



**TASARLANMIŞ OLAN DÜŞÜK MALİYETLİ  
YARI OTOMATİK KESİT ALMA ALETİNİN  
KÜBAJ HESABINDA UYGULANMASI  
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uğur Can GERBOĞA**

**Danışman**

**Doç. Dr. Tamer BAYBURA**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TASARLANMIŞ OLAN DÜŞÜK MALİYETLİ YARI OTOMATİK  
KESİT ALMA ALETİNİN KÜBAJ HESABINDA UYGULANMASI  
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**Uğur Can GERBOĞA**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Tamer BAYBURA**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Uğur Can GERBOĞA tarafından hazırlanan “Tasarlanmış Olan Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Kesit Alma Aletinin Kübaj Hesabında Uygulanması Üzerine Bir Çalışma” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19/09/2019 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

**Başkan** : Prof. Dr. İbrahim KALAYCI  
Necmettin Erbakan Üni. Müh. Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Tamer BAYBURA  
Afyon Kocatepe Üni. Müh. Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU  
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.**

**19/09/2019**



**Uğur Can GERBOĞA**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Tasarlanmış Olan Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Kesit Alma Aletinin Kübaj  
Hesabında Uygulanması Üzerine Bir Çalışma

Uğur Can GERBOĞA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Tamer BAYBURA

Günümüz de nüfus sayısında ki hızlı artışların yol açtığı yerleşim yerlerindeki genişleme nedeniyle buradaki iletişim ulaşım ile sağlanmaktadır. Bundan ötürü ulaşım hayatımız da önemli bir konuma yerleşmiştir. Genişleyen yerleşim yerlerinden ötürü şimdiki imkanlar her geçen gün taleblerimize daha az karşılık vermektedir. Bu nedenle teknolojideki gelişmelerle doğru orantılı olarak alternatif yollar aranmaktadır. Aranan alternatif yollardaki amaç zamanı verimli kullanılmasıdır. Teknolojideki gelişmelerle paralel olarak Harita Mühendisliğindeki uygulamalarda yeni teknikler geliştirilmiştir. Teknolojideki gelişmelerle hassas ve hızlı ölçümler yapılarak daha doğru sonuçlar elde edildiği sistemler geliştirilebilecektir. Bu nedenle günümüz teknolojisine uygun ekipmanların desteğiyle konuma bağlı veri üretiminin önemi artmaktadır. Bu sebeble Harita Mühendisliğin de kullanılmakta olan lazer tarayıcıların daha fazla geliştirilmesi sağlanmaktadır. Bu aletler bir taşıyıcı araca sabitlenerek (sabit bir istasyon, araç, tren, gemi vb.) farklı çeşitlere göre oluşan çeşitli ölçme hızları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan nokta bulutlarının insan gücü ve zamandan tasarruf ederek veri toplamamızı sağlamaktadır. Lakin şuanda kullanılan sistemlerin maliyetlerin yüksek olması bu teknolojik cihazlardan yararlanmamızın önüne geçmektedir. Bu çalışmada; maden sahası çalışmalarında , tünel inşaatlarında veya herhangi bir yapı projesi şantiyelerinde tasarlanmış olan düşük maliyetli yarı otomatik kesit alma aleti aracılığıyla anlık olarak kesit oluşturabilmesi ve arazide anlık alan ve hacim hesabı yapmak amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada tasarlanmış olan düşük maliyetli

yarı otomatik kesit alma aleti ile ne kadar dolgu ne kadar kazı yapıldığının hesaplanması,arazide yapılan okumaların anlık olarak kesit haline dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bu tasarlanan alet ile dönemimizde kullanılan uygulamalara çeşitlilik olarak tasarlanacak uygulamalarda söz edildiği gibi; zaman ve insan gücünden tasarruf ederek ölçme tekniğinin daha kısa zamanda ve istenilen amaca uygun doğrulukta kullanılacak bir sistemin daha ucuz maliyetle tasarlanmıştır. Bu tasarlanan sistem yardımıyla ekstra zaman harcamadan anlık olarak arazide yaptığın işlerin kesitleri ve kübaj hesaplarıda bu sistem yardımıyla yapılmış olmaktadır.

**2019, xi + 32 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Düşük maliyet, yarı otomatik lazer entegreli sistem, kesit çıkarımı,kübaj hesabı, dolgu, yarma, alan, hacim, zamandan tasarruf.

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

A Study on the Application of the Designed Low Cost Semi-Automatic Sectioning  
Device to the Cubage Calculation

Uğur Can GERBOĞA  
Afyon Kocatepe University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatics Engineering  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Tamer BAYBURA

Today, rapid population growth brings rapid growth in settlements. The rapid growth of the settlements necessitates the adaptation of inter-regional transportation services to this speed. In order to adapt to this speed, map engineers follow the current technologies and develop the technology that will be useful for their own business. Today, machinery and equipment for more accurate and faster field measurements are being developed by using newly developed technologies.

Thanks to the convenience of these new equipment and machines, location-based data production is becoming more important. Laser scanners; which are used by the map engineers for location based data generation, can be used by mounting on a platform (fixed station, vehicle, train, ship, etc.), according to different situations, different measuring speeds can be observed and the resulting point density can increase. Laser scanners are used in order to save manpower and time in data collection. However, the high cost of these systems prevents engineers from using these technological devices.

In this study; It is aimed to create cross sections with a semi-automatic laser scanning system by instantaneous calculation of area and volume in mining works, tunnel constructions or construction of a building project. As an application, A low cost semi-automatic cross-sectional system is used. The readings in the field are instantly converted into cross-sections by calculating how much filling and how much excavation is done. As a result; an alternative to the applications used today; a system is designed

with cheaper cost which has provide accurate results in a short period of time and with low manpower as it is in the current technology level.

**2019, xi + 32 pages**

**Keywords:** Low Cost, Low Cost Laser Scanner, Semi-Automated Laser Integrated System, Automatic Section Calculation, Automatic Volume Calculation, Filling, excavation, Area, Volume, Time Reduction.





## 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 Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU 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 M.Emre AKÇAL ve Harita Mühendisi Ahmet DURMUŞ'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Hayatımın her döneminde yanımda oldukları gibi bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı GERBOĞA (İlhan, Nesrin, İlke, Deniz) 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 eşim Ilgın'a da teşekkür ederim.

Uğur Can GERBOĞA  
AFYONKARAHİSAR, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                 | i    |
| ABSTRACT .....                                             | iii  |
| TEŞEKKÜR .....                                             | v    |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                    | vi   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                       | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                     | ix   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                      | x    |
| RESİMLER DİZİNİ .....                                      | xi   |
| 1. GİRİŞ .....                                             | 1    |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....                                | 4    |
| 2.1 Harita Mühendisliğin’de Lazer Tarama Teknolojisi ..... | 4    |
| 2.2 Hava Lazer Tarama Sistemleri .....                     | 4    |
| 2.3 Yersel Lazer Tarama.....                               | 5    |
| 2.4 Kübaj Hesabı .....                                     | 6    |
| 2.4.1 Paralel Kesitler İle Kübaj Hesabı .....              | 8    |
| 2.4.2 Düzenli Dağılmış Veriler İle Kübaj Hesabı.....       | 9    |
| 2.4.3 Rastgele Dağılmış Veriler İle Kübaj Hesabı .....     | 10   |
| 2.4.4 Eş Yükseklik Eğrilerinden Kübaj Hesabı .....         | 10   |
| 2.4.4.1 Ortalama Alan Yöntemi .....                        | 10   |
| 2.4.4.2 Uç Alanlar Yöntemi .....                           | 11   |
| 2.4.4.3 Prizmatik Yöntem .....                             | 11   |
| 2.4.5 Jeodezik Yöntemle Kübaj Hesabı.....                  | 12   |
| 2.4.6 Fotogramtrik Yöntem ile Hacim Hesabı.....            | 12   |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                 | 13   |
| 3.1 Sistem Bileşenleri .....                               | 13   |
| 3.1.1 Yazılım .....                                        | 13   |
| 3.2 Sistem Tasarımı .....                                  | 16   |
| 3.3 Tasarlanan Sistemin Değerlendirilmesi .....            | 16   |
| 4. UYGULAMA .....                                          | 17   |
| 4.1 Lazer Tarama Sistemi ile Koridorun Taranması .....     | 19   |
| 4.2 Alet ile Koridorun Taranması .....                     | 21   |
| 4.3 Kübajların Hesaplanması.....                           | 23   |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4 Verilerin Çakıştırılması Alan ve Hacimlerin Karşılaştırılması..... | 24 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                           | 28 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                     | 29 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                          | 32 |



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|     |            |
|-----|------------|
| cm  | Santimetre |
| Dk  | Dakika     |
| kHz | Kilohertz  |
| m   | Metre      |
| mm  | Milimetre  |
| s   | Saniye     |

### Kısaltmalar

|       |                                                         |
|-------|---------------------------------------------------------|
| AGC   | Otomatik Algılama kontrolü                              |
| CCD   | Charge-coupled device                                   |
| CE    | Compact Edition                                         |
| 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                                                |
| SNR   | Signal to Noise Raito                                   |
| TDC   | Zaman Ölçümü Ünitesi                                    |
| TDK   | Türk Dil Kurumu                                         |
| TLS   | Yersel Lazer Tarayıcı                                   |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 Stonex X300 teknik özellikler..... | 19 |
| Çizelge 4.2 Alanların karşılaştırılması. ....  | 26 |
| Çizelge 4.3 Hacimlerin karşılaştırılması. .... | 27 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Kübaj hesaplama yöntemleri.....             | 8  |
| Şekil 2.2 Üçgen ve dikdörtgen prizmanın hacmi .....   | 9  |
| Şekil 2.3 Eş yükseklik eğrilerinden kübaj hesabı..... | 11 |



## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 2.1</b> Yersel lazer tarayıcı çalışması prensibi.....         | 5     |
| <b>Resim 2.2</b> Örnek yersel lazer tarama sistemi. ....               | 6     |
| <b>Resim 2.3</b> Kübaj hesabı neden yapılır. ....                      | 7     |
| <b>Resim 3.1</b> Sistem yazılımının girişi. ....                       | 14    |
| <b>Resim 3.2</b> Ara yüz kontrol bölmesi.....                          | 14    |
| <b>Resim 3.3</b> Lazer metre referans ayarlama bölümü.....             | 15    |
| <b>Resim 3.4</b> Ölçü esnasından görünüm.....                          | 16    |
| <b>Resim 4.1</b> Ölçüm yapılan koridor. ....                           | 18    |
| <b>Resim 4.2</b> Lazer tarama sistemi ile koridorun taranması. ....    | 20    |
| <b>Resim 4.3</b> Lazer tarama sistemi ile koridorun taranmış hali..... | 21    |
| <b>Resim 4.4</b> Ölçüm yapılan koridordaki fiziki engeller.....        | 22    |
| <b>Resim 4.5</b> Cross örneği . ....                                   | 24    |
| <b>Resim 4.6</b> Kesitlerin çakıştırılmasındaki hata payı.....         | 25    |
| <b>Resim 4.7</b> Bütün kesitlerin çakıştırılması. ....                 | 25    |
| <b>Resim 4.8</b> Birleştirilen kesitlerin parçalanması. ....           | 26    |

## 1. GİRİŞ

Lazer teknolojisi son 20 yıl içerisinde haritacılık sektöründe yaygınlaşmıştır. Bu teknolojinin hayatımıza girmesiyle objeler hakkında görsel ve geometrik bilgiye ulaşmak hızlı ve ekonomik olmaktadır. Bu nedenle lazer tarama teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Lazer taramanın öneminin artmasıyla tedarikçi firmalar bu teknolojiye diğer cihazlara nazaran daha fazla ilgi duyarak, son zamanlarda bu alanla ilişkili çeşit çeşit ürünler ortaya çıkmıştır. Lazer tarama teknolojisinde lider olmak hedefiyle araştırma ve geliştirme çalışmalarına ve sistemi geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Hacim hesaplamaları yapılan çalışmalarda yol projelerinde, birçok maden işletmelerinde, jeolojide, çevre mühendisliğinde, şehir bölge planlamada ve inşaat çalışmalarında kullanılmaktadır. Çoğu uygulamalarda yeterli teknik bilgiye sahip olmamaktan ve yazılım ile donanım yetersizliği sebebiyle hacim hesapları matematiksel hesaplama yerine kamyon sayısı hesabı gibi kaba bir yaklaşımlar hesaplanmaktadır. Bu hesaplama tekniği zorunluluktan ve yöntemlerin az olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak ise yapılamayan hesaplamalar nedeniyle farklı sonuçlar oluşmaktadır. Birçok uygulamada da bu önemli bir ekonomik kayıp olarak ortaya çıkmaktadır. Ölçüm işlemlerinin zorluğu, hatta bazen imkânsızlığı nedeniyle bu tür çözüm bulmayı zorunlu kılmaktadır.

Haritacılığın temelini oluşturan mühendislik projeleri; yol, inşaat, madencilik vs. alanlarda yapılan çalışmalarda maliyet hesaplarının yapabilmek için doldurulacak ve kazılacak toprak miktarlarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken, enkesitlerden, nivelman ölçülerinden ve eş yükseklik eğrili haritalardan faydalanılarak yapılmaktadır. Bu tür uygulamaların başlangıç noktası, araziye doğru tanımlayacak uygun dağılımda ve gerekli sıklıkta noktaların toplanmasıdır. Belirttiğimiz gibi firmalar günümüzde bu yöntemlere alternatif çalışmalar üretmek istemektedir. Bu nedenle sam yöntemi çok büyük önem kazanmış olup, hacim hesabında sıklıkla kullanılan metot olmuştur (Yanalak 2005).



Bilgisayar teknolojisindeki en son yenilikler 3 boyutlu ölçüm teknolojisine de yenilikler getirmektedir. Hacim hesaplamasında son yıllarda geliştirilen robotik lazer tarayıcılar 3 boyutlu modelleme için etkili bir ölçme teknolojisi olarak hızla gelişme göstermektedir. Lazer tarayıcılar yüzlerce noktanın koordinatlarını elde edebilmektedirler. Bunu yaparken zeminle temas etmeden ölçüm yapma yeteneği olan lazer teknolojisi kullanılmaktadır. Burada öne çıkan avantajlardan birisi de risk taşıyan ölçümlerin daha az riskle yapılabilmesi klasik ölçme metotlarından üstünlüğü bir kat daha atmaktadır.

Jeodezik metotlarla ölçülmesi çok zor olan ölçümler bile bu tür yöntemlerle oldukça kolay bir şekilde bitirilebilmektedir. Araştırmalar artık iki düzensiz yüzey arasında kalan bölgenin alan ve hacim hesaplarını yapabilecek seviyeye gelmiştir. Her bir ölçü noktası için eski yöntemler gibi fiziki olarak temas etme ortadan kaldırılmıştır. Bu nedenle de insan eli değmediğinden hatalar azalmaktadır. Yani oldukça güvenli bir metottur. Haritacılık alanında yeni bir metod olarak kullanılmasını beklediğimiz bir yöntemi deneyerek; bu çalışmada otomatik lazer tarayıcılı cihaz ile kübaj hesaplamalarında kullanılabilirliği ve performansı araştırılmıştır. 21.yy teknolojisine uygun teçhizatlar kullanılmak suretiyle noktasal veri üretimi ile lazer tarayıcı cihaz geliştirilerek bir çalışma yapılması hedeflenmektedir. Einstein'ın 1916 yılında ışımının uyarılmış salınımı kuramının ortaya çıkmasından beri kullanılan lazer tarayıcılar bütün ortamlarda olduğu gibi haritacılık alanında da önemli bir parça olma yolunda ilerlemektedir.

Bu çalışmada oluşturulan sistem ile düşük maliyetli lazer tarayıcı sistem ile galerilerde hacim hesabının yapılabilirliği araştırılmaktadır. Yapılan bu çalışma 6 ana bölümden oluşmaktadır. Giriş başlığıyla başlayan çalışmada sırasıyla; 2. bölümde lazer taramanın tarihçesi, mesleğimizdeki kullanım alanları ve kübaj hesaplamalardan bahsedilmiştir. 3. Bölüm materyal ve metot kısmıdır. Burada Akçal 2019 tarafından tamamlanan sisteme yapılan eklemelerden bahsedilmiştir. 4. kısımda yapılan deneysel ölçümlerin yapılışı ve sonuçlarından elde edilen hacim hesaplarının değerlendirilmesi ve yorumlanması yer almaktadır. 5. kısımda elde

edilen sonuçlar eşliğinde ortaya çıkan sonuçlar anlatılmış olup, 6. olan son kısımda kaynakça yer almaktadır.



## **2. LİTERATÜR BİLGİLERİ**

### **2.1 Harita Mühendisliğin’de Lazer Tarama Teknolojisi**

Lazer taramanın haritacılık bölümünde kullanılan bir uygulama olması gelişen teknoloji ile son 20 yılda olmuştur. Lazer tarama teknolojisi ile objeler hakkında geometrik ve görsel bilgilere sahip olmak diğer ölçüm yöntemlerine göre kolay olmaktadır. Lazer tarayıcı sistemlerinde, birbirine paralel olan, yüksek genlikli ve aynı frekansa sahip lazer ışınları kullanılmaktadır. Lazer tarama sistemleri, Light Detection and Ranging (LiDAR) ve yersel (terrestrial) olmak üzere iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama, adından da anlaşılacağı gibi yer esaslı lazer tarayıcılar kullanmak suretiyle istenilen objenin üç boyutlu modellemesinin oluşturulmasıdır. Hava lazer tarama ise hava aracına takılan tarayıcıdan çıkan ışının tarama yüzeyine çarpım gelmesi esnasında geçen sürenin hesaplanması sayesinde veri toplamaktadır. Havadan ve yersel lazer taramaların çalışma prensipleri birbirleriyle aynıdır. Kısaca, lazer tarama aleti tarafından yatayda ve düşeyde yapılan yönlendirmelerle taratılan obje hakkında veri toplamayı sağlamaktır (Gümüş ve Erkaya 2007).

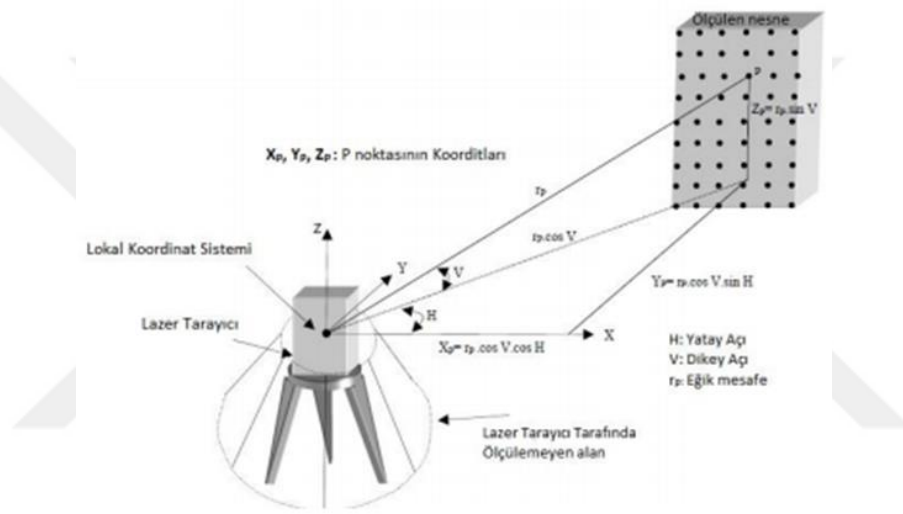
Lazer tarama sistemleri kullanılarak yapılan ölçümlerde alet operatörlerinden dolayı meydana gelen kaba hatalar da yok denecek kadar indirgenmiştir. Bundan dolayı ölçüm sonuçları klasik ölçme yöntemlerine göre daha hassas olmaktadır (Gümüş ve Erkaya 2007).

### **2.2 Hava Lazer Tarama Sistemleri**

LiDAR, radar teknolojisine benzemektedir. Hava lazer tarama sistemlerinde radarda kullanılan radyo dalgaları yerine lazer ışını kullanılmaktadır. Hava lazer tarama sistemlerinin temel prensibi elektronik metrelerle benzemektedir. Sistem tarafından taranan nesneye tarayıcıdan gönderilen lazerlerin nesneden geri dönüp sistem tarafından algılandığı ana kadar geçen zaman yardımıyla, sistem ile taranan nesne arasındaki uzaklık hesaplanır (Jiang *et al.* 2005).

### 2.3 Yersel Lazer Tarama

Yersel lazer tarama sistemleri, dikey ve yatay yönde motorize edilmiş total stationlara benzemektedir. Ölçülen her nokta için, koordinatlar, eğik uzaklık ile birlikte noktaya olan yatay ve dikey açılar olarak kayıt edilmektedir (Resim 2.1). Ölçülen bu değerler yardımıyla nokta koordinatları, tarayıcının konumuna bağlı olarak kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir (Akçal 2019, Gümüş ve Erkaya 2007).



**Resim 2.1** Yersel lazer tarayıcı çalışması prensibi (Akçal 2019)

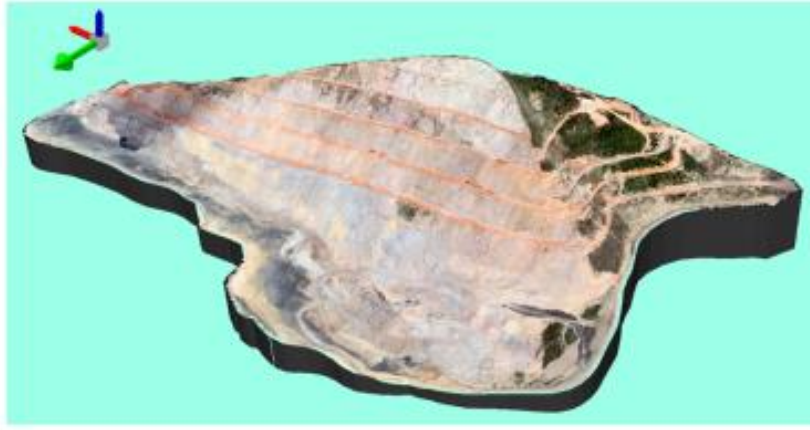
Yersel lazer tarama işlemi hem düşey hemde yatay yönde lazer tarama sisteminden çıkan lazerlerin deydiği objeleri tarayacak şekilde gerçekleşmektedir. Tarama şekline göre tarama sonunda ki nokta yoğunluğu değişkendir. Yersel lazer tarama sisteminden elde edilen her noktadan üç adet koordinat (X, Y, Z) bilgisi alınır. Yersel lazer tarama sisteminden elde edilen koordinatlarının yanında her nokta bulutunun içinde yoğunluk değeri de elde edilmektedir. Bu yoğunluk değeri çoğunlukla oluşan nokta bulutlarındaki yükseklik farklarının görsel analizinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama sistemlerinden elde edilen nokta bulutları içerisinde renk değerleri de bulunmaktadır. Bu renk değerleri lazer tarama sisteminde bulunan kameralar yardımıyla elde edilmektedir.



**Resim 2.2** Örnek yersel lazer tarama sistemi.

## **2.4 Kübaj Hesabı**

Farklı bilgisayar programları ve ölçüm cihazlarının desteğiyle sıkışma, kabarma, kazı, dolgu, depo işlemleri göz önünde bulundurularak yapılan toprak hesabıdır. Başka bir deyişle yapılan bir işin hacminin hesaplanmasıdır. Diğer bir deyişle, yapılan bir işin hacmini hesaplama işlemidir. Kübaj hesabının kısaca nasıl yapıldığından bahsedilecek olursa arazinin çalışmadan önce ve çalışmadan sonra yapılan plankote haritası arasındaki hacim farklarından yararlanılarak yapılmış olur. Günümüzde genellikle kübaj hesapları jeodezik ve fotogrametrik ölçme yöntemleriyle yapılmaktadır.

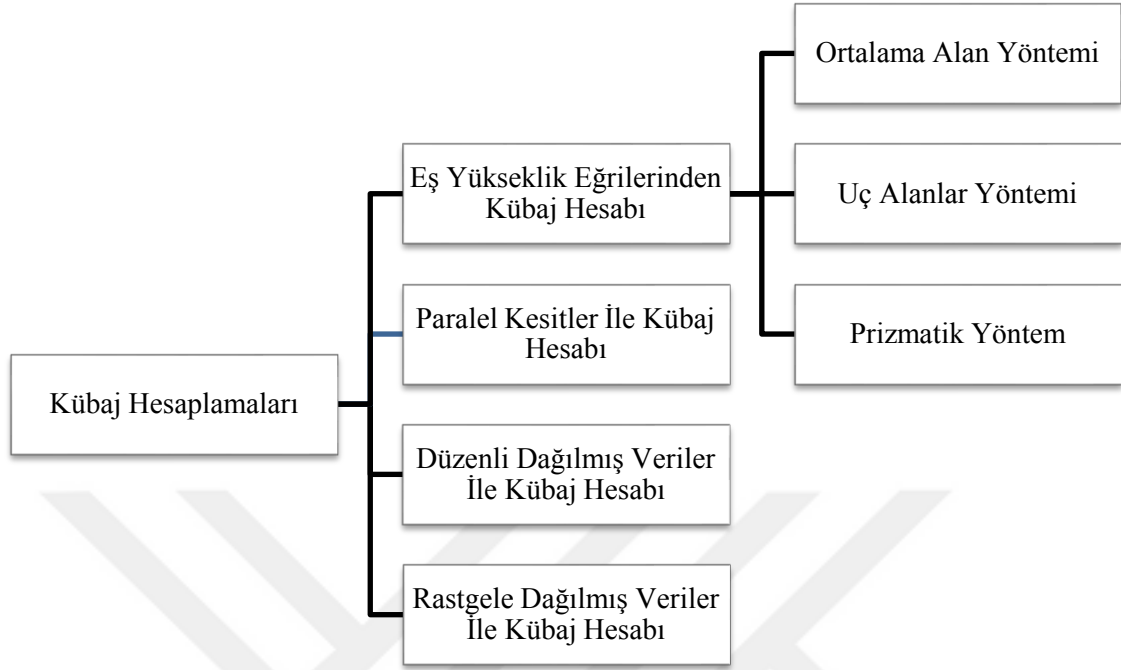


(a)



(b)

**Resim 2.3** Kübaj hesabı neden yapılır.



Şekil 2.1 Kübaj hesaplama yöntemleri.

#### 2.4.1 Paralel Kesitler İle Kübaj Hesabı

Hesap yöntemi olarak bu uygulama seçilirse arazi eşit olarak düşey yönde kesilir. Eşit düşey düzlemlerle kesilen araziden kesitler elde edilmiş olur. Bu yöntemde kübaj hesabı yapılırken kesitlerden elde edilen alanlar yardımıyla ortalama alan yöntemi kullanılır. Formüllerde geçen  $l$  oluşturulan kesitler arasında ki yatay mesafederi (Yanalak 1997 ve Seki 2017).

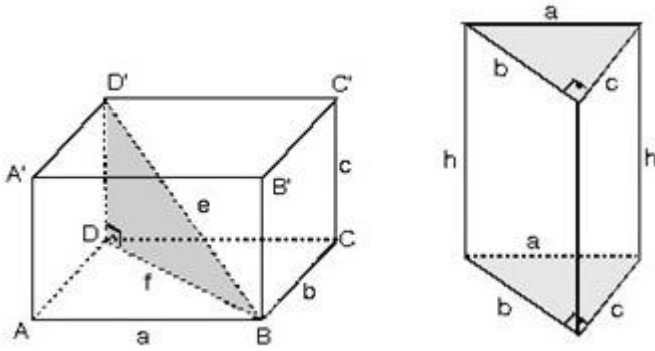
$$v = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}{n} \cdot l(n - 1) \quad (2.1)$$

$$v = \frac{1}{2} (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + 2F_{n-1} + F_n) \quad (2.2)$$

$$v = \frac{1}{3} (F_1 + 4F_2 + 2F_3 + 4F_4 + 2F_5 + 4F_6 + 2F_7 + \dots + F_{n-2} + 4F_{n-1} + F_n) \quad (2.3)$$

### 2.4.2 Düzenli Dağılmış Veriler İle Kübaj Hesabı

Hesap yöntemi olarak bu uygulama seçilirse araziden alınan noktaların düzenli dağılmış olması gerekmektedir. Düzenli dağılmış olmasının sebebi ise arazi yüzeyinin istenildiği zaman üçgen ya da dörtgen bölümlere ayrılabilir olmasındandır. Bu yöntem ile kübaj hesabı yapılmak istendiği zaman oluşturulan kaynak alınan yüzey ile parçalara ayrılmış yüzeyler arasında kalan bölgenin hacmi düzgün prizmalar (üçgen veya dörtgen ) yardımıyla belirlenir (Yanalak 1997 ve Seki 2017).



Şekil 2.2 Üçgen ve dikdörtgen prizmanın hacmi (İnt.Kyn.16)

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_R \quad i = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2.4)$$

$$v = F'(\Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3)/3 \quad (2.5)$$

elde edilir.  $x_i, y_i$  nokta koordinatları olmak üzere,

$$\begin{aligned} \Delta X_2 &= x_2 - x_1 \\ \Delta Y_2 &= y_2 - y_1 \\ F' &= \frac{1}{2}(\Delta X_2 \cdot \Delta X_3 - \Delta Y_2 \cdot \Delta X_3) \\ \Delta X_3 &= x_3 - x_2 \\ \Delta Y_3 &= y_3 - y_2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

yazılabilir. Üçgen prizmaya benzer yolla dikdörtgen bir prizmanın hacmi

$$v = F'(\Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3 + \Delta Z_4)/4 \quad (2.7)$$

formülü yardımıyla hesaplanır (Yanalak 1997 ve Seki 2017).



### 2.4.3 Rastgele Dağılmış Veriler İle Kübaj Hesabı

Araziden toplanan noktaların düzensiz yani rastgele bir şekilde alınması durumunda, uygulanacak en uygun enterpolasyon yöntemleriyle hacimleri hesaplanabilecek düzenli bir geometrik şekile dönüştürmek mümkündür. Düzgün bir geometrik şekile dönüştürülen düzensiz noktalardan prizmalar yardımıyla kübaj hesabı yapmak mümkün olur. Bu sayede bölüm 2.4.1 deki gibi kesitler yardımıyla kübaj hesabı yapılabilir (Yanalak 1997 ve Seki 2017).

### 2.4.4 Eş Yükseklik Eğrilerinden Kübaj Hesabı

Eş yükseklik eğrilerinden kübaj hesabı yapılırken çeşitli metotlar kullanılır. Bu metotlar içerisinde yaygın olarak kullanılanlar:

- Uç Alanlar Yöntemi
- Ortalama Alan Yöntemi
- Prizmatik Yöntem'dir.

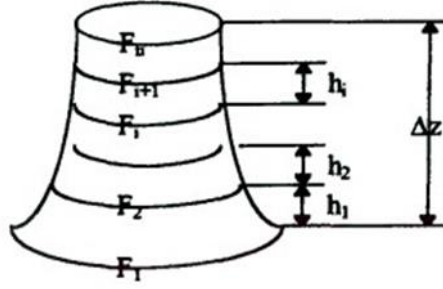
#### 2.4.4.1 Ortalama Alan Yöntemi

Bu yöntem ile kübaj hesabı şu şekilde yapılır; sıralı alanlar arasında kalan hacim (v), hesap edilen kesit alanlarının ortalaması ile sıralı iki uç kesit alanı arasındaki yükseklik farkı ile çarpılmasından hesaplanmaktadır (Doğruluk 2013 ve Seki 2017).

Eş yükseklik eğrilerinin belirlediği alanlar  $F_1, F_2, \dots, F_{n-1}$  ve en çok alanla en az alan arasındaki yükseklik farkı  $\Delta z$  ise hacim

$$v = \frac{F_1 + F_2 + F_{n-1} + F_n}{n} \cdot \Delta z \quad (2.8)$$

olur (Özgen ve Öztan 1988 ve Seki 2017).



Şekil 2.3 Eş yükseklik eğrilerinden kübaj hesabı.

#### 2.4.4.2 Uç Alanlar Yöntemi

Bu metot çoğunlukla münhaniler arasında ki yükseklik farkının aynı olduğu anlarda uygulanmaktadır. İki münhani arasında kalan hacim

$$V_i = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot h_i \quad i = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2.9)$$

Formülü ile ifade edilebilir.

F1 ve Fn uç alanları arasında kalan toplam hacim (v) ise (2.9) formülü yardımıyla

$$v = \frac{1}{2} h (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + 2F_{n-1} + F_n) \quad (2.10)$$

formülü ile elde edilir (Özgen ve Öztan 1988 ve Seki 2017).

#### 2.4.4.3 Prizmatik Yöntem

Arka arkaya olan iki alan arasındaki şekil kesik prizma kabul edilirse, hacim Simpson formülü ile hesaplanabilir.  $F_{im}$ ,  $F_i$  ile  $F_{i+1}$  alanları arasında kalan orta kesitin alanını gösterdiğine göre  $F_i$  ile  $F_{i+1}$  alanları arasındaki hacim

$$v_i = \frac{h_i}{6} (F_i + 4F_{im} + F_{i+1}) \quad (2.11)$$

olur. Burada  $h_i$ ,  $F_i$  ve  $F_{i+1}$  alanları arasındaki yükseklik farkıdır.

Şekil 2.3'deki çift sayı indisli alanlar orta alan kabul edilirse (2.11) eşitliğinden yararlanarak toplam hacim

$$v = \frac{h_1+h_2}{6} (F_1+4F_2 + F_3) + \frac{h_3+h_4}{6} (F_3+4F_4 + F_5) + \dots + \frac{h_{n-2}+h_{n-1}}{6} (F_{n-2}+4F_{n-1} + F_n) \quad (2.12)$$

olur.

Eğriler arasındaki yükseklik farkının eşit ( $h_1=h_2=\dots=h_{i-1}=h$ ) kabul edildiği varsayımına göre (2.12) eşitliğinden ise

$$v = \frac{h}{3} (F_1+4F_2 + 2F_3 + 4F_4 + 2F_5 + 4F_6 + \dots + F_{n-2} + 4F_{n-1} + F_n) \quad (2.13)$$

elde edilir.

$F_{im}$  orta alanlar için, ardışık iki kesit alanının ortalaması kullanılırsa çözüm uç alanlar yöntemine dönüşür (Özgen ve Öztan 1988 ve Seki 2017).

#### 2.4.5 Jeodezik Yöntemle Kübaj Hesabı

Bu yöntemde çalışma sahasında kübaj hesabı yapabilmek için çalışmadan önce ve çalışmadan sonra çalışma sahasından jeodezik ölçme aletleriyle önemli noktalar toplanır. Jeodezik ölçme aletlerine örnek verecek olursak en basitiyle totalstation denebilir. Toplanan noktalar çeşitli bilgisayar programlarında değerlendirilerek çalışmadan önce ve çalışmadan sonra hacimleri hesaplanmaktadır. Çalışma öncesinde ve çalışma sonrasında hesaplanan hacim farklarından da çalışma sahasında yapılan işlemin kübaj hesabı yapılmış olur.

#### 2.4.6 Fotogramtrik Yöntem ile Hacim Hesabı

Fotogramtrik kübaj hesabı koordinatlandırılmış modelden yararlanarak yapılır. Koordinatlandırılmış model arazi şeklinin koordinatlarla belirlenmesine denir. Koordinatlandırılmış modelden kübaj hesabı yapabilmek için önce kübaj hesabı yapılacak alan sınırlandırılır. Bu sınır içinde kalan alanın önceden belirlenmiş olan bir düzleme veya düzlemlere göre hacmi hesaplanır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

Bu uygulamada Harita mühendisliğinde kullanılmakta olan ölçüm cihazlarından, maliyeti ve insna gücü açısından diğerlerine göre ekonomik olarak kullanabilmek amacıyla tasarlanan sistemle kübaj hesabı yapmak amaçlanmıştır. Sistemin asıl hedefi lazer cihazının topladığı veriler ile kesit oluşturulması ve oluşturulan kesitlerden elde edilen alanlar yardımıyla kübaj hesabı yapılması üzerine kurgulanmıştır. Yarı otomatik alet ile oluşturulacak kesitlerin ve yapılacak alan hesaplamalarının insan gücünden tasarruf ederek çalışma yapması amaçlanmıştır. Dünyamız da ulaşım sistemin büyük bir kesimini oluşturan yol inşaatlarında ya da madencilik çalışmalarında tasarlanmış olan düşük maliyetli yarı otomatik kesit alma aleti yardımıyla kesitler elde edilmesi ve kübaj hesaplarının yapılması hedeflenmiştir.

Yarı otomatik alet ile ölçümler 360° de yani 1 turda (bundan sonra adım olarak isimlendirilecek) 1600 adımda tamamlamak üzere tanımlanmıştır.

Hedef Akçal 2019 tarafından Tasarlanmış Olan Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Kesit Alma Aleti ile yapılan ölçümler sonucu elde edilen alanların doğruluğunun araştırılması ve bu alanlar yardımıyla kübaj hesabı yapılabilirliğinin kanıtlanmasıdır. Bu çalışma en sonun da 3 ana başlıkta incelenecektir. Bunlar maliyet, zaman ve iş gücüdür.

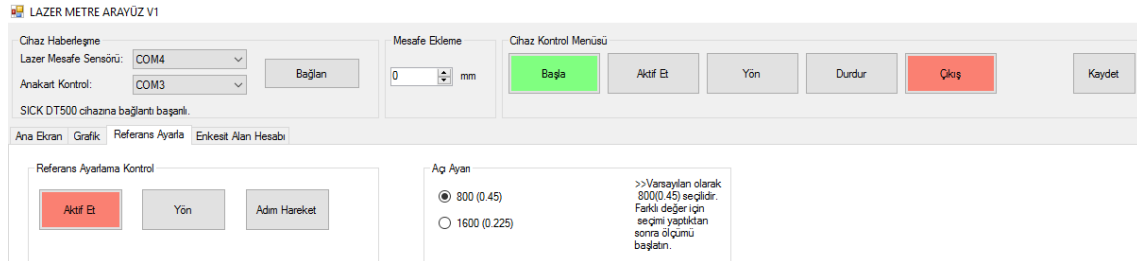
#### **3.1 Sistem Bileşenleri**

Akçal 2019 tarafından yapılan çalışmada detaylıca anlatılmıştır.

##### **3.1.1 Yazılım**

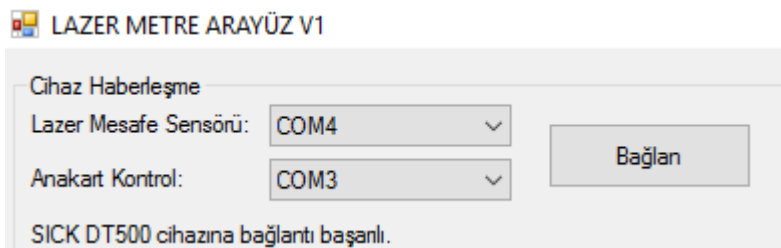
Yazılım kısmı Akçal 2019 tarafından aletin çalıştırılması ve excele ham dataları vermesi şeklinde yapılmıştır. Bu çalışmada Akçal 2019 tarafından yapılan yazılım kısmına eklenen bölümlere değinilecektir. Oluşturulan sistemin yazılım bölümünde kesitlerin oluşturulması, cihazın kontrolü ve hacim hesaplarının yapılmasın da büyük bir önem arz etmektedir. Yazılım bölümü bilgisayar ile step motor

arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Resim 3.1 arayüzün resmi bulunmaktadır. Bunun devamında arayüzde bulunan menülerden bahsedilmiştir (Akçal 2019).



**Resim 3.1** Sistem yazılımının girişi.

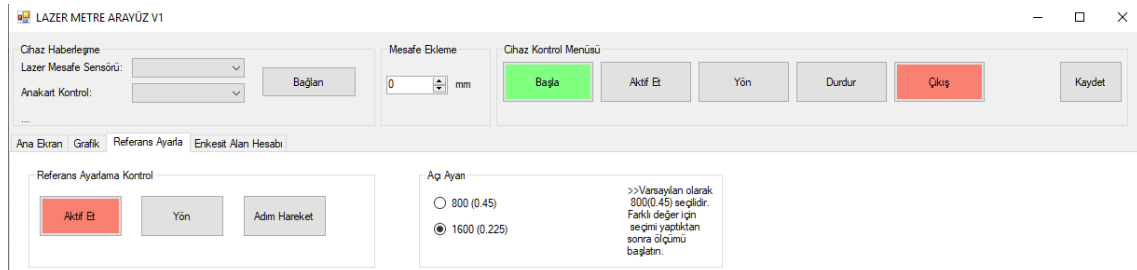
Kurulan sistemin bilgisayar ile olan bağlantısı siyah ve mavi olmak üzere iki kablo ile yapılmaktadır. Bilgisayar da bulunan USB girişleri yardımıyla com bağlantıları sağlanmış olur. Başarı ile bağlantı sağlandıktan sonra bilgisayardan lazer metreyi yönlendirme, sistemi çalıştırma, durdurma gibi özellikler yapılmış olur. Kablo yardımı ile bilgisayar bağlantısı başarılı bir şekil de kurulduktan sonra kullanıcı tarafına yukarıdaki gibi sistem arayüzü gelmektedir (Resim 3.1). Kablolar bilgisayara takıldıktan sonra başarılı bir şekilde bağlanılıp bağlanılmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontrolde ara yüzdeki Bağlan komutu ile yapılmaktadır. Kontrol yapıldıktan sonra kullanıcı tarafına Resim 3.2 de görüldüğü gibi bağlantının başarılı olduğuna dair bilgi gelmektedir.



**Resim 3.2** Ara yüz kontrol bölümü.

Yazılan ara yüz başarıyla çalıştırıldıktan sonra sistem bileşenlerinin bir biriyle iletişimi sağlanmış olur. Sistem bileşenlerinin birbiriyle iletişimleri başarılı bir şekilde sağlandıktan sonra “Arayüzdeki Referans Ayarlama Menüsü” butonundan ölçüme hazır hale getirme, başlatılması, durdurulması ve bitirilmesi yapılabilir.

Aletin başlama noktasına getirilmeden önce, ara yüzün açılış kısmından kesitin kaç noktadan oluşturulacağı belirlenir. Aletin kaç adımda ölçümü tamamlanacağını arayüzde bulunan kısımdan kolayca seçilebilmektedir. Referans ayarlama ismi verilen kısımda (Resim 3.3) görülmekte olduğu gibi 1600 nokta işaretlenerek ölçümün adım sayısı seçilmiş olur. Ölçüyü kaç noktada yapacağımız belirlendikten sonra “Cihaz Referans Ayarlama Menüsü” ile kullanım ayrıntıları aşağıda sunulmuş olan ayarlamalar yapılmaktadır (Resim 3.3).



**Resim 3.3** Lazer metre referans ayarlama bölümü.

Detaylı bir örnek ile anlatım yapılacak olursa; “Aktif Et” tuşu ile step motor aktif hale gelir ve lazer metrenin manuel olarak hareket etmesi önlenmiş olur. Bu tuş yardımı ile aynı zaman da aktif haldeki step motor devreden çıkarılarak lazer metrenin devreden çıkarılması sağlanır. “Yön” tuşu ile step motorun lazer metreyi hangi yönde döndüreceği belirlenir. Adım Hareket tuşu ile lazer metre çekül doğrultusuna getirilerek ölçüme hazır hale getirilmiş olur.

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| Başla    | : Ölçüyü Başlatma                                        |
| Aktif Et | : Çok Eksenli Step Sürücünün Kilit Anahtarı              |
| Yön      | : Çok Eksenli Step Sürücünün Step Motora Adım İlerlemesi |
| Durdur   | : Ölçüyü Durdurma                                        |
| Kayıt    | : Verilerin Kayıt Edilmesi                               |
| Çıkış    | : Menüden çıkış.                                         |

(Resim 3.3)’de görülmekte olan tuşların ne işe yaradıkları yukarıda belirtilmiştir. Bütün adımlar uygulandıktan sonra cihaz ölçüme hazır hale getirilmiş olur ve istenildiği zaman başlatılabilir.

Tasarlanan ara yüzde ölçüm esnasında anlık olarak veriler takip edilebilir. Bu kullanıcıya istediği anda ölçüye müdahale etme olanağı sağlar. Bununla birlikte sistemin düzece alınması için step motorun hareketlerini de yazılıma eklenen modlar sayesinde kontrol etme imkânı sağlanmıştır.



Resim 3.4 Ölçü esnasından görünüm.

### 3.2 Sistem Tasarımı

Akçal 2019 tarafından yapılan çalışmada detaylıca anlatılmıştır.

### 3.3 Tasarlanan Sistemin Değerlendirilmesi

Akçal 2019 tarafından tasarlanan ve montajı tamamlanan sisteminin yazılım kısmına eklenen hacim hesaplarından alınan hacim sonuçları, laboratuvar ortamında ki koridordun farklı ölçüm aletlerinden alınan verilerin farklı programlar da işlenerek çıkan alan ve hacim sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Taranan koridorun doğruluğunu belirleye bilmek için Stonex X300 lazer tarayıcı kullanılmıştır.

#### 4. UYGULAMA

Bu çalışmada Akçal 2019 tarafından tamamlanan yarı otomatik kesit alma aleti ile alan hesaplarının yapılabilirliği araştırılmıştır. Akçal 2019 tarafından tamamlanan sistem ile çıkartılan kesitlerin alanları ile son yıllarda oldukça çok kullanılan lazer tarama sistemlerinden alınan kesit alanları karşılaştırılmıştır.

Akçal 2019 tarafından tamamlanan sistem ile uygulama yapılabilecek uygun bir tünel bulunamadığından ötürü Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvar bloğu içerisinde ki ölçme laboratuvarı önündeki koridor kullanılmıştır (Resim 4.1). Bu koridorda ki çalışma alanının uzunluğu 15 m genişliği 5 m ve yüksekliği 3 mdir. Çalışma için koridorun dolaplı kısımları seçilmiştir. Tünel çalışmalarındaki gibi farklı alanlar oluşturabilmek için koridorun dolaplı kısımları seçilmiştir.





**Resim 4.1** Ölçüm yapılan koridor.

#### 4.1 Lazer Tarama Sistemi ile Koridorun Taranması

Bu çalışmada Akçal 2019 tarafından tamamlanan cihazdan alınan kesitlerin karşılaştırılması için Stonex marka X300 model lazer tarayıcı kullanılmıştır. Stonex X300 model lazer tarayıcının genel özellikleri;

- 3D tarama cihazı,
- 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,
- 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.

Stonex X300 model lazer tarayıcının teknik özellikleri;

**Çizelge 4.1** Stonex X300 teknik özellikler (İnt.Kyn.15).

| 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)          |
| Güç Kaynağı              | <40 mm, 300 m                   |
| Güç Tüketimi             | 12 V                            |
| Ölçüm Süresi             | 40 W                            |
| Lazer Cinsi              | 40000 nokta Sn.                 |
| Çalışma Sıcaklığı        | Kırmızı Işık                    |
|                          | -10°C ile + 50° C               |

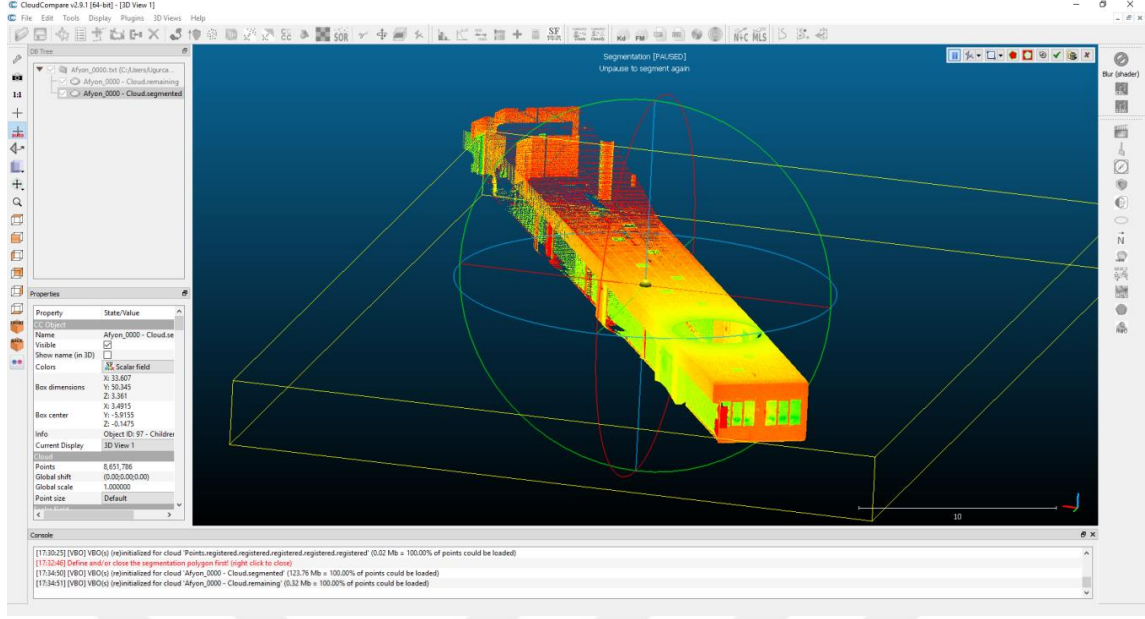
Stonex X300 lazer tarama sistemi ile çalışılan koridorun taranması 3 oturumda tamamlanmıştır. Bu üç oturumda toplamda 9127936 adet nokta okuması yapılmıştır. Bu üç oturumda yapılan ölçümler toplamda 150 dakikada tamamlanmıştır.



**Resim 4.2** Lazer tarama sistemi ile koridorun taranması.

Koridorun lazer tarama sistemi ile taranmasına Resim 4.2 de örnek olarak verilmiştir.





**Resim 4.3** Lazer tarama sistemi ile koridorun taranmış hali.

Resim 4.3 de lazer tarama sistemi ile ölçümü bitmiş olan koridorun nokta bulutu şeklinde gösterilmektedir.

## 4.2 Alet ile Koridorun Taranması

Akçal 2019 tarafından tamamlanan cihaz ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvar bloğu içerisinde ki ölçme laboratuvarı önündeki koridor 10 oturumda tamamlanmıştır. Bu 10 oturumun da her oturum için 1600 noktali okuma seçilmiştir. Bu ölçüler ortalama olarak aletin kurulmasından ölçümün bitimine ve alan hesaplarının yapılması 46 dakika olarak ölçülmüştür. Alet ile okuma yapılacak yerler alanların farklı çıkması için fiziki engellerin olduğu yerler seçilmiştir. Bu fiziki engeller koridorda bulunan dolaplar, elektrik panoları vb. (Resim 4.3).



**Resim 4.4** Ölçüm yapılan koridordaki fiziki engeller.

### 4.3 Kübajların Hesaplanması

Akçal 2019 tarafından tamamlanan sistemden alınan aç ve mesafelerden enkesitler oluşturulmaktadır. Kübaj hesabı yapabilmek için de oluşturulan en kesitlerden faydalanılmıştır. Bilinildiği üzere enkesitlerden alan ve hacim hesapları yapılabilir. Bu tezde de enkesitler yardımıyla hacim hesapları için Simpson Formülü kullanılmıştır.

En kesitler yardımıyla hacim hesabı şu şekilde yapılmaktadır;

Yüzey parçasından alınan iki enkesit alanı  $f_1$  ve  $f_2$  için hacim ortalama alanlara göre;

$$V = (f_1 + f_2) / 2 * L \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanır.

Kesitler arasındaki mesafe  $L$  olmak üzere ikiden fazla kesit arasındaki hacim;

$$V = (F_i + 2nF_m + F_s) * L / 2 \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır.

$F_m$  = İlk ve son kesitler hariç kesit alan ortalaması

$n$  = İlk ve son kesitler hariç kesit sayısı

$F_i$  = İlk kesit alanı

$F_s$  = Son kesit alanı

$L$  = Kesitler arasındaki mesafe

Yüzeyden alınan üç kesit alanı  $f_1$ ,  $f_2$  ve  $f_3$  için ilk ve son kesit arasındaki hacimler;

$$V = (F_i + F_o + F_s) * 2L / 3 \quad (4.3)$$

$$V = F_o * 2L \quad (4.4)$$

eşitlikler yazılır ve her iki eşitlikten bulunan değerlerin ortalaması alınır;

$$V = (F_i + 4F_o + F_s) / 3 \quad (\text{Simpson Formülü}) \quad (4.5)$$

Arka arkaya gelen kesitler aynı özellikli (dolgu veya yarma) veya kesitin kendi içinde çeşitli olması durumlarında ise kesitler arasındaki L mesafesine oranlanarak hesap yapılır.

[illegible]

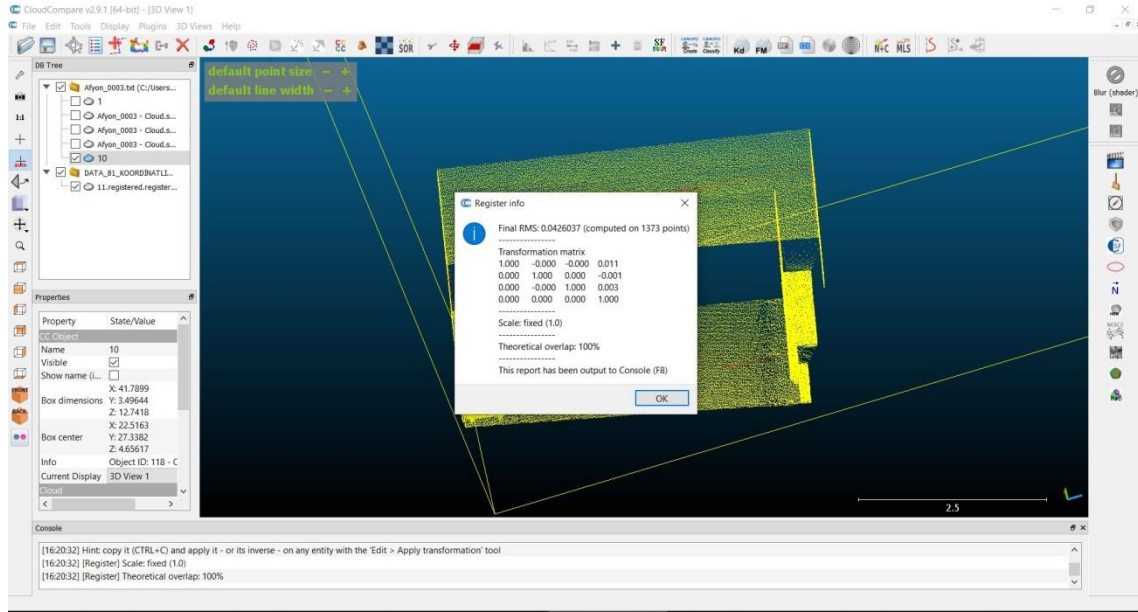
Resim 4.5 de görülen şekilde görülen noktalardan Cross yöntemiyle alan hesaplamak için noktalar ok yönünde sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

#### 4.4 Verilerin Çakıştırılması Alan ve Hacimlerin Karşılaştırılması

24

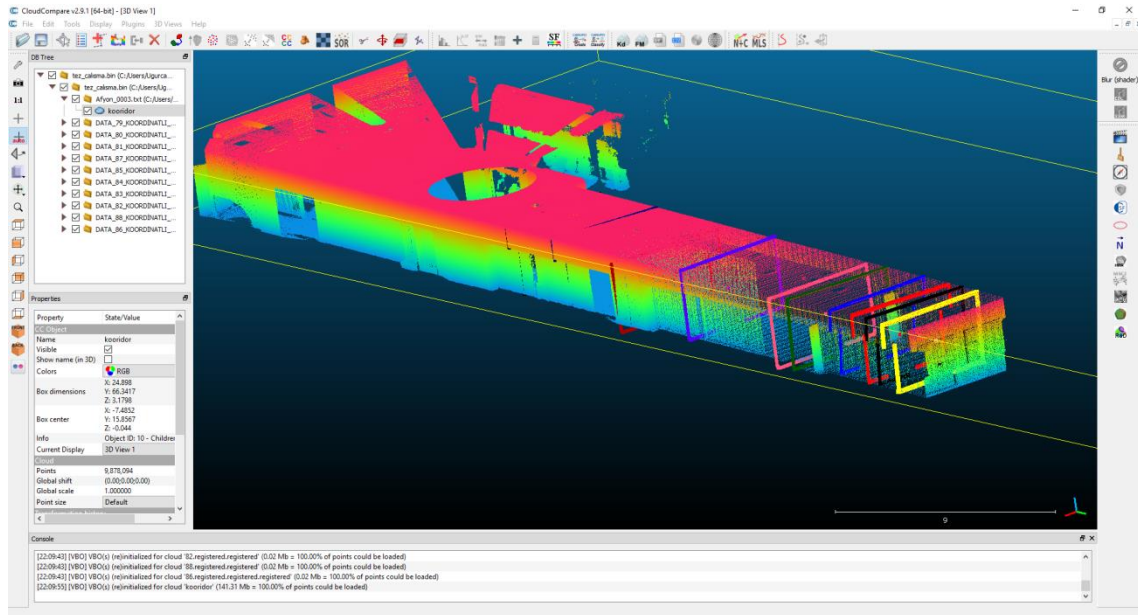


çakıştırılmıştır. Noktaların çakıştırması maksimum 0.042 m hata ile yapılmıştır (Resim 4.6).



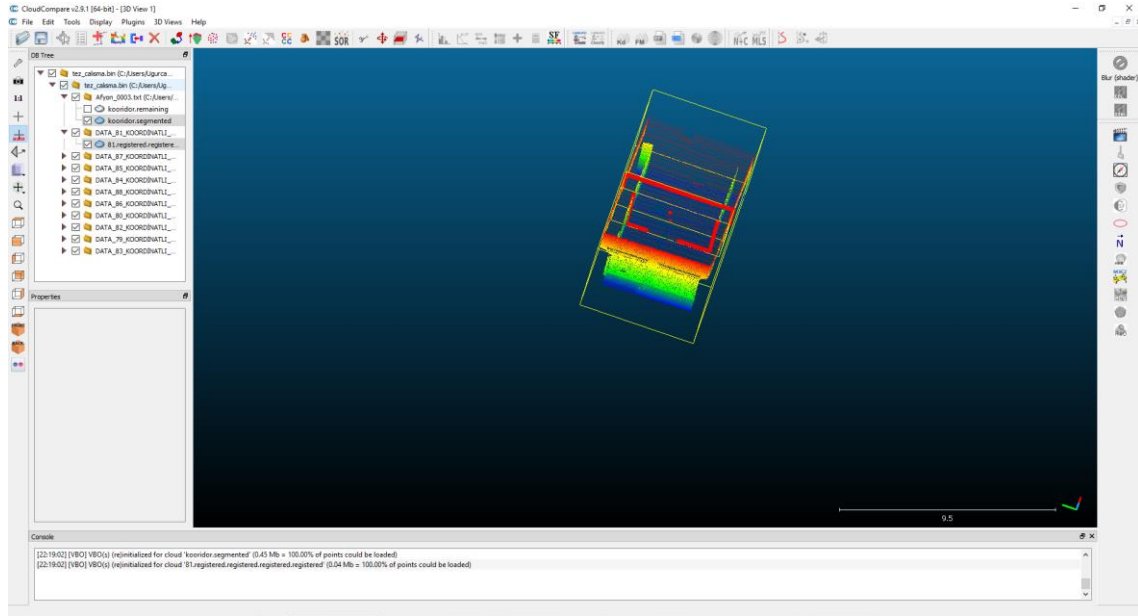
**Resim 4.6** Kesitlerin çakıştırılmasındaki hata payı.

Sistem alınan veriler lazer tarama sisteminden alınan nokta bulutu üzerinde yerlerine yerleştirildikten sonra (Resim 4.7) kesitler halinde parçalanmıştır ( Resim 4.8).



**Resim 4.7** Bütün kesitlerin çakıştırılması.





**Resim 4.8** Birleştirilen kesitlerin parçalanması.

Parçalanmış nokta bulutu daha sonra parça parça olarak alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlar çizelge 4.1 gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2** Alanların karşılaştırılması.

| Kesit Numarası | Sistem Alanları         | Lazer Tarama Alanları | Alan Farkları           |
|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1              | 13.72622 m <sup>2</sup> | 13.802 m <sup>2</sup> | 0.07578 m <sup>2</sup>  |
| 2              | 13.98106 m <sup>2</sup> | 13.920 m <sup>2</sup> | -0.06106 m <sup>2</sup> |
| 3              | 12.8449 m <sup>2</sup>  | 12.902 m <sup>2</sup> | 0.0571 m <sup>2</sup>   |
| 4              | 12.81007 m <sup>2</sup> | 12.812 m <sup>2</sup> | 0.00193 m <sup>2</sup>  |
| 5              | 15.32839 m <sup>2</sup> | 15.346 m <sup>2</sup> | 0.01761 m <sup>2</sup>  |
| 6              | 15.04039 m <sup>2</sup> | 15.083 m <sup>2</sup> | 0.04261 m <sup>2</sup>  |
| 7              | 13.9053 m <sup>2</sup>  | 13.852 m <sup>2</sup> | -0.0533 m <sup>2</sup>  |
| 8              | 14.99437 m <sup>2</sup> | 15.025 m <sup>2</sup> | 0.03063 m <sup>2</sup>  |
| 9              | 12.71898 m <sup>2</sup> | 12.735 m <sup>2</sup> | 0.01602 m <sup>2</sup>  |
| 10             | 13.91913 m <sup>2</sup> | 13.956 m <sup>2</sup> | 0.03687 m <sup>2</sup>  |

Çıkarılan alanlardan hacim hesapları yapılmıştır. Yapılan hacim hesapları yüzey parçasından alınan iki enkesit alanı f1 ve f2 için hacim ortalama alanlar formülüne göre yapılmıştır. Kesitler arası mesafe 2 m dir. Yapılan hacim hesapları sonuçları çizelge 4.3 verilmiştir.

**Çizelge 4.3** Hacimlerin karşılaştırılması.

| Kesit Numarası | Sistem Hacimleri        | Lazer Tarama Hacimleri | Hacim Farkları          |
|----------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1-2            | 27.70728 m <sup>3</sup> | 27.722 m <sup>3</sup>  | 0.01472 m <sup>3</sup>  |
| 2-3            | 26.82596 m <sup>3</sup> | 26.822 m <sup>3</sup>  | -0.00396 m <sup>3</sup> |
| 3-4            | 25.65497 m <sup>3</sup> | 25.714 m <sup>3</sup>  | 0.05903 m <sup>3</sup>  |
| 4-5            | 28.13846 m <sup>3</sup> | 28.158 m <sup>3</sup>  | 0.01954 m <sup>3</sup>  |
| 5-6            | 30.36878 m <sup>3</sup> | 30.429 m <sup>3</sup>  | 0.06022 m <sup>3</sup>  |
| 6-7            | 28.94569 m <sup>3</sup> | 28.935 m <sup>3</sup>  | -0.01069 m <sup>3</sup> |
| 7-8            | 28.89967 m <sup>3</sup> | 28.877 m <sup>3</sup>  | -0.02267 m <sup>3</sup> |
| 8-9            | 27.71335 m <sup>3</sup> | 27.760 m <sup>3</sup>  | 0.04665 m <sup>3</sup>  |
| 9-10           | 26.63811 m <sup>3</sup> | 26.691 m <sup>3</sup>  | 0.05289 m <sup>3</sup>  |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tasarlanmış olan düşük maliyetli yan otomatik kesit alma aletinin kübaj hesabında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Akçal (2019) tarafından tamamlanan sistemden alınan verilerden oluşturulan alan ve hacim sonuçları ile lazer tarama sisteminden alınan verilerden elde edilen alan ve hacim sonuçları karşılaştırılmıştır. Tasarlanmış düşük maliyetli yarı otomatik kesit alma aleti ile yapılan ölçümlerden alınan kesitler incelendiğinde en büyük alan  $15.32839 \text{ m}^2$  en küçük alan  $12.71898 \text{ m}^2$  çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde lazer tarama sisteminin alınan kesitler incelendiğinde en büyük alan  $15.346 \text{ m}^2$  en küçük alan  $12.735 \text{ m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar aynı kesitlerde elde edilmiştir. Hesaplanan alan sonuçlarına göre sistemden alınan ortalama alan  $13.927297 \text{ m}^2$  ve lazer tarama sisteminden alınan ortalama alan  $14.0671 \text{ m}^2$  dir.

Hesaplanan alanlardan yararlanarak ortalama alan formülüyle hacimler hesaplanmıştır. Sistemden alınan verilerden yararlanarak hesaplanan en küçük hacim  $25.65497 \text{ m}^3$  en büyük hacim  $30.36878 \text{ m}^3$  dür. Aynı şekilde lazer tarama sisteminden alınan hacim sonuçlarına göre en küçük hacim  $25.714 \text{ m}^3$  en büyük hacim  $30.429 \text{ m}^3$  dür. Hesaplanan hacim sonuçlarına göre sistemden alınan hacimlerin ortalaması  $27.8769 \text{ m}^3$  lazer tarama sisteminden alınan hacimlerin ortalaması  $27.9008 \text{ m}^3$  dür. Her kesitten hesaplanan hacimler arasındaki farklar incelendiğinde (-)  $0.02267 \text{ m}^3$  ile (+)  $0.06022 \text{ m}^3$  arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Bu farklar incelendiğinde her iki sistem arasında hesaplanan hacimler farklarının maksimum % 0.2 olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar kapsamında "Düşük Maliyetli Yan Otomatik Lazer Entegreli Kesit Çıkarım Sisteminin" lazer tarama teknolojisi ile alan ve hacim hesaplamalarında alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Akçal, M.E. (2019) Düşük Maliyetli Yarı Otomatik Lazer Entegreli Kesit Çıkarım Sisteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi.
- 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
- Doğruluk, M. (2013). Sayısal arazi modellerinin karayolu projelerindeki hacim hesaplamalarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi.
- Yanalak, M. (1997). Sayısal arazi modellerinden hacim hesaplarında en uygun enterpolasyon yönteminin araştırılması, Doktora Tezi.
- Altuntaş, C., Yıldız, F. (2008). Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*.
- 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. *AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri 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](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](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) [http://www.inverter-plc.net/servo\\_sistem/step\\_motorlar.html](http://www.inverter-plc.net/servo_sistem/step_motorlar.html), 20.12.2018
- 9) <http://www.geomaticsgroup.com/contents/urunler/69/271/393>, 01.02.2018
- 10) <https://www.robotus.net/M542-Step-Motor-Surucu-45A,PR-1699.html>, 20.12.2018
- 11) [https://tr.wikibooks.org/wiki/C\\_Sharp\\_Programlama\\_Dili/C\\_Sharp\\_hakk\\_temel\\_bilgiler](https://tr.wikibooks.org/wiki/C_Sharp_Programlama_Dili/C_Sharp_hakk_temel_bilgiler), 25.12.2018
- 12) <https://www.sahinrulman.com/step-motor-nema-24-31nm>, 23.12.2018
- 13) [www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php](http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php), 03.12.2018
- 14) <https://sanalkurs.net/solidworks-nedir-ne-ise-yarar-nasil-ogrenilir-8347.html>, 20.12.2018
- 15) <https://dogaelektronik.com.tr/urunler/stonex-x300-laser-scanner>, 31.12.2018
- 16) <http://www.gimtas.com.tr/web/dikprizmalar.htm>, 10.07.17
- 17) <http://www.ero21.ru>
- 18) [www.cheric.org](http://www.cheric.org)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur Can GERBOĞA  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 12.02.1993  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0554 289 72 12 / ugurcangerboga@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Prof.Dr.Şevket Raşit Hatipoğlu Anadolu Lisesi,  
(2007-2011)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği  
Bölümü, (2012-2016)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : MEGA-BOTEK MÜŞAVİRLİK (2016 – 2016)  
EMAY MÜŞAVİRLİK (2016-Devam ediyor)