



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

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LİDAR İLE SAYISAL ARAZİ MODELİ ÜRETİMİ VE SİSTEMİN  
DOĞRULUĞUNUN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat BÖLME**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Semih EKERCİN**

**AKSARAY, 2013**

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

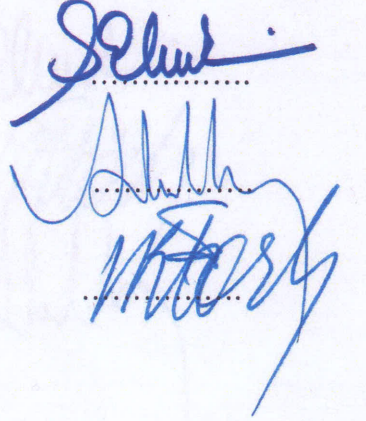
Murat BÖLME'nin Lidar İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi Ve Sistemin Doğruluğunun Ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması başlıklı lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10.05.2013 tarih ve 2013/17-08 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Harita Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak **Oy Birliği/Oy Çokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza

**Danışman** : Doç.Dr.Semih EKERCİN (Aksaray Üni.)

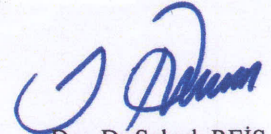
**Üye** : Doç.Dr.H.Murat YILMAZ (Aksaray Üni.)

**Üye** : Doç.Dr.Hakan KARABÖRK (Selçuk Üni.)



Tezin Savunulduğu Tarih : 10.06.13

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 21.06.2013.. tarih ve 2013/23-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Doç.Dr.Selçuk REİS

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Son yıllarda haritacılık alanında gelişen teknolojilere paralel olarak LIDAR sistemleri kendine geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bunun nedeni olarak LIDAR ile elde edilen verilerin günümüzde yüksek doğruluk ve hassasiyet gerektiren projelerde kullanımının kazançları olarak gösterilebilir. Ayrıca Lidar ile belirli bir alan için üretilecek olan verilerin o alanda yapılacak olan değişik projeler içinde kullanılabilmesi düşünüldüğünde Coğrafi Bilgi Sistemleri için kaçınılmaz bir veri kümesi olarak önümüze çıkmaktadır. Yurt dışında yaygın olarak kullanılan Lidarın, ülkemizde de resmi ve özel projelerde kullanılmaya başladığı bilinmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öncelikle benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, hep bir adım daha öteyi görmemi sağlayan Danışmanım Doç.Dr. Semih EKERCİN'e (Aksaray Üniversitesi), Fotogrametriyi bana sevdiren, geniş bilgi birikimiyle yolumuza ışık tutan kısım amirim Dr.Müh.Yb. Oktay EKER'e (Harita Genel Komutanlığı), verileri temin ettiğim Körfez Haritacılık ve Planlama LTD. ŞTİ.'ne, beş yıldır mensubu bulunduğum Harita Genel Komutanlığı'na, çalışmalarım esnasında doğacak olan bebeğimizle birlikte sabrını, sevgisini ve desteğini hep yanımda hissettiğim biricik eşim Gizem BÖLME'ye ve bugünlere beni getiren sevgili anne ve babama teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	İ
TEŞEKKÜR .....	İİ
ÖZET .....	İV
ABSTRACT .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	Viii
SİMGELER DİZİNİ .....	İX
KISALTMALAR DİZİNİ .....	X
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Uzaktan Algılama .....	1
1.2. Aktif ve Pasif Sistemler .....	1
<b>2. LİDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING) .....</b>	<b>2</b>
2.1. Lazer Tarayıcılar .....	3
2.2. Lidar Sisteminin Temel Prensipleri .....	4
2.3. Lidar Veri İşlem Adımları .....	8
2.3.1. Nokta Koordinatlarının Belirlenmesi .....	8
2.3.2. Filtreleme, Editleme, Yeniden Örnekleme .....	10
2.3.3. Model Oluşturma .....	11
2.4. Lidarın Avantaj Ve Dezavantajları .....	12
2.5. Lidar Uygulamaları .....	13
2.6. Lidar Sisteminde Hata Kaynakları Ve Doğruluk .....	14
2.7. Lidar Ürünleri .....	16
2.8. Yükseklik Modellerine Göre Lidarın Fotogrametri İle Karşılaştırılması .....	18
<b>3. UYGULAMA .....</b>	<b>19</b>
3.1. Hava Fotoğraflarının Yöneltilme İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi ve Stereo Modellerin Oluşturulması .....	20
3.2. Lidar Verilerinin ve 2 Adet GPS-Nivelman Noktasının Stereo Modeller Üzerinde Görüntülenmesi .....	22
3.3. Stereo Modeller Üzerinden Kot Noktalarının Belirlenmesi .....	24
3.4. Hava Fotoğraflarından 1m Aralıklı Sayısal Yükseklik Modeli(DEM) Oluşturma .....	24
3.5. Uygulama Alanının Ortofotosunun Oluşturulması ve Kot Noktalarının Ortofoto Üzerinde Gösterilmesi .....	25
3.6. Lidar Verilerinden Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yüzey Modeli (DSM) Oluşturma .....	29
3.7. Kot Noktası Yüksekliklerinin, Sayısal Arazi Modelinden (DTM) Kestirilmesi .....	32
3.8. Lidar Verilerinden ve Hava Fotoğraflarından Elde Edilen Modellerin Üç Boyutlu Olarak Görselleştirilmesi .....	35
3.9. İki Adet GPS-Nivelman Noktasının Hava Fotoğraflarından Oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden Kestirilmesi .....	36
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>40</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>40</b>

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİDAR İLE SAYISAL ARAZİ MODELİ ÜRETİMİ VE SİSTEMİN DOĞRULUĞUNUN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Murat BÖLME

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Semih EKERCİN

Bu çalışmada Uzaktan Algılamada aktif sistemlerden biri olan Lidar sisteminin; bileşenleri, çalışma prensibi, doğruluğu, hata kaynakları, kullanım alanları, kurulum maliyeti, avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Lidarın, orman yönetimi, kıyı mühendisliği, şehir planlama, su kaynakları yönetimi, atmosfer araştırmaları, ve bitki örtüsü saptama da dahil pek çok alanda yapılan araştırmalarda kullanımı bilinmektedir. Bu çalışmada Lidar ile Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yüzey Modeli (DSM) üretimi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, yurt içinde yapılan bir projede kullanılan veriler temin edilerek, bir ilgi alanında Lidar Sisteminin Fotogrametrik tekniklerle yapılan alımlara göre karşılaştırılması yapılmıştır.

**2013, 42 sayfa**

**Anahtar Kelimeler; Lidar, DEM, DTM, DSM.**

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### PRODUCTION OF DIGITAL TERRAIN MODEL WITH LIDAR AND INVESTIGATION OF THE ACCURACY AND USABILITY OF THE SYSTEM

Murat BÖLME

T.R.

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Semih EKERCİN

In this study; Lidar, which is one of the active systems in remote sensing, it is investigated in detail how lidar systems work and what are the components, accuracy and error resources, installation cost, advantages and disadvantages and where we use this new technology. Lidar is known to use, forest management, coastal engineering, urban planning, water resource management, atmospheric research, and research in many areas, including detection of vegetation. Here, I will focus on the production of Digital Terrain Model (DTM) and Digital Surface Model (DSM) with Lidar. Also in the country by providing the data used in a project, Lidar technique based on photogrammetric techniques have been compared in the field of interest.

**2013, 42 pages**

**Key words: Lidar, DEM, DTM, DSM.**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Pasif Sensörün Çalışma Prensibi .....	1
Şekil 1.2. Aktif Sensörün Çalışma Prensibi.....	1
Şekil 2.1. Lidar Algılayıcı Sisteminin Geometrisi.....	2
Şekil 2.2. Havai Tarama Lidar Sistemi.....	3
Şekil 2.3. Lazer Tarama için Ayna Tarama Sistemi .....	5
Şekil 2.4. Palmer Tarayıcı ve Tarama Modeli .....	6
Şekil 2.5. Tarayıcı aynaların tarama hatları .....	6
Şekil 2.6. Lidar Tarama Örneği.....	7
Şekil 2.7. Lidar Veri İşlem Adımları .....	8
Şekil 2.8. Lazer Tarama Sinyali (Pulse) Geometrisi.....	9
Şekil 2.9. Lazer Sinyali Yörüngesi .....	10
Şekil 2.10. Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Sayısal Arazi Modeli (DTM).....	11
Şekil 2.11. 3B Kent Modelleri (Lindau Island, Germany) .....	13
Şekil 2.12. Enerji Nakil Hattı, Yol vb. Şeritvari Alımlar .....	13
Şekil 2.13. Kıyı Kesimlerdeki Lidar Uygulamaları.....	14
Şekil 2.14. Su Kaynakları Yönetimi .....	14
Şekil 3.1. Datem 4.1 programında, proje parametrelerinin tanımlanması .....	22
Şekil 3.2. Datem 4.1 programında iç ve dış yöneltme parametrelerinin tanımlanması ..	22
Şekil 3.3. 2 Adet GPS-Nivelman noktasının stereo model üzerinde isabet ettiği yer ....	23
Şekil 3.4. Çalışma alanına giren Lidar verilerinin modeller üzerinde görüntülenmesi. .	23
Şekil 3.5. Datem programında oluşturulan stereo modeller üzerinde kot noktaları ...	24
Şekil 3.6. MATCH-T programında Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) için tanımlanan parametreler.....	25
Şekil 3.7. Erdas Imagine programında oluşturulacak blok için belirlenen koordinat sistemi parametreleri .....	26
Şekil 3.8. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak blok için kamera bilgilerinin girilmesi .....	26
Şekil 3.9. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak blok için resim orta noktası koordinatları ve dönüklük açılarının tanımlanması.....	26
Şekil 3.10. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulan blok bilgileri.....	27
Şekil 3.11. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak ortofoto için tanımlanan parametreler .....	28



<b>Şekil 3.12.</b> Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak ortofoto için tanımlanan parametreler.....	28
<b>Şekil 3.13.</b> Erdas Imagine 9.2 programında ilgi alanı için oluşturulmuş ortofoto ve kot noktaları .....	29
<b>Şekil 3.14.</b> Scop 5.5 programında Sayısal Arazi Modeli (DTM) oluşturmak için tanımlanan parametreler.....	30
<b>Şekil 3.15.</b> Scop 5.5 programında Sayısal Arazi Modeli (DTM) oluşturmak için tanımlanan parametreler.....	30
<b>Şekil 3.16.</b> Scop 5.5 programında çıplak Sayısal Arazi Modeli. (DTM) .....	31
<b>Şekil 3.17.</b> Scop 5.5 programında oluşturulmuş Sayısal Yüzey Modeli. (DSM) .....	31
<b>Şekil 3.18.</b> Scop 5.5 programında oluşturulan Sayısal Yüzey Modeli (DSM) üzerine geçirilmiş ilgi alanının ortofoto görüntüsü.....	32
<b>Şekil 3.19.</b> Scop 5.5 programında kot noktalarının yüksekliklerinin kestirimi için kullanılan referans yüzeyi .....	33
<b>Şekil 3.20.</b> Scop 5.5 programında kot noktalarının yüksekliklerinin kestirilmesi için kullanılan “İnterpolation Check Tool “ aracı.....	33
<b>Şekil 3.21.</b> 190 adet kot noktası yüksekliklerinin Sayısal Arazi Modeline göre farklarının gösterilmesi .....	34
<b>Şekil 3.22.</b> Çıplak arazi yüzeyini temsil eden Lidar verilerinden oluşturulmuş Sayısal Arazi Modeli. (DTM) .....	35
<b>Şekil 3.23.</b> Arazi yüzeyini bütünüyle temsil eden Lidar verilerinden oluşturulmuş Sayısal Yüzey Modeli. (DSM) .....	36
<b>Şekil 3.24.</b> Hava fotoğraflarında oluşturulmuş Sayısal Yükseklik Modeli (DEM).....	36
<b>Şekil 3.25.</b> Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) içerisine giren 2 adet GPS-Nivelman noktası .....	37
<b>Şekil 3.26.</b> 2 adet GPS-Nivelman noktasının kestirimi için oluşturulmuş referans yüzeyi .....	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Çizelge 2.1.</b> Airborne Lazer Scanners ALS40 ‘ a ait teknik veriler .....	15
<b>Çizelge 2.2.</b> Lidar Ürünleri .....	17
<b>Çizelge 3.1.</b> Uçuş Hakkında Genel Bilgiler.....	20
<b>Çizelge 3.2.</b> Dijital hava kamerasının genel özellikleri .....	21
<b>Çizelge 3.3.</b> 8 Adet hava fotoğrafının resim orta noktasının koordinatları ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) ve dönüklük açıları ( $\Omega \omega, \Phi \phi, \text{Kappa } \chi$ ).....	21
<b>Çizelge 3.4.</b> Herhangi bir kot noktasının koordinatları ve model üzerinden kestirilmiş yüksekliği .....	33
<b>Çizelge 3.5.</b> 190 adet kot noktasının oluşturulan model üzerinden kestirimi sonrası elde edilen istatistikî bilgiler .....	34
<b>Çizelge 3.6.</b> 157 adet kot için elde edilen istatistikî bilgiler.....	35
<b>Çizelge 3.7.</b> 2 Adet GPS-Nivelman noktasının yükseklikleri, oluşturulan model üzerinden kestirilmiş yükseklikler ve farklar .....	38

## SİMGELER DİZİNİ

<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>3B</b>	Üç Boyutlu

## KISALTMALAR DİZİNİ

LİDAR	Light Detection And Ranging
LADAR	Lazer Detection And Ranging
RADAR	Radio Detection And Ranging
GPS	Global Positioning Systems
INS	Inertial Navigation System
IMU	Inertial Measuring Unit
DEM	Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
DSM	Digital Surface Model (Sayısal Yüzey Modeli)
DTM	Digital Terrain Model (Sayısal Arazi Modeli)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri

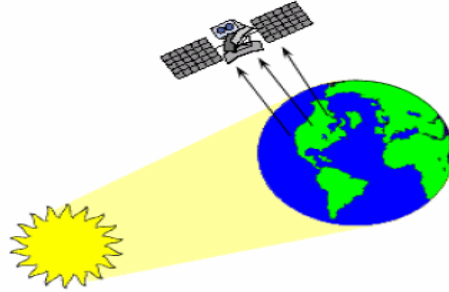
# 1. GİRİŞ

## 1.1. Uzaktan Algılama

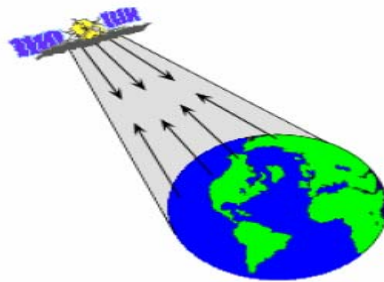
Genel olarak Uzaktan Algılama, “cisimlere fiziksel olarak dokunmaksızın onların fiziksel ve konumsal özellikleri hakkında genellikle uydu görüntüleri kullanılarak bilgi edinmek; ve cisimleri mekansal ve niteliksel algılamak” olarak tanımlanmaktadır (Lillesand and Kiefer, 1994; Eastman, 2003; Jensen, 2005; URL 1, NASA Remote Sensing Tutorial; Demirkesen, 2007). Uzaktan algılamada sistemler aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

## 1.2. Aktif ve Pasif Sistemler

Pasif sistemler güneş ışığını veya cisimlerin yaydığı enerjiyi kullanırken, aktif sistemlerin kendi kaynakları vardır (Şekil 1.1). Aktif sistemlerde sensörler hedefe kendi kaynağından enerji gönderir ve takiben hedeften yansıyan enerjiyi tespit eder ve ölçer (Şekil 1.2). Lidar sistemleri de aktif sistemler altında yer almaktadır.



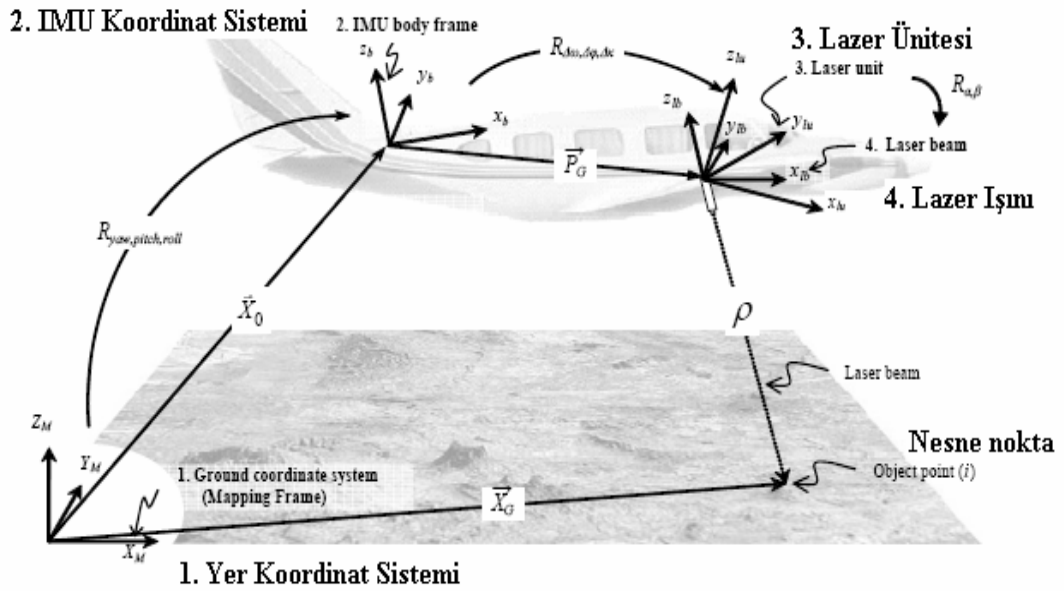
Şekil 1.1. Pasif Sensörün Çalışma Prensibi



Şekil 1.2. Aktif Sensörün Çalışma Prensibi

## 2. LİDAR (LIGHT DETECTION AND RANGİNG)

LIDAR teknolojisi, lazer ışını kullanan aktif bir uzaktan algılama sistemi olup, hassas 3 boyutlu sayısal yüzey veya arazi modeli oluşturma amacıyla GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) / INS (Inertial Navigation Systems) ve lazer tarayıcı teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş kombine bir veri toplama yöntemidir. Helikopter veya uçak gibi hava araçları içerisine yerleştirilen bu veri toplama sistemi, haritalanacak alanın üzerinde istenilen sıklık ve yoğunlukta uçuş yaparak, yüzeye ait üç boyutlu konum verisini toplamaktadır (Smith vd., 2003; Hongson ve Bresnahan, 2004; Sartori vd., 2004; Aggett, 2005; Chauve vd., 2007; Konecny, 2007; Tunalıoğlu ve Soycan, 2011).



Şekil 2.1. Lidar Algılayıcı Sisteminin Geometrisi (Ayman vd., 2010)

Lidar, lazer ölçümünü, lazer altimetresini (yükseklikölçer), lazer tarayıcısını ve LADAR'ı (Laser Detection And Ranging) kapsar. Yeni olmayan havada kullanılan bu lazer ölçüm sistemleri; lazer tarayıcı, global konumlama sistemi (GPS) ve harita hassasiyetini oldukça artıran atalet ölçüm ünitesinden (IMU) oluşur (Şekil 2.1). Lazer altimetresi fotogrametride yıllarca kullanılmaktadır. Son yıllarda lazer, dike yakın gerçekleştirilen uçuşlarda yeryüzünün profilinin çıkartılmasında kullanılmaktadır. Bu profiller, fotogrametrik ölçümlerin dengeleme sonuçlarını güçlendirmek için fotogrametrik proseslerde kullanılmaktadır. Lazer tarayıcı sistemlerinin iki temel tipi vardır. Bunlar; Atım formu (pulse) ve dalga formu. Atım formu topoğrafik

uygulamalarda yaygın olan tiptir. Bunda lazerden kesikli sinyaller gönderilir ve bir ya da daha fazla sinyal kayıt olarak geri döner. Dalga formu ise sürekli sinyal kullanır ve sürekli ya da ona yakın bir sinyal geri döner (Burtch, 2004).



**Şekil 2.2.** Havai Tarama (ALTM Pegasus) Lidar Sistemi (URL-2)

Farklı tarama frekansları Lidar sisteminde kullanılabilir. Şekil 2.2’de örnek bir sistem görülmektedir. Frekans seçimi uygulamaya bağlıdır. Proje ihtiyaçları (parametreleri), görüş emniyeti (ayırma gücü) uçuş yüksekliğine bağlıdır. Genellikle 100’den 5000 metre arasında ve saatte 75-250 km. hız kullanılır (Burtch, 2004).

## **2.1. Lazer Tarayıcılar**

Lazer tarayıcılar, uçağa takılı ve yersel olarak iki farklı biçimde kullanılabilir. Yersel lazer tarayıcıları, uçağa takılı lazer tarayıcılardan ayıran fark, tarama işlemi sırasında yersel tarayıcıların hareket etmemesidir. Sadece mobil yersel tarayıcıların tarama ilkeleri uçağa takılı lazer tarayıcılarla aynıdır. Sabit yersel tarayıcılar iki doğrultuda da yönlendirme donanımına gereksinim duyarlar. Uçağa takılı lazer tarayıcıların lazer ışını tek bir düzlemde uçuş yönüne dik olarak yönlendirilmiştir. Uzaktan Algılama’ da lazer taramanın Lidar olarak kullanıldığı (light detection and ranging) lazer tarama terminolojisinin sınıflandırılması açısından bilinmesi gerekir (Kraus, 2003; Altan vd., 2007).

Lazer, Lidar sisteminin önemli bir birleşenidir. Lazer, optik enerji yaratabilmek için kimyasal ve elektrik enerjisini girdi olarak alır. Bu dönüşüm sırasındaki en büyük problem gönderilen lazer ışınlarının yalnızca %1-10'nun geri dönüşünde yeterli enerjiye sahip olmaları yani büyük orandaki enerji kaybıdır. Buna rağmen pek çok özelliğinin olması arzu edilen sinyal üretilir. Bu özellikleri sıralamak gerekirse (Sizgoric, 2002; Yılmaz ve Yakar, 2006 ):

- L - Yüksek parlaklık
- $\lambda$  - Kısa dalga boyu
- $\Delta\lambda_\tau$  - Dar spektral genişlik (Saf, arı renk)
- $\tau$  - Kısa pulse süresi
- PRT – Yüksek pulse tekrarlama oranı
- $Q_t$  – Lazer ışını ayrışması

Bu özellikler Lidar için şu avantajları sağlar. Geniş L ve küçük dalga boyu hedefin küçük bir alan olmasını sağlar. Geniş L yüksek uçuş yüksekliğine neden olur. Yüksek düşey doğruluk, küçük pulse oranının ve küçük  $\tau$ 'nin bir ürünüdür. Son olarak, dar spektral genişliğin kullanımı ve radyasyon kaynağının kontrol edilmesi, gece ya da gündüz boyunca çalışabilmeyi sağlar (Goldstein vd., 1988; Yılmaz ve Yakar, 2006).

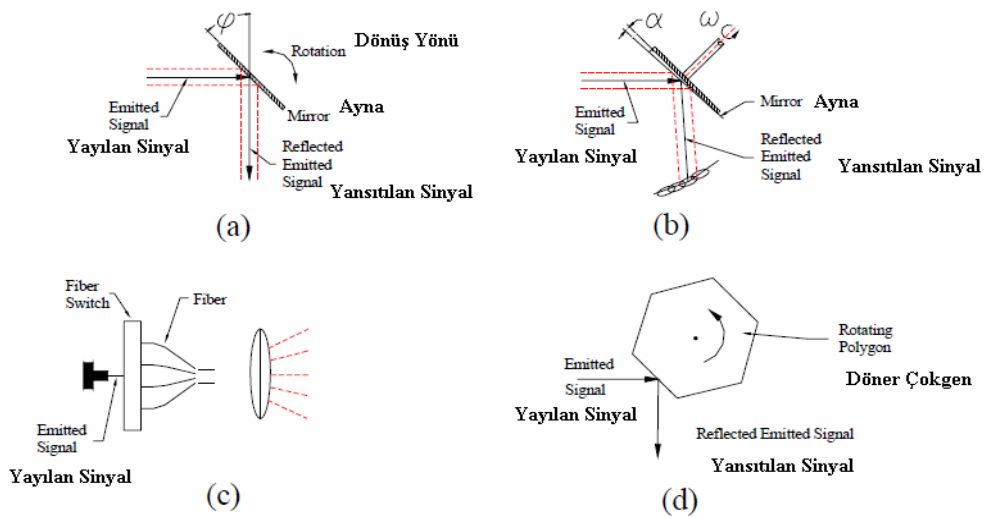
## 2.2. Lidar Sisteminin Temel Prensipleri

Lidar, lazer tarayıcı, GPS ve IMU'dan oluşan üç temel veri toplama aracının bir arada kullanılmasından oluşan bir sistemdir. Lazer tarayıcı uçağa hava kamerası olarak monte edilir. Lazer tarayıcı, yeryüzüne, daha sonra yeryüzünden yansıtacak olan kızıl ötesi (infrared) sinyal (her yerde saniyede 10000 - 100000 pulse olacak şekilde) gönderir. Tarayıcıdan gönderilen pulsların sayısı pulse tekrarlama oranını (pulse repetition rate-PRF) ile ilgilidir ve kHz biriminde ölçülür. 10 kHz, 1 saniyede 10000 pulse gönderiliyor demektir. Lazer ışığının bu yolculuğu tamamlayıncaya kadar geçen süre ölçülür. Uçağa daha yakın olan cisimlerden yansıyan sinyaller, uzak olan cisimlerden yansıyan sinyallere göre daha çabuk araca dönerler. Sinyal yer ve araç arasındaki yolu iki defa kat ettiği için (Önce uçaktan yere, sonra yansıtması uçağa geri dönecek biçimde), süre ikiye bölünür ve bulunan bu değer ışık hızı ile çarpılarak aradaki mesafe bulunur. Yüzey yapısına bağlı olarak lazer altimetresinde iki farklı lazer çeşidi kullanılır. Yeryüzü yüzeyi için, topoğrafik lazer olarak adlandırılan, elektro manyetik (EM) enerji

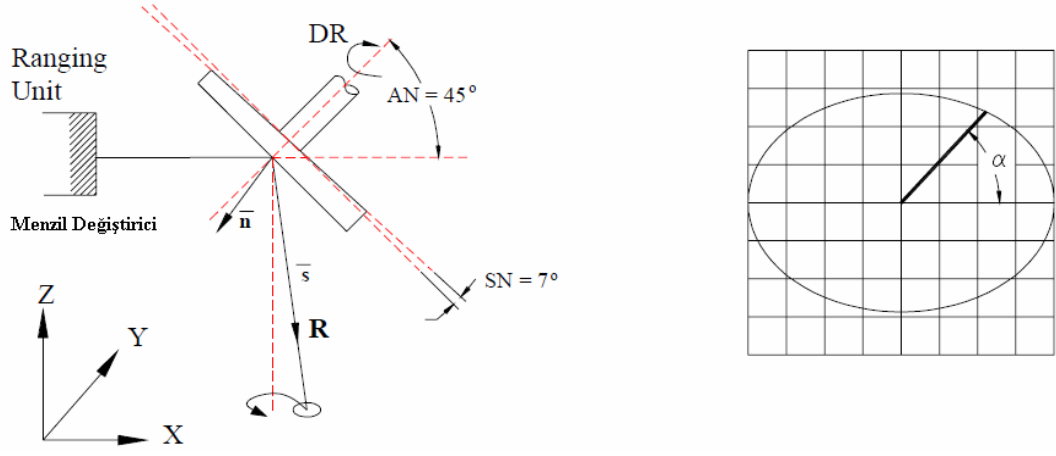


spektrumunun kızıl ötesi bölümü kullanılır. Batimetrik lazer altimetre ölçümleri için elektro manyetik spektrumun mavi/yeşil bandını kullanılır. Bunun sebebi lidar ünitesine yansıyan sinyal gönderecek çok az yansıtıcı yüzeyin bulunmasıdır. Başka bir fark da mavi/yeşil dalga boylarının iki misli bir frekansa sahip olmalarıdır. Pulselerden biri deniz yüzeyinden yansıyor diğeri deniz dibine indiği için bu batimetrik derinliğin (deniz derinliği) hesaplanmasını sağlar. Suyun derinliği ayrı ayrı dönen iki pulsen farkı kadardır (Maume, 2001; Yılmaz ve Yakar, 2006).

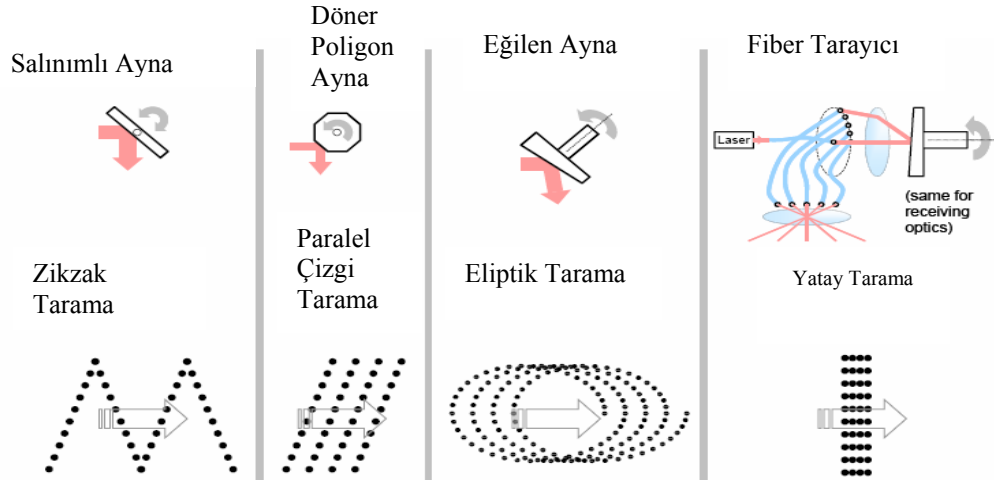
Bugün, endüstri alanında kullanılan tarayıcıların pek çok çeşidi vardır. Endüstri alanında kullanılan tarayıcılardan dördü Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bunlar Şekil 3.1(a)’daki salınım yapan aynayı, Şekil 3.1(b)’deki Palmer tarayıcı olarak adlandırılan nutating ayna, Şekil 2.3(c)’deki fiber tarayıcı ve Şekil 2.3(d)’deki döner poligonu kapsamaktadır. Nutating aynası (Eğilen ayna), lazer ışını ve tarayıcı gövdesi arasındaki yaklaşık 45 derece yönlendirilmiş olan ışına yön değiştirici ayna içerir (Şekil 2.4). Ayna tarayıcı gövdesine SN açısı (ayna düzleminin dönme eksenine ile yaptığı açı) ile bağlanmıştır. Tarayıcı gövdesi döndüğünde ayna tarayıcının değerleri Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Koordinatın SN açısı ile çarpımından gerçek açı elde edilir. Nutating aynasının avantajı yeryüzündeki çoğu noktanın iki defa taranmasını sağlamak, yani bolluğu (dengeleme için serbestlik) artırmaktır. Yer noktası ön ve arka görünüşte resmedilir. Bu tarayıcıların kalibrasyonu ve sensörlerin yönlendirilmesi için çok yararlıdır (Burtch, 2004).



Şekil 2.3. Lazer Tarama için Ayna Tarama Sistemi (Wehr and Lohr,1999; Burtch,2004)



Şekil 2.4. Palmer Tarayıcı ve Tarama Modeli (Wehr and Lohr,1999; Burtch, 2004)

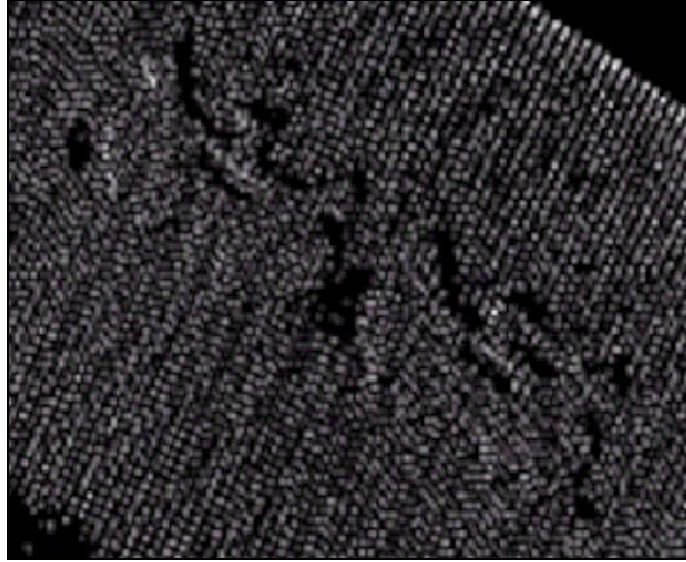


Şekil 2.5. Tarayıcı aynaların tarama hatları (URL-3)

Tarayıcı aynaların tarama hatları Şekil 2.5.'de verilmiştir. Lidar sistemlerinin çoğu data toplamada dönük aynayı kullanır. Ayna lazerin önünde durur ve uçuş istikametine dik salınımlar yapar. Eğer ayna soldan sağa doğru ve tersi hareketi tamamlıyorsa, testere dişi tarayıcıdan (sawtooth scanner) bahsedilir. Hareket eden aynanın tek dezavantajı hareket oranının sabit olmayışıdır. Ayna taramada sona yakinken önce yavaşlar, sonra durur, daha sonra ters tarafa döner ve nihayet hızlanır. Bu tip bir hareket, sistemin mekaniğini zorlamasının yanında sistemin konumsal doğruluğunu da etkiler. Bu problemden kurtulmanın bir yolu; hareketi tek yönde, sabit hızla, prizmatik yol izleyen, bir poligon üzerinde gerçekleştirmektir (Şekil 2.3). Hareketli prizmanın dezavantajı, sabit bir pozisyon olmadığı için toplanan datanın ne zaman toplandığının zamanlamasında ortaya çıkar. Buna ilaveten, tüm datalar tek istikamette toplandığı için,

yer kontrol noktası olmaksızın ölçümlerde ayırt edilemeyecek sistematik bir hata birikimi olabilir (Fowler, 2001; Burtch, 2004).

Lidar sinyallerinin bir nokta değil bir alan olarak değerlendirilmesi gerekir. Lazer ışınlarının bir avantajı, ışın demetinin çok dar olmasıdır. Fakat lazer ışınları kaynaktan uzaklaştıkça genişlerler. Bundan başka şekilleri düzlüğünü kaybetmeye başlar ve tarama boyunca elipsoidal bir şekil içinde hareket eder. Taramanın yoğunluğu ile lazer ışınının yeryüzündeki büyüklüğü doğrudan ilişkilidir. Bu genellikle yeryüzünde 2-10 feet arasındadır. Toplanan datalar lekelerle sahiptir (Şekil 2.6). Verilerdeki boşlukları önleyebilmek için tarama oranı buna göre belirlenmelidir. Böylece proje alanının her yerinde aynı derecede bir dağılım sağlanır (Burtch, 2004).



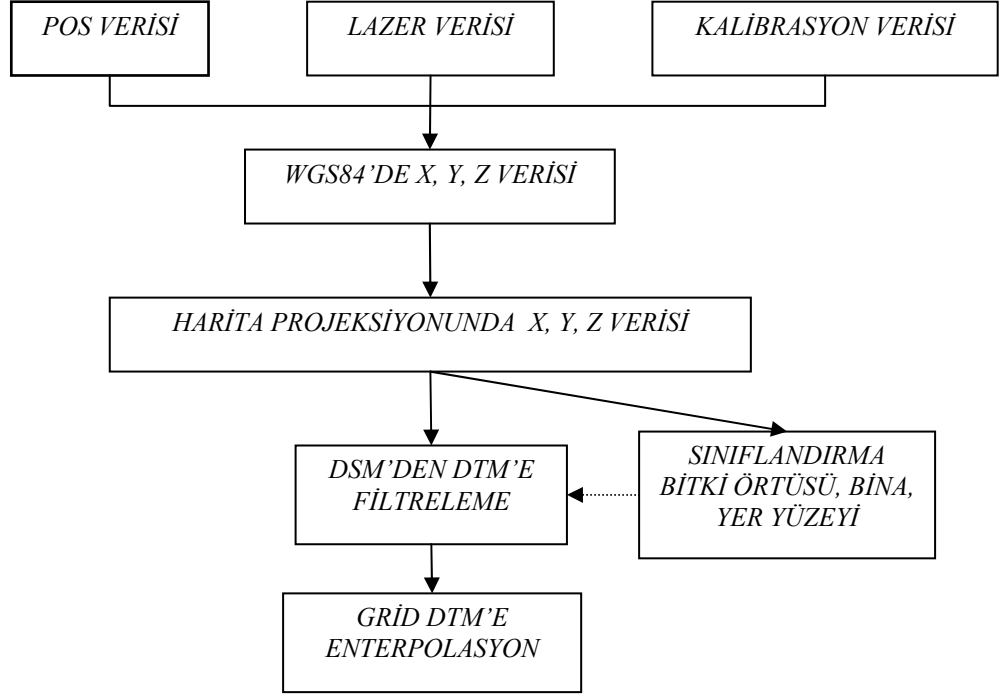
**Şekil 2.6.** Lidar Tarama Örneği (Burtch, 2004)

Lidar sisteminin gereği gibi çalışabilmesi için her bir bileşenin iyi zamanlanması çok önemlidir ve bunlar veri toplama işlemi boyunca artık iyice bütünleşirler. GPS konum bilgisinin ne zaman ölçüldüğünü, IMU datasının ne zaman kaydedildiğini, lazer sinyalinin ne zaman gönderildiğinin ve tabii ki ne zaman döndüğünün bilinmesi çok önemlidir. Lidar üç farklı bileşenden oluştuğu için her bir bileşenin zamanlamasını diğerlerine uydurmak mümkün olmayabilir. Zamanlamalarını uyumlu hale getirmek proses yapmayı gerektirir (Turner, 2001; Burtch 2004).

GPS alıcısı uçuş süresince genellikle 1 saniyede bir alıcının konumunu tespit eder. Fakat uçaklar 1 saniyede 50m.'den fazla yol kat eder. Demek oluyor ki aralarda lazer

tarayıcı konum bilgilerinin enterpole edilmesi gerekir. IMU algılayıcıların dönüklük değerlerini tespit eder (Burtch, 2004).

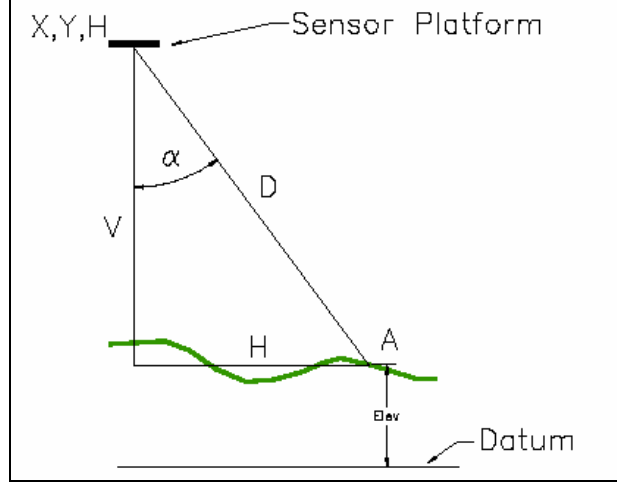
### 2.3. Lidar Veri İşlem Adımları



Şekil 2.7. Lidar Veri İşlem Adımları

#### 2.3.1. Nokta Koordinatlarının Belirlenmesi

İlk uçuş tamamlandıktan sonra ham lidar verileri post prosese sokulur. Yukarı doğru eğim mesafesi geri dönen her sinyal için hesaplanır. Bu veri daha sonra atmosferik etkilerden arındırılır. Üç düzlemdeki dönüklükler IMU sayesinde bulunur. Daha sonra bu dönüklük açıları gelen sinyallerin eğikliklerini düzeltmek için kullanılır. GPS verileri bunlardan ayrı olarak tek başına proses edilir ve daha sonra Lidar proses sistemine dahil edilir. Sensörlerin konumlarının ve tarama boyunca salınım açısının kullanılması ile yer noktasının yüksekliği kolaylıkla hesap edilebilir (Şekil 2.7). (Burtch, 2004; Yılmaz ve Yakar, 2006).



**Şekil 2.8.** Lazer Tarama Sinyali Geometrisi (Burtch, 2004; Yılmaz ve Yakar, 2006)

GPS/IMU bilgileri yardımı ile yöneltme fonksiyonları  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $\omega(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,  $\chi(t)$  elde edilir ve zamansal eşleme parametresi “t” üzerinden  $\alpha(t)$  ve  $s(t)$  kutupsal koordinatlar atanabilir. (2.1) ‘deki gibi tek bir lazer noktasının XYZ koordinatları belirlenir (Kraus, 2003; Altan vd., 2007).

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + R_{\omega(t)\varphi(t)\pi(t)} \begin{pmatrix} 0 \\ s(t) \cdot \sin(\mp\alpha(t)) \\ s(t) \cdot \cos \alpha(t) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Burada;  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  “t” zamanında tek bir lazer noktasının koordinatları,  $\omega(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,  $\chi(t)$  IMU tarafından belirlenen dönüklük açısı,  $\alpha(t)$  tarama açısı ve  $s(t)$  bu tek lazer noktasının gidiş dönüş olarak kat ettiği yolun yarısını belirtmektedir.

Lazer sinyali yüzeye gönderildiğinde birden fazla cisme çarpabilir. Örneğin bir lazer ışını yeryüzüne gönderiliyor. Bazı sinyaller direkt toprağa giderken bazıları önce ağaç yaprakları ile karşılaşılıyor. Sistem ayarlarına bağlı olarak sensörler bu iki veriyi toplayabilir. Bu genellikle “ilk pulse ilk döner (Yapraklara değenler), son pulse (Toprağa gidenler) son döner” şeklinde tanımlanır (Şekil 2.9.). Bazı sistemlerde 5 farklı biçimde data toplamak mümkündür. Topoğrafik harita yapımında genellikle son dönen elemanlar esas olarak alınır (Burtch, 2004; Yılmaz ve Yakar, 2006).

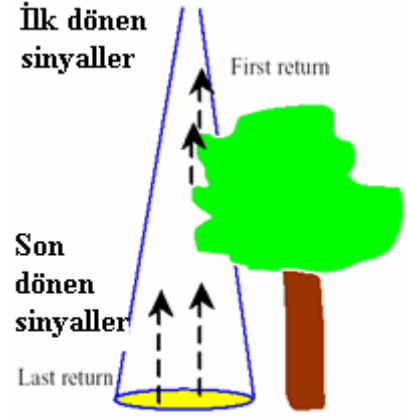
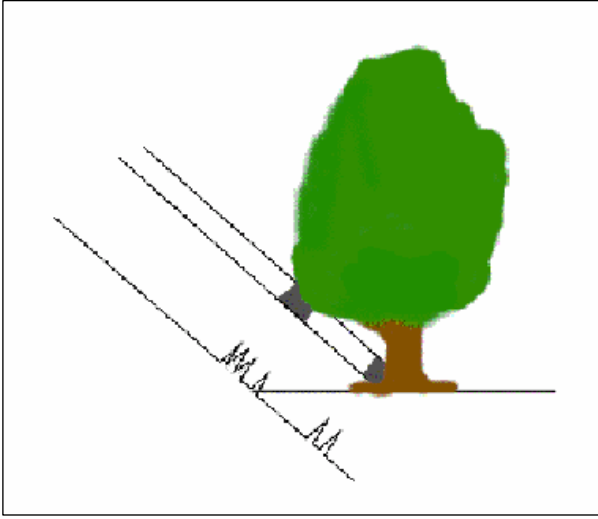


Figure 1. first and last return

**Şekil 2.9.** Lazer Sinyali Yörüngesi. (Burtch, 2004; Yılmaz ve Yakar, 2006)

### 2.3.2. Filtreleme, Editleme, Yeniden Örnekleme

Çoklu yansımaya beraber, bir lazer darbesi arazinin bir miktar içine ve bitki örtüsünün derinliğine girebilmektedir. Bazı filtreleme algoritmaları ile bu çoklu yansımalar analiz edilebilmekte ağaç gölgesi altındaki arazi ve topoğrafya hakkında bilgi edinilebilmektedir (Cesur, 2007).

#### Lidar Noktalarının Sınıflandırılması İçin Bazı Filtreleme Teknikleri

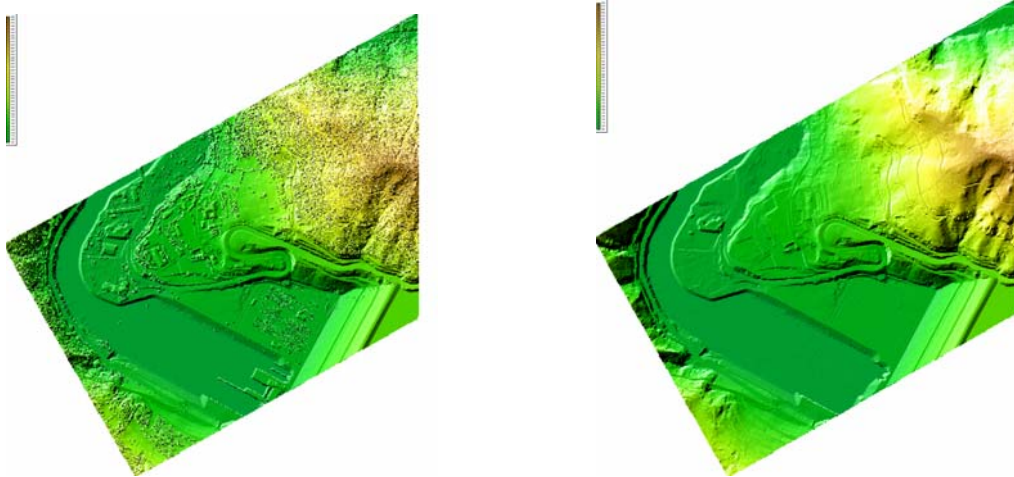
- Elmqvist Filtre Esasları
- Sohn Filtre Esasları
- Rogerro Filtre Esasları
- Brovelli Filtre Esasları
- Wack Filtre Esasları
- Axelsson Filtre Esasları
- Sithole Filtre Esasları
- Pfeifer Filtre Esasları

Filtrelerin bir kısmı ham veriyi kullanırken (Sohn, Axelsson, Sithole, Rogerro veri tabanına destek için ham veriye ek olarak görüntüde kullanmıştır.) görüntü işleme yöntemlerini kullananlar ise görüntüye dönüştürülmüş veriyi kullanırlar. Filtreler test komşuluklarına bakarken noktadan noktaya, noktadan noktalara veya noktalardan noktalara şeklinde bakarlar. Filtreler çoklu yansıma bilgilerini kullanırlar (Cesur, 2007).

### 2.3.3. Model Oluşturma

Sayısal yükseklik modelleri (DEM), arazide ölçülen noktalara dayalı olarak arazinin, bir ya da birden fazla matematiksel model kullanılarak elde edilmiş biçimidir (Li vd., 2005; Tunalıoğlu ve Soycan, 2011). Kullanılan bu matematiksel modeller genel olarak enterpolasyon yöntemleri olarak adlandırılırlar. Yüzey modellemesi, araziye dayalı bütün çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeryüzünün ya da nesne yüzeyinin uygun bir enterpolasyon yöntemi ile modele etki eden parametrelerin de göz önüne alınarak modellenmesi, çalışmanın niteliği ve çalışmadan beklenen hassasiyete göre değişebilmektedir. Araziye ilişkin kaynak verinin yoğunluğu ve dağılımı, seçilecek enterpolasyon yöntemi ve gridleme aralığı, sayısal yükseklik modellerinin hassasiyetini etkileyen faktörler olarak sıralanabilirler (Gong vd., 2000; Kienzle vd., 2004; Li vd., 2005; Liu vd., 2007; Tunalıoğlu ve Soycan, 2011).

şekil 2.10.'daki Sayısal Yükseklik Modellerinden soldaki; Sayısal Yüzey Modeli (DSM), yeryüzündeki doğal ve yapay bütün cisimleri kapsarken; sağdaki Sayısal Arazi Modeli (DTM), "ıplak Yeryüzü" olarak gecen araziye kapsar. Sayısal Arazi Modelinin (DTM) oluşturulması için; arazi üzerindeki ağaçlar, binalar, elektrik hatları, arabalar gibi yapay veya doğal olan tüm detayların çıkartılması gerekir.



şekil 2.10. Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Sayısal Arazi Modeli (DTM)

## 2.4. Lidar'ın Avantaj Ve Dezavantajları

Lidar verisinin pek çok avantajları vardır. İlk olarak atmosferik çalışmaları, deniz seviyesi ölçümlerini, buzul araştırmalarını kullanan çok yönlü bir teknolojidir. Lidar pek çok araziye ait harita üretim çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayısal yükseklik modeli için yüksek doğruluk ve yüksek nokta yoğunluğu sunar. Bundan başka proje süresini de %30 varan oranlarda hızlandırır. LIDAR yükseklik farkının az olduğu yerlerde ve nispeten düşük yoğunluktaki bitki örtüsüne sahip alanlarda daha etkili bir kullanıma sahiptir (Wehr v.d., 1999; Yılmaz ve Yakar, 2006 ).

Lidar donanımlarının maliyeti oldukça yüksektir (yaklaşık 1 milyon USD). Teknolojideki, bilgisayar teknolojilerinde olduğu gibi hızlı gelişmelerle maliyetler düşecektir. Lidar sistemin kurulum maliyetinin yüksek olmasına karşılık, veri elde etme maliyeti yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemlerine göre çok daha düşüktür. Bu nedenle amortisman süresi oldukça kısadır, bu da sistemi cazip yapan diğer bir önemli özelliktir (Ekercin ve Üstün, 2004).

Bunun yanında teknolojideki olgunlaşmalar olmasına rağmen, teknolojinin kapasitesi ve limitleri hakkında bilgi eksikliği vardır. Örneğin; Lidar yüzeye uygun model üretir. Öte yandan, kullanıcılar için önceden belirlenmiş bir alanın datalarını toplamak mümkün olmayabilir. Eğer post prosese yeterince önem verilmezse, kıyı hattı, akarsu kanalları, sırt hatları ve öteki tip kırıklıkları gibi arazide kaçırılacak detayların gerçek dünya ile kıyaslandığında uyum problemleri olabilir. Çıplak arazi ve kırıklıklar gibi detayların poroses süresinde bazı büyük problemler vardır. Örneğin; arazide çok bitki örtüsü varsa, geri dönen noktaların yerleri değişik yerde olur. Bu arazi modelinde boşluklar yaratır. Bu tip arazilerde noktalar arasındaki açıklıkların kurlsız olması sonucunu doğurur. Sıklıkla lidar bitki örtüsünün içinden geçer. Fakat bu her bitki için geçerli değildir. Yaprakların arasındaki boşluklardan lazer ışınları geçer. Fakat ışın ağaç gövdesine gelirse lazer geçemez. Genel olarak ağaçların altına geçip havaya bakıldığında eğer gökyüzü görülebiliyorsa burada lazer ile ölçüm yapılabilir (Burtch, 2004).

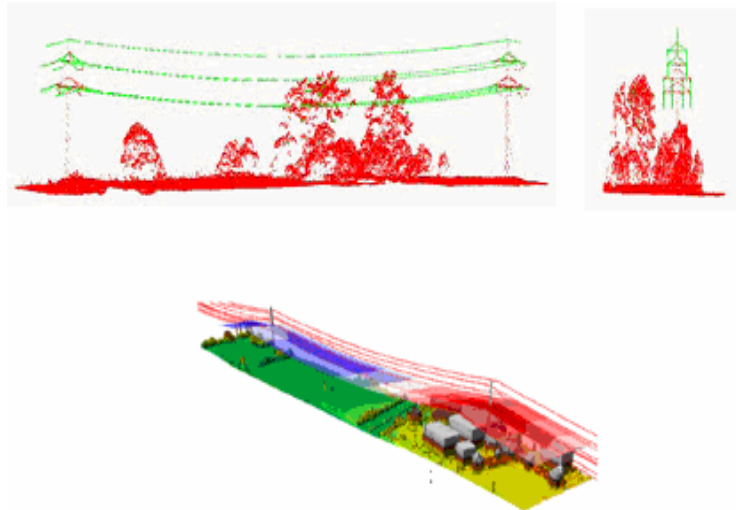


## 2.5. Lidar Uygulamaları

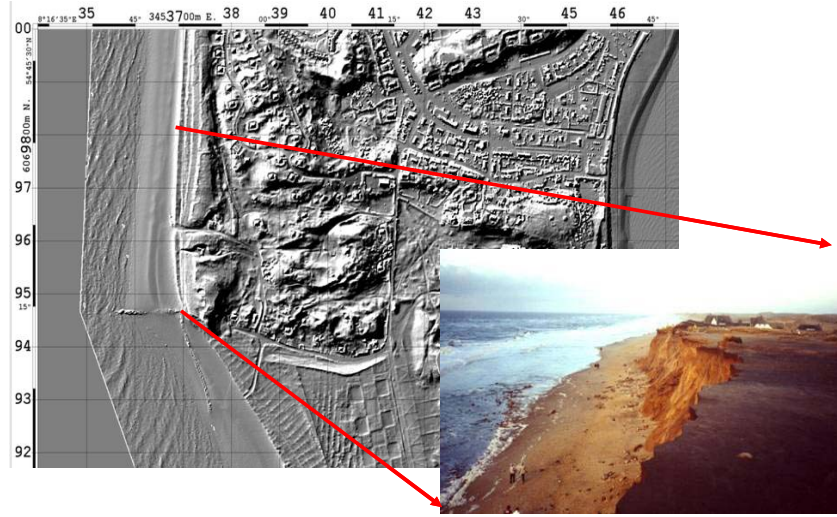
Lidar verilerinden Sayısal Yükseklik Modelleri oluşturulması gibi kullanımlarının dışında; ormancılık, atmosfer, çevre, kıyı mühendisliği, yapı endüstrisi, şehir planlama, nemli topraklar ve diğer sınırlı girilen alanlar, su kaynaklarının yönetimi gibi alanlarda uygulamaları vardır. Bu uygulamalardan bazıları Şekil 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.14 de gösterilmektedir.



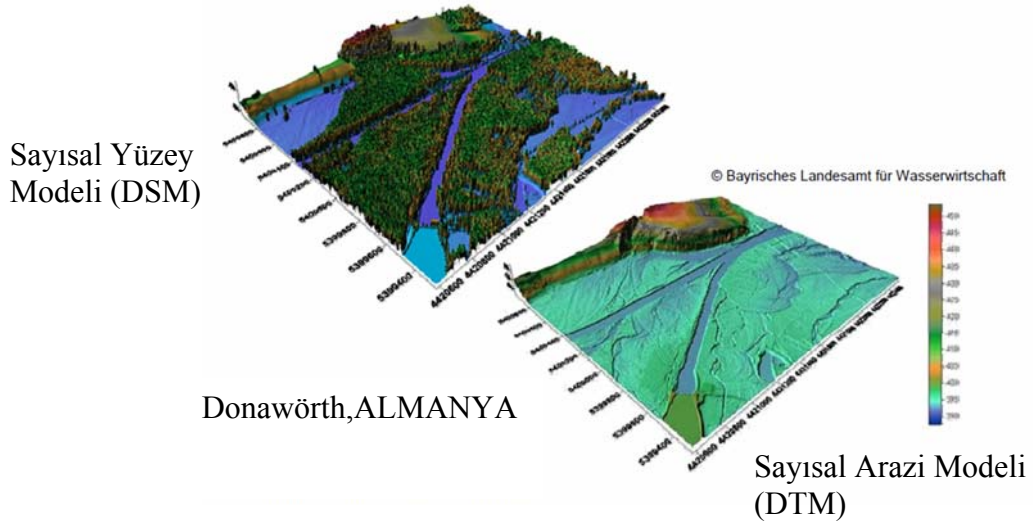
Şekil 2.11. Üç boyutlu kent modelleri, Lindau, ALMANYA (Anonim; Türker, 2005)



Şekil 2.12. Enerji nakil hattı, yol vb. şeritvari alımlar (Anonim; Türker, 2005)



**Şekil 2.13.** Kıyı kesimlerdeki Lidar uygulamaları (Anonim; Türker, 2005)



**Şekil 2.14.** Su kaynakları yönetimi (Anonim; Türker, 2005)

## 2.6. Lidar Sisteminde Hata Kaynakları Ve Doğruluk

Yükseklikteki doğruluk, ALS40 için gösterildiği gibi, öncelikle Lazer uzaklık ölçme donanımına ve GPS konumlandırmasına bağlıdır (Çizelge 2.1.). Bu her iki etki uçuş yüksekliğine çok fazla bağlı değildir. Yükseklik doğruluğunun bu şekilde uçuş yüksekliğine bağlı olması, kat edilen yolun uzunluğuna ve tarama izinin uçuş yüksekliğine bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Tarama izlerinin büyümesi ile uzaklığın bağıntılı olduğu cisim noktası ve kutupsal koordinatların kaydedilmiş yönü daha az bir şekilde çakışır. Konum doğruluğu, GPS konum doğruluğu, IMU yöneltme doğruluğu ve lazer ışını sapma açısı kayıt doğruluğundan etkilenmektedirler.

Son olarak belirtilen iki hata kaynağı uçuş yüksekliklerinin artması ile büyük oranda doğruluk kaybına neden olmaktadır (Kraus, 2003; Altan vd., 2007).

**Çizelge 2.1.** Airborne Lazer Scanners ALS40 ‘ a ait teknik veriler (Kraus, 2003; Altan vd., 2007)

<b>Dalga boyu</b>	1064 nm (yakın kızılötesi)
<b>Satır frekansı</b>	Max. 26 Hz, uçuş hızı 70 m/s, satır aralığı 2,7m
<b>Ölçme hızı</b>	15-25 kHz
<b>Belirlenebilir yansımalar</b>	5 (15 kHz ölçme oranı) 3 (25 kHz ölçme oranı)
<b>Maksimum uçuş yüksekliği</b>	6000 m (15 kHz Ölçme oranı)
<b>Toplam Açılım Açısı (FOV, arazi görüşü)</b>	35 <sup>0</sup> - 75 <sup>0</sup>
<b>Lazer ışınının açılım açısı (IFOV, anlık FOV)</b>	0.330 mrad, taramaizi (footprint) uçuş yüksekliği 1 km olduğunda çap 33 cm, uçuş yüksekliği 3 km olduğunda 1m.
<b>Konumlandırma ve Yönelme Sistemi</b>	Applanix DG-510
<b>Yükseklik Doğruluğu (45<sup>0</sup> FOV)</b>	± 17 cm Uçuş yüksekliği 1 ve 2 km ± 32 cm Uçuş yüksekliği 6 km’den fazla ise
<b>Yükseklik Doğruluğu (75<sup>0</sup> FOV)</b>	± 20 cm Uçuş yüksekliği 1 ve 2 km ± 47 cm Uçuş yüksekliği 6 km’den fazla ise
<b>Konum Doğruluğu (45<sup>0</sup> FOV)</b>	± 17 cm (Uçuş yüksekliği 1km)’den lineer olarak ± 55 cm (6km)’ye kadar
<b>Konum Doğruluğu (75<sup>0</sup> FOV)</b>	± 20 cm (Uçuş yüksekliği 1km)’den lineer olarak ± 75 cm (6km)’ye kadar
<b>Bellek Kapasitesi</b>	Ortalama 12 saatlik uçuş için, maksimum 1,2.10 <sup>9</sup> =1,2 milyar lazer noktası alınabilir.

Sistemin doğruluğu hakkında yargıya varabilmek için sistemin üç birleşeninden (Lazer tarayıcı, GPS ve IMU) kaynaklanan hatalar göz önünde bulundurulmalıdır. Lidar sisteminin yükseklik doğruluğunun yaklaşık 15 cm olduğu hesaplanmıştır. Lazer altimetresi ile yatay doğruluğu ölçmek çok zordur, ama bu konudaki genel kanı iyi çalışılmış bir projede yatay doğruluğun düşey doğruluktan 1.5 kat daha kötü olduğudur. Bu lidar ölçümlerinin tipik sonucu olarak düşünülebilir. Bu varsayım iyi kalibre edilebilmiş ve fonksiyonel doğruluk sistemlerde ve yüzey arazi şartları için idealdir.

Lidar doğruluğu ile ilgili ilave bir kaç kural daha vardır (Brinkman ve O'Neill, 2000; Burtch, 2004);

- Yavaş uçaklar için ayırma aralığı daha küçüktür.
- Daha doğru ve güvenilir bir DTM, daha sık ayırma aralığı ile daha çok data toplandığında elde edilir.
- Doğruluğun en yüksek olduğu yer nadirde ve salınım açısının yükselmesinin azalmaya başladığı yerlerdir.
- Enin dar olması ayırma problemine neden olur

Lidar ölçmelerinden elde edilen DTM/DSM verilerindeki hataların temel olarak iki kaynağı vardır. Bunlar; Enterpolasyon ve arazide olmayan noktaların sayısal arazi modeline etkileridir. Enterpolasyon hatasına yönelik olarak iki ana hata kaynağı vardır: boşlukların tanımlanması ve bitki örtüsündeki noktaların kaldırılmasıdır (Raber vd., 2002; Burtch, 2004 ). Aralıkların tayini lidar sistemi geri dönenleri arasındaki mesafe ile ilişkilidir. Bu semi-sistematik hatadır. Bu mesafe uçağın uçuş yüksekliği, uçak sürati, lazer pulse oranı ve lazer tarama açısına bağlıdır. Enterpolasyon hataları bitki örtüsü noktalarının çıkarılması sayesinde etki edilir. Raber et al, bitki örtüsünün kaldırılması için pek çok algoritmanın kullanıldığına dikkat çeker. Noktanın kaldırılması demek enterpolasyonda noktanın etkisinin azaltılması demektir. Algoritma, bitki örtüsü noktası yanlışlıkla arazi noktası olarak tasnif ederse, arazi noktaları yanlışlıkla veri setinden çıkarıldığında noktanın etkisinin azaltılması işlemi daha da işi kötüleştirebilir. Yüksek eğim olduğunda yumuşak ve küçük pikler kaldırılır. İlaveten arazi geçişleri yumuşak olsun diye sistematik form sergilenir. Son olarak, bitki örtüsü noktaları veri setinden kaldırılmaz sonra üretilen DTM abartılır (Burtch, 2004).

## **2.7. Lidar Ürünleri**

Lazer tarama ürünleri için şimdilik kabul edilebilir bir tanımının olmadığını vurgulanmıştır. Bununla birlikte proses performanslarına göre 5 farklı lidar ürünü tanımlamıştır (Flood,2002;Burtch, 2004). Birinci seviye ürünleri basit olarak toplanan tüm verileri içerir. Müşteri, coğrafi referans sisteminde bir veri seti içeren nokta kümesi alır. Veriler üzerinde diğer işlemler yapılmamıştır. Bu data tipi kullanıcıya pek çok yazılım sayesinde veri seti içerisindeki noktalardan bilgi üretme ve çekmek imkanı sağlar. Eskiden bu kapasite ya alet üreticileri ya da toplayanlar tarafından hazırlanan yazılımlarla mümkün olmaktadır. Öteki grup ham verilerin ilk işlenmesi olan seviye

2'dir. Burada veriyi toplayanlar veri kümesindeki noktaların ilk tasnifi yapılır. Müşteri iki veri seti alır: Yer (çıplak arazi) ve yer dışı veriler. Genellikle yer dışı veriler binalar, bitki örtüsü gibi tiplere ayrılmaz. Bu veri setinin aslına bağımlılığı azdır (Burtch, 2004).

**Çizelge 2.2.** Lidar Ürünleri (Flood,2002;Burtch 2004)

Seviye	İsmi	Tanımı
1	Temel ya da "Tüm Noktalar"	Post proses sonrası tüm veriler coğrafi referans sisteminde ama herhangi bir filtreleme yapılmamıştır. Kendisi proses yapabilme yeteneğine sahip ya da üçüncü grup veri işleme servisine sahip olan organizasyonlar için uygundur. En hızlı ve en ucuz elde edilen üründür.
2	Aslına Düşük Uyumluluk ya da "ilk Geçit"	Ya özellikli algoritma ya da üçüncü grup yazılım araçları kullanarak veri sağlayıcılar verileri otomatik olarak filtreler ve verileri yer noktası, yer noktası olmayan noktalar olarak ayırır. Ancak yer noktası olmayan noktalar bina, bitki örtüsü gibi ayrılmaz ve otomatik sınıflandırma algoritmada yer noktaları arasında iyi ayrılmamış bir miktar detay kalabilir. Veri prosesi araçlarına sahip ve üçüncü grup veri işleme servisine sahip organizasyonlar için uygundur. Kullanımı yaygındır. Genellikle fiyatı Seviye 1 ile aşağı yukarı aynıdır.
3	Aslına Yüksek Uyum ya da "Temizlenmiş"	Otomatik sınıflandırma rutinleri sayesinde insan yapısı detaylardan arındırılmış tam olarak işlenmiş veri setidir ve %99 düzgün bir arazi modeli sunar. Aslına düşük uyumluluktaki data analiz edilir ve manuel olarak sınıflandırılır. Laboratuvar ağırlıklı bir üründür. Makul bir fiyatı vardır ama ürünün teslim süresi özellikle büyük projelerde oldukça uzundur.
4	Detay Katmanı	Enerji hatları ve bina izleri gibi detayların manuel ve otomatik olarak tanımlanmalarının birleşiminden oluşan ileri derecede işlenmiş verileri içerir. Detay belirleme özelliğine sahip olan üçüncü grup veri işlemcileri ya da büro hizmetleri ile gerçekleştirilir. Genellikle daha pahalıdır ancak gerçek araziye daha çok yakındır.
5	Birleştirilmiş	Diğer sensörlerden alınan bilgiler ile lidardan elde edilmiş yükseklik verileri birleştirilen Lidar data ürünlerinin daha ileri seviyede arıtılmış halidir. Bu seviyede veriler, sayısal görüntü, yüksek spektral veri, termal görüntü, planimetrik veriler ya da benzer kaynaklar içerir. Yüksek maliyetli ve zengin bilgi içeren bir üründür.

Arazi, minimum sayıda yer noktası ya da insan yapısı detay içermedikçe, insan eli ile yapılmış şeyler ve verilerin yanlış sınıflandırılması veri içinde olabilir. Bu sonuçla seviye 3 yüksek düzeyde araziye uyum ya da temiz veri içerir. Flood, yeryüzüne benzerliği az, yoğun yer örtüsü, arazideki sırt ve keskin kırıklıkları yakalama doğruluğundaki yeteneksizlik, köprü gibi insan yapısı detayların yanlış sınıflandırılması, keskin kabarık arazilerdeki ağaçların topografyadan kaldırılması gibi ilk seviye ürünlerdeki genel yaygın problemleri ifade etmektedir. Bu problemlerin halledilmesi yoğun laboratuvar çalışması gerektirir. Lidar işlemlerinin %80-90'nı otomatik gerçekleştirilmesi mümkün olduğunda, veriler büyük miktarda temiz elde edilir. Bu ya yardımcı veri ya da yüksek teknoloji ister. Bu seviye yalnızca fiyatı yükseltmez aynı zamanda teslim süresini de uzatır. Diğer seviye 4 üncü seviye yani detay çıkarma seviyesidir. Seviye 3 deki işlemlerin üzerine, veri kümesi noktalarından önemli yer bilgileri çekilir. Bu otomatik ve/veya manuel detay çıkarma araçları ile gerçekleştirilir. Beşinci seviye işlemler birleşim olarak adlandırılır. Bu lidar verilerinin diğer algılayıcı verileri ile birleştirildiği zengin bilgi sahibi olan ürün çeşididir (Burtch, 2004).

## **2.8. Yükseklik Modellerine Göre Lidarın Fotogrametri İle Karşılaştırılması**

Fotogrametrik olarak elde edilmiş Sayısal Arazi Modeli Doğruluğu uçuş yüksekliği ve kamera tipine bağlıdır. Lazer tarama verilerinden elde edilen Sayısal Arazi Modeli Doğruluğu uçuş yüksekliğine bağlı olmaktan çok uzaktır. Lazer- SAM doğruluğu nokta sıklığına bağlıdır. Lazer taramadaki nokta sıklığı uçuş yüksekliğine, uçuş hızına, tarayıcının açılım açısına ve tarayıcının ölçme hızından etkilenmektedir (Kraus, 2003; Altan vd., 2007).

Lidarın fotogrametriye göre önemli avantajlarından biri yüzey oluşturma metodudur. Fotogrametrideki yüksek ölçümler için yüzeyde tesis edilen noktanın en az iki fotoğrafta görülebilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan stereoskopiklik gereklidir. Görüntülerde yüksek binalar ya da bitki örtüsü olduğunda bu çok zor olur. Lazer tarama tek ölçüm ile (mono) yüzey yüksekliğini belirleyebilir. Bunun anlamı, nesneye yalnızca tek bir hat boyunca görüş yeterlidir. Lidarın kullanmadığı bolluk fotogrametrinin çift ışınından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, fotogrametride yüzey noktalarının ölçümü iyi bir kontrast ve ayırmayı gerekli kılar. Kum, kar, buz, su gibi yüzeyler fotogrametrideki ölçümlerde engel teşkil eder. Lidar bu gibi yüzeylerde çok iyi çalışır (Schenk,1999; Burtch, 2004).

### 3. UYGULAMA

Körfez Haritacılık ve Planlama LTD. ŞTİ. tarafından Artvin Borçka' da kurulmuş Borçka Barajından çıkan enerji nakil hattı güzergâhının Lidar ve Hava Fotoğrafları ile alımı yapılmıştır. Firmadan tez çalışma bölgesi için, Lidar ham dataların işlenmesiyle 1 m. aralıklı, doğal ve yapay detaylardan arındırılmış çıplak arazi yüzeyini temsil eden ve arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden Lidar verileri ASCII formatında (x, y, z olarak ) ve 8 adet ortalama 2100 m uçuş yüksekliğinde çekilmiş hava fotoğrafları yöneltme parametreleriyle birlikte temin edilmiştir. Ayrıca çalışma alanı içine giren elipsoit ve ortometrik yükseklikleri bilinen 2 adet GPS-Nivelman noktası Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiştir.

Bu uygulamada Lidar verilerinden üretilen Sayısal Arazi Modeli (DTM) ile hava fotoğraflarından oluşturulacak olan stereo modeller üzerinden atılan kot noktalarının yüksekliklerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Ayrıca; arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden Lidar verilerinden de Sayısal Yüzey Modeli (DSM) oluşturulmuştur. Bu model ile hava fotoğraflarından belirlenen ilgi alanı için oluşturulan ortofoto üst üste çakıştırılarak modeller görselleştirilmiştir.

Aynı bölgede Lidar alımlarının dışında ancak hava fotoğraflarının kapsadığı alan içinde kalan 2 adet GPS-Nivelman noktası, hava fotoğraflarından üretilen Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM) doğruluğunun kontrolü için kullanılmıştır.

Yapılan uygulama, sırası ile aşağıda belirtilen işlem adımları ile gerçekleştirilmiştir.

- Hava fotoğraflarının yöneltme işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve stereo modellerin oluşturulması.
- Lidar verilerinin ve 2 adet GPS-Nivelman noktasının stereo modeller üzerinde görüntülenmesi,
- Stereo modeller üzerinden kot noktalarının belirlenmesi.
- Hava fotoğraflarından otomatik olarak 1 m aralıklı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturma.

- Lidar verilerinden Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yüzey Modeli (DSM) oluşturma.
- Uygulama alanının ortofotosunun oluşturulması ve kot noktalarının ortofoto üzerinde gösterilmesi.
- Kot noktası yüksekliklerinin, Sayısal Arazi Modelinden (DTM) kestirilmesi.
- Lidar verilerinden ve hava fotoğraflarından elde edilen modellerin 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi.
- 2 Adet GPS-Nivelman noktasının hava fotoğraflarından oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden kestirilmesi ve değerlendirilmesi.

### 3.1. Hava Fotoğraflarının Yönelme İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi ve Stereo Modellerin Oluşturulması

Yönelme işlemleri öncesi firma tarafından, hava fotoğraflarının radyometrik dengelemesi, havai nirengi ve dengeleme işlemleri gerçekleştirilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

**Çizelge 3.1.** Uçuş Hakkında Genel Bilgiler

Uçuş tarihi: 18.05.2011
Ortalama uçuş yüksekliği: 2100 m
Yer örnekleme aralığı (GSD) : 10 cm
İleri bindirme oranı : % 65
Yan bindirme oranı : % 30

Çekilen hava fotoğraflarının radyometrik dengelemeleri Ultramap yazılımında gerçekleştirilmiştir. RGB hava fotoğraflarının havai nirengi ve dengeleme işlemleri MATCH\_AT yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Dengeleme işlemi 12 self kalibrasyon parametresi kullanılarak “Blunder Detection” opsiyonu açık tutulmak sureti ile gerçekleştirilmiştir. Dengelemede toplam 255 hava fotoğrafı ve 75 adet yer kontrol noktası kullanılmıştır. İlgili alanı ardışık sayılabilecek 8 hava fotoğrafı kapsamaktadır.

Hava kamerasının genel özellikleri Çizelge 3.2.’ de, resim orta noktasının koordinatları ve dönüklükler Çizelge 3.3.’ de verilmiştir.



**Çizelge 3.2.** Dijital hava kamerasının genel özellikleri

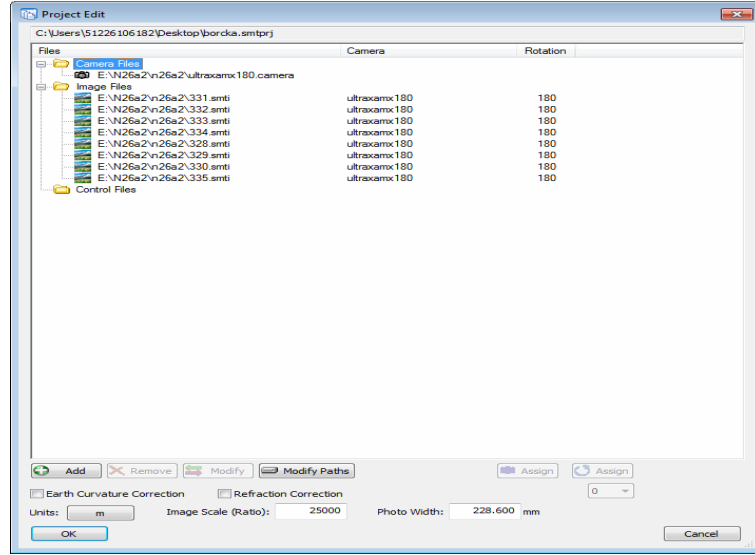
<b>Kamera Adı</b>	Vexcel UltracamX
<b>Resim Boyutları</b>	9420 piksel
	14430 piksel
<b>Odak Uzaklığı</b>	100.5 mm
<b>Piksel Büyüklüğü</b>	7.2 $\mu$
<b>Film Yüksekliği</b>	103.896000
<b>Film Genişliği</b>	67.824000
<b>Fotoğraf asal noktası Değerleri</b>	-0.144000 mm- 0.000000 mm

Hava fotoğraflarının yöneltilmesi ve stereo görüntülerin oluşturulması Summit Evolution Datem 4.1 programında yapılmıştır. Kamera bilgileri bir dosya halinde programa tanıtılmış ve iç yöneltme işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

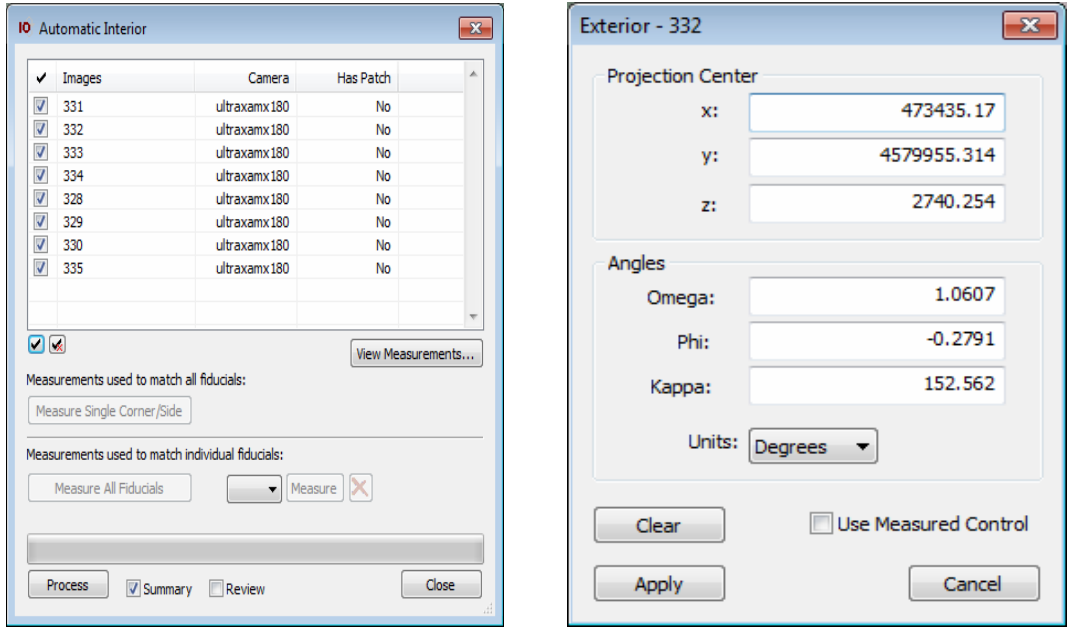
Resim orta noktasının koordinatları ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) ve dönüklük parametreleri ( $\Omega, \Phi, \kappa$ ), programa çalışma alanını içeren 8 adet hava fotoğrafı için otomatik olarak girilerek dış yöneltme işlemi gerçekleştirilmiş ve stereo görüntüler elde edilmiştir (Şekil 3.1. ve 3.2.). Oluşturulan proje için Transvers Mercator Projeksiyonu, 3 derecelik dilimde, Dilim Orta Meridyeni  $42^0$  ve WGS 84 datumu seçilerek çalışılmıştır. Projede, TG03 (Türkiye Jeoidi 2003) datumunda, ortometrik yükseklik sistemi kullanılmıştır.

**Çizelge 3.3.** 8 Adet hava fotoğrafının resim orta noktasının koordinatları ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) ve dönüklük açıları ( $\Omega, \Phi, \kappa$ )

<b>Resim Nu.</b>	<b><math>X_0</math> (m)</b>	<b><math>Y_0</math> (m)</b>	<b><math>Z_0</math> (m)</b>	<b><math>\Omega</math></b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b><math>\kappa</math></b>
<b>328</b>	475062.83	4579087.522	2740.459	-2 <sup>0</sup> .3013	1 <sup>0</sup> .2172	152 <sup>0</sup> .1131
<b>329</b>	474658.251	4579310.048	2738.63	2 <sup>0</sup> .2513	0 <sup>0</sup> .072	150 <sup>0</sup> .0666
<b>330</b>	474254.893	4579533.244	2741.328	3 <sup>0</sup> .8807	-0 <sup>0</sup> .4931	151 <sup>0</sup> .4888
<b>331</b>	473846.736	4579744.949	2741.591	1 <sup>0</sup> .0262	0 <sup>0</sup> .0717	155 <sup>0</sup> .9323
<b>332</b>	473435.17	4579955.314	2740.254	1 <sup>0</sup> .0607	-0 <sup>0</sup> .2791	152 <sup>0</sup> .562
<b>333</b>	473027.457	4580170.843	2740.716	1 <sup>0</sup> .8707	-0 <sup>0</sup> .2882	152 <sup>0</sup> .3138
<b>334</b>	472620.738	4580388.627	2743.827	2 <sup>0</sup> .1269	0 <sup>0</sup> .1033	151 <sup>0</sup> .7003
<b>335</b>	472214.935	4580607.497	2743.383	1 <sup>0</sup> .398	-0 <sup>0</sup> .7721	151 <sup>0</sup> .2167



Şekil 3.1. Datem 4.1 programında, proje parametrelerinin tanımlanması

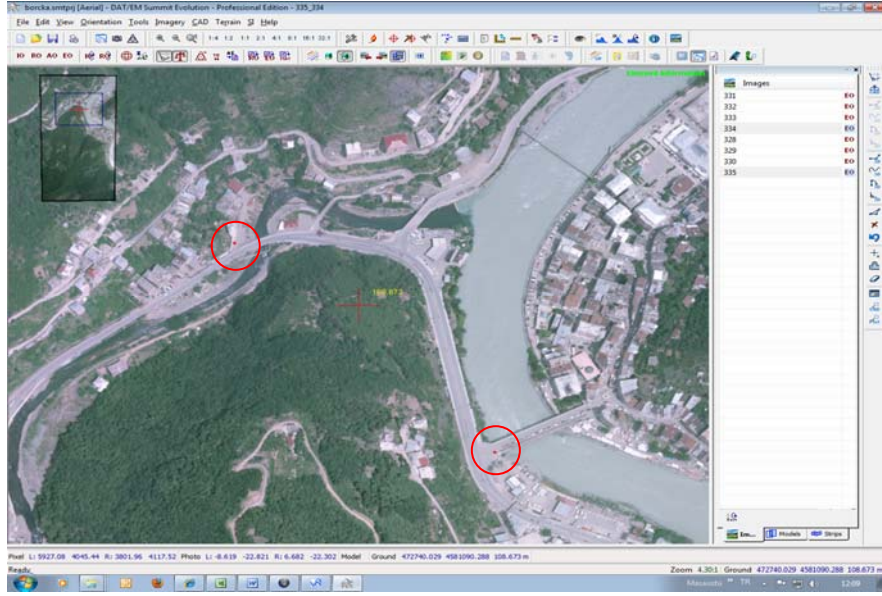


Şekil 3.2. Datem 4.1 programında iç ve dış yöneltme parametrelerinin tanımlanması

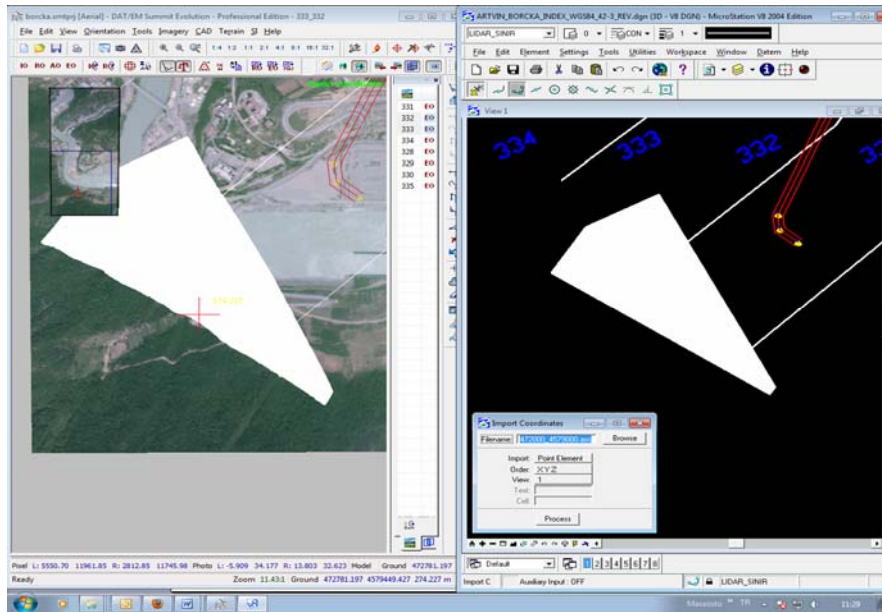
### 3.2.Lidar Verilerinin ve 2 Adet GPS-Nivelman Noktasının Stereo Modeller Üzerinde Görüntülenmesi

Datem 4.1 programı CAD programları ile senkronize çalışabilmektedir. Stereo modeller elde edildikten sonra “CAD UP” aracı ile Microstation programında CAD ortamına geçilmiştir. Çıplak arazi yüzeyini, arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden Lidar verileri ve 2 adet GPS-

Nivelman noktası, Microstation programında ASCII formatında (X,Y,Z ) açılarak verilerin stereo modeller üzerinde yatay ve düşey konumları kontrol edilmiştir. Tüm verilerin stereo modellerle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 3.3. ve 3.4.). Stereo modeller üzerinden çalışma bölgesi için bir ilgi alanı belirlenmiştir (Şekil 3.5.). Burada ilgi alanı belirlenirken, doğal ve yapay tesisleri barındırması, açık ve kapalı olması, düz ve engebeli olması gibi değişken özellikleri içermesi hedeflenmiştir.



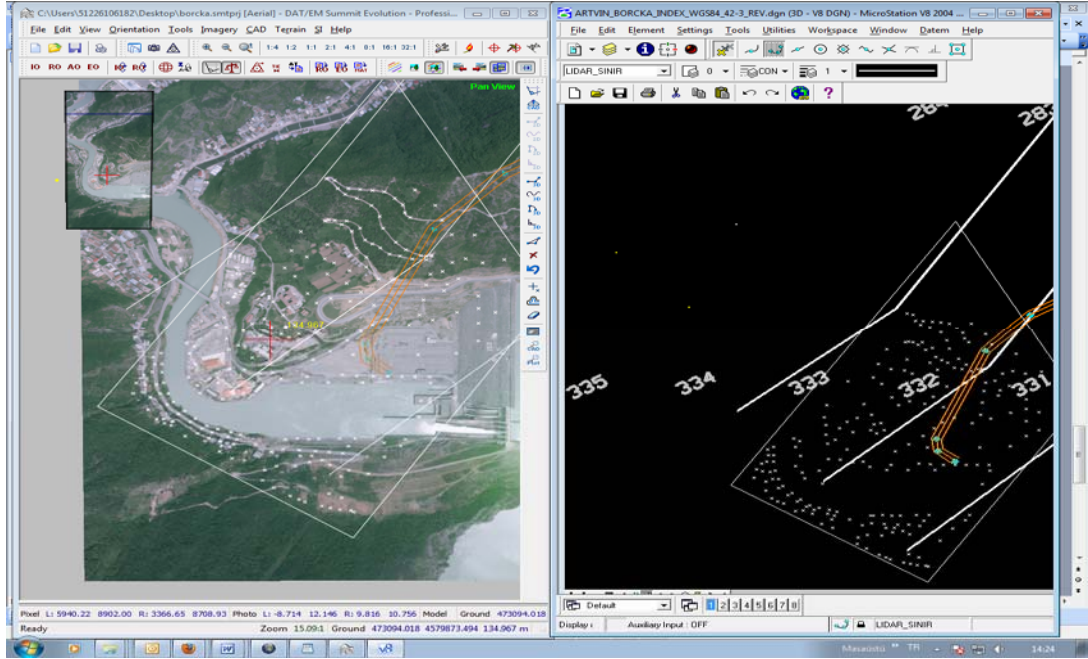
Şekil 3.3. 2 Adet GPS-Nivelman noktasının stereo model üzerinde isabet ettiği yerler



Şekil 3.4. Çalışma alanına giren Lidar verilerinin modeller üzerinde görüntülenmesi

### 3.3. Stereo Modeller Üzerinden Kot Noktalarının Belirlenmesi

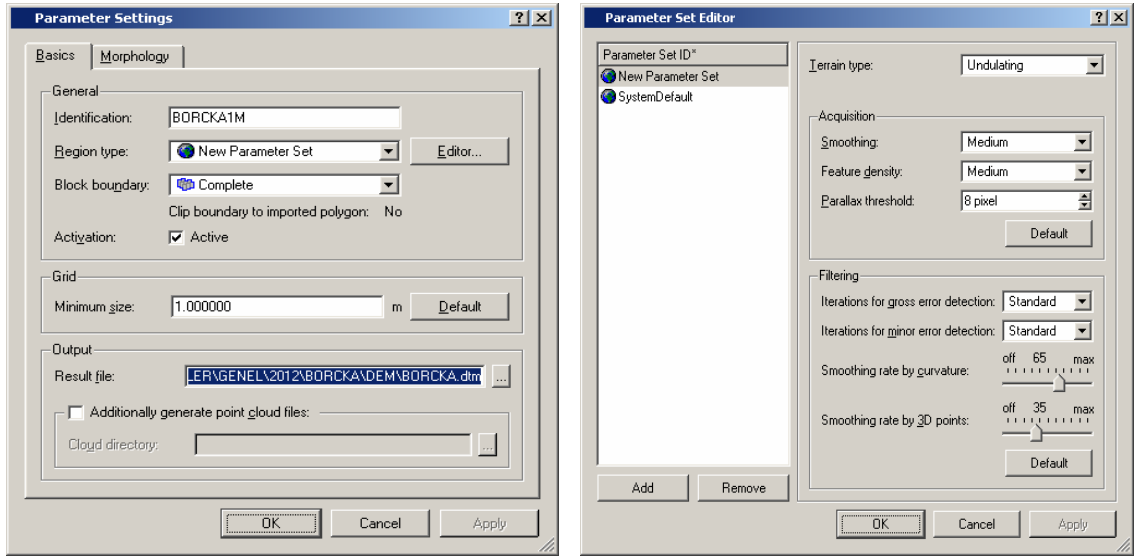
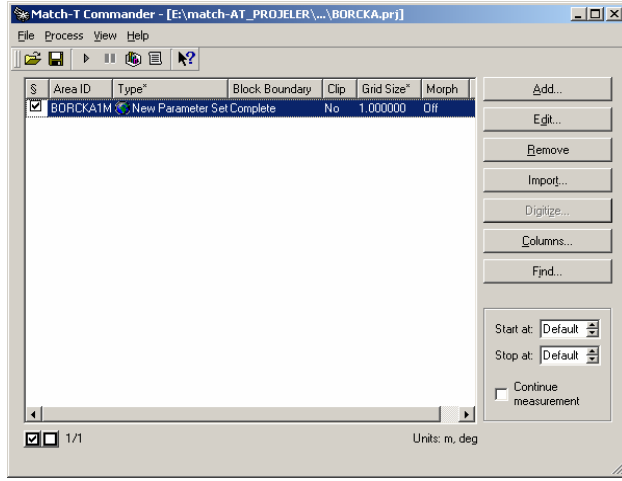
Bu çalışmada hava fotoğraflarından elde edilecek yükseklik doğruluğunun Lidar verileri ile karşılaştırılması hedeflendiğinden oluşturulan stereo modeller üzerinde, çizilen ilgi alanı altta referans olarak çağırılarak 1/1 yaklaşma ile genellikle açık arazi yüzeyinden uygun dağılımlı 190 adet kot noktası atılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Datem 4.1 programında oluşturulan stereo modeller üzerinde kot noktaları

### 3.4. Hava Fotoğraflarından Otomatik Olarak 1 m Aralıklı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Oluşturma.

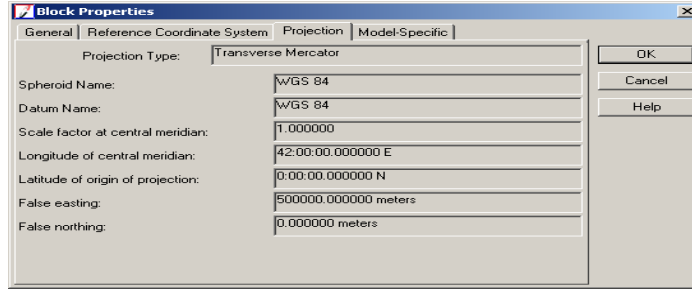
Datem 4.1 programında yöneltilen hava fotoğraflarından, Inpho yazılım paketinin MATCH-T 5.2 modülüne aynı iç ve dış yöneltme parametreleri ile geçirilerek proje oluşturulmuş, 8 adet hava fotoğrafından 1m aralıklı, programın Şekil 3.6.' da verilen varsayılan değerleri kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Sonuç ürün olarak; .xyz uzantılı ASCII formatında nokta dosyası ve .img uzantılı Erdas Imagine dosyası elde edilmiştir. Oluşturulan bu model üzerinde herhangi bir düzenleme işlemi yapılmamıştır.



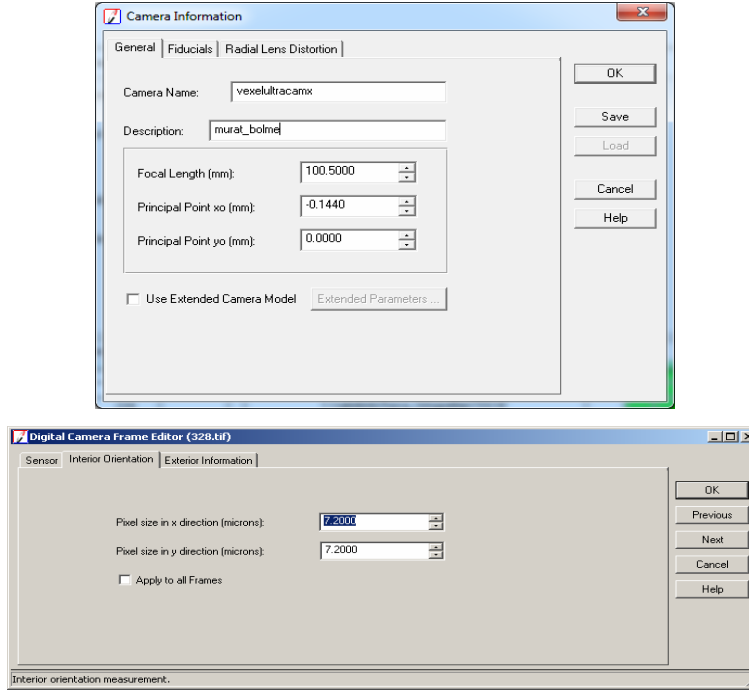
**Şekil 3.6.** MATCH-T programında Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) için tanımlanan parametreler

### 3.5. Uygulama Alanının Ortofotosunun Oluşturulması ve Kot Noktalarının Ortofoto Üzerinde Gösterilmesi.

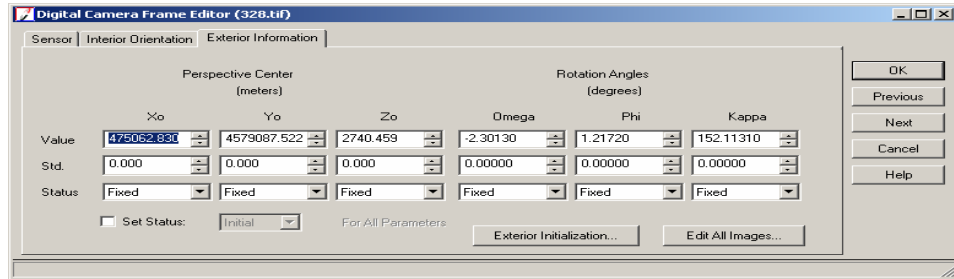
Erdas Imagine 9.2 programının LPS (Leica Photogrammetry Suite) modülünde, hava fotoğrafları, kamera bilgileri (Şekil 3.8), resim orta noktasının koordinatları ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ) ve dönüklük açıları ( $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $\kappa$ ) tanımlanarak proje oluşturulmuştur (Şekil 3.9.). Oluşturulan proje için koordinat sistemi parametreleri Şekil 3.7.'de verilmiştir.



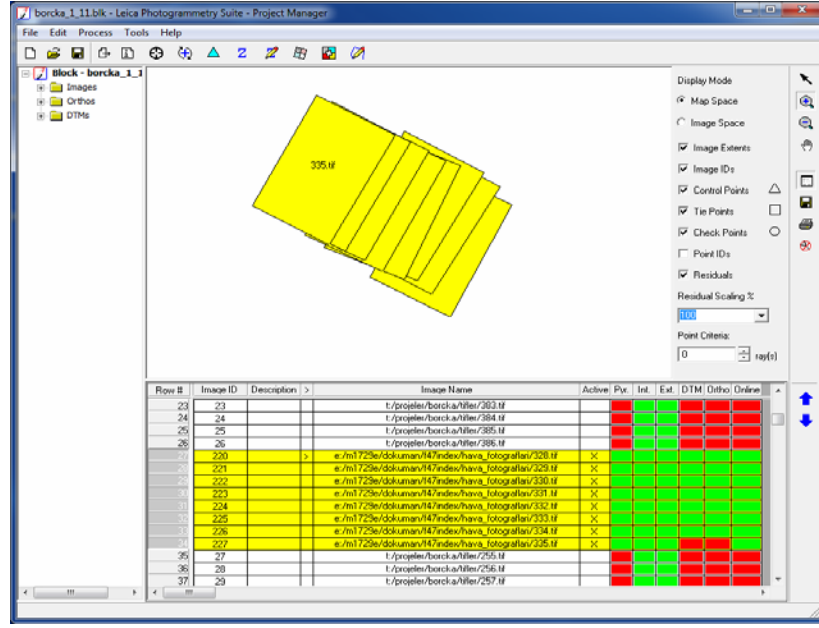
Şekil 3.7. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak blok için belirlenen koordinat sistemi parametreleri



Şekil 3.8. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak blok için kamera bilgilerinin girilmesi



Şekil 3.9. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak blok için resim orta noktası koordinatları ve dönüklük açılarının tanımlanması

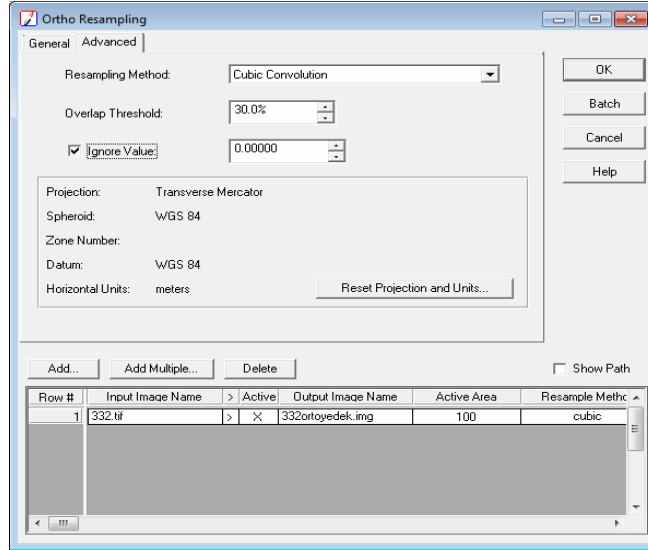


**Şekil 3.10.** Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulan blok bilgileri

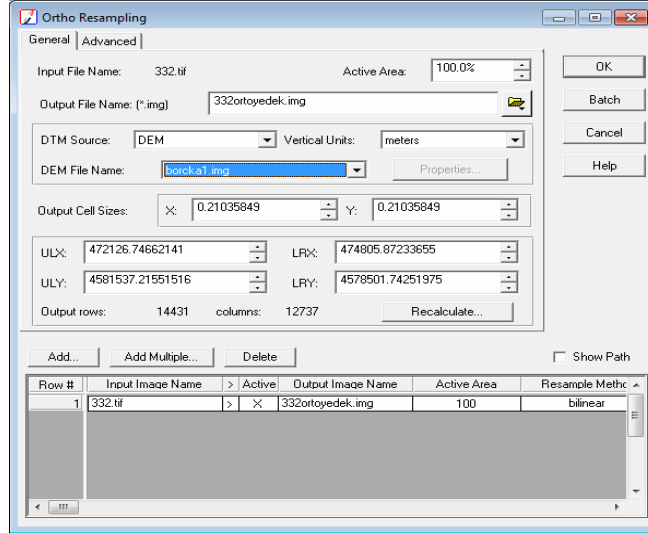
Erdas Imagine 9,2 programının LPS modülü içinde Project Manager arayüzünde bulunan Ortofoto oluşturma araçları kullanılarak ilgi alanının ortofotosu elde edilmiştir (Şekil3.10.).

“Orto Resampling” ara yüzünde “DTM Source” kısmına, MATCH-T programında hava fotoğraflarından oluşturulan .img uzantılı 1 m aralıklı DEM (Şekil 3.12.) ve “Resampling Method” kısmına ise “Cubic Convolution” tanımlanmıştır (Şekil 3.11.). Burada seçilen kıstaslarda ilgi alanı için uygun değerler atanmıştır.

Uygulama alanının sınırları içerisine giren ortofoto Global Mapper programında kesilmiş ve üzerine isabet eden kot noktaları kırmızı işaretli olarak görüntülenmiştir. Uygulama alanının ortofotosu, kot noktalarının yerlerinin gösterilmesi ve bölüm 3.6’ da lidar verileri ile oluşturulan Sayısal Yüzey Modelinin, oluşturulan bu ortofoto ile birlikte kullanılması için oluşturulmuştur (Şekil 3.18.). Yer kontrol noktası olmadan sadece iç ve dış yöneltme parametreleriyle oluşturulan ortofoto ve üzerindeki kot noktalarının isabet ettiği yerler kontrol edilerek Şekil 3.13.’de sunulmuştur.

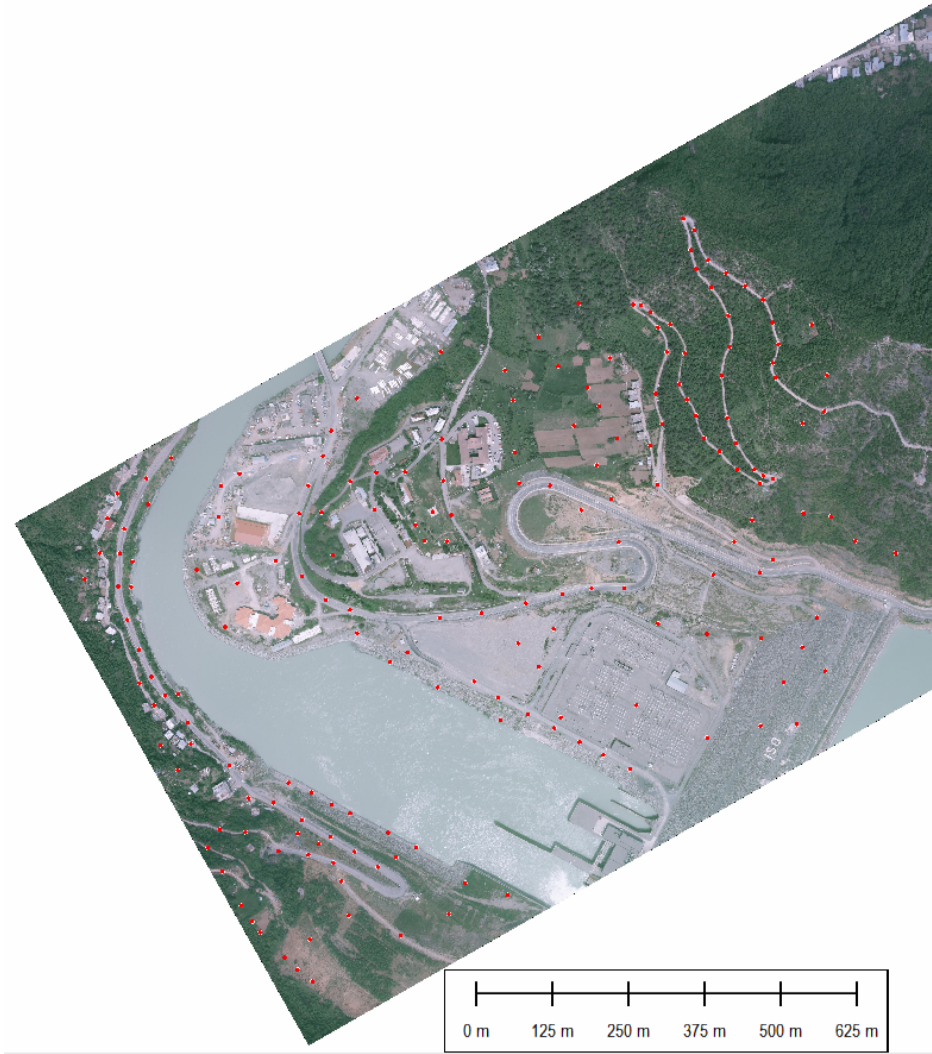


Şekil 3.11. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak ortofoto için tanımlanan parametreler



Şekil 3.12. Erdas Imagine 9.2 programında oluşturulacak ortofoto için tanımlanan parametreler





**Şekil 3.13.** Erdas Imagine 9.2 programında ilgi alanı için oluşturulmuş ortofoto ve kot noktaları (kırmızı renkli noktalar)

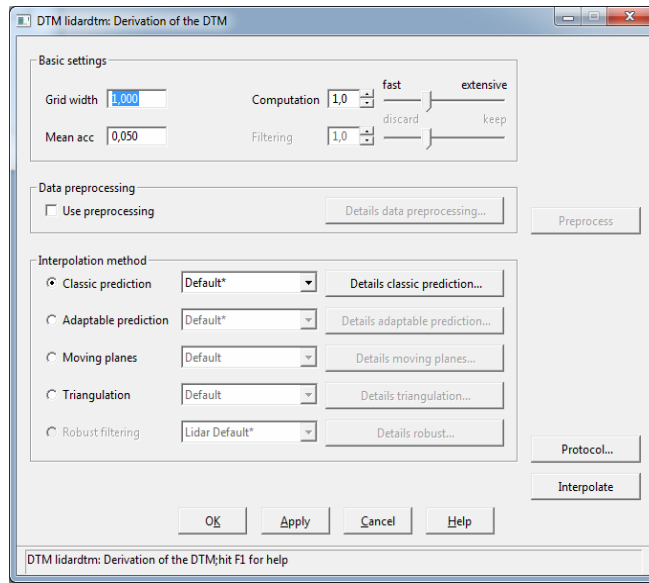
### **3.6. Lidar Verilerinden Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yüzey Modeli (DSM) Oluşturma**

Firma tarafından Lidar verileri, ham datalarının işlenmesiyle 1 m. aralıklı olarak oluşturulmuştur. Bu veriler ASCII formatında olup, doğal ve yapay detaylardan arındırılmış çıplak arazi yüzeyini ve arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden yatay ve düşey koordinatları bilinen noktalar olmak üzere iki dosyadan oluşmaktadır.

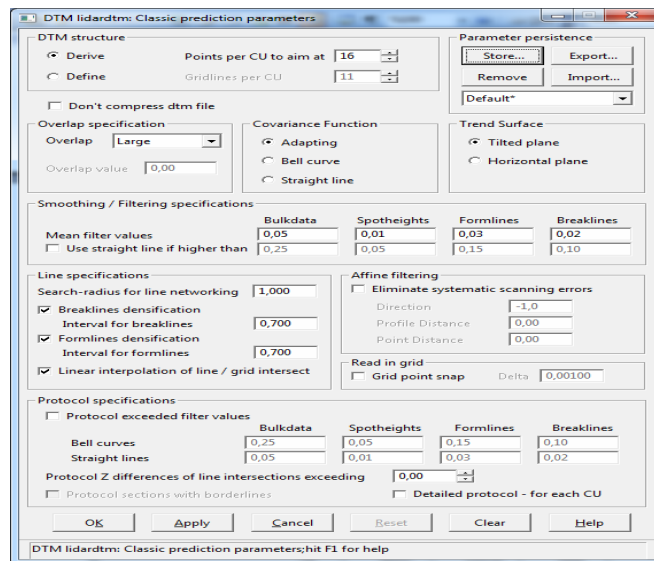
İlk olarak doğal ve yapay detaylardan arındırılmış, çıplak arazi yüzeyini temsil eden Lidar noktaları Scop 5.5 programına dosya halinde aktarılmıştır. Veriler görüntülenerek tekrar kontrol edilmiştir. Oluşturulacak Sayısal Arazi Modeli (DTM) için grid aralığı 1

m ve enterpolasyon yöntemi olarak “Classic Prediction” seçilmiştir. Burada programın model oluştururken doğrusal enterpolasyon yöntemini kullandığı görülmüştür (Şekil 3.14. ve 3.15. ). Aynı işlemler arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden Lidar verileri içinde tekrarlanarak Sayısal Yüzey Modeli (DSM) oluşturulmuştur (Şekil 3.16. ve 3.17.).

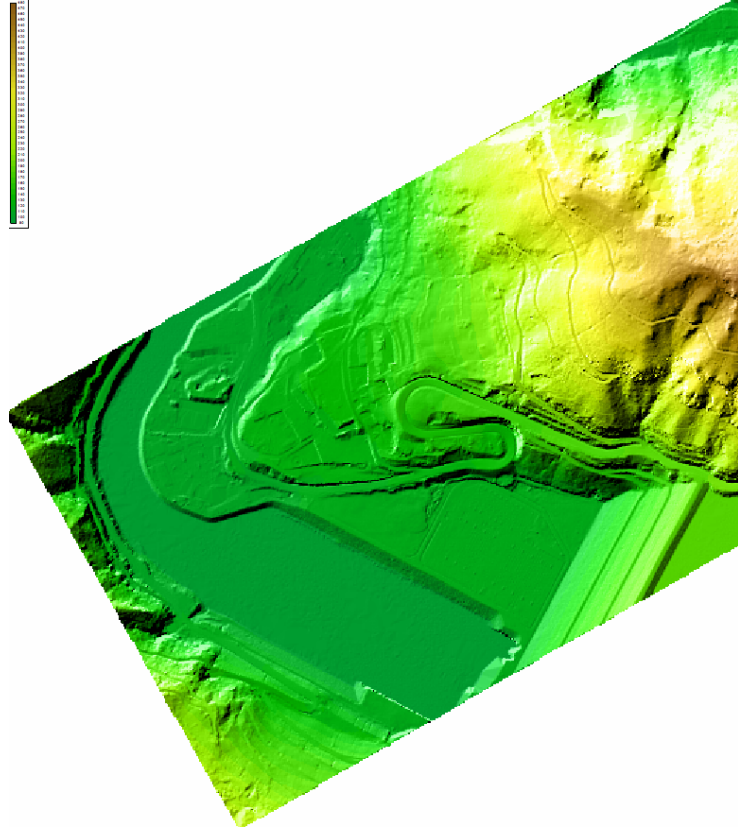
Scop 5.5 programında Sayısal Yüzey Modeli (DSM) üzerine bölüm 3.5. ‘ te oluşturulan ortofoto geçirilerek ilgi alanının arazi yükseklikleri görselleştirilmiştir (Şekil 3.18.).



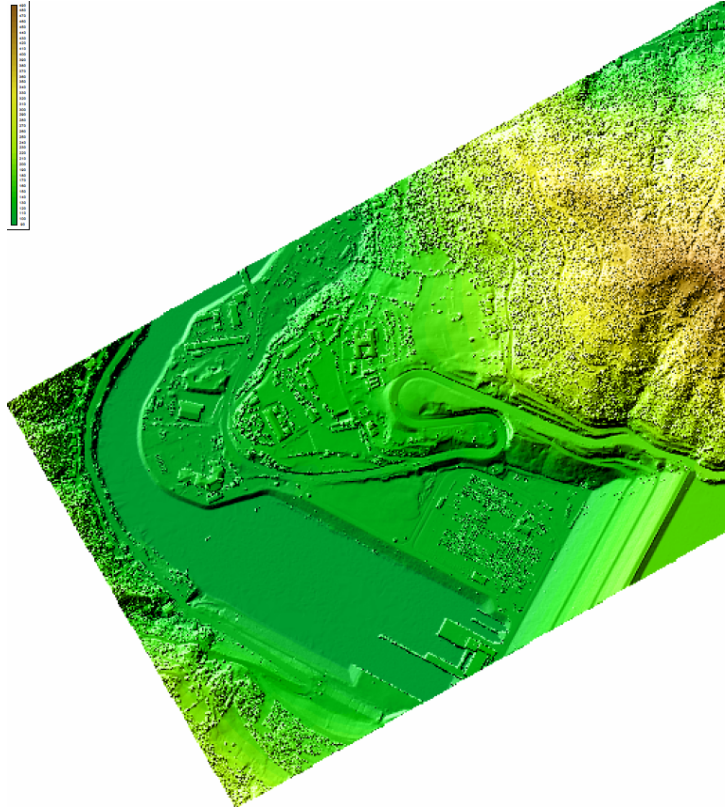
Şekil 3.14. Scop 5.5 programında Sayısal Arazi Modeli (DTM) oluşturmak için tanımlanan parametreler



Şekil 3.15. Scop 5.5 programında Sayısal Arazi Modeli (DTM) oluşturmak için tanımlanan parametreler



Şekil 3.16. Scop 5.5 programında oluşturulmuş Sayısal Arazi Modeli (DTM)



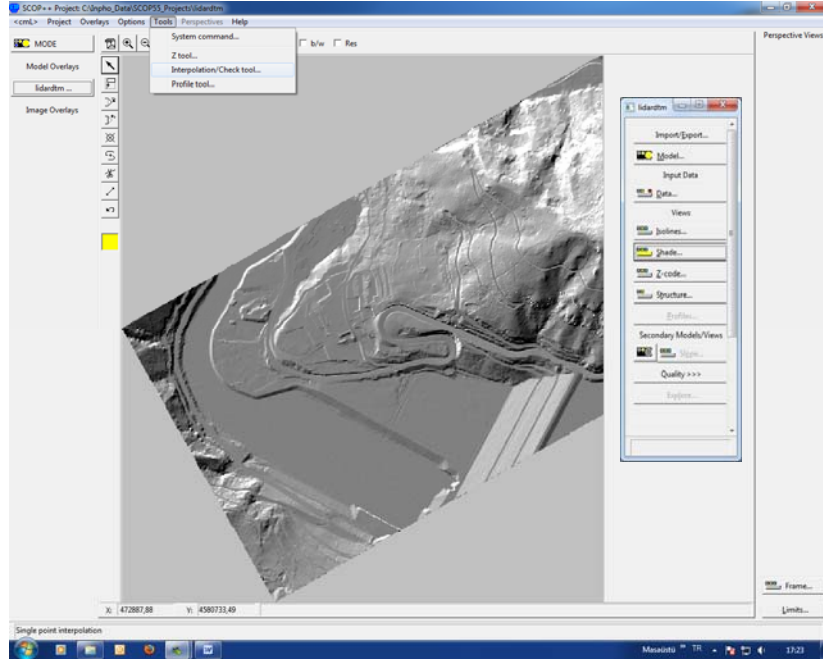
Şekil 3.17. Scop 5.5 programında oluşturulmuş Sayısal Yüzey Modeli (DSM)



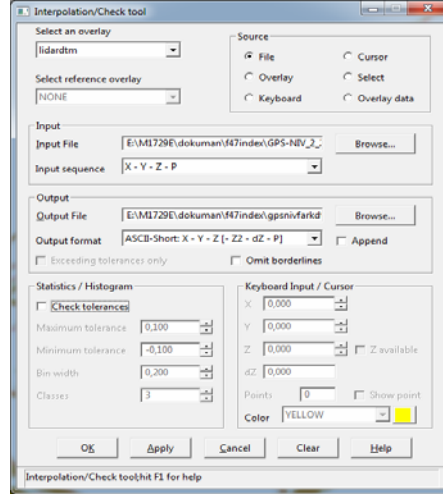
**Şekil 3.18.** Scop 5.5 programında oluşturulan Sayısal Yüzey Modeli (DSM) üzerine geçirilmiş ilgi alanının ortofoto görüntüsü

### **3.7. Kot Noktası Yüksekliklerinin, Sayısal Arazi Modelinden (DTM) Kestirilmesi**

190 adet kot noktasının yükseklikleri, Lidar verilerinden oluşturulan Sayısal Arazi Modeli (DTM) referans yüzey (Şekil 3.19.) seçilerek, Scop 5.5 programı menülerinde yer alan “İnterpolation Check Tool “ aracı kullanılarak kestirilmiştir (Şekil 3.20.). Sonuçta her bir kot noktası için, biri kendi yüksekliği, diğeri model üzerinden kestirilen yükseklik olmak üzere iki farklı yükseklik değeri elde edilmiştir (Çizelge 3.4).



Şekil 3.19. Scop 5.5 programında kot noktalarının yüksekliklerinin kestirimi için kullanılan referans yüzeyi



Şekil 3.20. Scop 5.5 programında kot noktalarının yüksekliklerinin kestirilmesi için kullanılan “İnterpolation Check Tool “ aracı

Çizelge 3.4. Herhangi bir kot noktasının koordinatları ve model üzerinden kestirilmiş yüksekliği

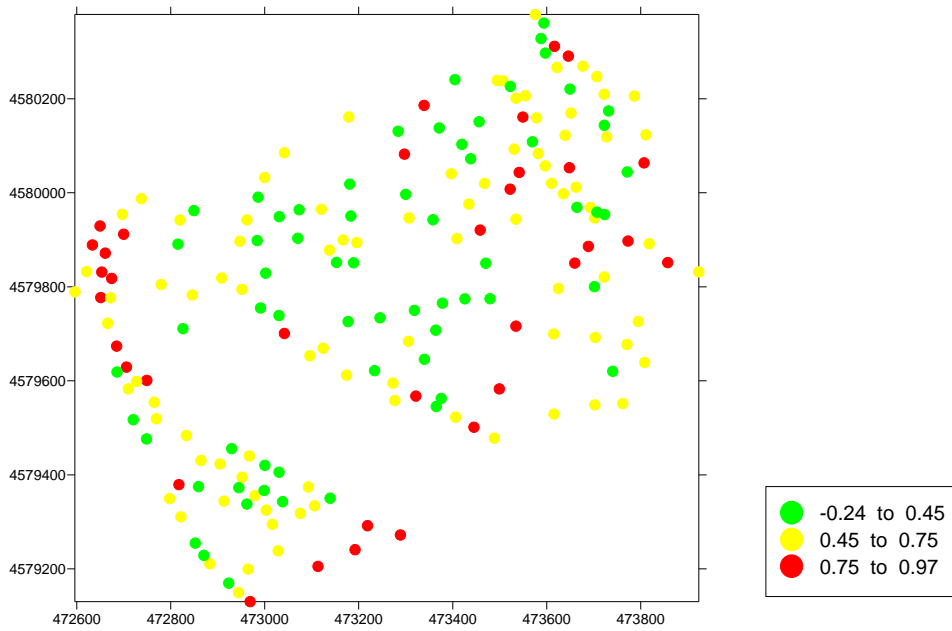
X	Y	Z	Kestirilen z	dZ=Z-z
473177,40	4579725,92	114,61	114,85	-0,24

190 adet kot noktasının yüksekliklerinden model (DTM) üzerinden kestirilen yükseklikler çıkarılarak farklar elde edilmiştir (Çizelge 3.4.). Elde edilen farklar için istatistiki veriler Çizelge 3.5. de verilmiştir.

$$\text{Standart Sapma} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.5.** 190 adet kot noktasının oluşturulan model üzerinden kestirimi sonrası elde edilen istatistikî bilgiler

Nokta Sayısı	190
Minumum Değer	-0.24 m
Maksimum Değer	0,970 m
Ortalama	0.528 m
Standart Sapma	0.252 m



**Şekil 3.21.** 190 adet kot noktası yüksekliklerinin Sayısal Arazi Modeline göre farklarının gösterilmesi

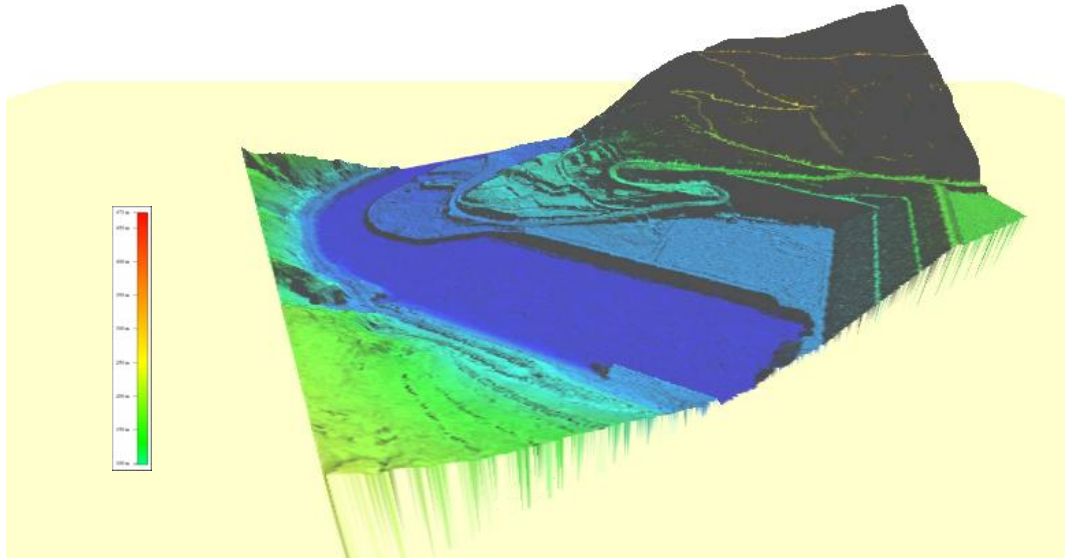
Elde edilen farkların ilgi alanı içerisinde dağılımı Şekil 3.21.'de verilmiştir. 3 Sigma değerinin (0,757) üstündeki 33 nokta normal dağılımı sağlamak için atılmış ve kalan 157 nokta için yeniden istatistiki değerler hesaplanmış (Çizelge 3.6).

**Çizelge 3.6.** 157 adet kot için elde edilen istatistikî bilgiler.

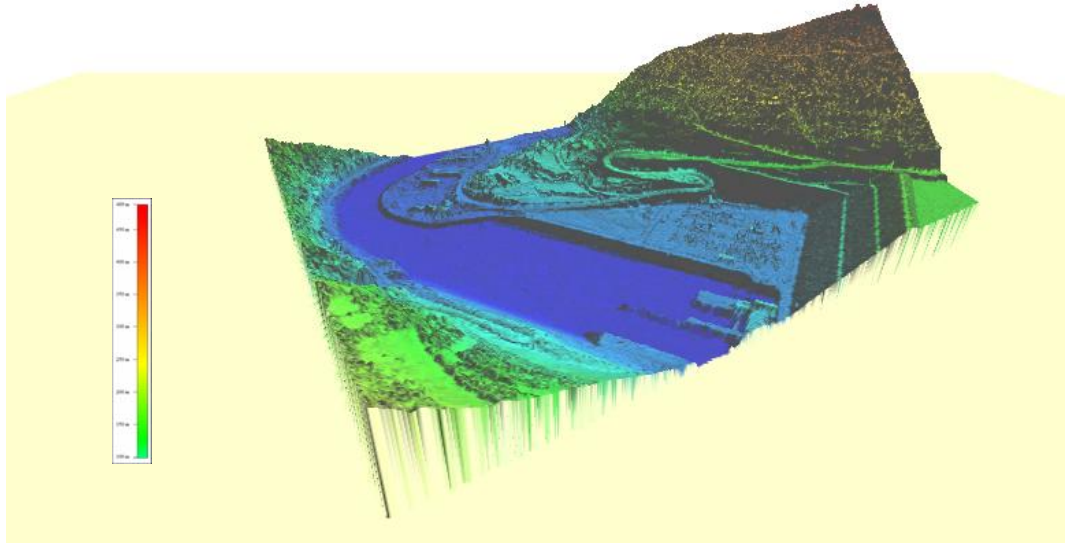
Nokta Sayısı	157
Minumum Değer	-0.24 m
Maksimum Değer	0,75 m
Ortalama	0.459 m
Standart Sapma	0.222 m

### 3.8. Lidar Verilerinden ve Hava Fotoğraflarından Elde Edilen Modellerin Üç Boyutlu Olarak Görselleştirilmesi.

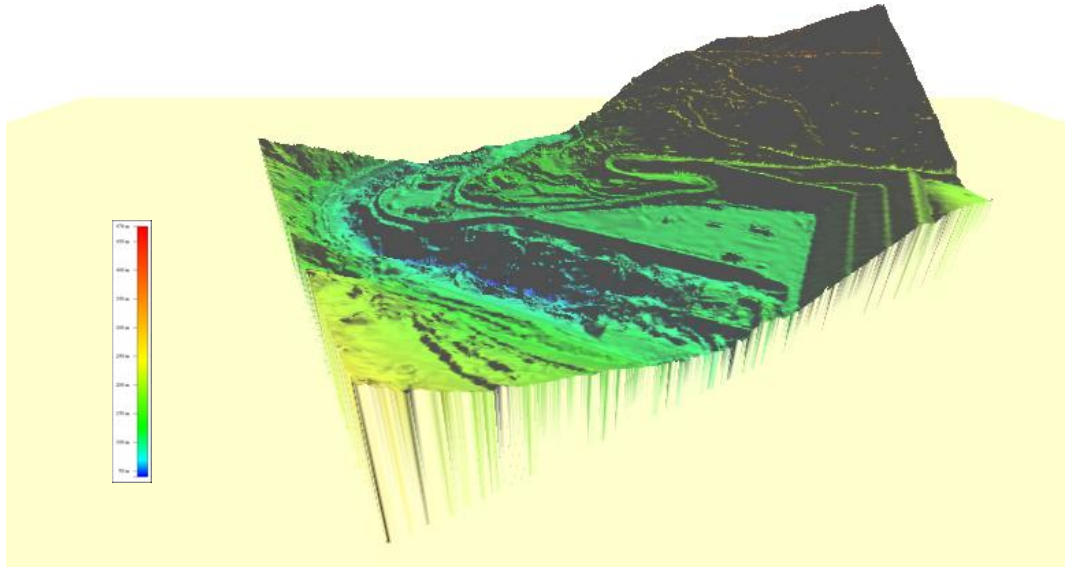
İlgi alanı içerisine giren Lidar verileri ve hava fotoğraflarından elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli verileri X, Y, Z şeklindedir. Bu nokta kümelerinden 3D görüntüler elde etmek için verilerden Global Mapper programında (Triangulated) Üçgenleme Yöntemi ile bir yüzey geçirilmiş ve program menülerinde yer alan 3D araç çubuğu ile ilgi alanı için oluşturulan modeller görselleştirilmiştir (Şekil 3.22., 3.23. ve 3.24.).



**Şekil 3.22.** Çıplak arazi yüzeyini temsil eden Lidar verilerinden oluşturulmuş Sayısal Arazi Modeli (DTM)



**Şekil 3.23.** Arazi yüzeyini bütünüyle (üzerindeki doğal ve yapay detaylarla birlikte) temsil eden Lidar verilerinden oluşturulmuş Sayısal Yüzey Modeli (DSM)



**Şekil 3.24.** Hava fotoğraflarında oluşturulmuş Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)

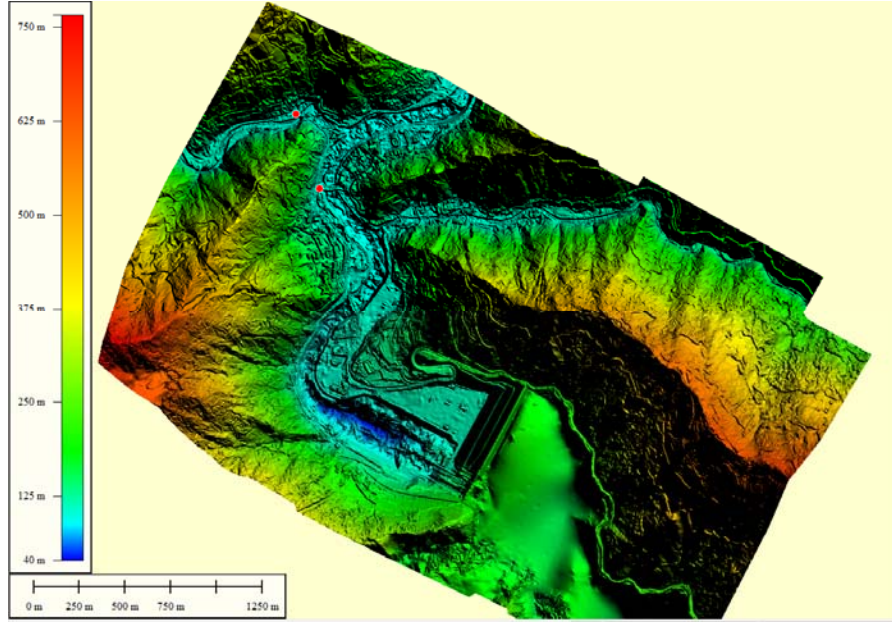
### **3.9. İki Adet GPS-Nivelman Noktasının Hava Fotoğraflarından Oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden Kestirilmesi**

Belirlenen ilgi alanının dışında kalan, fakat hava fotoğraflarından oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) içerisine giren 2 adet GPS-Nivelman noktası, hava fotoğraflarından oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM) doğruluğunun kontrolünde kullanılmıştır.

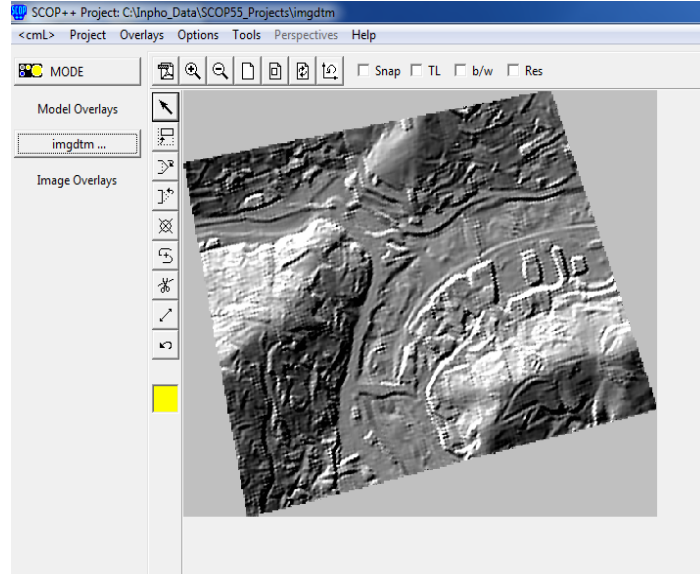


Hava fotoğraflarından MATCH-T programında elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) 1m aralıklı X, Y, Z verilerinden oluşmaktadır (Şekil 3.25. ve 3.26.). Bölüm 3.7. 'de bahsedilen aynı yöntemlerle SCOP 5.5 programında bu verilerden yüzey geçirilmiş ve "Interpolation Check Tool " aracı kullanılarak 2 adet GPS-Nivelman noktasının yüzey modeline göre yükseklikleri belirlenmiş, iki yükseklik arasındaki farklar elde edilmiştir (Çizelge 3.7.)

Bu aşamada hava fotoğrafları ile oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM), hassas koordinatları bilinen noktalara göre doğruluğu hakkında bilgi edinebilmek hedeflenmiştir.



**Şekil 3.25.** Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) içerisine giren 2 adet GPS-Nivelman noktası (kırmızı renkte)



**Şekil 3.26.** 2 adet GPS-Nivelman noktasının kestirimi için oluşturulmuş referans yüzey

**Çizelge 3.7.** 2 Adet GPS-Nivelman noktasının yükseklikleri, oluşturulan model üzerinden kestirilmiş yükseklikler ve farklar

Z	Kestirilen z	$dZ=Z-z$
103,796	103,520	0,276
107,594	107,880	-0,286

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; uzaktan algılamada aktif sistemlerden biri olan Lidar hakkında bilgi verilmiş, sistemin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Lidar verileri ile üretilen Sayısal Arazi Modellerinin, hava fotoğrafları ile oluşturulan modellere göre farkları matematiksel ve görsel olarak sunulmuştur. Buna göre Lidar sisteminin veri elde etme potansiyeli ve doğruluğu yüksektir. Hava fotoğraflarından elde edilen Sayısal Yüzey Modelleri incelendiğinde, model yüzeyinin, binalar gibi keskin detay geçişlerinden sonra, belli bir eğimle arazi ile birleşerek devam ettiği görülmektedir. Lidarda oluşturulan Sayısal Yüzey Modellerinde ise bu gibi keskin detayların yan yüzeylerinde de noktalar olduğundan, oluşturulan model yan yüzeylerdeki bu noktalardan da geçmekte ve arazi ile detaylar kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Lidar alımları ile oluşturulan bu yükseklik modellerinin, ortofoto haritaların doğruluğunu ve nefasetini artırdığı bilinmektedir. Sistemin özellikle enerji nakil hattı, yol projeleri gibi şeritvari alımlar ve yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerdeki kullanımı önemli avantajlarından olup, yurtiçinde bu gibi çeşitli projelerde Lidar sistemleri kullanılmaya başlamıştır. Burada önemli olan Lidar teknolojisinin üstün taraflarını bilip, sistemi uygun projelerde kullanabilmektir. Ayrıca son çıkan Lidar cihazları, orta ölçekli bir kamera ile entegre olarak satılmakta ve bu iki sistem birbiri ile senkronize olarak çalışmaktadır. Böylece Lidar verilerinin analiz edilmesi ve düzenlenmesi daha da kolaylaştırılmıştır. Çeşitli ölçme yöntemleri ile elde edilmiş verilerinde altlık olarak kullanımı lidar verilerinin işlenmesinde faydalı olacağı ve doğruluğunu daha da artıracığı bilinmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aggett G., 2005. Airborne Laser mapping with Lidar for dummies. GIS for Local Government Conference
- Ayman H., Ki-In B., Ana Paula K., 2010. Lidar System Calibration: Impact On Plane Segmentation and Photogrammetric Data Registration, ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego, California.
- Brinkman, R. and C. O'Neill, 2000. "LIDAR and Photogrammetric Mapping", The Military Engineer, No. 605.
- Burtch, R., 2004. An Introduction To Laser Scanning, Lesson 5 SURE 382 Geographic Information Systems II.
- Cesur S., 2007, Uzaktan Algılamada Aktif Sistemler ve Radar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Chauve A., Mallet C., Bretarl F., Dur r ieu S., Deseilligny M.P., Puech W., 2007. Processing fullwaveform Lidar data: Modelling raw signals. ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser
- Demirkesen A.C., 2007, Günümüzde Uzaktan Algılama Uygulamalarına Genel Bir Bakış, TMMOB HKMO 11. Türkiye Harita Bilimsel Kurultayı, Ankara
- Ekercin S., Üstün B., 2004, Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji Lidar, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2004/91.
- Eastman, R. 2003. Idrisi Kilimanjaro Manual and Tutorial. Clark Labs, Clark University, Worcester.
- Fochesatto , J., Ristori , P., Flamant , P., Machado ,M.E., Singh , U., Quel E., 2004 Backscatter LIDAR signal simulation applied to spacecraft LIDAR instrument design, Advances in Space Research 34 , pp. 2227–2231
- Flood, M., 2002. "Product Definitions and Guidelines for Use in Specifying Lidar Deliverables", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(12):1230-1234.
- Fowler, R., 2001. "The Thorny Problem of LIDAR Specifications", EOM, 10(4):25-28.
- Goldstein, R.M., Zebker, H.A., Werner, C., 1988. Satellite Radar Interferometry: two dimensional phase unwrapping. Radio Sci. Vol. 23: Number 4, , pp 713-720.

- Gong J ., Li Z., Zhu Q., Shu H., Zhou Y., 2000. Effects of various factors on the accuracy of DEMs: an intensive experimental investigation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(9), pp. 11131117.
- Hodgson M. E., Bresnahan P., 2004. Accuracy of airborne lidar-derived elevation: empirical assessment and error budget, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (3), pp.331339.
- İşlem Şirketler Grubu., 2002. Uzaktan Algılama Kitabı (PDF), CD.
- Jensen, J. R. 2005. *Digital Image Processing: A remote Sensing Perspective*. Second edition. Prentice-Hall: Upper Saddle River, N.J.
- Kienzle S., 2004. The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives, *Transactions in GIS*, 8(1), 83111.
- Konecny G., 2007. Laser Scanning. Workshop presentation, <http://corstr.iku.edu.tr>
- Kraus K., 2003. *Photogrammetry I (Fotoğraflardan ve Lazer Tarama Verilerinden Geometrik Bilgiler)*, Yedinci Baskı, Çevirenler: Altan O., Külür S., Toz G., Demirel H., Duran Z. Ve Çelikoyan M., Cilt No:1 Birinci. Baskı, Nobel Yayınevi, 2007, Ankara.
- Latypov, D., 2005. Effects of laser beam alignment tolerance on lidar accuracy, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59, , pp. 361–368
- Li Z., Zhu Q., Gold C., 2005. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, CRC Press, Boca Raton, London, New York, and Washington, D.C.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons Inc.: New York.
- Liu X., Zhang Z., Peterson J ., Chandr a S., 2007. The Effect of LiDAR Data Density on DEM Accuracy, In: MODSIM07 International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch, New Zealand.
- Maume, D. (editor), 2001. *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*, The American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 539 p.
- Raber, G., J. Jensen, S. Schill and K. Schuckman, 2002. “Creation of Digital Terrain Models Using an Adaptive Lidar Vegetation Point Removal Process”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(12): 1307-1315.
- Sartori M., Starek M., Slatton K.C., 2004. *ALSM Data Processing*, GEM Center Report No. Rep\_200406001, Geosensing Engineering and Mapping (GEM) Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida

- Schenk, T., 1999. "Photogrammetry and Laser Altimetry", Proceedings of the Workshop on Mapping Surface Structure and Topography by Airborne and Spaceborne Lasers, La Jolla, CA, November 9-11.
- Sizgoric, S., 2002. "Laser Altimetry Systems", Lecture notes from the 2nd Duane Brown International Summer School in Geomatics, Columbus, OH, October 3-5.
- Smith S.L., Holland D.A., Longley P.A., 2003. The effect of changing grid size in the creation of laser scanner digital surface models. *Geocomputation*.
- Streutker, D.R., 2006. Glenn, N.F., LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights, *Remote Sensing of Environment*.
- Tunaliöğlu, N., Soycan M., 2011. Geğki Planlama alışmaları İçin Hava Lıdar Verisine Dayalı Sayısal Arazi Modelleme Ve Doğruluk Analizi, TMMOB HKMO 13. Türkiye Harita Bilimsel Kurultayı, Ankara
- Turner, A., 2001. "Discover the Importance of LIDAR Technology", *GEOWorld*, 13(12):30-31.
- Türker M.2005, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları.
- Yılmaz H.M., Yakar M., 2006. Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 23 – 33.
- Wehr, A. and U. Lohr, 1999. "Airborne Laser Scanning – An Introduction and Overview", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, V.54, pp 68-82.
- URL-1., Remote Sensing Tutorial, <http://rst.gsfc.nasa.gov/>
- URL-2., [www.optech.ca/pegasus.htm](http://www.optech.ca/pegasus.htm)
- URL-3., [www.personal.psu.edu/ehm119/Geog\\_482/Project3/Project3\\_LiDAR.html](http://www.personal.psu.edu/ehm119/Geog_482/Project3/Project3_LiDAR.html)

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Murat BÖLME

**Doğum Yılı** : 02.08.1982

### **Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)**

**Lisans** : Selçuk Üni. Müh. Mim. Fak. Jeo. Ve Fot. Müh. (2006)

**Yüksek Lisans** : Aksaray Üni. Fen Bilimleri Ens. Harita. Müh. ABD (2010- )

**Doktora** :

### **İletişim Bilgileri**

**Adres (Ev)** : Yunus Emre Mah. Biran.Sk. 6/5 Yenimahalle/ANKARA

**Telefon** : 532 733 89 19

**E-posta** : muratbolme@hotmail.com