

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİ VE KLASİK  
ÖLÇME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YÜKSEL GÜRCAN**

**İSTANBUL, 2012**

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**YERSEL LAZER TARAMA  
YÖNTEMİ VE KLASİK  
ÖLÇME YÖNTEMİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YÜKSEL GÜRCAN**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim BAZ**

**İSTANBUL, 2012**

**T.C**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

Tezin Adı : Yersel Lazer Tarama Yöntemi ve Klasik Ölçme Yönteminin  
Karşılaştırılması  
Öğrencinin Adı Soyadı : Yüksel GÜRCAN  
Tez Savunma Tarihi : 24 / 01 /2012

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. F. Tunç BOZBURA  
Enstitü Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa ILICALI  
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

imzalar

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim BAZ

Doç. Dr. Gürcan BÜYÜKSALİH

Öğr. Gör. Dr. Nilgün CAMKESEN

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Eğitimi yapmamıza olanak sağlayan Bahçeşehir Üniversitesi ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi yetkililerine teşekkürlerimi sunuyorum.

Gerek tez çalışmamda ve gerekse derslerimde beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. İbrahim BAZ' a, BİMTAŞ. çalışanlarına, ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez hazırlamamda desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım ve amirlerime teşekkürü bir borç kabul ediyorum.

İSTANBUL,2012

Yüksel GÜRCAN

## ÖZET

### YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİ VE KLASİK ÖLÇME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksel Gürcan

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim BAZ

Şubat 2012, 65 Sayfa

Günümüz teknolojisi, lazer tarayıcıların gelişimi ve kullanım alanlarının zenginliği ile birçok farklı uygulama alanı açısından, teknolojiye yeni bir boyut getirdi. Her geçen gün farklı araştırmalar için yeni umutlar vaat eden bu teknoloji jeodezik uygulamalar ve özelinde mühendislik ölçme uygulamaları açısından da ilave bir teknik haline gelmiştir. 3 boyutlu yersel lazer tarama teknolojisi, taranmış bir obje veya alanın yüzeyinden elde edilen nokta kümeleri yardımıyla, taranmış nesnelere birebir gerçeğe yakın görüntülerinin oluşturulduğu, modellerinin elde edildiği bir tür kopyalama teknolojisi olarak adlandırılmaktadır. Bu teknoloji ile herhangi bir alanda, büyük ölçekte, karmaşık, düzensiz, standart veya standart olmayan nesnelere 3B verileri doğrudan toplanabilmektedir.

Bu tezin genelinde, yersel lazer tarama teknolojisinden, klasik ölçme yöntemlerinden, bu yöntemlerin karşılaştırılmasından bahsedilmiş ve uygulama ile desteklenmiştir.

Çalışmayla yapılan uygulamada, yol güzergahı boyunca yolun sağ, orta, sol taraflarına sabit hedefler konularak Total station, GPS ve Yersel lazer tarama aletleriyle ölçümler yapılmıştır. Daha sonra ölçümler değerlendirilmiş ve Klasik Ölçme Yöntemleri ile Yersel Lazer Tarama metodu karşılaştırılarak, özellikle özel sektör gibi alanlarda pratik altlıklar elde etmede Yersel Lazer Tarama Yönteminin avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel Lazer Tarama, Klasik Ölçme Yöntemleri, GPS.

## **ABSTRACT**

### **COMPARISON OF TERRESTRIAL LAZER SCANNING METHOD AND A WAY TO MEASURE CLASSIC**

Yüksel Gürcan

Urban Transportation Systems and Management

Supervisor : Prof. Dr. İbrahim BAZ

February 2012, 65 Pages

By the development of the laser technology and variety of the usage areas by the aspect of many different application areas, a new technological dimension is supplied. With each passing day, for different investigations, this hopeful technology is to become an additional technic for the geodetic applications especially engineering surveys. The 3D terrestrial laser scanner technology which is called as a type of copying technology is to create nearly one to one of the real object from the scanned one and to model it by the help of the point clouds obtained from the scanned object or any surface. This technology is a solution for 3D model generation, using directly data collected by laser scanner however scanned area or object could be complex, unsystematic, big scale or standard type.

Throughout this thesis, terrestrial laser scanning technology, the classic methods of measurement, the comparison of the methods mentioned and supported by the application.

To work in practice, the right of way along the route, medium, hard targets placed on the left sides of a total station, GPS and terrestrial laser scanning measurements were made instruments. Later measurements were evaluated and Terrestrial Laser Scanning method by comparing with conventional measurement methods, especially in areas such as the private sector in achieving the practical bases of Terrestrial Laser Scanning Method has been the advantages and disadvantages.

**Key words** : Terrestrial Laser Scanning, Classical Methods of Measurement, GPS.

## İÇİNDEKİLER

TABLolar	x
ŞEKİLLER	xi
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. JEODEZİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ	3
2.1 JEODEZİK YÖNTEMLER ( X VE Y İÇİN )	3
2.1.1 Bağlama Yöntemi	3
2.1.2 Önden Kestirme Yöntemi	4
2.1.3 Kutupsal Koordinat Yöntemi	6
2.2 JEODEZİK YÖNTEM (H İÇİN )	8
2.2.1 Geometrik Yükseklik Ölçüsü	8
2.2.2 Trigonometrik Yükseklik Ölçüsü	9
3. GPS	11
3.1 GPS'İN BÖLÜMLERİ	11
3.1.1 Uzay Bölümü	11
3.1.2 Kontrol Bölümü	13
3.1.3 Kullanıcı Bölümü	13
3.2 GPS UYDULARININ SİNYAL YAPISI	14
3.3 GPS'DE KULLANILAN ÖLÇÜ BÜYÜKLÜKLERİ	16
3.4 GPS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ	17
3.1.1 Mutlak Konum Belirleme	17
3.1.2 Bağlı Konum Belirleme	18
3.5 GPS İLE ÖLÇME TEKNİKLERİ	19
3.5.1 Statik Ölçme Tekniği	19
3.5.2 Tekrarlı ( Pseudokinematik ) Ölçme Tekniği	20
3.5.3 Kinematik Ölçü Tekniği	21
3.1.4 Dur Git Ölçü Tekniği	21
3.1.5 Hızlı Statik Ölçü Tekniği	21
3.1.6 Diferansiyel ( DGPS ) Ölçü Tekniği	22

3.1.7 Gerçek Zamalı Kinematik GPS ( RTKGPS ).....	23
<b>4. YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİ.....</b>	<b>24</b>
4.1 YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ.....	24
4.1.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Gelişimi.....	25
4.2 YERSEL LAZER TARAYICILAR.....	28
4.2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Çalışma İlkesi.....	29
4.2.1.1 Bir lazer ışınının gidiş geliş zamanıyla işlem yapanlar (uçuş zamanlı).....	29
4.2.1.2 Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar.....	30
4.2.1.3 Triangulasyon metoduyla işlem yapanlar.....	30
4.2.2 Tarayıcıların Genel Özellikleri.....	30
4.2.3 Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması.....	33
4.2.4 Yersel Lazer Tarayıcı Bileşenleri.....	35
4.3 YERSEL LAZER TARAMADA ÖLÇME PROSEDÜRLERİ.....	35
4.3.1 Ölçme Planlaması.....	36
4.3.2 Tarama.....	36
4.3.3 Çoklu Taramaların Birleştirilmesi ve Konumlandırma ( Jeoreferanslandırma ).....	37
4.3.3.1 Doğrudan konumlandırma.....	39
4.3.3.2 Dolaylı konumlandırma.....	40
4.3.3.3 Hedefler.....	41
4.4 3B VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN KULLANILAN YAZILIMLAR.....	41
4.4.1 Tarama Kontrolü İçin Yazılım.....	42
4.4.2 Nokta Bulutunun Düzenlenmesi İçin Yazılım.....	42
4.4.3 Basit Geometrik Şekilleri Nokta Bulutuna Sabitlemek İçin Yazılım.....	43
4.4.4 Karmaşık Yüzey Modellerinin Yaratılması İçin Yazılım.....	44
4.4.5 Doku ve Görüntü Ekleme İçin Yazılım.....	44
4.4.6 Veri ve Proje Üretimi İçin Yazılım.....	45
4.4.7 Yazılım Ürünleri.....	46
4.5 YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM ALANLARI.....	46



4.5.1 Ulaşım ve Altyapı uygulamaları.....	46
4.5.2 Mimari ve Bina Ölçme Uygulamaları.....	47
4.5.3 Kıyı Uygulamaları.....	48
4.5.4 Afet İzleme Uygulamaları.....	49
4.5.5 Kültürel Mirasın Korunması ve Arkeolojik Uygulamaları.....	50
4.5.6 Endüstriyel Uygulamalar.....	51
4.5.7 Madencilik, Taşocağı ve Kazı Uygulamaları.....	52
4.5.8 Deformasyon Ölçmeleri Uygulamaları.....	53
5. UYGULAMA.....	54
6. SONUÇ.....	62
KAYNAKÇA.....	63

## TABLÖLAR

Tablo 3.1 : Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi .....	23
Tablo 4.1: MENSİ GS 100 Yersel lazer tarayıcısının genel özellikleri.....	34
Tablo 4.2: Yersel tarama aletlerinin uzunluk ve doğruluk değerleri.....	36
Tablo 5.1 : GPS ölçü değerleri.....	58
Tablo 5.2 : TOTAL Station ölçü değerleri.....	58
Tablo 5.3 : LAZER I. Oturum ölçü değerleri.....	59
Tablo 5.4 : LAZER II. Oturum ölçü değerleri .....	59
Tablo 5.5 : LAZER I. Oturum – GPS ölçü değerleri farkı .....	59
Tablo 5.6 : LAZER I. Oturum – TOTAL ölçü değerleri farkı .....	60

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1 : Önden kestirme yöntemi.....	6
Şekil 2.2 : Kutupsal koordinat yöntemi.....	7
Şekil 2.3 : Kutupsal koordinat yönteminde semtlerin gösterimi .....	7
Şekil 2.4: Geometrik yükseklik ölçümünde nivelman düzleminde .....	8
Şekil 2.5: Trigonometrik yükseklik ölçümünde $\Delta h$ tayini .....	10
Şekil 3.1: GPS uyduları ve yörüngeleri.....	13
Şekil 3.2: GPS ile konum belirleme yöntemleri .....	18
Şekil 3.3: Mutlak konum belirleme .....	19
Şekil 3.4: Bağlı konum belirleme .....	19
Şekil 4.1: MENĞİ GS 100 yersel lazer tarama sistemi .....	30
Şekil 4.2: Uçuş zamanı prensibi.....	31
Şekil 4.3: Çeşitli üretici firmalara ait yersel lazer tarayıcılar.....	35
Şekil 4.4: Yersel lazer tarayıcının koordinat sistemi .....	39
Şekil 4.5: Ulaşım ve altyapı uygulama örnekler.....	48
Şekil 4.6: Mimari ve bina ölçme uygulama örnekleri.....	49
Şekil 4.7: Kıyı uygulama örnekler.....	50
Şekil 4.8: Afet uygulama örnekleri.....	51
Şekil 4.9: Kültürel mirasın korunması ve arkeolojik uygulama örnekleri .....	52
Şekil 4.10: Endüstriyel uygulama örnekleri .....	53
Şekil 4.11: Madencilik, taşocağı ve kazı uygulama örnekleri.....	54
Şekil 4.12: Deformasyon ölçmeleri uygulama .....	54
Şekil 5.1 : Uygulama Çalışmasında Örnek Fotoğraf Kareleri-1.....	55
Şekil 5.2 : Uygulama Çalışmasında Örnek Fotoğraf Kareleri-2.....	56

Şekil 5.3 : Uygulama Çalışmasında Örnek Fotoğraf Kareleri-3.....	56
Şekil 5.4: Uygulama noktalarının krokisi.....	57
Şekil 5.5: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-1.....	61
Şekil 5.6: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-2.....	61
Şekil 5.7: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-3.....	62

## **KISALTMALAR**

ALS : Hava Lazer Tarama

NIST : Uluslar arası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

TLS : Yersel Lazer Tarama

TLSS : Yersel Lazer Tarama Sistemi

## 1. GİRİŞ

Mimari ve Mühendislik projelerinin (baraj, yol, konut, vs.) başlayabilmesi için gerekli olan temel altlık, o bölgenin yeterli ölçekteki haritasıdır. Böyle bir harita mevcut değilse, proje çalışmaları başlayamaz. İlk yapılacak işlerden biri, istenen ölçekte ve istenen detayları kapsayan bir haritanın yapılmasıdır.

Ölçme çalışmalarının da temel hedef, istenen noktaların yani buna ait detayların üç boyutlu konumunun, koordinat bilgilerinin elde edilmesidir. Bunu bulabilmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Burada temel olan, bu bilgiye;

- a) Klasik ölçme yöntemleri,
  - i. Jeodezik amaçlı çalışmalarda kullanılan Total Station yardımıyla,
  - ii. GPS yardımıyla.
- b) Yersel lazer tarama yöntemi ile elde edilmesi.
  - i. Yersel lazer tarayıcı yardımıyla.

Yöntemleri kullanılarak veri elde edilmesi konularına değinilecektir. Bu yöntemler açıklanırken “Klasik Ölçme Yöntemi” iki şekilde ele alınacaktır. Günümüzde pratik olarak veri elde etme çalışmaları “Total Station ve GPS” kullanılarak yapılmaktadır. Buradan yola çıkarak proje çalışmalarına altlık olacak haritalar elde edilirken kullanılan ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması, son zamanlarda giderek kullanımını artan “Yersel Lazer Tarama Yöntemi”nin avantaj ve dezavantajları üzerinde durulması hedeflenmiştir.

Buna istinaden yapacağımız uygulama çalışmasıyla “Klasik Ölçme Yöntemi ve Yersel Lazer Tarama Yöntemi” karşılaştırılarak bu hedef desteklenecektir. Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar 1960 yılından beri devam etmektedir. Bu araştırmalar sonucunda ortaya çıkan yersel lazer tarama (Terrestrial laser scanning -TLS) teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak araştırma alanı haline gelmesi son 10 yılda olmuştur. Lazer ışını,

yüksek genlikli, birbirine paralel, tek renkli, aynı faz ve frekansa sahip dalgalardan oluşmaktadır. Lazer ışınlarının frekansının hassas bir şekilde kontrolü, ışının yayılma düzeni veya ışınların olağanüstü yoğunluğu ve geniş bir uygulama alanına sahip olması büyük avantajlar sağlamaktadır. Lazer ışınının uzunluk ölçme ve görüntüleme özelliği sivil ve askeri alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Jeodezik çalışmalarda ve inşaat mühendisliği işlerinde lazer teknolojisi, üç farklı alanda kullanılmaktadır (Reshutyek 2006; Kennie & Petrie 1990):

- i. Elektronik uzunluk ölçümleri
- ii. Yapı alanlarında, tünellerde, maden ocaklarında, endüstriyel alanlarda dizi ve yöneltme ölçümleri
- iii. Lazer Nivelmanıdır.

Bu çalışmanın amacı: jeodezik çalışmalarda, projelere altlık olacak halihazır harita üretilmesinde, Lazer Tarama Yönteminin kullanılabilirliğinin denetlenmesidir.

## 2. JEODEZİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

“X ve Y için” ve “H için” olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır.

### 2.1 JEODEZİK YÖNTEMLER ( X VE Y İÇİN )

Jeodezik yöntemler adı altında kullanılan yöntem olarak; Bağlama Yöntemi, Kutupsal Koordinat Yöntemi ve Önden Kestirme Yöntemlerinden bahsedilecektir.

#### 2.1.1 Bağlama Yöntemi ( Üçgenleme )

İç mekanların rölövelerinin alımında kullanılan en yaygın yöntem üçgenlemedir. Çelik şerit metre dışında bir araç gerektirmeyen bu sistemde cephe üçgenlere bölünerek ölçülür.

Çok dar açılı üçgenlerin çiziminde, kesişme noktasının elde edilmesinde üçgenlerin tepe açılarının dar olmaları durumunda kesişme noktasının tayininde kesinlik olmayacağı için, oluşturulacak üçgenlerin mümkün olduğu kadar eşkenar üçgene yakın olmasına özen gösterilmelidir.

Bina tekrarlanan birimlerden oluşuyorsa da farklı ölçülere sahip olabileceği göz önünde tutularak her birim ayrı ayrı ve dikkatle ölçülür. Bu uygulama diğer yöntemler içinde geçerlidir.

Ölçüme binanın dışından başlanır. Duvarların doğrultusunu dolayısı ile binanın dış konturunu çıkarabilmek için yapıyı içine alan bir çokgen oluşturulur. Çokgen köşelerini belirtmek için geçici olarak ayaklı jalonlar kullanılabilir. Yapı dıştan kapı, pencere vb. öğelerin konum ve açıklıkları, yüzeyden çıkıntıları belirtilerek ölçülür. Dikkatli yapıldığında başarılı sonuçlar veren bu yöntemde ölçüler hep aynı seviyeden alınmalıdır (Ahunbay 2004)



Ancak bu şekildeki bir uygulama alet imkanının çok kısıtlı ve yapının çok basit olduğu durumlarda ve nadiren kullanılır. Bugünün modern ölçme tekniklerinin söz konusu olduğu durumlarda böyle bir uygulama yeterli görülmez. Bu nedenle bu çalışmada bu yöntemin kullanılması düşünülmemiştir.

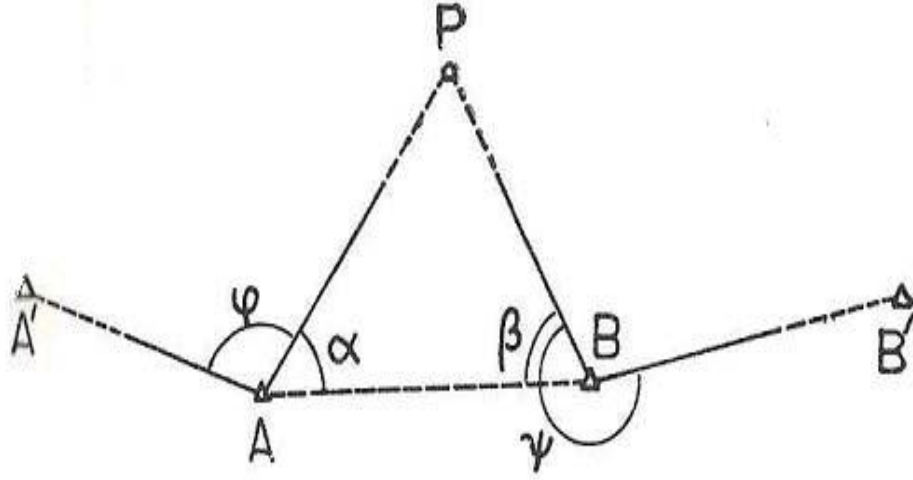
Kullanılan aletler;

Bağlama yönteminde kullanılan aletler; çelik şerit metre, çekül, jalon ve jalon sehpasıdır.

### **2.1.2 Önden Kestirme Yöntemi**

Kestirmenin en basit şekli Önden Kestirmedir. Önden kestirmede, koordinatları bilinen noktalara alet kurularak diğer bilinen noktalar ile tayin edilecek nokta arasındaki açılar ölçülür. A, B ve A', B' noktalarının koordinatları verilmiş, A noktasında  $\varphi$  ve B noktasında ise  $\psi$  açıları ölçülmüş olsun (Bkz. Şekil 2.1). P noktasında koordinatları hesaplanacak noktadır (TÜDEŞ 1997, s. 289). Bu şekildeki çözüm önden kestirmenin genel halidir. Uygulamada hesaplamaların daha kolay olması için A ve B noktalarının birbirini gören noktalar olması tercih edilir. Bu durumda  $\varphi$  ve  $\psi$  açıları yerine  $\alpha$  ve  $\beta$  açıları ölçülür. Rölöve ölçülerinde tercih edilen önden kestirme şekli de budur.

Şekil 2.1 : Önden kestirme yöntemi



Önden kestirme yönteminde kullanılan aletler; çekül, çelik şerit metre ve teodolittir.

Matematiksel hesap yöntemi;

Önden kestirmede A ve B noktaları koordinatları ile verilir. Arazide koordinatı hesaplanacak P noktasına A ve B noktalarından teodolit ile gözlem yapılarak  $\alpha$  ve  $\beta$  açıları ölçülür. Önce AB kenarı ve (AB) semti hesaplanır:

$$\tan (AB) = (YB-YA) / (XB-XA) \quad (2.1)$$

$$AB = (YB-YA) / \sin(AB) \quad AB = (XB-XA) / \cos(AB) \quad (2.2)$$

(2.2) bağıntısında hesaplanan AB değerlerinin birbirine eşit çıkması kontrolü sağlar. Eşitlik sağlanmıyorsa hata işlem kısmındadır. Hatanın aranması burada yapılmalıdır. P noktasının koordinatlarının bulunması için AP ve BP kenarları ile (AP) ve (BP) semtlerinin bilinmesi gerekir. AP ve BP kenarları ABP üçgeninde sin teoreminin kullanılması ile elde edilir:

$$AP = AB \cdot [\sin \beta / \sin (\alpha + \beta)] \quad BP = AB \cdot [\sin \alpha / \sin (\alpha + \beta)] \quad (2.3)$$

(AP) ve (BP) semtleri ise;

$$(AP) = (AB) - \alpha$$

$$(BP) = (BA) + \beta \quad (2.4)$$

bağıntısından bulunur. P noktasının koordinatı A noktasından

$$y = y_a + AP \cdot \sin (AP) \quad x = x_a + AP \cdot \cos (AP) \quad (2.5)$$

bağıntısıyla, B noktasından da

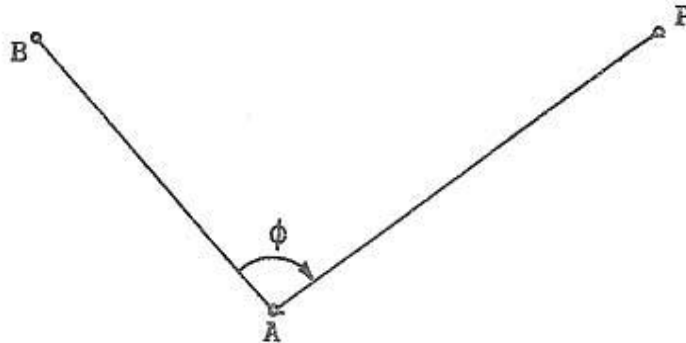
$$y = y_b + BP \cdot \sin (BP) \quad x = x_b + BP \cdot \cos (BP) \quad (2.6)$$

bağıntısıyla elde edilir (Özbenli, 1997).

### 2.1.3 Kutupsal Koordinat Yöntemi

Bir noktanın kutupsal koordinat yöntemi ile koordinatlarının bulunabilmesi için öncelikle ölçülecek olan P noktasının yakınında koordinatı belli bir A noktasına ihtiyaç vardır (Bkz. Şekil 2.2).

#### Şekil 2.2: Kutupsal koordinat yöntemi



Ayrıca ikinci bir koordinatı belli noktaya da gerek duyulur. Şekil 2.2’de görülen B noktasının P noktasına yakın olmasına ihtiyaç yoktur. Arazide A noktasına teodolit kurulup BA doğrusu ile BP doğrusu arasında kalan  $\Phi$  açısı ile AP uzunluğu ölçülür.

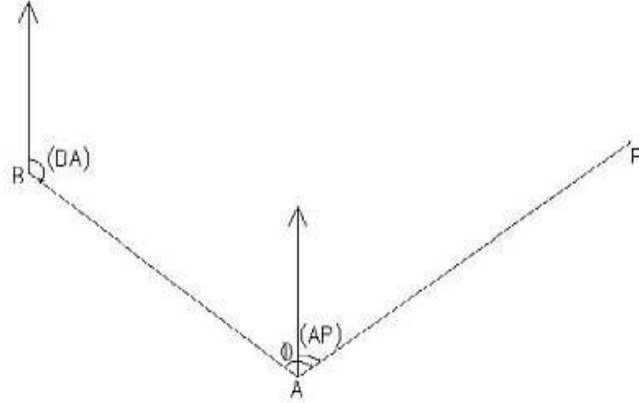
Kullanılan aletler;

Kutupsal koordinat yönteminde kullanılan aletler; çelik şerit metre teodolit veya total station (teodolit + elektronik uzaklıkölçer + hesaplayıcı) dir.

Matematiksel hesap yöntemi;

Kutupsal koordinat yöntemi ile noktanın koordinatının hesaplanması ölçme bilgisinde çok kullanılan temel ödevin uygulamasından ibarettir.

**Şekil 2.4: Geometrik yükseklik ölçümünde nivelman düzleminde**



A ve B noktaları koordinatları bilindiği için (BA) semti (2.1) eşitliğinden hesaplanır.

(AP) semti ise (Bkz. Şekil 2.3);

(AP) = (BA) +  $\Phi \pm 200g$  (2.7) dan bulunur. P noktasının koordinatları ise (2.5)

bağıntısından bulunur:

$$y = y_a + AP * \sin (AP)$$

$$x = x_a + AP * \cos (AP).$$

## 2.2. JEODEZİK YÖNTEM (H İÇİN)

Noktaların düşeyde uzaklıkları yani yüksekliklerinin hesaplanma yöntemleridir.

### 2.2.1 Geometrik Yükseklik Ölçüsü

Geometrik yükseklik ölçüsünde, önce konu üzerinde bir nivelman düzleminin meydana getirilmesi lazımdır. Bu nivelman düzleminin başlıca özelliği bir yatay düzlem olmasıdır. Jeodezide yatay düzlem çekül doğrultusuna dik bir düzlemdir ve belli bir bölge için bu düzlem deniz yüzeyine paralel kabul edilebilir.

**Şekil 2.4: Geometrik yükseklik ölçümünde nivelman düzleminde**



Nivelman aletlerinin esasları bir nivelman düzlemini gerçekleştirmeye yarayacak bir düzenden ibarettir. En basit şekli ile saydam bir kap içindeki bir sıvı böyle bir düzlemin bir parçası demektir. Tabiatıyla pratikte maksada daha uygun düzenler kullanılmaktadır. Konuya ait noktaların bu düzlemden uzaklığını ölçmek için noktalar üzerine mira denilen bölümlü cetveller düşey olarak tutulur ve nivelman düzleminin bu cetvelleri kestiği noktalar ile konu arasındaki uzaklık cetvel üzerinde okunur (Bkz. Şekil 2.4) (Özbenli 1997).

Kullanılan aletler; geometrik yükseklik ölçüsünde doğruluk derecesi en yüksek ölçüler nivo denilen optik aletle yapılır.

Matematiksel hesap yöntemi;

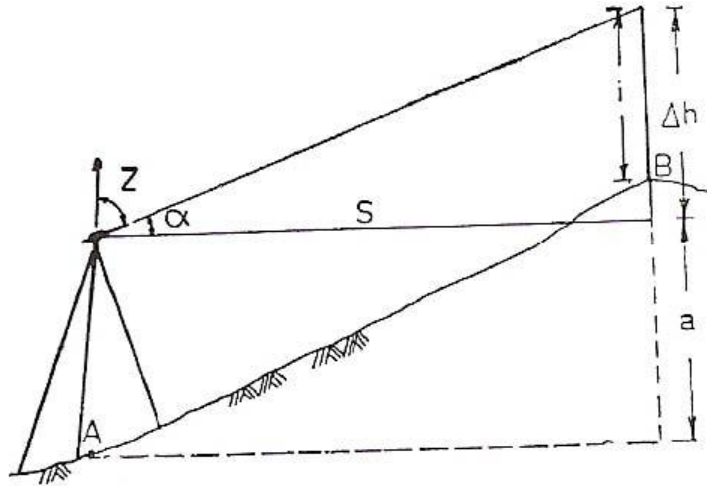
Alet noktalarının dışında bir yere kurulur. A noktasında (g) okuması (geri okuma) yapılır. B noktasında ise (i) okuması (ileri okuma) yapılır. İki nokta arasındaki yükseklik farkı da;

$$\Delta h = g - i \quad (2.8) \text{ olarak hesaplanır (Özbenli 1997).}$$

### 2.2.2 Trigonometrik Yükseklik Ölçüsü

Trigonometrik yükseklik tayininin esası; iki nokta arasındaki yükseklik farkının, düşey açı ve yatay uzaklıktan faydalanılarak bulunmasıdır. Deniz seviyesinden  $H_a$  yüksekliğindeki bir A noktasına alet kurulup, alet yüksekliği ( $\alpha$ ) ölçülür. buradan B noktasına yerleştirilen (i) yüksekliğindeki işarete tatbik yapılarak düşey açı ( $z$ ) okunursa, B noktasının yüksekliği herhangi bir şekilde bulunan yatay uzaklık ve bu ölçülerden faydalanarak bulunabilir (Bkz. Şekil 2.5) (Özbenli 1997).

**Şekil 2.5: Trigonometrik yükseklik ölçümünde  $\Delta h$  tayini**



Kullanılan aletler Trigonometrik yükseklik ölçümünde teodolit veya total station kullanılır.

Matematiksel hesap yöntemi

Trigonometrik yükseklik ölçümünde, aletin muylu eksenini ile işaret noktası arasındaki  $\Delta h$  yükseklik farkı, eğer  $\alpha$  eğim açısı ölçülmüşse;  $\Delta h = s \cdot \tan \alpha$  (2.9) ve  $z$  zenit açısı ölçülmüşse;

$\Delta h = s \cdot \cot z$  (2.10) bağıntıları ile hesaplanır. B noktasının yüksekliği ise Şekil den;

$H_a = H_a + a + \Delta h - i$   $H_b = H_b + a + (s \cdot \cot z) - i$  (2.11) dir. Bu bağıntıya göre, hesaplanan  $\Delta h$  yüksekliğine daima alet yüksekliği eklenir ve işaret yüksekliği çıkarılır.

### 3. GPS

1960'lı yılların başlarında A.B.D. Savunma Bakanlığı küresel olarak kaplama alanı geniş, yüksek doğruluklu, sürekli ve her türlü hava koşullarında açılabilen Transit adı verilen uydu sistemini geliştirerek, bugünkü NAVSTAR/GPS adı verilen sistemi tasarlamışlardır. Küresel bir koordinat sisteminde bir alıcı ile uydu sinyal verisini kullanarak ölçülen hız, doğruluk ve ekonomik yönden sağladığı avantajlar, olanaklar ve üstünlükler sayesinde haritacılık faaliyetleri için son derece uygun bir sistemdir.

#### 3.1 GPS'İN BÖLÜMLERİ

GPS üç ana bölümden oluşur. Bunlar;

Uzay Bölümü (Yörüngelerindeki Uydular)

Kontrol Bölümü(Uydu izleme istasyonları)

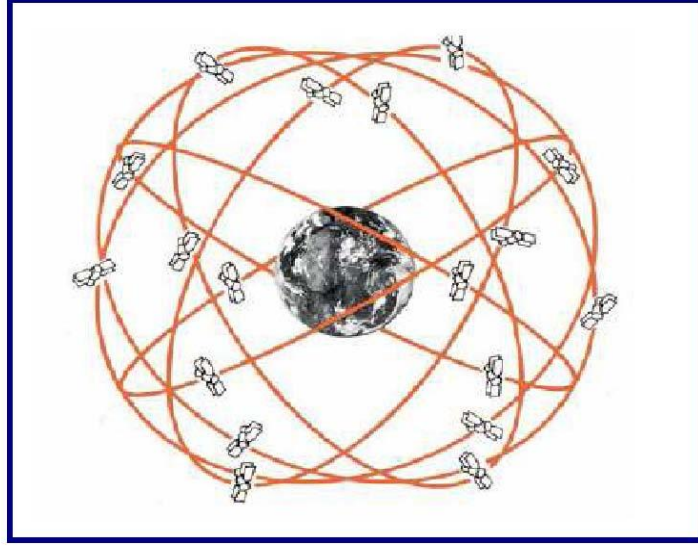
Kullanıcı Bölümü(Alıcılar)

##### 3.1.1 Uzay Bölümü

GPS uzay bölümü iki farklı L1 ve L2 frekansı üzerine modül dilimi, faz ve kod ölçüleri ile kendi yörünge bilgilerini yayımlayan uydulardan oluşmaktadır. Her bir uydu iki tarayıcı frekansı üzerinden; eşzamanlı sinyalleri ve navigasyon mesajı bilgilerini iletir. 1973 yılından günümüze kadar birçok uydu uzaya fırlatılmış ve planlanan dan çok daha fazla sayıda uydu hizmete sunulmuştur. GPS uyduları, dünya yüzeyinden yaklaşık 20200 km yükseklikte, yörüngesel yerleşimleri  $55^\circ$  eğim açısına sahip, bir birine paralel altı yörünge düzlemin de olup, dünya çevresini yaklaşık 12 saatlik ( $11^h 58'$ ) periyotta tamamlarlar (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1: GPS uyduları ve yörüngeleri**



Uyduların ilk yörüngesel yerleşimlerin de, dünyanın herhangi bir yerin den en az 4 uydu izlenebilecek şekilde tasarlanmış ve Kuzey Amerika üzerinde daha fazla zaman geçirmelerine dikkat edilmiştir. Ancak uydu sayısının günümüzde artmasıyla konumlama için yeterli sayıda uydu izlenebilir duruma gelmiştir.

GPS uydularına; fırlatılış tarihlerine göre kronolojik bir sınıflandırma yapımlı ve buna göre;1978–1985 yıllarında fırlatılan ilk grup uydulara Block I, ondan sonra günümüze kadar fırlatılan uydular sırasıyla Block II, Block IIA ve Block IIR adı verilmiştir.

Her kuşak uydu bir öncekine göre daha yüksek teknolojiye sahip ve daha uzun ömürlü olacak şekilde tasarlanmaktadır. Günümüzde, modernizasyon çalışmaları hızla sürmekte olup 12 adet Block IIR uydusunun güncellenmesi ile bu çalışmalara bağlanmıştır. Bu uydular da L1 ve L2 üzerine askeri M kodu yerleştirilecek ve bu uydular Block IIR-M ismini alacaklardır.

Block IIF uydularına yeni L5 sinyali eklenecek ve bu uydular genellikle can güvenliği hizmetlerinde kullanılacaktır. L5 sivil frekansı bugün L1 üzerindeki C/A kodu ile karşılaştırıldığında; sinyal girişimine karşı yüksek dirençli, dört kat daha güçlü,

genişletilmiş veri mesajına ve daha geniş bant aralığına sahiptir (Hoffmann, 1998; Azkın 2002; Ünal ve Uyar 2004).

### **3.1.2 Kontrol Bölümü**

Kontrol bölümü ,yeryüzünün çeşitli yerlerine dağılmış 1 ana ve 5 izleme istasyonundan oluşmaktadır. Ana istasyon Colorado' da (A.B.D.); izleme istasyonları ise Hawaii, Ascension, Diego Garcia, Cape Canavaral ve Kwajalein' de bulunmaktadır. Yörüngeye yerleştirilmiş tüm GPS uyduları dünya üzerine uygun dağılmı, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonu tarafından izlenmektedir. Bu istasyonların görevi, günlük olarak uyduların sağlıklı şekilde alımlarını sağlamak, toplanan verileri irdeleyerek uydu yörüngelerini belirlemek, uydu saat düzeltmelerini hesaplamak ve SA etkileri gibi bilgileri uydulara yüklemektir. Ana kontrol istasyonu, tüm sistemin kontrolünden, her bir uydu için uydu efemeris bilgilerinin saat düzeltmelerinin hesabından sorumludur. Diğer 5 istasyon, gözleme istasyonu görevi yapar ve uydu efemerislerinin belirlenmesi için gerekli verileri toplarlar. (Aydın 2004).

### **3.1.3 Kullanıcı Bölümü**

Kullanıcı bölümü, alıcı ve antenden oluşmaktadır. Alıcılar kullanım amaçlarına göre, kullanım alanlarına göre ve yapılarına göre sınıflandırılırlar.

- i. Kullanım amaçlarına göre;  
Bilimsel amaçlı alıcılar  
Pratik amaçlı alıcılar
- ii. Kullanım alanlarına göre;  
Askeri amaçlı alıcılar  
Sivil tip alıcılar
- iii. Yapılarına göre;  
Kanal sayısına göre  
Frekanslarına göre

GPS sinyallerini kaydeden aletler 7 bölümden oluşur (Aydın 2004).

*Anten ve güçlendirici*, bölümünde anten uydudan gelen sinyalleri alır, bu sinyalleri güçlendirdikten sonra sinyal emicisi bölümüne gönderir. Anten ile aradaki bağlantı bir kablo ile sağlanır.

*Sinyal değerlendirme bölümü*, anten tarafından alınan ve güçlendirildikten sonra kablolarla radyo-frekans kısmına iletilen sinyal, sinyal işlemcisi tarafından değerlendirilir. Bu değerlendirme, sinyal işlemcisindeki kanallarla yapılır. Kod ölçüleriyle pseudorange belirlenir. Sonra veri toplulukları demodüle edilerek eski şekline dönüştürülür.

*Mikro işlemci*, hesaplamaların yapıldığı bölümdür.

*Data kayıt*, yapılan ölçülerin kayıt edildiği bölümdür. Kayıt işlemi; alete, bilgisayara, disketlere veya kasetlere yapılabilmektedir.

*Dış işletim* bölümünde, elle kullanım için klavye ve ekran birimleri vardır.

*Enerji Kaynağı*, aletin çalışması için gerekli enerjiyi temin eder. Aletler genellikle 12 voltluk enerjiyle çalışmaktadır. iç batarya ve dış batarya kullanılmaktadır.

*Osilatör*, ışık akımını elektrik akımına dönüştüren bölümdür.

### **3.2 GPS UYDULARININ SİNYAL YAPISI**

GPS uyduları 2 tür kod ve navigasyon mesajı ile modüle edilmiş, 2 temel taşıyıcı sinyali göndermektedir. Uydu frekans standardı  $f_0=10.23\text{Mhz}$  olarak alınmasıyla;

$$L1=154.f_0 \quad (3.1)$$

$$L2=120.f_0 \quad (3.2)$$

sinyalleri elde edilmektedir. GPS sinyalleri aslında oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni sinyallerde çok çeşitli veri tiplerinin bulunmasıdır. GPS çok sayıda kullanıcıya, hassas ve doğru uzunluk ölçümü, hassas Doppler değişimi ölçüsü, hassas taşıyıcı faz ölçüsü, konum bilgileri ve iyonosferik gecikme nedeniyle düzeltme

parametrelerinin ulaşmasını sağlar (Güngör 2000).

Kontrol bölümü ile uydular arasındaki iyonosferik etkinin azaltılması için S band, uydu ve kullanıcı bölümleri arasında L bandı kullanılmaktadır. L1 ve L2 sinyalleri, uydu saat düzeltmeleri, yörünge parametreleri gibi bilgilerin yeryüzündeki alıcıya ulaştırılabilmesi amacıyla kodlar ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Modülasyon işleminde her bir uydu ya tek anlamlı PRN (Pseudo Random Noise ) kod numarası verilmiştir (Pırtı 2004).

Tüm uydular aynı taşıyıcı frekansla yayın yapmasına karşın uydu sinyalleri kod modülasyonu tekniği ile birbirlerine karışmamaktadır.

L1 üzerine P (Precision) kod ve C/A (Coarse/Acquisition) kodu, L2 üzerine ise yalnızca P kodu modüle edilmiştir. P kodunun frekansı  $f_0=10.23\text{Mhz}$  olup, C/A kodunun frekansı ise  $1.023\text{ Mhz}$ 'dir.

P ve C/A kodlarının uydudan gönderili ve alıcıya varış zamanları bilindiğinden uydu ile alıcı arasındaki uzaklık (pseudorange);

$$\rho=c.(t_1-t_0) \quad (3.3)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Pseudorange ölçüleri;

- i. Yer istasyonunun konumunun başlangıç değerlerinin hesaplanmasında,
- ii. Alıcının GPS zamanına göre sabit farkının (offset) belirlenmesinde,
- iii. Tam dalga boylu L1 (0.19m) ve L2 (0.244m) taşıyıcı faz belirsizliklerinin (tam sayı belirsizliği ) ve varsa tam dalga boylu L1 ve L2 faz sıçramalarının hesaplanmasında,
- iv. Kinematik GPS ölçülerinin işlenmesi ve hesaplanmasında,
- v. Taşıyıcı faz ölçülerinden bağımsız olarak sadece yüksek nitelikli P kod ile kinematik uygulamalarda 1 metrenin altında rölatif konum belirlenmesinde,

kullanılmaktadır (Uzel ve Eren 1995 ).

GPS üzerinden iki sinyalin kullanılmasının nedeni; her iki sinyalden birisinin arızalanması durumunda diğerinin kullanılabilir olması ve iyonosferik etkisinin bu

yönle azaltılmasıdır. Tek frekanslı alıcıya sahip kullanıcılar, iyonosferik etkiyi ancak belli oranda belirleyebilen matematiksel modeller kullanarak modellendirilmelidirler. Uzunluk ölçüm hassasiyeti kısmen PRN kodundaki chip' in dalga boyuyla ilgilidir. Yüksek duyarlılık daha kısa dalga boyu ile elde edilebilir. C/A kodun verdiğiinden daha hassas sonuç elde edebilmek için GPS uyduları aynı zamanda P kodunuda yayımlar (Teunissen & Kleusberg 2000).

### **3.3 GPS'DE KULLANILAN ÖLÇÜ BÜYÜKLÜKLERİ**

Kavramsal olarak GPS gözlemleri alıcının kendi içerisinde ürettiği sinyal ile uydudan gelen sinyalin karşılatırılması suretiyle faz ve ya zaman farkının elde edilmesi prensibine dayanır. Klasik yersel elektronik uzaklık ölçüsünün tersine, GPS' te sinyalin tek yönlü seyir süresi kullanılır. Bu işlem için uydu ve alıcı saatleri kullanılır. Bu saatler birbirleriyle eş zamanlı olarak çalışmadıkları için uzunluklar gerçek değerlerine göre bir miktar hatalı olur. Bu nedenle GPS ile gerçek uzunluklar yerine, pseudo (kaba) uzunluklar ölçülmüş olur (Hoffman 1998).

Pseudo uzunluktan gerçek uzunluğa geçmek için saat hatalarının ve ölçü işlemini etkileyen diğer hataların (iyonosferik ve troposferik gecikme hatası, uydu konum hataları v.s. ) dikkate alınması gerekir. Temel olarak iki tane GPS gözlemi vardır. Bunlardan birincisi Kod Pseudo uzunluk ölçüsü (veya kısaca kod ölçüsü ) ve taşıyıcı dalga faz ölçüsüdür (Sickle 1996).

Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda taşıyıcı faz ölçüleri, navigasyon amaçlı uygulamalarda ise kod ölçüleri kullanılmaktadır. Jeodezik amaçlı GPS ölçümlerinde doğrudan taşıyıcı faz ölçülerini kullanmak yerine, bunlardan yararlanarak elde edilen lineer kombinasyonlar ve fark yöntemleri de kullanılmaktadır (Pırtı 2004).

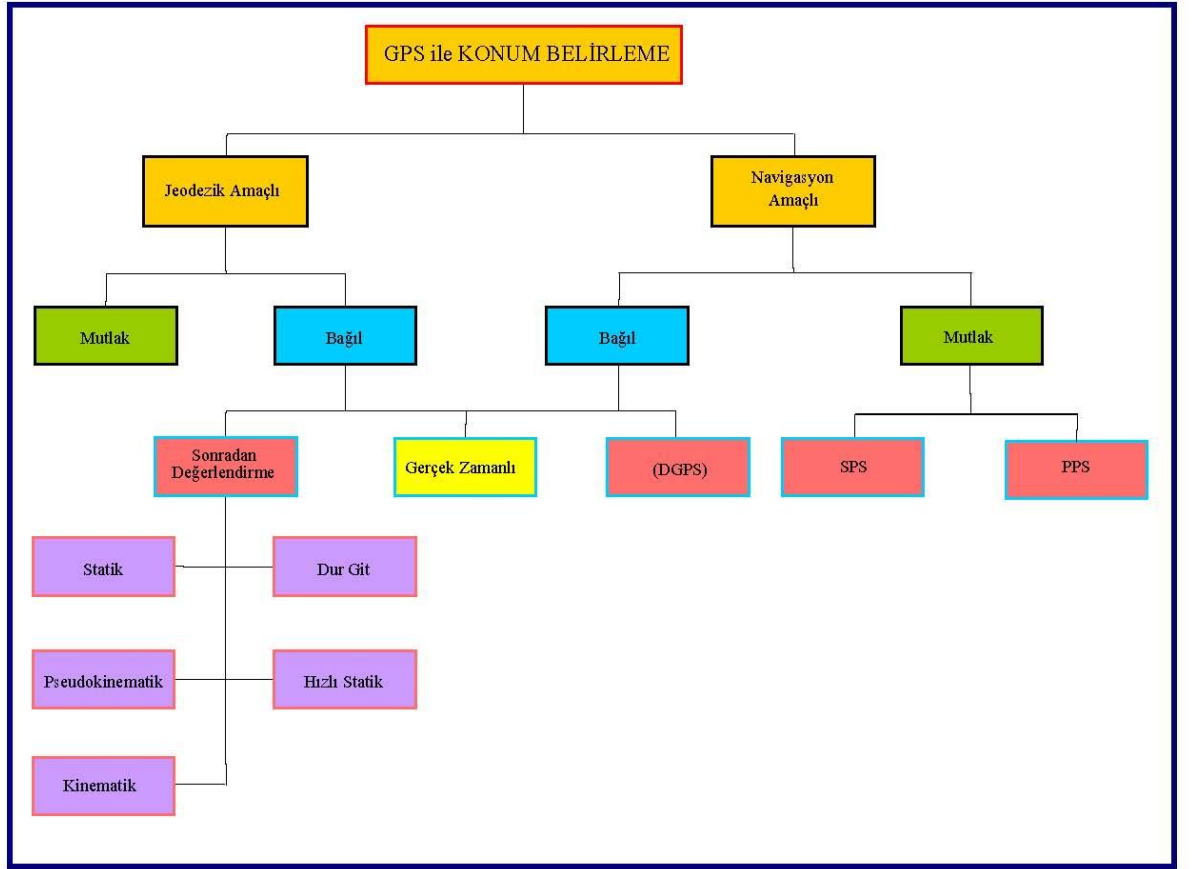
- i. Kod (Pseudorange) Ölçüsü
- ii. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçüsü

### 3.4 GPS İLE KONUM BELİRLEME

GPS ile konum belirleme yöntemleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- i. Mutlak Konum Belirleme
- ii. Bağıl Konum Belirleme yöntemleridir (Şekil 3.2).

**Şekil 3.2: GPS ile konum belirleme yöntemleri**

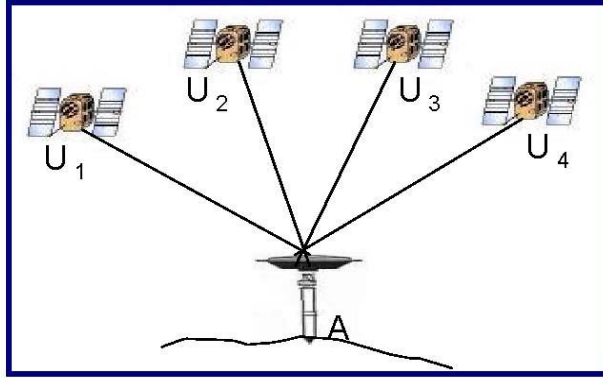


#### 3.4.1 Mutlak Konum Belirleme

Tek bir alıcı ile 4 ya da daha çok uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerine alıcı kurulan noktanın koordinatları belirlenmektedir. Yöntem, sinyalin uydu çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları ile uzay geriden kestirme ile noktanın

koordinatları belirlenir (Şekil 3.3).

**Şekil 3.3: Mutlak konum belirleme**

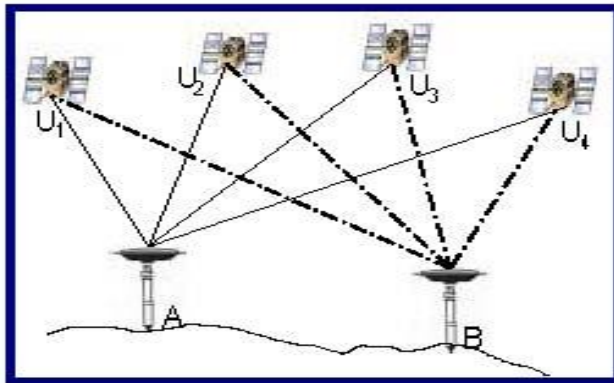


Alıcı koordinatları kod bilgisine (P kod ve C/A kod) ve uydu geometrisine bağlı olarak anında ve mutlak anlamda belirlenmektedir. Bu yöntem alıcının sabit olması durumunda statik, hareketli olması durumunda ise kinematik konum belirleme olarak tanımlanmaktadır (Aydın 2004).

### 3.4.2 Bağlı Konum Belirleme

Koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta veya noktaların koordinatlarının belirlenmesidir. Başka bir deyişle, bağlı konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir (Şekil 3.4).

**Şekil 3.4: Bağlı konum belirleme**



A noktası koordinatları bilinen bir referans (sabit) noktasını, B ise koordinatı

hesaplanacak olan başka bir noktayı gösterebilir. Bu durumda B noktasının koordinatları,

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \quad (3.4)$$

ile ifade edilir.

Bağıl konum belirlemede iki ayrı noktada kurulmuş iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemi söz konusudur. Alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın veya duyarlı) bağlı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir (Aydın 2004).

Bağıl konum belirleme modeli; bir kez fark alınmış (*Single Differences, SD*), iki kez fark alınmış (*Double Differences, DD*), üç kez fark alınmış düşünülebilir. Birçok ticari ve bilimsel yazılım; ölçü sonrası değerlendirme işlemlerinde bu ölçü birleşimlerini farklı amaçlar için kullanırken, DD modeli bağıl konum belirlemenin temel modeli olarak seçmiştir (Kurt 2003).

### 3.5 GPS İLE ÖLÇME TEKNİKLERİ

GPS ile konum belirlemede, yapılacak çalışmanın türüne (ölçme, *navigasyon*), istenilen duyarlılığa, noktalar arası uzunluğa, ölçüm süresine, noktalardaki alıcıların sabit yada hareketli olmasına, konumun gerçek zamanda yada sonradan işlemeyle belirlenmesine bağlı olarak birçok GPS tekniği geliştirilmiştir.

#### 3.5.1 Statik Ölçü Tekniği

Birden çok alıcı ile eş zamanlı olarak yapılan ve ölçü süresi noktalar arası uzaklığa bağlı olarak değişen oldukça duyarlı sonuçlar veren bir yöntem olup, yöntemin doğruluğu yapılan ölçmeye göre değişir. Sadece L1 taşıyıcı sinyali ile yapılan bağıl statik ölçmelerde yatayda 0.02 m, düşeyde 0.03m, L1 ve L2 sinyalleriyle yapılan bağıl statik ölçmelerde yatayda 0.005m, düşeyde 0.02 m doğruluk elde edilebilmektedir.



Statik yöntemle toplanmış olan ölçüler büro ortamında uygun GPS yazılımlarıyla (*postprocess*) değerlendirilir. Gözlem süresi bazın büyüklüğüne, gözlenebilen uydu sayısına ve uydu geometrisine bağlıdır. Bu ölçü yöntemi; yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazların ölçümünde, yer kabuğu hareketlerinin araştırılmasında, büyük mühendislik yapılarının deformasyonlarının belirlenmesinde, ülkenin nirengi ağlarının güncelleştirilmesinde, uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak sağlamadığı zamanlarda kullanılan en iyi yöntemdir.

### 3.5.2 Tekrarlı ( *Pseudokinematik* ) Ölçü Tekniği

Bu yöntemde; statik yöneme göre daha çok, kinematik yöneme göre daha az nokta üretilmektedir. Bu yöntem bir ya da iki saatlik ölçüsü süresinin başlangıç ve sonunda, değişen uydu geometrisinden yararlanmak için bir noktanın birkaç dakika süre ile iki kez ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Aydın 2004).

Aynı noktada iki farklı oturumun yapılmasının nedeni, ölçüler sırasında uyduların uzaydaki dağılımlarının değişmesidir. Böylece aynı noktaya ait tam sayı faz bilinmeyeninin, farklı bir uydu dağılımı ile çözümlenmesi sağlanmış olur. Statik GPS ile ölçülebilecek noktadan çok daha fazlası bu yöntem ile ölçülmüş olur (Hoffmann 1998; Güngör 2000).

Tekrarlı ölçü tekniğinin uygulaması;

- i. Merkezsel Baz Yöntemi,
- ii. Travers Yöntemi.

Olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

*Merkezsel baz yönteminde* bir alıcı, konumu bilinen bir referans noktası üzerinde iken başka bir alıcı herhangi bir noktadan başlayıp diğer noktaları gezer. Ölçü bitiminde bir ucu referans noktası diğer ucu ise ölçü yapılan noktalar olan bazlar elde edilir. Birden fazla sayıda alıcı ve referans noktası kullanılabilir (Kahveci ve Yıldız 2001).

*Travers yönteminde*, sabit alıcı olmayıp, her iki alıcıda hareketlidir. Burada atlamalı ölçüler yapılmakta olup, her defasında bir alıcı dururken diğer alıcı yer değiştirmektedir.

### **3.5.3 Kinematik Ölçü Tekniği**

Bu yöntem de, bir referans noktasındaki alıcı sürekli sabit kalır. İkinci alıcı ise hareketlidir ve rastgele seçilmiş epoklarda konum belirlemesi yapmaktadır. Başlangıçta bir süre statik ölçü yapılarak tamsayı bilinmeyi belirlenir ve hareketli alıcının bulunduğu noktanın koordinatları hesaplanır. Hareketli alıcıda uydu sayısı 4' ün altına düştüğü takdirde tamsayı bilinmeyi yeniden belirlenmelidir (Aydın 2004).

### **3.5.4 Dur Git Ölçü Tekniği**

Bu yöntemde de bir alıcı sürekli olarak konumu bilinen bir nokta da ölçüm yapar. İkinci alıcı önce herhangi bir noktaya kurulur. Bu ilk noktada aynen hızlı statik yöntem kullanıyormuş gibi birkaç dakika ölçü yapılır. Bunun nedeni bu noktada faz başlangıç belirsizliğini belirlemek içindir. Faz belirsizliği çözümü için yeterli veri toplandıktan sonra söz konusu ikinci alıcı uydulara olan izlemeyi devam ettirerek diğer noktalar birkaç epokluk (10–20 sn' lik) ölçülerle geçilir. Bu yöntem ölçü noktaları birbirine yakınsa iyi sonuç vermektedir (Aydın 2004).

### **3.5.5 Hızlı Statik Ölçü Tekniği**

Statik bir ölçü yöntemi olup çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik önem taşımaktadır. Genel olarak alıcılardan birisi referans noktasında sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken, diğer bir alıcı öteki noktalara çok kısa süreler için kurularak eşzamanlı gözlemler yapılır (Tablo 3.1). Ülkenin rengi ağlarının sıklaştırılmasında ve dizinin rengi çalışmalarında yeterli doğruluğu veren bir yöntemdir (Aydın 2004).

**Tablo 3.1 Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi (Aydın, 2004)**

Uydu Sayısı	Ölçü Sayısı
4	>20
5	10–20
6 ve daha çok	5–10

Kaynak: Aydın, 2004

Hızlı statik yöntemin uygulamasında, konumu belirlenecek olan yeni noktalar arasında alıcı taşınırken açık olması gerekmemektedir. Bu da pratik açıdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Ölçü süresi; noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlı olup, uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir (Kahveci ve Yıldız 2001).

### **3.5.6 Diferansiyel ( DGPS ) Ölçü Yöntemi**

GPS uygulamalarının kullanım alanlarının genişlemesiyle birlikte uygulama alanları da genişlemiştir. DGPS ölçü yöntemi, özellikle kara, deniz ve hava araçlarının navigasyon uygulamalarında kullanılan bir yöntemdir.

Konumu çok hassas olarak belirlenen bir noktaya kurulan alıcı, sürekli gözlemler yapar. Ölçüler sonucu elde edilen koordinatlar ile daha önceden belirlenmiş koordinatlar karşılaştırılarak bulunan farklar gezici alıcıların hesapladığı koordinatlara düzeltme olarak getirilir.

DGPS ölçü yönteminde tek frekanslı alıcılar ile ölçü yapılabilirdiği gibi, aynı zamanda kod ölçüsü kullanıldığından nokta konumları dm hassasiyetinde belirlenebilir. Ayrıca bu tür ölçme uygulamalarına anlık tanımlama işlemi yapılarak başlanılabilir ve düzeltmelerin uydular üzerinden yapılarak daha geniş (bölge veya ülke çapında ) bir alanı kapsayacak sistemler oluşturulup ölçüm yapmak mümkündür. Gerçek zamanlı

DGPS çoğu zaman kod gözlemleri ile yapılan çalışmalar için kullanılmakta olup, faz gözlemleri ile yapılan DGPS uygulaması RTKGPS adını alır.

### **3.5.7 Gerçek Zamanlı Kinematik GPS ( RTKGPS )**

RTK GPS yöntemi ölçüm prensibi olarak DGPS' e benzer. Fakat bu yöntem kod ölçüsünden farklı olarak taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanır. Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre daha hassas olması sebebiyle RTK yöntemi DGPS yönteminden daha hassas sonuç verir. Ayrıca hangi koordinat sisteminde olursa olsun bir noktanın araziye aplikasyonu yine  $\pm 2-3$  cm' lik bir hassasiyetle yapılabilir. Bu ölçü yöntemin de DGPS' de olduğu gibi, statik ve kinematik GPS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak sabit istasyonda, hesaplanan düzeltmeleri yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısı kullanılır. Yine bu yöntem de RTK ile ilgili yazılımların kullanıldığı ve sistem ayarlarının yapıldığı bir data kontrol ünitesi (el bilgisayarı ) kullanılır. Arazide anlık konum bilgilerine bu data kontrol ünitesi vasıtasıyla ulaşılır (Aydın 2004 ).

## 4. YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİ

Yersel lazer tarama yöntemi ile ilgili gelişmelerden bahsedilecektir.

### 4.1 YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Yersel lazer tarama tekniği ile hava lazer tarama tekniklerinde aynı ölçme prensipleri kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcı ile taranacak yüzey üzerindeki bir nokta arasındaki uzunluk, lazer sinyalinin yüzeye gönderilmesi ve yüzeyden geri dönen lazer sinyalinin tespiti arasında geçen zamanın yüksek doğrulukla belirlenmesiyle hesaplanır. Objeye, optik-mekanik tarayıcılar ile ölçme uzunluğuna bağlı olarak, yatay ve düşey yönlendirmelerle taratılır.

Tarama işlemi sonucunda elde edilen, objenin milyonlarca noktadan oluşan detaylı 3B görüntüsünün çıkarılmasını sağlayan, yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu nokta kümelerine nokta bulutu denir. Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. Bu şekilde, taraması yapılan obje yüzeyinin durumu yoğunluk verisi ile tanımlanmaktadır. 50 metrede 1,4 - 15 mm tek nokta doğruluğuyla yüzlerce metre uzaklıktaki objeye, ölçüm yapabilen birçok lazer tarayıcı mevcuttur (Ingensand 2006). Sabit veya hareketli bir platformdan taramayı gerçekleştirmek mümkündür. 3 boyutlu modeli elde edilmeye çalışılan objelerin geniş ve karışık şekilli olmalarından dolayı, tek seferde tarama yapılarak obje geometrisi elde edilememektedir. Bu yüzden, farklı konumlardan taramalar yapılır. Objenin tamamlanmış gösterimini sağlamak için, bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür. İkinci olarak TLS verisinin, diğer mekânsal veriyle (örneğin GPS ölçümleri) entegrasyonu çok önemlidir. Birçok CAD yazılım paketi, bu amaçlar için kullanılmaktadır (Reshetyuk 2006).

Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajı, 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı yakalama özelliğidir. Diğer avantajları ise (Reshetyuk 2006):

- i. Maliyet açısından giderlerdeki önemli azalma

- ii. Çok daha hızlı proje tamamlama
- iii. Geleneksel tekniklerin başarısız olduğu çok karışık, ulaşılamaz, tehlikeli obje ve alanlarda ölçüm yapabilme
- iv. Tarama işlemlerinin çevre aydınlatmasından bağımsız olması (gece tarama yapabilme özelliği)
- v. Taramada eksiksizlik ve kapsamlılık (tüm detayları tek seferde elde edebilme)
- vi. Çok amaçlı veri kullanımı

referans olarak yüksek duyarlılıklı işlerde kullanılmaktadır. Her ölçüm tekniği gibi lazer taramanın sonuçları, farklı nedenler yüzünden hata verebilmektedir. Bu hata kaynaklarının belirlenebilmesi veri kalitesini korumak için gereklidir. Yersel lazer taramalar sonucu elde edilen veri kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. TLS'nin yeni bir teknik olmasından dolayı tüm bu faktörler bugüne kadar yeterli derecede incelenmemiştir.

#### **4.1.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Gelişimi**

Yeni bir ölçme tekniği olan yersel lazer tarayıcı sistemlerle ilgili gelişmeleri ve kalibrasyonlarına yönelik çalışmaları, 2000 yılından önce ve 2000 yılından sonra yapılan araştırmalar diye iki kısımda inceleyebiliriz (Reshutyek 2006):

##### *a) 2000 Yılından Önce Lazer Tarayıcılarla Yapılan Araştırmalar*

Lazer uzunluk ölçme teknolojisinin teorik temelleri, Ready (1978), Hovanessia (1988), Jelalian (1992) ve Marshall'ın (1985) tarafından açıklanmıştır. Uçuş zamanını (TOF-Time Of Flight) içeren, lazer uzunluk ölçme teknikleri üzerine çok iyi ve kapsamlı bir inceleme Bosch ve Lescure'de (1995) verilmiştir.

Son 20 yılda lazerle uzunluk ölçümünde ve tarama teknolojisinde dikkate değer başarılar elde edilmiş ve çeşitli tarayıcılar geliştirilmiştir. Doğal olarak yersel tarayıcılardaki en önemli konu, yüksek doğruluğun elde edilmesi ve bunun için birçok testlerin yapılmasıdır. Dikkate değer bir çalışma da Amerika'daki Carnegie Mellon Üniversitesi Robotics Enstitüsünde yapılmıştır. Lazer tarayıcılar üzerine araştırmalar

1990'lı yılların başlarında başlamıştır (Krotkov 1990). Kweon(1991), Hebert ve Krotkov (1992) tarayıcıların doğruluk araştırmalarını yapmışlar ve bunlardan bazılarının kalibrasyon sonuçlarını rapor etmişlerdir.

Bu tarayıcılar, bugün kullanılmakta olan tarayıcılarla kıyaslandığı zaman, performans ve dizaynlarına göre (düşük doğruluk ve cznrlk, kısıtlı görüş alanı) oldukça basitlerdir. Geçmişte ve günümüzde kullanılan lazer tarayıcıların, işletim prensibi ve dizaynı benzer olduğundan dolayı bu araştırmaların sonuçları, şimdiki araştırmalar için oldukça önemlidir. Lazer tarayıcı aletlerinin doğruluğunu etkileyen faktörler hakkındaki bir araştırma Hancock (1999) tarafından yapılmıştır. Lazer tarama doğruluğu üzerine bazı araştırmalar, Portekiz'deki Lizbon şehrinde bulunan Systems ve Robotics Enstitüsü, Mobile Robotics Laboratuar'ında da yürütülmüştür. Lazer uzunluk lme ve tarama teknolojisi, endüstriyel uygulamalarda kullanılmış ve hata kaynakları, Finlandiya'daki Oulu Üniversitesin'deki Elektrik Mühendisliği Departmanı ile Teknik Araştırma Merkezinde araştırılmıştır.

Wehr ve Lohr (1999) ve Baltsavias (1999), lazer tarama teknolojisi, ALS'deki temel hata kaynakları ve genel prensipleri üzerine kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Temel prensiplerin ALS ve TLS'de aynı olmasından dolayı bu yayınlar çok iyi referans materyalleridir. Yersel lazer tarayıcıların ortaya çıkışı ve tasarımı, başta elektrik mühendisliği alanı ve bilgisayar teknolojisi sektöründe çalışan farklı disiplinlerdeki uzman kişiler ile jeodezi ve fotogrametri mühendislerinin ortak çalışması ile olmuştur.

#### *b) 2000 Yılından Sonra Lazer Tarayıcılarla Yapılan Araştırmalar*

Jeodezik lm tekniği olarak, TLS zerine kapsamlı araştırmalar, 2000 yılından sonra başlamış ve son yedi yılda, TLS alanında ciddi gelişmeler görülmüştür. Birçok lme çalışmalarında yersel tarayıcıların kullanılması ve bir sektör haline gelmesi, lazer tarayıcıların önemini vurgulamaktadır. En başından beri doğruluk araştırması konuları ve lazer tarayıcıların kalibrasyonu, ciddi bir şekilde dikkat çekmektedir. Bu araştırmalarda kullanılan yaklaşımlar genellikle şunlardır (Reshetyuk 2006):

- 1) Koordinat doğruluk duyarlılığının araştırılması ve TLS'nin kalibrasyonu, düz veya küresel kontrol hedeflerinin kullanıldığı referans alanları (2B ve 3B) ile belirlenmektedir. Hedef merkezlerinin dış sistemdeki koordinatları, bir total station kullanılarak belirlenebilir. Bu şekilde, TLS'nin duyarlılığı hakkında karar verilir. Hedefler, bir veya birçok düzenden taranır ve koordinatları dış sisteme dönüştürülür. Dönüştürülmüş ve bilinen koordinatlar arasındaki farklar, tarayıcı duyarlılığı hakkında karar vermek için analiz edilir.
- 2) Tarayıcı uzunluk ölçme duyarlılığı ve doğruluğu, uzunluk işlemleri üzerinden, EDM kalibrasyonuna dayanarak test edilir.
- 3) Tarayıcı performansı ve değişik objelerin boyut ve şekilleri, boyutları yüksek duyarlılıkla belirlenen referans objeleri kullanılarak test edilir.

İlk doğruluk araştırmalarından bazıları Lichti (2000), Gordon (2000, 2001), Balzani (2001), Lichti (2002a,b) ve Tucker (2002)'da açıklanmıştır. Tarayıcı performanslarının karşılaştırıldığı Johansson (2002) tarafından yapılan çalışma ilklerden biridir. Kapsamlı kalibrasyon deneyleri, Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde (NIST) yapılmıştır. TLS için standartlaştırılmış performans değerlendirmesi ve prosedürlerinin gelişimi için yapılan önemli araştırmalar, Mainz Üniversitesi Uygulama Bilimleri, Mekânsal Bilgi ve Ölçüm Teknolojisi Enstitüsünde yapılmıştır. Farklı tarayıcıların karşılaştırılabilir doğruluk testleri için, birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda uzunluk, açısal doğruluk, çözünürlük, kenar etkileri ve yüzey yansırılığının etkileri araştırılmıştır (Reshetyuk 2006).

Bir çok çalışma, TLS'deki hata yayılmasına yönelik olarak hazırlanmıştır. Keline (2005), TLS'nin hata stoğunun tarayıcıdaki rastgele ve sistematik hataları üzerine çalışmalar yapmıştır. Sistematik hatalar, total stationlardaki gibi aynı olduğu düşünölen alet eksenleri arasındaki hatalar ve dış merkezliktir. Callidus (Rickenbacher, 2003), Imager 5003 (Schulz & Imgensand, 2004a, b), MENSİ GS 100/GS 200 (Kertsen, 2004 & 2005b), ve Riegl LMS 360 (Tauber, 2005) gibi bazı seçilmiş tarayıcıların alet hataları ve doğrulukları, detaylı olarak incelenmiştir. Eriksson (2004), bir total stationun



kalibrasyon yöntemini MENSİ GS 100 tarayıcısına uyarlama olabirliği üzerine çalışma yapmıştır. Bağımsız prosedürlere dayanarak yapılan tarayıcı kalibrasyonları, yukarıda bahsedilen bütün araştırmalara dayanarak düşünölmelidir (Lichti & Franke, 2005).

Son zamanlarda fotogrametride iyi bilinen, kendi kendini kalibre etme yaklaşımı, lazer tarayıcılarda da kullanılarak birçok girişimci tarafından sistematik hatalar hesaplanmaya çalışılmıştır (Fraser, 1997). Amiri Parian ve Grune (2005) panoramik kameralar için genişletilen sensör modeliyle, Imager 5003 tarayıcısı için bir kalibrasyon modeli geliştirmiştir. Lichti ve Franke (2005), total station hata modeliyle, iQsun 880 tarayıcısının kendi kendini kalibre etme özelliğini uygulamışlar ve birçok ek alet hatasını deneysel olarak modellemişlerdir. Yazarlar, tarayıcı yapısından dolayı, birçok aletsel hatalardaki belirli geçici değişiklikleri de ortaya çıkarmışlardır.

TLS üzerine yapılan, birçok akademik ve bilimsel araştırma, yayın ve bu konu hakkında bilinen birçok kitap vardır. Hava lazer tarama sistemleri (ALS) içeren lazer tarama üzerine bilinen kitap, sadece Kapsar (2004)'ındır. Kitap, TLS ile ilişkili teorik konular hakkında çok kısa tanımlar vermektedir. Genellikle farklı tarama sistemleri ve uygulamalar üzerinde durmaktadır. Yeni bir ölçüm tekniği olarak TLS'nin kısaca genel açıklamasını veren, jeodezi ve fotogrametri alanında yayınlanmış bazı yeni kitaplar da bulunmaktadır (Örneğin Krause (2004) ve Kahmen (2005)). İşletim prensiplerinin uygulamaları, atımlı uçuş zamanlı telemetrelerdeki bileşenler ve hata kaynakları, Kilpela (2004)'de verilmektedir (Reshetyuk 2006).

## **4.2 YERSEL LAZER TARAYICILAR**

Bu bölümde, lazer tarayıcıların işletim prensiplerini, ana bileşenlerini ve ölçüm prosedürünü içeren Yersel Lazer Tarama (TLS) teknoloğisi hakkında, sistematik bir tanım oluşturmak için bilgiler verilecektir.

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi (TLSS) şu bileşenlerden oluşur (Barber 2001):

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

Böyle bir sistemin örneği Şekil 4.1’de verilmiştir.

**Şekil 4.1: MENSİ GS 100 yersel lazer tarama sistemi**



#### **4.2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Çalışma İlkesi**

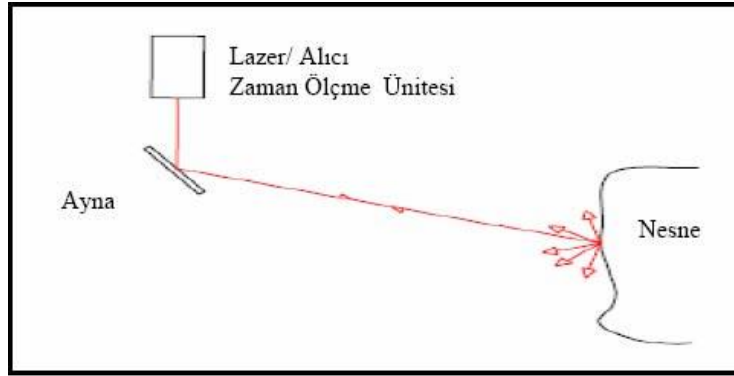
Yersel lazer tarayıcıların çalışma ilkesi şu başlıklar altında incelenebilir.

##### **4.2.1.1 Bir lazer ışının gidiş geliş zamanıyla işlem yapanlar ( uçuş zamanlı )**

Bir lazer ışını nesneye gönderilir. Gönderici ile yüzey arasındaki uzunluk, sinyal iletimi ile alımı arasındaki uçuş zamanıyla ölçülür. Bu prensip, total stationların çalışma prensibinden dolayı da iyi bilinir. Motor bir total station tarama aleti olarak çalışmaya programlanabilir. Ancak aletin kütlesi nedeniyle eksen etrafındaki artan rotasyon basamakları yeterince hızlı değildir. Bununla birlikte sinyal süreci çok vakit alır ve açısal değerler kodlanmış çemberlerden zahmetli bir şekilde okunmaktadır. Bundan dolayı ölçüm oranları çok düşük olmaktadır. Tarayıcılar, lazer ışının açısal sapması için

küçük dönüş aletleri ve uzunluk hesaplaması için basit algoritmalar kullanırlar. Uzunluk ölçümlerinin tipik standart sapmaları, birkaç milimetre olmaktadır. 3B doğruluğu aynı zamanda, ışının açısal noktalama doğruluğundan etkilenir (Boehler 2002).

**Şekil 4.2: Uçuş zamanı prensibi**



#### 4.2.1.2 Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar

Bu yöntem de yine total stationlar da bilindiği gibidir. Uzunluk, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanıcıların bakış açısından bu yöntemin, uçuş zamanı yönteminden farkı yoktur. Daha karışık sinyal analizinden dolayı sonuçlar daha doğru olmaktadır. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için faz karşılaştırma yöntemini kullanan tarayıcılar, kısa uzunluklarda daha etkilidir (Boehler 2002).

#### 4.2.1.3 Triangulasyon metoduyla işlem yapanlar

- i. Tek Kamera Çözümü
- ii. İki Kamera Çözümü ile işlem yapanlar.

#### 4.2.2 Tarayıcıların Genel Özellikleri

Yersel lazer tarama aletlerini karşılaştırırken, araştırmacıların doğruluğu ağır basan faktör olarak görmelerine rağmen, yapılacak işe göre proje sürecinde, doğruluk dışında

tarayıcıları değerlendirme aşamasında başka karakteristik özellikler vardır. Bu özellikler, yapılacak işe ve istenen doğruluğa göre 3B Lazer tarama aletinin uygunluğunu da belirtir. Bu özellikler aşağıdaki gibi açıklanabilir (Boehler 2002)

*Hız:* Yüksek veri edinme yeteneğine sahip lazer tarayıcılarla, zamana bağlı olarak nokta taranabilmektedir. Saniyede 100 nokta düşük bir hız olarak görülür. Pek çok çalışmada, 1000 noktalık oran yeterli görülür. Yüksek nesne çözünürlüğü için ihtiyaç duyulan yüksek nokta yoğunlukları bazen vakit kaybettirici olabilir. Bu durum çalışma zamanını etkilediği için, saniyede on binlerce nokta elde etmek, bazen iyi bir gelişim olarak düşünülemez.

*Çözünürlük ve Işın Boyutu:* Nesne çözünürlüğü, kuramsal olarak açısal artımın bir fonksiyonudur ve lazer ışınının açısal çözünürlüğüne ve yansıyan ışının nesne üzerindeki alanına bağlıdır. Eğer yüksek çözünürlüğün gerekli olduğu durumlarda, lazer ışınının iyi odaklanıp odaklanmadığı ve değişik uzunluklar için sağlanan otomatik odaklanma prosedürü, kontrol edilmelidir.

*Değer Limitleri ve Karışan Radyasyon Etkisi:* Tarayıcıların tanıtım kataloglarında verilen değerlerden her zaman şüphe duyulmalıdır. Olası değerler, materyalin yansıtıcılığına, atmosfere, güneşten gelen ya da yapay nesnelere yayılan ek radyasyona ve nesnenin kendisi ile etrafındaki diğer sebeplere yüksek oranda bağlıdır.

*Görüş Alanı:* Rotasyon için motorlu eksenler olmadan sabitlenen tarayıcılar, kısıtlı bir görüş alanına sahiptir. Tipik olarak, yaklaşık  $40^{\circ} \times 40^{\circ}$  bir alanı tarayabilirler. MENSİ SOISIC gibi tek eksenli tarayıcılar, yaklaşık  $45^{\circ} \times 320^{\circ}$  lik alanı kapsar. İki eksenli aletler ise, yaklaşık  $30^{\circ}$  konik alan dışında her alanı kapsar. Geniş görüş alanlı tarayıcılar ile kapalı mekânlarda kişisel bir güç sarf etmeden büyük miktarlarda veri toplanır.

*Kayıt Araçları:* Farklı tarama istasyonlarından yapılan kısmi taramalar bütünleştirilip genel bir koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Bunun için, tarama yazılımının

rahatlıkla bulabileceği, nesne alanında özel hedeflerin olması gerekir. Bazı üretici firmalar, donanım ve yazılımlarına uygun olacak şekilde özel hedefler geliştirmişlerdir. Bu hedefler, aynı zamanda jeodezik ve fotogrametrik uygulamalar için kullanılabilir olmalıdır.

*Görüntüleme Kameraları:* Pek çok uygulama, nesnenin geometrik bilgilerine ek olarak nesnenin doku bilgisine ihtiyaç duyar. Eğer bu dokular 3B modele eklenmişse, gerçekçi bir görünüş elde edilebilir. Bazı tarayıcılar, dönüş sinyalinin yoğunluk değerlerini kaydederler. Genellikle doku haritalaması için, iyi bir doku bilgisi sağlamak yeterli değildir. Aynı şey, triangulasyon yöntemiyle çalışan tarayıcıların nokta edinimi için optimize edilmiş fakat görüntüleme için olmayan kameralarına da uygulanır. Bazı kullanıcılar, tarama aletinin içinde yüksek kaliteli görüntü sağlamak için yüksek kaliteli kameralar talep ederler. Bu aşamada, tarayıcının ve kameranın rölatif pozisyonu, tarama sonuçları ve görüntülere dayalı olarak ayarlanabilir.

*Taşıma Kolaylığı:* İdeal olarak tarama aleti küçük ve hafif olmalıdır. Pek çok orta ve uzun menzilli tarayıcılar hala göreceli olarak büyük ve ağırdır. Bu yüzden, örnek olarak, uçuşlarda kabin bagajı olarak taşınmaları mümkün değildir. Özellikle, çeşitli engebeli ve dağlık bölgelerde, ulaşımın zor olduğu yerlerde yapılan çalışmalarda, aletin ve diğer donanımlarının taşınması çok zor olmakta ve zaman kaybına sebep olmaktadır.

*Güç Kaynağı:* Akü, taşınabilir jeneratör, elektrik hattı, güç kaynağı olarak kullanılabilir. Aküyle çalışan tarayıcıların kullanımı, bir elektrik hattına ihtiyaç duyan diğerlerine göre daha uygundur. Taşınabilir jeneratörler, bu aşamada yardımcı olabilir fakat dâhili yerlerde ya da mağaralarda çalışırken uzun elektrik kabloları taşımayı gerektirir. Aynı zamanda, jeneratör ve kablolar taşımada ek sorun çıkarabilir.


*Tarama Yazılımı:* Yazılım, tarama pencerelerinin ve çözünürlük değerlerinin basit bir ara birimi olmalıdır. Tarama ilerlemesini ve kalan tarama zamanını elde etmek için bir olasılık vardır. Daha karmaşık özelliklere (otomatik hedef sezilmesi gibi) de ihtiyaç duyulabilir. Eğer geniş nesnelere kaydedildiyse, taramanın tamlığını kontrol etmek için gözlemin farklı noktalarından alınan nokta bulutlarının genel bir kaydının edinilmesi

olasıdır.

Trimble Marka, Mensi GS-100 Yersel Lazer Tarayıcısının genel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1: MENSİ GS 100 Yersel lazer tarayıcısının genel özellikleri**

Mensi GS-100 Yersel Lazer Tarayıcısının Genel Özellikleri	
Alet Tipi	Uzun Menzilli Lazer Tarayıcı Sistemi
Kullanıcı Arayüzü	PC, Windows NT/2000
İdeal Kullanım Menzili	2 – 100 Metre
En Yüksek Tarama Hızı	5000 nokta / sn
Standart Sapma	6mm tek atışta
FOV	360° yatayda, 60° düşeyde
Nokta Büyüklüğü	50 m mesafede 3mm
Radiance Dynamic	8bits – 256 gri seviyesi
Sınıfı	Sınıf II lazer (EN 60825:1994)
Mesafe Ölçüm Yöntemi	Gidiş – geliş süresi
Video Kalibrasyonu	768 x 576 renk çözünürlükteEş zamanlı video iletimi
Kamera Zoom Faktörü	5.5 x'e kadar



#### 4.2.3 Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması

Yersel lazer tarayıcılar, ölçüm kriterlerine ya da teknik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Tüm genel uygulamalarda kullanılacak uluslararası standart kabul edilebilecek bir lazer tarayıcı yoktur. Bazı tarayıcılar mekân içerisinde ve orta mesafelerde 100 metreye kadar, bazıları ise açık alanda 100 metreden daha uzak alanlarda daha etkilidir. Bunun yanında yüksek duyarlılığa sahip, sadece 1–2 metre mesafeli hassas cihazlarda bulunmaktadır. Uygulamaya uygun olarak, seçenekler içinden amaca en uygun lazer tarayıcı seçilmelidir. Yersel lazer tarayıcılar mesafe ölçüm sistemlerinin prensiplerine göre sınıflandırılabilirler. Mesafe ölçüm sistemi, uzaklık ve sistemin verdiği sonuçlar ile bire bir ilişkilidir. Lazer tarayıcılar ile birlikte farklı tiplerde mesafe ölçümü yapan aletlerde kullanılır (Fröhlich & Mettenleiter, 2004).

Daha hassas sonuçlar elde etmek için, birkaç metre mesafeli yakın mesafe lazer tarayıcıları kullanılmaktadır. Bunlar daha çok endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kullanılırlar. Kullanılan mesafe ölçüm sistemi optik triangulasyondur. Böylece doğruluk ve hassaslığı mikrometreler seviyesine düşürmek olasıdır. Piyasada yaygın olarak bulunan, çeşitli marka, çeşitli menzil ve doğruluğa sahip yersel lazer tarayıcılar vardır (Fröhlich & Mettenleiter 2004):

**Şekil 4.3: Çeşitli üretici firmalara ait yersel lazer tarayıcılar**



A ) Riegl LMS-Z210i B ) Optech -ILRIS 3D C ) Trimble-(Mensi) GS200 D) IQSun 880



E ) Minolta-VIVID 910 F ) Callidus -CP 3200 G) Leica -HDS 4500 H ) Zoller  
+ Fröhlich -IMAGER

Yukarıda verilen çeşitli marka yersel lazer tarayıcıların ölçme yöntemleri, maksimum uzunlukları, elde edilen doğrulukları Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2: Yersel tarama aletlerinin uzunluk ve doğruluk değerleri**

ÖLÇME YÖNTEMİ	UZUNLUK [m]	DOĞRULUK [mm]	ÜRETİCİ FİRMA
Uçuş Zamanlı	< 100	< 10	Callidus, Leica Mensi, Optech Riegl
	< 1000	< 20	Optech, Riegl
Faz Karşılaştırma	< 100	< 10	IQSun, Leica Vis Image, Zoller + Fröhlich
Triangulasyon	< 5	< 1	Mensi, Minolta

#### 4.2.4 Yersel Lazer Tarayıcı Bileşenleri

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi (TLSS)'nin öz bileşeni tarama ünitesidir ve direkt olarak taranan obje veya nesne yüzeyinden, 3 boyutlu (3B) veri elde edilmesini sağlamaktadır. Bir lazer tarayıcının tarama ünitesi şu bileşenlerden oluşur:

- i. Lazer telemetresi (Lazer uzaklık ölçer)
- ii. Lazer ışın saptırma ünitesi (Optik mekanik tarayıcı)

#### 4.3 YERSEL LAZER TARAMADA ÖLÇME PROSEDÜRLERİ

Bir yersel lazer tarayıcının kurulumuyla elde edilen bir obje veya alanın taranması, bir önceki bölümde açıklanan prensiplere göre gerçekleştirilmektedir. Ölçme prosedürünün temel basamakları şu şekilde açıklanmıştır (Reshetyuk 2006):



### 4.3.1 Ölçme Planlaması

Yersel lazer tarama işlemlerinde ölçüm tasarımı, bu zamana kadar hiçbir standart kural belirlenmemiştir. Yine de herhangi bir çeşit ölçme sistemlerinde olduğu gibi, bir ön planlama gerektiğinden, gerekli bilgilerin türetilmesi gerekir. TLS ölçüm tasarımı ana hatlarıyla şöyledir (Guissani & Scaioni 2004):

- 1) Taranacak alanın önceden belirlenmesi
- 2) Tarama sonucu elde edilen nokta bulutunun beklenen çözünürlük ve doğruluğunun tanımı
- 3) Kullanılacak tarayıcının seçimi
- 4) Tarama merkezleri için en uygun mekân, gerekli çözünürlüğü ve doğruluğu sağlayacak yerlerden seçilmesi
- 5) Farklı tarama merkezlerinden elde edilmiş nokta bulutlarının birleştirilmesi, jeoreferans konumları ve geometrik konfigürasyonları için, hedeflerin türlerinin seçimi ve hedeflerin yerlerinin önceden belirlenmesi
- 6) Tarama sürecinde geçen zaman dikkate alınarak toplanacak toplam veri için, işin tamamında geçecek zaman tahmin edilmesi

### 4.3.2 Tarama

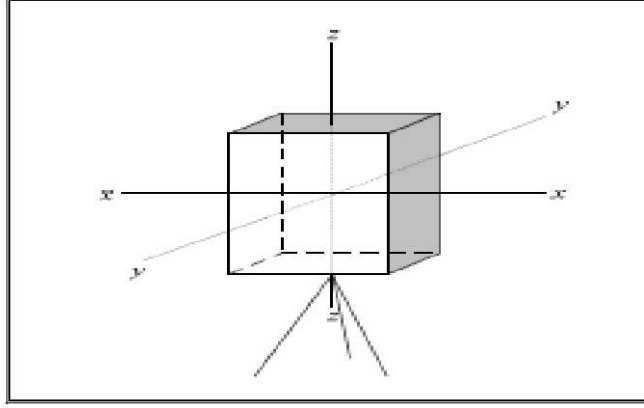
Tarama başlamadan önce taramayı yapacak olan operatör, daha önceden ölçme planlanması yapılmış, yeri belirlenmiş, dolaylı ve doğrudan konumlandırma (jeoreferanslandırma) için uygun olan noktalara tarayıcıyı kurar. Operatör, tarayıcı ve kontrol ünitesinin (dizüstü veya cep bilgisayarı) çalışmasını sağlayan güç kaynağını bağlar. Kontrol ünitesi ile tarayıcı arasında bağlantı, wireless, modem veya kablolar aracılığı ile sağlanır. Daha sonra, bilgisayara daha önceden kurulmuş olan tarama yazılımı çalıştırılır. Piyasada, firmadan firmaya değişen tarama yazılımları vardır. Firmaların birçoğu, farklı özelliklere sahip, tarama ve elde edilen verinin

değerlendirilmesi üzerine yazılımlar geliştirmişlerdir. Tarayıcı ile yazılım arasında bağlantı kurulduktan sonra, taranacak obje ya da alanın bir kısmı veya tamamı, tarayıcının görüş alanına göre, tarama yazılım penceresinden seçilir. Taramaya başlamadan önce, yazılım üzerinden istenen hassasiyete göre tarama parametreleri seçilir. Örneğin nokta yoğunluğu (örnekleme çözünürlüğü), doğruluk modu, tarama sayısı, ilk veya son atım ölçümleri, objeye veya nesneye olan maksimum ve minimum uzaklık, tarama yazılımına, taramaya başlamadan önce girilecek olan parametrelerdir (Lichti 2002). Tarama başladıktan sonra tarama yazılımı penceresinde, nesne yüzeyini yansıtan noktalar yani taranan kısımlar, eşzamanlı olarak takip edilmektedir. Tarama tamamlandığında, elde edilen veri belirlenmiş proje dosyasına kaydedilir. Belli tarama işlemleri, bir tarayıcı tipinden diğerine değişir.

#### **4.3.3 Çoklu Taramaların Birleştirilmesi ve Konumlandırma (Jeoreferanslandırma)**

Bir lazer tarayıcısıyla taranması düşünülen objeler veya alanlar genellikle geniş, büyük ve karışık şekilde olabilirler. Sadece bir kez tarama yapılarak obje veya alanının tamamı taranamaz. Sadece tarayıcının görüş alanına giren bir kısmı taranabilir. Diğer kısımları taranması ise, tarayıcıların obje veya alanın diğer bölümünü görebilecek bir yere kurulması ve ayrıca ilk tarama alanının bir kısmını da içine alacak bir noktaya kurulması gerekir. Ayrıca her iki tarama bölgesinde, hem farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesi, hem de taramalar sonucunda elde edilen nokta bulutlarının genel (ülke) bir koordinat sistemine dönüştürülmesi için, en az 3 tane olacak şekilde kesişen tarama bölgelerine hedef noktaları konulur. Her tarama bölgesinde, bu hedef noktalarının taranması gerekir. Ayrıca her tarayıcının kendine ait bir koordinat sistemi vardır. Taramalar sonucu elde edilen nokta bulutları, bu koordinat sisteminde üretilmektedir. Tarayıcıların koordinat sistemi bileşenleri (Balis 2004):

**Şekil 4.4: Yersel lazer tarayıcının koordinat sistemi**



Orijin – Tarayıcının elektro optik merkezinde;

Z eksenini – Aletin düşey eksenini boyunca;

Y eksenini – İsteğe bağlı yatay açı ile aletin optik eksenini boyunca;

X eksenini – Diğer iki eksene dik açıyla, böylece tarayıcının koordinat sistemi şekillenir.

Farklı firmalarca üretilen lazer tarayıcılardaki, tarayıcı tasarımındaki farklılıklar yüzünden, bazı lazer tarayıcıların yukarıda belirtilen tarayıcı koordinat sistemi tanımından, küçük farklılıkları olabilir. Örneğin, Callidus 1,1 tarayıcısının koordinat başlangıcı, yatay ve düşey yön eksenlerinin kesişme noktasıdır (Kern 2001). Leica HDS 2500 tarayıcısında ise, yön eksenlerinin sıfır noktasıdır ve tarayıcı mekanik eksenleri ile kesişmezler (Harvey 2004).

Taranmış obje veya alanın tam sunumunu elde etmek için, nokta bulutları, ilk önce ortak bir koordinat sistemine yani tarayıcının kendi koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Bu işleme, ayarlama (registration) denir. Ayarlanan taramalar veri setinde birleştirilir. TLS verisini, diğer jeomekansal veriyle birleştirebilmek için, tüm objenin ayarlanmış nokta bulutunun, seçilmiş dış jeodezik yerel veya ulusal koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bu işlemede, konumlandırma (jeoreferanslama) denir.

Jeoreferanslandırmada kullanılan yerel koordinat sistemi, ölçüm kontrol yoğunluğu ihtiyacını gidermek için, tarama projesinin amacına göre belirli bir biçimde

kurulmalıdır. Alternatif olarak ulusal koordinat sistemi kullanılabilir. Bu dönüşümün yapılabilmesi için tarama bölgesine jeodezik bir ağ kurulması ve bu ağdan, taramada kullanılan hedeflerin ya da kontrol noktalarının ülke koordinatlarının elde edilmesi gerekir. Bu hedefler yardımıyla taranmış alan ya da objenin koordinatları, ulusal koordinat sistemine dönüştürülür

Genel olarak bir projede veri elde etmek istendiğinde, jeoreferanslamanın ilk basamağı olarak ayarlamayı düşünebiliriz. Jeoreferanslama ise, veri işlenmesinin ilk basamağı olarak sayılabilir (Barber 2001). Tarayıcı tasarımına bağlı olarak jeoreferanslandırma, iki farklı prosedürde açıklanabilir (Gordon & Lichti 2004).

#### **4.3.3.1 Doğrudan konumlandırma**

Bu prosedürde, tarayıcı bilinen nokta üzerine kurulur, yerleştirilir, düzeçlenir ve tarama yapılacak obje veya alan gibi nesne yüzeyi hedeflerine yöneltilir. Konum ve yönelme bilgisi, tarayıcının yerden yüksekliği, taramaya başlamadan önce tarayıcı yazılımına girebilir. Tarayıcılar bu nedenle bir düzeçle donatılır. Taranacak nesnelerin gözlenmesi için, bir kamera veya dürbün, optik merkezleme veya tarayıcı yüksekliği için, donanımlar vardır.

Optik merkezleme düzeçleriyle donatılan bazı lazer tarayıcılar, eksen denkleştirici eksikliği nedeniyle, tam olarak düzeçlenemezler (Scaioni 2005). Tarayıcının pozisyonu yani konumu, bir total stationla veya bir GPS alıcısıyla belirlenebilir. Örneğin, Callidus 1,1 tarayıcısına, tarayıcının üstüne ölçme reflektörünün veya GPS alıcısının konabileceği bir adaptör yerleştirilmiştir. Tarayıcının üstüne, GPS alıcısı yerleştirilmesi, Riegl marka tarayıcılarında da görülmektedir. Tarayıcı merkezinin, ulusal koordinat sistemindeki koordinatları, GPS veya Total stationla belirlendikten sonra, bu koordinatlar tarayıcı yazılımına girilir. Bu koordinatlar kullanılarak farklı çözünürlükte, tarama işlemleri gerçekleştirilir. Taranmış obje veya alan yüzeyinden elde edilen nokta bulutunu oluşturan noktalardan her birinin koordinatları, ulusal koordinat sisteminde hesaplanır. Bu şekilde taranmış obje veya alan, gerçek 3 boyutlu (3B) mekânsal bilgilerle ilişkilendirilir (Gordon 2004; Reshetyuk 2006).

#### 4.3.3.2 Dolaylı konumlandırma

Dolaylı jeoreferanslandırma da, yani taranacak obje veya alanın gerçek modele yakın tam gösteriminin gerçek mekânsal koordinatlarla gösteriminde veya elde edilen nokta bulutlarının istenilen koordinat sistemine dönüştürülmesinde farklı yöntemler kullanılır (Reshesyuk 2006):

- i. Her bir tarama bölgesinde elde edilen nokta bulutları, bir sonraki tarama bölgesinin bir kısmını kapsayacak şekilde elde edilmelidir. Yani tarama yapılırken bitişik tarama bölgelerinde, farklı konumlardan yapılan taramaların birleştirilmesi ve jeoreferanslandırma için ortak ve kesişen bir bölgelerin olduğu taramaların yapılması gerekir. Bu ortak bölgelerde bulunan, kolayca fark edilen en az 3 adet bağlantı noktası veya özel hedefler kullanılarak ilk olarak, farklı noktalardan elde edilen nokta bulutları bütünleştirilir yani ayarlanır. Daha sonra bütünleştirilmiş, ayarlanmış nokta bulut kümesi, ulusal koordinatları daha önceden belirlenen ve kolayca fark edilen en az 3 bağlantı noktası veya özel hedefler yardımıyla, ulusal koordinat sistemine dönüştürülürler.
- ii. Her bir tarama sonucu elde edilen nokta bulutları, her tarama bölgesinde bulunan en az 3 tane kontrol noktası yardımıyla ve bu noktaların koordinatlarını kullanarak farklı bir koordinat sistemine veya ulusal koordinat sistemine direkt olarak dönüştürülebilirler. Her tarama için, en az 3 kontrol noktası gereklidir. Bitişik taramalar arasında kesişen, ortak tarama bölgesi olması bu işlem adımlarında gerekli değildir. Yine de bir önceki konudan daha fazla kontrol noktası gerektiği için ekstra ölçüm gerekir ve sonuç olarak bu proje giderine eklenir.
- iii. Bitişik taramaların yüzey eşleştirmesi, birçok kontrol noktasındaki ayarlanmış, bütünleştirilmiş nokta bulutunun sonradan ortaya çıkan jeoreferanslandırılması ile olur. Bu yaklaşım, fotogrametride kullanılan yöntemle benzerdir.

### 4.3.3 Hedefler

Hedef çeşitleri;

- i. Düz Geri Yansıtıcı Hedefler
- ii. 3 Boyutlu (3B) Biçimi Olan Küre Gibi vb. Hedefler
- iii. Diğer Hedefler olarak sınıflandırılır.

## 4.4 3B VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN KULLANILAN YAZILIMLAR

3 Boyutlu modelleme, tarama sonucu toplanan nokta bulutlarının değerlendirilmesi ve düzenli hale getirilmesi için yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüzde, lazer tarayıcı üretici firma ve onlara bağlı kuruluşların geliştirdiği birçok yazılım vardır. Ayrıca piyasada yaygın olarak bulunan CAD ve 3B modelleme yazılım paketleri de bulunmaktadır. Fakat bu yazılımlar, tarama sonucu elde edilen çok miktarlardaki verinin işlenmesinde zorlanmaktadır. Tarayıcı firmalarının geliştirdiği yazılımlar ise performans, içerdikleri modül, işlem adımları ve kullanım kolaylığı açısından farklılıklar göstermektedir. Her yazılımın kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Kullanıcılar tarama sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve modellenmesi sırasında, farklı yazılımlar arasında geçiş yapmaktadır. Yersel lazer tarama teknolojisindeki tarama yazılımları, veri toplanmasından son ürüne kadar olan tüm işlem adımları göz önüne alınarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Boehler 2002):

- i. Tarama kontrolü için yazılım
- ii. Nokta bulutunun düzenlenmesi için yazılım
- iii. Basit geometrik şekilleri, nokta bulutuna sabitlemek için yazılım
- iv. Karmaşık yüzey modellerinin yaratılması için yazılım
- v. Doku ve görüntü eklemek için yazılım
- vi. Veri ve proje yönetimi için yazılım

#### **4.4.1 Tarama Kontrolü İçin Yazılım**

Motorize ekseni olmayan bir tarayıcıdaki tarama kontrolü, ön ayar çözünürlüğünde sabitlenmiş bir pencere kullanılarak sağlanmaktadır. Bu durumda tek kontrol elemanı, bir başlangıç düğmesi olabilir. Tarama yazılımının tek amacı ise, 3B koordinatlarının hesaplanması olacaktır. Motorize eksenli tarayıcıların için kontrolü ise, olası çözünürlük uzunluğunu seçmek ve bir ya da daha fazla tarama penceresini tespit etmek ile sağlanmaktadır. Tarama kontrolü ve tarama parametrelerinin belirlenmesi için olası gelişmeler içinde şunlar vardır:

- i. Tarama parametrelerinin farklı olasılıklarının seçimi
- ii. Karmaşık, uzun ve eğimli nesnelere için hareketli pencereler (borular)
- iii. Hedef noktaları için tarama çözünürlüğünün otomatik ya da yarı otomatik ayarı
- iv. Tarayıcıdan farklı uzaklıktaki nesne detaylarına ulaşmak için, tarama çözünürlüğünün otomatik ayarlanması.

Tarama işlemleri boyunca veya taramanın tamamlanması sırasında, elde edilen veri hakkında güvenilir bir bilgiye sahip olmak istenilir. Tarama işlemleri sonucu elde edilen nokta bulutlarının kayıt edilmesi, gerekli bilgilere ulaşılması ve taranan obje veya nesne yüzeylerini yüzey ağı şeklinde gösterecek pek çok yazılım modülü geliştirilmiştir.(Boehler 2002).

#### **4.4.2 Nokta Bulutunun Düzenlenmesi İçin Yazılım**

Elde edilen nokta bulutunun nesne veya obje yüzeyini yansıtıp yansıtmadığının belirlenmesi, eksik tarama bölgelerinin tespiti ve detayları görmek için yazılımlar kullanılmaktadır. Yazılımlar ile istenilen her türlü yönde 3 boyutlu görselleştirme (büyültme, küçültme, kaydırma ve döndürme gibi vb.) işlemleri yapılabilmektedir. Bu şekilde, nokta bulutlarına farklı noktalardan bakış sağlanmaktadır. Taramalar sonucu elde edilen nokta bulutları, nesne veya obje yüzeyini oluşturan gerekli ve gereksiz pek çok noktadan oluşmaktadır. Nesne yüzeyini temsil etmeyen olası nokta kayıtları için,

pek çok sebep vardır:

- i. Arka plandaki nesnelere yansımalar
- ii. Tarayıcı ve nesne arasındaki boşlukta meydana gelen yansımalar (ağaçlar ve diğer nesnelere, hareket eden insanlar ya da trafik, atmosferel etkiler)
- iii. Kenarlardaki lazer noktasının sadece kısmi yansımaları
- iv. Işığın çoklu yansımaları
- v. Yüzey elementlerinin farklı yansımalarından kaynaklanan sistematik uzunluk hatalarının farklılıkları
- vi. Hatalı noktalar, çok parlak nesnelere kaynaklanır (ışıklar).

Bu yanlış noktaların kayda alınmadan belirlenmesi ve silinmesi gerekir. Çünkü kullanılan hiçbir otomatik yöntem tüm olasılıkları önceden göremediği için, bu işlemler enteraktif olarak yapılmaktadır. Ön plandaki, arka plandaki ve çoklu yansımalarından elde edilen yanlış noktalar, menzile limitlerinin tanıtımıyla kolayca yok edilebilir. Fark edilmesi daha zor olan ise, kenarlardaki yanlış noktalar. Ayrıca, yüzey materyalinin yansıtılabilirliğine bağlı menzile sapmaları yüzünden düzensiz noktalar elde edilmektedir. Bu silme işlemlerine rağmen, hala mevcut nokta bulutu içerisinde, nesne yüzeyini yaratmayan gereksiz noktalar vardır. Eğer taranan obje karışık bir yapıya sahip değilse, geometrik basit şekillerden oluşuyor ve yüzeyi pürüzsüz ise, filtreleme veya nokta inceltme işlemleri yapılmaktadır. Filtreleme ve nokta inceltme işlemlerinde amaç, fazla veri boyutunu azaltmak ve daha az nokta ile yüzeyi temsil etmek için nokta sayısının azaltılmasıdır. Bu yukarıda belirtilen işlemler, farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesinden sonrada yapılmalıdır. Hala bütünleştirilmiş nokta bulutu içerisinde gereksiz olan noktalar olabilir. Bu gereksiz noktaların belirlenmesi ve silinmesi gerekir. Aynı şekilde filtreleme ve nokta inceltme işlemleri yapılmaktadır. Yazılımlar içerisinde geliştirilen modüller sayesinde bu belirtilen işlem adımları, kullanıcının isteğine bağlı olarak gerçekleştirilmekte ve düzenli nokta bulutları istenilen formatta kayıt edilmektedir (Boehler 2002).

#### **4.4.3 Basit Geometrik Şekilleri Nokta Bulutuna Sabitlemek İçin Yazılım**

3B tarayıcıları için sağlanan yazılım çözümleri, performansa göre farklılık gösterebilir.



Bu geometrik şekillerin, önceden bilinen bir kütüphanesi veya şablonu varsa, otomatik sabitleme metotları kullanılabilir. Eğer çizimi yapılacak nesne veya obje büyük ve karmaşık bir yapıda ise, yazılımla birlikte her şeklin ayrı ayrı bağlantısı sağlanır ve çizimi gerçekleştirilir. Kültürel miras belgelemesinde, nesnelerin sunumu için oluşturulan basit geometrik şekiller yeterli değildir (Boehler, 2002).

#### **4.4.4 Karmaşık Yüzey Modellerinin Yaratılması için Yazılım**

Yüzey ağı oluşturmada üçgenler yerine eğrilerden (NURBS) yararlanır. Bu, veri depolama alanını büyük ölçüde azaltır. Aynı zamanda, yüzeyin pürüzsüz olduğunun bilindiği durumlarda NURBS modellemesinin kullanılması, taramadan kaynaklanan gürültüleri ortadan kaldırır (Boehler 2002).

#### **4.4.5 Doku ve Görüntü Eklemek İçin Yazılım**

Yüzeylerin görselleştirilmesini mümkün kılan tek şey, dokudur. Nokta butlundan elde edilen obje yüzeyine, doku giydirilerek gerçekçi bir görünüm sağlanmaktadır. Örneğin beyaz renkteki doku, nesne veya objeye mermersi bir görünüm verir. Aynı zamanda, materyallerin yansıtma varlıkları tanımlanmalıdır. Bu, daha pütürlü ve daha parlak yüzey görünümüne sebep olur. Daha karmaşık dokular ve daha karmaşık aydınlatma prosedürleri, tarama yazılımıyla elde edilebilir.

Görüntü bilgisi, tarama işlemiyle elde edilebilir. Uçuş zamanlı lazer tarayıcılarda, dönüş sinyalinin kuvvetinin özniteliği ile görüntü sağlanabilir. Bu değer normalleştirilirse, nesnenin gri tonlu görünümünün yaratılmasında kullanılabilir. Triangulasyon tarayıcılarının kameraları ile benzer bilgi sağlanır ve tüm görüş alanının görüntüsü kaydedilebilir. Pek çok durumda, bu basit araçlar belgeleme görevi için beklenen yüksek kaliteyi sağlayamaz.

Yüksek görünüm kalitesi için özellikle de renkli görüntüler için, görüntü bilgisini üretmek amacıyla farklı kameralar kullanılmaktadır. Görüntüler, nesneye göre tekrar

tasarlanmalıdır. Özdeş noktalar kullanılarak nesne üzerine görüntü yerleştirme işlemi, fotogrametrik teknikler kullanılarak, daha çabuk ve aynı zamanda daha iyi bir geometrik kaliteyle gerçekleştirilebilir. Topografik uygulamalarda bu işlem adımları, 3B nesnelere için daha karmaşıktır. Hangi uygun görüntü bilgilerinin alınması gerektiğine karar vermek için, en küçük yüzey biriminin dahi görüntüsü gerekmektedir (Visnovcova, 2001). Parlaklık, kontrast ve renk balansı göz önüne alınarak, radyometrik düzeltmelerin uygulanması oldukça zor olabilir. Çünkü görüntü alımı esnasında aydınlatma koşulları, nesnenin her yüzey elementinde aynı olmadığı için ön görülen koşullarla uyumlayacaktır. Görüntü ekleme işi oldukça zahmetli bir iştir. Yazılımların çözemediği ve kullanıcıların çözüm bulunmasını bekledikleri bu konu ile ilgili, pek çok sorun vardır (Boehler 2002).

#### **4.4.6 Veri ve Proje Yönetimi İçin Yazılım**

Birçok işlem basamağı ve son bir 3B sunumuna ulaşmak için elde edilen görüntüler ya da ulaşılan araştırma sonuçları gibi ek veriler, bu aşamada gerekli olabilir. Bu işlem basamakları boyunca mevcut veriler değişmiş, ayarlanmış ya da silinmiştir. Proje boyunca uygulanan tüm hareketler belgeleme yöntemiyle kayıt altına alınmalıdır. Bu süreçler ve işlem adımların yapıldığı her yerde, standart sapma veya vb. istatistiksel değerler sağlanmalıdır. Orijinal nokta bulutu ve son model arasındaki farkları belirlemek için kullanılan yazılımlar, son bir kalite değerlendirmesi açısından önem taşımaktadır.

Her yazılımın farklı tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu kümelerini açabilme kabiliyeti olmalıdır. Bu bağımsız yazılım ürünleri için açık bir koşuldur. Üretici firmaların geliştirdiği yazılımlar için de, aynı şeyler söz konusudur. Özellikle de farklı tarayıcılardan alınan veriler birleştirilmek istendiğinde taranan noktaların Kartezyen koordinatları, bir veri birimi olarak yeterli değildir. Çünkü mesafe ve taranan noktanın yönü hakkında bilgi içermez. Daha ileri işlemler için, CAD ve 3B modelleme yazılımlarına sonuçların aktarılması gerektiğinden dolayı, yaygın olan pek çok sistem için aktarım araçlarının olması gereklidir. Yazılımlar arası veri alışverişlerinde, özellikle CAD modelleri için DXF, yüzey modelleme yazılımları için ASCII ve görselleştirme

için VRML formatı kullanılmaktadır (Boehler 2002).

#### **4.4.7 Yazılım Ürünleri**

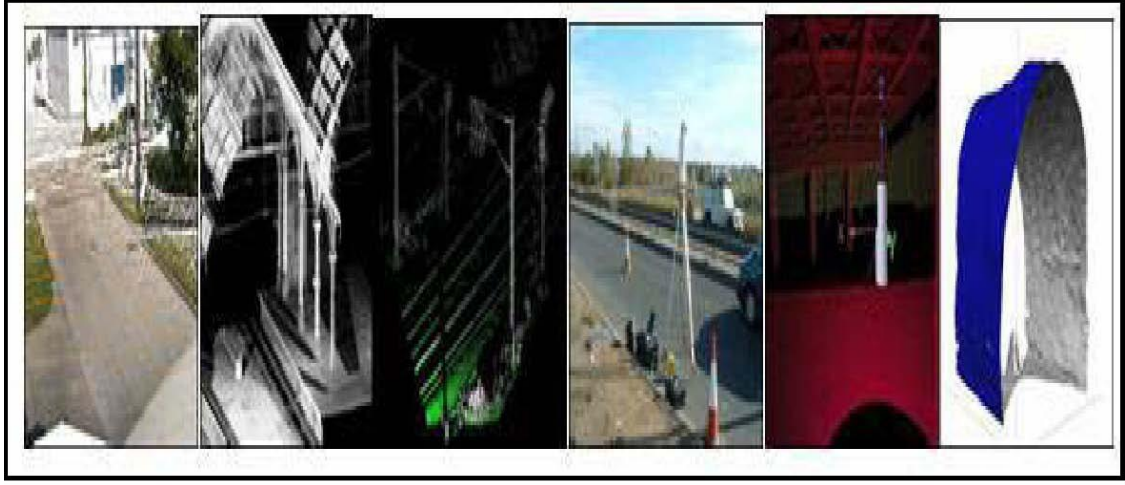
Yukarıda bahsedildiği gibi 3B tarama yazılımı, tam olarak farklı amaçlar için geliştirilen modüllerin bütünleşik çalışarak oluşturdukları modüller topluluğudur. Yazılımların bazıları, belirli bir tarayıcıya özgüdür. Bazıları genel olarak 3B verilerin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi için, bazıları da 3B Modelleme çalışmaları için üretilmiştir. Her yazılımın kendine göre farklı özellikleri, avantaj ve dezavantajları vardır. Lazer Tarama Teknolojisinin gelişmesi ve modern ölçme teknikleri arasında yer almaya başlamasından itibaren, sırf 3B tarayıcıları için bazı bağımsız yazılım ürünleri geliştirilmiştir. Mevcut CAD ve 3B modelleme yazılımları, ürün aktarım performanslarını ve yüksek boyutlardaki nokta verileri ile çalışabilme özelliklerini geliştirdikleri takdirde, lazer tarama teknolojisinde kullanılabilir.

### **4.5 YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM ALANLARI**

#### **4.5.1 Ulaşım ve Altyapı Uygulamaları**

Ulaşım ve altyapı sektöründe yersel lazer tarayıcıların kullanılması ve ölçme verilerinin toplanması, sağlık, güvenlik ve zaman kısıtlamaları konuları ile ilgilidir. Ulaşım ağında yaygın olarak karşılaşılan sorunları çözmek için ihtiyaç duyulmaktadır. Yersel haritalama ve onun uygulamalarında, ilgili veriler direkt olarak toplanamamakta ve çalışmalar uzun zaman gerektirmektedir. Lazer tarama sistemleri demiryolu ve karayolu yapılarının nitelikli yönetiminde ve ölçme işlemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Lazer tarama da kullanılan aletler, hava lazer ölçmeleri ile birleştirilerek taranacak bölgenin tüm detayları elde edilmektedir. Kullanılan özel yazılımlar, taramalar sonucu elde edilen çeşitli verilerin çeşitli şekilde gösterimi, görselleştirme, modelleme, nokta bulutu verisinden direkt ölçme işlemi ya da kesit çıkarılmasına izin verir ([www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com),2011).

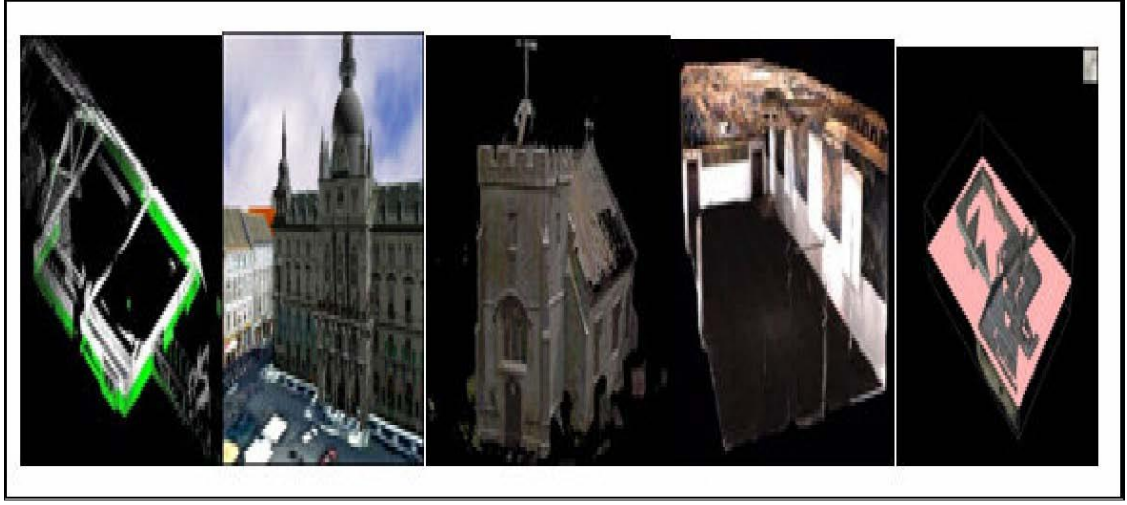
**Şekil 4.5: Ulaşım ve altyapı uygulama örnekleri**



#### **4.5.2 Mimari ve Bina Ölçme Uygulamaları**

Mimarlar tarafından, lazer taramalar sonucu elde edilen 3 boyutlu veriler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcılar geniş görüş alanı, yüksek doğruluklu lazer verisi ile yüksek çözünürlüklü sayısal renkli fotoğrafların birleştirilmesi imkânının olması sayesinde mimari ve bina ölçme uygulamaları için ideal yöntemlerden biridir. Elde edilen veri, gerçeğe yakın, 3 boyutlu bir veridir. Lazer verilerin nokta bulutlarından CAD ortamına transferi, sanal modeller, düzeltilmiş ortofotolar, yakın geçmişe göre, hızlı gelişme göstermektedir. Taramalar sonucu elde edilen gerçeğe yakın 3 boyutlu veri ve geliştirilen yazılımların kullanıcılara sunduğu çeşitli çözümler, mimari uygulamalar için yeni verilerin üretilmesi imkânını sağlar. Devamlı gelişen yazılımlar, taranan obje veya alanın, yatay ve düşey kesit bilgileri, alan ve hacim hesapları, konum bilgileri (x,y,z) sorgulama vb. gibi bilgiye ulaşmamıza imkân verir. Bu bilgilerden yararlanılarak, mevcut durumun çıkartılması, projeye uygunluğunun kontrol edilmesi gibi pek çok olanak sağlar ([www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com),2011).

**Şekil 4.6: Mimari ve bina ölçme uygulama örnekleri**



#### **4.5.3 Kıyı Uygulamaları**

Son birkaç yıldır kıyı bölgelerin izlenmesi, yeni bir ölçme teknolojisi olan, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Bu teknolojiye kullanılan yersel lazer tarayıcılar, çeşitli özelliklere sahiptir. Doğruluk ve duyarlılığı tarayıcıdan tarayıcıya değişmektedir. Elde edilen tarama verilerin doğruluğu ve yapılan işler için, kullanılan tarayıcıların özellikleri önemlidir. Kıyı uygulamalarında özellikle, erozyon, sahil yüzeyi izlenmesi, sel tahminleri, detaylı sel bölgesi haritalama, geo-teknik çalışmalar, erişilemeyen bölgelerin ölçme işlemleri, yüksek riskli heyelan bölgelerinde sürekli şev izlenmesi, kıyı planlanması, 3 boyutlu görselleştirme, kazı ve dolgu uygulamalarında hacim hesaplamaları gibi birçok alanda yersel lazer tarama teknolojisinden yararlanılmaktadır. Bu uygulamalarda, elde edilen verinin kontrolü, yerel ve ulusal koordinat sistemine göre olmaktadır. Ayrıca, bu teknolojiden elde edilen veriler, GPS ve diğer ölçme yöntemlerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak, verilerin doğruluk ve duyarlılığı hakkında fikir edinmemizi de sağlamaktadır ([www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com),2011).

**Şekil 4.7: Kıyı uygulama örnekleri**



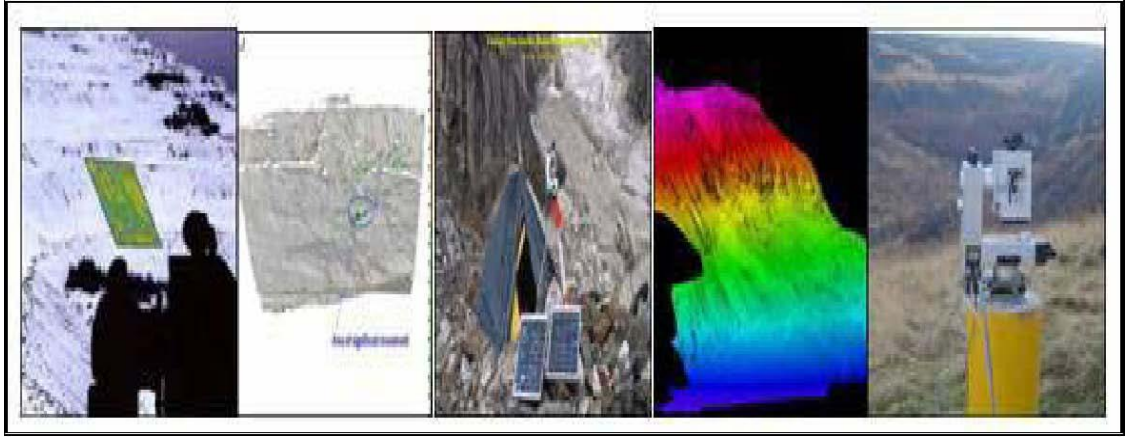
#### **4.5.4 Afet İzleme Uygulamaları**

Lazer tarama sonucu elde edilen verilerin hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesi, kullanılan tarayıcıların diğer ölçme aletlerine göre teknik açıdan üstün özelliklerinin olması, kullanılan yazılımlardan elde edilen veri çözümlerinin doğruluğu ve kullanılabilirliği, bu teknolojinin jeolojik, coğrafi vb. özellikler açısından afet izleme uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermektedir. Tarama sonucu elde edilen verilerin yazılımlarla işlenmesi ve yapılan analizler neticesinde tehlike yaratabilecek doğal afet, çığ, toprak kayması, taşocağı ve maden işletmelerinde karşılaşılabilecek problemler çözülebilmektedir. En önemli özelliği gerçeğe yakın 3 boyutlu verinin, hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesidir. Ayrıca olay anı ve sonrasındaki mevcut durumun değerlendirilmesi, karşılaştırılması, gereken en doğru bilgiye ulaşılması, lazer tarama teknolojisi ile kısa zamanda olabilmektedir. Dünyada lazer tarayıcı ile yapılmış pek çok örnek teşkil edecek uygulama vardır. Bunlardan bazıları aşağıda yer almaktadır:

- i. Nchanga Madeni, Zambia (Ekim 2000)
- ii. Livox Taşocağı, UK (Kaya Düşme Analizi-Haziran 2001)
- iii. Pen Yrorsedd Taşocağı, UK ( Geoteknik Analiz – Ekim 2001)
- iv. Dünya Kayak Şampiyonası (Çığ Tahmini ve Kar Yüksekliğinin izlenmesi-2001)
- v. Blaencwm Toprak Kayması, UK ( Toprak Hareketlerinin İzlenmesi-Şubat 2003)

Sürekli tehlike yaratan alan veya bölgelerin kontrolü ve güvenliği, otomatik olarak gözlem yapan yersel lazer tarayıcılar ile sağlanabilmektedir. Bu bölgelere, konumu bilinen yansıtıcı hedefler konularak, devamlı bu hedef noktaları tarayıcılar ile taranarak, bölgede herhangi bir deformasyonun olup olmadığı, geliştirilen yazılımlar ile belirlenebilmektedir.

**Şekil 4.8: Afet uygulama örnekleri**



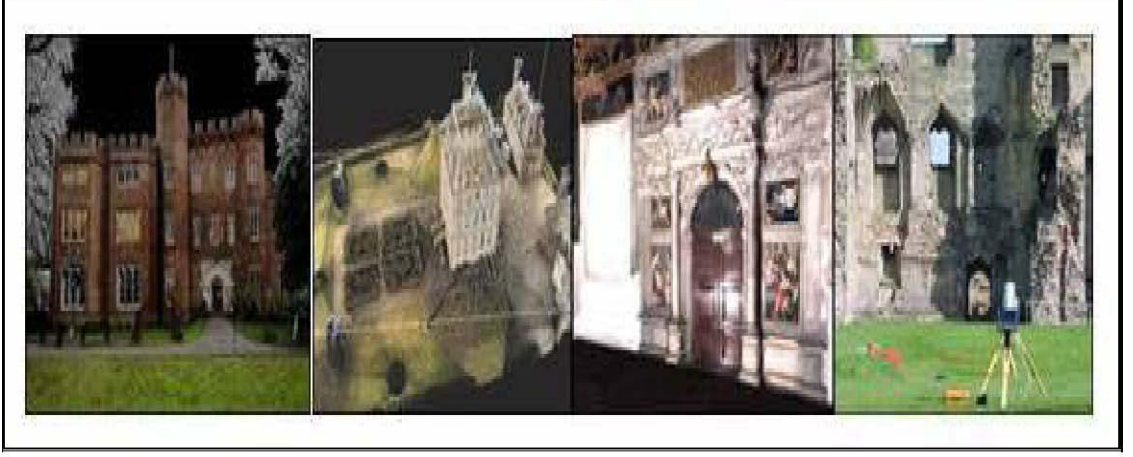
#### **4.5.5 Kültürel Mirasın Korunması ve Arkeolojik Uygulamaları**

Lazer tarama, tarihi ve kültürel mirasın korunması, gerçeğe uygun yaşatılması, 3 boyutlu modelleme çalışmalarında, dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisinin kullanım amacı tarihi ve kültürel bilgilerin arşivlenmesi, 3 boyutlu gösteriminin sağlanması, yıllara göre deformasyonlarının belirlenmesi, elde edilen verilerden yeni bilgilere ulaşılması, tahrip olan ya da yıkılan eserlerin aslına uygun olarak tekrar yapılmasıdır. Özellikle, restorasyon ve rölöve çalışmalarında en çok kullanılan modern ölçme aletleridir. Diğer klasik ölçme aletleri ile kıyaslandığında, gerek hızlı veri elde edilmesi, gerekse maliyet açısından büyük avantajları vardır. Dünyada yersel lazer tarama teknolojisi ile yapılan birçok çalışma vardır. Gelişen teknolojinin paralelinde geliştirilen tarayıcı ve yazılımlar bize başka çözüm yolları sunmaktadır. Elde edilen verilerden görselleştirme, yapıların sayısal ortamda bir arşivinin oluşturulması, binalar ve bina elemanlarının tarihi ve kültürel ilişkilerinin gösterimi, bilgilerin gelecek kuşaklara iletilmesi, bilgi sistemlerinin oluşturulması,



rölöve ve restorasyon çalışmalarına altlık hazırlanması, tahrip durumda olan binaların aslına uygun yapılması gibi çalışmalar, lazer tarayıcılarla yapılan uygulama alanları arasındadır ([www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com),2011).

**Şekil 4.9: Kültürel mirasın korunması ve arkeolojik uygulama örnekleri**

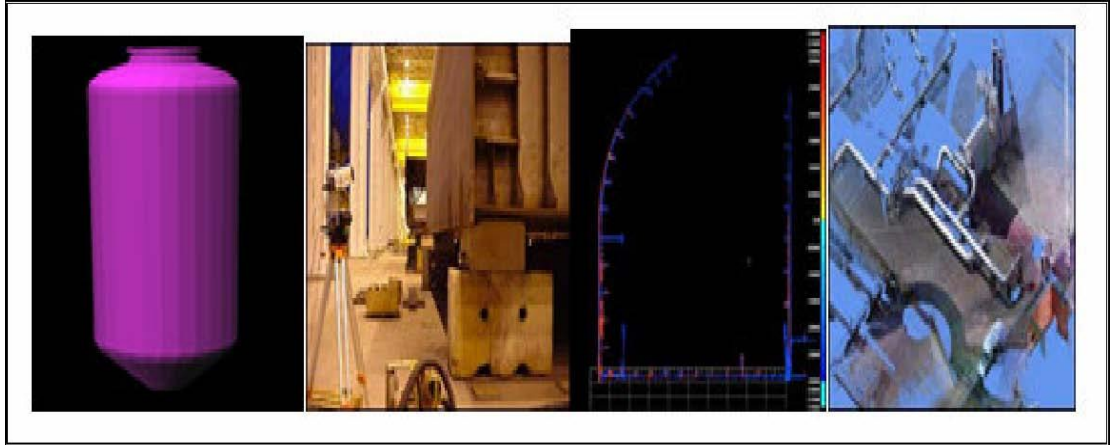


#### 4.5.6 Endüstriyel Uygulamalar

Lazer tarayıcılar, günümüzde endüstriyel uygulamalarda kullanılan en önemli ölçme aletleri arasında yerini almıştır. Diğer klasik ölçme ve fotogrametrik yöntemlerle kıyaslandığında, veri elde edilmesi ve değerlendirilmesinde hız ve maliyet açısından üstünlükleri vardır. Lazer taramalar sonucu elde edilen, taranan objeye ait gerçeğe yakın gösterimini sunan 3 boyutlu nokta bulutlarından CAD yazılımlarında, 3 boyutlu modeller elde edilmektedir. Bu modeller üzerinden istenen bilgilere anında ulaşılabilme, böylece üretim sırasında ortaya çıkacak hatalara müdahale edilerek hatalar yok edilebilmektedir. Geliştirilen yazılımlarla çeşitli analizler ve değerlendirmeler yapılabilmektedir. Gemi inşaatı, otomotiv sanayi, fabrikasyon üretim uygulamaları, giyim sektörü, proje kontrol ve üretimi vb. alanlarda lazer tarama teknolojilerinden yararlanılmaktadır.



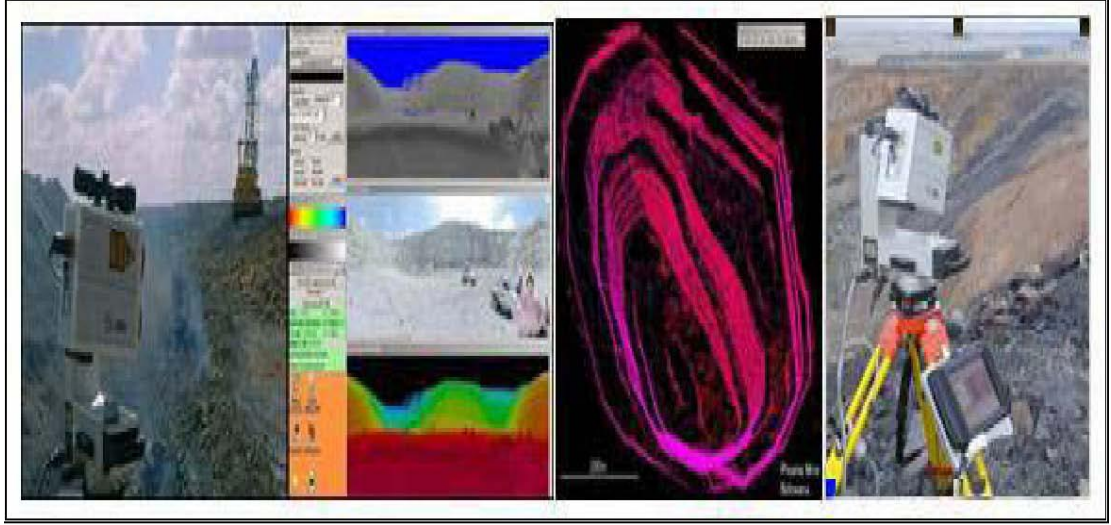
**Şekil 4.10: Endüstriyel uygulama örnekleri**



#### **4.5.7 Madencilik, Taşocağı ve Kazı Uygulamaları**

Bu uygulama alanlarında lazer tarama teknolojisi, gerek zaman, gerek maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Madencilikte, taşocağı veya hafriyat işlerinde çıkarılan malzemenin bir yerden başka bir yere taşınmasında hacim hesaplarının hızlı ve otomatik bir şekilde yapılması sırasında yersel lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. Geleneksel ölçme yöntemleri, ölçmeciler için zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca mevcut durum koşullarında, her yüksekliğin değiştiği noktanın ölçülmesi, arazinin engebeli ve tehlikeli olması durumlarında her yere ulaşılama durumu vardır. Bu durum ölçme işlerini zorlaştırdığı gibi, verilerin değerlendirme süresini ve işin bitim süresini uzatmaktadır. Fakat lazer tarama da tarayıcı sabit yere kurularak tarama sonucu elde edilen veriden, yazılımlar kullanılarak istenilen bilgiler hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Ayrıca çalışma bölgesinin otomatik olarak izlenilmesi sağlanmaktadır. Özellikle madencilik uygulamalarında; ulaşılması güç olan yüksek duvar, tepe, yeraltı kazı bölgeleri gibi bölgelerin detaylı hacimsel hesaplamaları yapılabilir. Geoteknik ölçümler, patlama öncesi ve sonrası ölçümler, jeolojik ve yapısal özellikler için hızlı haritalama, maden cevheri derinlik geçiş ölçmeleri, kazı ölçmeleri, eğimlerin izlenmesi, deformasyon ölçmeleri, otomatik stok hacim ölçmeleri, yersel lazer tarayıcılardan elde edilen verilerin yazılımlarda değerlendirilmesi ile elde edilmektedir ([www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com),2011).

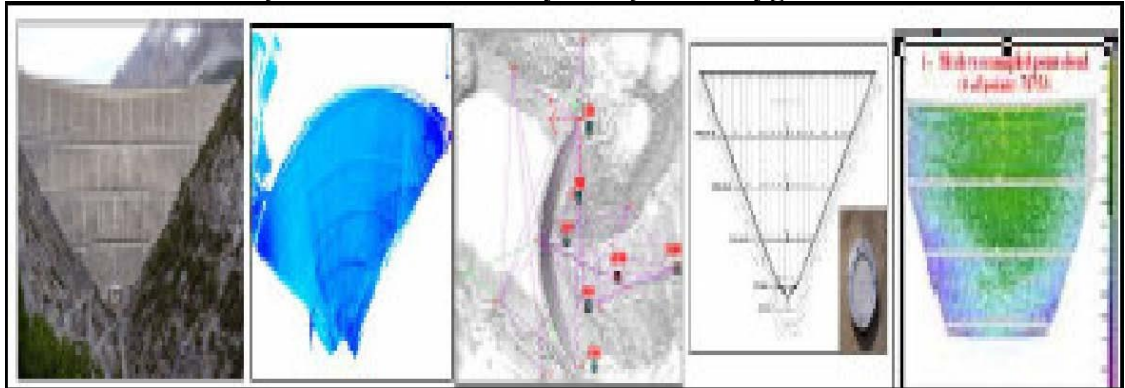
**Şekil 4.11: Madencilik, taşocağı ve kazı uygulama örnekleri**



#### 4.5.8 Deformasyon Ölçmeleri Uygulamaları

Büyük mühendislik yapılarının, özellikle büyük barajların deformasyonlarının belirlenmesi için, günümüzde yersel lazer tarama teknikleri de kullanılmaktadır. Büyük barajların statik davranışlarını gözlemek, her zaman büyük önem taşımıştır. Bu yapılar inşa edildikleri alanlarda çeşitli etkiler yaratmaktadırlar. Bu vb. yapıların deformasyonlarının izlenmesinde seçilen obje noktalarının sayısı klasik ölçme yöntemlerinde kısıtlı iken yersel lazer tarayıcılarının kullanımında böyle bir sorun kalmamaktadır. Kontrol noktalarının sayısı ise otomatik bir ölçüm sistemi uygulandığında daha az olmaktadır.

**Şekil 4.12: Deformasyon ölçmeleri uygulama**



## 5.UYGULAMA

Kocaeli İli, İzmit İlçesi sınırları içerisinde 21/09/2011 tarihinde, eski SEKA Fabrikası olan şimdi ki Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Kampüsü'nde yapış olduğumuz bu uygulamada aşağıdaki materyeller kullanılmıştır:

- i. Klasik ölçme yöntemleri için;

Total Station ile yapılan ölçümlerde: Topcon GPT 7500 aleti, reflektör, sehba  
GPS kullanılarak yapılan ölçümlerde: Topcon Hiperpro CORS, FC200 el ünitesi, sehba

- ii. Yersel lazer tarama yöntemi için;

Leica HDS4500 lazer tarayıcı, PC, batarya, güç kablosu, data kablosu, bağlantı kartı, üç ayak ve değerlendirme yapmak için Clone programı kullanılmıştır.

**Şekil 5.1: Uygulama çalışmasından örnek fotoğraf kareleri-1**





**Şekil 5.2: Uygulama çalışmasından örnek fotoğraf kareleri-2**



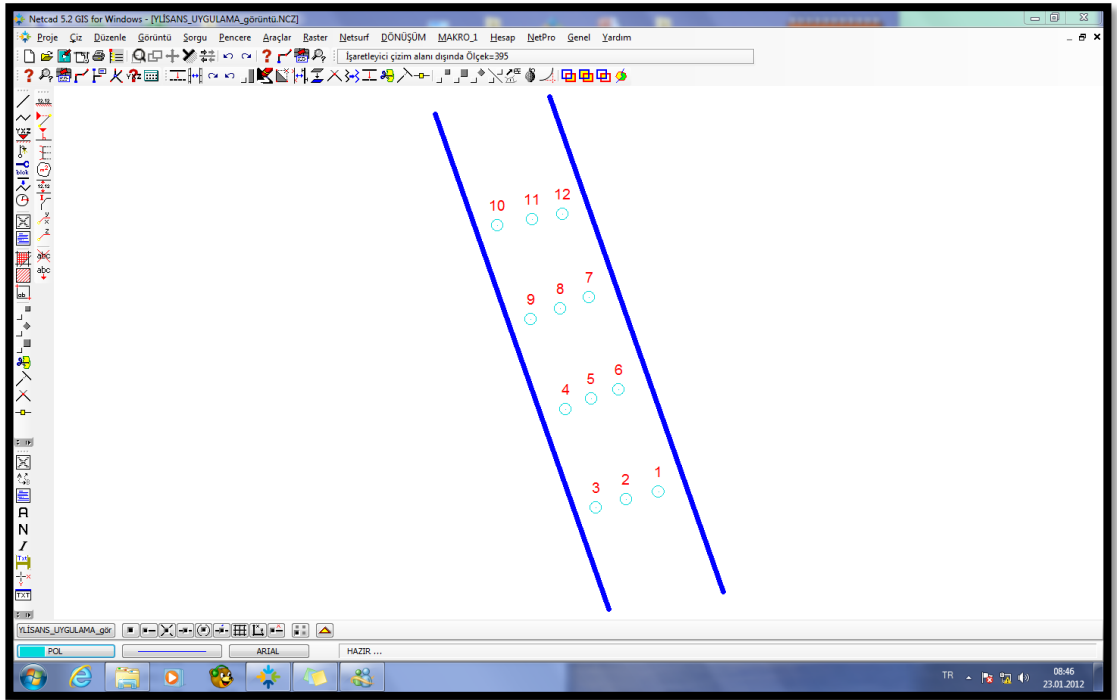
**Şekil 5.3: Uygulama çalışmasından örnek fotoğraf kareleri-3**



Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Fen İşleri Dairesi bünyesinde sürekli olarak yapmış olduğumuz yol projeleri çalışmalarına esas olacak şeritvari-halihazır haritalardan esinlenerek, kullanımı gelişmekte olan Lazer Tarama Yöntemi denenmiştir. Klasik yöntemler ve bu yöntem kullanılırken şu şekilde işlem adımları gerçekleştirilmiştir:

- iii. Çalışma alanı olarak belirlediğimiz yol güzergahı üzerine belli aralıklarla, yolun sağ, orta, sol tarafına güzergah boyunca hedef noktaları, resimlerde ve görüntüde görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

**Şekil 5.4: Uygulama noktalarının krokisi**



- iv. GPS ile 12 nokta kotlu olarak koordinatlandırılmıştır.

**Tablo 5.1: GPS ölçü değerleri**

n.n.	y	x	z
1	492464.260000	4514283.030000	45.033000
2	492461.040000	4514282.270000	45.016000
3	492458.110000	4514281.450000	45.040000
4	492455.090000	4514291.200000	44.835000
5	492457.610000	4514292.230000	44.805000
6	492460.330000	4514293.150000	44.877000
7	492457.430000	4514302.260000	44.801000
8	492454.590000	4514301.150000	44.780000
9	492451.660000	4514300.110000	44.669000
10	492448.340000	4514309.390000	44.676000
11	492451.780000	4514309.970000	44.754000
12	492454.790000	4514310.510000	44.755000

- v. Total station kullanımında, “2 ve 11” numaralı noktalar sabit tesis yani poligon noktası olarak kabul edilmiştir. “2” numaralı noktaya alet kurulup “11” numaralı noktaya bakarak diğer noktalara kotlu olarak koordinat verilmiştir.

**Tablo 5.2: TOTAL Station ölçü değerleri**

n.n.	y	x	z
1	492464.260000	4514283.030000	45.021000
2	492461.040000	4514282.270000	45.016000
3	492458.090000	4514281.440000	45.009000
4	<b>492455.100000</b>	<b>4514291.210000</b>	<b>44.818000</b>
5	<b>492457.630000</b>	<b>4514292.250000</b>	<b>44.799000</b>
6	<b>492460.330000</b>	<b>4514293.180000</b>	<b>44.844000</b>
7	492457.420000	4514302.270000	44.770000
8	492454.580000	4514301.160000	44.764000
9	492451.670000	4514300.120000	44.686000
10	492448.370000	4514309.410000	44.670000
11	492451.780000	4514309.970000	44.754000
12	492454.820000	4514310.530000	44.740000

- vi. Yersel lazer tarayıcı yardımıyla iki oturum yapılarak ölçüler yapılmış, ancak uçlarda bulunan noktalar “1,2,3” ve “10,11,12” numaralı noktalar lazerden

gelen ışınlara dik olmadığı ve uzak mesafede olduğundan koordinatlandırılmamıştır. “4,5,6” numaralı noktalardan faydalanarak diğer noktalar koordinatlandırılmıştır.

**Tablo 5.3: LAZER I. Oturum ölçü değerleri**

n.n.	y	x	z	
I. Oturum LAZER Ölçüleri	4	492455.105369	4514291.205459	44.813990
	5	492457.625072	4514292.253211	44.803418
	6	492460.328650	4514293.172903	44.843630
	7	492457.419334	4514302.273159	44.768640
	8	492454.576546	4514301.166910	44.765271
	9	492451.672454	4514300.118010	44.686240

**Tablo 5.4: LAZER II. Oturum ölçü değerleri**

n.n.	y	x	z
<b>4</b>	<b>492455.100000</b>	<b>4514291.210000</b>	<b>44.818000</b>
<b>5</b>	<b>492457.630000</b>	<b>4514292.250000</b>	<b>44.799000</b>
<b>6</b>	<b>492460.330000</b>	<b>4514293.180000</b>	<b>44.844000</b>
7	492457.423156	4514302.272061	44.768565
8	492454.578313	4514301.162781	44.764943
9	492451.671105	4514300.115505	44.686302

Total station, GPS ve Yersel lazer ile yapılan ölçümler sonucunda yersel lazer ile yapılan ölçümler baz alınarak Total station ve GPS ölçüleri koordinatları farkını aldığımızda aşağıdaki tablolardaki gibi sonuçlar ortaya çıkmıştır.

**Tablo 5.5: LAZER I. Oturum – GPS ölçü değerleri farkı**

n.n.	y	x	z	dy (mm)	dx(mm)	dz (mm)
4	492455.090000	4514291.200000	44.835000	15.37	5.46	-21.01
5	492457.610000	4514292.230000	44.805000	15.07	23.21	-1.58
6	492460.330000	4514293.150000	44.877000	-1.35	22.90	-33.37
7	492457.430000	4514302.260000	44.801000	-10.67	13.16	-32.36
8	492454.590000	4514301.150000	44.780000	-13.45	16.91	-14.73
9	492451.660000	4514300.110000	44.669000	12.45	8.01	17.24
<b>GPS ölçüleri</b>			<b>ortalama:</b>	<b>2.90</b>	<b>14.94</b>	<b>-14.30</b>

**Tablo 5.6: LAZER I. Oturum – TOTAL ölçü değerleri farkı**

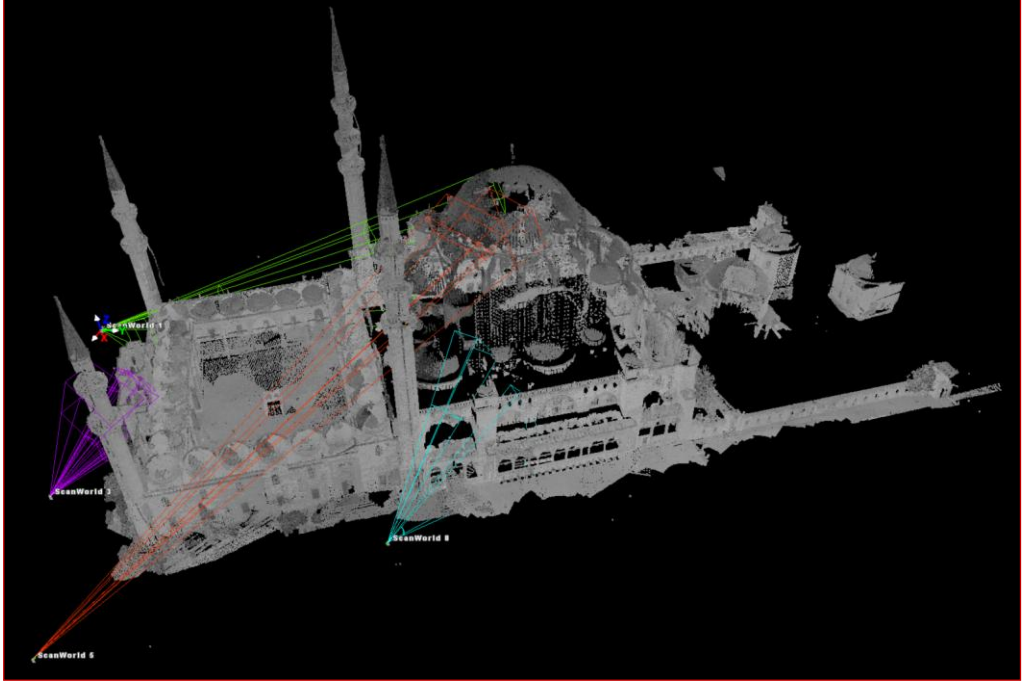
n.n.	y	x	z	dy (mm)	dx(mm)	dz (mm)
4	492455.100000	4514291.210000	44.818000	5.37	-4.54	-4.01
5	492457.630000	4514292.250000	44.799000	-4.93	3.21	4.42
6	492460.330000	4514293.180000	44.844000	-1.35	-7.10	-0.37
7	492457.420000	4514302.270000	44.770000	-0.67	3.16	-1.36
8	492454.580000	4514301.160000	44.764000	-3.45	6.91	1.27
9	492451.670000	4514300.120000	44.686000	2.45	-1.99	0.24
<b>TOTALSTATION ölçüleri</b>			<b>ortalama:</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.03</b>

Görüldüğü gibi GPS ölçüleri farklarında santimetre hassasiyeti, Total station ölçüleri farklarında milimetre hassasiyetine ulaşılmaktadır. Buradaki sonuçlar değerlendirildiğinde Lazer ölçülerinin altlık oluşturmak için yeterli hassasiyette olduğu, ancak Lazer oturumları yapılırken lazer aletinin her durduğu oturum için topoğrafik yapının gelen lazer ışınlarına yeterli dik açıya sahip olmamasından ötürü uçlarda bulunan noktalar koordinatlandırılmamış ve değerlendirilememiştir.

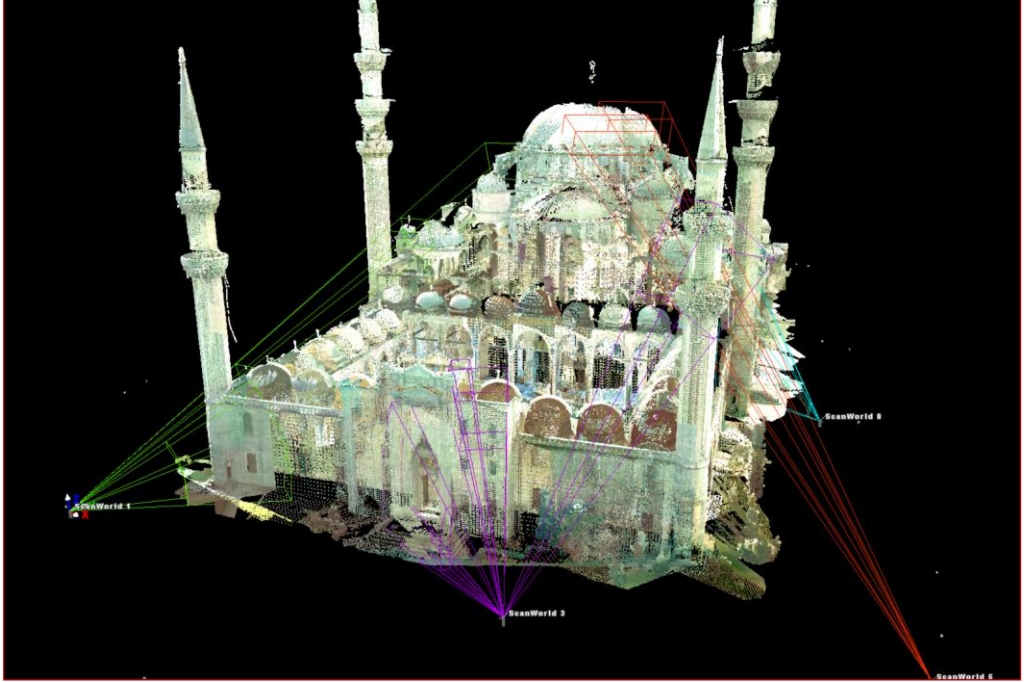
Lazer ışınlarının daha iyi yayıldığı yüzeyler aşağıdaki görüntülerde olduğu gibidir. İMP'nin Süleymaniye Camii'nde yapmış olduğu çalışmalardan alınan bu kareler lazer ışınının nasıl yayıldığını ve sonuç olarak nasıl bir ürün ortaya çıktığı konusunda bizlere fikir vermektedir.



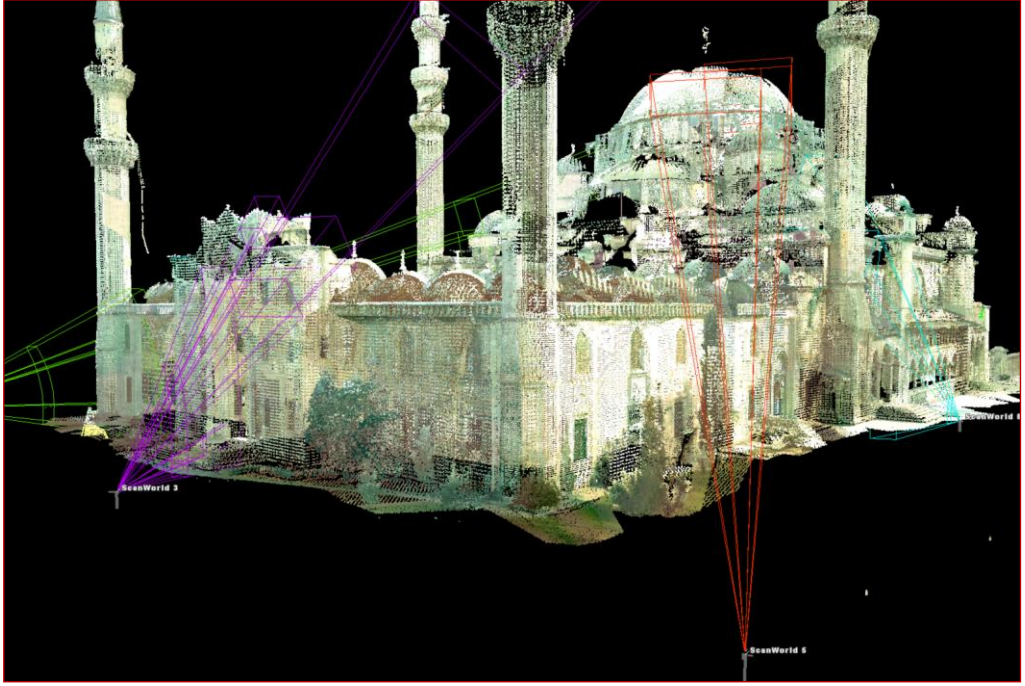
Şekil 5.5: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-1



Şekil 5.6: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-2



Şekil 5.7: Süleymaniye Camii lazer tarama örneği-3



## 6.SONUÇ

Yersel lazerin diğer ölçme yöntemleriyle kıyaslanması sonucu şu değerlendirmeler yapılabilir;

Avantajları:

- i. Ulaşıması güç olan nesnelere üzerinden 3 boyutlu ve milimetre hassasiyetinde sağlıklı verilerin elde edilmesi.
- ii. Proje kapsamında zamandan ve çalışan sayısından tasarruf edilmesi.
- iii. Ölçümden sonra araziye yönelik tekrarlanan ölçümlere gereksinim duyulmaması.
- iv. Elde edilen 3 boyutlu ölçülerden gerekli bütün detay ölçülerinin alınabilmesi.

Dezavantajları:

- i. Halihazır projeleri gibi çalışmalarda, yeryüzü detayı olarak seçilen nesnelere, açısal olarak gönderilen lazer noktasının belli bir mesafeden sonra yeterli hassasiyette detay alımı gerçekleşmemesi.
- ii. Yersel lazer ölçümlerinde konuşlandırılan lazer tarayıcısının detay noktalarına olan mesafesinin kısıtlı olmasından ötürü, istenen hassasiyet değerinin elde edilmesi için gerekli mesafenin kullanılan lazer aletine göre yaklaşık 50 metreyi aşmaması. Buna ek olarak her 50 metrelik kurulumun halihazır projeleri için zaman problemi yaratması, dezavantajları olarak sıralanabilir.

Özellikle yaptığımız uygulama çalışmasıyla altyapı ve benzeri çalışmalarda arazinin topoğrafik yapısının çıkarılmasında, yani halihazır çalışmaları gibi projelerde kullanılabilirliği, hassasiyet ve detay yoğunluğu yeterli olmasına rağmen arazi durumunun düz olması gibi faktörlerden ötürü yalnızca lazer ölçümleri yetersiz kalmaktadır.

## KAYNAKLAR

### Kitaplar

Ahunbay, Z., 2004. *Tarihi çevre koruma ve restorasyon*. İstanbul: Yapı Yayın.

Özbenli, E. ve Tüdeş, T., 1997. *Ölçme bilgisi pratik jeodezi*. Trabzon: KTÜ Basımevi.

Aydın, Ö., 2004. *GPS tekniği ders notları*. İstanbul: Y. T. U. Yayınları.

Hofmann, W., Lichtenegger H. & Collins, J., 1998. *GPS theory and practice*. Springer-Verlag, New York.

Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2001. *GPS-global konum belirleme sistemi*. ISBN 975-591-203-7, Ankara.

Teunissen, P. J. G. & Kleusberg, A., 2000. *GPS for geodesy*. Springer-Verlag.

## **Diğer Yayınlar**

Azkın, T. D., (2002) *Parsel ölçümünde GPS' in kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi.*, S.Ü., Konya.

Güngör, O., (2000) *Gerçek zamanlı kinematik (GZK) GPS' in jeodezik çalışmalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi.*, Yüksek Lisans Tezi, K. T. Ü., Trabzon.

Pırtı, A., (2004) *Yol aplikasyonunsa RTK GPS tekniğinin kullanılması ve doğruluk yönünden incelenmesi. Doktora Tezi*, Y. T. Ü., İstanbul.

[www.3dlasermapping.com](http://www.3dlasermapping.com) [2011]

[www.google.com.tr](http://www.google.com.tr) [2011]