	Iris 3D	3m-1500m (%80 yansıtıcı yüzey)	2500 Nokta/san	310° (V) 360° (H)	7mm@100m	8mm@100m	0.00974°
Riegl	LMS-Z420	2m-1000m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	8mm@50m	10mm@50m	0.25mrad
	LMS-Z390	1m-300m (%80 yansıtıcı yüzey)	11000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	4mm@50m	6mm@50m	0.25mrad
	LMS-Z210	4m-650m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000 nokta/san	0-80° (V) 0-360° (H)	10mm@50m	15mm@50m	2.7mrad
Leica	Scan Station	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 nokta/san	270° (V) 360° (H)	4mm@50m	6mm@50m	4mm@50m
	HDS 3000	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 nokta/san	270° (V) 360° (H)	4mm@50m	6mm@50m	4mm@50m
	HDS 4500 (53m)	53.5 m	500000 Nokta/san	310° (V) 360° (H)	5mm+120ppm (%100 yansıtıcı yüzey)	13.7mm@25m (%100 yansıtıcı yüzey)	8.5mm@25m
	HDS 6000	79 m (%80 yansıtıcı yüzey)	500000 Nokta/san	310° (V) 360° (H)	5mm@50m	10mm@50m	3mm+0.22mrad
Z-F	Imager 5006	1m-79m	500000 Nokta/san	310° (V) 360° (H)	0.1mm@50m	1mm@50m	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	4mm@150m	0.0006°



Şekil 1.2. Optech ve Riegl marka lazer tarama cihazı



Şekil 1.3. Leica ve Zoller + Fröhlich marka lazer tarama cihazı



Şekil 1.4. Faro ve Mensi marka lazer tarama cihazı



Şekil 1.5. Topcon ve Maptek marka lazer tarama cihazı

1.2. Lazer Tarama Sisteminin Çalışma İlkesi

Lazer tarayıcılar, ölçme prensiplerine göre ya da teknik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Ölçme prensiplerine göre; uçuş zamanı veya ışığın gidiş/ geliş zamanı (time of flight), faz farkı (phase difference) ve üçgenleme (optical triangulation) prensipleri olarak sıralanabilir. Yersel lazer tarayıcılarda, kısa zaman aralıklarıyla lazer pulslarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan puls metodu kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004; Fröhlich ve Mettenleiter, 2004).

Uçuş zamanı prensibini esas alan lazer tarayıcılarda, tarayıcı ile obje arasındaki mesafe, tarayıcıdan nesneye gönderilen lazer ışınının nesneye çarpıp tekrar göndericiye gelmesi arasındaki zamanın (time of flight) ölçülmesi ile bulunmaktadır. Bu prensip, uzun mesafelerin (birkaç yüz metre) söz konusu olduğu çalışmalarda kullanılmaktadır ve elde edilen sonuçlar kabul edilebilir doğrulukta olup, birkaç mm doğrulukla ölçümler yapılmaktadır. Tarayıcılar, obje ile arasındaki mesafenin hesaplanması için basit algoritmalar kullanırlar (Karabörk vd., 2009).

Faz farkı prensibini (phase difference) esas alan lazer tarayıcılarda ise, gönderici ile obje arasındaki mesafe, objeye gönderilen ve objeden yansıyıp tekrar göndericiye gelen sinyaller arasındaki faz farkının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır (Boehler, 2002). Bu prensiple çalışan lazer tarama aletleri ise çok uzun mesafeler için uygun olmayıp, yüz metreye kadar olan orta mesafeler için uygundur. Birkaç mm doğrulukla istenilen mesafe ölçülebilir. Bu sistemlerin en büyük avantajı yüksek tarama hızıdır. Yöntemin sinyal analizi uçuş zamanı yöntemine göre daha karışık olduğu için elde edilen sonuçlar da daha doğru olmaktadır.

Üçgenleme (optical triangulation) prensibine göre çalışan lazer tarayıcılar ise 10-25 metre gibi kısa mesafelerde kullanım için uygundur. Bu sistemle yapılan çalışmalarda ise mikrometre seviyesinde doğruluk sağlanmaktadır (Karabörk vd., 2009).

Çizelge 1.2. Yersel lazer tarayıcıların sınıflandırılması (Yılmaz ve Yakar 2006)

Ölçme sistemi	Mesafe (m)	Doğruluk (mm)
Uçuş zamanı	< 100	< 10
	< 1000	< 20
Faz ölçümü	< 100	< 10
Optik üçgenleme	< 5	< 1

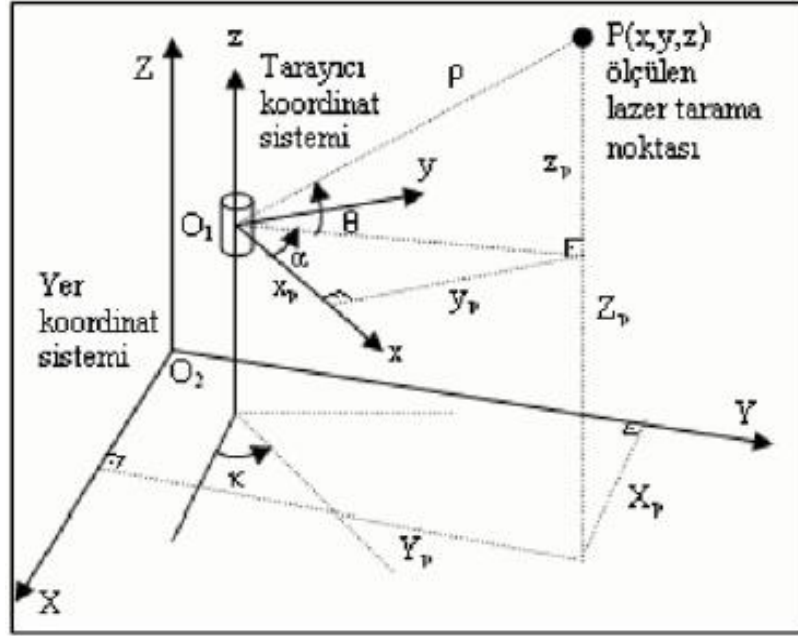
Genellikle faz farkı prensibini kullanan lazer tarayıcılarda faz farkı ölçümleri ışın zamanı ilkesini kullanan tarayıcılara göre daha hassastır ancak ışın zamanı ilkesini kullanan lazer tarayıcılar ise gece de ölçüme olanak vermektedir.

Günümüzde yapılan çalışmalarda, en fazla uçuş zamanı prensibi ile çalışan lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. Çünkü bu teknik, yüz metreye kadar olan uzun mesafelerde bile net ölçümler yaparak birkaç milimetreye kadar doğruluk sağlamaktadır.

Yersel lazer tarayıcıların ölçme prensibi istenilen objeye gönderilen lazer ışınının, kaynaktan çıkması, objeye çarpıp tekrar geri dönüşü sırasında geçen zamanın (time of flight) kaydedilmesi ve böylece de mesafenin ölçülmesi şeklindedir. Belgeleme ve üç boyutlu modelleme amaçlı kullanılan tarayıcı sistemlerin çoğu bu prensibe dayanmaktadır.

1.2.1. 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 α ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı Θ ’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 1.6 ‘da görülmektedir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).



Şekil 1.6. Yersel lazer tarayıcı koordinat sistemi (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Şekil 1.6' daki gösterimlerin açıklamaları aşağıdaki şekildedir.

- x,y,z: Tarayıcı alet orijinli nokta bulutu koordinatları,
- ρ: Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe,
- α : Işın doğrultusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı,
- θ: Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı,
- O1: Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- O2: Yer koordinat sistemi merkezi.

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

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

Lazer tarayıcı nokta bulutları ölçülen alanı gerçek ölçüleri ile temsil ettiği için objenin 1:1 ölçekli 3B modeli olarak da düşünülebilir. 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 (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Tarayıcı alet orijinli x,y,z nokta bulutu koordinatları, ek ölçüler ve hesaplamalarla jeodezik koordinat sistemine ya da başka bir referans koordinat sistemine dönüştürülür (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

1.3. Yersel Lazer Tarama Sisteminin Bileşenleri

Yersel lazer tarayıcı sistemi, tarayıcı, kontrol ünitesi, güç kaynağı ve sehpa olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır (Barber vd., 2001; Gümüş ve Erkaya, 2007).

Tarayıcı, aletin objeye lazer ışınını göndererek objeye ilgili üç boyutlu veri toplayan ve diğer ölçü aletleri ile kıyaslandığında daha büyük ve ağır olan kısımdır. Tarayıcı, uzunluk ölçme sistemi olan lazer telemetresi ve lazer ışın saptırma ünitesi olmak üzere iki bileşenden oluşur (Wehr ve Lohr, 1999).

Lazer telemetresi ise bir verici, bir alıcı, verici ve alıcı optikleri ve zaman ölçüm ünitesinden oluşmaktadır.

Verici ile bir lazer ışını alıcıya gönderilir ve böylece zaman ölçümü başlar. Aynı anda başka bir lazer ışını ise objeye gönderilmektedir. Objeye gönderilen ve sonra obje yüzeyinden geri yansıyan lazer ışınının bir kısmı dedektör tarafından algılanır. Objeye yüzeyinden yansıyıp geri dönen lazer ışınının miktarı mesafe duyarlılığını etkilemektedir ve bu miktar objeye gönderilen ışın miktarından oldukça küçüktür. Lazer ışını saptırma ünitesi ise yatay veya dikey yöndeki tarama aynasından oluşmaktadır. Tarayıcılar genellikle bir veya birkaç pille çalışırlar ve piller için bir şarj aleti gereklidir. Ayrıca ölçüm esnasında tarayıcının üzerine konulması için bir tripot ya da sehpa gereklidir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

1.4. Yersel Lazer Tarama Teknolojisinde Hata Kaynakları

Yersel lazer tarama ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, birçok çalışma için önem arz eder. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı lazer tarama ile yapılan ölçümlerin sonuçları da hata verebilir. Bu nedenlerden bazıları tarayıcıların tasarımları ve çok parçadan oluşması, taranan obje yüzeyinin yansıtma özelliği, çevresel etkiler, operatör hataları olarak sayılabilir (Gümüş vd., 2009).

Yersel lazer teknolojisinde ortaya çıkabilen hata kaynakları aletsel hatalar, çevresel hatalar ve obje ile ilgili hatalar olmak üzere üç grupta sıralanabilir.

Aletsel hatalar, lazer tarama aletinin teknik özelliklerine bağlıdır. Bu hatalar, lazer telemetresinin ve ışın saptırma ünitesinin yapısal özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkmışsa, herhangi bir şekilde kullanıcı tarafından yok edilemez. Tarayıcı donanımına bağlı olarak ortaya çıkan aletsel hataların ise kalibrasyonla ortadan kaldırılma şansı vardır (Gümüş vd., 2009).

Lazer tarayıcılarda aletsel hatalara bağlı olarak ortaya çıkan düzenli hatalar ise diğer ölçüm aletlerinde ortaya çıkan düzenli hatalardan farklılık gösterip, kullanıcı tarafından ayar ya da yok edilemezler. Burada ortaya çıkan düzenli hatalardan bazıları, sıcaklık sapması, sıfır hatası, lek hatası olarak sıralanabilir.

Lazer tarama ölçümlerini etkileyen başka bir hata kaynağı olan çevresel hatalar ise lazer ışınlarının atmosferde uğradığı şekil bozulması ve yoğunluğundaki azalma, yine atmosferdeki şartlar sonucunda ortaya çıkan hatalar ve kötü hava koşulları olarak sıralanabilir. Pus, sis, yağmur gibi kötü hava şartları veri kalitesini azaltmaktadır. Lazer ışınının havadaki yayılma hızı ısıya, basınca, neme bağlı olarak değişir. Rüzgarlı havalarda hava yoğunluğu da değişiklik göstermektedir. Ayrıca lazer tarayıcıların çoğu da sıfır derecenin altında çalışmamaktadır. Lazer ışınının havada farklı sıcaklıklar içinde yayılması da ışının yayılmasını etkileyen faktörlerdendir (Gümüş vd., 2009).

Obje ile ilgili hatalar ise objenin yüzeyinden yansıyan sinyal ile lazer gücü arasındaki oran yani yansırılık özelliğidir (Gümüş vd., 2009).

1.5. Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları

Lazer teknolojisi, özellikle jeodezik ve inşaat mühendisliği ile ilgili çalışmalarda, elektronik uzunluk ölçümlerinde, tünellerde, madenlerde, lazer nivelmanı gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deformasyon ölümleri, mimarlık gibi alanlarda ve tarihi ve kültürel objelerin üç boyutlu modellenmesi çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yersel lazer tarayıcılar, objelerin üç boyutlu modellenmesinde henüz yeni bir teknolojidir ancak buna rağmen son yıllarda çok fazla kullanım alanı mevcuttur ve sistemin kullanımı hızla artış göstermektedir. Lazer tarama, kültürel mirasın korunması ve objelerin üç boyutlu modellenmesinde, üç boyutlu görselleştirmede, arkeoloji çalışmalarında, mimari ve tarihi çalışmalarda, şehir modellemelerinde, cephe röleveleri, taranacak obje veya alanın deformasyonlarının belirlenmesinde, binaların, tarihi eserlerin hasar durumlarının değerlendirilmesinde, korunmasında, restorasyon ve röleve çalışmalarında ve tarihi bilgilerin arşivlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisi kullanılarak elde edilen üç boyutlu görüntüler ile tarihi eserler ve önemli yapılar sanal ortamda sunulabilir. Bu çalışmalar dışında rutin üç boyutlu modelleme çalışmalarında da bu teknik kullanılmaktadır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Yersel lazer tarayıcılar ulaşım ve altyapı çalışmalarında, demiryolu ve karayolu yapımında ve ölçüm çalışmalarında kullanılmaktadır. Demiryolu, tünel, köprü gibi yapıların hasarlarının değerlendirilip gerekli onarım çalışmalarının yapılmasında kullanılır. Ayrıca bu teknoloji ile elde edilen veriler renkli sayısal fotoğraflar ile birleştirilerek mimari uygulamalarda da kullanım imkanı bulmaktadır. Sürekli geliştirilen yazılımlarla tarama sonucu elde edilen üç boyutlu veriler ile yeni veriler üretilebilmekte ve bu avantaj da yine yapılan mimari çalışmalarda kullanılmaktadır.

Yersel lazer tarama teknolojisinin başka bir kullanım alanı da kıyıların izlenmesidir. Kıyılardaki erozyon ve sel tahminleri, sel bölgelerinin haritalanması, ulaşılamayan tehlikeli bölgelerin ölçülmesi, kıyı planlaması, kazılarda kesit, hacim ve alan hesaplamaları gibi çalışmalarda da yersel lazer tarama teknolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca doğal afetlerin değerlendirilmesi çalışmalarında, taş ocağı ve madenlerde de bu teknolojiiden yararlanılmaktadır.

Yapılarda kalite kontrolün yapılmasında, binalardaki incelemelerde ve risk keşiflerinin yapılmasında, yapı bilgi sistemlerinin kurulmasında, binaların üç boyutlu modelinin elde edilmesi ve bu model yardımıyla eskiyen çizimlerin güncellenmesinde kullanılır. Yine endüstride yapılan çalışmalarda, endüstriyel tasarımlarda ve nokta bulutları yardımıyla elde edilen objenin üç boyutlu modelinden faydalanılarak üretim sırasında ortaya çıkabilecek hatalar takip edilebilmektedir.

Madencilikte ise lazer tarama teknolojisinden kazı ölçmeleri, eğim ölçmeleri, deformasyon ölçmeleri gibi çalışmalarda yararlanılmaktadır.

Barajlar gibi büyük yapıların deformasyon ölçmelerinde de yersel lazer tarama teknolojisinden yararlanılmaktadır. Böylece bu tür çalışmalarda klasik ölçüm yöntemlerinde olduğu gibi sınırlı sayıda değil, fazla miktarda obje noktası alınabilmektedir.

Ayrıca tıbbi görüntüleme çalışmalarda, ölçme ve coğrafi bilgi sistemi uygulamalarında, volkanik gözlemlerde, bu teknolojiyen yararlanılmaktadır.

Bunların dışında, özel sektörde üç boyutlu görüntüleme ve kısa mesafeli uzunluk ölçümlerinde de kullanıldığı gibi askeri sektörde de iz sürme, hedeflerin doğru görüntülenmesini sağlama gibi amaçlarla da kullanım imkanı bulmaktadır.

Her türlü uygulama alanında, yersel lazer tarama teknolojisi hem maliyet hem de zaman ve kolaylık açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu teknoloji ile üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü veriler yüksek hassasiyette elde edilebilmektedir.

1.6. Yersel Lazer Tarayıcıları Geleneksel Ölçüm Tekniklerinden Ayıran Farklar

Yersel lazer tarayıcılar ile noktaların üç boyutlu koordinatları hızlı, doğrudan, istenilen sıklıkta ve kolay bir şekilde ölçülmektedir. Ayrıca bu teknoloji ile yapılan ölçümler en az maliyetle yapılmakta ve istenilen projeler kısa zamanda tamamlanmaktadır.

Geleneksel yöntemlerle ölçülemeyen, yanına gidilemeyen tehlikeli bölgelerdeki ve karmaşık yapıdaki objeler rahatlıkla ölçülebilmektedir. Yapılan tarama işlemleri aydınlatmadan bağımsız olup, geceleri de ölçüm yapma olanağı vermektedir. Objeye ait tüm detaylar tek seferde elde edilebilir ve yeni veriye ihtiyaç duyulduğu zaman çalışma alanına geri dönme zorunluluğu gerektirmez. Tarama sonucunda toplanan veriler çok amaçlı olarak kullanılabilir. Geleneksel ölçüm teknikleri ile objenin üç boyutlu modelinin elde edilmesi oldukça zor ve uzun zaman almaktadır. Bu yöntemlerle yapılan çalışmalarda tek tek nokta koordinatlarının ölçülmesi gerekir. Bunun sonucunda uzun zaman diliminde az sayıda nokta elde edilir. Yersel lazer tarama teknolojisinde ise bu

durum ortadan kalkmakta, kısa sürede çok sayıda üç boyutlu noktalar elde edilebilmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Lazer tarama ölçümüyle objelere ait her türlü detay uzaktan ölçülebilir ve elde edilen nokta bulutu verileri bilgisayarda değerlendirilir.

Taranacak objeye gönderilen lazer ışını objenin yüzey şekline göre değişik açılarla saçılır ve bu ışınlar tarayıcının alıcı kısmında değerlendirilerek objenin geometrisi elde edilir.

Takeometrelerde ve diğer ölçme aletlerinde ölçüm yapılırken bir prizma kullanılması gerekebilir ve aletten sinyal bu prizmaya gönderilir. Lazer tarama aletlerinde ise prizma kullanılmaksızın direkt obje üzerine sinyal gönderilerek tarama işlemi gerçekleştirilir.

Yersel lazer tarama teknolojisi ile çok büyük ve karmaşık şekildeki objeler bile çok kısa sürede, hızlı ve en az giderle ölçülebilmekte, objeye ait tüm detaylar eksiksiz ve üç boyutlu aynı zamanda da gerçek ile uyumlu olarak elde edilebilmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

1.7. Doğruluk ve Hassasiyet Kavramları

Doğruluk, ölçü değerinin gerçek değere ya da ölçülen değere ne derece yaklaştığının ölçüsüdür. Yani doğruluk, gerçek değerden sapma olarak da düşünülebilir.

Ölçmede doğruluk önemli bir kavramdır. Yapılan hataları en aza indirmenin yanı sıra, hata büyüklüklerini de kabul edilebilir doğrulukla hesaplamak gerekmektedir. Ölçmede eğer maksimum doğruluk hedeflenirse bu durumda ölçme hızı düşer ve maliyet artar. Bu nedenle istenilen doğruluğu hedeflemek önemlidir.

Tekrarlı yapılan ölçülerde bulunan sonuçlar ortalama bir değer etrafında birbirine çok yakın olarak çıkarlar. Ne kadar çok ölçüm yapılırsa elde edilen sonuçlar ile bu değer daha da belirgin hale gelir. Doğruluk da, bu elde edilen ortalama değer ile gerçek değer arasındaki farkın gerçek değere oranı olarak tanımlanabilir.

Hassasiyet ise benzer koşullar altında yapılan tekrarlı ölçümlerin birbirine olan yakınlığıdır (Yomralıoğlu, 2000).

Tekrarlı olarak yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar arasındaki en düşük ve en yüksek değerler arasındaki fark ölçü değeri aralığıdır. Bu değeri aralığının ortalama değere oranı hassasiyet olarak tanımlanmaktadır. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler birbirine ne kadar yakın ise ölçü o kadar hassas yapılıyor demektir.

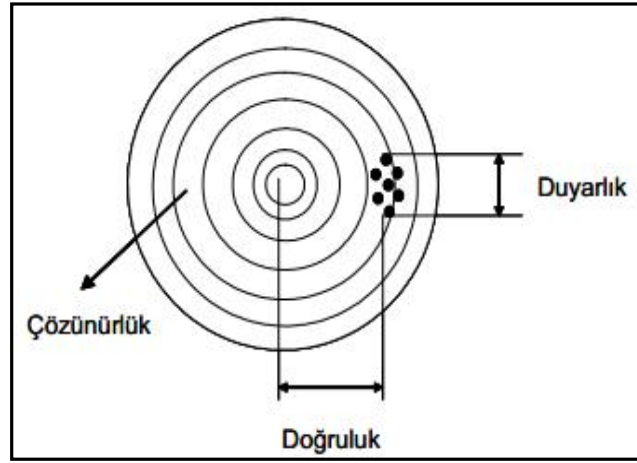
Ölçüler arasındaki fark azaldıkça ve ölçü aletindeki birim küçüldükçe duyarlılık artar (Poyraz vd., 2005).

Bir ölçü aletinin duyarlılığı kesinliğe ve gerçeğe uygunluğuna, bir ölçünün duyarlılığı ise ölçülecek şeyin niteliğine, gözlemciye ve çevre koşullarına bağlı olmaktadır (Gülal, 2003).

Hassasiyet sadece ölçme işlemindeki rastgele hatalardan etkilenir. Bu sebeple, veri kalitesi, doğruluk ve hassasiyetle ilgilidir. Hata ise, verinin hassas olmayışı ve yanlışlığını kapsayan ve ifade eden bir kavramdır (Yomralıoğlu, 2000).

Ölçülerdeki yüksek duyarlılık isteği maliyeti artırır. Daha pahalı ekipman kullanılmasını gerektirir ya da ölçme süresini uzatır. Ölçmede arzu edilen, ölçülerin yeterli doğrulukta ve duyarlılıkta olmasıdır. Bunun için uygun koşullarda ölçme yapılması, uygun ölçme yönteminin ve ekipmanın seçilmesi, ölçme sırasında gerekli titizliğin gösterilmesi, ölçülerin kaba ve sistematik hatalardan arındırılması gerekir (İnal ve Çakır, 2004).

Doğruluk ve duyarlılık kavramlarını bir hedefe yapılan atışlar ile açıklarsak; çözünürlükten en küçük sayısal birim yani örneğe göre hedef dairelerin arası anlaşılmaktadır. Hedefe yapılan atışların dağılımı duyarlılığı ifade etmektedir. Atışların ortalama konumu ile hedef merkezi arası ise doğruluk olarak tanımlanır (Gülal, 2003).



Şekil 1.7. Hedef levhası yardımı ile duyarlık, doğruluk ve çözünürlük kavramlarının gösterimi (Gülal, 2003)

Lazer tarayıcılarla ölçülen her nokta bulutu çok sayıda rastlantısal hata içerir. Bu hatalar; ışın yansıması ve ışın kalınlığından kaynaklanan ölçme sistemi hatalarıdır. Ölçüler jeodezik koordinat sistemine dönüştürülecekse bu hatalara dönüşümde kullanılan noktaların hataları da eklenmektedir (Lichti ve Gordon, 2004).

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 (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

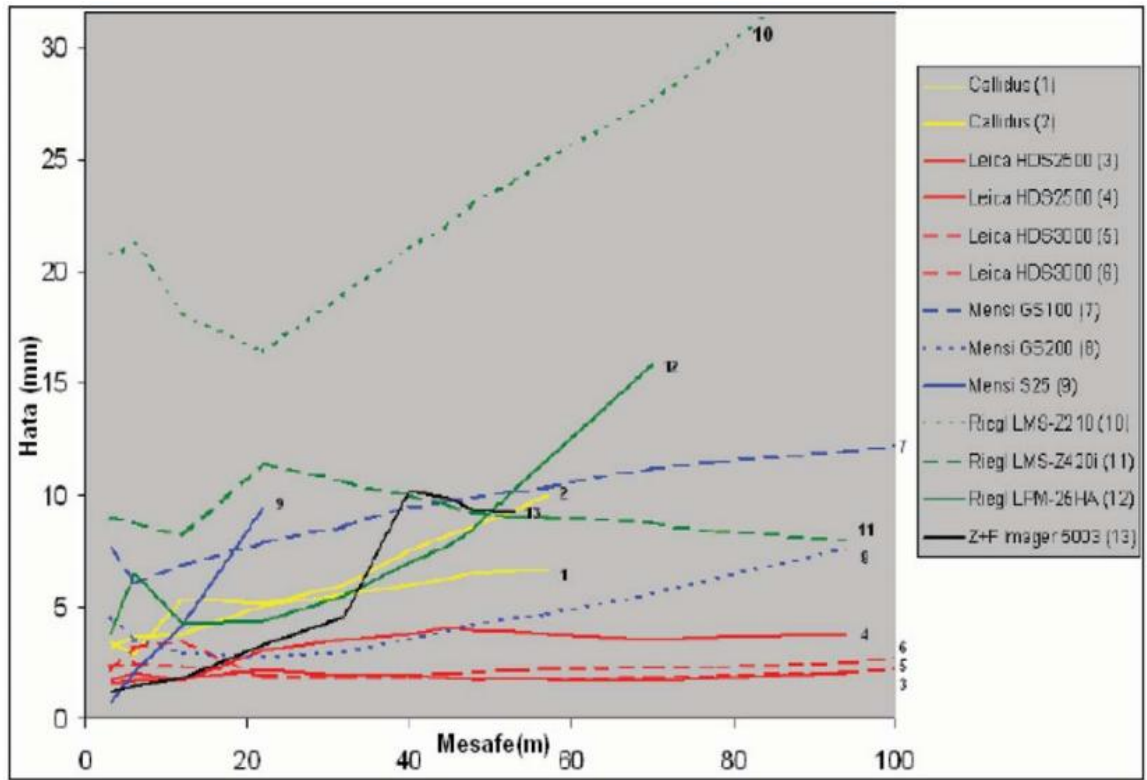
Lazer ışın kalınlığından dolayı obje kenarına çarpan ışının bir kısmı geri dönerken bir kısmı da diğer yüzeyden geri yansıyacaktır. Bu durumda aynı lazer ışını için iki farklı ölçü noktası elde edilecektir. Bu hata, lazer ışın kalınlığının azaltılması ile en aza indirilebilir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

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, kızılötesi) bağlı olarak değişir (Boehler vd., 2003).

Atmosferik koşulların kısa mesafelerde etkisi çok azdır. Toz ve su buharı lazer ışın kalınlığından dolayı ölüleri etkileyecektir. Bu hata obje kenarlarında lazer ışın kalınlığından dolayı kaçınılmaz olarak oluşan ölü hatalarıyla aynı büyüklüktedir. Bu hatanın giderilmesi, ancak lazer nokta büyüklüğünün minimuma indirilmesiyle mümkündür (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Bir lazer tarayıcı, ancak kendi çalışma sıcaklığında optimum olarak çalışır. Sıcaklık, kendi çalışma aralığında olsa bile mesafe ölümünde etkili olabilir. Tarayıcının iç sıcaklığı, çalışma ve radyasyon nedeniyle dış sıcaklıktan bir miktar fazla olacaktır. Lazer tarayıcı aletlerin oğru, çalışma sıcaklığı belirlenen aralığı aştığında otomatik olarak kapanmaktadır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Lazer tarayıcıların doğruluklarını araştırmak amacıyla Almanya’ da Mainz-University of Applied Sciences’ da bir test alanı kurulmuş ve bu test alanında değişik lazer tarayıcıların farklı mesafelerdeki ölümlerine ilişkin doğruluk testi yapılmıştır. Yapılan test sonucunda lazer tarayıcıların ölme doğruluğru 1000 metrenin üzerindeki uzun mesafelerde 10 cm, 300 metrenin altındaki kısa mesafelerde ise 1 cm civarında olduğu görölmüştür. Genel olarak lazer tarayıcıların mesafe ölme ve konum hatasının 100 metrede 1 cm’ nin altında olduğu görölmüştür.



Şekil 1.8. Farklı lazer tarayıcılar için mesafeye bağlı ölçüm doğrulukları (Zweyer,2006)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde teknolojiadaki ilerlemelerle birlikte lazer tarama teknolojisi de gelişmekte ve bununla beraber kullanım alanı da giderek artmaktadır.

Lazer tarama teknolojisi özellikle üç boyutlu modelleme çalışmalarında kullanıcılara birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlardan bazıları, taramaların hızlı, kolay ve düşük maliyetle yapılması, objelerin üç boyutlu modellerinin yüksek duyarlılıkla elde edilmesi olarak sıralanabilir.

Bu teknoloji ile objeler kısa sürede taranarak, üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmekte ve bu noktaların oluşturduğu nokta bulutları ile de objeye ait her ayrıntı üç boyutlu olarak görsel hale getirilebilmektedir.

W. Boehler, M. Bordas Vicent, A. Marbs (2003) "Investigating Laser Scanner Accuracy" isimli çalışmasında lazer tarayıcı tarafından kaydedilen noktaların niteliğinin ve nokta bulutları ile elde edilen geometrik modellerin araştırılmasına izin veren test alanları kullanmışlardır. Bu test alanları aynı zamanda farklı şekilde üretilen tarayıcılar arasında karşılaştırma yapma imkanı da verir. Bu test, farklı mesafelerdeki farklı yansıtma özelliğine sahip düz yüzeylerin taranmasını içerir. Çalışmada hedef olarak beyaz kürelerin de kullanıldığı birçok test alanı tarama mesafelerinin doğruluğu hakkında bilgi elde etmek için kurulmuştur. Farklı mesafelerde elde edilen doğruluklar araştırılmıştır. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada hem farklı mesafelerde tarama yapılarak lazer tarayıcıların doğrulukları ölçülmekte, hem de farklı tarayıcılarla farklı şekillerdeki küçük objeler taranarak bu tarayıcıların bu problemler için ne derece uygun oldukları araştırılmıştır. Farklı boyutlardaki grid ve noktalar nedeniyle, küçük objelerdeki detayları çözmek için üç boyutlu lazer tarayıcılar benzer yeteneklere sahip olmadıkları görülmüştür. Bunların aynı zamanda obje kenarlarında hata ürettikleri de görülmüştür. Burada farklı özelliklere sahip lazer tarayıcıların objelerin kenar kısımlarındaki etkilerine bakıldığında, Callidus, Riegl LMS-Z210 ve Zoller+Fröhlich marka yersel lazer tarayıcıların etkisinin düşük, Mensi S25, Mensi GS100 ve Riegl LMS-Z420i lazer tarayıcıların etkisinin ise ortalama değerde olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca bu çalışma sonucunda lazer tarayıcıların önemli avantajları ve dezavantajları değerlendirildiği zaman, Callidus marka tarayıcının çok geniş bir görüş alanı olduğu

ancak dikey yönde çok kaba bir çözünürlüğe sahip olduğu (0.25^0), Cyrax2500 marka tarayıcının iyi bir doğruluğa sahip olduğu ancak dar bir tarama açısına sahip olduğu ($40^0 \times 40^0$), Mensi S25 marka lazer tarayıcının kısa mesafelerde çok yüksek doğruluğa sahip olduğu ancak güneş ışığı altında çalışmadığı ve uzun mesafeler için uygun olmadığı, Mensi GS100 marka lazer tarayıcının geniş görüş açısına sahip olduğu ancak sonuçlarda çok fazla gürültü olduğu, Riegl Z210 marka lazer tarayıcının uzun mesafelerde kullanılabildiği ve geniş görüş açısına sahip olduğu ancak düşük doğrulukta ölçüm yaptığı, Riegl Z420i marka lazer tarayıcının çok uzun mesafelerde kullanılabildiği ve geniş görüş açısına sahip olduğu ancak sonuçlarda çok fazla gürültü olduğu, Zoller+Fröhlich marka lazer tarayıcının ise çok yüksek tarama hızına sahip olduğu ve geniş görüş açısı olduğu ancak obje kenarlarında düşük kalitede nokta ürettiği ve sınırlı açısal çözünürlüğe sahip olduğu (0.018^0) görülmüştür.

T. P. Kersten, H. Sternberg, K. Mechelke (2005) “ Investigations Into The Accuracy Behaviour Of The Terrestrial Laser Scanning System Mensi GS100” isimli çalışmalarında Hamburg Üniversitesi’ ndeki yersel lazer tarayıcı olan Mensi GS100 aletinin doğruluğu üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Kaydedilen nokta bulutlarının doğruluğu ve yapılan mesafe ölçmeleri üzerindeki çalışmalar, kullanılan kürelere ve hedeflere olan mesafelerde önemli tutarsızlıklar olduğunu göstermiştir. Yapılan araştırmada taranan nokta bulutunun kalitesinin aletsel hatalardan ve taranan obje yüzeyinin karakteristik özelliklerinden (renk, materyal, pürüzlülük vs) etkilendiği belirtilmektedir.

Çalışmada kampus içerisine prizmalar, küreler ve hedeflerden oluşan 53 referans noktasını içeren bir test alanı kurulmuştur. Referans noktaları Leica TDA 5005 total station ile dokuz istasyondan ölçülmüştür. Daha sonra referans noktalarının koordinatlarının standart sapması 1 mm’ den daha azken, istasyon koordinatlarının standart sapması 0.5 mm’ den daha az olarak saptanmıştır.

Test alanı içindeki referans noktaları Mensi GS 100 marka lazer tarayıcı ile iki gün içerisinde beş istasyondan taranmıştır. Yapılan taramalar kaydedilmiştir ve küreye ve hedeflere olan ortalama sapma 2.6 mm olarak saptanmıştır (maksimum 4.8 mm).

Küreler ve hedeflerin oluşturduğu referans noktaları arasındaki mesafeler karşılaştırıldığı zaman, küreler arasında hesaplanan mesafelerin düzenli olarak hedefler arasında hesaplanan mesafelerden ortalama 3 mm daha uzun olduğu görülmüştür.

Mensi GS 100 aletinin 3 boyutlu ölçmelerinin değerlendirilmesi ile kürelere ve hedeflere olan mesafeler, referans mesafelerle karşılaştırıldığı zaman nokta bulutlarından mesafelerin ölçülmesindeki algoritmalar tarafından sebep olunan sistematik bir hata içerdiği gösterilmektedir. Bu nedenle lazer tarayıcının mesafe ölçmelerinde algoritmaların iyileştirilmesi veya uygun düzeltme parametrelerinin kullanılması önerilmektedir.

Mensi GS 100 aletinin muylu ekseni hatası üzerindeki araştırmalar üç boyutlu nokta doğruluğunun kalitesini belirli bir biçimde (100 metrede 20 mm' ye kadar) etkileyen 0.2 mm/m genlikli sinüs salınımının belirlendiğini açıkça göstermiştir.

Ayrıca bu aletin muylu ekseni hatasının etkilerinin kullanılan malzemelere, sehpa ve tabanın sabitliğine, dengesine dayandığı gösterilebilir.

H. Karabörk, A. Göktepe, H. M. Yılmaz, Ö. Mutluoğlu, F. Yıldız ve M. Yakar (2009) “ Tarihi ve Kültürel Varlıkların Lazer Tarama ve Lazer Nokta Ölçme Teknolojileri ile 3B Modellenmesinde Duyarlılık Araştırması ve Uygulama Modelinin Belirlenmesi ” isimli çalışmalarında jeodezik ve fotogrametrik lazer tarayıcılar ile lazer nokta ölçme prensibi ile çalışan total station cihazlarını kullanarak objenin üç boyutlu modellenmesi çalışmasında bu aletlerin duyarlılıklarını araştırmışlardır. Bu amaçla Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu’ nda 13 noktadan oluşan bir test ağı oluşturulmuş bu test ağının çevresine de jeo-referanslamada kullanmak için 7 adet nokta tesis edilmiştir. Ayrıca bu test alanında tam cepheden yaklaşık 3,8 ve 17metre mesafelerde ölçme istasyonları belirlenmiştir.

Öncelikle test alanındaki 20 adet noktanın ve ölçme istasyonlarının koordinatları Topcon 3007 total station ile ölçülmüştür. Ölçme istasyonlarında hem lazer tarayıcı ile hem de total station ile ölçmeler yapıp, sonuçlar farklı yazılımlarda değerlendirilmiştir. Lazer tarayıcı ile elde edilen veriler de yerel koordinat sistemine dönüştürülüp veriler arasında koordinat birliği sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen bu koordinatlarla Topcon 3007 total station ile elde edilen koordinatlar arasındaki farklar alınmış ve konum hatası

hesaplanmıştır. Aynı şekilde Topcon 3007 total station cihazından elde edilen koordinatlarla 8203 A total station cihazından elde edilen koordinatların farkı alınmış ve konum hatası hesaplanmıştır. Yine 8203 A total station ve lazer tarayıcı ile elde edilen yükseklik hataları da hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığı zaman X, Y, Z yönlerindeki hataların total stationdan elde edilen verilerde daha az olduğu görülmüştür. Yine noktalar arası mesafelerle jeodezik ölçülerle elde edilen mesafeler karşılaştırıldığı zaman lazer tarayıcı verilerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan ölçülerde test alanında 3 metrelik yakın mesafeden yapılan ölçülerde en yüksek hataların olduğu tespit edilmiştir. G. Karşıdağ, R. M. Alkan (2012) “Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi” isimli çalışmalarında farklı düzgün geometrik şekillerdeki objeler farklı uzaklıklardan ve farklı nokta yoğunlukları ile taranmış ve tarama sonucu elde edilen üç boyutlu nokta bulutu verileri ile bu objelerin üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu modellerden belirli kenar uzunlukları ölçülmüş ve bu uzunluklar kumpasla yapılan ölçmelerden elde edilen kenar uzunlukları ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar ile tarama mesafesi ve nokta yoğunluğunun fonksiyonu olarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

Çalışmada çeşitli boyutlarda iki adet dikdörtgen prizma, küp, kesik koni ve silindir şeklinde düzgün şekilli çelik objeler kullanılmıştır. Aynı zamanda renk faktörünün de taramaya olan etkisini belirlemek için objeler metalik ve siyah renklerde seçilmiştir.

Çalışmada Z+F IMAGER 5006i marka faz karşılaştırma metodu ile ölçüm yapan yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Uygulamada alet objelere ortalama 3 metre ve 10 metre uzaklıkta olmak üzere 8 farklı noktaya kurulmuş ve bu şekilde taramalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tarama verileri Cyclone yazılımında değerlendirilmiş ve objelerin üç boyutlu modelleri elde edilerek kenar uzunlukları ölçülmüştür. Daha sonra objelerin kesin uzunluk değerleri 0.1 mm ve 0.02 mm okuma inceliğine sahip kumpaslar ile ölçülmüştür. Nokta bulutu üzerinde yapılan çizimlerden elde edilen sonuçlarla kumpasla yapılan ölçmelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda ise farkların tarama yoğunluğu ile ters orantılı, tarama mesafesi ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla faz farkı prensibine göre ölçüm yapan yersel lazer tarayıcıların objeye daha yakın mesafede daha iyi sonuç

vereceği görölmüştür. Aynı zamanda siyah renkli objelerin lazer ışınını daha az yansıttığı ve bu objelerin bazı bölgelerinde hiç nokta verisi olmadığı tespit edilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

3.1.1. Test alanı

Yapılan çalışmada kullanmak amacıyla öncelikle sanayide 2.10 metre ve 2.80 metre boyutlarında bir test alanı yaptırılmıştır. Bu test alanının içi çelik dış yüzeyi ise sunta kaplama olup özel demir ayaklar üzerine oturtulmuş sabit, sallanmayan bir özelliktedir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Sabit test alanının karşıdan görünümü

Test alanının tam düşey olmasını sağlamak amacıyla ayakları ve arka kısmında düzeç vidaları ve üzerinde düzeçler bulunmaktadır. Bunlar yardımıyla test alanı düşey hale getirilmiştir (Şekil 3.2.). Üzerindeki sunta kaplama yüzey, ışığı en fazla yansıtan renk olduğundan beyaz olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2. Sabit test alanının arkadan görünümü

3.1.2. Optech Ilris 3D yersel lazer tarayıcı

Lazer tarayıcılarla, ölçülecek alanın üç boyutlu 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 Ilris 3D lazer tarayıcı aleti ölçülecek alanı fotoğraf karelerine böler ve her fotoğraf karesini bir sonraki fotoğraf karesi ile bindirmeli olarak yatay sınırlar halinde tarar. Tarayıcının veri aktarma yazılımı (Parser), görüntü eşleme tekniği ile her bir fotoğraf karesine düşen taramaları bir sonraki tarama ile birleştirerek o noktadan yapılan taramanın bütünü oluşturur. Tarama tekniği aletlerin doğrulukları ile ilgili olmayıp daha çok fonksiyonel olmalarıyla ilgilidir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Ilris 3D yersel lazer tarayıcı, ticari ölçmeler, mühendislik, maden ve endüstri uygulamaları için hazırlanmış, digital kameralı ve gelişmiş yazılım araçları ile bütünlük ve taşınabilir bir pakettir (Karabörk vd., 2007). Bu çalışmada bu lazer tarayıcı kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Yapılan uygulamada kullanılan Optech Iris 3D yersel lazer tarayıcısı

Iris 3D lazer tarayıcı saniyede 2500 nokta okumaktadır. Ayrıca 3 metre mesafeden 1 kilometreye kadar ölçüm yapabilmektedir. Digital kamerası 6 megapikseldir ve kullanımı son derece kolay olup düzeçleme gerektirmemektedir.

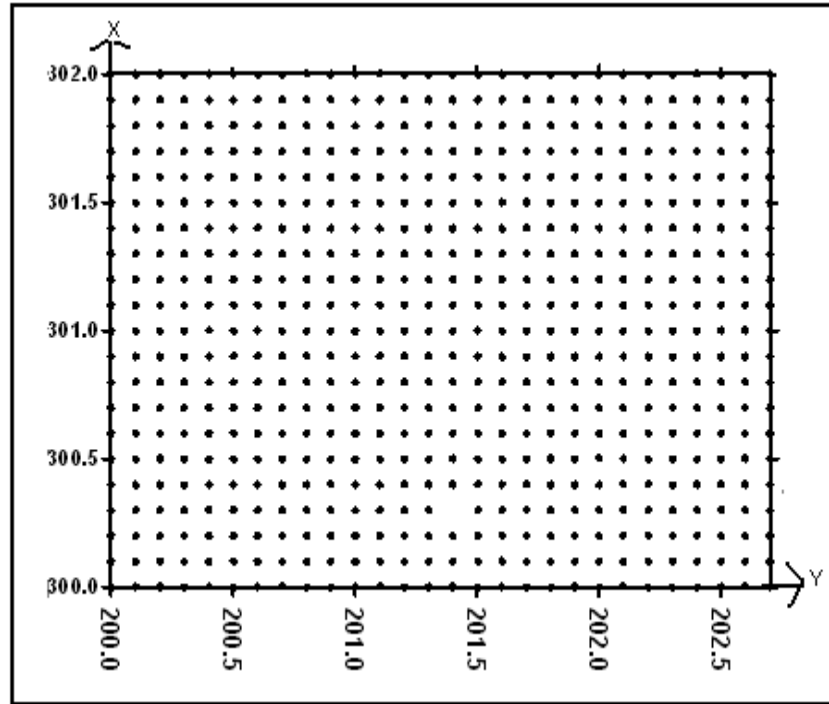
Tarayıcının bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Optech Iris 3D yersel lazer tarayıcının bazı özellikleri

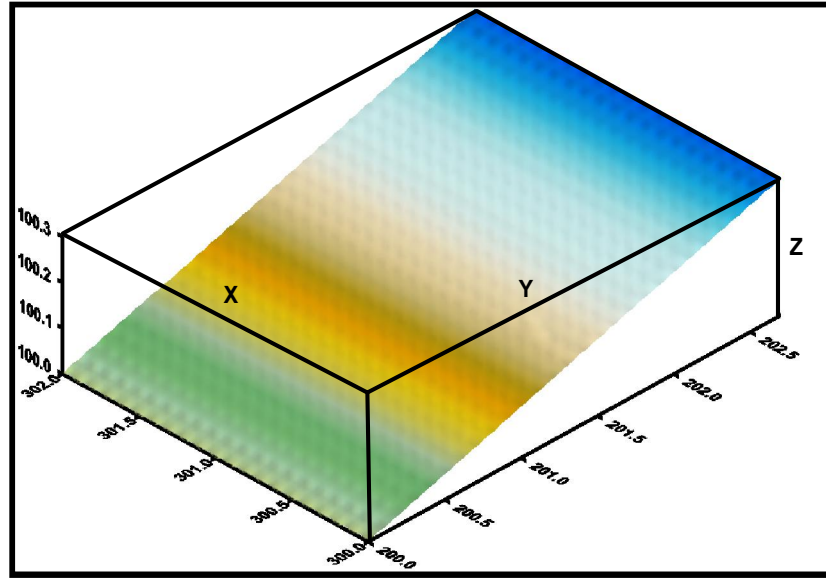
Tarama Hızı (nokta/saniye)	2500
Işın Açıklığı	0.00974 ⁰
Tarama Açısı	310 ⁰ (V) 360 ⁰ (H)
Uzunluk Doğruluğu	7 mm @ 100m
Konum Doğruluğu	8 mm @ 100m
Lazer Dalga Boyu	1500 nanometre
Görüş Alanı (Hareketsiz)	40 ⁰ × 40 ⁰
Ölçme Uzunluğu	3m-1000m, %80 yansıtıcı yüzeyde 1500m
Boyut	320 × 320 × 220 mm
Ağırlık	13 kg

3.2. Yöntem

Bu çalışmadaki amaç yersel lazer tarayıcıların tarama mesafelerine ve tarama açlarına göre tarama hassasiyetlerinin belirlenmesidir. Bu amaç için oluşturulan test alanının farklı tarama mesafeleri ve tarama açlarında yapılan taramalarından elde edilen nokta bulutları yardımıyla test alanının yatay konuma getirildikten sonra oluşacak hacimlerini hesaplayarak bilinen hacimleri ile karşılaştırmalarını yapmak ve en uygun tarama mesafesini belirlemektir. Bunun için ayakları ve arka kısmında bulunan düzeçler yardımıyla düşeyliği sağlanan test alanının düşeyliğinin tekrar kontrol edilmesi için jeodezik ölçme aleti total station ile test alanı üzerinde lokal sistemde 2.70×2.00 metre boyutundaki alanda boyutu 10 cm olan kare grid ağı oluşturularak elde edilen 588 noktanın koordinatları okunmuştur (Şekil 3.4.). Y ve Z koordinatları yer değiştirilerek test alanının üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 3.5.).



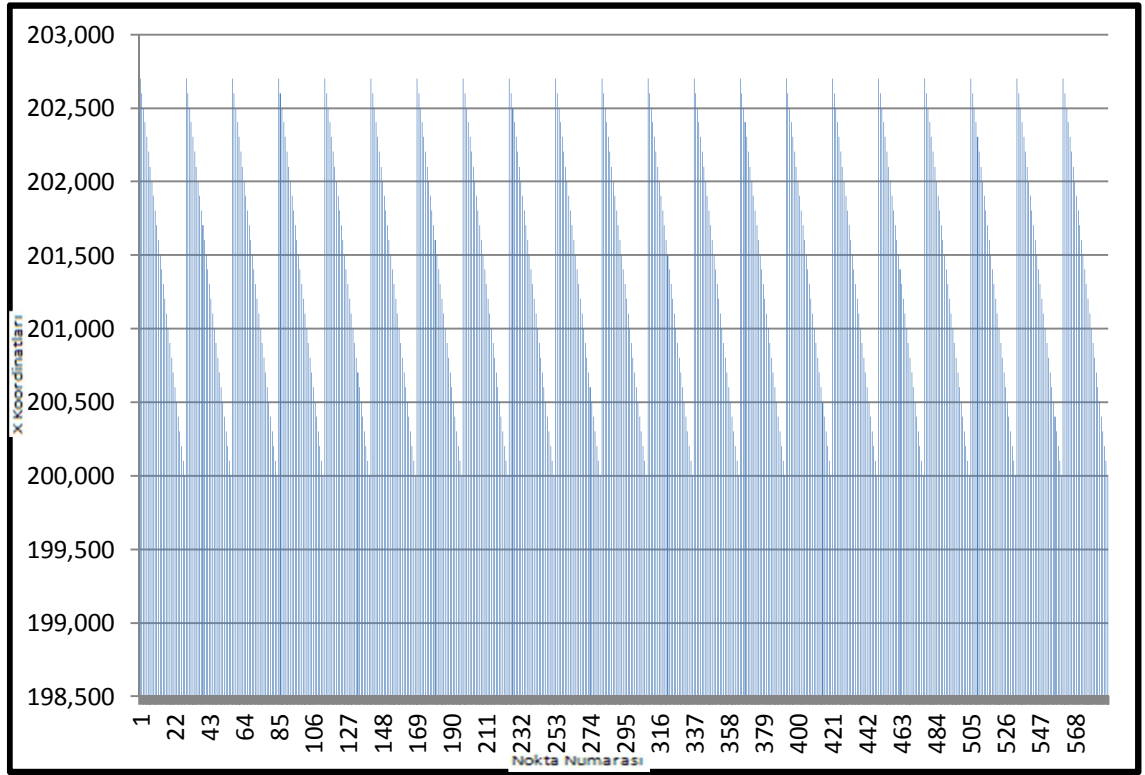
Şekil 3.4. Test alanı üzerinde oluşturulan grid ağı



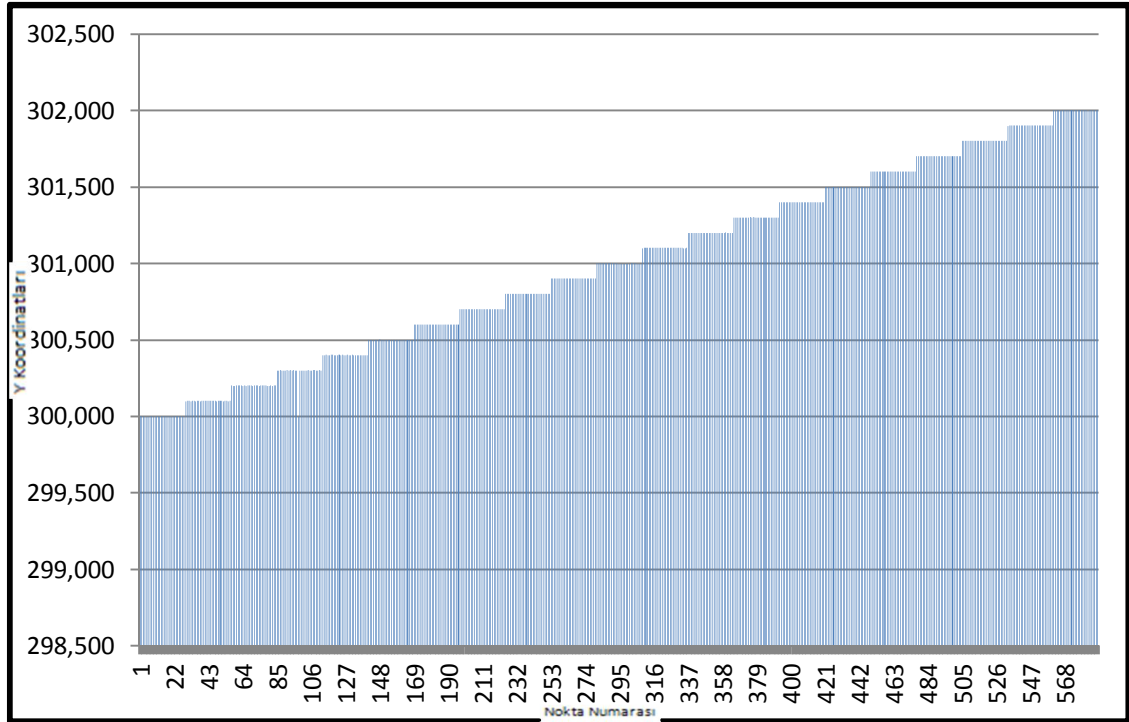
Şekil 3.5. Test alanındaki grid ağının üç boyutlu görüntüsü

Grid ağının koordinatlandırılmasında tanımlanan koordinat sistemi test alanına dik olmadığından bir dikdörtgen prizmanın yarısı kadar bir yüzey elde edilmektedir. Bu yüzeyin olması gereken hacmi 0.8154 m^3 , elde edilen koordinatlarla hesaplanan hacmi ise 0.8165 m^3 olarak dikdörtgen prizmanın hacim hesabı yöntemine göre hesaplanmıştır. Sonuçların çok yakın olması test alanının düşeyliğinin sayısal olarak da sağlandığını göstermektedir. Ayrıca test alanı üzerinde okunan koordinatlarda bir sistematığın olması da gerekmektedir. Bu durumda üç eksen boyunca görsel olarak da kontrol edildi. Eksenlere ait X, Y ve Z koordinatlarının kendi aralarındaki sistematik Şekil 3.6., Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.' de görülmektedir.

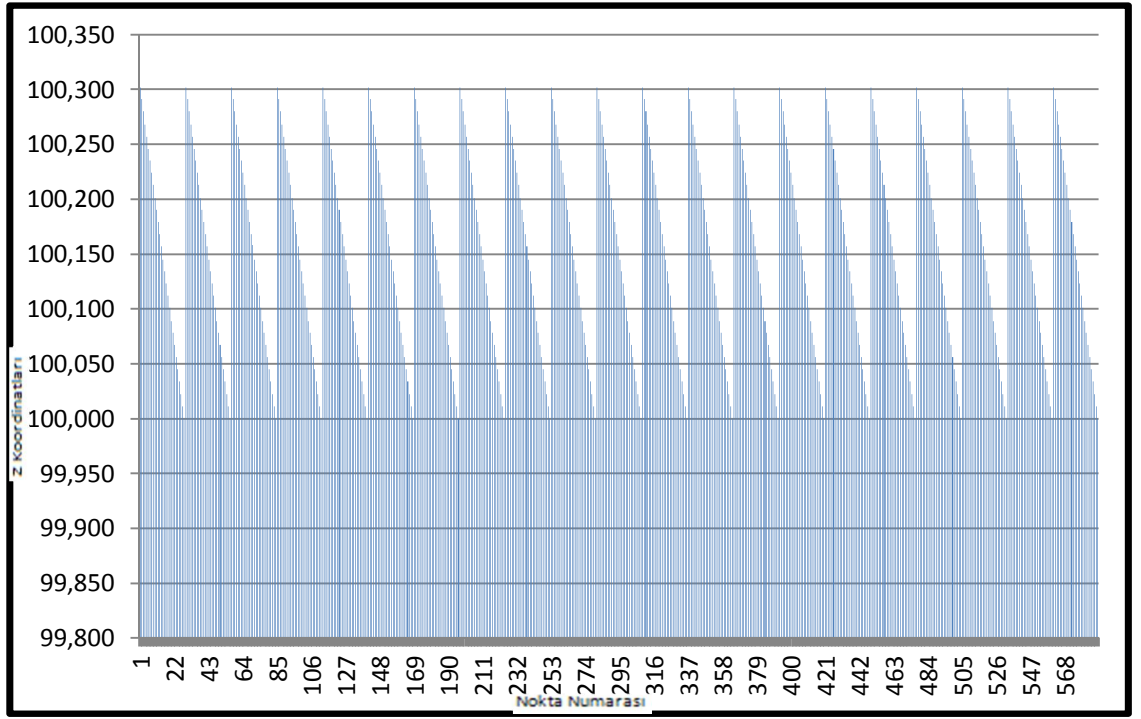
Test alanı daha sonra Optech Iiris 3D marka lazer tarama cihazıyla 10' ar metre aralıklarla toplamda 100 metrelik bir mesafe için karşıdan, sağdan ve soldan taratıldı. Her bir tarama yaklaşık 5 mm hassasiyetinde olacak şekilde 30 noktadan yapıldı. Taramaların 10 tanesi test alanının karşılarından yaklaşık test alanına dik istasyonlardan, diğer 10 tanesi test alanının sol kenarından ve kalan 10 tarama ise test alanının sağ tarafından yapılmıştır (Şekil.3.9.). Taramaların yapıldığı istasyon noktaları ve tarama açıları Çizelge 3.2.' de görülmektedir.



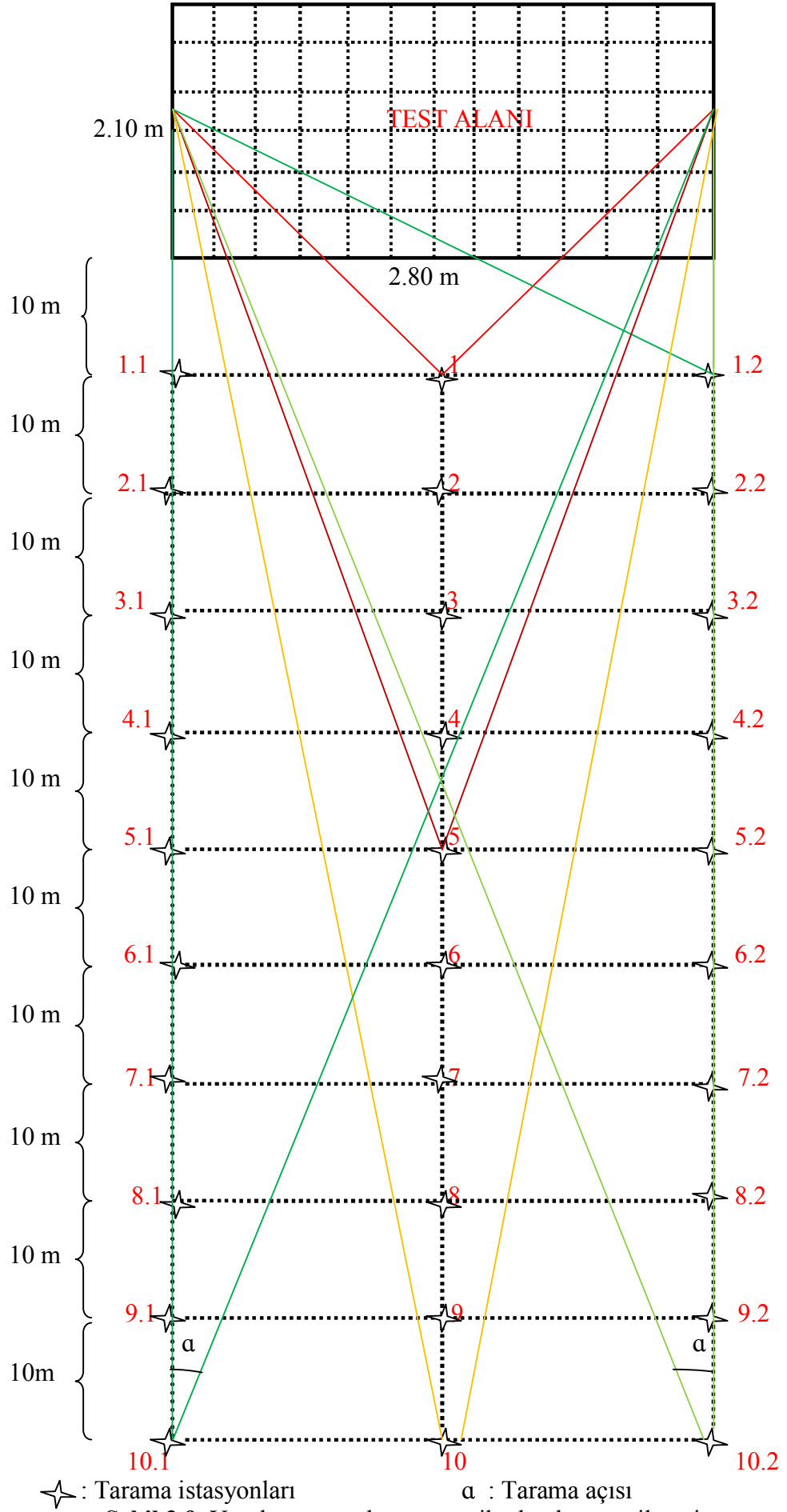
Şekil 3.6. X koordinatları arasındaki sistematiklik



Şekil 3.7. Y koordinatları arasındaki sistematiklik



Şekil 3.8. Z koordinatları arasındaki sistematiklik



Şekil 3.9. Yapılan taramaların şematik olarak gösterilmesi

Çizelge 3.2. Taramaların yapıldığı istasyon noktaları ve tarama açıları

İSTASYON NO	TARAMA MESAFESİ	TARAMA AÇISI(α)
1	10m	Dik Tarama
1_1	10m	15.6422 ⁰
1_2	10m	15.6422 ⁰
2	20m	Dik Tarama
2_1	20m	7.9696 ⁰
2_2	20m	7.9696 ⁰
3	30m	Dik Tarama
3_1	30m	5.3321 ⁰
3_2	30m	5.3321 ⁰
4	40m	Dik Tarama
4_1	40m	4.0042 ⁰
4_2	40m	4.0042 ⁰
5	50m	Dik Tarama
5_1	50m	3.2052 ⁰
5_2	50m	3.2052 ⁰
6	60m	Dik Tarama
6_1	60m	2.6719 ⁰
6_2	60m	2.6719 ⁰
7	70m	Dik Tarama
7_1	70m	2.2906 ⁰
7_2	70m	2.2906 ⁰
8	80m	Dik Tarama
8_1	80m	2.0045 ⁰
8_2	80m	2.0045 ⁰
9	90m	Dik Tarama
9_1	90m	1.7820 ⁰
9_2	90m	1.7820 ⁰
10	100m	Dik Tarama
10_1	100m	1.6039 ⁰
10_2	100m	1.6039 ⁰

Taramalar dış ortamın etkilerini azaltmak için kapalı bir mekânda yapılmıştır. Taramalara ilişkin görüntüler Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.' de görülmektedir.

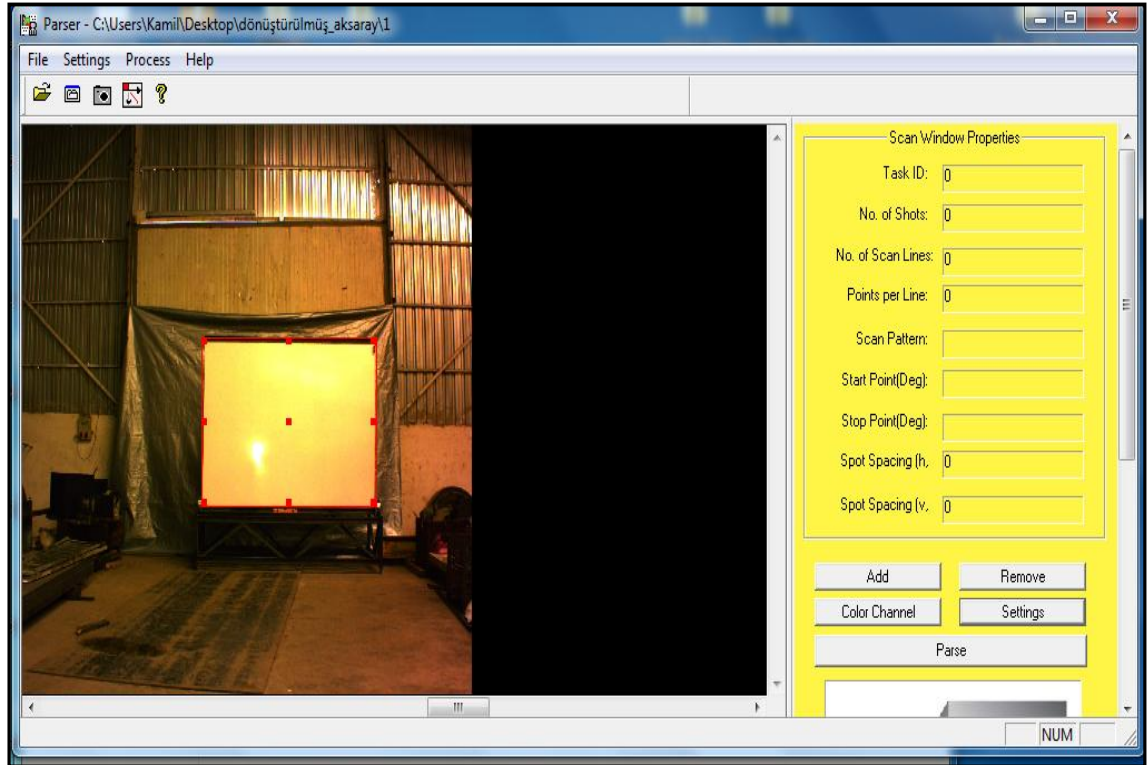


Şekil 3.10. Test alanının 10 metre mesafeden dik olarak taratılması



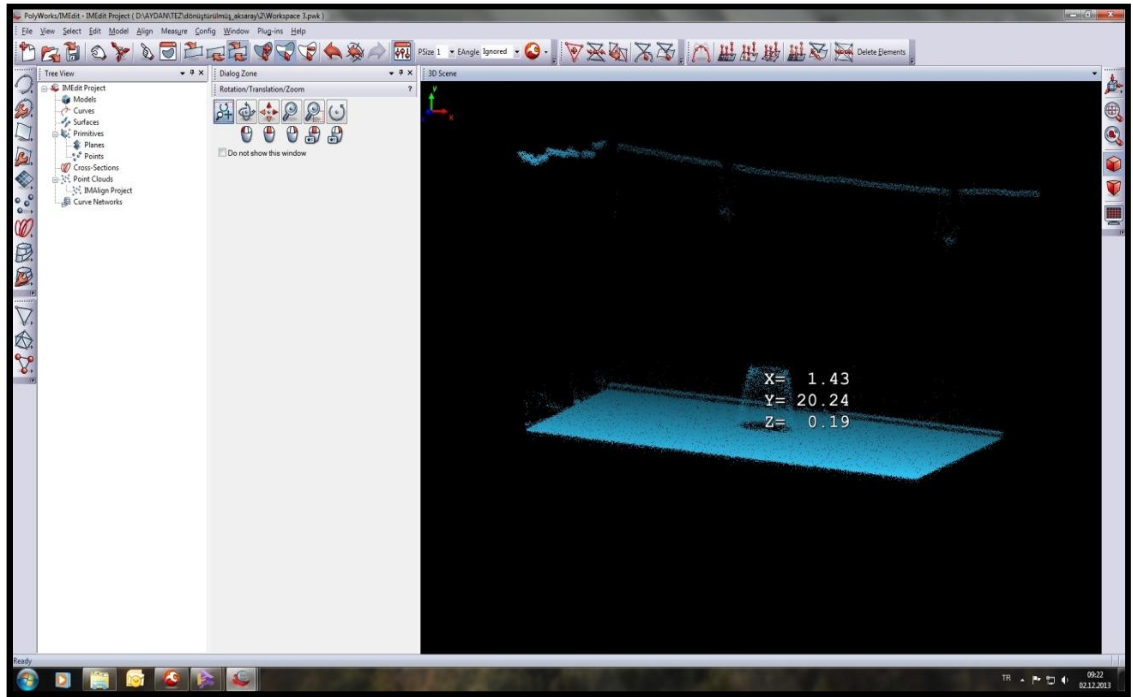
Şekil 3.11. Test alanının 20 metre mesafeden açılı taratılması

Tarama işlemi bittikten sonra Optech Ilris 3D lazer tarayıcının yazılımı olan Parser programında elde edilen veri dosyaları PTX formatına dönüştürüldü (Şekil 3.12.).

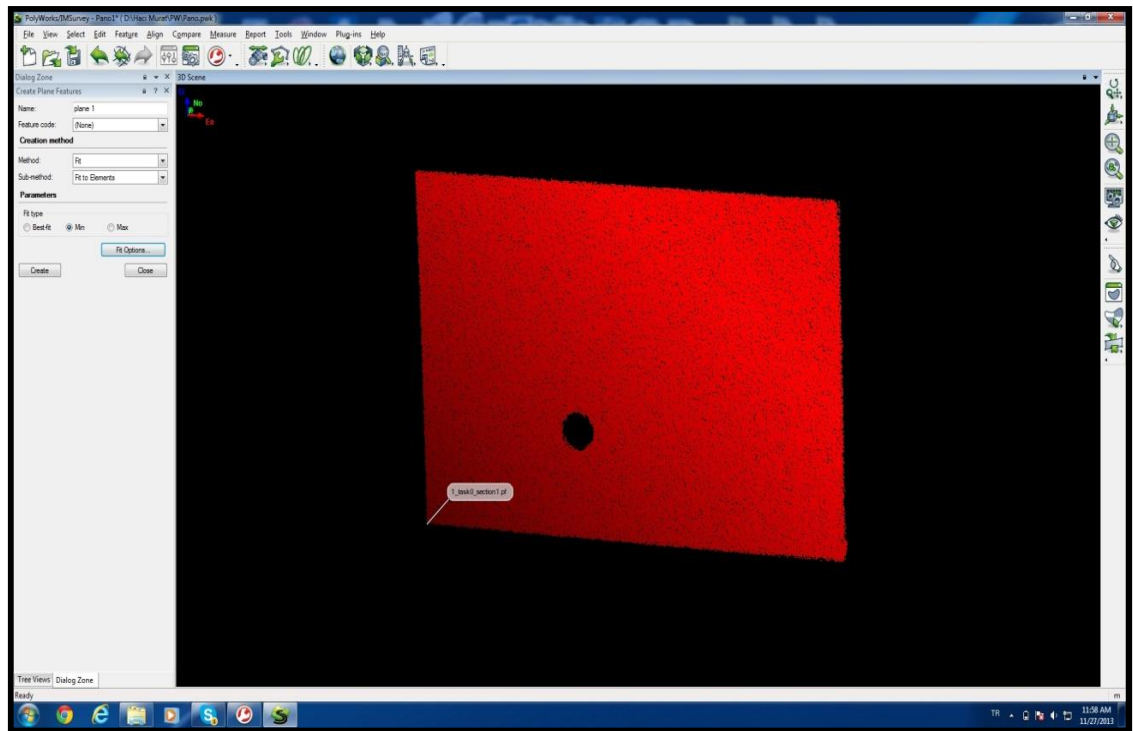


Şekil 3.12. Test alanının “Parser” programında görünümü

Tarama işlemi tamamlandıktan sonra değerlendirme işlemleri yapıldı. Taramalar polyworks programına aktarılarak her tarama için test alanı üzerinde 2.70 mx2.00 m’ den oluşan alanlar oluşturulmuş ve bu alanın dışında kalan nokta bulutları temizlenmiştir (Şekil 3.14.). Taramaların yapıldığı kapalı mekanın tavanında yer alan ışıklandırmadan gelen güneş ışınlarının test alanı üzerinde yoğunlaştığı bölgede koordinat okumasının yapılamadığı yani geri yansımanın olmadığı gözlenmiştir (Şekil 3.13.).

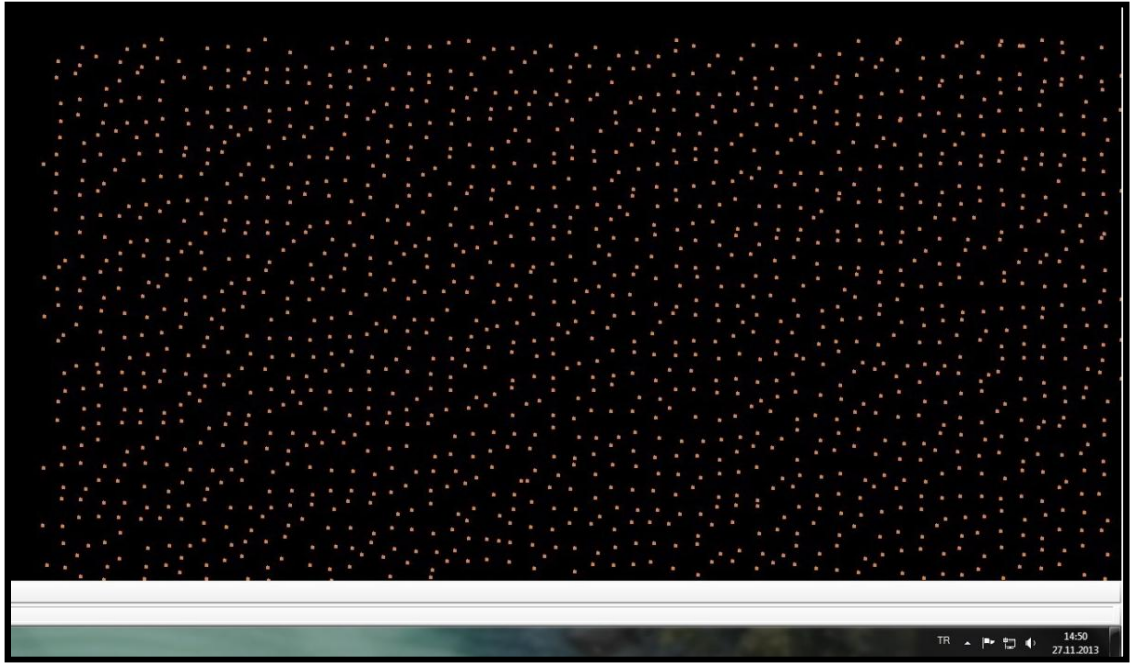


Şekil 3.13. Test alanının ham nokta bulutu verileri ile görünümü



Şekil 3.14. Test alanının fazla nokta bulutlarından temizlendikten sonraki görünümü

Lazer tarayıcıların obje üzerine gönderdiği lazer ışınlarının yatay ve düşeyde düzenli bir sırada olmadıkları ve objelerin tam köşelerinde nokta üretemedikleri görülmüştür (Şekil 3.15.).



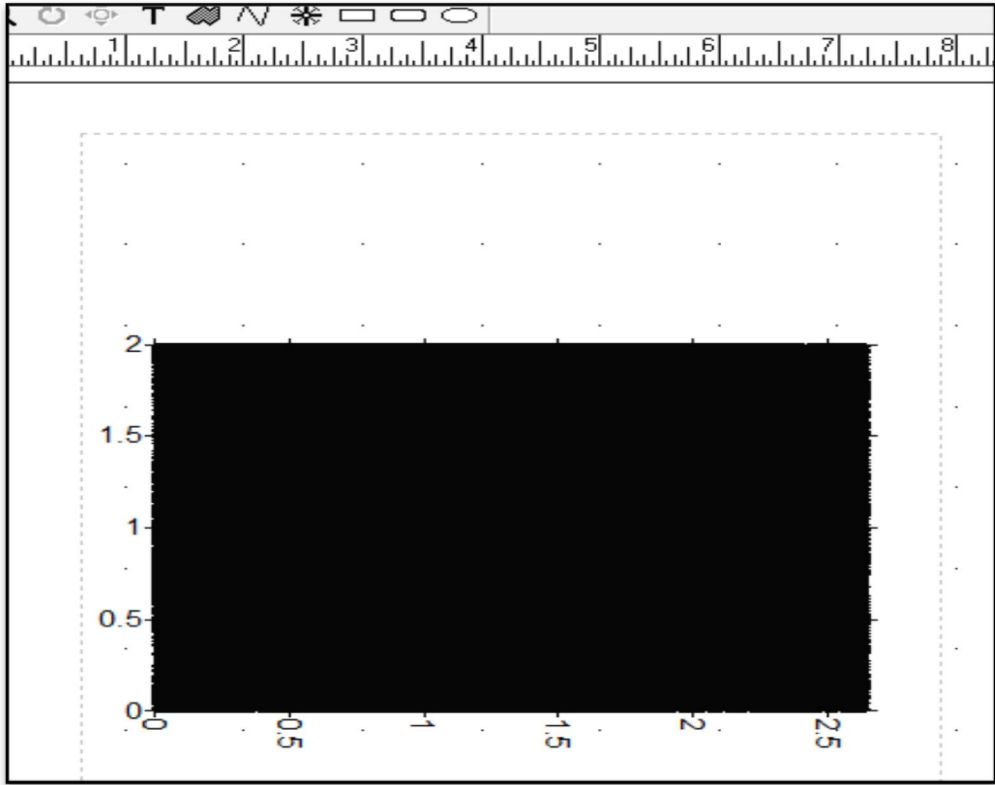
Şekil 3.15. Düzenli olmayan nokta bulutlarının görünümü

Gereksiz nokta bulutları silindikten sonra test alanı üzerinde kalan noktaların koordinatları Excel programına atılarak koordinatların minimum ve maksimum değerleri bulunmuştur (Şekil 3.16.). Muhtemel bir dönüşüm hatasından kaçınmak için tarayıcıdan elde edilen lokal koordinatlar doğrudan kullanılmıştır. Elde edilen koordinatlardan “Y” ve “Z” değerleri yer değiştirilerek test alanı yatay hale getirilmiştir. Eğer taramalar test alanına tam dik şekilde yapılmış olsaydı test alanının yatay hale gelmesi ile oluşacak dikdörtgen prizmanın hacminin sıfır olması gerekcekti. Ancak genel olarak yapılan taramalarda tarayıcı objeye tam dik olmadığından ve tarayıcı düzeçlenmediğinden bu mümkün olmamaktadır. Bu durumda tabanı taranan bölgenin kenarları yani minimum ve maksimum “X” koordinatları arasındaki fark, minimum ve maksimum “Y” koordinatları arasındaki fark ve yüksekliği minimum ve maksimum “Z” koordinatları arasındaki fark olan bir yarım dikdörtgen prizma oluşacaktır. Burada bulunan fark değerleri çarpılarak (Taban alanı×yükseklik) ve bulunan sonuç ikiye bölünerek (yarım dikdörtgen prizma olduğu için) olması gereken hacim değerleri her istasyon için hesaplanmıştır.

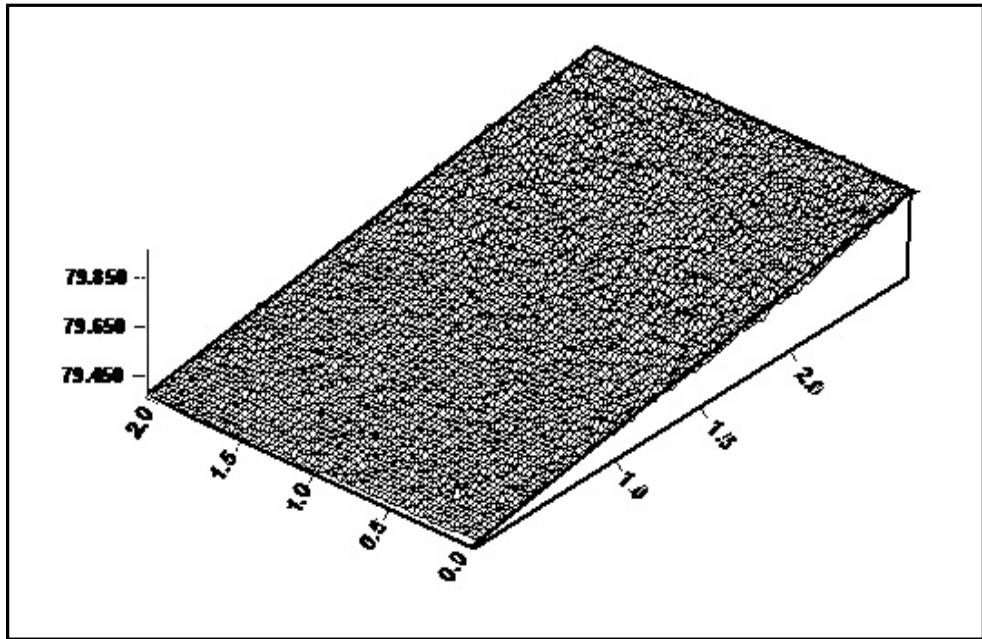
A1					NoktaNo
	A	B	C	D	E
195104	210851	2.043	-0.52	10.291	
195105	210852	2.043	-0.525	10.289	
195106	210962	2.039	1.01	10.164	
195107	210963	2.039	1.005	10.171	
195108	211057	2.043	0.521	10.236	
195109	211065	2.043	0.479	10.239	
195110	211069	2.042	0.459	10.237	
195111	211083	2.043	0.386	10.246	
195112	211089	2.041	0.354	10.238	
195113	211100	2.043	0.298	10.248	
195114	211110	2.042	0.246	10.244	
195115	211115	2.043	0.22	10.253	
195116	211125	2.043	0.168	10.259	
195117	211127	2.042	0.157	10.251	
195118	211133	2.042	0.126	10.257	
195119	211139	2.042	0.096	10.258	
195120	211142	2.043	0.079	10.257	
195121	211367	2.04	1.013	10.147	
195122	211368	2.042	1.009	10.156	
195123	211775	2.043	1.001	10.138	
195124					
195125					
195126	MİN	-0.657	-0.987	10.127	
195127	MAK	2.043	1.013	10.429	
195128					
195129	FARK	2.7	2	0.302	
195130					
195131					

Şekil 3.16. Bir tarama istasyonuna minimum ve maksimum koordinatlar

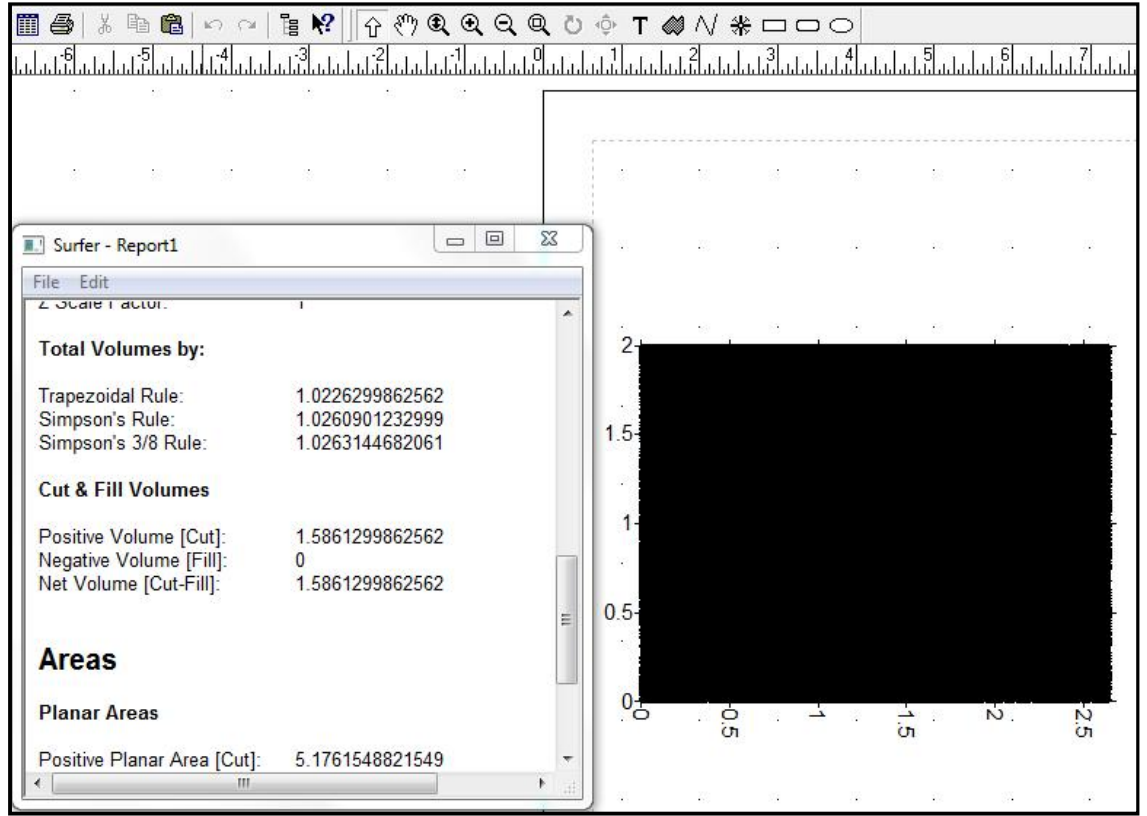
30 adet tarama istasyonuna ait koordinat değerlerinin minimum ve maksimum değerleri arasındaki fark hesaplandıktan sonra bu değerler “Surfer” programına aktarıldı (Şekil 3.17.). ve her istasyon için hacim değerleri hesaplandı (Şekil 3.19.). Hacim hesaplamalarında obje yüzeyi düz olduğu için düz yüzeylerde en iyi sonucu veren lineer enterpolasyon yöntemi kullanıldı (Yılmaz, 2007). Ayrıca her istasyon noktası için koordinatlardan elde edilen hacim değerleri de hesaplandı. Hacimler arasındaki farklar elde edildi.



Şekil 3.17. “1_1” numaralı tarama istasyonundan elde edilen görüntü



Şekil 3.18. “Surfer” programında bir taramaya ait üç boyutlu görüntü



Şekil 3.19. “Surfer” programında “1_1” numaralı istasyona ait şeklin hacmi

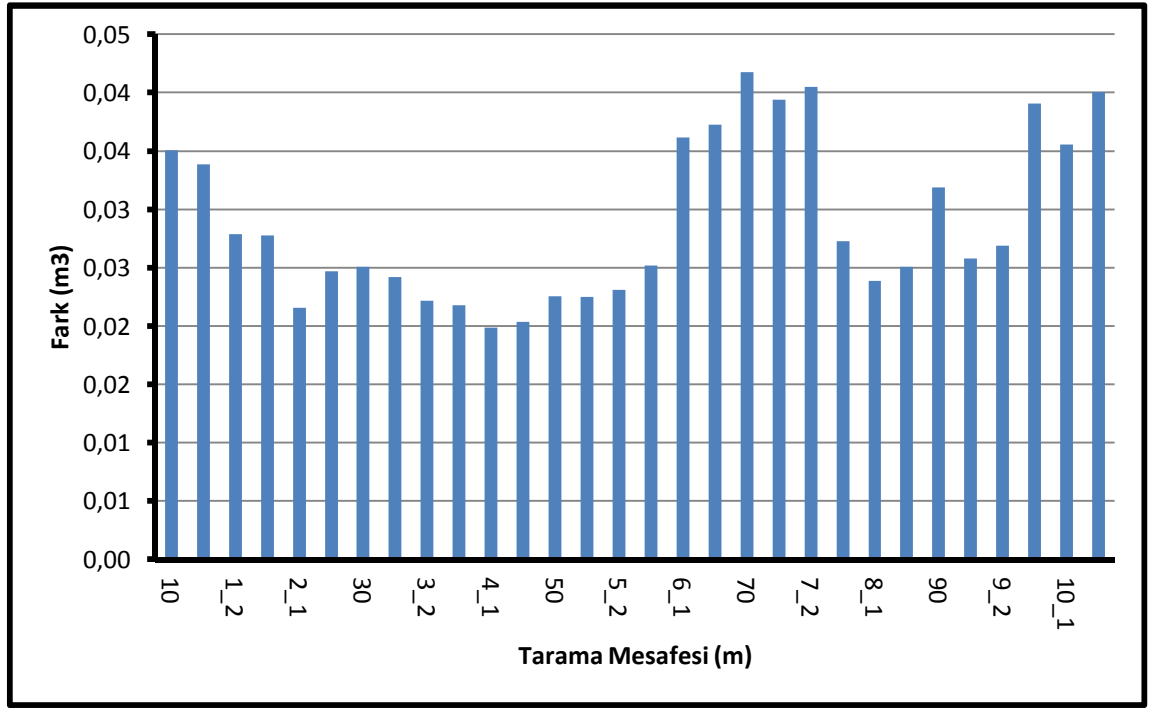
4. BULGULAR

Yapılan hesaplamalardan sonra her tarama için nokta bulutlarından hesaplanan hacimler ile olması gereken hacimler ve aradaki farklar toplu halde Çizelge 4.1. de, test alanının dik olarak taranması ile elde edilen hacim ve fark değerleri Çizelge 4.2.' de ve test alanının sağ ve sol taramalardan elde edilen hacim ve fark değerleri ise Çizelge 4.3.' de verilmiştir.

Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3. oluşturulurken hata farklarının mutlak değerleri alınmıştır. Çizelge 4.1.' deki fark değerlerinin dağılımı Şekil 4.1.' de, Çizelge 4.2.' deki fark değerlerinin dağılımı Şekil 4.2.' de, Çizelge 4.3.' deki fark değerlerinin dağılımı ise Şekil 4.3.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Hesaplanan hacim değerlerinin toplu olarak gösterilmesi

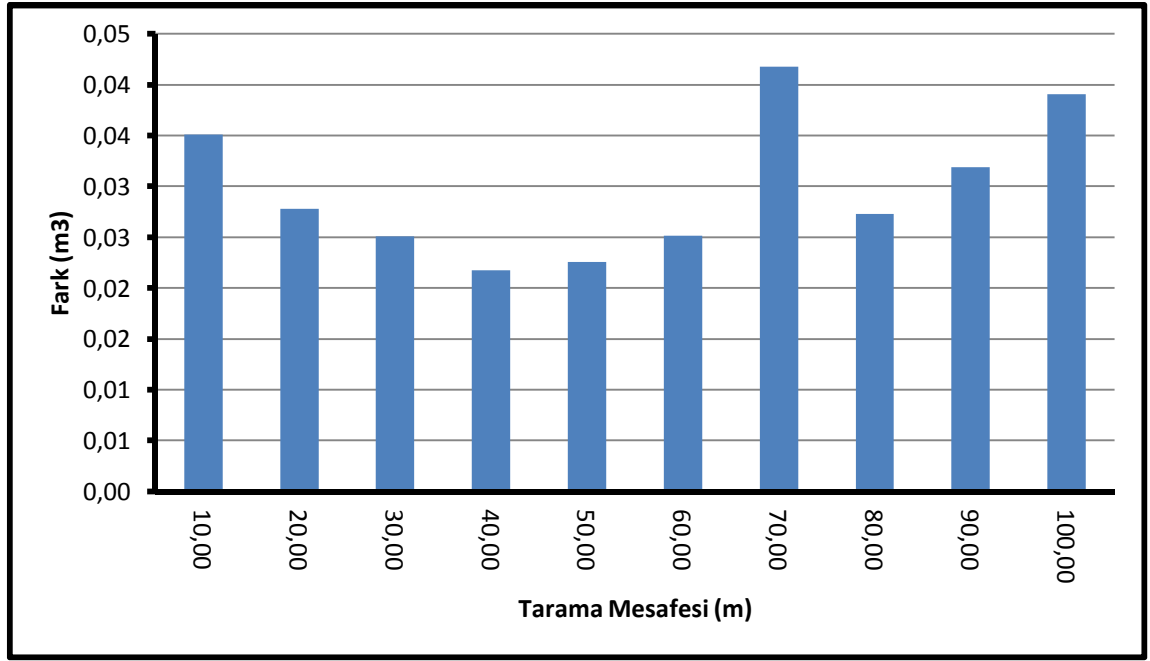
İstasyon No	Nokta bulutlarından hesaplanan hacimler	Olması gereken hacimler	Farklar (m ³)
1	1.6605	1.6254	0.0351
1_1	1.5861	1.6200	-0.0339
1_2	1.6083	1.6362	-0.0279
2	1.6586	1.6308	0.0278
2_1	1.6632	1.6416	0.0216
2_2	1.6771	1.6524	0.0247
3	1.6219	1.6470	-0.0251
3_1	1.6820	1.6578	0.0242
3_2	1.6638	1.6416	0.0222
4	1.6414	1.6632	-0.0218
4_1	1.6379	1.6578	-0.0199
4_2	1.6674	1.6470	0.0204
5	1.6298	1.6524	-0.0226
5_1	1.6641	1.6416	0.0225
5_2	1.6539	1.6308	0.0231
6	1.6722	1.6470	0.0252
6_1	1.6216	1.6578	-0.0362
6_2	1.6897	1.6524	0.0373
7	1.5944	1.6362	-0.0418
7_1	1.5914	1.6308	-0.0394
7_2	1.6659	1.6254	0.0405
8	1.6905	1.6632	0.0273
8_1	1.6763	1.6524	0.0239
8_2	1.6165	1.6416	-0.0251
9	1.6367	1.6686	-0.0319
9_1	1.6320	1.6578	-0.0258
9_2	1.6739	1.6470	0.0269
10	1.6915	1.6524	0.0391
10_1	1.6006	1.6362	-0.0356
10_2	1.6709	1.6308	0.0401



Şekil 4.1. Tüm tarama istasyonları için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

Çizelge 4.2. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen hacimler

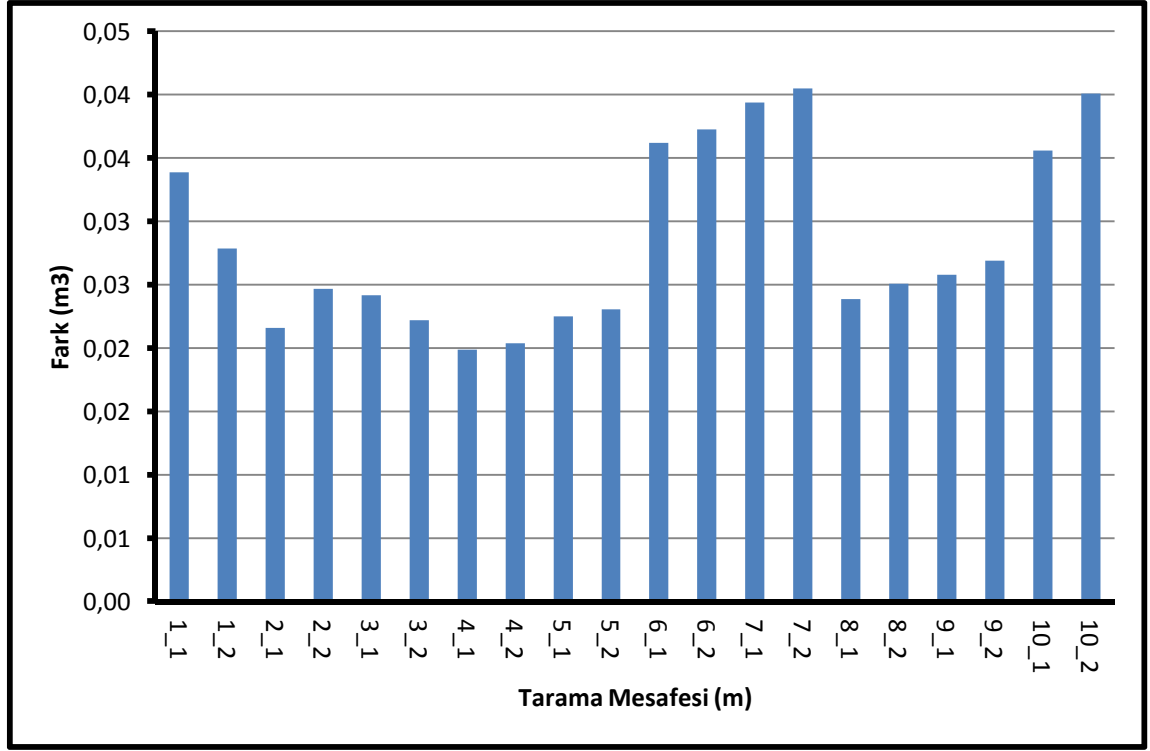
İstasyon No	Nokta bulutlarından hesaplanan hacimler	Olması gereken hacimler	Farklar (m ³)
1	1.6605	1.6254	0.0351
2	1.6586	1.6308	0.0278
3	1.6219	1.6470	-0.0251
4	1.6414	1.6632	-0.0218
5	1.6298	1.6524	-0.0226
6	1.6722	1.6470	0.0252
7	1.5944	1.6362	-0.0418
8	1.6905	1.6632	0.0273
9	1.6367	1.6686	-0.0319
10	1.6915	1.6524	0.0391



Şekil 4.2. Dik olarak taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

Çizelge 4.3. Test alanının sağdan ve soldan taranması ile elde edilen hacimler

İstasyon No	Nokta bulutlarından hesaplanan hacimler	Olması gereken hacimler	Farklar (m ³)
1_1	1.5861	1.6200	-0.0339
1_2	1.6083	1.6362	-0.0279
2_1	1.6632	1.6416	0.0216
2_2	1.6771	1.6524	0.0247
3_1	1.6820	1.6578	0.0242
3_2	1.6638	1.6416	0.0222
4_1	1.6379	1.6578	-0.0199
4_2	1.6674	1.6470	0.0204
5_1	1.6641	1.6416	0.0225
5_2	1.6539	1.6308	0.0231
6_1	1.6216	1.6578	-0.0362
6_2	1.6897	1.6524	0.0373
7_1	1.5914	1.6308	-0.0394
7_2	1.6659	1.6254	0.0405
8_1	1.6763	1.6524	0.0239
8_2	1.6165	1.6416	-0.0251
9_1	1.6320	1.6578	-0.0258
9_2	1.6739	1.6470	0.0269
10_1	1.6006	1.6362	-0.0356
10_2	1.6709	1.6308	0.0401



Şekil 4.3. Farklı açılarla taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

Çalışmada kullanılan test alanının 2.7 m x 2.0 m' lik kısmı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Lazer tarayıcı test alanına tam dik olmayıp Y ekseninde 30 cm' lik bir kayıklık bulunmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi bu durumda her tarama için boyutları 2.7x2.0x0.3 m' den oluşan bir yarım dikdörtgen prizma elde edilmektedir. Bu yarım dikdörtgen prizmanın hacmi 0,81 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu yarım dikdörtgen prizmanın her bir kenarı 1 mm den 15 mm' ye kadar arttırılarak hacimler tekrar hesaplandığında Çizelge 4.4.'de verilen değerler elde edilmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen hacim farkları ile Çizelge 4.4.' de elde edilen farklar karşılaştırıldı. Çizelge 4.4.' e göre eğer hacim farkı 0.02740 m³ çıktıysa sekiz nolu satıra karşılık gelen hata miktarı ile taramanın yapıldığı varsayılmaktadır. Bu değer de Çizelge 4.4.' e göre 8 mm' dir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, örneğin 50 m mesafedeki taramadan elde edilen hacim farkı 0.0226 m³ ve buna göre bu mesafedeki tarama hassasiyetinin 6.6 mm olduğu görülmektedir. 70 m mesafedeki taramadan elde edilen hacim farkı 0.0418 m³ buna göre bu mesafedeki tarama hassasiyetinin 12.2 mm olduğu görülmektedir. Buna göre taramalardaki hassasiyet Çizelge 4.5.'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. Kenar uzunlukları 1mm artırılan prizmanın hacim ve fark değerleri

Y	X	Z	Hata (mm)	Hesaplanan hacim (m ³)	Olması gereken hacim (m ³)	Farklar (m ³)
0.301	2.701	2.001	1	0.81341	0.81000	0.00341
0.302	2.702	2.002	2	0.81682		0.00682
0.303	2.703	2.003	3	0.82024		0.01024
0.304	2.704	2.004	4	0.82366		0.01366
0.305	2.705	2.005	5	0.82709		0.01709
0.306	2.706	2.006	6	0.83052		0.02052
0.307	2.707	2.007	7	0.83396		0.02396
0.308	2.708	2.008	8	0.83740		0.02740
0.309	2.709	2.009	9	0.84085		0.03085
0.310	2.710	2.010	10	0.84430		0.03430
0.311	2.711	2.011	11	0.84776		0.03776
0.312	2.712	2.012	12	0.85122		0.04122
0.313	2.713	2.013	13	0.85469		0.04469
0.314	2.714	2.014	14	0.85816		0.04816
0.315	2.715	2.015	15	0.86164		0.05164

Çizelge 4.5. Tarama istasyonlarına ait tarama mesafeleri ve tarama hassasiyetleri

Tarama mesafesi (m)	Tarama hassasiyeti (mm)	Tarama mesafesi (m)	Tarama hassasiyeti (mm)	Tarama mesafesi (m)	Tarama hassasiyeti (mm)
10	10.3	1 1	9.9	1 2	8.2
20	8.1	2 1	6.3	2 2	7.2
30	7.4	3 1	7.1	3 2	6.5
40	6.4	4 1	5.8	4 2	6.0
50	6.6	5 1	6.6	5 2	6.8
60	7.4	6 1	10.6	6 2	10.9
70	12.2	7 1	11.5	7 2	11.9
80	8.0	8 1	7.0	8 2	7.4
90	9.3	9 1	7.6	9 2	7.9
100	11.5	10 1	10.3	10 2	11.7

Yersel lazer tarayıcılarda konum doğruluğuna obje yüzeyinin yansıma özelliğinin ve taramadaki ortam şartları gibi diğer faktörlerin de etkili olduğu bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar aynı ortam şartlarında ve yansımanın en yüksek olduğu beyaz bir objede elde edilmiştir. Obje yüzeyine dik, sağ ve sol yanlardan yapılan taramalar arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir. Bu durumun daha net olarak ortaya konulabilmesi için farklı boyutlardaki objeler üzerinde de bu tür çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada sadece bir lazer tarayıcı ile işlem yapılmıştır. Farklı lazer tarayıcılara da aynı işlemlerin yapılarak daha sağlıklı sonuçların elde edileceği bir gerçektir.

5. SONUÇLAR

Son yıllarda yersel lazer tarayıcıların tarama hassasiyetleri ve kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Birçok mühendislik uygulamalarında oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bir objeye ait üç boyutlu konum verilerinin elde edilmesinde en önemli faktör bu verilerin hassasiyetidir. Aynı zamanda bu verilerin en kısa zaman diliminde elde edilmesi de diğer önemli bir faktördür. Yersel lazer tarama teknolojisinin en yaygın kullanım alanlarından biri olan üç boyutlu modellemenin yanında deformasyon ölçmeleri gibi veri hassasiyetlerinin oldukça önemli olduğu uygulamalarda bulunmaktadır.

Bu çalışmada tarama mesafelerinin ve objeye göre tarama açılarının yersel lazer tarayıcıların konum doğruluğuna etkisinin ne olduğu araştırıldı. Yapılan çalışmada 10 m aralıklarla 100 m' ye kadar yapılan tarama sonunda Optech Iris 3D Lazer Tarayıcı'nın 5.8 mm ile 12.2 mm aralığında bir tarama hassasiyetinin olduğu görüldü. Tam karşıdan 40-50 m mesafelerde yapılan taramaların en uygun sonuçlar verdiği görüldü. Objenin sağdan ve soldan yapılan taramalarında doğruluğun karşıdan taramalara göre bir miktar düştüğü görüldü. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde 100 m' lik tarama aralığında tarama mesafelerine göre sistematik ya da doğrusal bir doğruluk artışı ya da azalışı görülmedi. Bilindiği gibi tarama mesafesi arttıkça açısal çözünürlük kullanılamamaktadır. Bu nedenle her tarama için düşünülen 5 mm tarama aralığı her taramada bir miktar değişmektedir. Buna bağlı olarak da her tarama için elde edilen nokta sayıları da farklı olmaktadır. Nokta sayılarının farklılığı da sonuçları etkilemektedir. Diğer taraftan obje üzerinde belli bir bölgeye diğer bölgelerden daha fazla ışığın düşmesi bu bölgede veri eksikliğine sebep olmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan Optech Iris 3D lazer tarayıcının 100 m' ye kadar yapılan taramalarda konumlama hassasiyetinin 5.8 mm ile 12.2 mm arasında değiştiği, taramaların obje yüzeyine dik olarak yapılmasının daha uygun olduğu, en uygun tarama mesafesinin 40-50 m olduğu görüldü. Çünkü yersel lazer tarayıcılarda tarama aralığı tanımında aslında ışınal çözünürlük tanımlanmaktadır. Tarama mesafesi arttıkça veya objenin tam karşısından değil de yandan taranması durumunda obje üzerindeki ışınal çözünürlük de artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acar, H., Gümüş, S. ve Ünver, S., 2011. Ormancılıkta ölçme, harita ve kadaastro, Ders Teksirleri Serisi, Trabzon, 2s.
- Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2008. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98, 20-27.
- Altuntaş, C., Pfeifer, N., Ressler, C. ve Yıldız, F., 2010. Yersel lazer tarayıcılara kamera takılması ve tarayıcı koordinatlarına göre kamera konumunun hesaplanması, Harita Dergisi, 144, 64-72.
- Aydar, U., Avőar, Ö., Kaya, ő., Bozkurtoğlu, E. ve őeker, D.Z., 2011. Yüzeylerin pürüzlülük açılarının lazer tarayıcılar yardımıyla belirlenmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 105, 33-38.
- Barber, D., Mills, J. and Bryan, P., 2001, Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology, CIPA 2001 International Symposium, Germany, 360 – 366.
- Bayrak, T. ve Asri, İ., 2011. İnşaat Mühendisleri İçin Ölçme Bilgisi Ders Notları, Gümüőhane, 2s.
- Boehler, W., 2002. 3D Scanning instruments, Complementing or Replacing Photogrammetry, Greece, 1-2.
- Fröhlich, C. ve Mettenleiter, M., 2004. Terrestrial laser scanning-new perspectives in 3D surveying, Germany, 7-13.
- Gümüş, K. ve Erkaya, H., 2007. Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 25-26.
- Gümüş, K., 2008. Yersel lazer tarayıcılar ve konum doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gümüş, K., Erkaya, H. ve Tunalıoğlu, N., 2009. Yersel lazer tarama verilerinde çevresel ve objesel nedenlerden kaynaklanan hatalar, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 137-138.
- Karabörk, H., Göktepe, A., Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Yıldız, F. ve Yakar, M., 2009. Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellenmesinde duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 38-39.
- Karslı, F., 2007. Lazer tarama verilerinden bina detaylarının çıkarılması ve CBS ile entegrasyonu, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Trabzon, 7s.
- Karşıdağ, G., Alkan, R. M., 2012. Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4, 2, 1-10.
- Kertsen, T.P., 2005. Investigations into the accuracy behaviour of the terrestrial laser scanning system Mensi GS100, Optical 3-D Measurement Techniques VII, 122-131

- Kıvılcım, C.Ö., International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. application2.obb.gov.tr/TarihiCevreKoruma/yararli/Yersel_Lazer.pdf 16 Ekim 2012
- 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, 16s.
- Mettenleiter, M., Hartl, F., Fröhlich, C. and Langer, D., 2000. Imaging laser radar for 3D modelling of real word environments, Conference on OPTO/IRS2/MTT, Germany, May 9-11, 5s.
- Palalı, M., 2013. Silindirik yapılarda yersel lazer tarayıcının kullanılması: Eğri Minare örneği, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Pınarcı, E., 2007. İki boyutlu kalman filtresinin yersel lazer tarama verisine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Reshetyuk, Y., 2006. Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodeticengineering, 3 rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, 10s.
- URL-1,
http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/72/TOPOGRAFYA_DERS_NOTLARI.pdf Topoğrafya ders notları. 20 Şubat 2013
- URL-2, http://www.kursatozcan.com/ders_notlari/olcme_bilgisi.pdf Ölçme bilgisi. 20 Nisan 2013
- Vatan, M., 2005. Yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz modelinin oluşturulmasında fotogrametrik verilerin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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., 2008. Lazer tarama teknolojisi ve fotogrametrik yöntem ile hacim hesabı, 105M179, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Konya, 90s.
- Yakar, M., Yılmaz, H.M. ve Mutluoğlu, Ö., 2009. Hacim hesaplamalarında lazer tarama ve yersel fotogrametrinin kullanılması, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 44-45.
- Yalçın, B., İnal, C. ve Kalaycı, İ., 2008. GPS ölçü süresinin nokta konum doğruluğu ile ilişkisi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1, 19-26
- Yastıklı, N., 2005. Sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarayıcılar ile belgeleme ve üç boyutlu modelleme, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 8s.

- Yastıklı, N., Belgeler. <http://www.belgeler.com/blg/2e4f/yersel-foto-ders-notlari> 1 Kasım 2012
- Yıldız, F. ve Altuntaş, C., 2009. Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi, Harita Dergisi, 142, 51-58
- Yılmaz, H.M. ve Yakar, M., 2006. Yersel lazer tarama teknolojisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 43-48
- Yılmaz, H.M. ve Yakar, M., 2006. LIDAR (Light Detection and Ranging) tarama sistemi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 23-33
- Yılmaz, H.M., 2007. The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study, Earth Surface Processes and Landforms, 32, 1346-1361.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : AYDAN YAMAN

Doğum Yılı : 1988

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans :SELÇUK ÜNİVERSİTESİ 2010

Yüksek Lisans :AKSARAY ÜNİVERSİTESİ 2013

Haberleşme Bilgileri

**Adres : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita
Mühendisliği Bölümü**

Telefon : 0537 960 42 04

E-posta : aydan.ketenci@hotmail.com