



**DÜŞÜK MALİYETLİ YARI OTOMATİK LAZER ENTEGRELİ KESİT
ÇIKARIM SİSTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Emre AKÇAL

Danışman

Doç. Dr. Tamer BAYBURA

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Uğur FİDAN

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

Bu tez çalışması 14.FEN.BİL.21 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DÜŞÜK MALİYETLİ YARI OTOMATİK LAZER ENTEGRELİ
KESİT ÇIKARIM SİSTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mustafa Emre AKÇAL

Danışman
Doç. Dr. Tamer BAYBURA

İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Uğur FİDAN

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa Emre AKÇAL tarafından hazırlanan “Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Yersel Lazer Tarama Sisteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Tamer BAYBURA

İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Uğur FİDAN

Başkan : Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Necmettin Erbakan Üni., Müh. ve MİM. Fakültesi
Üye : Doç.Dr.Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Üni., Müh. Fakültesi
Üye : Dr.Öğr.Üyesi Uğur FİDAN
Afyon Kocatepe Üni., Müh. Fakültesi
Üye : Doç.Dr.Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üni., Müh. Fakültesi
Üye : Doç.Dr.Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üni., Müh. Fakültesi

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/01/2019


Mustafa Emre AKÇAL

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DÜŞÜK MALİYETLİ YARI OTOMATİK LAZER ENTEGRELİ KESİT ÇIKARIM
SİSTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa Emre AKÇAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Tamer BAYBURA
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Uğur FİDAN

Hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak genişleyen yerleşim yerleri arasındaki iletişim ulaşım ile meydana gelmektedir. Bu nedenle ulaşım hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Mevcut imkânlar ise her geçen gün ihtiyacımızı daha az karşılamaktadır. Bu bakımdan sürekli gelişen teknolojiyle doğru orantılı olarak yeni alternatif yollar aranmaktadır. Böylece çeşitli projeler üretilmektedir. Hedef, zamanın daha verimli kullanılmasıdır. Birçok alanda olduğu gibi haritacılık çalışmalarında da teknolojiyle paralel olarak yeni yöntemler geliştirilmiştir. Gelişen teknoloji ile daha hızlı ve daha hassas ölçümler yapılarak ölçüm belirsizliğinin azaltıldığı ve daha doğru karar verebilecek sistemler geliştirilebilmektedir. Bu sayede 21.yy teknolojisine uygun olarak yüksek algılama gücüne sahip donanımlar yardımıyla konuma bağlı noktasal veri üretiminin önemi artmıştır. Bu da haritacılıkta kullanılan lazer tarayıcı cihazların geliştirilmesini sağlamıştır. Bu cihazlar bir platforma monte edilerek (sabit bir istasyon, araç, tren, gemi vb.) farklı durumlara göre oluşan ölçme hızları ve buna bağlı olarak meydana gelen nokta yoğunluğunu daha az insan gücü ile zamandan kazanarak veri toplamamızı sağlamaktadır. Ancak mevcut durumda kullanımın sınırlı alanlarda olması ve çok fazla maliyet gerektirmesinden dolayı bu teknolojiden yararlanma imkânı kısıtlanmaktadır. Bu çalışmada; madencilik çalışmalarında veya bir yapı projesi inşaatında yarı otomatik lazer tarama sistemi aracılığıyla kesit oluşturabilmesi amaçlanmıştır. Yapılan uygulamalarda gerekli verilerin toplanması, bir proje oluşturma

aşamasında çok önemli paya sahiptir. Toplanan veriler ile hem değerlendirme hem de uygulama işlemleri yapılmaktadır. Günümüzde zaman kavramının öneminin artmasıyla haritacılık alanında da doğru ve hızlı çalışma en önemli faktördür. Gerçekleştirilen çalışmada düşük maliyetli yarı otomatik lazer tarama sistemi ile toprak hareketlerinin hesaplanması, arazi kesitlerinin somut hale getirilmesi sağlanmıştır. Kurulan sistem yardımıyla oluşturulan kesitler kolay bir şekilde mevcut ihtiyacın daha hızlı karşılanmasını sağlayacaktır. Madencilik çalışmalarında kullanılması beklenen sistemin, benzer şekilde tünel yapım çalışmalarında da kullanarak farklı alternatifte çalışma alanlarına yaymak bir diğer hedef arasındadır. Bu sayede günümüzde kullanılan yöntemlere alternatif olarak yapılacak uygulamalarda söz edildiği gibi; zaman ve insan gücü minimum seviyeye indirilerek ölçme tekniğinin daha kısa zamanda ve istenilen amaca uygun doğrulukta kullanılacak bir sistem daha ucuz maliyetle tasarlanmıştır.

2019, xii + 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Düşük maliyet, yarı otomatik lazer entegreli sistem, kesit çıkarımı.

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF A LOW COST SEMI-AUTOMATIC
LASER INTEGRATED CROSS REMOVAL SYSTEM**

Mustafa Emre AKÇAL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Tamer BAYBURA

Co-Supervisor: Asst. Prof. Uğur FİDAN

The communication between the rapidly increasing population and the expansion of the settlements due to this is caused by transportation. Therefore, transportation has become an indispensable part of our lives. The available facilities meet our needs more and more every day. In this regard, new alternative ways are being sought in line with the constantly developing technology. Thus, various projects are produced. The goal is to use time more efficiently. As in many fields, new methods have been developed in parallel with technology in cartography studies. With the developing technology, faster and more accurate measurements can be made and systems that reduce measurement uncertainty and make more accurate decisions can be developed. In this way, the importance of location-based point data production has increased with the help of hardware with high detection power in accordance with 21st century technology. This has enabled the development of the laser scanner devices used in cartography. These devices are mounted on a platform (stationary station, vehicle, train, ship, etc.), resulting in different conditions and the resulting measurement of the resulting density of densities with less manpower to save time to collect data. However, the use of this technology is restricted due to the fact that the use is limited in the current situation and requires a lot of cost. In this study; It is aimed to be able to create sections by means of semi-automatic laser scanning system in mining works or in a construction project. Collecting the necessary data in the applications made has a very important part in creating a project. Both the evaluation and the application procedures are performed with the collected data. Today, with the

increasing importance of the concept of time, accurate and fast working in the field of cartography is the most important factor. In the study performed, it is provided to calculate the soil movements and to make the terrain sections with the low cost semi-automatic laser scanning system. The sections created with the help of the installed system will provide an easy way to meet the existing need more quickly. Another target is to spread the system which is expected to be used in mining works to work areas in different alternatives by using them in tunnel construction works in a similar way. As an alternative to the methods used today, as mentioned in the applications to be made; time and manpower is reduced to a minimum level of measurement technique in a shorter time and with the desired purpose to be used in a system that is designed at a cheaper cost.

2019, xii + 91 pages

Keywords: Lower costs, semi-automatic laser integrated system, section extraction.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun, literatürde yer edinmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Tamer BAYBURA ve Dr. Öğrt. Üyesi Uğur FİDAN ile araştırma, geliştirme, uygulama ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, bu projede benim kadar çalışıp desteklerini esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm meslektaşlarıma sayın Harita Mühendisi Uğurcan GERBOĞA ve Harita Mühendisi Ahmet DURMUŞ'a ayrıca Arş. Gör. A.Fatih YURAN'a teşekkür etmeyi borç bilirim. Tez çalışmasını hayallerimizi gerçekleştirmek kapsamında "14.FEN.BİL.21" numaralı proje ile BAPK tarafından maddi olarak desteklendiğini belirtmek isterim.

Hayatımın her döneminde yanımda oldukları gibi bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı AKÇAL (Selim, Handan) ailesinin bir ferdi olduğum için çok şanslı hissettiğimi belirtmek isterim. Çoğu insanın yılgınlık nedeniyle son dönemeçte pes edip çalışmasını bıraktığı bir zamanda, aynı hataya düşmemem için beni tüm inancıyla destekleyen ve tez yazımında bana destek olan sevgili nişanlım BUKET'e de koca bir teşekkür ederim.

Mustafa Emre AKÇAL
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	13
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	15
2.1 Lazer Tarihi ve Gelişimi	15
2.2 Haritacılıkta Lazer Tarama Teknolojisi.....	16
2.3 Hava Lazer Tarama.....	17
2.3.1 Lazer Tarayıcı	18
2.3.2 GPS ve IMU	18
2.3.3 Platform	19
2.4 Hava Lazer Tarama Çalışma İlkesi.....	19
2.4.1 Hava Lazer Tarayıcı Kullanım Alanları	21
2.5 Yersel Lazer Tarama.....	24
2.5.1 Yersel Lazer Tarama Çalışma İlkesi.....	28
2.5.1.1 Uçuş Zamanlı Lazer Tarayıcılar	29
2.5.1.2 Faz Farkı Yöntemiyle İşlem Yapan Lazer Tarayıcılar	30
2.5.1.3 Üçgenleme Yöntemiyle Çalışan Lazer Tarayıcılar	30
2.5.2 Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları ve Özellikleri	30
3. MATERYAL VE METOT	34
3.1 Sistem Bileşenleri	36
3.1.1 Mekanik	36
3.1.1.1 Dizüstü Bilgisayar.....	36
3.1.1.2 Çizgi Lazer Metre	37
3.1.1.3 Alet Sehпасı	40
3.1.1.4 Elektronik Teodolit	41
3.1.1.5 Akü.....	43
3.1.1.6 Taşıyıcı Araba.....	44

3.1.2 Donanım	45
3.1.2.1 Step Motor	45
3.1.2.2 Çok Eksenli Step Sürücü	48
3.1.3 Yazılım	49
3.2 Sistem Tasarımı	54
3.3 Sistemin Değerlendirilmesi	62
4. UYGULAMA	71
4.1 Laboratuvar Sonuçları	71
4.1.1 800'lük Adım İle Yapılan Ölçümler	74
4.1.2 1600'lük Adım İle Yapılan Ölçümler	76
4.1.3 3200 ve 6400 Adım Sayısı İle Yapılan Ölçümler	79
4.1.4 Kesit Ölçümlerinin Genel Değerlendirilmesi	80
4.2 Arazi Sonuçları	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
6. KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CO ₂	Karbondioksit
cm	Santimetre
Dk	Dakika
kHz	Kilohertz
m	Metre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
s	Saniye

Kısaltmalar

A	Amper
AGC	Otomatik Algılama kontrolü
CCD	Charge-coupled device
CE	Compact Edition
CFD	Değişmez Parça Ayrımı
C#	C Sharp
ET	Elektronik Teodolit
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
KHz	Kilohertz
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LIDAR	Light Detection and Ranging
MB	Megabayt
RAM	Random Access Memory
RGB	Kırmızı, yeşil, mavi
SNR	Signal to Noise Raito
TDC	Zaman Ölçümü Ünitesi
TDK	Türk Dil Kurumu
TLS	Yersel Lazer Tarayıcı

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 DT 500 Teknik Özellikler.	39
Çizelge 3.2 South ET Teknik Özellikleri.	42
Çizelge 3.3 Nema 24 Teknik Özellikleri (İnt.Kyn.9).	46
Çizelge 3.4 Spectra Focus 30 Teknik Özellikler (İnt.Kyn.10).	62
Çizelge 3.5 Stonex 300 Teknik Özellikler (İnt.Kyn.16).	65
Çizelge 4.1 800'lük Adım Alan Sonuçları.....	75
Çizelge 4.2 800'lük Adım Noktalarına Ait Standart Sapma.....	76
Çizelge 4.3 1600'lük Adım ile Sonuçlar.....	78
Çizelge 4.4 1600'lük Adım Noktalarına Ait Standart Sapma.....	79

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 GPS ve IMU Şematik Gösterimi.	19
Resim 2.2 Lidar ile Görüntülenmiş Tarımsal Arazi.....	21
Resim 2.3 Lidar Sistemi ile Görüntülenen Örnek Arkeolojik Kalıntılar.	22
Resim 2.4 Lidar Görüntüsünde Örnek Habitat.	22
Resim 2.5 Bina Modelleme Örnekleri.	23
Resim 2.6 LiDAR ile Elde Edilmiş Yol Görüntüsü.....	24
Resim 2.7 Yersel Lazer Tarayıcı Çalışması.	24
Resim 2.8 Örnek Yersel Lazer Tarama Sistemi.....	25
Resim 2.9 Lazer Telemetresi Düzeneği.	26
Resim 2.10 Yersel Lazer Tarayıcı Çeşitlerine Örnekler.	29
Resim 2.11 Uçuş Zamanlı Tarama Yöntemi Çalışma Gösterimi.....	29
Resim 2.12 Lazer Tarayıcı Cihaz Yapılmış Örnek Demiryolu Hattı Çalışması.	31
Resim 2.13 Madencilikte Yersel Lazer Tarayıcı.....	32
Resim 2.14 Yersel Lazer Tarama ile Oluşturulan Fabrika Uygulaması.	33
Resim 3.1 Dizüstü Bilgisayar.....	37
Resim 3.2 DT 500 Çizgi Lazer Metre.	37
Resim 3.3 Çizgi Lazer Metrenin Anlık Alım Değerleri.....	38
Resim 3.4 Çizgi Lazer Metre Ölçüleri.	40
Resim 3.5 Elevatörlü Alet Sehpası.....	41
Resim 3.6 Elektronik Teodolit (ET 05).....	42
Resim 3.7 Taşıma Aracı.....	44
Resim 3.8 Donanım Bloğu.....	45
Resim 3.9 Step Motorun Bölümleri.	45
Resim 3.10 Step Motor.	46
Resim 3.11 Tur Sayılarının Şematik Gösterimi.	47
Resim 3.12 M542 Step Sürücü.	48

Resim 3.13	Yazılım Ara Yüz Girişi.....	50
Resim 3.14	Ara Yüz Kontrol Bölmesi.	51
Resim 3.15	Lazer Metre Referans Ayarlama Bölümü.	51
Resim 3.16	Ölçüye Hazır Ara Yüz Görüntüsü.....	52
Resim 3.17	Ölçüye Başlamadan Önceki Görünüm.....	53
Resim 3.18	Anlık Ölçüm Değerleri.	53
Resim 3.19	Laboratuvar Görüntüleri Aç 1.....	54
Resim 3.20	Laboratuvar Görüntüleri Aç 2.....	54
Resim 3.21	Solid Works’de Hazırlanan Tasarım Görüntüleri.	56
Resim 3.22	Farklı Kısımlara Ait Tasarım Parçaları.....	56
Resim 3.23	Tasarım Parçalar İskelet Durumundaki Resim.	56
Resim 3.24	Tasarım Tamamlanmış Elde Edilen Görüntüler.	57
Resim 3.25	Tamamlanan Lazer Metre Tarayıcı.....	57
Resim 3.26	Laboratuvarda Deneysel Ölçümler.	58
Resim 3.27	Eksenlerin Montaj İşleminde Sonra Gösterimi.....	59
Resim 3.28	Farklı Açılarda Alınmış Resimler.	60
Resim 3.29	Lazer Metrenin Eksenlerinde Yapılan Ötelemelerin Gösterimi.	60
Resim 3.30	Uzunluk ve Açılarının Gösterimi.	61
Resim 3.31	Focus 30 ile Yapılan Ölçüler.	63
Resim 3.32	800’lük Adım Cloud Compare’de Değerlendirmeler 1.	68
Resim 3.33	800’lük Adım Cloud Compare’de Değerlendirmeler 2 67	
Resim 3.34	1600’lük Adım Cloud Compare’de Değerlendirmeler 1.	69
Resim 3.35	1600’lük Adım Cloud Compare’de Değerlendirmeler 2.	70
Resim 4.1	Oluşturulan Referans Çerçeve.	71
Resim 4.2	Referans Çerçevede Yapılan Ölçümler.....	72
Resim 4.3	Taşıyıcı Aracın Engellediği Veri Alınamayan Bölüm.....	73
Resim 4.4	800’lük Adım ile Sonuç Örneği.	74
Resim 4.5	800’lük Adım Sonuç Grafiğine Örnek.	74

Resim 4.6 1600'lük Adım ile Sonuç Örneği.	77
Resim 4.7 1600'lük Adım Sonuç Grafiğine Örnek.	77
Resim 4.8 Ölçüm Sonuçları Oluşan Alanlar.	80
Resim 4.9 800,1600, 3200 ve 6400 Tur Alan Farkları.....	81
Resim 4.10 Başlangıç Noktasında Arazi Çalışması.	83
Resim 4.11 Bitiş Noktasında Arazi Çalışması.	84



1. GİRİŞ

Einstein tarafından 1916 yılında ışımının uyarılmış salınımı teorisinin ortaya atılmasından itibaren birçok bilim insanı tarafından lazer teknolojilerinin çeşitli alanlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Her alanda olduğu gibi Harita Mühendisliği (Haritacılık) bilim dalının da önemli bir parçası haline gelmiştir. 21.yy teknolojisine uygun, algılama gücü yüksek donanımlar kullanılarak noktasal veri üretiminin önemi artmıştır. Bu gelişmeler kapsamında lazer tarayıcı cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar, yaşam akışı içinde önemi hızla artan zamanın daha verimli kullanılarak daha az insan gücüyle ve çok fazla işe yarayacak veri toplanmasını sağlamaktadır. Sürekli olarak kendini güncelleyen ve yeniliklere açık hale gelen lazer teknolojisi gelişmekte olan bir teknolojidir ve günlük hayatımızın birçok alanında belki farkına bile varmadan kullanılmaktadır. Yaşamın bir parçası haline gelen bu teknolojinin mühendislik ölçmelerinde yerini aldığı, yapılan uygulamalardan anlaşılmaktadır.

Lazer taramanın haritacılık alanında kullanılan bir uygulama haline gelmesi son 20 yılda olmuştur. Objeler hakkında geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama uygulamaları ile daha hızlı ve ekonomik olmaktadır. Geleneksel ölçüm metotları olarak adlandırılan yer ölçüm yöntemleri ile GNSS ölçümleri kullanılarak objelere ait geometrik ve görsel bilgilere ulaşmak çok uygun olmamaktadır. Uygun olmamakla beraber hızlı bir yöntem de değildir. Bu tip sistemler kullanarak noktaların teker teker ölçümü mümkün olmaktadır. Bu nedenle de yavaştır. Alınan verilerde ise elde edilen nokta sayısının azlığı, taranan objenin gerçek modeline uygun olarak elde edilemeyişi, yersel lazer tarama teknolojisini ön plana çıkarmıştır. Lazer taramasının öneminin artmasıyla üretici firmalar lazer tarama teknolojisine daha fazla ilgi duymaya başlamıştır. Son yıllarda bu alanla ilişkili pek çok teknoloji ve ürünler piyasaya çıkmıştır. Firmalar lazer teknolojisinde öncü olmak amacıyla daha fazla araştırma yaparak, sistemi geliştirmek ve kendi ürünlerini üretmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmada daha düşük maliyetle uygulama yapılması hedeflenerek; doğruluk, zaman, maliyet ve ortaya çıkacak sonuçlara göre kullanılabilirlik yönünden test edilecektir.

Yapılan bu araştırma 6 ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümüyle başlayan çalışmada; 2. bölümde lazerin kısa tanımı, tarihsel gelişimi ile ilk olarak nasıl üretildiği, harita mühendisliğindeki kullanım alanları anlatılmıştır. 3. bölümde düşük maliyetli yarı otomatik lazer sisteminin oluşturulması ele alınmıştır. 4. bölümde yapılan deneysel sonuçlarda elde edilen kesitlerin değerlendirilmesi, yorumlanması ve tartışma sonuçları yer almaktadır. 5. bölümde elde edilen bulgular ışığında ortaya çıkan sonuç ve öneriler ve son olarak 6. bölümde ise kaynakça kısmı yer almaktadır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Lazer Tarihi ve Gelişimi

Lazer, birbirine benzeyen ve tek renkli ışık üreten optik cihazlara verilen isimdir. Lazer terimi İngilizce "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Uyarılmış Radyasyon Yayınımı ile Işık Yükseltimi) kelimelerinin baş harflerinin yan yana getirilmesiyle (LASER) oluşur (İnt.Kyn.1). Lazerler; dar, yoğun ve tek renkli ışık ışını üreten aygıtlardır. Böyle olması sebebiyle lazerlerden çıkan ışık bildiğimiz ışıktan tamamen farklıdır (Aydın 2016).

Bu farklılığı şöyle tanımlayabiliriz; normal ışık bir av tüfeğinden atılan saçmaların zaman ve yön bakımından rastgele dağılımına, lazerden elde edilen ışığı bir makineli tüfekten aynı yönde ve eşit zaman aralıklarında fırlatılan mermilere benzetmek mümkündür.

Einstein, 1916 yılında ışımanın uyarılmış salınımı teorisini ortaya atmıştır. Daha sonra 1927 yılında, Charles Townes lazer konusunda yaptığı araştırma ile Nobel Ödülünü almıştır. Yaptığı çalışmada bir mikrodalganın yapısına uyarılmış yayınım yapan alet tasarlamıştır. Bu alet iletişim için kullanılan uyumlu mikrodalga ışınlarını üretti. İlk lazer ise 1.25 cm dalga boyunda amonyak buharında üretilmiştir (Aydın 2016).

Townes ile Schawlow ışının büyümesine izin veren bir optik ayna rezonant kavitesi tarafından, etrafı sarılan optik yükselteç kavramını geliştirdiler. Bu alanda 1958 yılında bir makale yayınladılar. Yaptıkları bu çalışma ile Nobel Ödülünü aldılar. Hughes araştırma laboratuvarından Thodore Maiman flaş lambasını enerji kaynağı olarak kullanıp 1960 yılında lazeri üretti (Aydın 2016).

Bell laboratuvarından A. Javan, W. Bennett ve D. Harriott helyum ve neon gazlarının karışımını kullanarak 1961'de ilk gaz lazerini geliştirdi. Aynı laboratuvarda çalışmalarını yapan L. F. Johanson ve K. Nassau ilk elde edilen lazerlerden biri olan neodyum lazerinin kullanılışını göstermiştir. Bu lazer ise o zamana kadar üretilenler

arasında en güvenlilerindendir. Bu çalışmadan sonra 1962’de ise General Electric araştırma laboratuvarından R. Hall tarafından gösterilen ilk yarı-iletken lazer izledi. Kızılötesi karbondioksit lazerini Bell laboratuvarından C. K. N. Patel 1963 senesinde keşfetmiştir. Bu lazer günümüzde de üretilen en verimli ve güçlü lazerlerden biri olmuştur. Aynı yılın sonunda Spectra Physic’den E. Bell mercury buharında ilk iyon lazerini keşfetti (Aydın 2016).

1964 yılında Hughes araştırma laboratuvarından W. Bridges argon iyon lazerini keşfetti. 1966 senesine gelindiğinde ise; W. Silfvast, G. R. Fowles ve B. D. Hopkins ilk mavi helyum-kadmiyum metal buhar lazerini üretti. Aynı yıl; IBM araştırma laboratuvarından P. P. Sorokin ve J. R. Lankard solventte çözülmeyen organik boya lazerini kullanarak ilk sıvı lazeri geliştirdiler (Aydın 2016).

R. Waynant ve IBM’den R. Hodgson 1970’de moleküler hidrojen oluşturulması için ilk vakum mor ötesi lazeri sundular. İyi bilinen ilk seyrek gaz lazeri excimer lazerler ksenon florid içinde Avco-Everett araştırma laboratuvarından J. J. Ewing ve C. Brau tarafından 1975’de gözlendi. Aynı yılda, ilk kuantum lazeri galyum arsenid yarı iletken içinde Bell laboratuvarında J. Van der Ziel ve çalışma arkadaşları tarafından yapıldı. CO₂ lazer dalga boyunda kızılötesinde çalışan ilk serbest-elektron lazer yükselteci Standford Üniversitesinde J. M. J. Madey tarafından 1976’da sunuldu. Allied kimya kurumunda Walling ve çalışma arkadaşları tarafından 1979’da alexandrite olarak isimlendirilen katı-hal lazer maddesinden geniş tunable lazer çıkışı elde edilmiştir. İlk yumuşak x-ışını lazer D. Matthews ve çok sayıda çalışma arkadaşı tarafından Lawrence Livermore Laboratuvarında yüksek iyonize olmuş Selenyum plazmada sunulmuştur (Aydın 2016).

2.2 Haritacılıkta Lazer Tarama Teknolojisi

Lazer taramanın haritacılık alanında kullanılan bir uygulama haline gelmesi gelişen teknolojik ürünler ile son 20 yılda olmuştur. Bu sayede objeler hakkında hızlı bir şekilde geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak daha kolay olmaktadır. Lazer tarayıcı sistemlerde, yüksek genlikli ve birbirine paralel olan aynı frekansa sahip dalgalardan meydana gelen lazer ışınlarından yararlanılmaktadır. Lazer tarama sistemleri, Light

Detection and Ranging (LiDAR) ve yersel (terrestrial) olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Yersel lazer tarama, yer bazlı lazer tarayıcılar kullanılarak istenilen objenin üç boyutlu koordinatlarının ölçülmesidir. Hava lazer tarama da hava aracına monte edilen tarayıcıdan çıkan ışınlar ile zamansal hesap yaparak obje hakkında veri toplamadır. Yersel lazer ve havadan lazer tarama teknolojilerinin çalışma prensipleri aynıdır. Kısaca, lazer tarama tarafından yatayda ve düşeyde yapılan yönlendirmelerle taratılan obje hakkında veri toplamayı sağlamaktır (Gümüş ve Erkaya 2007).

Lazer tarama ile objeye ait veriler hızlı bir şekilde toplanmakta, bu yapılan ölçümlerde reflektöre gerek duyulmamaktadır. Özellikle karmaşık şekilli yapıların hassas ölçümünün gerektiği çalışmalarda, lazer tarama yöntemi hem hızlı olması bakımından hem de ölçümlerin klasik yöntemlere göre çok daha hassas olarak gerçekleştirilmesinden dolayı son derece tercih edilen bir ölçme metodu haline gelmiştir (Gümüş ve Erkaya 2007).

Lazer tarama cihazları kullanılarak yapılan uygulamalarda kullanıcılardan dolayı meydana gelen hatalar da en aza indirilebilmektedir. Bunun sonucunda ölçüm sonuçları klasik yöntemlere göre daha hassas olmaktadır. Ayrıca ölçümlerin doğruluğu da arazide ölçüm sırasında kontrol edilebilmektedir. Bu teknoloji, arazi verilerinin toplanması çalışmalarında etkili ve tercih edilen bir yöntem olup, yüksek nokta yoğunluğu ve yüksek doğrulukta verilerin toplanmasına imkân sağlar. Bu sayede, yapılan çalışmaların sürelerini de büyük oranda kısaltmaktadır (Gümüş vd. 2009).

2.3 Hava Lazer Tarama

LiDAR, aktif algılama sistemi olan radar teknolojisine benzemektedir. Radarda kullanılan radyo dalgaları yerine lazer ışını kullanılır. LiDAR'ın temel prensibi elektronik mesafe ölçerlerle benzerdir. Sistem tarafından yüzeye gönderilen lazer ışınlarının yüzeyden dönüp sistem tarafından algılanmasına kadar geçen zamandan, lazer tarayıcı ile yüzey arasındaki mesafe hesaplanır. Günümüzde bu alanda elde edilen veri ürünleri birçok topoğrafik uygulamalarda kullanılmaktadır (Jiang et al. 2005).

LiDAR, geleneksel olarak arazide çalışma yaparak topografik veri toplama yöntemleri ile karşılaştırıldığında bazı üstünlükler sunar.

Bu üstünlükler; minimum yer kontrol gereksinimi, ı ışık ve hava koşullarında bağılı olmaması, otomatik bir sistem olması, veri toplama ve işleme zamanının daha az olması, yüksek doğruluk ve yüksek nokta yoğunluğu olarak sıralanabilir.

Hava lazer tarama sistemi 3 ana bölümden meydana gelmektedir.

2.3.1 Lazer Tarayıcı

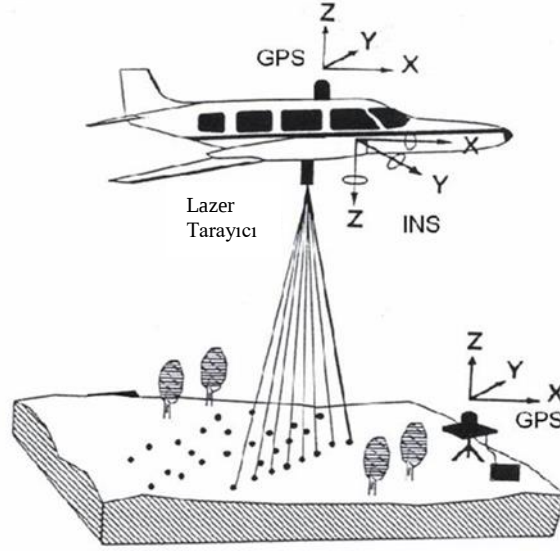
Tarayıcıdan çıkan lazer ışınlarını taranacak yüzeye gönderen (yüzeyi tarayan) bölümdür. Yani yüzey ya da alanı tarayan bileşendir. Lazer tarayıcıdan çıkan ışınların gidip tekrar geri gelmesi ile geçen süreden cisimlerin uzaklığı hesaplanır. Bu hesaplama süresince görüntünün ne kadar hızlı elde edileceğı, taranma hızına bağılıdır. Çukur ayna ve huzme ayırıcı yöntemleri kullanılarak yansıyan darbe toplanmaktadır.

2.3.2 GPS ve IMU

Yüzey haritalama sırasında taranan yüzeyin doğru sonuçları vermesi için tarayıcının mutlak konumunu ve yönünü bilmek gerekmektedir. GPS ve Inertial Measurement Unit (IMU) yani atalet ölçüm sistemi bunu sağlamak amacıyla kullanılır (Resim 2.1).

GPS tarayıcının x, y, z konumunu kaydeder. Bu yer belirleme işlemini gerçekleştirmek için yer istasyonlarından faydalanır.

IMU tarayıcının (hava aracının) yere göre açısal doğrultusunu hesaplar. GPS gibi IMU da 3 parametre üzerinden hesaplanır. Bunlar Roll (yuvarlanma), Pitch (yokuş) ve Yaw (rota) olarak tanımlanmıştır (Liu 2008).



Resim 2.1 GPS ve IMU Şematik Gösterimi.

2.3.3 Platform

LiDAR sisteminin bir diğer bileşeni ise lazer tarayıcı ve GPS-IMU bileşenlerinin bulunacağı platformdur. LiDAR da kullanılan platformlar ise; uzayda bulunan, uydular, uçaklar, helikopterler ve batimetrik haritalama sistemleridir (Meng et al 2010).

2.4 Hava Lazer Tarama Çalışma İlkesi

LiDAR, üç temel veri toplama aracı olan lazer tarayıcı, GPS ve IMU'nun birlikte kullanılmasından oluşan bir sistemdir. Lazer tarayıcı yeryüzüne kızılötesi sinyal gönderir. Tarayıcı tarafından yeryüzüne gönderilen sinyal sayısı sinyal tekrarlama oranı olarak isimlendirilir ve Kilohertz (kHz) biriminde ölçülür. Örneğin, 10 kHz'in anlamı, saniyede 10.000 sinyal gönderiyor demektir. Lazer ışınının gidişi ve gelişi arasındaki zaman kaydedilir. Bundan dolayı yakındaki objelerden yansıyan sinyaller uzaktaki objelerden daha hızlı döner. Lazer tarayıcı ile nesne yüzeyi taranır. Lazer tarayıcı ile lazer ışınının yansıtıldığı nesne noktasının arasındaki mesafe lazer ışınları yardımı ile ışığın gidip gelmesi için gereken süreden hesaplanır. Bu sürede sinyal tarayıcı ve yeryüzündeki nesne noktasına gidip geldiği için eşitlik de ifade edildiği gibi toplam mesafe ikiye bölünür.

Lazer altimetresinde ölçülecek yüzeye bağlı olarak iki farklı lazer çeşidi kullanılır. Topografik lazer olarak adlandırılan sistemler yeryüzü ölçümü için elektromanyetik spektrumunun kızılötesi bölümü kullanılır. Batimetrik lazer altimetre ölçümleri için elektromanyetik spektrumun mavi/yeşil bölgesi kullanılır. Bunun sebebi Lidar tarafından az ya da hiçbir algılamamanın olmamasıdır. Diğer bir fark ise mavi/yeşil lazerin iki katı bir frekansa sahip olmalarıdır. Batimerik derinliğin hesaplanması yansıyan sinyallerden kolaylıkla hesaplanır. Suyun derinliği, dönen iki sinyalin farkıdır.

LiDAR sistemi için veri toplama işlemleri esnasında her bir bileşen tarafından kullanılan hassas zaman araçları önemlidir. GPS konum bilgisinin ölçüm zamanının, IMU verisinin kayıt zamanının, lazer sinyalinin ne zaman gönderildiği ve geri dönüş zamanının bilinmesi çok önemlidir. Üç ayrı bileşenden oluşan LiDAR için her bileşenin zamanlamasını diğerlerine uydurmak mümkün olmayabilir.

GPS alıcısı, uçuşda geçen her saniye boyunca alıcının konumunu belirler. Fakat uçaklar saniyede 50 m'den fazla yol aldığı için lazer tarayıcının konumunun belirlenmesi için interpolate edilmesi gerekir. IMU, algılayıcıların eksenindeki dönüklük değerlerini sağlar.

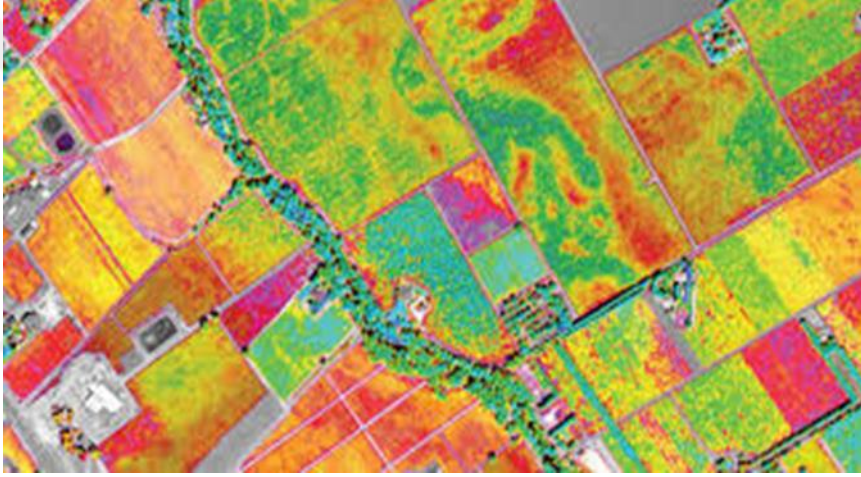
Elde edilen sonuçları bir referans siteminde olması değerlendirilmesi gerektiğinden yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak ölçüm süresince üç farklı parça kullanıldığından üç farklı referans sisteminin kullanılması problemi ortaya çıkmaktadır. Bu noktalar, uçak koordinatlarını yer koordinatlarına dönüştürmek için gerekli olan parametrelerin hesaplanmasında kullanılır.

LiDAR sisteminin önemli bir bileşeni olan lazer, optik enerji çıktısı oluşturmak için kimyasal ve elektrik enerjisini kullanır. Çıktı lazer sinyalinin giren enerjinin yaklaşık % 10'unu göstermesinden dolayı, bu dönüşümdeki en büyük problem enerji kaybıdır (Polat ve Uysal 2016), (Ergün 2018).

2.4.1 Hava Lazer Tarayıcı Kullanım Alanları

- Ziraat

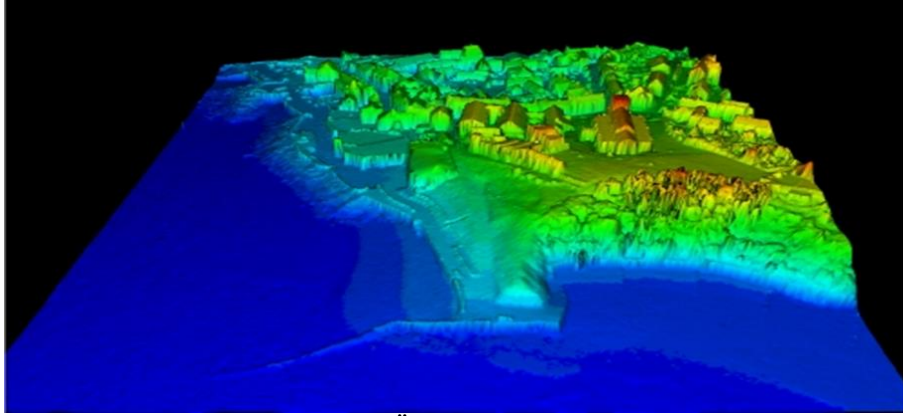
Tarım yapılan arazilerin oluşturulan yükseklik modelleri kullanılarak bu alanlarda eğim ve güneşlenme alanları belirlenebilmektedir. Eğim ve güneşlenme verileri sayesinde tarım alanları düşük, orta ve yüksek üretim alanı olarak sınıflandırılmaktadır (Resim 2.2). Tarım arazileri, sınıflarına göre yapılacak yeterli gübreleme ile hem verim arttırılmakta hem de ihtiyaç kadar gübreleme yapılarak olumsuz etkilerden kaçınılmaktadır. Ekonomik olarak da yapılacak fazla harcamalardan tasarruf edilerek zarar en aza indirilmektedir (Polat ve Uysal 2016).



Resim 2.2 Lidar ile Görüntülenmiş Tarımsal Arazi.

- Arkeoloji

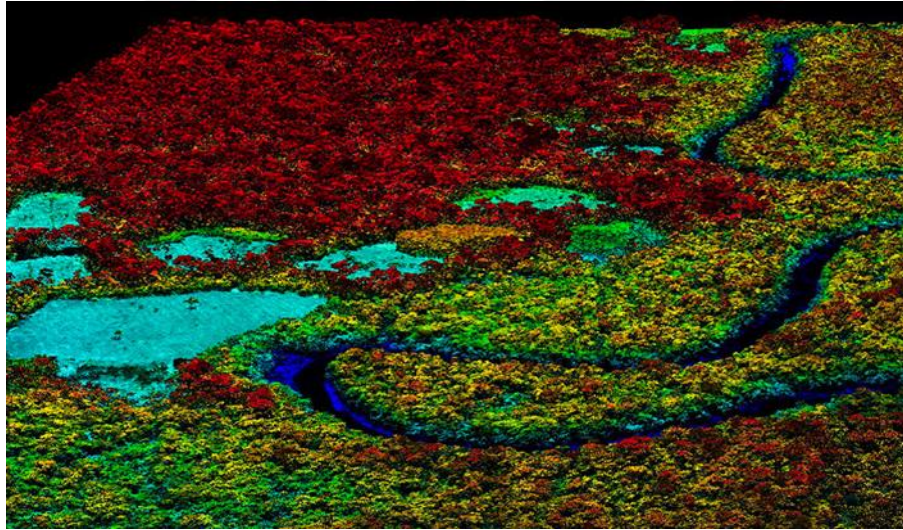
Arkeologlar, görüntü tabanlı veriler kullanarak bitki örtüsünden dolayı topografyaya gizlenen arkeolojik kalıntıları algılamakta zorlanmaktadırlar. Bu durum göz önüne alındığında, LiDAR sisteminin kullanılması ile topografyada bitki altı yüzeylerin algılanması çok daha basit bir hale gelmektedir (Resim 2.3), (Polat ve Uysal 2016).



Resim 2.3 Lidar Sistemi ile Görüntülenen Örnek Arkeolojik Kalıntılar.

- Biyoloji

Doğal çevrenin değerlendirilmesi, habitatın unsurlarının belirlenmesi ve genel anlamda bunların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Resim 2.4). Yine benzer şekilde tahrip olmuş orman alanlarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Polat ve Uysal 2016).



Resim 2.4 Lidar Görüntüsünde Örnek Habitat.

- Atmosferik

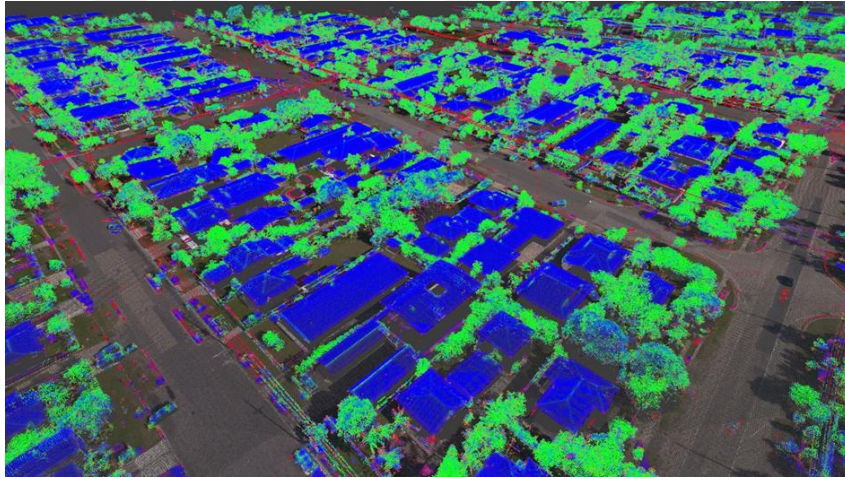
Kendi sisteminde kullanılan dalga boyuna eşit veya büyük objeleri tespit edebilme özelliği sayesinde; hava kirliliği tespit etmek için karbondioksit, sülfür dioksit ve metan parçacıkları LiDAR tarafından ölçülebilmektedir. Bu toplanan veriler ışığında yapılan değerlendirmeler ile hava kirlilik haritaları çok daha hızlı elde edilebilmektedir (Polat ve Uysal 2016).

- Askerî

Gelişen silah teknolojisinin kullanımında gerek yer belirleme gerekse radarların cisimlerin yerini tespit çalışmalarında kullanılmaktadır. Bunun yanında kişisel olarak kullanılmakta olan teçhizat, silah, radar sistemleri, vb. askerî alanda kullanımı yoğunlaşmıştır.

- Arazi Etüdü

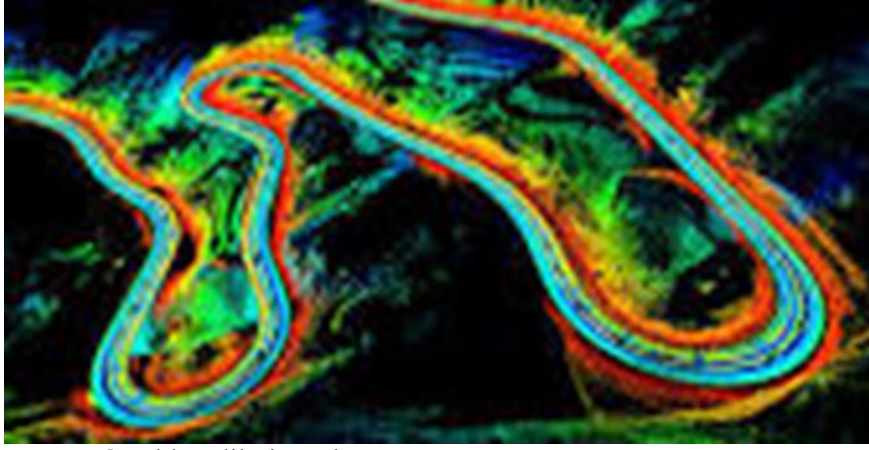
Hava fotoğrafları ve Lidar beraber kullanılarak topografik ya da tematik haritalar üretilmektedir. Lidar yükseklik modeli kullanılarak yol, yerleşim yeri ya da demir yollarının planlamasında kolaylık sağlar. Bunun yanında özellikle coğrafi bilgi sistemiyle bütünleşmiş olarak bina bilgi sistemleri için düşük irtifa uçuşlarında bina tespit ve modelleme için kullanılabilir (Resim 2.5), (Polat ve Uysal 2016).



Resim 2.5 Bina Modelleme Örnekleri.

- Ulaşım

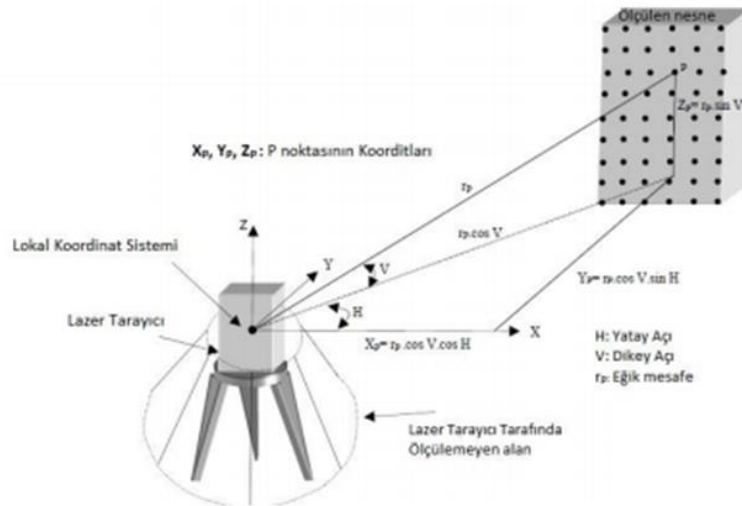
Yolların durumunun incelenmesi ve çevresinin modellenmesinde kullanılmaktadır (Resim 2.6). Yeni yol planlama ve yapım aşamasında yol kalitesi ve standartları sağlayacak güzergâh tespiti, eğim ve kurp hesapları, şerit sayısı ve kazı dolgu miktarları gibi değişik hesap ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır (İnt.Kyn.5).



Resim 2.6 LiDAR ile Elde Edilmiş Yol Görüntüsü.

2.5 Yersel Lazer Tarama

Bir yersel lazer tarayıcı, dikey ve yatay alanda yer alan tüm noktaları motorize edilmiş şekilde ölçen bir elektronik uzunluk ölçer (total station) olarak tanımlanabilir. Ölçülen her bir nokta için, koordinatlar, eğik uzaklık ile birlikte noktaya olan yatay ve dikey açılar olarak kayıt edilmektedir (Resim 2.7). Ölçülen bu değerlere, nokta koordinatları, tarayıcı konumuna göre kolaylıkla hesaplanabilmektedir (Gümüş ve Erkaya 2007).



Resim 2.7 Yersel Lazer Tarayıcı Çalışması.

Resim 2.7’de gösterildiği gibi bir nesne birkaç dakika içinde taranabilmektedir. Tarama işlemi dikey ve yatay yönde lazer tarayıcının görüş alanındaki objeleri tarayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Tarama sonucunda nesneye ait yüzbinlerce

hatta milyonlarca ölçülen nokta verisi içeren 3 boyutlu nokta bulutu elde edilmektedir. Taranan her bir nokta üç adet koordinat (X, Y, Z) bilgisi sunmaktadır. Nokta koordinatlarının yanında lazer tarayıcılar her nokta için bir yoğunluk değeri de ölçmektedir. Yoğunluk değeri genellikle nokta bulutunun görsel analizinin desteklenmesi için kullanılmaktadır. Bununla birlikte yoğunluk değeri yüzey materyallerinin sınıflandırılması ve nokta bulutlarının birleştirilmesi gibi özel uygulamalarda kullanılabilmektedir. Yersel lazer tarayıcılarla elde edilen nokta bulutu verisine, lazer tarayıcılara yerleştirilen dijital kameralar ile elde edilen renk bilgisi olan RGB (kırmızı, yeşil, mavi) değeri de atanabilmektedir. Nokta bulutuna renk bilgisi de atandıktan sonra bir nokta bulutu verisi X, Y, Z koordinat değerlerine ek olarak yoğunluk I, renk bilgisi, R, G, B değerleri ile temsil edilir hale gelmektedir.

Yersel lazer tarayıcı sistemi, tarayıcı, kontrol ünitesi, güç kaynağı ve sehpa olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır (Resim 2.8), (Barber 2001).

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

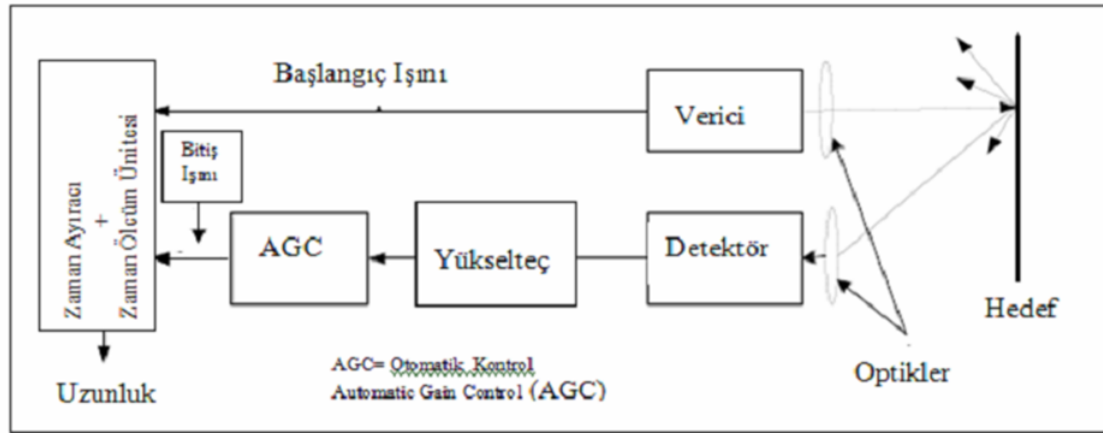


Resim 2.8 Örnek Yersel Lazer Tarama Sistemi.

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

A. Lazer Telemetresi

Verici (transistörlü lazer veya yarı geçirgen lazer diyot), alıcı kanal (Otomatik Algılama kontrolü (AGC), detektör, yükselteç), zaman ölçümü elektronikleri (Zaman ayırıcısı ve zaman ölçümü ünitesi (dijital çevirici)), verici ve alıcı optikleri olmak üzere 4 bileşenden oluşur (Kostamovaara 1991). Tipik bir Lazer telemetresinin blok düzeneği verilmiştir (Resim 2.9), (Amann et al. 2001).



Resim 2.9 Lazer Telemetresi Düzeneği.

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

ölçümü ünitesini durduran zaman ayırmıcısına yollanır. Lazer telemetrelerde kullanılan değişmez parça ayrımı (Computational Fluid Dynamics) (CFD) tekniği kullanılarak, dönüş atımı iki parçaya bölünür ve bir parça geciktirilir. Daha sonra geciktirilmiş ve geciktirilmemiş atımların ana ve diğer kenarları, atımın yarı genişlik noktasından geçerken zamanlama çalıştırılır. CFD kullanımı dönüş atımının şekli ve genişlik değişimi tarafından kaynaklanan zamanlama hatalarını siler ve mesafe duyarlılığını artırır. Atımın yayılımı ve yüksek frekans osilatörü ile sayılan saat atımları numarası tarafından TDC ile ölçülen atımın geri saçılmış parçasının alınması arasındaki zaman aralığının (t) belirlenmesinde, analog iç değerlendirme metodu ile dijital sayım tekniği kullanılır (Gümüş ve Erkaya 2007).

Hedefin tarayıcıya olan uzaklığı (D) (2.1)'de ki formülle hesaplanır.

$$D = C \times (\Delta t/2) \quad (2.1)$$

Bu formüllerdeki bilinmeyen değerler ise şunlardır;

C: Işık hızı

Δt : Lazerin gidiş-geliş süre farkı

Lazer telemetreleri için belirli maksimum uzunluk (D) ise aşağıda belirtilen durumlara bağlıdır (Reshutyek 2006);

- TDC'nin maksimum uzunluğuna (bit sayısı)
- Obje yüzeyi yansırılığı (ne kadar yüksekse, Dmax o kadar yüksek olur.)
- Lazer gücü
- Atmosferik iletim
- Işın sapması
- Detektör duyarlılığı

Alınan lazer gücünün yüksek olması durumunda lazerin avantajı, birkaç yüz metreye kadar cm doğruluğunda uzunluk ölçülmesidir. Daha uzun mesafelerde ise, imkân dâhilinde gereken Signal to Noise Raito (Sinyal Gürültü Oranı) SNR ile uzunluk ölçmeleri yapılabilmektedir. Bu problemin dezavantajı, alıcı yoluna göre geri saçılan lazer atımının varış zamanının tam olarak saptanmasına rağmen, zamanlama

noktasının değişebilirliği ve atmosferik zayıflamadır (Thiel and Wehr 2004), (Gümüş 2008).

Lazer ile uzunluk ölçme prensibi, nesne yüzeyindeki 3 boyutlu (3B) bir nokta ile tarayıcı arasındaki uzaklığın belirlenmesidir. Geri dönen lazer gücünün oranı saptandıktan sonra, uzaklık belirlenebilmektedir. Her nokta için uzaklık yanında, geri dönen sinyalin dönüş genlikleri, yoğunluk ve mekânsal bilgilerde kaydedilmektedir (Gümüş 2008).

B. Lazer Işını Saptırma Ünitesi

Obje veya çevrenin mekânsal (3B) ölçümlerini sağlamak amacıyla kullanılır. Bu üniteadaki temel öğe, düşey yönde ve bazen yatay yönde ışının sapmasını sağlayan tarama aynasıdır. Normalde 3 çeşit ayna kullanılır (Ingensan 2006), (Reshetuk 2006).

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

Piyasada kullanılan yersel lazer tarayıcılarda, hangi aynanın kullanıldığı üreticilerinin broşürlerinde her zaman açık değildir ve tarama mekanizmalarında hiçbir teknik açıklama bulunmamaktadır (Gümüş 2008). Literatürde tarama aynaları ile ilgili yeterli bilgi olmadığı için bahsedilmeyecektir.

2.5.1 Yersel Lazer Tarama Çalışma İlkesi

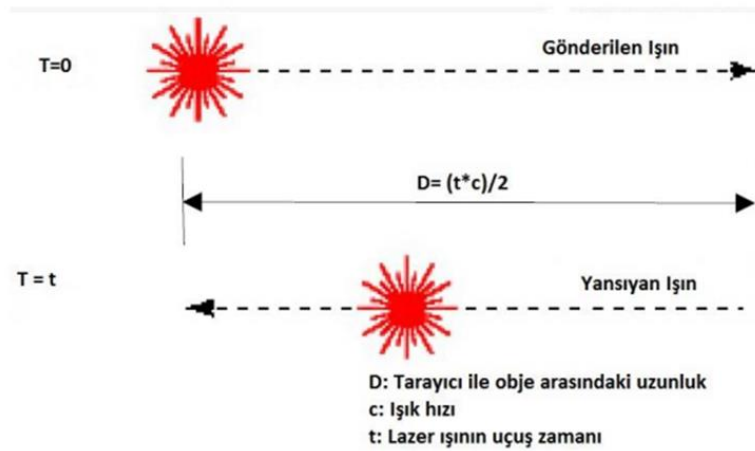
Günümüzde farklı çalışma alanlarında farklı amaçlar için kullanılan çok sayıda yersel lazer tarayıcı mevcuttur (Resim 2.10). Lazer tarayıcıları ölçüm yöntemlerine göre üç farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar lazer ışının gidiş-geliş zamanıyla işlem yapan (uçuş zamanlı) tarayıcılar, faz farkı yöntemiyle işlem yapan lazer tarayıcılar ve üçgenleme yöntemiyle işlem yapan lazer tarayıcılardır.



Resim 2.10 Yersel Lazer Tarayıcı Çeşitlerine Örnekler.

2.5.1.1 Uçuş Zamanlı Lazer Tarayıcılar

Bu prensip, total stationların çalışma prensibine benzemektedir. Bir lazer ışınından iletilen sinyal ile alınan sinyal arasındaki uçuş zamanı ile belirlenir. Uçuş zamanlı lazer tarayıcıların çalışma prensibine ait olan şematik görüntü aşağıda gösterilmiştir (Resim 2.11).



Resim 2.11 Uçuş Zamanlı Tarama Yöntemi Çalışma Gösterimi.

2.5.1.2 Faz Farkı Yöntemiyle İşlem Yapan Lazer Tarayıcılar

Total stationların çalışma prensibine benzerdir. Uzunluk, giden ve gelen dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanıcılar açısından bu yöntemin, uçuş zamanı yönteminden farkı yoktur. Ancak 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 (Gümüş 2008).

2.5.1.3 Üçgenleme Yöntemiyle Çalışan Lazer Tarayıcılar

Üçgenleme yöntemi kullanarak işlem yapan tarayıcılarda konum belirlemek için iki yöntem uygulanır. Tek kameralı ve çift kameralı olmak üzere çözümler uygulanır. Tek kamera çözümünde; nesne ile tarayıcı arasındaki baz uzunluğunun karesi ile orantılıdır. Lazer ışınının gidiş dönüş prensibiyle ölçüm yapan tarayıcılarda iyi sonuç vermektedir. Çift kamera çözümünde ise Charge-coupled device (CCD) kamerası kullanılır. Geometrik çözüm, tek kamera prensibiyle aynıdır. Bu tarayıcılar, yukarıda belirtilen tarama aletlerine bir alternatif olarak görülebilir.

2.5.2 Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları ve Özellikleri

Lazer teknolojisi, özellikle jeodezik ve inşaat ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deformasyon ölçmeleri, mimarlık modellenmesi çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Reshetyuk 2006).

Yersel lazer tarayıcılar, objelerin 3B modellenmesinde henüz yeni bir teknolojidir buna rağmen son yıllarda çok fazla kullanım alanı mevcuttur ve sistemin kullanımı hızla artış göstermektedir. Lazer tarama, kültürel mirasın korunması ve objelerin üç boyutlu modellenmesinde, üç boyutlu görselleştirmede, arkeoloji çalışmalarında, mimari ve tarihi çalışmalarda, şehir modellemelerinde, cephe röleveleri, taranacak obje veya alanın deformasyonlarının belirlenmesinde, binaların, tarihi eserlerin hasar durumlarının değerlendirilmesinde, korunmasında, restorasyon ve röleve çalışmalarında ve tarihi bilgilerin arşivlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisi kullanılarak elde edilen üç boyutlu görüntüler ile tarihi eserler ve önemli yapılar sanal ortamda sunulabilir. Bu çalışmalar

dışında rutin üç boyutlu modelleme çalışmalarında da bu teknik kullanılmaktadır (Reshetyuk 2006).

Yersel lazer tarayıcılar ulaşım ve altyapı çalışmalarında, demiryolu ve karayolu yapımında ve ölçüm çalışmalarında kullanılmaktadır. Demiryolu, tünel, köprü gibi yapıların hasarlarının değerlendirilip gerekli onarım çalışmalarının yapılmasında kullanılır. Ayrıca bu teknoloji ile elde edilen veriler renkli sayısal fotoğraflar ile birleştirilerek mimari uygulamalarda da kullanım imkânı bulmaktadır. Sürekli geliştirilen yazılımlarla tarama sonucu elde edilen üç boyutlu veriler ile yeni veriler üretilebilmekte ve bu avantaj da yine yapılan mimari çalışmalarda kullanılmaktadır (Reshetyuk 2006).



Resim 2.12 Lazer Tarayıcı Cihaz Yapılmış Örnek Demiryolu Hattı Çalışması.

Yersel lazer tarama teknolojisinin başka bir kullanım alanı da kıyıların izlenmesidir. Kıyılardaki erozyon ve sel tahminleri, sel bölgelerinin haritalanması, ulaşılamayan tehlikeli bölgelerin ölçülmesi, kıyı planlaması, kazılarda kesit, hacim ve alan hesaplamaları gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Reshetyuk 2006).

Yapılarda kalite kontrolün yapılmasında, binalardaki incelemelerde ve risk keşiflerinin yapılmasında, yapı bilgi sistemlerinin kurulmasında, binaların üç boyutlu modelinin elde edilmesi ve bu model yardımıyla eskiyen çizimlerin güncellenmesinde kullanılır. Yine endüstriyel tasarımlarda, nokta bulutları yardımıyla elde edilen objenin üç boyutlu modelinden faydalanılarak üretim sırasında ortaya çıkabilecek hatalar takip edilebilmektedir (Reshetyuk 2006).

Madencilikte kazı ölçmeleri, eğim ölçmeleri, deformasyon ölçmeleri gibi çalışmalarda yararlanılmaktadır (Resim 2.13).

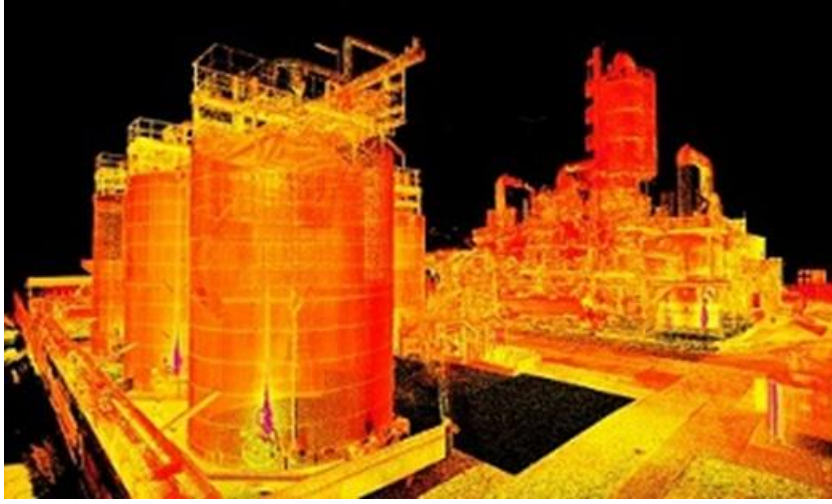


Resim 2.13 Madencilikte Yersel Lazer Tarayıcı.

Barajlar gibi büyük yapıların deformasyon ölçmelerinde ve bu tür çalışmalarda klasik ölçüm yöntemlerinde olduğu gibi sınırlı sayıda değil, fazla miktarda obje noktası alınabilmektedir.

Ayrıca tıbbi görüntüleme çalışmalarında, ölçme ve coğrafi bilgi sistemi uygulamalarında, volkanik gözlemlerde, bu teknolojiye yararlanılmaktadır.

Her türlü uygulama alanında, yersel lazer tarama teknolojisi hem maliyet hem de zaman ve kolaylık açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu teknoloji ile üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntüler ve yüksek hassasiyette veriler elde edilebilmektedir (Resim 2.14).



Resim 2.14 Yersel Lazer Tarama ile Oluşturulan Fabrika Uygulaması.

Kullanıcıların, yersel lazer tarayıcılarını karşılaştırırken tarayıcıların ölçüm hassasiyetini en önemli parametre olarak görmesine rağmen, yapılacak projeye göre tarayıcılarda dikkate alınması gereken çok sayıda diğerkarakteristik özellikler vardır. Bu özellikleri; hız, çözünürlük ve ışın boyutu, alım uzaklığı ve radyasyon etkisi, görüş alanı, kayıt araçları, kameralar, taşıma kolaylığı olarak sıralamak mümkündür.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Harita mühendisliği ana bilim dalında kullanılan ölçüm cihazlarının, insan gücü ve maliyet açısından daha ekonomik olacak şekilde kullanılabilecek bir sistem tasarımı oluşturulmuştur. Tasarım ve buna bağlı olarak yapılan montaj işlemleri araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Sistemin ana hedefi lazer cihazının aldığı veriler ile kesit oluşturulması üzerine planlanmıştır. Hedeflenen kapalı ortamlarda yapılan çalışmalarda otomatik olarak kesitlerin oluşturulmasıdır. Oluşturulacak kesitler yarı otomatik cihaz ile olacağından, insan gücünden tasarruf ederek çalışma yapılması hedeflenmektedir. Çünkü lazer taramanın daha az insan gücüyle ve kısa zamanda veri toplanmasında büyük avantajlara sahiptir. Ülkemiz ulaşım ağının önemli bir kısmını oluşturan (tünel, köprü, vb.) sanat yapılarında veya madencilik çalışmalarında tasarlanan yarı otomatik lazer tarama sistemi aracılığıyla kesitler elde edilmiştir.

Sistem ölçümlerini 1 turda/360° de (bundan sonra adım olarak adlandırılacaktır) 800, 1600, 3200 ve 6400 adımda tamamlamak üzere tanımlanmıştır. Materyal ve metot bölümünde step motor kullanma nedeni ve hareket kabiliyeti olarak açıklanacak nedenlerden ötürü sistem kendi eksenini etrafında 1 tam turunu 4 farklı ölçüm çeşidine göre tamamlamak üzere oluşturulmuştur.

Amaç bu tam turu tamamlarken sistemin maliyet, doğruluk, zaman değerlendirilmelerinin araştırılarak kullanılabilirlik bakımından uygunluğuna cevap bulmaktır. Bunun için her bileşen değerlendirmesi yapılarak çalışmanın yararlanabilirliği tespit edilecektir. Adım sayılarından beklenen hassasiyet step sürücünün tur sayısını yükseltmesi ile daha hassas konum aralıkları oluşturmaktır. Ancak tur sayısının artması zaman açısından bize uygun olabilirliği nasıl etkileyecek bilinmemektedir. Sistemin kurulma amacına ve araştırılmasına neden olan 4 ana bileşen aşağıda yapılan açıklamalarda görüldüğü gibi oluşmuştur.

- **Maliyet**

Benzer şekilde 2 boyutlu kesit oluşturabilen cihazların olmaması göz önünde bulundurularak, lazer tarama prensibi ile çeşitli yöntemler kullanarak çalışan tarayıcı fiyatlarına göre karşılaştırma yapılacaktır.

- **Zaman**

Zaman bileşeninde cihazın ölçüme hazır hale getirilmesi ve 4 farklı tur sayısında ortalama ne kadar sürede ölçümü tamamladığı esas alınacaktır.

- **Doğruluk**

Bu bileşenimiz, sonucu en fazla etkilemesi beklenen bileşendir. Galeri ve tünel olarak belirlenen hedef çalışma alanımız da mevcut durumda uygulamaya esas yapılan projeler bulunmaktadır. Tünel çalışmaları yapımında meydana gelen toprak hareketlerinde maksimum ± 5 cm olan uzunluk miktarı hata payı içinde kabul edilmektedir. Bu mesafe baz alınarak elde edilen veriler sonucunda kullanılabilirlik etkilenecektir.

- **Kullanılabilirlik**

Sistem ile yapılan ölçümler sonrasında sonuçların değerlendirildikten sonra çalışmanın kullanılabilirliğinden bahsedilecektir.

Yapılan deneysel testlerde Sick marka çizgi lazer metre, acer marka bilgisayar, Nema 24 step motor, M542 step motor sürücüsü, elevatörlü alet sehpası, balya taşıma arabası, elektronik açı-mesafe ölçer teodolit, jel akü ana bileşenleri olarak çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemeler ile daha detaylı bilgiye tasarım kısmında yer verilecektir.

3.1 Sistem Bileşenleri

Çalışmanın sistem bileşenlerinin tasarlanması 3 ana başlıkta anlatılmaktadır. Bu ana başlıklar mekanik, donanım ve yazılım olarak tanımlanmıştır. Her bir ana bileşenin altında yer alan alt bileşenler kendi içinde ayrı ayrı ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler belirlenirken dikkat edilen en önemli etken düşük maliyet ile ihtiyacı karşılayacak şekilde belirlenmiş diğer bileşenlerdir. Belirlenen kriterlere göre alım ve kurulum sağlanmıştır.

3.1.1 Mekanik

Mekanik biliminin insan yaşantısında yeri her daim büyük olmuştur. Suyun akışından tutun da, insanın yaşamını kolaylaştırmak için tasarlanan, makinelerin çalışmasına kadar tabiattaki bütün hareketler mekanik prensiplerine göre gerçekleşir. Mühendisliğin tüm uygulamalarında büyük öneme sahip olması nedeniyle bu çalışma kapsamında ana başlık olarak yerini almaktadır. Kurulan sistemin mekanik parçaları; bilgisayar, elektronik teodolit, alet sehpası, taşıma aracı ve aküden oluşturulmuştur.

3.1.1.1 Dizüstü Bilgisayar

Sistemin ana bileşenlerinden biri olarak tanımlayabiliriz. Günlük hayatımızdaki kumanda ile benzetmek tam bir eşleşme sağlar. Bilgisayar sayesinde oluşturan lazer tarama cihazının açılıp-kapanması, ölçülerin kontrol edilmesi, ölçümün başlatılması, verilerin alınması gibi ana görevlerin yapılmasını sağlamaktadır. Başka bir tanımlama daha belirtecek olursak; cihazın insan-materyal bağlantısını sağlayarak bir tercüman gibi çalışmasını kontrol etmek gibi hayati olguları, kullanacağımız ara yüz programı sayesinde arka planda yapılanları takip etmeyi sağlayan bileşendir (Resim 3.1). Sistem çalışması aşamasında kullanılan bilgisayar acer marka Windows 10 sürümü, Intel(R) Celeron(R) CPU N3050 @ 1.60 GHz işlemci, 1.83 GB Yüklü Bellek (RAM), 64 bit İşletim Sistemi, 500 GB HDD kart özelliklerine sahiptir. Kullanılan ara yüz, fazla bir kapasiteye ihtiyaç duymamasından dolayı çok kapsamlı bir cihaz kullanılmasına gerek kalmamıştır.



Resim 3.1 Dizüstü Bilgisayar.

3.1.1.2 Çizgi Lazer Metre

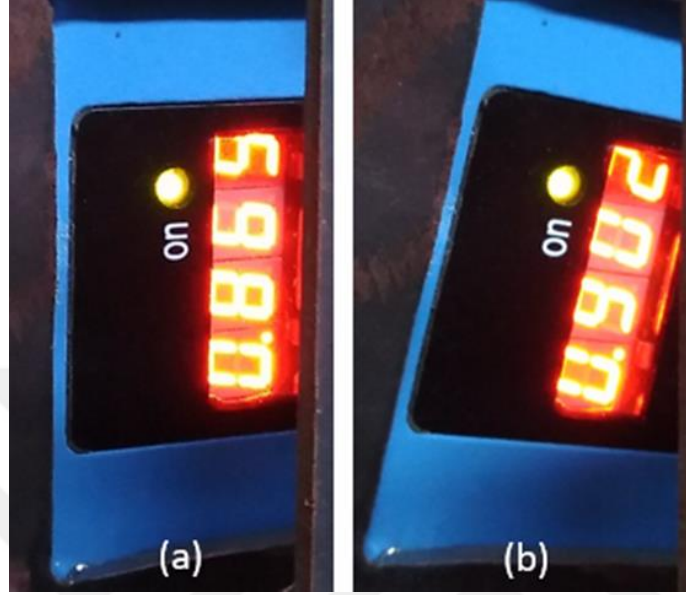
Bu çalışmada kullanılan lazer tarayıcı çizgi lazer metre olarak tanımlanır. Araştırmamızda Sick DT 500 marka çizgi lazer metre kullanılmıştır (Resim 3.2).



Resim 3.2 DT 500 Çizgi Lazer Metre (İnt.Kyn.8).

Mekanik içinde bulunan en büyük öneme sahip bileşen olarak değerlendirilebilir. Lazer metre tanım olarak lazer ile mesafe ölçmeye yarayan cihazlara denilmektedir. Hassas ölçüm yapabilmesi sayesinde profesyonel ve amatör kullanıcıların birçok alanda ölçüm yapmasını sağlamaktadır. En büyük avantajı tek kişi ile ölçüm yapılabilmesi ve normal metrelerden daha hassas ölçüm yapılabilmesidir. Oluşturulan sistemde ilgili verilerin elde edilmesi amacıyla kullanmamız gereken açı ve mesafe verilerinden, mesafe verilerinin toplanması amacıyla kullanılmıştır. Çizgi lazer metre bize sürekli ölçüm verisinin alınmasını sağlamaktadır. Aşağıdaki resimde (a) ve (b)

durumlarında anlık olarak sürekli veri toplayan çizgi lazer metrenin ölçüm değerleri sunulmuştur (Resim 3.3). Bu alınabilecek veriler beyaz üzerinde 70 m, siyah üzerinde 30 m'ye kadar doğal nesneler için kesin mesafe ölçümlerini gerçekleştirmektedir.



Resim 3.3 Çizgi Lazer Metrenin Anlık Alım Değerleri (metre cinsinden).

Bir bakışta Sick DT500 çizgi lazerin seçilmesinde öne çıkan özellikler;

- Siyah üzerine 30 m'ye kadar beyaz üzerine 70 m'ye kadar tarama mesafesi,
- Çok yüksek ölçüm hassasiyeti ve tekrarlanabilir olması,
- Yüksek oranda sert alüminyum alaşımdan sağlam gövde,
- Analog ve anahtarlama çıkışları gibi seri ara yüzler,
- Seri kullanım ve tak-çalıştır olarak devreye alma ekranı menüsü bulunmaktadır.

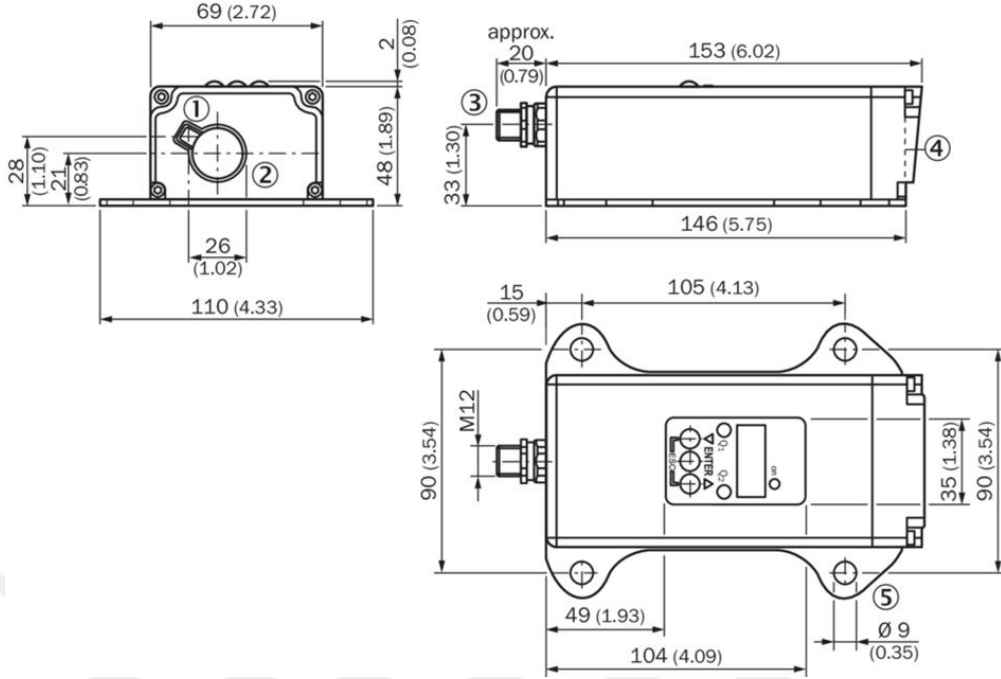
Boyutları uygun bulunan çizgi lazer metre, aynı zamanda alınacak mesafe verilerinin yüksek doğruluk ve hassasiyet içermesi gerekmektedir. Bu sayede sonuçlarımızın iyi olması gereklidir. Teknik özellikleri yukarı da kullanım kılavuzunda gösterilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 DT 500 Teknik Özellikler.

SICK DT 500 Çizgi Lazer Metre Teknik Özellikleri	
Ölçüm mesafesi	0,2 m. 90 m, %90 yansıtma oranı ^{1) 2)} 0,2 m. 30 m, %6 yansıtma oranı ^{1) 2)}
Ölçülen nesne	Doğal nesneler
Çözünürlük	12 bit
Tekrarlanabilirlik	1 mm ^{3) 4)}
Doğruluk	± 3 mm
Tepki süresi	150 ms. 6.000 ms.
Çıkış süresi	150 ms. 6.000 ms
Işık kaynağı	Lazer, kırmızı
Lazer sınıfı	2, sapmalar haricinde 24 Haziran 2007 tarihli “Lazer uyarısı No. 50”ye göre olan 21 CFR 1040.10 ve 1040.11' ile uyumludur (IEC 60825-1:2014, EN 60825-1:2014)
Tip. ışık demeti çapı (mesafe)	10 mm (7 m'de) 45 mm (30 m'de)

¹⁾ (Ortam ışığı maks. 1 kLux sabit ışık ile) ²⁾ (Sadece 150 m'ye kadar açık şekilde) ³⁾ (%6 ... %90 yansıtma oranı.) ⁴⁾ (Ortalama çalışma süresi: T_U = +25 °C için 50.000 saat).

Sistem tasarımında çizgi lazerin mesafe hassasiyeti ve doğruluğunun yanında boyutları da önem arz ettiği için (Sistem tasarımında uygun bölgeye yerleştirilmesi için önemli) daha önce ölçüleri (Resim 3.4) kılavuzdan elde edilen bu model lazer metre kullanılmıştır. DT 500'ün ölçülerine ait ekran alıntısı Sick resmi sitesinden elde edilmiştir.



Resim 3.4 Çizgi Lazer Metre Ölçüleri (① optik eksen, verici; ② optik eksen, alıcı; ③ 5 pinli M12 erkek konnektör; ④ cihaz sıfır noktası; ⑤ sabitleme deliği) (Ölçüler mm) (İnt.Kyn.8).

3.1.1.3 Alet Sehpası

Haritacılık açısından çok önemli bir yere sahip olan alet sehpası, bu çalışmada da sistemin dengesini sağlama aşamasında omurga görevini üstlenmektedir. Yer ölçüm işlemlerinde sehpa olmadan çalışma yapılamayacağı yüksek ihtimaldir. Step motor ile hareket kabiliyeti kazanmış olan lazer metrenin aynı nokta üzerine sabitlenmesi ve buradan ölçüme devam edebilmesini sağlamak, yatay ve düşey ekseninde düzeçlendikten sonra mevcut konumunu bozmadan sabit bir nokta da veri alma kabiliyetimize olanak sağlamaktadır. Bu oluşturulan sistemin çalışmasında SJP 70 marka elevatörlü alet sehpası kullanılmıştır (Resim 3.5). Elevatörün İngilizce karşılığı asansör anlamına gelir. Yani alet sehpasının ayar kollu olması denebilir. Bu ayar kolu sayesinde gerektiği takdirde alet kurulum yeri değişmeden yerden yükseklik ile ayarlama yapılarak ölçü kabiliyetinin artırılması amaçlanmaktadır. Elevatör bulunduğumuz noktada sadece yükseklik değiştirilerek aynı konumda içinde bulunulan fiziksel ortama göre ölçüme kolaylık sağlamak amaçlanarak kullanılmıştır. Başka bir kolaylık ise alet sehpası ortasında yer alan boşluk sayesinde (Sehpa içinde olan körük sistemi) cihaz monte aşamasında eklenen alet tablasında bulunan lazer ile koordinatları belli nokta üzerine kurulum sağlanması amaçlanmaktadır.



Resim 3.5 Elevatörlü Alet Sehpaı.

SJP 70 Elevatörlü alet sehpaı kullanılmasında öne çıkan özellikler;

- Yukarı ve aşağıya ayar yapabilmek için geliştirilmiş sonsuz dişli ve mil yapısına sahiptir, daha güvenilir ve istikrarlı çalışabilir,
- Merkez elevator kolonu yükseklięi ölçmek için mm ölçüm derecesine sahiptir,
- Ayaklar ve lastik pabuçlar arasındaki zincirler ayakların kaymasını engeller,
- Kapalı uzunluk: 110cm, açık uzunluk: 230cm, orta kolon 76 cm,
- Ağırlık: 5 kg.

3.1.1.4 Elektronik Teodolit

Bu çalışma da South Elektronik Teodolit (ET) “ET 05” kullanılmıştır (Resim3.6). ET kullanılmasıının amacı yapılan çalışmada lazer metrenin bir nokta üzerinde tesis edilmesinden sonra hat, güzergâh üzerinde doğrultuya girmesini sağlamaktır. Elektronik teodolit sadece açı ölçme maksadıyla kullanılmıştır. Sistemin belirli bir nokta da kurulum işlemi yapıldıktan sonra ölçüm yapılacak alanda güzergâhın içinde olması sağlanacaktır. Belirli bir güzergâha ait noktaya tesis edilen lazer metre yine teodolit yardımıyla dik bir açı sağlayacak şekilde yönlendirmesinin yapılmasını sağlamıştır.



Resim 3.6 Elektronik Teodolit (ET 05).

Mevcut hatta dik bir konumda olmasının sağlanarak lazer metre ile alınan veriler sonucunda oluşacak kesitler nokta ya da hat üzerinde 90° sağ/sol konumunda olması sağlanmıştır. ET açılı bağlantısını sağlama dışında ölçüye hazır hale gelmek için silindirik düzeç ile lazerin düzeçleme işlemini de sağlayacaktır. (Çizelge 3.2)'de kullanılan South marka elektronik teodolit teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 South ET Teknik Özellikleri.

Teknik Özellikler	South ET 05
Dübbün Görüntüsü	Düz
Dübbün büyütmesi	30X
Serbest objektif çapı	45 mm
En kısa netleştirme mesafesi	1.4 m
En küçük açılı ölçü birimi	1" / 5" seçilebilir
Açılı ölçü hassasiyeti	2"
Gösterge ve klavye	İki yüzde klavye, aydınlatma
Kompensatör çalışma aralığı	$\pm 3'$
Küresel düzeç hassasiyeti	8' / 2 mm
Silindirik düzeç hassasiyeti	30" / 2 mm
Batarya ile kullanım süresi	10 saat
Batarya voltajı	6V

3.1.1.5 Akü

Sistemin çalışmasını sağlamak için temin edilen gerekli enerji 2 Adet 12V jel aküleri ile sağlanmıştır. Jel akülerin, standart sulu akülerin gerekli performansı sağlayamadığı alanlarda büyük bir kullanım alanı bulunmaktadır Jel aküler dönüşüm prensibiyle çalışırlar. Bundan dolayı, jel akülerde güvenlik nedeniyle sadece yüksek basınçta açan özel valf sistemi bulunur ve bu sistem gazların aküden uzaklaşmasını engelleyerek su kaybını minimize eder. Bakımsız tip akü olmaları tercih sebebidir. Dolayısıyla jel akülere hiçbir şekilde saf su vb. ilave edilmez. Jel akülerin avantajlarından biri de bünyesinde sıvı elektrolit bulundurmıyışdır. Bu nedenle herhangi bir şekilde elektrolitin akıp akünün bulunduğu ortama zarar verme ihtimali yoktur. Bu sayede belli zaman sonra aküden kaynaklı verilebilecek hasar en az seviyeye indirgenmiştir. Kullanıcıların jel aküyü tercih etmelerindeki önemli etmenlerde biri jel akülerin kullanılabilir kapasitesidir. Sulu akülerde kullanılabilir kapasite maksimum %50 mertebesindeyken, jel akülerde bu değer %80'dir. Yani 100 Ah'lık bir sulu aküden 50 Ah kullanılabilirken, 100 Ah'lık jel akünün rahatlıkla 80 Ah'lık dilimi kullanılabilmektedir. Jel akü tercih edilmesinde sayılan özelliklere ilave olarak jel akülerin sahada geniş bir kullanım alanı bulmasının en önemli etkeni jel akülerin çevrim ömrüdür. Jel aküler sulu akülerle kıyaslandığında, aynı kullanım koşullarında jel akülerin 4-5 kat arası daha yüksek ömür beklentisi vardır. Sahada uygulama işlemi yapılması sırasında 24 saat kesintisiz işlem yapabilmek amacıyla jel aküler kullanılmıştır. Yapılan uygulamalarda kullandığımız tüm gün çalışması için gerekli enerjiyi sağladığı görülmektedir.

Jel akü kullanım alanları incelendiğinde geniş bir yelpaze içerisinde.

- Tekneler
- Karavanlar
- Golf Araçları
- Yer Temizleme Makineleri
- Yenilenebilir Enerji Sistemleri
- Telekomünikasyon Sistemleri
- Tekerlekli Sandalyeler

- Mobil Dükkanlar gibi çok çeşitli alanlarda kullanıldığı tespit edilmiştir.

3.1.1.6 Taşıyıcı Araba

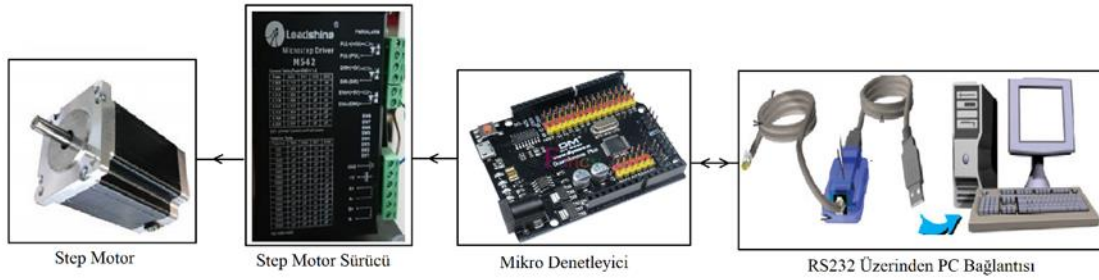
Oluşturulan lazer metrenin kullanım yeri olarak hedeflenen alanlarda taşıma kolaylığı ve zamandan kazanım sağlaması çok önemli bir etkidir. Bu çalışmanın da hedef bölgesi olarak tünel, maden vb. başka kapalı galeriler düşünüldüğünden bir noktadan başka bir noktaya hızlı taşınmak önemlidir. Bu hızlı taşımanın yanında ölçüme başlama ve bitirme süresince geçen zaman da kısa olmalıdır. Çalışma alanında ki hareketlilik haritacılıkta bize en büyük dezavantaj olarak kaybolan malzemeler olarak geri dönmektedir. Bu nedenle gerek arama yapmak için harcanan zaman, gerek ise kırılan, kaybolan malzemelerin temini ekonomik açıdan zarar oluşturmaktadır. Bu zararları engellemek ve taşıma kolaylığı sağlaması amaçlanarak, çok amaçlı ürün taşımalarında kullanılmakta olan bir taşıma aracı temin edilmiştir (Resim 3.7). Bu sayede mobil olarak hareket etmesi sağlanan sistemin avantajları yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Ayrıca diğer bir fayda ise; çalışma bölgesinde kullanılan büyük veya küçük tüm araçlar hızlı bir şekilde verilen görevleri yerine getirmek için zaman ile yarışmaktadırlar. Bu hızlı hareket esnasında haritacılık çalışmalarının yer değiştirmeyi engellemesi uzun vadede mali ve iş gücü kaybı oluşturmaktadır. Oluşturulan mobil platform sayesinde hem daha hızlı bir şekilde istenilen alanda çalışma tamamlanacak hem de çalışmanın bitmesiyle hızlı bir şekilde geride aparatların kaybolmasına engel olarak yer değiştirme olanağı sağlanmıştır.



Resim 3.7 Taşıma Aracı (İnt.Kyn.2).

3.1.2 Donanım

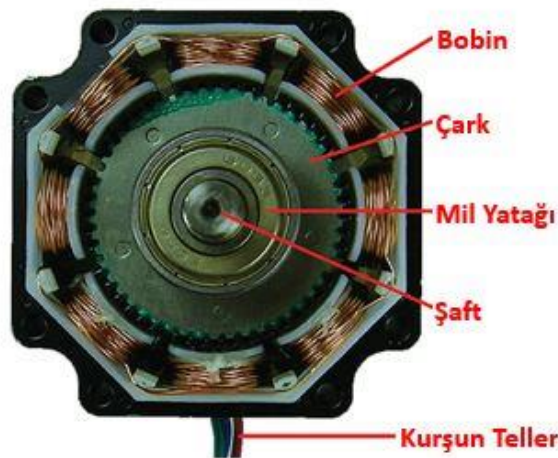
Resim 3.8’de düşük maliyetli yarı otomatik yersel lazer tarama sisteminin donanım bölümüne ait blok diyagram görülmektedir. Donanım bölümü yazılım ile mekanik yapı arasındaki yapıyı kontrol ederek istenilen tarama açıları arasında lazer mesafe ölçüm verilerin PC ortamına aktarılmasını sağlamaktadır. Donanım bölümü mikro denetleyici, step motor ve sürücü devresi olmak üzere 3 temel bölümden oluşmaktadır.



Resim 3.8 Donanım Bloğu.

3.1.2.1 Step Motor

Step motorları; girişlerine uygulanan darbe sinyallerine karşılık olarak analog dönme hareketi yapan yani açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen, fırçasız, sabit mıknatıs kutuplu motorlar şeklinde açıklayabiliriz (İnt.Kyn. 3). Şekil 3.9’da step motoru oluşturan temel bölümler verilmiştir. Stator sargılarına sıralı olarak verilen darbe dizileri ile rotorun dönme yönü, hızı ve açısı ayarlanmaktadır.



Resim 3.9 Step Motorun Bölümleri.

Step motorları bir motor turundaki adım sayısı ile anabiliriz. Örnek olarak; 400 adımlık bir step motor, bir tam dönüşünde (tur) 400 adım yapar. Yani 360° olan tam turu 400 adım da tamamlamaktadır. Bu durumda bir adımın açısı $360^\circ/400 = 0.9^\circ$ derecedir. Bu step motorun hassasiyetinin bir göstergesidir. Bir devirdeki adım sayısı yükseldikçe step motorun hassasiyeti artmaktadır. Tabi ki bu hassasiyet artmasına ters orantılı olarak maliyeti de artar. Yarım adım modunda çalıştıklarında hassasiyetleri daha da artar. Örnek olarak 400 adım/tur değerindeki bir step motor, yarım adım modunda tur başına 800 adım yapar. Daha hassas olan 0.45° derecelik bir adım açısı anlamına gelir. Bazı step motorlarda mikro step tekniği ile adım açılarının daha da azaltılması söz konusudur. Yani bir step sürücü kullanarak adım/tur sayılarını daha hassas olacak elde etmek mümkündür.

Çalışma da Nema 24 marka step motor kullanılmıştır. Kullanılan step motora ait teknik özellikler sunulmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Nema 24 Teknik Özellikleri (İnt.Kyn.9).

DT 500 Teknik Özellikler	
Teknik Özellikleri	
Tutma Torku	3.1 Nm
Akım	2.97 Ah
Nema	24
Flanş Ölçüsü	60*60 mm

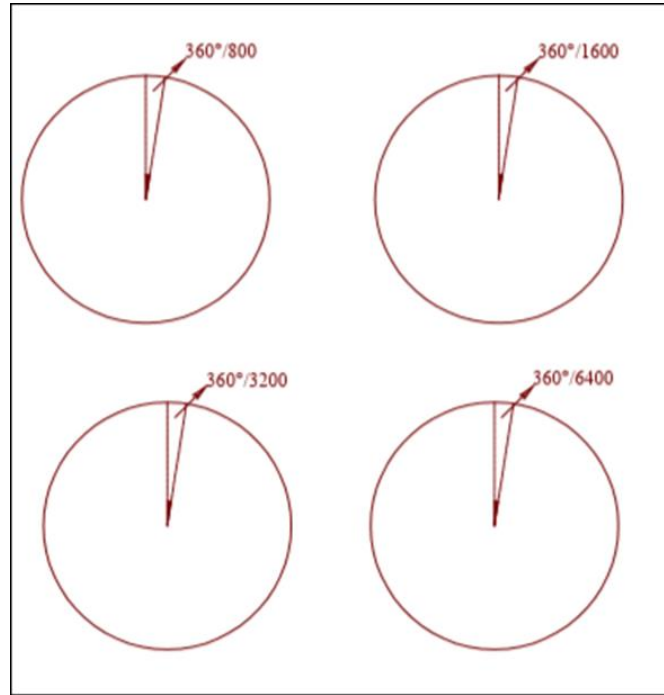


Resim 3.10 Step Motor (İnt.Kyn.13).

Sistemin hareket kabiliyetini step motor sayesinde yapma nedenleri şunlardır;

- Basit ve doğru bir şekilde hız kontrolleri yapılabilir,
- Yüksek hassasiyetle pozisyonlama alabilirler,
- Step motorların bir devirdeki yapmış olduğu adım sayısı yükseldikçe hassasiyeti artar,
- Yüksek duyarlılık ve tutma torkuna sahiptirler,
- Step motorların hassasiyetlerini mikro step tekniği ile 0.07 dereceye kadar düşürmek mümkündür,
- Motor hareketlerinde konum hatası yoktur,
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca durdurulup çalıştırılabilirler,
- Step motorların mekanik yapıları oldukça basit olduğundan bakım gerektirmezler,
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci ile kontrol edilirler (İnt.Kyn.9).

Yapılan çalışmada kullandığımız sürücü ile adım sayıları belirlenmiştir. Bu adımlar 800, 1600, 3200 ve 6400 adım olarak yapılmıştır (Şekil 3.11).

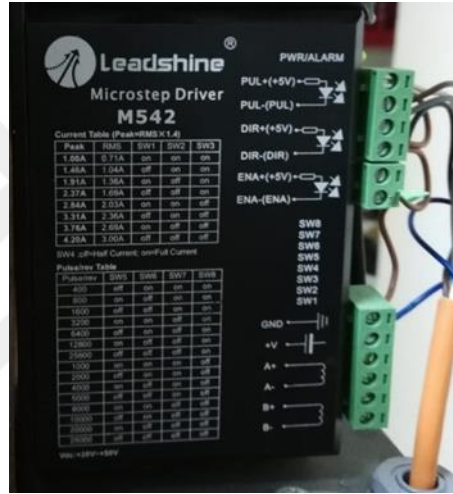


Resim 3.11 Tur Sayılarının Şematik Gösterimi.

Yukarıda yer alan şekilde her adımın en küçük alabildiği açıyı ifade eden şekle yer verilmiştir. Tur sayıları ile yapılan çalışmalar hakkında bulgular kısmında bahsedilecektir.

3.1.2.2 Çok Eksenli Step Sürücü

Step motorları istenilen yönde ve hızda çalıştırmak istendiğinde ve adım adım motorun ne kadar hareket edeceğine imkân veren mekanizmaya step motor sürücüsü adı verilmektedir Bu uygulamada Leadshine M542 marka step sürücü kullanılmıştır (Resim 3.12).



Resim 3.12 M542 Step Sürücü.

Step motor sürücüsü; Motorda uygulanacak darbeler basit olarak bir anahtarlama sistemi ile oluşturulan, bu işlemi yapan devrelere sürücü devresi veya kontrolör denir. Çalışmada step motor hareketlerini kontrol etme ve bir tam turu ne kadar dönme hareketi ile tamamlayacağına karar verdiren sistem bileşenini oluşturmaktadır. Step motorun dönme kabiliyetini arttırmak için kullandığımız sürücü ile motor hareketlerini maksimum yapılabilecek en küçük seviyeye ulaşması sağlanacaktır. Step motor bir tam turu 400 adımda atabilme kapasitesine sahiptir. Sürücü sayesinde motorun, farklı olarak 800, 1600, 3200 gibi artarak devam ederek, 25000 adıma kadar turu tamamlaması sağlanmıştır.

Piyasada bulunan farklı motorları, düşük gürültü, düşük ısınma, pürüzsüz hareketi ile step sürücüsü ile çalıştırabilirsiniz. Sürücü daha yüksek hızlarda daha iyi performans sağlamaktadır. Step sürücünün öne çıkan özellikleri (İnt.Kyn.11);

- İyi yüksek hız performansı,
- Ondalık ve ikili 15 seçilebilir çözünürlük, en fazla 25.600 Adım/Devir
- 4.5A'e kadar çıkış akımı,
- Kendinden ayarlama teknolojisi,
- Voltaj: 20v - 50v,
- 4.5 Amper
- Boy 119 mm, En 75 mm, Genişlik 35mm,
- Düşük voltaj, yüksek voltaj ve aşırı akım korumaları mevcuttur,
- 2 faz ve 4 fazlı step motorlar için uygundur,
- Saf sinüzoidal akım kontrol teknolojisi,
- 300 KHz kadar darbe giriş frekansı
- Otomatik boşa akım azaltma olarak sayabiliriz.

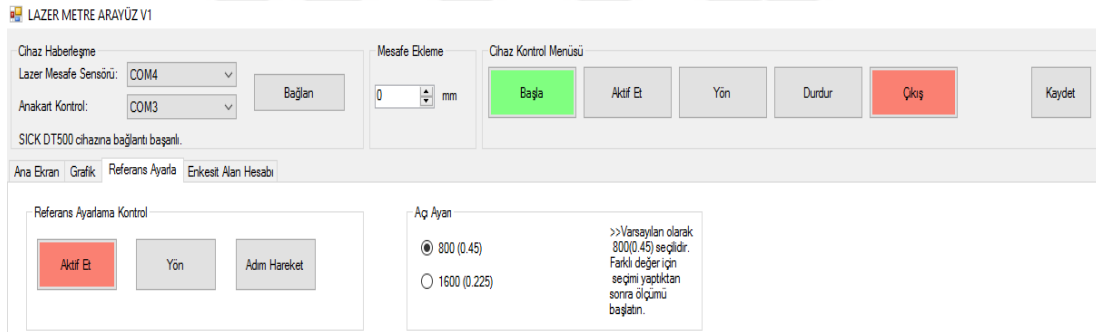
3.1.3 Yazılım

Bir bütünü oluşturan bileşenlerin tamamı sistemi oluşturur. Bu çalışmada oluşturulan bütün sistemin mekanik ve donanım kısımları anlatılmıştır. Bütün içinde diğer aksamaların işlevselliğini yerine getirmesinde kullanılan bileşen ise yazılımdır. Yazılım, elektronik cihazların belirli bir işi, görevi ya da komutu yapmasını sağlayan programların tümüne verilen isimdir. Daha detaylı olarak; değişik ve çeşitli görevler yapma amaçlı tasarlanmış elektronik aygıtların birbirleriyle haberleşebilmesini ve uyumunu sağlayarak görevlerini ya da kullanılabilirliklerini geliştirmeye yarayan komutlardır. Sözlükte kullanılan bilinen tanımı ise; donanıma hayat veren ve bilgi işlemde kullanılan programlar, yordamlar, programlama dilleri ve belgelemelerin tümü olarak adlandırılmıştır.

Bu kısımda Microsoft tarafından geliştirilmiş olan bir programlama dili “C Sharp Programlama Dili” (C#) vasıtası ile yazılım ara yüzü oluşturulmuştur. Sistem ara yüz tasarımı ise Microsoft Visual Studio ile desteklenerek yapılmıştır. Burada C Sharp

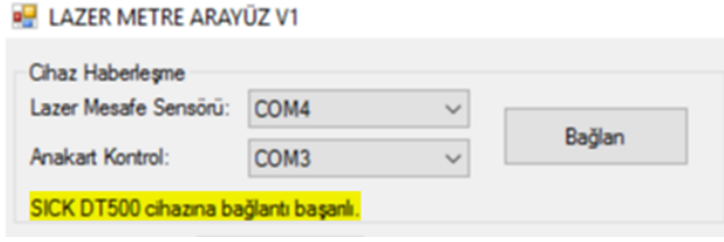
kullanmada temel amaç yapılan yazılımın belirli bir işletim sisteminde değil de tüm işletim sistemlerinde rahatça çalışmasına olanak sağlamasıdır. Kısaca özetlersek (C#)'da oluşturulan veriler önce ara koda derlenir. Bu derlenen ilk kodun uzantısı exe'dir. Bu dosya çalıştırılmak istendiğinde ise Net Framework devreye girer ve ara kodu makine koduna dönüştürür. Bu sayede artık kodu bilgisayar anlayabilir. Yani Net Framework ara kodu bilgisayarın anlayabileceği şekilde tercüme etmiştir (İnt.Kyn.12).

Sistemin yazılım kısmı cihazın kontrolü ve kesitlerin oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır. Burada step motorun hareket etmesinde el ünitesi olarak kullandığımız bilgisayar ile iletişim sağlamamıza yaramaktadır. Aşağıda ara yüz kullanıcı giriş ekranında yer alan menü ve çubukların şekli ve ne işe yaradıklarından bahsedilecektir (Resim 3.13).



Resim 3.13 Yazılım Ara Yüz Girişi.

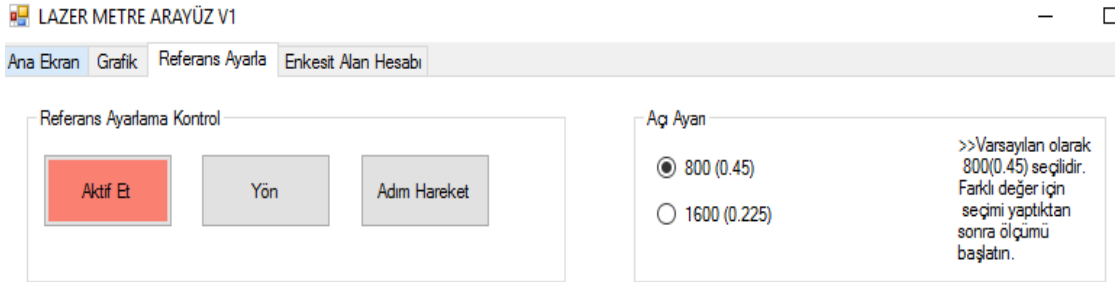
Sistem bağlantısı mavi ve siyah başlık ile iki kablo bağlantısı kullanılarak, birbirinden ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar da bulunan port girişleri com 3 ve com 4 olarak adlandırılmıştır. Siyah kablo ile com 3, mavi kablo ile com 4 bağlantıları sağlanmıştır. Bağlantı kurulduktan sonra bu kablolar ile bilgisayarda komut verme, kontrol etme vb. özellikler sağlanmaktadır. Kablo bağlantısı sağlandıktan sonra kullanıcı lazer metre ara yüz yukarıdaki ekranında görüldüğü gibi menü gelmektedir (Resim 3.13). Lazer Metre Ara yüz V1 ekranında ilk olarak “Bağlan” tuşu ile bağlantı kontrol edilmelidir. Kontrol sağlandıktan sonra hemen alt kısımda kullanıcı tarafından görülecek şekilde “DT 500 cihazına bağlantı başarılı” (sarı renk ile detay belirtilmektedir) uyarısı ile cihaz ile bilgisayar bağlantısı yapılmış olup artık cihaz ölçüme başlayacak hale gelmektedir (Resim 3.14).



Resim 3.14 Ara Yüz Kontrol Bölmesi.

Ara yüz çalıştırılarak sistem bileşenlerinin iletişimini sağlamaktadır. Sistem bileşenlerinin iletişimleri bağlantı sağlandıktan sonra “Cihaz Referans Ayarlama Menüsü” aracılığı ile ölçüm hazırlığı, başlatılması, durdurulması ve bitirilmesi sağlanmıştır.

Referans ayarlaması yapmadan önce, ara yüzün açılı ayarı modülünde kesitin kaç adımda oluşması için gerekli seçim ekrana eklenerek (bir turu kaç adım da tamamlayacağı) seçilmesi sağlanmıştır. Step motor ve sürücü ile 360° olan tam turun 800, 1600 vb. kaç adım sayısında dönmesi gerektiği seçilerek ölçümü başlatma kabiliyeti eklenmiştir. Referans ayarlama adı verilen menü çubuğundan (Resim 3.15)’de görüldüğü üzere 800 adımlık seçilerek aktif edilir. Ölçüyü kaç adımda yapacağımızı belirledikten sonra “Cihaz Referans Ayarlama Menüsü” ile kullanım detayları aşağıda sunulmuş olan ayarlamalar yapılmaktadır (Resim 3.15).



Resim 3.15 Lazer Metre Referans Ayarlama Bölümü.

Detaylı örnekleme ile anlatım yapılacak olursa; “Aktif Et” tuşu anahtar kilidi olarak adlandırılmıştır. Lazer metrenin kilitlenip hareket etmemesini sağlamıştır. Bu tuş yardımı ile lazer metrenin serbest bırakılması sağlanır. Çözülmüş lazer metre manuel olarak istediğimiz yönde hareket etmektedir. Daha sonra tekrar bu tuş ile cihaz kilitlenir. “Yön” tuşu ile her tıklamada lazer bir adım seçtiğimiz yöne doğru hareket kabiliyeti sağlamıştır. Bu tuş lazer metrenin bir yöne doğru hareket etmesini

sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Ters yönde hareket ettirmek istediğimizde yine “Yön” tuşuna çift tıklatarak ters yöne doğru anahtar kilidinin dönmesi sağlanmaktadır. Ardından “Adım Hareket” tuşu ile lazer metre ölçüye hazır hale gelmeden düzeçleme işlemi tamamlanır. Yani lazer çekül doğrultusuna getirilerek ölçüme başlatılmaya hazır olmaktadır. Bu sayede düzeçleme işlemi tamamlandıktan sonra ölçüm işlemi için hazır hale gelmektedir.

Kullanıcı bu menüler ile cihazın kurulumunu (Aynı zamanda düzeçlenmesi işlemi de gerçekleştirilmiş olmaktadır.) tamamladıktan sonra lazermetre üzerinde monte edilen silindirik düzeç kontrolü yapılmıştır. Bu kontrol ile lazerin nokta üzerinde tek bir doğrultuda (çekül doğrultusunda) olarak ölçüye başlanması sağlanmaktadır.



Resim 3.16 Ölçüye Hazır Ara Yüz Görüntüsü.

Ölçüye başlamadan önce ara yüz (Resim 3.15)’de olduğu gibi görülmektedir.

Başla: Ölçüyü Başlatma

Aktif Et: Step Sürücünün Hareket Etme Yön Anahtarı

Yön: Step Sürücünün Adım İlerlemesi

Durdur: Ölçüyü Durdurma

Kayıt: Verilerin Kayıt Edilmesi

Çıkış: Menüden çıkış.

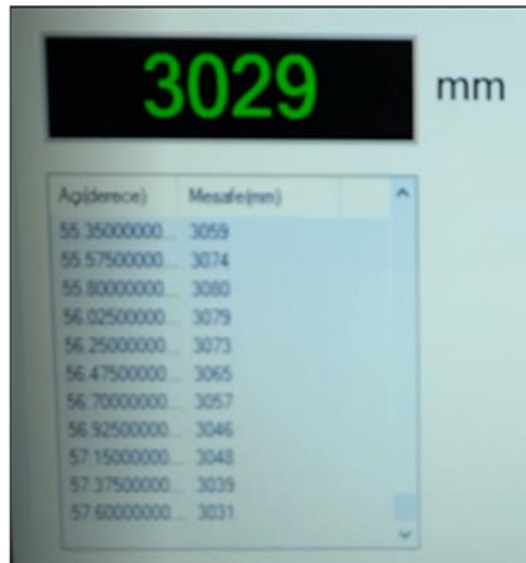
(Resim 3.16)’da görülmekte olan butonların işlevleri yukarıda anlatılmıştır. Bu bölümde kullanıcı isterse son bir kontrol yapma kabiliyetine sahiptir. Tüm bu adımlar yapıldıktan sonra ölçüm başlatılabilir hale gelmiştir.

Oluşturulan ara yüzde bize sunulan nokta okuması esnasında anlık olarak veriler takip edilebilir. Motorun step hareketinde lazer metre değeri kayıt edilmiştir ve verinin anlık olarak takip edilmesi sağlanmıştır. Bu kullanıcıya istediği anda ölçüyü durdurup devam ettirme olanağı sağlamaktadır. Bununla beraber sistemin düzece alınması için motorun step hareketlerini de yazılım sayesinde kontrol etme imkânı doğmuştur. Ham ölçü verisini excel formatında, açı değerlerini derece cinsinden, uzunluk değerlerini ise mm cinsinde kayıt edilebilmektedir.



Resim 3.17 Ölçüye Başlamadan Önceki Görünüm.

Lazermetreinin ölçüm anında oluşturduğu verilere ait görünüm açı ve mesafe verileri anlık olarak takip edilmektedir (Şekil 3.18).



Resim 3.18 Anlık Ölçüm Değerleri.

3.2 Sistem Tasarımı

Sistemin oluşturulması için gerekli aksamalar temin edildikten sonra planlanan tasarım ayağı çalışmalarına başlanmıştır. Bu kısımda sistem ilk olarak laboratuvar ortamında fiziksel olarak sabitlenmeden birleştirilerek tüm açılardan fotoğraflanmıştır. Bu fotoğraflama sayesinde 3 boyutlu (3B) model tasarımı oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında çekilen fotoğraflardan bir kısmı (Resim 3.19, 20)'da sunulmuştur.



Resim 3.19 Laboratuvar Görüntüleri Açık 1.



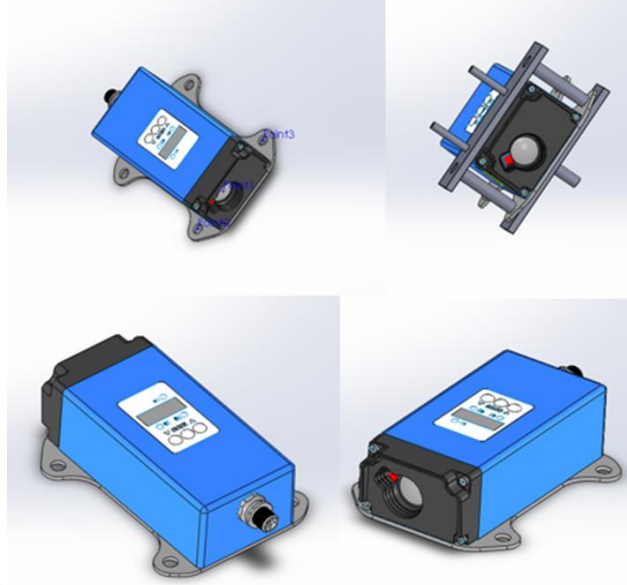
Resim 3.20 Laboratuvar Görüntüleri Açık 2.

Bu oluşturulan görsel tasarım ile sistemin ana taşıyıcı omurgası belirlenmiştir. Ana gövde elemanlarının belirleme işlemi tamamlanarak tüm bileşenlerin 3B olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma için solidworks programı kullanılmıştır. Solidworks Windows tabanlı 3B bir tasarım programıdır. Bu program ile her türlü makine, tesis, ürün tasarımında kullanıcıya hızlı bir şekilde çizim yapmasını sağlamaktadır. Bu program ile yapılabilecekleri kısaca irdelenecek olursa;

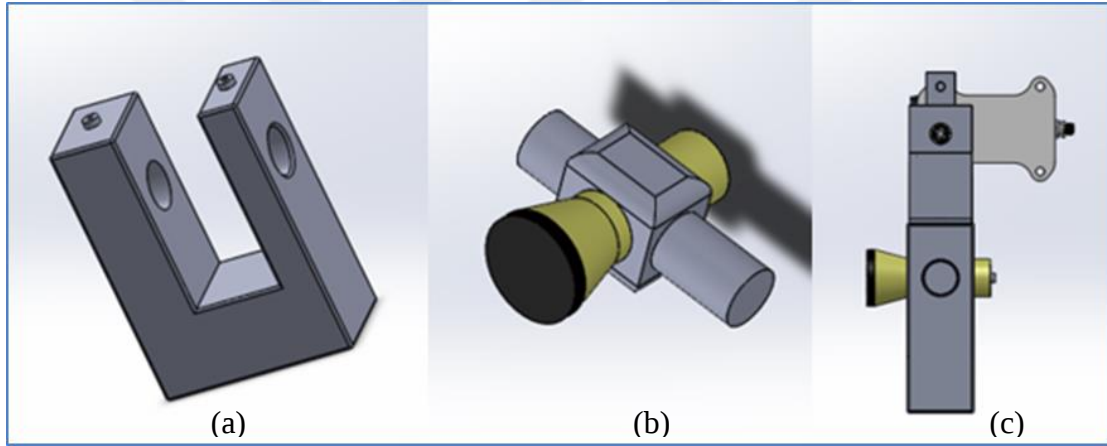
- Ölçülü ve vektör tabanlı üç boyutlu çizimler yapılabilir,
- Esnek yapısı sayesinde yaptığımız çalışmaları pek çok program üzerinde kullanabiliriz,
- Yaptığımız çizimler üzerinden teknik veriler alabiliriz,
- Montaj modülü sayesinde ayrı ayrı yaptığımız çalışmaları bir araya toplayabilir birlikte çalışabiliriz,
- Yaptığımız parçalar üzerinde darbe, statik vb. testler yapılabilir çok ayrıntılı sonuçlara ulaşabiliriz,
- Çalışmalarımızı animasyon eklentisi sayesinde hareketlendirebiliriz (İnt.Kyn.15).

Bu sayılan 6 maddenin canlandırımında; taslak oluşturma, parça tasarımı, montaj tasarımı, hazırlık, analiz, simülasyon özellikleri sayesinde solidworks programı kullanılmıştır. Çalışmamızda bileşenler teker teker solidworks programında gerçek ölçülere göre çizilmesi ve tasarlanması yapılmıştır. Solidworks programında bütün bileşenler 3B olarak oluşturulmasından sonra program üzerinde gerçek ölçülere göre parçalar birbiri ile birleştirilmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sanal ortamda tamamlanan tasarımdan alınan veriler ile lazer tarayıcının atölyede montajı tamamlanmıştır.

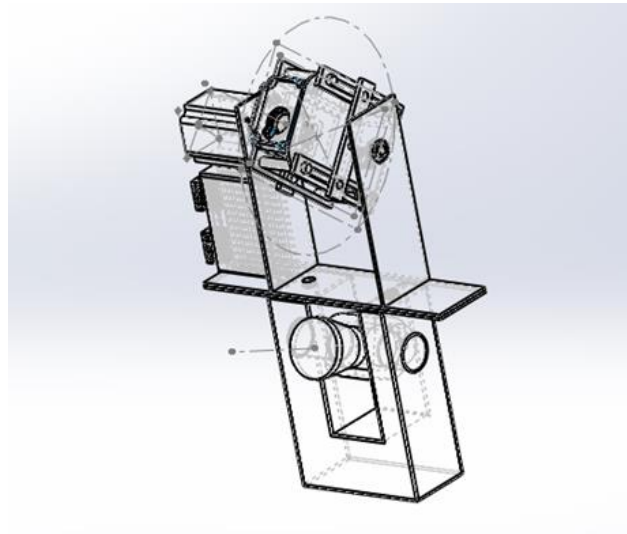
Aşağıda solidworks programında 3B olarak görselleştirilen bazı parçaların farklı açılardan alınan resimleri örnekte sunulmuştur (Resim 3.21, 22, 23, 24).



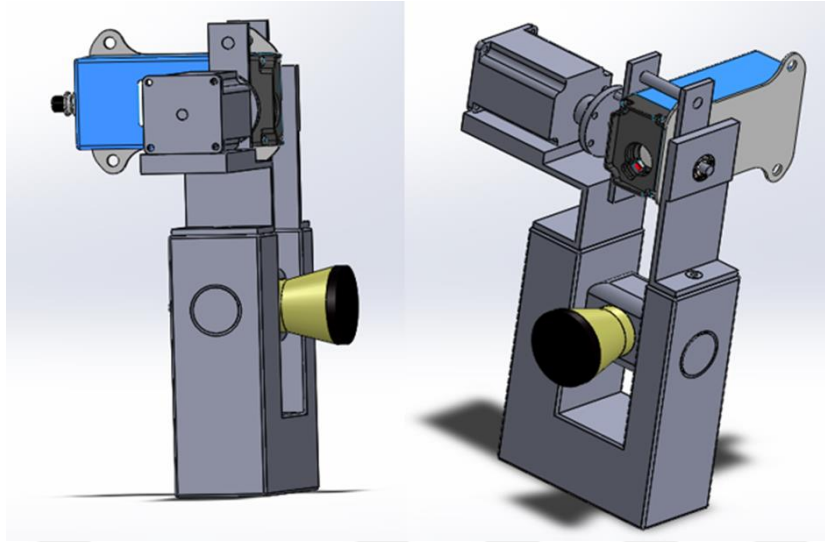
Resim 3.21 Solid Works’de Hazırlanan Tasarım Görüntüleri.



Resim 3.22 Farklı Kısımlara Ait Tasarım Parçaları [(a) Ana Taşıyıcı Gövde, (b) Dürbün ve Sabitleme Aparatı, (c) Lazerin Dürbün ile Birleştirilme İşlemi].



Resim 3.23 Tasarım Parçalar İskelet Durumundaki Resim.



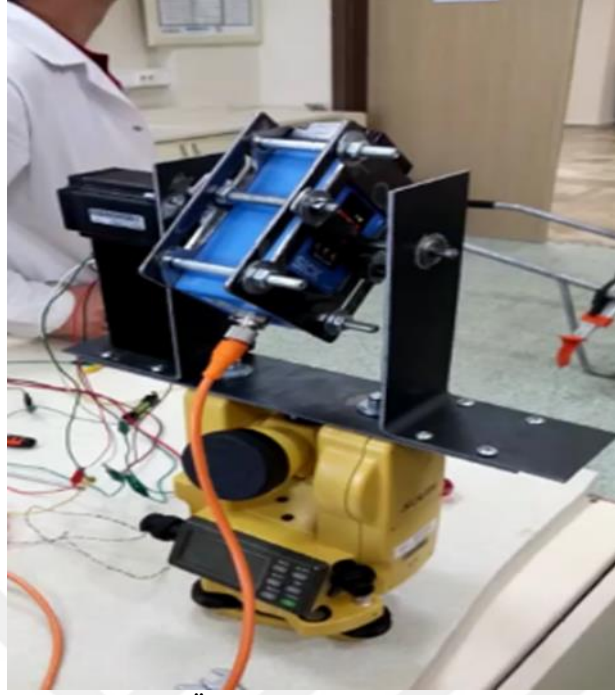
Resim 3.24 Tasarım Tamamlanmış Elde Edilen Görüntüler.

Solidworks de tasarımı ve hesaplamaları yapılan lazer metrenin bileşenlerinin montaj işlemi bitirilerek (Resim 3.25)'de görüldüğü gibi lazer metre tamamlanmıştır.



Resim 3.25 Tamamlanan Lazer Metre Tarayıcı.

Tasarımı tamamlanan sistem ölçüye hazır hale geldikten sonra ilk olarak deneme amacıyla sökülerek veriler kaydedilmeden deneysel ölçülere başlanmıştır. Yapılan deneme ölçülere ait bir örnekleme aşağıda sunulmuştur (Resim3.26).



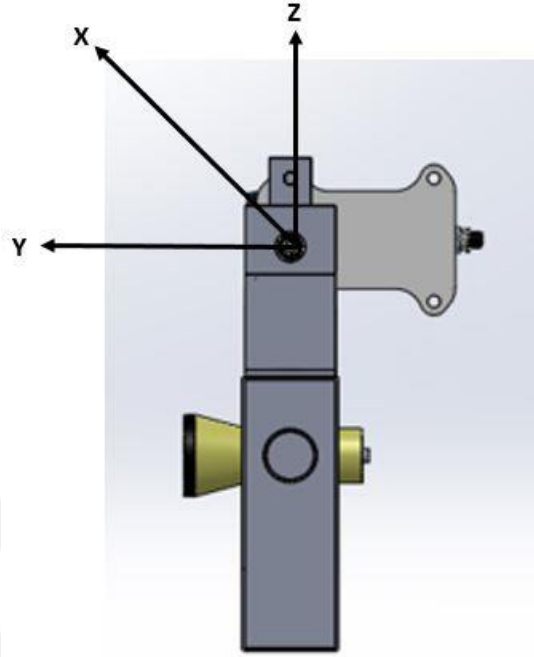
Resim 3.26 Laboratuvarda Deneysel Ölçümler.

Sistemin deneme ölçüleri sırasında çalışabilme ve zamansal olarak verilere bakılmıştır. Step sürücü ile kazandırılan tur sayısının arttırılması zamansal verimliliği etkileyeceğinden kaba olarak elde edilen sürelerin düşürülmesi amaçlanarak 400 turda da deneme ölçümleri alınmıştır. Ancak alınan ölçümlerde step sürücünün hassas açısal dönmeleri olmadığından, mekanik momentumdan kanaklı olarak ölçüm sırasında düzeç kayıklığı meydana gelmiştir. Bu nedenle daha az tur sayısı ile ölçüm yapılmamıştır. Sonuç bölümünde daha detaylı değerlendirme yapılacaktır.

Deneme ölçümleri devam ederken, alınan sonuçlarının hesaplanmasına yönelik matematiksel sonuç değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile oluşturulan formüller vasıtasıyla gerekli koordinat hesapları yapılmaktadır. Lazer metre alınan veriler excel formatında kayıt edilmektedir. Yapılan ölçüm ile elde edilen veriler kullanılarak hedef alan hesabının yapılması için gerekli formüller de excel ortamında oluşturulmuştur.

Lazer metre kurulum aşamasında geometrik olarak mümkün olduğu kadar merkez orijinden dönecek şekilde montajlama işlemi yapılmıştır (Resim 3.27). Ancak lazer

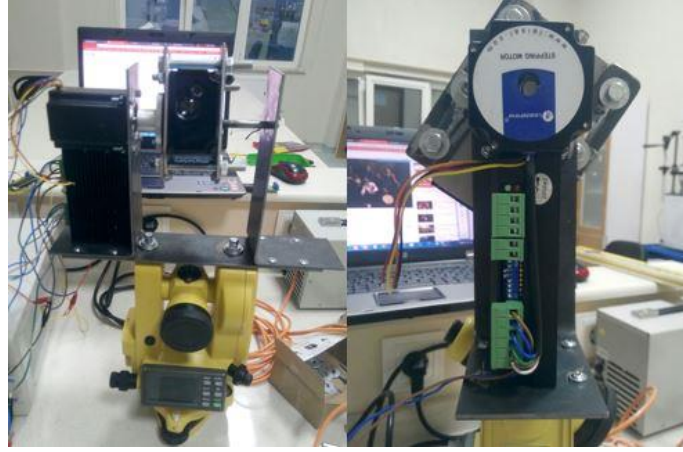
metrenin boyutlarından dolayı dönüş ekseninde orijinden belirli mesafelerde uzakta montaj yapılmıştır.



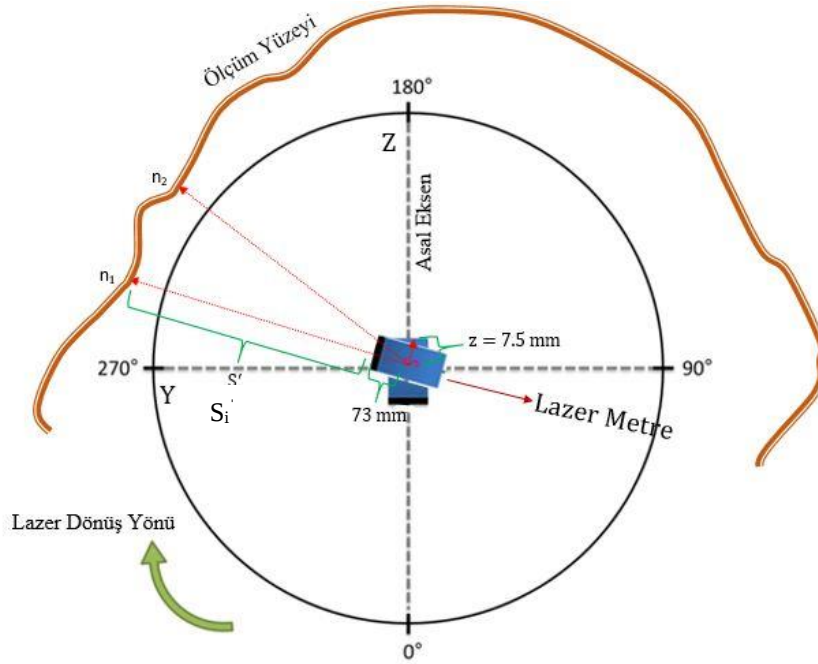
Resim 3.27 Eksenlerin Montaj İşleminde Sonra Gösterimi.

Lazerin ölçüm merkezini motorun dönüş orijinine getirebilmek için ölçülen mesafeye sabit olarak 73 mm ekleme yaparak Y ekseninde öteleme, 7.5 mm Z ekseninde öteleme yapılarak, alınan değer orijine indirgenmiştir. Burada hedeflenen, lazer metrenin ölçüm merkezini motorun dönüş orijinine matematiksel olarak ötelenmesi sağlanmaktadır. Bu mesafeler solidworks de hassas bir şekilde mm cinsinde hesaplanarak formüller ile ifade edilmiştir. Bu formüllerden aşağıda kısaca belirtilecektir. X, Y ve Z eksenleri birbirine dik olacak şekilde tanımlanmıştır. Burada Y ve Z eksenlerinin oluşturduğu düzlem en kesit düzlemi, X eksen boy kesit doğrultusu olarak seçilmiştir.

Bu sayede z doğrultusu ile birlikte oluşan hipotenüs hesaplanmasını ve y eksenine dik bir ölçü elde etmemizi sağlamaktadır. Ölçülen veriler işlem yapılmadan önce excel de oluşturulan formül ile hesaplanarak, eksenlerde yapılan düzenleme işlenmektedir. Daha sonra elde edilen veriler “cad.” uzantılı programda değerlendirilmek üzere aktarım yapılır.



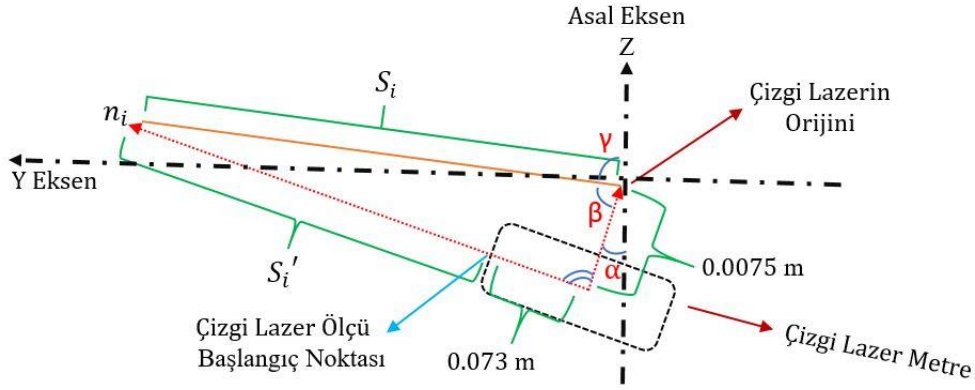
Resim 3.28 Farklı Açılarda Alınmış Resimler.



Resim 3.29 Lazer Metrenin Eksenlerinde Yapılan Ötelemelerin Gösterimi.

Resim 3.29’da görüldüğü üzere lazerin dönüş sırasında her bir devirde ölçtüğü Si' uzunluğunun y ekseninde yapılan öteleme (73 mm) ve z ekseninde yapılan öteleme (7,5 mm) ile lazerin dönüş eksenine doğru alınması ile hesaplarda kullanılmak üzere elde edilen Si uzunluğu Resim 3.30’da gösterilmiştir. Burada Si uzunluğu herbir ölçülen adımda gerçek uzunluk olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$S_i(m) = \sqrt{(S_i' + 0.073)^2 + (0.0075)^2} \quad (3.1)$$



Resim 3.30 Uzunluk ve Açıların Gösterimi.

Resim 3.29’da görüldüğü gibi ölçülen mesafelere olan hipotenüs yukarıda yer alan formül (3.1) ile hesaplandıktan sonra asal eksen ile ölçü eksenindeki açığı hesaplamak için oluşan üçgende formül (3.2) kullanılır.

$$\beta = \tan^{-1}(S' + 0.073)/(0.0075) \quad (3.2)$$

Bu formüllerdeki bilinmeyen değerler ise şunlardır;

S_i : Hesaplanan gerçek uzunluk

S_i' : Ölçülen geçici uzunluk

α : 0° başlangıç doğrultusu ile ölçü anındaki doğru arasındaki açı

β : Ölçü anında oluşan dik üçgen orijin köşesindeki açı

γ : Asal eksen ile S_i arasında kalan açı

Yukarıdaki formüller ile çizgi lazer metrenin orijinini kurulan nokta üzerinden geçen asal eksen ile çakıştırılması yapılmıştır. Bu sayede ölçülen mesafenin orijine ötelenerek y eksenine olan iç açısı hesaplamaktadır. Asal eksen ve lazerin dönüşü ile oluşan α açısı ile formül 3.2’de hesaplanan β açısının 180° ’den farkı γ açısını vermektedir formül (3.3).

$$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta) \quad (3.3)$$

Aşağıdaki denklemler yardımıyla n_i noktalarının koordinatları hesaplanmaktadır.

$$Y_{n_i} = Y \pm (S_i) * \sin(\gamma_i); (i = 1 \dots n \text{ (n = devir sayısı)}) \quad (3.4)$$

$$Z_{n_i} = Z \pm (S_i) * \cos(\gamma_i); (i = 1 \dots n (n = \text{devir sayısı})) \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemlerde Y ve Z çizgi lazerin orijin koordinatlarıdır.

3.3 Sistemin Değerlendirilmesi

Kurulan sistem ile alınan S_i sonuçları, laboratuvar ortamında oluşturulan deneysel platform alanında Robotik Total Station ve lazer tarayıcı cihaz ile karşılaştırma işlemi yapılması amaçlanmıştır. Robotik total station olarak Spectra marka Focus 30 model total station kullanılmıştır. Lazer tarayıcı olarak, Stonex marka X300 model tarayıcı kullanılmıştır.

Çizelge 3.4 Spectra Focus 30 Teknik Özellikler (İnt.Kyn.10).

Teknik Özellikler	Sperctra Focus 30
İşletim Sistemi	Windows Ce
Ekran Tipi	Aydınlatmalı alfa nümerik tuş takımı
Düzeçleme Sensör Tipi	Çift Eksenli Kompensatör
Hafıza	128 Mb Ram, 128 Mb Flash Hafıza
Reflektörlü Okuma Mesafesi	1.5 m - 7000 m (3'lü Prizma İle) 1.5 m - 4000 m (Tek Prizma İle)
Reflektörsüz Okuma Mesafesi	600'm' Den 1000 M'ye Kadar
Kâğıt Prizma İle Ölçüm Mesafesi	1.5 m – 300 m
Mesafe Hassasiyeti	2mm+2ppm (Standart Mod) 5mm+2ppm (Hareketli Modda)
Batarya Ömrü	12 Saat
Tam Şarj Süresi	4 Saat
Ölçüm Süresi	Standard Mod: 2.4 Sn Hareketli Mod: 0.5 Sn.
Lazer Cinsi	Kırmızı Işık
Çalışma Sıcaklığı	-20°C ile + 50° C

Focus 30 total station teknik özellikleri bakımından incelendiğinde karşımıza çıkan en büyük detay reflektör kullanarak en yakın okuma mesafesi 1.5 m olduğu

görülmektedir. Reflektörsüz mod kullanılarak ise 600 m mesafeden rahat okuma yaptığı belirtilmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmada Spectra Focus 30 ile platformun ölçüm işlemi başarısız olmuştur (Resim 3.31). Ölçüm alanı olarak küçük alanın seçilmesinin nedeni uygulama bölümünde anlatılacaktır.

Mesafe kısa olduğundan Robotik Total Station ölçü işlemi gerçekleştirememiştir. Üretim açısından bu tip alanlarda yetersiz bulunan Focus 30'un kitapçığı incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır; (İnt.Kyn.10).

- Motorlu ölçüm teknolojisi sayesinde gelişmiş hız, doğruluk ve hassasiyet sağlar,
- Takip sensörlü olarak dizayn edilmesi ile yapılan işin kalitesini artırır,
- Step drive (görüntü ve hareket teknolojisi) ile konumlandırma ve gözlem hızı sağlamaktadır,
- Yatay ve dikey hareketlilik step drive motor kontrolleri ile sağlanır,
- Lockngo izleme teknolojisi ile prizma üzerine sürekli sabitlemeyi sağlar,
- Surveypro arazi yazılımı ile birlikte dünya standartlarında yazılım çözümleri sunar,
- Reflektörlü ve reflektörsüz mesafe okuma özelliği bulundurulur.



Resim 3.31 Focus 30 ile Yapılan Ölçüler.

İçerinde kullanıcılara yönelik olarak bazı uygulamalar ile (Dik ayak ve dik boy hesabı, alan-çevre hesabı, hat uygulaması, vb.) sunulan Focus 30 hedef çalışma bölgesinde farklı alanlara yönelik üretimi yapılmıştır. Kendi tanıtımlarında yer alan, hareketlilik ve deformasyon takibi, hassas ölçümler gemi blokları üretim ve montajında, uçak, hızlı tren imalatında hassasiyet gerektiren araçların üretim sırasında hassas boyut ve geometrilerinin ölçülmesinde kullanılması hedeflenmiştir.

Bu açıdan ortaya çıkardığımız lazer tarama cihazının açık şekilde üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Çünkü bu çalışma ilk projelendirme aşamasında, dar alanlar için hızlı manevra kabiliyeti ile veri toplama hedefleri arasında bulunmaktadır.

Piyasa da yer alan lazer tarama cihazları ise bu alanda tarama yapmaktadır. Biz de referans alanının büyütülmesi yerine arazi koşullarında bu şekilde dar alanlarda da çalışmalar yapılacağından robotik total station ile referans ölçü alınmamıştır. Robotik Total Station ile alınamayan referans ölçümleri lazer tarayıcı cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Kullandığımız lazer tarama teknolojisinin özellikleri ise; stonex X300 marka tarayıcı kullanılmıştır. Kullanılan lazer tarayıcının genel özellikleri ve teknik özellikleri sunulmuştur (Çizelge 3.5).

- 3D tarama cihazı,
- Dayanıklı ve çok hafif olması,
- Zor sahalarda bile yüksek ve sezgisel ara yüz,
- Kolay kurulum ile birkaç dakika içinde hemen çalışmaya başlama,
- Orta menzili açık hava uygulamaları için mükemmel,
- Her koşulda iyi performans,
- Wi-Fi ile tarayıcıya bağlanma,
- 5 Mp, 2 adet gerçek zamanlı dijital fotoğraf makinesi
- Standart GPS ölçüm ekipmanları ile GNSS ölçmeleri,
- Sert ortamlara dayanıklı kutu
- Güvenli lazer darbeleri kesinlikle göz bozmaz,

Çizelge 3.5 Stonex 300 Teknik Özellikler (İnt.Kyn.16).

Teknik Özellikler	Stonex X300
İşletim Sistemi	Windows Mobile
Görüş Alanı	Yatay 360 ° , Düşey 90 °
Çift Eksenli Kompensatör	Doğruluk 0.08° , Mesafe +/- 20 °
Hafıza	32 Gb
Lazer Işın Sapması	0.37 mrad
Grid spacing	39 mm x 39 mm @ 100 m
Açısal Çözünürlük	1.35' (H) x 1.35' (V) mak.
Mesafe Hassasiyeti	< 6 mm, 50 m (1 sigma) <40 mm, 300 m
Güç Kaynağı	12 V
Güç Tüketimi	40 W
Ölçüm Süresi	40000 nokta Sn.
Lazer Cinsi	Kırmızı Işık
Çalışma Sıcaklığı	-10°C ile + 50° C

Oluşturulan platformda ölçümler yapıldıktan sonra sistem daha önce bahsedildiği gibi 4 ana bileşende değerlendirmeye tabî tutulmuştur.

- **Maliyet**

Malî açıdan piyasada bire bir aynı cihaz olmaması göz önünde bulundurularak net bir karşılaştırma imkânı olması sağlanamaz. Çalışmada oluşturulan lazer tarama 2B ölçüm kabiliyetine sahiptir. Ancak benzer şekilde lazer çalışma prensiplerine göre oluşturulmuş, tarayıcılar ile kıyaslanabilecektir. Platformda veri toplanan 3B lazer tarayıcı sistemlerin fiyatlarına göre karşılaştırma yapılacaktır.

- **Zaman**

Zaman bileşeninde cihazın başında harcanan tüm süreler dahil edilerek kıyaslama yapılacaktır. Sahada ölçüme hazır hale getirilmesi ile ölçüm süresi boyunca geçen süreler baz alınacaktır. Sistemin 4 farklı adımda aldığı veriler toplanarak ortalama ne

kadar sürede ölçümü tamamladığı bulunacaktır. Çıkan sonuçlara göre sistemin elde ettiği verilerin zamansal açıdan uygunluğu yorumlanacaktır.

800, 1600, 3200 ve 6400 adım sayısı olarak planlanan sistemin tur sayılarıdır. Step motorun normal hali ile bir turu 400 adım da tamamladığından bahsedilmiştir. Bir turu daha fazla noktadan veri toplayarak tamamlamanın daha hassas olacağı varsayılarak kullandığımız step sürücü ile motorun adım kabiliyeti 25000 adıma yükseltilmiştir. İlk 4 adım sayısının deneysel durumu oluşturularak zamansal olarak değerlendirilmesi yapılacaktır.

- **Doğruluk**

Bu bileşenimiz, sonucu en fazla etkilemesi beklenen bileşendir. Bunun nedeni alınan veriler sonucunda meslek alanımızda kullanılabileceğini etkileyecektir. Her şey tam da olsa en önemli konu doğru bir şekilde ölçüm yapmak ana hedefimiz olacaktır. Bunun doğru ya da yanlış olması diğer bütün sonuçları doğrudan etkilemektedir. Sistem ile yapılan ölçümler ve sonuçları değerlendirildikten sonra çalışmanın kullanılabilirliğinden değerlendirme kısmında bahsedilecektir.

Doğruluk bileşini sonuçlarını kontrol etmek amaçlı olarak alınan verilerin değerlendirmeleri Cloud Compare isimli programda yapılmıştır.

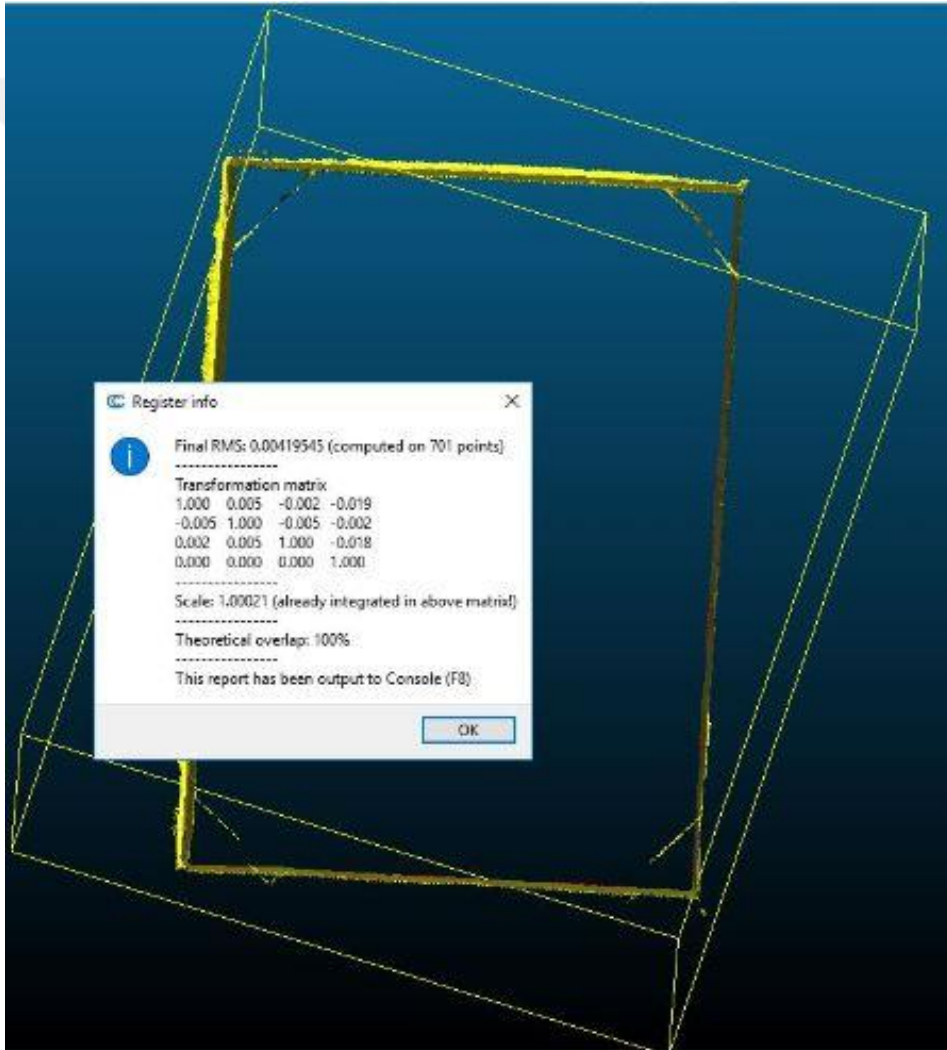
Cloud Compare 3B nokta bulutu (ve üçgen ağ) düzenleme ve işleme yazılımıdır (İnt.Kyn.14). Varlıkları 3B nokta bulutu şeklinde kabul ederek bu şekilde karşılaştırma kabiliyeti sunmaktadır. Lazer tarayıcı cihaz ve tasarımı bize ait olan cihazdan alınan ölçülerin değerlendirilmesi şu şekilde oluşmuştur.

A. 800'lük Adım İle Alınan Veriler

Bu tur sonuçlarının lazer tarayıcı cihaz ile alınan sonuçlarının karşılaştırılması aşamasında kullanılan “Cloud Compare” (Resim 3.32) isimli program aracılığı ile aldığımız veriler, lazer tarayıcı cihazdan aldığımız veriler karşılaştırılarak noktaların doğruluğu karşılaştırılmıştır. 800'lük ölçümlerde anlamlı nokta sayısı yaklaşık 700

adet olarak tespit edilmiştir. Anlamalı noktaların ne olduğu uygulama kısmında bahsedilecektir. Bu nokta kümesinden oluşturulan alan verilerine ait yapılan kıyaslamaların resimlerinden bir örneği aşağıda sunulmuştur (Resim 3.33).

Cloud Compare isimli program da ilk önce lazer tarayıcı ile aldığımız nokta bulutlarının referans olarak kabul ettikten sonra kendi cihazımız ile aldığımız noktaları üzerine çakıştırarak aradaki farklar ve standart sapması tespit edilerek verilerin doğruluğu analiz edilmiştir.



Resim 3.32 800'lük Adım Cloud Compare'de Değerlendirmeler 1.

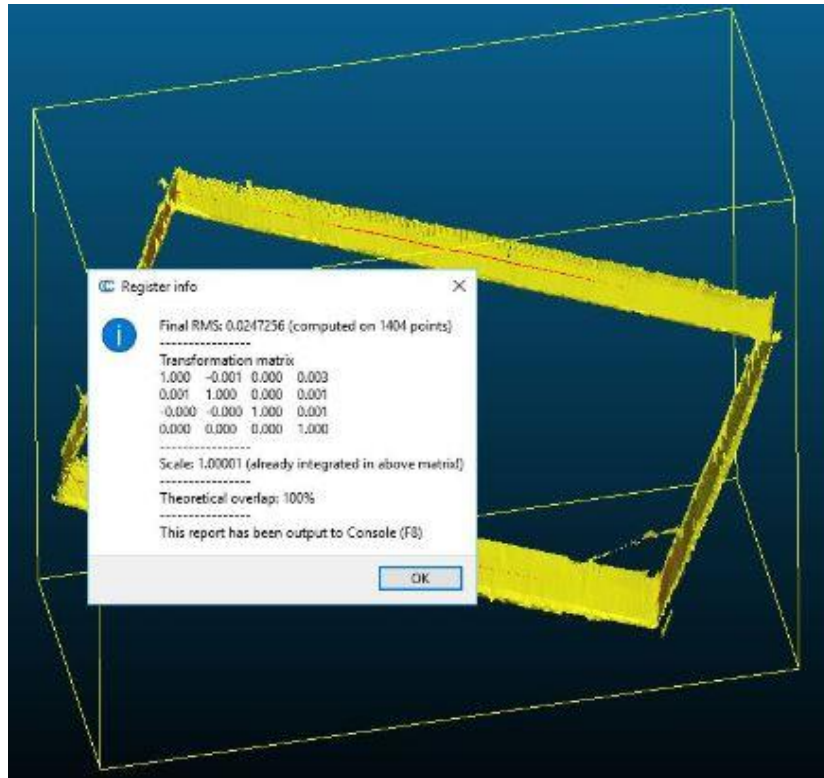


Resim 3.33 800'lük Adım Cloud Compare'de Değerlendirmeler 2.

Nokta kümelerinin karşılaştırılması ile elde edilen standart sapma ise her bir ölçü için uygulama kısmında gösterilecektir. Her bir ölçüm sonucunda elde edilen alanların referans kabul ettiğimiz lazer tarayıcı ile farklılıkları bulunarak 20 ölçü sonucunda ortalama olarak 0.033 m olarak 800'lük ölçümde farklılık tespit edilmiştir.

B. 1600'lük Adım İle Alınan Veriler

1600'lük ölçüm sonuçlarının lazer tarayıcı cihaz ile alınan sonuçlarının karşılaştırılması aşamasında yine "Cloud Compare" isimli program kullanılarak aldığımız noktaların çakıştırılarak standart sapma tespit edilmiştir. 1600'lük ölçümlerde anlamlı nokta sayısı yaklaşık 1400 adet olarak tespit edilmiştir. Bu nokta kümesinden oluşturulan alan verilerine ait yapılan kıyaslamaların resimleri aşağıda sunulmuştur (Resim 3.34, 35). Yine 800 adım da olduğu gibi her bir ölçüm sonucunda elde edilen alanların referans kabul ettiğimiz lazer tarayıcı ile farklılıkları bulunarak 20 ölçü sonucunda ortalama olarak 0.025 m olarak 1600'lük ölçümde tespit edilmiştir.



Resim 3.34 1600'lük Adım Cloud Compare'de Değerlendirmeler 1.

4. UYGULAMA

Tasarımı tamamlanan lazer metre ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 2 ana başlıkta incelenmiştir. İlk yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında elde edilen verileri kapsamıştır. Burada detayları laboratuvar sonuçlarında verilmek üzere oluşturulan bir platformun gerçek değerinin farklı ölçüm cihazları ile karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. İkinci kısımda ise sistemin arazi koşullarında uygulanabilirliği test edilmiştir. Çalışma ortamı olarak galeriler seçilememiştir. Uygulamaya esas alınacak ölçümler için gerekli verilerin toplanmasına halihazırda devam eden çalışmaları aksatacağından gerekli izinler alınamıştır. Bu nedenle sahada drenaj kanalı seçilerek bu alanda arazi koşullarında kullanılabilirlik araştırılması üzerine çalışma yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar arazi uygulama kısmında bahsedilecektir.

4.1 Laboratuvar Sonuçları

Arazi ortamında deneme sürecine başlamadan laboratuvar ortamında ölçüleri eni 1.958 m. ve boyu 2.710 m olan (Alanı 5.306 m²) sabit bir dikdörtgen platform oluşturulmuştur. (Resim 4.1).



Resim 4.1 Oluşturulan Referans Çerçeve.

Oluşturulan bu platform fiziksel olarak metre yardımıyla mm hassasiyetinde sabit oda sıcaklığında 20 tekrar yapılarak ölçüler alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda ortalama alanımızın gerçek kabul edilen değeri 5.306 m² olarak elde edilmiştir. Uygulamanın esası gerçek ölçüsü 5.306 m² olarak bulunan platformun oluşturduğumuz sistem ile ve piyasada var olan farklı ölçüm cihazlarının sonuçlarının karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

Bu platformun oluşturulması ile belirli bir bölgede ölçümleri tamamlayarak sonuçların kontrol edilmesini sağlamaktır. Tasarımı oluşturulan lazer metre ile 800, 1600, 3200 ve 6400 adım ölçüleri yapılmıştır. Alınan sonuçların karşılaştırılması için daha önceden bahsedildiği gibi Spectra focus 30 robotik total station ve stonex X300 lazer tarayıcı kullanılarak referans ölçüleri alınmak istenmiştir.

Oluşturduğumuz platformda kurulan sistemimizle yapılan ölçümler sırasında farklı açılardan fotoğraflar sunulmuştur (Resim 4.2). Yapılan çalışmada 800, 1600, 3200 ve 6400 adım da yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



Resim 4.2 Referans Çerçeve ve Yapılan Ölçümler.

Laboratuvar ortamında farklı adım sayılarında yapılan ölçümler sırasında, sistemin alt kısmında bulunan taşıyıcı araç altında kalan kısımdan veri alınmasına imkân olmamıştır (Resim 4.3). Sistemin alt kısmında kalan bölüm yaklaşık 45°'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alanda lazer ile veri toplamaya devam edilmiştir. Ancak en yakın 0.2 m mesafede veri alabilen çizgi lazer metrenin aldığı veriler 0 olarak kayıt

edilmiştir. Bu veriler anlamsız veri olarak tanımlanıp hesaplama işlemine tabî tutulmamıştır.



Resim 4.3 Taşıyıcı Aracın Engellediği Veri Alınamayan Bölüm.

Daha önce bahsedildiği gibi Spectra Focus 30 marka total station ile reflektör kullanarak en yakın okuma mesafesi 1.5 m olduğu görülmektedir. Reflektörsüz mod kullanılarak ise 600 m mesafeden rahat okuma yaptığı belirtilmiştir. Yarı otomatik lazer metre ile hedef çalışma alanımız maden ocakları, kömür ocakları, tünel gibi galerilerde olan dar bölgeler seçildiğinden robotik total station ile ölçüm yapılması başarısız olmuştur. Sistemin en büyük avantajı kısa mesafelerde çalışmasıdır. Çizgi lazer metre ile 0.2m uzunluğunda bir alanda ölçüm yapma kabiliyetine sahiptir.

Stonex X300 marka lazer tarama cihazı ile alınan 3 boyutlu tarama sonucunda gerçek değere yakın bir sonuç elde edilmiştir. Bu değer 5.301 m² olarak hesaplanmıştır. Stonex X300 ile yapılan çalışmada dakikada 40.000 nokta verisi alınırken yine dar olarak seçilen bölgede veri toplama da zorlanarak çalışma alanı dışına çıkılarak veri toplanmıştır. Yarı otomatik lazer tarayıcının burada da dar alanlarda çalışması bakımında başarılı olduğu öne çıkmaktadır.

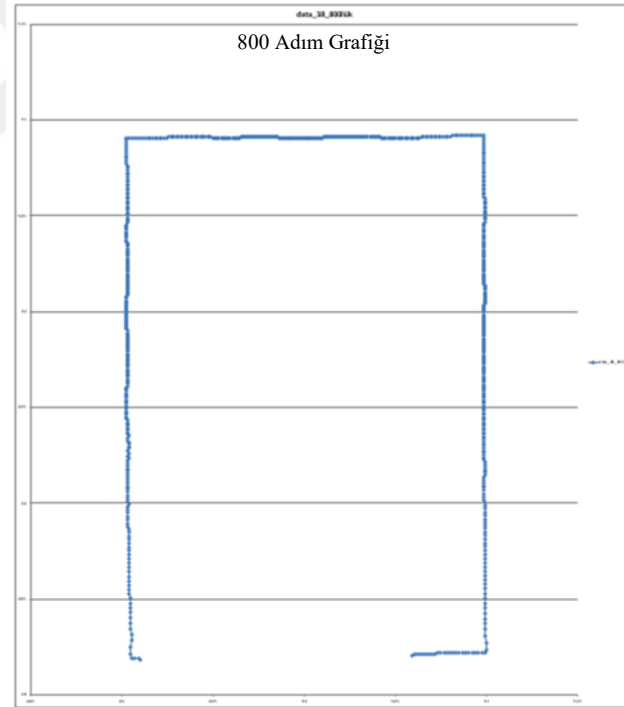
Yarı otomatik lazer ile alınan sonuçların değerlendirilmesi alt başlıklarda anlatılmıştır.

4.1.1 800'lük Adım İle Yapılan Ölçümler

Burada 360° 800 adımda yani 800 nokta ile oluşturulan platformun alanı hesaplanmasıdır. $360/800$ olarak hesaplandığından her bir adımda step motor 0.45° açıyla hareket etmektedir. 800'lük ölçümde ortalama yakalanan ölçüm süresi 22-23 dakika sürmektedir. Oluşturulan platformda 20 adet ölçüm tekrarı yapılmıştır. Ölçüm verileri açı ve mesafe olarak alındıktan oluşturulan excel ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların bir bölümü Resim 4.4'de sunulmuştur.

	ölçülen açı (derece)	ölçülen mesafe (mm)	yukarıda öteleme (mm)	hesaplanan mesafe (mm)	zateninde öteleme (mm)	V (hesaplanan n+z ekseninin ²) (mm)	İç Aç (derece)	90- iç açı (derece)	semt (180- açı) & (540- açı)	semt + (90- açı)	ΔY (MM)	ΔZ (MM)	ΔY (M)	ΔZ (M)	Y	Z	ALAN (m ²) 2F=Σ(V _{i1} - Y _{i1}) ² Z _i	YO	ZO
1	17.55	1814	73	1887	7.5	1887.014905	89.77228	0.22772	162.45	162.68	561.8513	-1801.43	0.56185	-1.80143	50.5619	48.1986	1.482518	50	50
2	18	1818	73	1891	7.5	1891.014873	89.77276	0.22724	162	162.23	577.2183	-1800.765	0.57722	-1.80077	50.5772	48.1992	1.482518		
3	18.45	1822	73	1895	7.5	1895.014842	89.77324	0.22676	161.55	161.78	592.6094	-1799.971	0.59261	-1.79997	50.5926	48.2	1.484817		
4	18.9	1826	73	1899	7.5	1899.01481	89.77372	0.22628	161.1	161.33	608.0236	-1799.045	0.60802	-1.79905	50.608	48.201	1.487014	TOP ALAN	-5.29325
5	19.35	1830	73	1903	7.5	1903.014779	89.77419	0.22581	160.65	160.88	623.4597	-1797.989	0.62346	-1.79799	50.6235	48.202	1.505436		
6	19.8	1835	73	1908	7.5	1908.014741	89.77478	0.22522	160.2	160.43	639.2554	-1797.741	0.63926	-1.79774	50.6393	48.203	1.507753		

Resim 4.4 800'lük Adım ile Sonuç Örneği.



Resim 4.5 800'lük Adım Sonuç Grafiğine Örnek.

Yapılan ölçümlerde (Resim 4.5) de olduğu gibi cihazın zemin kısmında taşıyıcı araba ve cihazın düz ve eksen hareketini sağlayan platformdan dolayı sonuçlara etki etmeyen anlamsız ölçüler alınmıştır. Ölçüm alanımızda alt kısımda kalan yaklaşık 45° bölüm anlamsız ölçü olması nedeniyle hesaplamalarda kullanılmamıştır. Bu bölüm avantaj veya dezavantaj olarak değerlendirilmemiştir. Çünkü zemin ile 90° açı

yapan bölüm kesit alanını oluşturduğundan zeminin en altında 2 nokta düz olarak bağlı sayılmıştır. Ancak bu çalışmada anlamsız ölçüler çıkarıldıktan sonra alınan tüm veriler karşılaştırmaya esas alınmak için değerlendirilmeye alınmıştır.

Örneği sunulan tabloda 800'lük ölçüm sonucuna göre yapılan hesaplamalarda ölçüme cihazın nokta üzerinde tesis edilmesi ve ölçüye hazır hale getirilmesi 1'45'' olarak ölçülmüştür. Kurulum tamamlandıktan sonra kesit oluşturmak için geçen süre de 22'02'' olarak ölçülmüştür. Oluşturulan platformda bölgenin alanı ise yapılan hesaplamalarda ortalama 5,294 m² çıkmıştır.

20 adet 800'lük ölçüme ait oluşturulan alanlara ait hesaplamalar ve bu sürelerde geçen zaman (cihazı kurulumu dâhil) aşağıdaki teker teker gösterilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 800'lük Adım Alan Sonuçları

Ölçüm Sayısı	Hesaplanan Alan (m ²)	Ölçüm Süresi
1	5.293	23 ^d 47 ^s
2	5.291	23 ^d 59 ^s
3	5.302	23 ^d 48 ^s
4	5.298	23 ^d 41 ^s
5	5.296	23 ^m 40 ^s
6	5.299	23 ^d 35 ^s
7	5.293	23 ^d 17 ^s
8	5.311	23 ^d 17 ^s
9	5.293	23 ^d 17 ^s
10	5.294	23 ^d 19 ^s
11	5.293	23 ^d 07 ^s
12	5.297	23 ^d 07 ^s
13	5.297	23 ^d 01 ^s
14	5.293	23 ^d 00 ^s
15	5.288	23 ^d 00 ^s
16	5.298	22 ^d 52 ^s
17	5.284	22 ^d 50 ^s
18	5.280	22 ^d 59 ^s
19	5.293	22 ^d 51 ^s
20	5.290	22 ^d 51 ^s
Ortalama Alan=5.294 m²		

Ölçümlerin 1 tam turu tamamlaması ortalama 23 dakika sürmektedir. Aletin ölçüme hazır hale gelmesi için geçen süre ortam şartlarına göre değişmekle birlikte, kullandıkça pratiklik kazanıldığından zamansal olarak kısalmaktadır.

800 adım ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen noktaların cloud compare programı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Stonex X300 cihazı kullanılarak alınan noktaların standart sapması ortalama 0.033 m² bulunmuştur ve Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 800'lük Adım Noktalarına Ait Standart Sapma.

Ölçüm Sayısı	Standart Sapma (m)
1	0.034
2	0.035
3	0.035
4	0.035
5	0.034
6	0.034
7	0.034
8	0.035
9	0.035
10	0.035
11	0.035
12	0.035
13	0.035
14	0.035
15	0.035
16	0.035
17	0.035
18	0.035
19	0.035
20	0.035
Ortalama= 0.033 m	

4.1.2 1600'lük Adım İle Yapılan Ölçümler

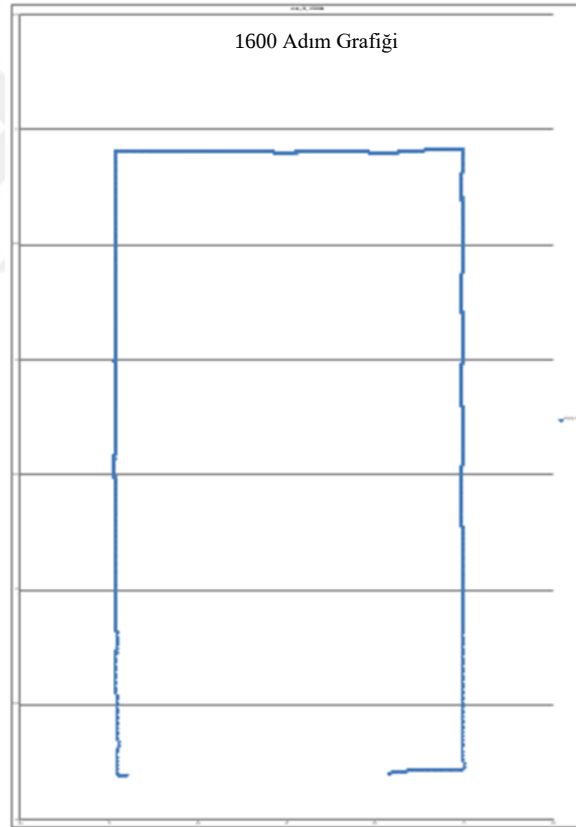
Bu ölçü sisteminde 360° 1600 adımda yani 1600 nokta ile alan oluşturulan hazırlanan platform alanının hesaplanmasıdır. 360/1600'lük ölçümde 0.225° açı hareketi step motor dönüşü ile veri toplanmıştır. Ortalama yakalanan ölçüm süresi 45 dakika sürmektedir. Ölçüm verileri yine aynı 800'lük adımda olduğu gibi açı ve mesafe olarak alındıktan sonra açıklanan formüllere göre excel kullanılarak sonuçlar elde

edilmiştir. Aşağıda 1600'lük adım ile alınan ölçüm sonucuna göre hesaplanan alan verilmiştir (Resim4.6).

	ölçülen açı (derece)	ölçülen mesafe (mm)	y ekseninde öteleme (mm)	hesaplanan mesafe (mm)	z ekseninde öteleme (mm)	$\sqrt{(\text{hesaplanan } y^2 + \text{hesaplanan } z^2)}$ ekseninin (mm)	İÇ AÇI (derece)	90 - iç açı (derece)	semt (180-açı) & (540-açı)	semt + (90-İç açı)	$\Delta Y'(MM)$	$\Delta Z'(MM)$	$\Delta Y'(M)$	$\Delta Z'(M)$	Y	Z	ALAN(m ²) $ZF = \sum(Y_{i-1} \cdot Y_{i+1}) - Z_i$	Y0	Z0
1	17.55	1813	73	1886	7.5	1886.0149	89.7722	0.22784	162.45	162.678	561.5497	-1800.4761	0.5615497	-1.80048	50.562	48.19952	0.69567	50	50
2	17.775	1813	73	1886	7.5	1886.0149	89.7722	0.22784	162.225	162.453	568.6158	-1798.257	0.5686158	-1.79826	50.569	48.20174	0.695018	ALAN	-5.28730
3	18	1814	73	1887	7.5	1887.0149	89.7723	0.22772	162	162.228	575.9822	-1796.9613	0.5759822	-1.79696	50.576	48.20304	0.709984		
4	18.225	1814	73	1887	7.5	1887.0149	89.7723	0.22772	161.775	162.003	583.0344	-1794.6855	0.5830344	-1.79469	50.583	48.20531	0.740348		
5	18.45	1816	73	1889	7.5	1889.0149	89.7725	0.22748	161.55	161.777	590.7105	-1794.2793	0.5907105	-1.79428	50.591	48.20572	0.740348		
6	18.675	1818	73	1891	7.5	1891.0149	89.7728	0.22724	161.325	161.552	598.3925	-1793.8405	0.5983925	-1.79384	50.598	48.20616	0.740907		

Resim 4.6 1600'lük Adım ile Sonuç Örneği.

Yine aynı şekilde yapılan ölçümlerde (Resim 4.7)'de görüldüğü üzere cihazın zemin kısmında taşıyıcı araba ve cihazın düzeç ve eksen hareketini sağlayan platformdan dolayı anlamsız ölçüler alınmıştır. Tüm hesaplamalara ait 1 adet örnek kesit görüntüsü anlamsız ölçüler çıkarılarak tam olarak konulmuştur.



Resim 4.7 1600'lük Adım Sonuç Grafiğine Örnek.

Örneği sunulan tabloda 1600'lük ölçüm sonucuna göre yapılan hesaplamalarda ölçüme cihazın nokta üzerinde tesis edilmesi ve ölçüye hazır hale getirilmesi 1'15'' olarak ölçülmüş, kurulum tamamlandıktan sonra kesit oluşturmak için geçen süre de

45'19'' olarak ölçülmüştür. Oluşturulan platformda bölgenin alanı ise yapılan hesaplamalarda 5,290 m² çıkmıştır.

20 adet 1600'lük ölçüme ait oluşturulan alanlara ait hesaplamalar ve bu sürelerde geçen zaman (cihazın kurulumu dâhil) aşağıdaki teker teker gösterilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 1600'lük Adım ile Sonuçlar.

Ölçüm Sayısı	Hesaplanan Alan (m ²)	Ölçüm Süresi (dk)
1	5.287	46 ^d 34 ^s
2	5.288	46 ^d 30 ^s
3	5.289	46 ^d 29 ^s
4	5.288	46 ^d 34 ^s
5	5.290	46 ^d 27 ^s
6	5.291	46 ^d 28 ^s
7	5.282	46 ^d 25 ^s
8	5.292	46 ^d 32 ^s
9	5.294	46 ^d 31 ^s
10	5.290	46 ^d 23 ^s
11	5.287	46 ^d 25 ^s
12	5.293	46 ^d 22 ^s
13	5.292	46 ^d 15 ^s
14	5.294	46 ^d 19 ^s
15	5.291	46 ^d 21 ^s
16	5.286	46 ^d 17 ^s
17	5.291	46 ^d 17 ^s
18	5.290	46 ^d 19 ^s
19	5.295	46 ^d 20 ^s
20	5.289	46 ^d 19 ^s
Ortalama Alan=5.290 m²		

Ölçümlerin 1 tam turu tamamlaması 46 dakika civarındadır, yine aynı 800'lük adımda olduğu gibi aletin ölçüme hazır hale gelmesi için geçen süre ortam şartlarına göre değişmekle birlikte, 1600'lük adımda bu süreler daha da kısalmıştır. Cihazın kullanımı arttıkça, kurulum için pratiklik çoğalmıştır.

1600 adım ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen noktaların standart sapma 0.025 m² bulunmuştur ve Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4 1600'lük Adım Noktalarına Ait Standart Sapma.

Ölçüm Sayısı	Standart Sapma
1	0.025
2	0.025
3	0.025
4	0.024
5	0.025
6	0.024
7	0.025
8	0.025
9	0.025
10	0.025
11	0.025
12	0.025
13	0.025
14	0.025
15	0.025
16	0.025
17	0.025
18	0.025
19	0.025
20	0.025
Ortalama= 0.025	

4.1.3 3200 ve 6400 Adım Sayısı İle Yapılan Ölçümler

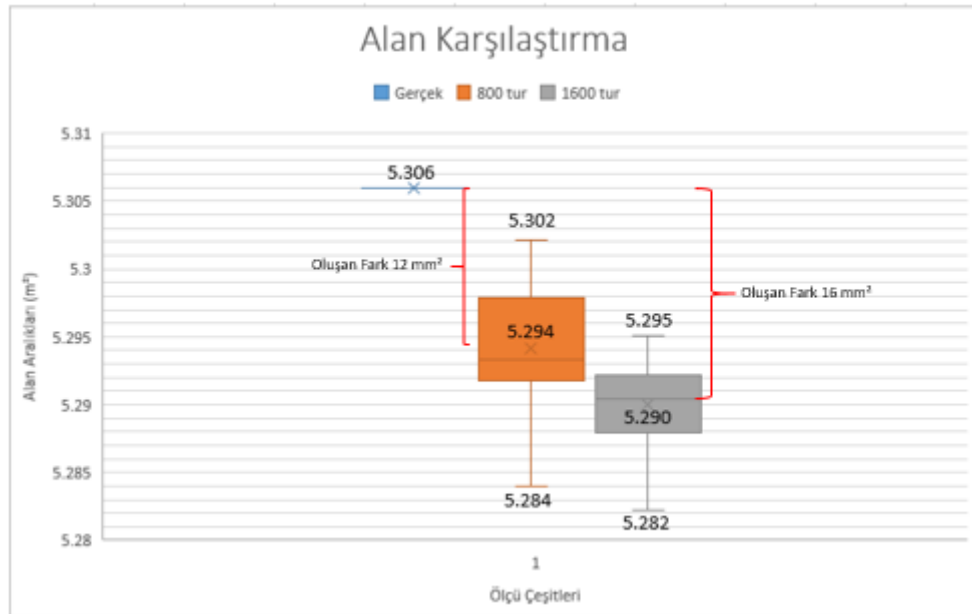
3200 ve 6400 adım ölçüleri 800 ve 1600 adım da olduğu gibi 360° olan alanı veri alınamayan bölüm çıkarıldıktan sonra sırasıyla 2800 ve 5600 nokta ile taramaktadır. Ancak bu ölçü durumlarından uygulama aşamasında zamansal olarak verimli olmadığından vazgeçilmiştir. 800 ve 1600'lük ölçümlerde ortalama yakalanan ölçüm süresileri göz önüne alındığında bunun gereğinden fazla bir zaman alacağı tahmin edilmiştir. Fakat yine de deneme amaçlı 1'er ölçü alınmış ve bu ölçü sürelerinde çıkan zamanlar; 3200 tur ölçümünde 1 saat 20 dakika, 6400 tur ölçümü ise 1 saat 54 dakika olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle bu iki tur sayısı değerlendirme aşamasında alınan veriler zamansal verimlilik açısından ölçü tekrarı yapılmadan iptal edilmiştir.

3200 adım ve 6400 adımda elde edilen alanlar ise sırasıyla 5.286 m² ve 5.281 m² olarak hesaplanmıştır. Elde edilen alanlara ait değerlendirme sonraki başlıkta daha detaylı şekilde verilecektir.

Sistemin dizaynı yapılırken step motor kullanmamızın nedeni tur sayısının istediğimiz şekilde değiştirebilmemize imkân sağlamasıydı. 3200 ve 6400 adım sayılarında zamansal olarak verim alınamadığı yapılan uygulamalardan anlaşılmıştır. Zaten çalışmanın başında step motorun imkân kabiliyetini arttıran sürücü ile 25000 tur sayısı ölçüm kabiliyetimizi artırmamızda ki amaç zaman açısından verimliliğe bağlı olarak doğruluğu anlayabilmektir. Step hareketlerinin daha mekanik olarak daha hızlı olduğu bir sistemde denenerek verimliliğinin araştırılması düşünülebilir. Doğruluk açısından değerlendirme ise alt bölümde açıklanmıştır.

4.1.4 Kesit Ölçümlerinin Genel Değerlendirilmesi

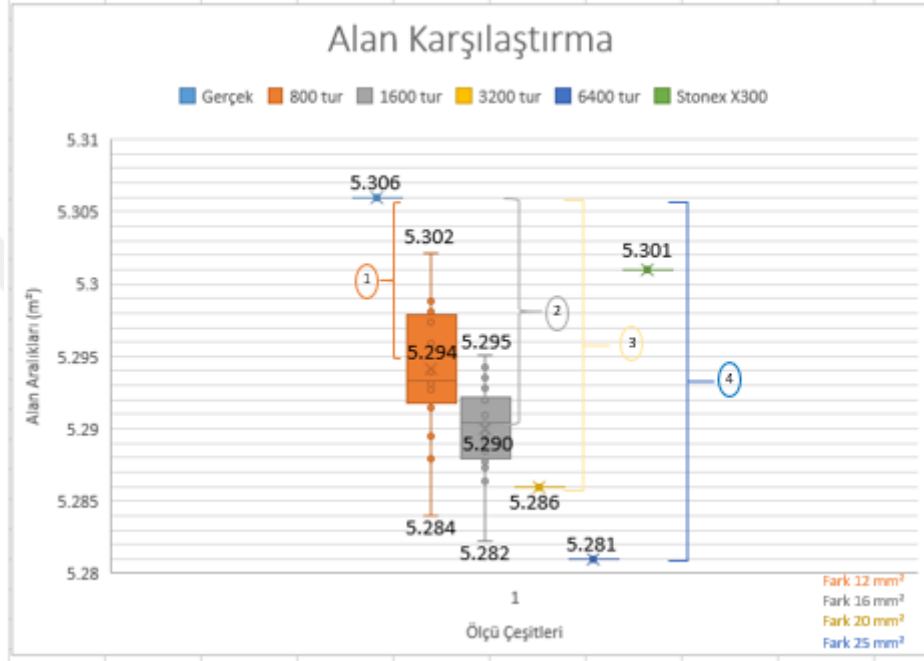
Çalışmada 800, 1600, 3200 ve 6400 adımlarda yapılan ölçümlerin geçerlilik ve güvenilirliği 20 tekrar ölçüm yapılarak tespit edilmiştir. Şekil 4.8’de 800 ve 1600 adımda 20 tekrar sonucunda elde edilen kesit alanları kutu grafiği ile görülmektedir.



Resim 4.8 Ölçüm Sonuçları Oluşan Alanlar.

Metre ile yapılan ölçüm gerçek kesit alanı olarak kabul edilmiş ve diğer ölçümler bu referansa göre değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen sisteme referans olması amacıyla 3B tarama metodunu kullanan stonex marka X300 model lazer tarayıcı ile kontrol değişkeni oluşturulmuştur. Stonex X300 lazer tarayıcı ile yapılan ölçme sonucunda kesit alanını 5,301 m² olarak yani gerçek değerden 5 mm² farklı ölçülmüştür.

Çalışma sonucunda üretilen düşük maliyetli yarı otomatik kesit oluşturan sistem ile yapılan ölçümlerinde 20 tekrar yapılarak elde edilen sonuçlar; 800 adım için 5,294 m², 1600 adımda ise 5,290 m² olarak bulunmaktadır. Çıkan sonuçlara bakıldığında 800 adım da 12mm², 1600 adımda 16 mm² fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.9).



Resim 4.9 800,1600, 3200 ve 6400 Tur Alan Farkları.

Zaman açısından verimli olmadığından ölçü tekrarları yapılmayan 3200 ve 6400 adım için bir ölçü sonucunda alanlarda farkın daha fazla olduğu görülmektedir. 3200 adım da platform alanı 5.286 m², 6400 adım da ise 5.281 m² olarak hesaplanmıştır. Bu ölçümler de farklar sırası ile 20 mm² ve 25 mm² olarak çıkmaktadır (Şekil 4.9). Buradan anlaşılan adım sayısı artıkcça gerçek değerden uzaklaşılması sistem içerisindeki mekanik boşluklardan kaynaklanmaktadır. Bu sebepten dolayı adım sayısındaki artış sistemin ortalama alan hatasını da artırmaktadır. Mekanik sistemin endüstriyel metotlar ile üretilmesi ile bu hata kaynağının etkisi azaltılabileceği düşünülmektedir.

4.2 Arazi Sonuçları

Gerekli tasarım tamamlanıp ilk olarak laboratuvar ortamında doğru sonuçların alınması ile arazi koşullarında deneme amaçlı veriler toplanmıştır. Tam bir kapalı galeride gerekli denemeler yapılamamıştır. Çalışma alanlarında devam eden işler nedeniyle ölçüm yapılabilmesi için gerekli izinler alınmamıştır. Şantiye sahalarında mevcut iş akışının engelleneceği için tam bir kesit çıkarma işlemi olmadığından, lazer metrenin sahada çalışma imkânının araştırılmasını amacıyla yarım drenaj kanalında deneme ölçüleri yapılmıştır. Bu deneme ölçümleri yapılması sırasında daha önce hedeflenen kullanım kolaylığı açısından verimi test edilmiştir. Tüm malzemelerin üzerine monte edildiği taşıyıcı aracımızın hareket kabiliyeti ve ölçüm süresine nasıl etki edeceği sorularına yanıt bulunmuştur. Cihazın çalışabilmesi için kullandığımız akülerin saha ortamında ne kadar çalışma zamanı da sağladığı öğrenilmiştir.

Bu çalışmalar kapsamında sahada çekilen fotoğraflardan bir örnek aşağıda sunulmuştur (Resim 4.10).

Arazi çalışmasında 160 m uzunluğunda bir güzergâh seçilerek hat boyunca her 10 m aralığında aynı doğrultuda noktalar tesis edilerek her noktada kesit alınması işlemi yapılmıştır. Yapılan ölçümler de 800'lük adım sayısı kullanılmıştır. Çünkü yapılan hesaplamalarda fiziksel boyuta en yakın veriler 800 tur ile sağlanmıştır. Ayrıca süre olarak bir kesitin alınması için en uygun süre 800 adım ölçümünde gerçekleşeceği görülmektedir. Saha çalışmalarında daha önceden alınan veriler ışığında süre olarak nokta üzerine tesis edilmesi ve ölçümün tamamlanması 25 dakika civarında bir zaman almıştır. Ancak ölçü tekrarı yapıldıkça cihazın nokta üzerinde tesis edilme süresi kısalmış bu da ölçümlerin laboratuvar ortamında elde edilen ortalama süreye (22, 23 dk.) ulaşılmıştır. Saha ölçümünde yapılan deneme süresinde step motorun hava şartları nedeniyle aşırı ısınmadan dolayı, 17 adet tesis edilen noktalardan 13 tanesinde ölçüm tamamlanmıştır. Step motorun öğlen güneşi altında tüm gün boyunca çalışmasından kaynaklı aşırı ısınması nedeniyle son 4 nokta da ölçüm yapılmamıştır. Güneş ışınlarına direk maruz kalmasını engelleyecek motorun dış kısmına bir koruyucu kutu yapılması öneriler arasında olacaktır. Bu sayede hem

ısınma hem de tozlu ortamlar da zamanla meydana gelecek arızaların önüne geçileceği düşünülmektedir.



Resim 4.10 Başlangıç Noktasında Arazi Çalışması.

Yapılan ölçüm noktalarında cihazın mobil taşıma özelliği beklenen şekilde başarılı bulunmuştur. Burada alınan sonuçlar değerlendirme amacı ile alınmamış olup cihazın ilk olarak arazi koşullarında taşınma, batarya durumu, ısı-soğukluk, vb. durumlarda nasıl davranacağı test edilmesi hedeflenmiştir. Tamamen bir tünel, maden gibi kapalı alan yaratılamadığından drenaj kanalı içinde ölçümler yapılmıştır. Bu alanda yapılan ölçümlerin sayısal olarak değerlendirmesi yapılmamış olup sadece mobil hareket anlamında verdiği katkı hesaplanmıştır (Resim 4.11).



Resim 4.11 Bitiş Noktasında Arazi Çalışması.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada düşük maliyetli yarı otomatik 2B lazer tarama sisteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla tasarlanan sistem gerçek değer ve diğer tarama sistemleri ile maliyet, zaman ve doğruluk açısından karşılaştırılarak kullanılabilirliği hakkında sonuçları ortaya çıkmaktadır.

- Maliyet

Sistem kullanılan bileşenlerin satın alınması tasarım aşamasından sonra uygulamaya dönük olan montaj yapılmasında harcanan işçilik ücretleri içinde 10.000 TL (KDV dâhil) harcanmıştır. Piyasada bu şekilde bire bir aynı cihaz olmaması göz önünde bulundurulursa ancak benzer işlevi gören 3B yersel tarayıcı fiyatlarına bakıldığında maliyet olarak çok uygun seviyede olduğu düşünülmektedir. Karşılaştırma yapılması işlemi gerçekleştiren 3B lazer tarama cihazları yaklaşık 250.000 TL civarındadır. Bu açıdan bakıldığında yaklaşık 25 katlık bir tasarruf sağlanmıştır.

- Doğruluk

Bu bileşen sonucu en fazla etkilemesi beklenen bileşendir. Bunun nedeni alınan veriler sonucunda meslek alanımızda kullanılabileceğini etkileyecektir. En önemli konu doğru bir şekilde ölçüm yapmak olduğundan elde edilen sonuçlar önemli hâle gelmektedir. Sistem ile yapılan ölçümler ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulama kısmında belirtilen standart sapması $\pm 2-3$ cm olarak görülmektedir. Sistemin kullanacağımız galeri, tünel gibi kapalı alanlarda kesit oluşturma işlemlerinde kurumların maksimum ± 5 cm olarak hatayı tölere ettiği düşünüldüğünde, elde edilen hata miktarı kabul edilebilir değer eşiğinin altında kalmaktadır. Harcanan parasal miktar da göz önüne alındığında ortaya çıkan sonuçlar sistemin doğruluk ve maliyet açısından kullanılabilirliğine pozitif yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

- Zaman

Zaman bileşeninde cihazın ölçüme hazır hale getirilmesi ve 4 farklı tur sayısında ortalama ne kadar sürede ölçümü tamamladığı esas alınmıştır. Yapılan tarama sürelerini 800 nokta ile 1600 nokta lazer tarama sistemlerindeki nokta bulutlarıyla karşılaştırılmıştır. Yukarıda zaman başlığı altında düşük maliyetli yarı otomatik kesit çıkarım sisteminin ölçüm süreleri verilmiştir. Çıkan sonuçlara göre en verimli zaman 800 adımda gerçekleştirilen lazer tarama verilerinin platformu taraması ile elde edilmiştir. 1600 adım da gerçekleştirilen taramanın hem zamansal açıdan uzun olması hem de mekanik olarak hareket sırasında sallantı nedeniyle gerçek değere uzak olarak bulunmuştur. 3200 ve 6400 adım sayıları ise çok verimsiz olduğundan iptal edilmiştir. Tarama süresini azaltmak için sistem 400 adımda laboratuvar ortamında test edilmiştir. 400 adımda yapılan tarama ile süre 12 dakikada tamamlanmıştır. Ancak tarama sırasında ölçüler arasında açısının artmasına bağlı olarak motorda adım anında meydana gelen sallantı ile örnekleme hatası meydana gelmiştir. Yani gerçek değerden uzaklaşma oluşmaktadır. Hem alınan nokta sayısı azalmakta (348 nokta) hem de 800 adıma göre sayısı gerçek kesit alanı hesaplamasında daha büyük fark meydana geldiğinden 400 adım hesaplamada tercih edilmemiştir.

Tüm bileşenler açısından değerlendirildiğinde “Yarı Otomatik 2B Kesit Oluşturmak” amacıyla tasarlanan cihazın kullanılabilirliği alınan doğruluk ile tünel ve madencilik alanındaki faaliyetlerde yeterli olacağı düşünülmektedir. Mali açıdan çok büyük bir fark ile piyasada kesit alabilmek için kullanılan cihazlardan üstünlüğü karşılaştırılmaz durumdadır. Zaman konusunda hedeflenen ölçü tekrarı sayesinde daha hassas veri elde etme düşüncesi olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Özellikle 3200 ve 6400 tekrar yapılan setlerin zamansal açıdan bir kesit alabilmek için harcanan sonuca değmediği ortaya çıkmaktadır. Bu konuda daha hızlı motorize edilmiş sürücüler sayesinde zaman kısaltılarak veri alınmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Sistemin arazi koşullarında uygulanabilirliği test edildiğinde taşıma kolaylığı açısından istenilen veriler toplanmış ve düz zeminde (laboratuvar ortamında) çok seri bir şekilde hareket edebilecek şekilde kabiliyeti artmıştır. Arazi ortamında taşıyıcı araç sayesinde kullanılabilirliğinin çok olumlu olacağı

görülmüştür. Bu sayede ölçümde bir noktadan başka noktaya daha seri şekilde ulaşılmış ve başka noktaya taşıma sırasında eşyaların kutularına kaldırılması sırasında oluşan zaman kaybının önüne geçilmiştir.

Elde edilen kesitler lazer tarayıcının tünel deformasyonlarının tespitinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Bir noktadan farklı zamanlarda alınacak verilerin karşılaştırılması için yeterli sayıda noktanın olduğu görülmektedir. Açık alanlarda ise mevcut hali ile veya lazer üzerine konum tespit sistemlerinin monte edilmesini sağlayacak aparatla lazerin anlık konumu bulunarak toprak hareketlerinin tespit edilmesine olanak sağlayabilir. Ayrıca çıkan sonuçlar ışığında oluşturulan lazer tarama sisteminin 2B olarak çalışmasına eklenecek bir donanım ile 3B olarak çalışma yapabileceği düşünülmektedir. Eklenen donanım ile ara yüz de yazılımın geliştirilerek bu şekilde çalışması uygun olabilir.

6. KAYNAKLAR

- Amann, M.Ch., Bosch, T., Lescure, M., Myllyla, R. and Riox, M. (2001). Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement. *Optical Engineering*, **40** (1); 10-19
- Altuntaş, C., Yıldız, F. (2008). Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi*, **1** (1); 1-10
- Aydın, O. (2011). Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ
- Aydın, R. (2016). Lazer ve Temel Uygulamaları. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık 79-83
- Barber, D., Mills, J. and Bryan, P. G. (2001). Laser Scanning and Photogrammetry: 21st century metrology. *Potsdam*, 18 – 21
- Ergün, B. (2018). Lidar Verilerinin İşlenmesi ve Analizi Dersi Ders Notları. Gebze Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği.
- Gümüş, K., Erkaya, H., (2007). Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Nisan; 3-5
- Gümüş, K. (2008). Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi YTÜ
- Gümüş, K., Erkaya, H. ve Tunalıoğlu, N. (2009). Yersel Lazer Tarama Verilerinde Çevresel Ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı; 137-138.
- Ingensand, H. (2006). Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology. In Proceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Jiang, J., Ming, Y., Zhang, Z., Zhang, J. (2005). Point-based 3D Surface Representation from LiDAR Point Clouds. The 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS; 1-4.
- Kostamovaara, J., Maatta, K. and Myllyla, R. (1991). Pulsed time-of-flight laser range-finding techniques for industrial applications. SPIE Proceedings, 1614; 283-295
- Liu X. (2008), Airborne LiDAR for DTM generation: Some critical issues, Progress in Physical Geography

Meng X., Currit N., Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues, *Remote Sensing*.

Polat, N ve Uysal M. (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alınları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. *A K Ü F e n v e M ü h e n d i s l i k Dergisi*.

Reshetyuk, Y. (2006). Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodetic engineering. In Proceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Reshetyuk, Y. (2006) Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner Leica HDS 3000. **96-103.**

İnternet Kaynakları

- 1) http://laseerrr.blogspot.com.tr/laser-ve-kullanim-alanlari-1_9.html, 09.01 2016
- 2) <http://hayekmakina.com.tr/productsDetail/1420201868/balya-tasima-arabasi>, 20.12.2018
- 3) http://www.inverter-plc.net/servo_sistem/step_motorlar.html, 15.11.2018
- 4) <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/lazer-nasil-calisir-2-bolum/12210?#ad-image>, 15.11.2018
- 5) <http://www.frmtr.com/muhendislik-mimarlik-peyzaj-mimarligi/5224677-haritamuhendisligiyersel-lazer-tarayicilar.html>, 07.06.2018
- 6) <http://www.haritaciyim.com/lazer-tarama-teknolojisi/>, 15.07.2018
- 7) <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/lazer-nasil-calisir-2-bolum/12210?#ad-image-0>, 01.08.2018
- 8) <https://www.sick.com/tr/tr/mesafe-oelcuem-sensoerleri>, 11.01.2018
- 9) http://www.inverter-plc.net/servo_sistem/step_motorlar.html, 20.12.2018
- 10) <http://www.geomaticsgroup.com/contents/urunler/69/271/393>, 01.02.2018
- 11) <https://www.robotus.net/M542-Step-Motor-Surucu-45A,PR-1699.html>, 20.12.2018
- 12) https://tr.wikibooks.org/wiki/C_Sharp_Programlama_Dili/C_Sharp_hakk_temel_bilgiler, 25.12.2018
- 13) <https://www.sahinrulman.com/step-motor-nema-24-31nm>, 23.12.2018
- 14) www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php, 03.12.2018
- 15) <https://sanalkurs.net/solidworks-nedir-ne-ise-yarar-nasil-ogrenilir-8347.html>, 20.12.2018
- 16) <https://dogaelektronik.com.tr/urunler/stonex-x300-laser-scanner>, 31.12.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Emre AKÇAL
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar 19.03.1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 543 549 1921 mustafaemreakcal@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Habire Yahşi Lisesi, (2002-2006)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü, (2007-2011)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Sayın A.Ş (2012 – 2016)
Millî Savunma Bakanlığı (2016-Devam ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer) :Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Yersel Lazer
Tarama Sisteminin Kullanılabilirliğinin
Araştırılması. HKMO-Mühendislik Ölçmeleri
STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri
Sempozyumu 19-21 Ekim 2016, YTÜ