

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOGRAMETRİ VE HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA TEKNİKLERİNİN
MODELLEME POTANSİYELLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI İNCELEME**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELİKE ÇATALBAŞ

OCAK 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOGRAMETRİ VE HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA TEKNİKLERİNİN
MODELLEME POTANSİYELLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI İNCELEME**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike ÇATALBAŞ

DANIŞMAN: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

ZONGULDAK

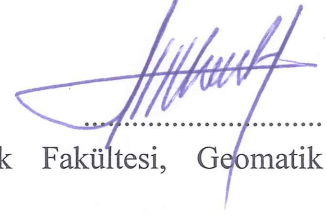
Ocak 2020

KABUL:

Melike ÇATALBAŞ tarafından hazırlanan “Fotogrametri ve Hava Kaynaklı Lazer Tarama Tekniklerinin Modelleme Potansiyelleri Üzerine Karşılaştırmalı İnceleme” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 07/01/2020

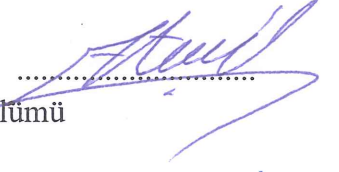
Danışman: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



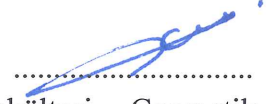
Üye: Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇIN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2020



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Melike ÇATALBAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOGRAMETRİ VE HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA TEKNİKLERİNİN MODELLEME POTANSİYELLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI İNCELEME

Melike ÇATALBAŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Ocak 2020, 59 sayfa

Son yıllarda ülkemizde gündeme gelen Hava Kaynaklı Lazer Tarama tekniği diğer yöntemlere kıyasla ulaşımı zor bölgelerde, kısa sürede istenilen yoğunlukta haritalamayı sağlamaktadır. Bununla birlikte sayısal hava kameralarının kullanımlarının yaygınlaşması ve donanımsal gelişmeleri sonucunda yüksek görüntü kalitesine sahip, düşük maliyette fotoğraflar elde edebilecek hale gelmiştir. Literatürde iki sistemin karşılıklı analizini yapan yayın eksikliği bulunmaktadır.

Bu kapsamda Hava Kaynaklı Lazer Tarama referanslı bir veriyle Dijital Fotogrametrik yöntemle elde edilen veriler değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı doğruluk analizleri yapılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak SZ (standart sapma) ve NMAD (Normallendirilmiş Medyan Mutlak Sapma) kullanılmıştır. İki yöntemin dijital yüzey modellerinde de NMAD sonuçları SZ'den daha iyi bulunmuştur. Çalışmada eğimsiz bölgelerde standart sapma 0,91, tüm alanlarda ise 1,98 tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde ALS (Hava Kaynaklı Lazer Tarama) ve Fotogrametri sistemlerinin DYM üretiminde ülkemizdeki Büyük Ölçekli

ÖZET (devam ediyor)

Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğın 1/1000 ölçekli harita yapımına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kaynaklı Lazer Tarama, Fotogrametri, Dijital Yüzey Modeli, Nokta bulutu, Standart sapma, Normalize Medyan Mutlak Sapma.

Bilim Kodu: 616.02.04



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION OF COMPARASING PHOTOGRAMMETRY AND AIRBORNE LASER SCANNING TECHNIQUES MODELING POTENTIALS

Melike ÇATALBAŞ

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK
January 2020, 59 pages**

In recent years in our country Airborne Laser Scanning has become the technique that provides rapid mapping for difficult areas to reach with intensity information when compared to the other techniques. At the same time, increasing widespread using of digital cameras and their technological developments' results they are submitting high resolution images with low costs. In the literature, there is lack of publishments which compare airborne laser scanning and photogrammetry techniques.

In this case, we have evaluated dataset derived from digital photogrammetry technique over against dataset derived from airborne laser scanning technique for exactly the same area. Accordingly, we have analysed comparatively accuracy for these techniques. Standard deviation (SD) and normalised median absolute deviation (nMAD) are used for evaluation analysis. As results nMAD analysis presents better quality against SD for each digital surface model derived from two techniques that compared. Within this subject SD value has found as 0.91 m for uninclined areas and 1.98 m for whole area. When all results are evaluated this

ABSTRACT (continued)

study has shown that both of airborne laser scanning and photogrammetry techniques are capable for generation of digital surface models.

Keywords: Airborne Laser Scanning, Photogrammetry, Digital Surface Model, point cloud, standard deviation, Normalized Median Absolute Deviation

Science Code: 616.02.04



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bana her tŸrlŸ destek ve yardımı sunan, bilgi, tecrŸbe ile bana yol gŸsteren sayın hocam Doç. Dr. Umut GŸneő SEFERCİK 'e tŸm emekleri için teőekkŸrlerimi borç bilirim. Çalışma sŸresince tez yazımı ve idari işlemler dahil her konuda tecrŸbe ve yardımları ile beni yŸnlendirerek çalıőmamın tamamlanmasında katkıları olan Arő. GŸr. Can ATALAY hocama teőekkŸr ederim.

Hayatımın her dŸneminde maddi ve manevi desteği ile bugŸnlere gelmemde en bŸyŸk pay sahibi olan annem Nermin KOÇ, babam Orhan KOÇ ve abim Korhan KOÇ'a, bana ihtiyacım olduğu her fırsatta desteğini esirgemeyen ablam Ahsen ATALBAő DURMUő'a ve beni her şekilde destekleyen eőim Erdi ATALBAő'a sonsuz teőekkŸr ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR	3
2.1 FOTOGRAMETRİ.....	3
2.1.1 Tanımı ve Tarihçesi	3
2.1.1.1 Fotoğrafın Bulunmasından Önceki Dönem	4
2.1.1.2 Fotoğraf ve İlk Gelişmeler Dönemi	4
2.1.1.3 Klasik Fotogrametri Dönemi	5
2.1.1.4 Çağdaş Fotogrametri Dönemi	5
2.1.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması.....	6
2.1.2.1 Resim Çekme Noktasının Konumuna Göre.....	6
2.1.2.2 Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre	6
2.1.2.3 Obje Büyüklüğüne Göre	7
2.1.2.4 Değerlendirme Yöntemine Göre	7
2.1.2.5 Uygulama Alanına Göre	8
2.1.3 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli	9
2.1.4 Hava Fotogrametrisi	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.1.5 Fotogrametrik Değerlendirme ve Yönelme İşlemleri.....	13
2.1.5.1 İç Yönelme.....	13
2.1.5.2 Dış Yönelme	14
2.1.6 Görüntü Eşleştirme Metotları	15
2.2 HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA	18
2.2.1 Temel Prensipler	21
2.2.2 Verilerin Analizi ve İşlenmesi	23
2.2.3 Sınıflandırma	26
2.2.3.1 Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi.....	27
2.2.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi	27
2.2.3.3 Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi.....	27
2.2.4 Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM).....	28
2.2.5 Uygulama Alanları.....	28
2.3 FOTOGRAMETRİ VE HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA (ALS) KARŞILAŞTIRMASI.....	29
BÖLÜM 3 ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ SETLERİ	35
3.1 ÇALIŞMA ALANI.....	35
3.2 FOTOGRAMETRİK NOKTA BULUTU.....	36
3.3 ALS NOKTA BULUTU	38
3.4 ÖLÇÜM ALETLERİ.....	39
3.4.1 Hava Kaynaklı Lazer Tarama Cihazı.....	39
BÖLÜM 4 METODOLOJİ	41
BÖLÜM 5 BULGULAR.....	45
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Çekilen ilk fotoğraf.	4
Şekil 2.2 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi.	7
Şekil 2.3 Fotogrametrinin matematiksel modeli.	9
Şekil 2.4 Hava Fotogrametrisi.	12
Şekil 2.5 Fotogrametrik uçuş planı.	13
Şekil 2.6 P noktasına ilişkin koplanaire koşulu	14
Şekil 2.7 Üç boyutlu benzerlik dönüşümü.	15
Şekil 2.8 Görüntü eşlemenin iş akışı.	15
Şekil 2.9 SGM yaklaşımında en uygun konumun bulunmasında 8 arama yönü.	17
Şekil 2.10 Hava Lidar Sistemi.	19
Şekil 2.11 Lazer ışınının yer yüzeyine ve su altına nüfus etmesi.	20
Şekil 2.12 Lazerin elektromanyetik spektrumdaki yeri.	20
Şekil 2.13 Lazer tarayıcılara bağlı olarak değişen farklı tarama çeşitleri.	21
Şekil 2.14 Hava LİDAR sistemi.	22
Şekil 2.15 Lazer tarama sinyali (pulse) geometrisi.	24
Şekil 2.16 Çoklu yansıyan lazer ışını.	25
Şekil 2.17 Lidar çalışma verisinden farklı yansıma değerlerine ait görünüm.	26
Şekil 2.18 Sınıflandırma yöntemleri; piksel tabanlı (a), nesne tabanlı (b).	27
Şekil 3.1 Çalışma alanı'nın konumu.	35
Şekil 3.2 Google Earth Görüntüsü ile sokak görünümleri	36
Şekil 3.3 Bölgenin Ortomozaik hali.	36
Şekil 3.4 Fotogrametrik nokta bulutu intensity (yoğunluk) haritası	37
Şekil 3.5 Fotogrametrik nokta bulutu yükseklik haritası	37
Şekil 3.6 ALS nokta bulutu intensity (yoğunluk) haritası.	38
Şekil 3.7 ALS nokta bulutu yükseklik haritası.	38
Şekil 3.8 Optech Gemini ALTM cihazı	39
Şekil 4.1 a) Fotogrametride DYM üretim iş akışı b) ALS DYM üretimi	42
Şekil 4.2 DYM doğruluk analiz işlem adımları	42
Şekil 5.1 Fotogrametrik nokta bulutundan üretilen 1m ve 5m grid aralıklı DYM.	46
Şekil 5.2 ALS nokta bulutundan üretilen DYM.	47
Şekil 5.3 SZ, NMAD ve frekans bazında mutlak düşey doğruluk dağılımı.	49
Şekil 5.4 Uyum Haritası.	50



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Hava kaynaklı lazer tarama parametreleri	39
Çizelge 5.1 Fotogrametri ve ALS DYM'leri arasındaki yatay konum farkları	48
Çizelge 5.2 ALS DYM referansı ile Fotogrametrik DYM'nin mutlak düşey doğruluğu	48





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Δ	: Delta
c	: Odak uzaklığı
k	: Ölçek faktörü
κ	: Kappa
λ	: Dalga boyu
ϕ	: Fi
ω	: Omega

KISALTMALAR

3B	: Üç Boyut
ADS	: Airborne Digital Sensor
ALS	: Hava Kaynaklı Lazer Tarama
ASPRS	: Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
BLUH	: Bundle Block Adjustment Leibniz University Hannover
DAP	: Dijital Hava Fotogrametrisi
DEM	: Dijital Yükseklik Modeli
DSM	: Dijital Yüzey Modeli
DTM	: Dijital Arazi Modeli
DYM	: Dijital Yüzey Modeli
GCP	: Yer Kontrol Noktası
GPS	: Global Positioning System
GPU	: Graphic Processing Units
GSD	: Yer Örnekleme Aralığı
IMU	: İnertial Measurement Unit
INS	: İnertial Navigation Systems

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

İHA	: İnsansız Hava Aracı
KOH	: Karesel Ortalama Hata
Lidar	: Light Detection And Ranging
LPS	: Leica Photogrammetry Suite
MAD	: Medyan Mutlak Sapma
NAIP	: The National Agriculture Imagery Program
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NMAD	: Normallendirilmiş Medyan Mutlak Sapma
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SGM	: Semi Global Matching
SIFT	: Scale Invariant Feature Transform
SURF	: Speeded-Up Robust Features
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
SZ	: Standart Sapma
TLS	: Terrestrial LIDAR System
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YM	: Yüzey Modeli

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uzaktan Algılama, hedef obje ile doğrudan temas kurmaksızın fiziksel ve ya kimyasal görüntülemeye dayalı bilgiler elde etme teknolojisidir. Günümüzde hızla gelişen uzaktan algılama teknolojileri başta haritacılık olmak üzere; çevre, jeoloji ve madencilik gibi birçok disiplinin vazgeçilmezi haline gelmiştir. Özellikle son dönemlerde gelişen teknolojinin beraberinde Hava Kaynaklı Lazer Tarama (ALS) ve Fotogrametri daha çok kullanılan ve talep gören iki yöntem haline gelmiştir.

Hava Kaynaklı Lazer Tarama (ALS) ve Dijital Fotogrametri yöntemleri ile yüksek çözünürlüklü, hızlı ve hassas nokta bulutları üretebilmesi sebebiyle yüzey tanımlamaları daha kolay yapılmaktadır. Özellikle lazerin bu anlamda istekleri karşılayan bir yöntem olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Hava Kaynaklı Lazer Tarama (ALS), diğer uzaktan algılama yöntemleriyle kıyaslanmaksızın hızlı veri üretebilen yöntem olması sebebiyle kullanımı günümüzde ivme kazanmıştır.

İki yöntemde de 3B (üç boyutlu) topoğrafik nesnelere modellerken, ihtiyaç duyulan parametreler baz alınarak rekabete devam etmektedirler. Bu rekabet beraberinde iki yöntemde de daha yüksek çözünürlüklü ve daha doğru sonuçlar üretmeye ihtiyaç ve çalışma isteği artmaktadır.

Günümüzde yükseklik bilgisi birçok uygulamada önemli rol aldığı için 3B verisini hızlı elde edebilen sistemlere ihtiyaç vardır. Özellikle lidar bu husus da tercih edilen popüler bir sistem olmuştur (Polat ve Uysal 2016). Hava kaynaklı lazer tarama özellikle dijital yükseklik modellerinin kazanılmasında tercih edilen yöntem haline gelmiştir (Chen vd. 2007).

Günümüzde lidar algılayıcılarının yaygınlaşmasıyla birlikte ülkemizde son yıllarda ilgi çekmeye başlamıştır. Lidar belirli koşullar ve uygulamalar için hızlı ve ekonomik olarak yükseklik verisi elde edebilmekte aynı zamanda yüksek doğruluğa sahip yoğun nokta

bulutları üretebilmektedir. Bununla birlikte sayısal hava kameralarının kullanımlarının yaygınlaşması ve donanımsal gelişmeleri sonucunda yüksek görüntü kalitesine sahip, düşük maliyette fotoğraflar elde edebilecek hale gelmiştir. Bu kapsamda Hava Kaynaklı Lazer Tarama ve fotogrametrinin sonuç ürün potansiyellerinin karşılaştırılması ve bu iki veri grubu arasındaki avantaj ve dezavantajlarının ortaya konması bu çalışmanın hedeflerindedir.

Son yıllarda lazer haritacılıkta çok önemli bir noktaya geldi özellikle orman envanteri çalışmalarında penetrasyon yeteneği sayesinde alternatif bir uzaktan algılama sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Koch vd. 2006). Pasif algılama sistemi ile çalışan fotogrametri gibi sistemlerde orman ayırım kabiliyeti olmadığından orman altı topoğrafyaya ulaşmak neredeyse imkansızdır. Aktif algılama sistemi olan ALS ise çoklu lazer ışınlarıyla penetrasyon yetenekleri sayesinde orman altı topoğrafya hakkında bilgi verir (Masini vd. 2011, Sefercik vd. 2015). Ancak uygulamalarda bazı zorlukları da mevcuttur. Bununla birlikte bu tekniğin uzun yıllardır kullandığımız fotogrametriye alternatif hatta ondan daha iyi bir teknik olduğu tartışmaları ortaya çıkmıştır. Fotogrametri ve Hava Kaynaklı Lazer Tarama tekniklerinden hangi uzaktan algılama yöntemi hangi doğrulukları sağlar? Avantaj ve dezavantajları nelerdir? Soruları akla gelmektedir (Sefercik vd. 2016, Volkan 2018).

Bu çalışmada; Hava Kaynaklı Lazer tarama (ALS) ve Fotogrametri verileri kullanılarak yoğun nokta bulutu üretimi ve 3B yeryüzü model potansiyellerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Çalışma hedefleri doğrultusunda 6 bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde fotogrametri ve hava kaynaklı lazer tarama yöntemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanı ve kullanılan veri setleri ile ilgili detaylı bilgi sunulmuştur. Dördüncü bölümde, 3B yeryüzü modellerinin üretim ve değerlendirme metodolojisi yer almaktadır. Beşinci bölümde bulgular sunulmuş olup bu bölümü takiben altıncı bölümde sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

2.1 FOTOGRAMETRİ

2.1.1 Tanımı ve Tarihçesi

Fotogrametri (Photogrammetry) kelimesi köken olarak eski Yunancadan günümüze gelen photos, gramma, metron kelimelerinden oluşmuştur. Photos ışık anlamına gelen, gramma bir şeyin yazımı ya da çizimi, metron ise ölçme anlamına gelen kelimelerdir. Böylece fotogrametri ışık yardımıyla çizerek ölçme olarak tanımlanmaktadır (Atak 2018).

ASPRS (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği) fotogrametrinin tanımını şu şekilde yapmıştır:

“Fotogrametri, nesnelere ve yakın çevresine temas etmeksizin, yayılan elektromagnetik enerjinin algılanması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasıyla nesne ve çevresi hakkında güvenilir bilgiler elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisidir.”
(Yaşayan vd. 2011).

Fotogrametri yönteminde ölçülmesi istenen arazinin ya da nesnenin fotoğrafları çekilir. Bu çekilen fotoğraflar üzerinde belirli yazılımlar kullanılarak plan ya da harita haline getirilir. Aynı zamanda istenilen metrik bilgiler de bu görüntülerden elde edilir (Gezmiş 2017).

Fotogrametrinin tarihi ilk fotoğrafın icadından çok daha önceye dayanmaktadır. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi fotoğrafın icadından önceki ve sonraki gelişmeleri dört döneme ayırarak incelenir.

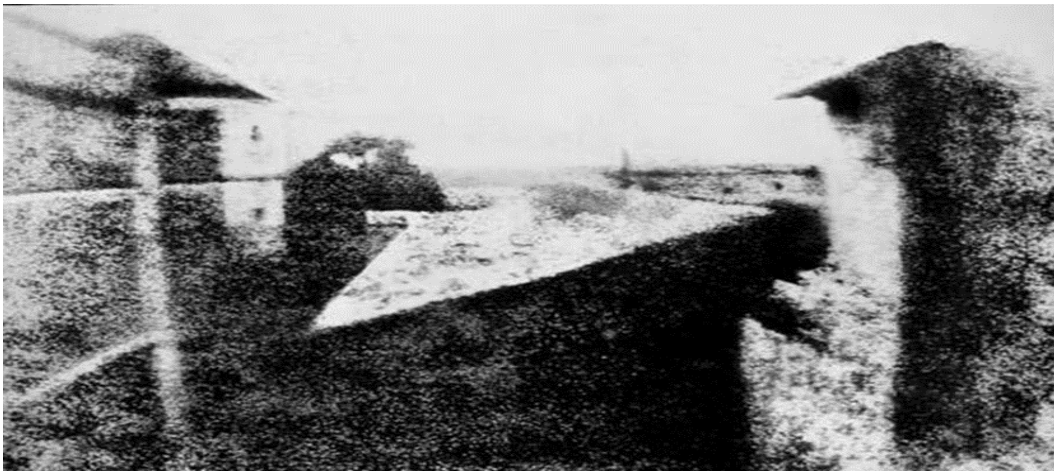
1. Fotoğrafın bulunmasından önceki dönem
2. Fotoğraf ve ilk gelişmeler dönemi
3. Klasik fotogrametri dönemi
4. Çağdaş fotogrametri dönemi (Yaşayan vd. 2011).

2.1.1.1 Fotoğrafın Bulunmasından Önceki Dönem

Karanlık oda optik görüntünün en eski buluşlarından. Karanlık oda ile ilgili bilgilerin kaynağı Sümerlere dayanmaktadır. M.Ö. 5 yüzyılda karanlık bir odada küçük bir delik açılıp, delikten geçen ışın karşı duvara ters görüntü oluşturduğu Çinli Filozof Mo Ti tarafından ifade edilmiştir. 15 yüzyıla kadar birçok bilim adamı karanlık odayı tanımlamıştır. 15 yüzyılda ise Leonardo da Vinci karanlık odayı bir kağıt üzerine görüntüyü odaklamak için ilk kullanandır. Karanlık oda zamanla yaygın kullanılan, çizime yardımcı araç olmuştur. 1600 yılında Jacopo Chimenti ilk kez stereo çizim gerçekleşmiştir. 1726'da ise F. Kapellar stereoskopik çizime ölçme bilgisinde uygulamış ve aynı zamanda topoğrafik çizim yapmıştır (Yastıklı 2010, Yaşayan vd. 2011, URL-1).

2.1.1.2 Fotoğraf ve İlk Gelişmeler Dönemi

Joseph Nicephore Niépce, 1826 yılında kalay ve kurşun karşımı metale camera obscura'yı yerleştirerek pencereden avluya doğru yönelmiştir. 8 saatlik pozlamanın ardından bilinen ilk fotoğrafı elde etmiştir.



Şekil 2.1 Çekilen ilk fotoğraf (Gençerk 2016).

1849 yılında Aime Laussedat topografik harita için yersel fotoğrafları kullanan ilk isimdir. Aynı zamanda fotogrametrinin babası olarak bilinmektedir. Fotogrametrik teknikleri ve aletleri geliştirip yersel fotogrametri de kullanmıştır. Laussedat'ın kullandığı teknikler yunanca icon (görüntü) ve metry (ölçme tekniği) kelimelerinden türeyen “iconometry” olarak adlandırılmıştır. 1855 yılında Gaspard Felix Tournachon (Nadar) balon kullanarak ilk hava fotoğrafını çekmiştir. Kersten 1855 yılında ilk kez fotogrametri terimini kullandı. C.B. Adams, 1893 yılında bindirmeli fotoğraf çekme fikrini geliştirdi. 1899'da Sebastian Finsterwalder çift resim fotogrametrisinin ilkelerini tanımlayıp, fotogrametrinin temelini oluşturdu. Theodor Schimpflug'un 1903 yılında icat ettiği “perspektograph” adlı ilk optik düşeye çevirme aletiyle birlikte hava fotogrametrisi çalışmaları başlamış oldu. 1906 San Francisco depreminin sonraki durumunu tespit etmek için, G. R. Lawrence yedi adet uçurmaya asılmış kamera ile hava fotoğrafı çekti. Uçaktan çekilen ilk hava fotoğrafı ise İtalyanlar tarafından 1909'da gerçekleşmiştir. 1945 yılına kadar olan tüm süreçte metrik kameralar ve analog değerlendirme aletleri üzerinde gelişmeler devam etti (Aydar 2007, Yaşayan vd. 2011, URL-1).

2.1.1.3 Klasik Fotogrametri Dönemi

Bu dönemde ülkelerin ihtiyaç duyduğu seri haritalar fotogrametri ile üreilmeye başlamıştır. Çoğu ülkede analog stereo değerlendirme yöntemiyle çizgi harita üretimi benimsenmiştir. İlk 1957 yılında Uki Helava tarafından kullanılan analitik değerlendirme aletleri 1970 yıllarında geliştirilip, yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu dönemde analitik çözüm ve fotogrametrik nirengi büyük gelişmeler göstermiştir. Çizgi-harita yerini sayısal haritaya bırakmıştır (Aydar 2007, Yaşayan vd. 2011).

2.1.1.4 Çağdaş Fotogrametri Dönemi

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte 1980 yıllarında yazılım ve donanımlar ilerleyerek dijital fotogrametrik sistemler önem kazanmıştır. 1990 yıllarında dijital fotogrametri değerlendirme daha da gelişip yaygınlaşmıştır. 2000'lerde ise Lidar uygulamaları ve lazer tarayıcılarının kullanımı yayılmıştır (Aydar 2007).

2.1.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Gelişen teknolojiyle birlikte fotogrametride de kullanılan yöntemler, uygulama alanları, çalışma teknikleri ve kullanım alanları artmıştır (Gezmiş 2017). Fotogrametriyi; resim çekme noktasının konumuna göre, değerlendirmede kullanılan resim sayısına göre, obje büyüklüğüne göre, değerlendirme yöntemine göre ve uygulama alanına olmak üzere beş bölüm olarak ayırmaktayız.

2.1.2.1 Resim Çekme Noktasının Konumuna Göre

Yersel fotogrametri: Yeryüzünde herhangi bir noktadan çekilmiş fotoğrafları temel alan tekniktir (Yaşayan vd. 2011).

Hava fotogrametrisi: Uçak, helikopter veya insansız hava aracı gibi platformlarda bulunan bir kamera yardımı ile havadan çekilen fotoğraflarla yapılan değerlendirme tekniğidir (Çiçekli 2015). Bu fotogrametri tekniği ile ilgili detaylı anlatım bölüm 2.1.4'de Hava Fotogrametrisi adı altında yapılmıştır.

Yakın resim fotogrametrisi: Resim çekme makinesiyle cisim arasında uzaklığın en fazla 300 m olduğu bir fotogrametri tekniğidir (Gezmiş 2017, Yaşayan vd. 2011).

2.1.2.2 Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre

Tek resim fotogrametrisi: Tek tek fotoğrafları kullanarak ölçümlü bilgiler üretmeyi hedefleyen, foto-mozaik, foto-plan üreten bir fotogrametri yöntemidir (Gezmiş 2017). Düşeye çevrilmiş resimler cephe değerlendirmesinde el ile ölçmeye alternatif olarak, kısa zamanda üretilmesi ve diğer yöntemlere göre daha az maliyetli olması sebebiyle kullanım oranı daha çoktur (Aydar 2007).

Çift resim fotogrametrisi: fotoğraf çiftleri yardımıyla ölçümlü bilgi edinilmesine denir. Tek fotoğraftan yükseklik bilgisi edinilmez. Üç boyut için farklı noktalardan aynı alana ait görüntüler gerekir (Marangoz 2016).

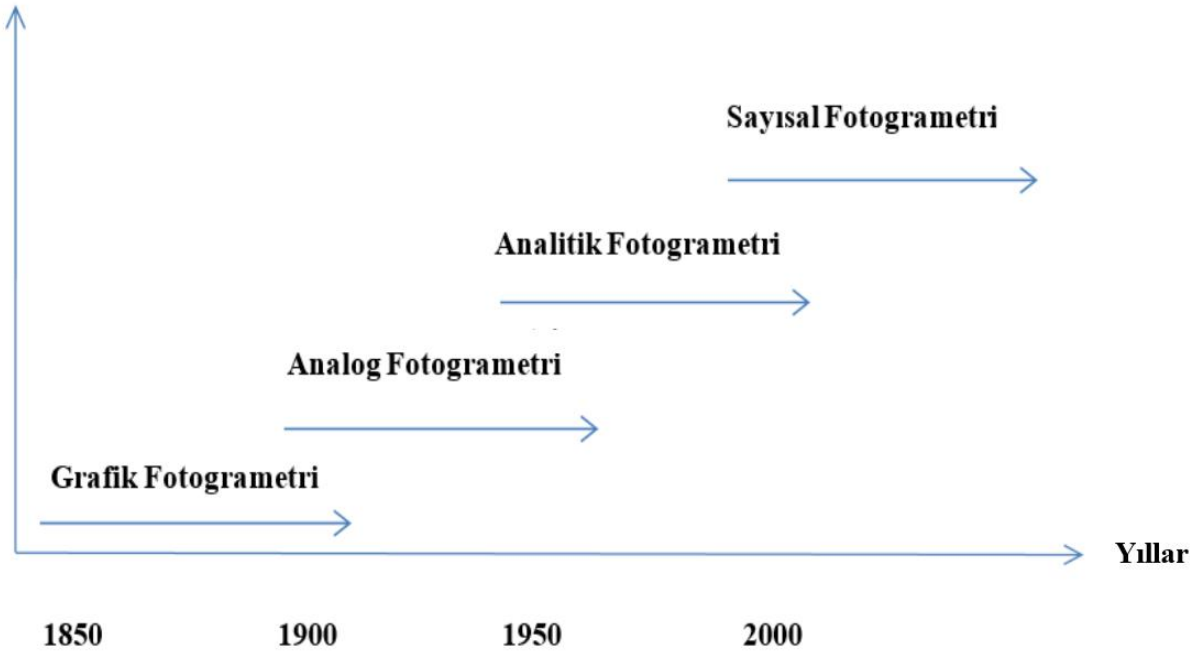
2.1.2.3 Obje Büyüklüğüne Göre

Mikro fotogrametri: Resim çekme makinesi ile cisim arasındaki uzaklığın 0,1 m'den az olduğu uygulamalardır. Aslında bu yöntem yakın resim fotogrametrisinin uygulamasıdır. Gelişen teknolojiyle beraber mikro fotogrametri optik özellikleri ve ölçme hassasiyetinden dolayı sanayide, uydu ve uzay çalışmalarında, elektronik endüstrisinde kullanımı yaygınlaşmıştır (Ergün ve Altan 2003).

Makro fotogrametri: Resim çekme makinesi ile cisim arasındaki uzaklığın 0,1 m'den fazla olduğu uygulamalardır (Yaşayan vd. 2011).

2.1.2.4 Değerlendirme Yöntemine Göre

Fotogrametrinin tarihsel gelişim süreci incelenirse başlangıçta plan ve gözlem amaçlı olarak kullanılırken zamanla değişen ve gelişen teknolojiyle beraber günümüzde çok daha farklı noktalara ulaşmıştır.



Şekil 2.2 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi (Yıldız 2010).

Grafik (plançete) fotogrametri (1850-1900): Fotoğraflar aracılığıyla doğrultu (açı) uzunluk hesapları ile projektif geometri kavramları kullanarak veri üreten tekniktir (Polat ve Uysal 2016).

Analog fotogrametri (1900-1980): Analog kameralar ile stereo çifti olarak elde edilmiş fotoğraflarla ve optik, optik mekanik sistemlerce yöneltme işlemleri yapılarak elde edilen stereo modelden çizimsel yöntemlerle değerlendirildiği fotogrametri tekniğidir (Gezmiş 2017).

Analitik fotogrametri (1970-1990): ilk olarak analog resimler elde edilir. 1970’li yıllarda ilerleyen teknoloji ile beraber elde edilen ölçümlerde matematiksel yöntemler kullanılmakta ve bilgisayarlar sayesinde bazı yöneltme, değerlendirme işlemleri yapılmaktadır. Bu şekilde otomatik veya yarı otomatik olarak yapılan tekniğe analitik fotogrametri denir (Gezmiş 2017).

Sayısal (Dijital) fotogrametri: 1990’dan beri kullanılmakta olan günümüzün en yaygın yöntemlerinden birisidir. Sayısal olarak elde edilen stereo görüntülerin bilgisayar ortamında bütün değerlendirme işlemlerinin yapılmasıyla oluşan bir fotogrametri tekniğidir. Sayısal fotogrametride ölçme sistemleri kalibrasyon gerektirmez. Çekilen resimler bilgisayardan direkt görülebilir ve ölçülebilir. Dış yöneltme parametreleri sayesinde düzenli Sayısal Arazi Modeli oluşturulabilir (Karalar vd. 2010, Karşı 2016).

2.1.2.5 Uygulama Alanına Göre

Fotogrametri tekniği harita üretmek için farklı birçok disiplinin tercih ettiği bir yöntemdir. Hızlı, doğru, güvenilir olması nedeniyle birçok farklı disiplinde kullanılmaktadır. İlk olarak askeri amaçlarla üretilen bu teknik zamanla farklı meslek disiplinleri tarafından ihtiyaç haline gelmiştir.

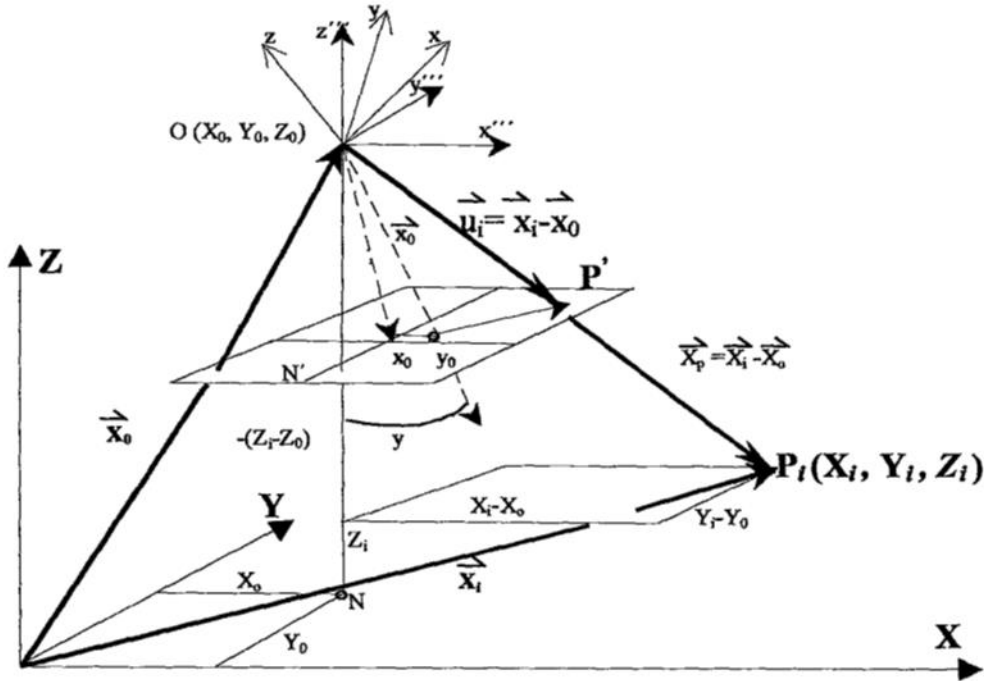
Fotogrametriyi uygulama alanına göre sınıflandıracak olursak; foto-yorumlama, metrik fotogrametri, topografik fotogrametri, endüstri fotogrametrisi kadastro fotogrametrisi, jeodezik fotogrametri, mimarlık fotogrametrisi ve ortofotografi olarak ayırmak mümkündür (Gezmiş 2017, Yaşayan vd. 2011).

Barrand vd. buzul hacmi değişikliğinin tespiti için gerçekleştirmiş olduğu bu çalışma Sualbard’daki Midtre Lovenbreen vadi buzuluna ait alanda gerçekleşmiştir. Buzul hacmi değişikliklerinin değerlendirilmesi için stereo görüntülerin fotogrametrik olarak incelenmesi yani fotogrametrik DEM’lerin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada referans olarak fotogrametrik veri kullanılmıştır. Aynı zamanda Ham lidar nokta bulutu verilerinden elde

edilen GCP'ler (Yer Kontrol Noktaları) kullanılarak buzul hacim değişikliğinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Çalışmada nokta bazlı doğruluk analizi yapılmıştır. 50 adet GCP kullanılmış ve karesel ortalama hatanın 0.22 m olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak buzul hacim değişikliğinde fotogrametrik ölçümün uygun olduğunu göstermektedir (Barrand vd. 2009).

2.1.3 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli

Fotogrametrinin matematiksel temeli merkezel izdüşüm denklemleriyle tanımlanıp, cisim uzay koordinat sisteminde noktaların yerlerinin matematiksel olarak belirlenmesidir.



şekil 2.3 Fotogrametrinin matematiksel modeli (Duran 2003).

Uzay koordinat sistemi, X uçuş yönü doğrultusunda, Z ise XY düzlemine dik ve sağ el gösteren XYZ koordinat sistemidir. Fotoğraf koordinat sistemi ise başlangıç noktası izdüşüm merkezi olan, xy fotoğraf düzlemine paralel, z ekseni ise kamera ekseni ile çakışık olan sağ el koordinat sistemidir (Yaşayan vd. 2011).

Fotogrametride resim çekme makinasının i yöneltme parametreleri bilinirken, dış yöneltme elemanları bilinmez. İlk olarak dış yöneltme elemanları belirlenir. Dış yöneltme elemanları üç

öteleme ve üç dönüklükten oluşur. X_0, Y_0, Z_0 iz düşüm merkezinin koordinatı iken, ω, ϕ, κ üç eksendeki dönüklüğüdür (Gezmiş 2017).

X ve x eksenlerinin paralel olduğunu, fotoğrafın tam düşey çekildiğini kabul edersek;

$$\frac{X-X_0}{x} = \frac{Y-Y_0}{y} = \frac{Z-Z_0}{z} = \lambda \quad (2.1)$$

Denklemini yazabiliriz. Burada λ ölçek faktörü, c ise odak uzaklığıdır.

Genel durumu değerlendirerek yani iki koordinat sistemi arası dönüklük, öteleme ve ölçek farkını da baz alarak genel bir üç boyutlu benzerlik denklemi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda A \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.2a)$$

Burada A matrisi $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ olmak üzere;

$$\begin{bmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} \quad (2.2b)$$

denklemi elde edilir. 1. ve 2. satır 3. satıra bölünürse;

$$\frac{X-X_0}{Z-Z_0} = \frac{a_{11}x + a_{12}y - a_{13}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c} \quad (2.2c)$$

$$\frac{Y-Y_0}{Z-Z_0} = \frac{a_{21}x + a_{22}y - a_{23}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c} \quad (2.2d)$$

İzdüşüm denklemlerinin genel durumu elde edilir. Denklem iki tarafını $\frac{1}{\lambda}A^{-1}$ ile çarpıp düzenleme yaparsak;

$$x = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (2.2e)$$

$$x = -c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (2.2f)$$

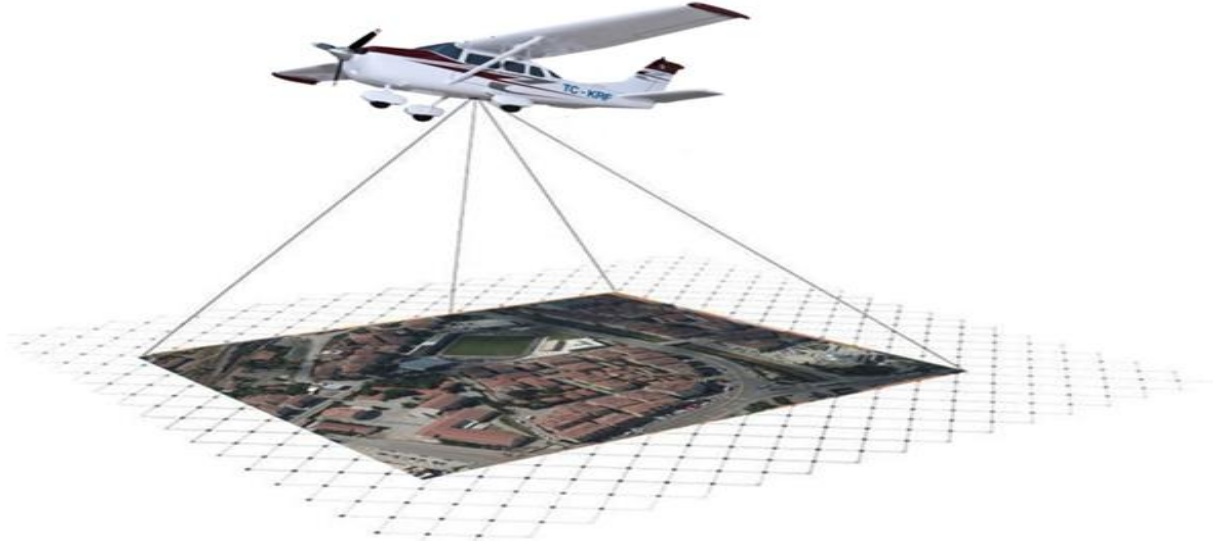
Şeklinde ifade edilen denklem de yine izdüşüm denklemlerinin genel durumunu göstermektedir (Yaşayan vd. 2011).

2.1.4 Hava Fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi uçak, İHA vb. hava araçları yardımıyla çekilen fotoğrafları kullanan fotogrametri tekniğidir. Hava fotogrametrisinde fotoğraflar havadan çekildiği için daha büyük bir alanın daha hızlı ve ekonomik haritalanması sağlanmış olur (Atak 2018).

Hava fotogrametrisinde fotoğraflar özel kameralar ile çekilir. Bu kameraların bazı özellikleri vardır. Bunlar; distorsiyonu az, odak uzaklığı sabit ve ayırma gücü yüksek kameralardır (Yaşayan vd. 2011). Hava fotogrametrisinde kullanılan hava kameraları; analog hava kameraları ve sayısal hava kameralarıdır. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte sayısal hava kameraları yaygın olarak kullanılmaktadır. Sayısal hava kameraları sayesinde görüntü kalitesi daha iyi, maliyet daha düşük ve çok bantlı veri daha fazla elde edilir.

Hava fotoğrafları yer yüzeyini tamamen kapsayacak biçimde ve bindirmeli olarak çekilmektedir. Ülkemizde yapılan birçok uygulamada da görüldüğü üzere enine bindirme oranı %80, boyuna bindirme oranı ise %60 olarak fotoğraflar çekilmektedir. Aynı kolon üzerinde çekilmiş olan iki fotoğrafın ortak alanına model alanı denilmektedir.

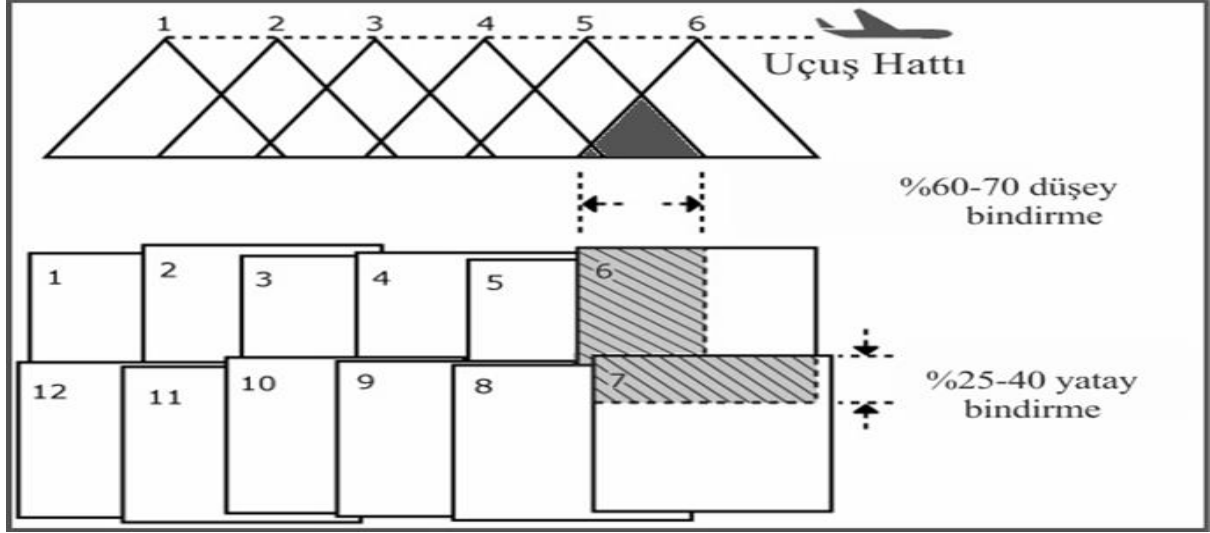


Şekil 2.4 Hava Fotogrametrisi (Çiçekli 2015).

Haritası yapılması istenilen bölgeye ait uçuş planı önceden hazırlanır. Fotoğraf çekiminde uygun iklim koşulları göz önünde bulundurularak tarih belirlenir. Hava fotoğrafının çekimi için havanın bulutsuz ve güneşli olması gerekmektedir. Fotoğrafın çekileceği alanda kar örtüsü bulunmamalıdır. Güneşin yükseklik açısı 30°'den büyük olmalı ve geniş yapraklı ağaçların yoğun olduğu alanlarda yaprakların olmadığı dönemde çekim yapılmalıdır (Yaşayan vd. 2011).

İstanbul'da çalışılan bir projede; hava fotogrametrisi yöntemi ile farklı alanlar üzerinde yapılan çalışmada SYM'lerin doğruluk analizi değerlendirmeleri yapılmıştır. SYM doğruluk analizi incelendiğinde açık alanlarda karesel ortalama hatanın en düşük olduğu görülmüştür. Ormanlık ve yerleşim alanı gibi alanlarda ise yüzeye ulaşan nokta sayısının az olması, arazi yapısının yüksekliği belirlemeyi zorlaştırması gibi nedenlerden dolayı SYM doğruluğu düşük çıkmıştır. Bu durumda kullanıcı SYM üretirken beklenen doğruluğu da baz alarak, arazi yapısını değerlendirmeyi de göz önünde bulundurmalıdır (Yastıklı ve Esirtgen 2011).

Uçuş planlarında öncelikle istenilen doğruluk derecesine ve hava fotoğrafının kullanım amacına göre fotoğraf ölçeği belirlenir. Kamera ölçeği ise kırsal alanlar ve meskül alanlar göz önünde bulundurularak geniş, çok geniş ya da normal açılı kameralar olarak seçilir. Daha sonra kolonlar arası yan bindirme oranı, çekimde ve değerlendirmedeki boyuna bindirme oranları belirlenerek uçuş eksenini, doğrultusu çizilir.



Şekil 2.5 Fotogrametrik uçuş planı.

Günümüzde fotogrametri uçaklarında GPS donanımı mevcuttur. Navigasyon amaçlı GPS'ler ile sapmalar belirlenip uçuşun planlanan şekilde gitmesi sağlanırken, kinematik GPS'lerde izdüşüm merkezinin X_0 , Y_0 , Z_0 koordinatları elde edilmelidir (Yaşayan vd. 2011). Uçuş sonrası fotoğraflar ofiste değerlendirilip gerekli ölçü ve hesaplamalar yapılır. Stereo değerlendirmeleri ve çizimleri gerçekleştirilir (Atak 2018).

2.1.5 Fotogrametrik Değerlendirme ve Yönelme İşlemleri

Havadan çekilmiş olan bir fotoğrafın sonuç ürün verebilmesi için bilinen bir koordinat sistemi üzerine indirilmesi gerekir (Atak 2018). Farklı koordinat sistemleri arasında matematiksel ilişkiler kurularak bir dönüşüm yapmak gerekir. Bu dönüşüm ise iç yönelme ve dış yönelme olmak üzere iki ana dönüşüme ayrılmıştır.

2.1.5.1 İç Yönelme

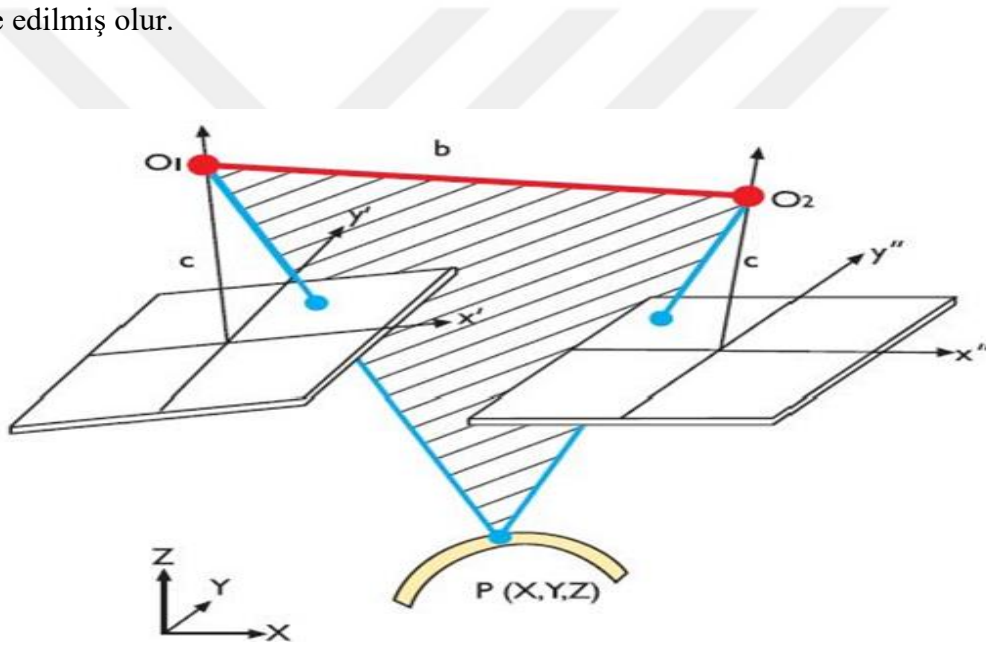
Fotogrametrik kameradaki asal uzaklık mesafesinin ve asal nokta koordinatlarının iki boyutlu olarak çözümlenmesi işlemidir. Elde edilen odak ve koordinat değerleri yardımıyla iz düşüm ışını konumlandırılır.

Sayısal hava fotogrametrisinde iç yönelme, kalibrasyon raporundaki bilgilerin sisteme tanıtılmasıdır. Kısaca iç yönelme sayesinde fotoğraf koordinat sistemi ile piksel koordinat sistemi arasındaki dönüşüm sağlanmış olur.

2.1.5.2 Dış Yöneltilme

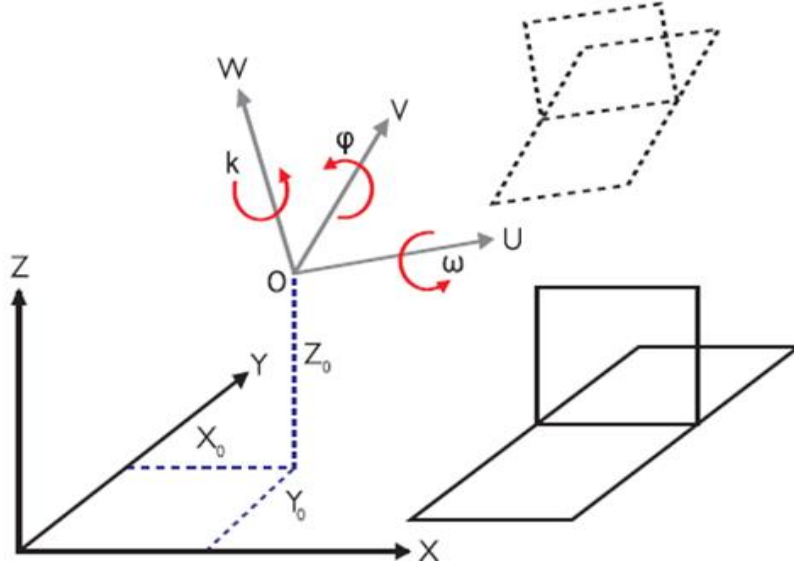
Dış yöneltilme fotoğraf koordinat sistemi ve arazi koordinat sistemi arasındaki dönüşümdür (Atak 2018). 12 adet dış yöneltilme elemanı vardır. Bu 12 bilinmeyenin 5 elemanı karşılıklı yöneltilme ile 7 elemanı ise mutlak yöneltilme ile çözümler.

Karşılıklı Yöneltilme: Bir P noktasına ait iki izdüşüm ışınının kesişebilmesi için bir düzlemde bulunmaları gerekir. İki ışının aynı düzlemde bulunmasına koplanarite (düzlemdeşlik) denir (Yaşayan vd. 2011). Karşılıklı yöneltilme işlemi ile fotoğrafın eğiklik ve dönüklük değerleri giderileceğinden fotoğraf çiftleri birbirlerine göre çekilmiş oldukları konumlarına gelmiş olurlar. Böylece koplanarite koşulu sağlanarak beş adet dış yöneltilme alanı (κ_1 , κ_2 , ϕ_1 , ϕ_2 , ω_2) elde edilmiş olur.



Şekil 2.6 P noktasına ilişkin koplanarite koşulu (Yaşayan vd. 2011).

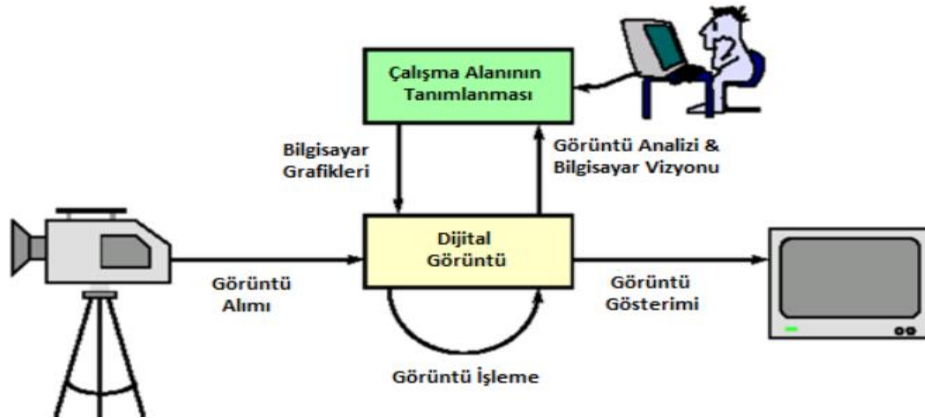
Mutlak yöneltilme: Karşılıklı yöneltilme işleminin sunduğu 3B model ölçek, konum ve öteleme bilgisi bakımında belirsizdir. Araziye paralel ve ölçekli hale getirilmesi için üç öteleme (X_0 , Y_0 , Z_0), üç dönüklük (ω , ϕ , κ) ve bir ölçek (λ) değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu belirsiz değerlerin giderilmesi için her iki koordinat sisteminde de tanımlı kontrol noktalarıyla 3B benzerlik dönüşümü uygulanır böylece araziye paralel ve ölçekli hale getirilmiş olup arazinin tam benzeri elde edilir (URL-2).



Şekil 2.7 Üç boyutlu benzerlik dönüşümü (Yaşayan vd. 2011).

2.1.6 Görüntü Eşleştirme Metotları

Görüntü eşleme sayısal fotogrametri, uzaktan algılama gibi alanların en önemli konularındandır. Görüntülerin eşleştirilebilmesi için stereo görüntülerden detay noktaları belirlenmeli ve eşlenik noktalar seçilmelidir (Güner 2013). Şekil 2.8’de de görüldüğü gibi görüntü eşlemenin iş akışı verilmiştir.



Şekil 2.8 Görüntü eşlemenin iş akışı (Güner 2013).

Bu bölümde ise görüntü eşleşmede kullanılan SURF, SIFT, SGM, HARRIS ve FAST gibi algoritmalarından kısaca bahsedilmiştir.

SURF (Sepeeded-Up Robust Features): algoritması ilgilenilen noktaları bulmak için görüntü üzerinde Hessian matris determinantını kullanır ve determinantın maximum olduğu alanlarda noktalar tespit eder (2.3) (Acar 2012).

$$H(I(x, y)) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I}{\partial y \partial x} \\ \frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Surf yazılımı nokta ve köşe çıkarımı yapan en yaygın algoritmalarından biridir (Acar 2012). Bu algoritma; ortak alanın belirgin ayırt edici özelliğe sahip noktaların tespitine baz alan algoritmadır (Karami vd. 2015).

SIFT(Scale Invariant Feature Transform): Görüntü eşleşmede dönüşüm parametrelerini belirleyebilmek için ortak detay noktalarının bilinmesi gerekir. Suft ise bu ihtiyacı sağlayan otomatik detay tanımlama yöntemidir.

Bu algoritma yöntemi dört aşamadan oluşur. İlk olarak tüm resim konumları ve ölçekler araştırılarak ölçeksel uzaydaki maksimum-minimum noktaları elde edilir. Daha sonra özellik noktalarının kararlılığına göre kilit noktalar seçilir. Üçüncü aşamada kilit noktasının bulunduğu konumlarda bir veya birden fazla yön atanır. Son olarak da her bir kilit nokta için parlaklık ve şekil değişimine karşı kararlılık sağlayan gradyentler ölçülür (Asri 2011).

HARRIS ve FAST: İkisi de köşe çıkarım algoritmalarıdır. Bu algoritmalar piksel değerindeki değişimleri inceleyerek piksel değerine göre köşenin köşe olup olmadığını belirler (Acar 2012).

Harris algoritmasının gelişmesiyle kullanılan FAST algoritması parlaklık değişimlerine göre köşe olup olmadığını belirlemektedir.

HARRIS algoritmasının piksel değerlerinin değişimi formülü;

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (2.4)$$

Matrisinin köşe olup olmadığı ise;

$$R = \det M - k(\text{trace } M)^2 \quad (2.5a)$$

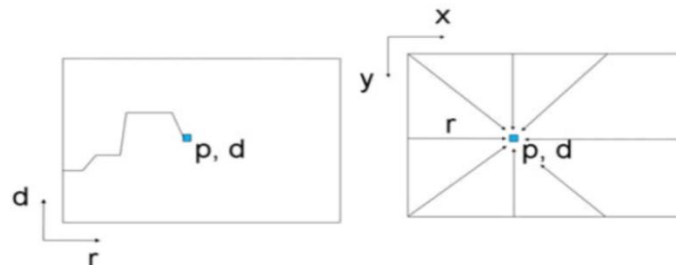
$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 \quad (2.5b)$$

$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (2.5c)$$

denklemleri ile bulunmaktadır.

Acar ve diğerleri (2012), görüntü eşleştirme tekniklerinden SURF, HARRIS ve FAST algoritmaları karşılaştırılmıştır. SURF algoritması FAST ve HARRIS'e göre daha fazla eşlenik nokta çıkarımı yapmıştır. FAST algoritması köşe çıkarımında HARRIS'e göre daha iyi sonuçlar veren algoritma olduğu görülmüştür. Yapılan tüm uygulamalarda DSM oluşturulabilmektedir.

SGM (Semi Global Matching): SGM yaklaşımı her pikselin eşleşme işlemi sırasındaki global "cost" fonksiyonunun minimize edilmesine dayanır. SGM ile üretilen DSM'ler piksel tabanlıdır. Bu algortmada her bir piksel için yapılan eşleşme işleminin tek bir yönden değil de piksele komşu bütün yönlerden yapılmasıdır (Şekil 2.9) (Hirschmüller 2011). Hem maliyeti hem de küresel kısıtlamaları en aza indiren algortmalara küresel görüntü eşleşmesi denilmektedir. Kalite ve çözünürlük açısından en üst düzey eşleştirme yaklaşımlarından biridir (Gehrke vd 2012).



Şekil 2.9 SGM yaklaşımında en uygun konumun bulunmasında 8 arama yönü (Hirschmüller 2011).

Her bir görüntü aynı kolon üzerinde 6 görüntüyle otomatik eşleşmektedir. Bu yaklaşımın en büyük handikapı fazla hafızaya ihtiyaç olmasıdır. Çoklu bilgisayar gruplarında yapılan çalışmalarla bu durum elimine edilebilir (Yastıklı ve Bayraktar 2014). SGM yaklaşımı yüksek

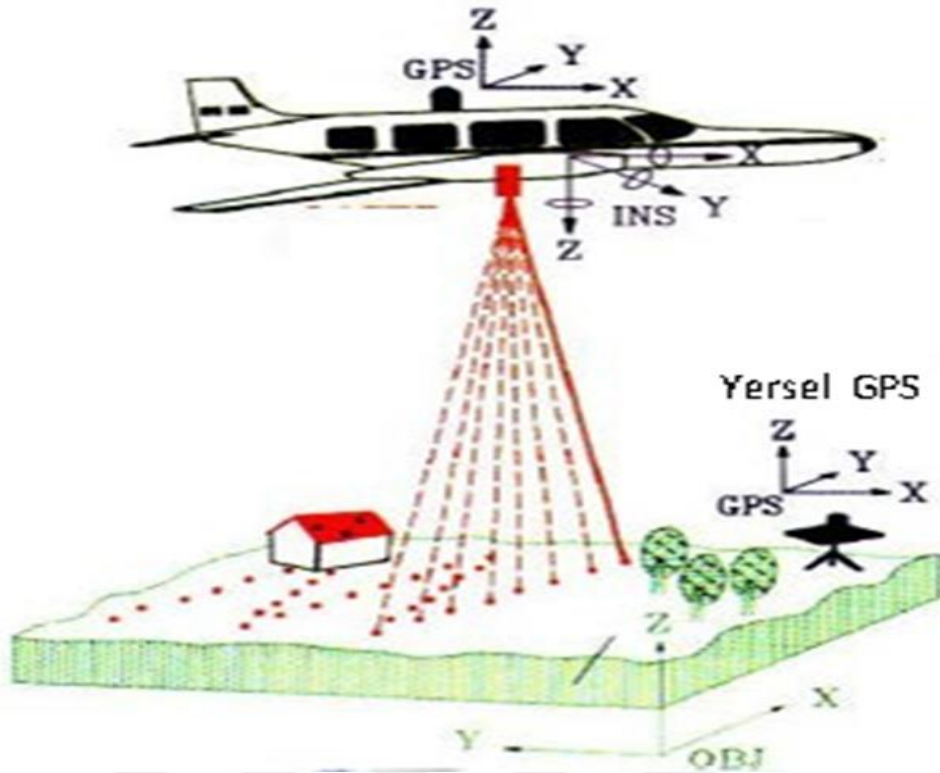
DSM çözünürlüğü ve yüksek performans ihtiyacımızı karşılar (Dzur 2015, Gehrke vd. 2012). SGM yaklaşımı açık alanlar ve bina tespitleri gibi uygulamalar için uygun yöntemlerdendir.

2.2 HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA

LİDAR (Light Detection And Ranging) lazer ışını kullanarak 3B veri elde eden aktif bir uzaktan algılama sistemidir (Erişir 2015). 1960'lı yıllarda lazerin icadına rağmen topoğrafik harita üretimi alanında ilk kullanım 1993 yılını bulmuştur (Erişir 2015, Yılmaz ve Yakar 2006). Lidar teknolojisi 2000'li yıllardan günümüze kadar dünya çapında çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Doğruluk vd. 2018). Özellikle geniş alanlar ve ulaşılması zor bölgelerde 3B elde etmek için uzaktan algılama yöntemleri daha çok tercih edilmelidir (Yılmaz ve Uysal, 2015). Hızlı ve yüksek doğrulukta 3B elde edilebilen sistemdir. Yükseklik bilgisi birçok uygulamada hayati önem taşıdığı için günümüzde tercih edilen popüler bir sistem olmuştur (Polat ve Uysal 2016).

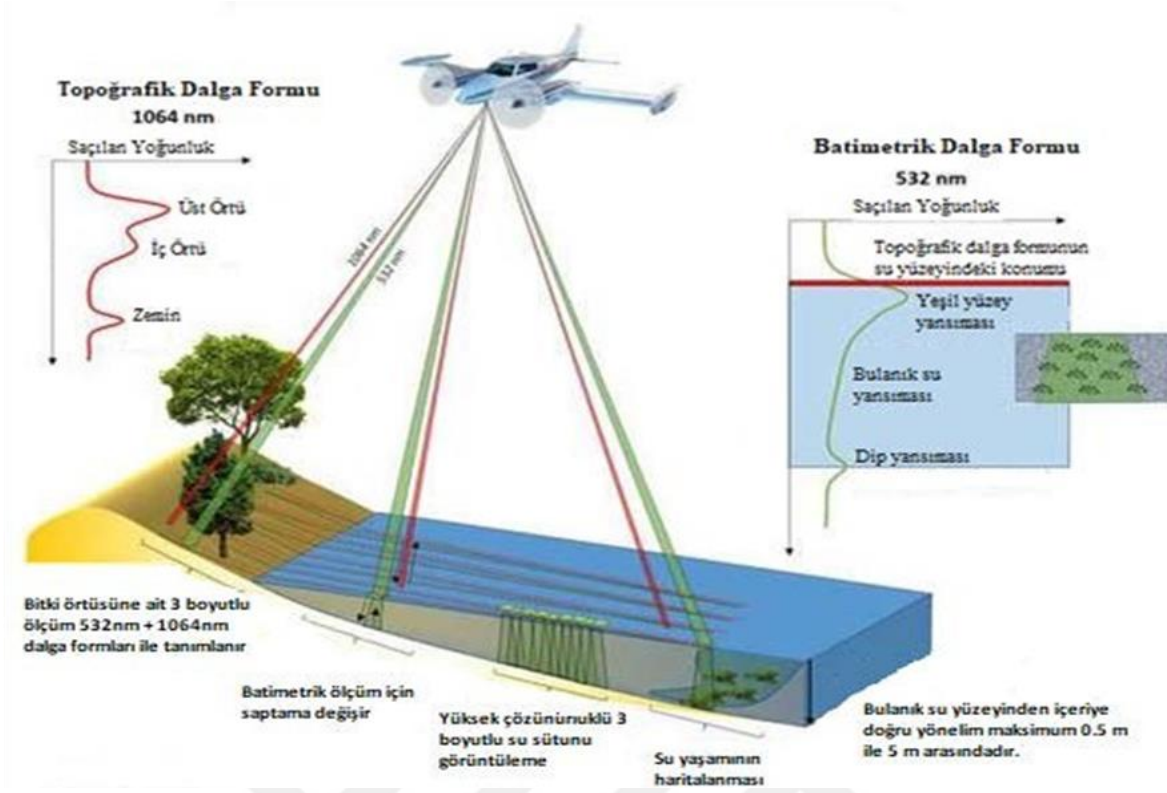
Lidar teknolojisi sayesinde deniz seviyesi ölçümü, atmosferik çalışmalar, buzul araştırmaları gibi birçok uygulamayı gerçekleştirmek mümkündür. Bazı uygulamalarda veri yoğunluğu, maliyet, doğruluk ve proje hızı gibi birçok avantaj sağlar (Yılmaz ve Yakar 2006). Sahil ve ormanlık gibi YKN görüşünün az olduğu yerlerde daha hassas veri toplanmasını sağlar. Aktif bir sistem olduğu için gece ve gündüz kullanılabilir. Daha yoğun ve daha hassas SYM'ler üretebilmektedir (Yılmaz ve Uysal 2015).

Lidar tarama yöntemleri ikiye ayrılır. Bunlar; Yersel Lidar Sistemleri-Terrestrial LİDAR System (TLS) ve Hava Lidar Sistemleri- Airborne LİDAR System (ALS) (Polat ve Uysal 2016). Bu iki sisteminde çalışma prensibi aynıdır. Tarayıcıdan ölçülecek objeye lazer ışını gönderilmesi ve yansıyan ışının tekrar tarayıcıya dönerek, arada geçen sürenin belirlenmesi ilkesine dayanır (Gümüş vd. 2009, Reshetyuk 2006). Fakat donanımsal olarak farklılıklar göstermektedir.



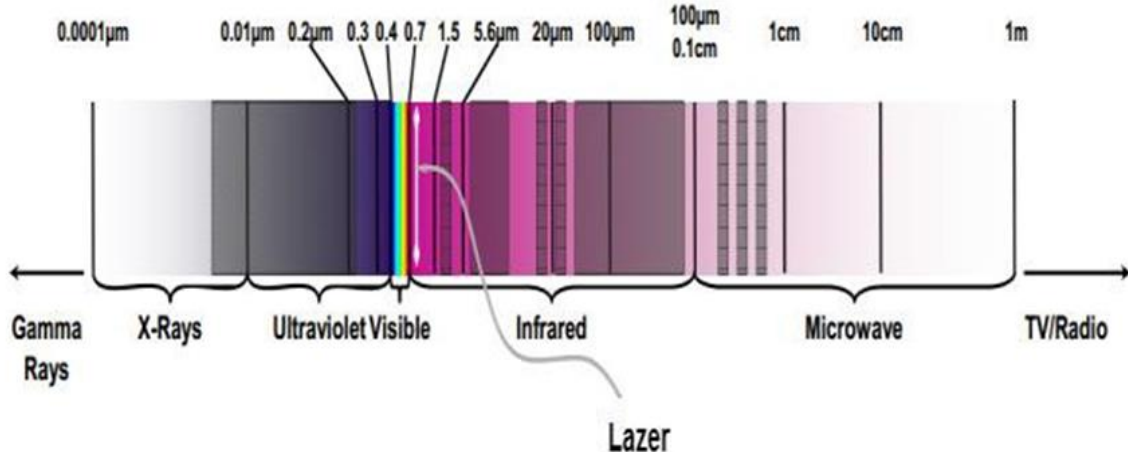
Şekil 2.10 Hava Lidar Sistemi (Civelekoğlu 2015).

Lazer altimetresi yüzey yapısına göre iki farklı çeşitte lazer kullanılır. Biri yeryüzünde kullanılan topoğrafik lazer diğeri ise su altı topografyasında kullanılan batimetrik lazerdir. Topoğrafik lazer elektromanyetik spektrumun kızılötesi (1064nm ve 1550nm) bölümünü kullanır. Batimetrik lazer altimetre ölçümlerinde elektromanyetik spektrumun mavi/yeşil (532nm) bandını kullanır. Çünkü mavi/yeşil bantlar dalga boylarının iki katı frekansa sahiptirler. Sinyallerinin ilki deniz yüzeyinden ikincisi ise deniz dibinden yansıtılarak gelir ve böylelikle iki sinyal arası farkla deniz derinliği hesaplanmış olur (Bölme 2013, Odabaş 2018).



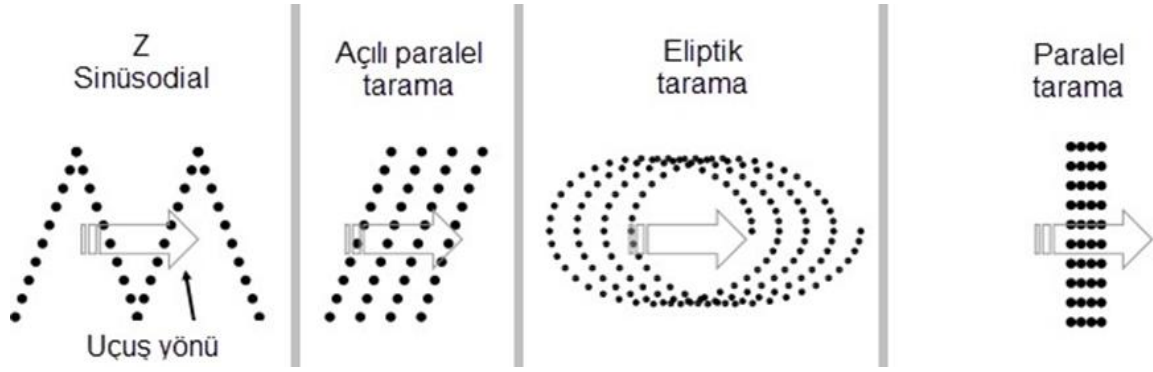
Şekil 2.11 Lazer Işınının yer yüzeyine ve su altına nüfus etmesi (Odabaş 2018).

Piyasada aktif satışı yapılan lazer tarayıcıların dalga boyları 810nm ile 1540nm arasında değişmektedir (Polat ve Uysal 2016).



Şekil 2.12 Lazerin elektromanyetik spektrumdaki yeri (Odabaş 2018).

Lazerin yaklaşık olarak yerdeki kapsadığı alan uçuş yüksekliğine, uçağın hızına, tarama açısına ve topografyaya bağlıdır (Odabaş 2018). Tarayıcıların farklı veri toplama şekilleri vardır bunlar; Z şekli, açılı paralel tarama, eliptik tarama ve paralel taramadır (Polat ve Uysal 2016).



Şekil 2.13 Lazer tarayıcılara bağlı olarak değişen farklı tarama çeşitleri (Odabaş 2018).

2.2.1 Temel Prensipler

Airborne Laser Scanning (ALS) olarak da literatürde yer almış teknik, aktif bir uzaktan algılama tekniği olup üç boyutlu (3B) olarak kullanılır. Sistem GPS (Global Positioning System) IMU (İnertial Measurement Unit)/INS (İnertial Navigation Systems) ve lazer tarayıcı teknolojilerinin kompozisyonundan oluşmaktadır (Bölme 2013).

ALS sistemi platform olarak uçak, helikopter veya insansız hava araçlarına monte edilerek haritalanacak alanın üzerinde uçuş yaparak üç boyutlu konum verisi toplamaktadır (Odabaş 2018, Bölme 2013). Bu sistemde, sinyalin algılayıcı (sensör) ile obje arasındaki gidiş-dönüş süresini ve ışık hızını bildiğinden aradaki mesafe hesaplanabilmektedir (Badea ve Jacobsen 2008). Bir ALS ışınının uçuş süresi, t ;

$$t = 2R/c \text{ 'dir.} \quad (2.6)$$

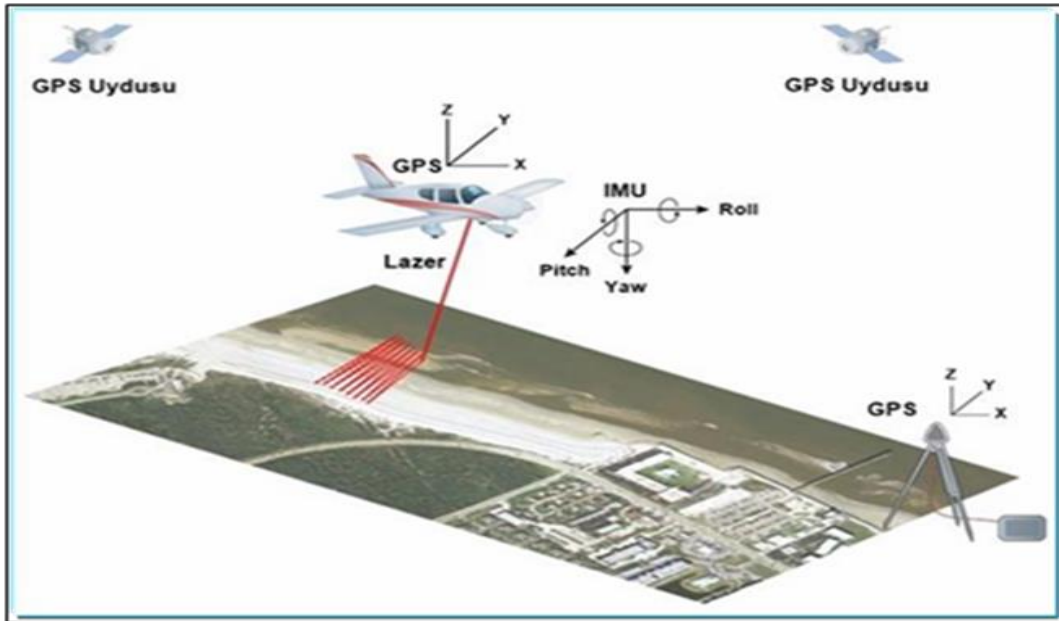
R ise ALS sensörü ile obje arasındaki mesafe olmak üzere formülü;

$$R = (1/2)tc \text{ 'dir.} \quad (2.7)$$

Daha sonra dönüklükler, konum, projeksiyon dönüşümleri ve mesafe dikkate alınarak noktaların koordinatları (X, Y, Z) elde edilir (Badea ve Jacobsen 2008). Lidar sistemlerinde sinyal oranı (pulse rate), tarama açısı (scan angle), ışın çapı, tarama izi (footprint) tarama deseni gibi birçok değişken parametre mevcuttur.

Çalışma sisteminde GPS antenlerinin konumlarını üç boyutlu jeodezik koordinat sisteminde belirler. Havadan lazer tarama uygulamalarında hava aracının navigasyonunu sağlama ve lazer mesafe ölçerinin konumunu belirleme olarak kullanılabilir (Lindenberger 1989). IMU ise gerekli dönüklüklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Havada hareket halinde olan Lidar sensörünün üç boyutlu duyarlı nokta konumlamayla gerçekleştirilen GPS verilerini ya da referans alınan bir hatta birkaç istasyon konumunun elde edilmesiyle gerçekleşir. Bu referans noktalarının doğruluğu santimetre olarak elde edilir. GPS ölçümünden elipsoidal yükseklik elde ederiz. Jeodezik yükseklik verisinden de ortalama yükseklik hesaplarız. Buradan özetle lidar sensörünün konum bilgisi zaman aralıklarından elde edilmiş olur. Lazer ölçüm sistemi gönderici (transmitter), alıcı (receiver), kontrol ünitesi ve tarayıcı aynasından (scanning mirror) oluşur. Kaydetme işlemi ise uçuş için belirlenen şeritte hareket halinde olan hava aracından yer alan lazer tarayıcı ünitesindeki lidar sensörü, tarayıcı aynasıyla ışın yollar, lazer ışının tarama açısını ölçer ve her bir ışının eğim açısını tarama açısı ve IMU verileriyle gerçekleştirir. Aynı zamanda lazerin gidiş-dönüş süresinde kaydedilir. IMU ile koordinat düzlemindeki açısal sapmalar roll, pitch, yaw eksenlerinde ölçülmektedir. Tüm bu işlemlerin ardından, veri işleme sonrası (post processing) aşamasına geçilebilir (Civelekoğlu 2015).



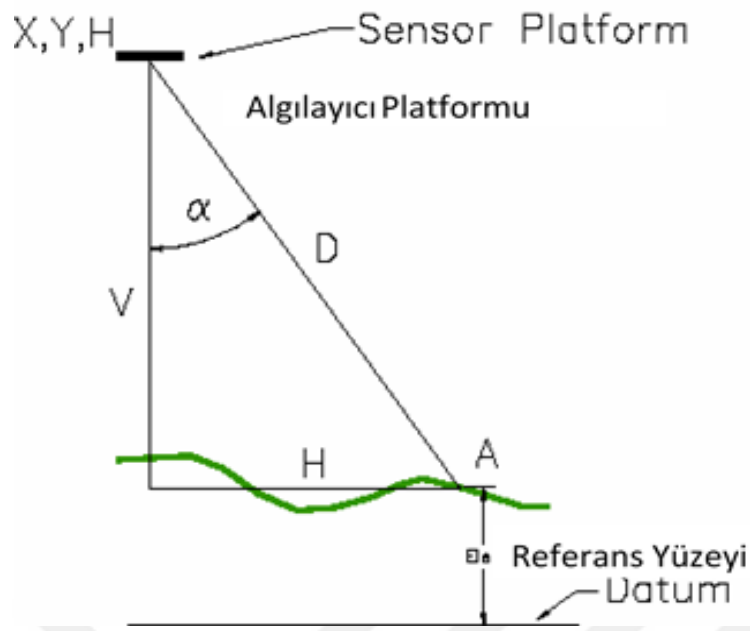
Şekil 2.14 Hava LİDAR sistemi (Yılmaz ve Uysal 2015).

Lidarda iş akışı genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır.

1. *Veri Toplama:* Algılayıcı (sensör) konum ve yükseklik bilgilerini toplamaktadır. GPS konumu belirlemekte ve IMU ile uçağın duruşu roll, pitch, yaw eksenlerinde ölçülmektedir.
2. *Nokta Bulutu Sınıflandırması ve Yüzey Çıkarımı:* Nokta bulutlarını sınıflandırmak için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan başlıcaları; eğim tabanlı, yükseklik farkı, çoklu ölçekleme (multi-scale)'dir. Matikainen (2009), çalışmasında Lidar'da ürettiği yüzey modeli üzerinde yükseklik sınıflandırmasıyla nesne ve yer ayrımını yapmıştır. Bu ürettiği yüzey modeli üzerine ortofoto kullanarak tüm objeleri sınıflandırmıştır.
3. *3B Görüntüleme:* Hava kaynaklı lazer taramada elde edilen nokta bulutları birçok yazılım kullanarak görselleştirilebilir. Üç boyut sayesinde dış görünüş tasfiri ve öznetelik çıkarımı yapılabilmektedir (Volkan 2018).

2.2.2 Verilerin Analizi ve İşlenmesi

Hava Lidar Sistemi ile elde edilen ve veri işleme öncesi sürecinden geçen nokta bulutları farklı formatlara sahiptir. ASCII, .xyz text, .las, scan binary, fast binary olmak üzere birçok formatta kaydedilip çalışabilir (Civelekoğlu 2015). İlk uçuştan sonra ham lidar verileri post prosese sokulur. Dönen her sinyal için eğik mesafe hesaplanır. Daha sonra bu veri atmosferik etkilerden arındırılır. IMU sayesinde üç eksendeki dönüklükler bulunur. GPS verileri ayrı olarak prosess edilerek lidar sistemine dahil edilir. Yer noktasının yüksekliği, sensörlerin konumları ve tarama boyunca salınım açılarının kullanılmasıyla hesaplanabilir (Bölme 2013, Yaşayan vd. 2011).



Şekil 2.15 Lazer tarama sinyali (pulse) geometrisi (Yılmaz ve Yakar 2006).

Sensörlerin sinyal gönderdiği andaki konumu ve ortometrik yükseklik ($X_{\text{sensör}}, Y_{\text{sensör}}, Z_{\text{sensör}}$) uçaktaki GPS ile ve yere dik olan mesafe;

$$V_A = D_A \cdot \cos \alpha_A \quad (2.8)$$

bağıntısıyla belirlenir. A noktasının yüksekliği;

$$\text{Elev}_A = H_{\text{sensör}} - V_A \quad (2.9)$$

bağıntısı ile belirlenir.

Aynı zamanda uçağın X ve Y koordinatları da basit trigonometrik denklemlerle hesaplanabilir. Uçağın tam Y ekseninde uçtuğu ve tarama açısının düşey hattın doğusuna doğru olduğunu kabul edersek X koordinatı;

$$X_A = X_{\text{sensör}} + H_A \quad (2.10)$$

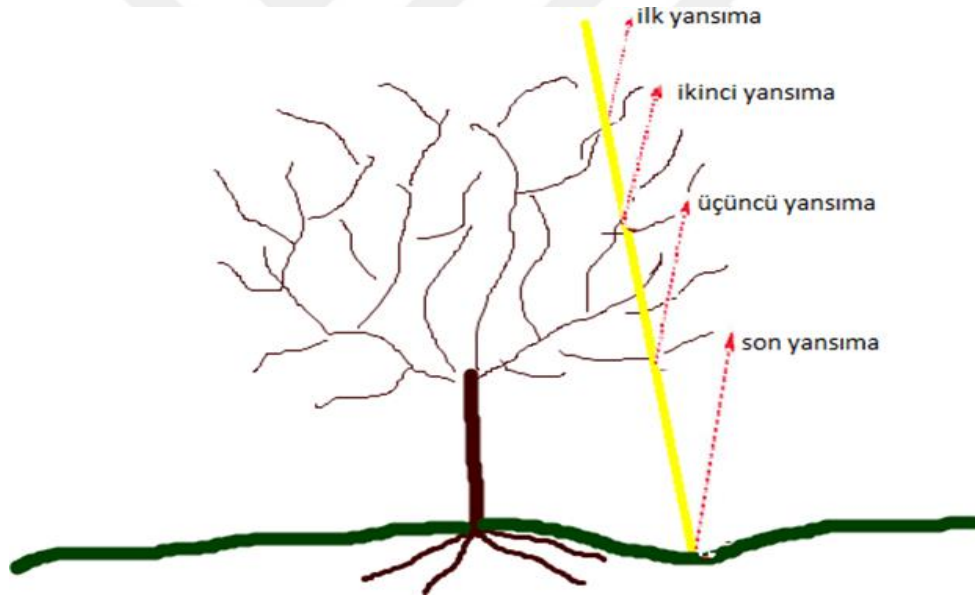
ile hesaplanır.

Buradaki H_A ise;

$$H_A = D_A \cdot \sin \alpha_A \quad (2.11)$$

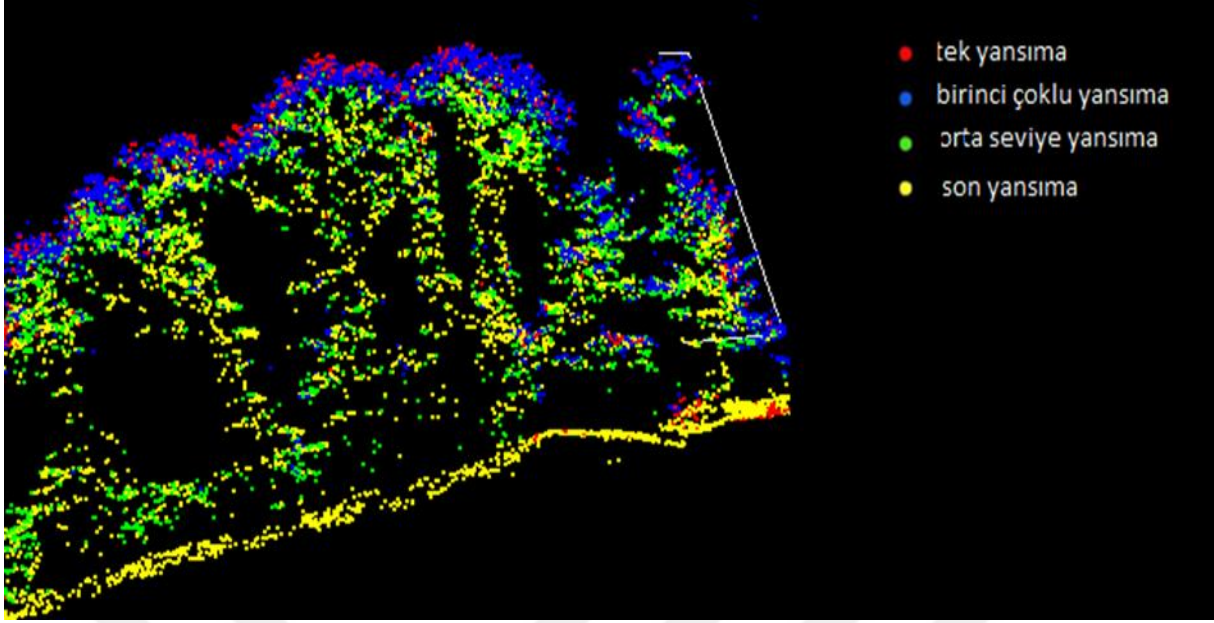
bağıntısı ile hesaplanır (Yılmaz ve Yakar 2006). Yer noktasının bu şekilde X,Y,H koordinatları hesaplandıktan sonra yer referans sistemine dönüştürülür.

Lazer sinyali yüzeyde birçok cisme çarpabilir. Bazı sinyaller ağaç yaprağına bazı sinyaller ise toprağa direkt çarpabilmektedir (Yaşayan vd. 2011). Bina kenarları, yüksek ve yapraklarını döken ağaçlar daha fazla çoklu yansımaya neden olabilecek nesnelere. Tek bir lazer ışını birden fazla yansıtırsa (multiple return) farklı mesafelerde mevcut nesnelere olduğunun göstergesidir. Nesnelere boyutları büyükse, yükseklikleri farklıysa çoklu yansımalarından bahsedilebilir (Liu vd. 2011, Katzenbeisser 2003).



Şekil 2.16 Çoklu yansıyan lazer ışını (Civelekoğlu 2015).

Topoğrafik harita yapımında daha çok son dönen sinyal baz alınır. Yoğun bitki örtülü alanlarda gerçek arazi yüzeyine çarpıp geri dönme işlemi sınırlanabilmektedir. Aynı zamanda bazı alanlar lazer ışınını daha az yansıtabilir ya da hiç yansıtmayabilir. Su, katran, asfalt, sis ve bulutlar gibi maddeler dalga boylarını yutmaktadır. Bu yüzden zayıf sinyal ve değersiz sinyal dönüşlerine sebep olurlar. Zayıf sinyalden kaynaklanan nokta bulutu verisinde gürültü (noise) denilen noktalar oluşabilmektedir (Yaşayan vd. 2011).



Şekil 2.17 Lidar çalışma verisinden farklı yansıma değerlerine ait görünüm (Civelekoğlu 2015).

2.2.3 Sınıflandırma

3B kent modelleme, SYM üretimi, bina çıkarımı gibi uygulamalarda yüksek doğruluklu sonuçlar için nokta bulutunun doğru bir şekilde sınıflandırılması gerekmektedir. Nokta bulutları sınıflandırılırken her bir noktanın özelliğine göre bina, zemin, bitki örtüsü vb. sınıflara atanmaktadır (Yastıklı ve Çetin 2016).

Zhang ve diğerleri (2011), Avusturalya’da ormanlık alanda lidar verisi kullanarak yaptıkları çalışmada ağaç yükseklikleri belirlemişlerdir. Kriging enterpolasyon yöntemini kullanarak ArcGis yazılımında ağaç tipleri belirlemişlerdir. Bölgenin sınıflandırılmasında hava fotoğrafları ile yapılan sayısal analizler sonucu %91.4 oranında sınıflandırma doğruluğu sağlanmıştır.

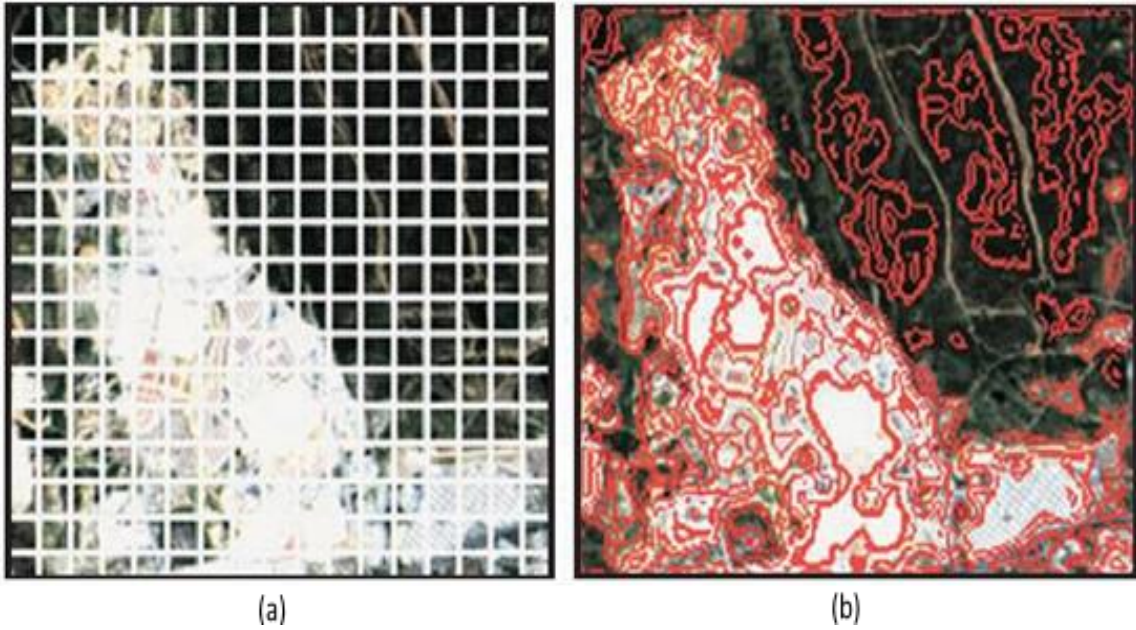
Sınıflandırma yöntemleri temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ve nokta tabanlı sınıflandırma yöntemidir (Erişir 2015).

2.2.3.1 Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Spektral yansımaya değeri kullanılarak pikselin ait olduğu sınıfa atamaya gerçekleştirilen yöntemdir. Bu işlemlerde ilgili pikselin bağlamsal veya mekânsal özellikleri ayırt etmeksizin tüm pikselleri spektral özelliklerine göre çözümler (Dinlemek 2012, Weth ve Riggan 2010).

2.2.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Piksel tabanlı sınıflandırma yönteminde çıkan sıkıntılar nedeniyle nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi dokuları, yapıyı ve spektral bilgileri dikkate alarak tekil pikseller yerine nesnelere sınıflandırır. Nesne benzer mekânsal ve spektral özelliklere sahip piksel grubu olarak tanımlanmaktadır (Erişir 2015).



Şekil 2.18 Sınıflandırma yöntemleri; piksel tabanlı (a), nesne tabanlı (b) (Dinlemek 2012).

2.2.3.3 Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Sınıflandırırken noktaları baz alan bir sistemdir. Tüm noktalar tek tek işlemde geçirilirler. Daha çok üç boyutlu nokta bulutu oluşturmada tercih edilen bu yöntemin amacı nesnelere temsil eden homojen özelliklere sahip noktaları bir grup altında toplayıp sınıfı oluşturmaktadır (Erişir 2015).

2.2.4 Sayısal Arazi Modeli (DTM) ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)

Diğer uzaktan algılama yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve detaylı şekilde üretilebilen bu sanal modeller ALS sisteminin yoğun ilgi gören ürünleridir. Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM), çalışılan bölgede ölçülen noktalar üzerinde bir ya da birden daha fazla matematiksel model kullanılarak elde edilmiş halidir. Bu matematiksel modeller enterpolasyon yöntemleri olarak da isimlendirilebilirler. Çalışmadan beklenen hassasiyete göre sayısal yükseklik modelleri oluşturulur. Bu modelleri oluştururken enterpolasyon yöntemi, arazinin veri yoğunluğu, gridleme aralığı hassasiyeti etkileyen unsurlardır (Bölme 2013).

Doğruluk ve diğerleri (2018), Lidar verileri kullanarak sayısal yüzey modeli oluşturmuşlardır. MLS, ETEW, ATIN ve PM2D olmak üzere 4 farklı filtreleme algoritması kullanarak oluşturulan sayısal yüzey modellerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Filtreleme sonucunda en küçük KOH değeri 0.139 olmak üzere ATIN yönteminidir. Çalışma sonucunda filtreleme yöntemlerinin SYM doğruluğunu etkilediği söylenebilmektedir.

Sayısal Yüzey Modeli (DSM), arazi üzerindeki ağaçlar, binalar gibi doğal ve yapay tüm cisimleri kapsamaktadır. Eğer sayısal yüzey modelinin arazi üzerindeki ağaçları, elektrik hatlarını, binaları, arabaları gibi tüm detaylar çıkartılırsa sayısal arazi modeli elde edilmiş olur. Sayısal arazi modeli çıplak yeryüzü olarak da bahsedilen modeldir (Bölme 2013).

2.2.5 Uygulama Alanları

Sayısal yükseklik modelleri üretimi ALS'nin ana kullanımlarındandır ve günümüzde standart bir üretim haline gelmiştir. Lidar hızlı ve kolay bir şekilde SYM üretebilmektedir (Erişir 2015, Polatlı ve Uysal 2016). Hava kaynaklı lazer taramanın en belirgin diğer özelliği üç boyutlu konum verisini hızlı şekilde üretebiliyor ve işleyebiliyor oluşu ile üç boyutlu konum bilgilerinin ihtiyaç duyduğu uygulamalarda tercih edilmesine neden olmuştur (Polatlı ve Uysal 2016).

ALS sisteminin penetrasyon kabiliyeti sayesinde bitki üstü ve bitki altı örtü verisi toplama şansı vardır. Bu yeteneği sayesinde bitki envanteri ve yönetimi konularında tercih edilmekte, bitki ve orman haritalamada alternatif bir sistem haline gelmektedir.

Sefercik ve diğerkleri (2016), Yersel Lazer Tarama (TLS) verilerini referans olarak ALS ürünlerinin model bazlı analizlerini yapmışlardır. Enterpolasyon yöntemi olarak en yakın komşuluk tercih edilen çalışma sonucunda açık alan yerlerinde topoğrafik tasvir başarısı yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ormanlık alanlarda ise düşey doğruluğun 50 cm'lere düşebildiği görülmüştür.

Altınışik (2012) yaptığı çalışmada, lidar teknolojisini kullanarak hazırladığı projenin değerlendirmesini yapmıştır. Lidar ile sık ormanlık alanda bile iyi sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir. Aynı zamanda meteorolojik şartlardan daha az etkilendiğini, hızlı veri elde ettiğini ve yeterli doğruluğa sahip ölçüler edindiğini vurgulamıştır. Elde ettiği verileri Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği standartlarına uygun olarak hazırlamıştır.

Baş (2016), Artvin ili Borçka ve Ardanuç ilçelerindeki ormanlık alanda Lidar ile elde edilen nokta bulutu verisi üzerindeki farklı arazi yapılarındaki filtreleme sonuçlarına ilişkin analizler yapmıştır. Değerlendirmede düşey doğruluk, yoğun arazi örtüsüne kıyasla açık alanlarda daha prezisyonlu sonuç vermiştir. Lidar verisinin ulaşılması zor bölgelerde bile koordinat bilgisini elde etme özelliği ile yeryüzünü oluşturmada iyi bir yöntem olabileceği değerlendirilmiştir.

ALS sistemi aşağıda sıralanan diğerk uygulama alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir.

1. Tarım
2. Arkeoloji
3. Su baskın ve akış modelleri
4. 3B yapı-kentsel modelleme ve planlama
5. Ormancılık
6. Afet yönetimi
7. Çevresel sınıflandırma
8. Kıyı izleme
9. Hava kirliliği
10. Ulaşım
11. Madencilik (Erişir 2015, Polat ve Uysal 2016, Yılmaz ve Yakar 2006).

2.3 FOTOGRAMETRİ VE HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA (ALS) KARŞILAŞTIRMASI

Hava kaynaklı lazer tarama sistemleri yeryüzüne lazer ışınlarını göndererek doğrudan üç boyutlu (3B) veri elde edebilmektedir. Lazer taramada tek bir ölçü ile konum (X,Y) ve

yükseklik verileri elde edilir. Fotogrametride ise yükseklik verisi için stereo değerlendirmeye ihtiyaç vardır. Fotoğrafta yüksek binalar ve bitki örtüsü varsa stereo değerlendirme yapmak da bir o kadar zorlaşır. Buradaki ayırım gücü enerji ve yoğunluk gibi detaylara bağlıdır. Fotogrametri gibi pasif algılama yapan sistemler iki boyutlu bilgi sunarken lidar ekstra bir Z boyutu içermesiyle üç boyutlu görüntü elde etmede avantaj sağlamaktadır. Özellikle geniş alanlar ve 3B elde etmek için uzaktan algılama yöntemleri daha çok tercih edilmektedir.

Her iki sistemde de GPS/INS kullanılmaktadır. Lidarın aksine fotogrametride doğrudan nokta bulutu elde edilemez. İki sistemde de görüntü işleme ve analizi, algılayıcı entegrasyonu konuları mevcuttur. Ölçüm sonrası filtreleme, veri küçültme, veri sıkıştırma, sayısal arazi modeline ilişkin olmayan bina gibi nesnelere kaldırma, elektrik direklerini belirleme gibi ham veri işleme metotları kullanılmaktadır. İki metotda da geniş araziler kolay taranabilir.

Pasif sistemler güneş ışığının ve ya nesnelere yaydığı enerjiye bağımlıdır. Aktif sistemlerde ise böyle bir durum söz konusu değildir. Fotogrametri gibi pasif algılama prensibiyle çalışan sistemlerde orman ayırım kabiliyeti söz konusu olmadığından orman altı topoğrafya hakkında bilgi edinmek çok zordur. Aktif algılama sistemlerinde ise durum farklıdır. ALS gibi aktif sistemlerde penetrasyon kabiliyeti ile orman altı yüzey örtüsü hakkında bilgiye doğrudan yoldan ulaşabilmektedir. Aynı zamanda çoklu dönüş değerleri (multiple returns) ile detaylı bilgi toplanmasına da yardımcı olmaktadır. ALS ormancılık alanında süregelen tekniklere kıyasla sahadan daha fazla veri toplama olanağı sağlamaktadır. Dolayısıyla tasvir gücü pasif sistemlere göre daha yüksektir. Tam bu noktada ALS sağladığı olanaklar ile bitki envanteri konularında fotogrametriye alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Lidar doğrudan sayısal yüzey modeli oluşturabiliyorken fotogrametride belirli bir işlem sürecinden geçmesi gerekmektedir.

Lidar ormanlık alanlarda SAM doğruluğunun yer yüzeyini ifade etme başarısı açısından fotogrametriye göre daha üstündür. Bunun nedeni lidarın penetrasyon kabiliyetidir. Fotogrametri ise lidara göre çok güçlü analitik, matematiksel modeller kullanmaktadır.

ALS sistemi aktif bir sistem olması sebebiyle gece ya da gündüz dış aydınlatmaya ihtiyaç duymadan çalışan bir sistemdir. Fotogrametriye kıyasla hava koşullarına daha az bağımlı ve güneş ışığından bağımsız olarak ölçüm yapması avantajları arasında yer almaktadır.

Kullandığı aydınlatma tekniğine bağlı olarak lidar kar ve buz gibi yansıtıcı özellik taşıyan yüzeylerde veri toplama ve sinyal işleme konusunda fotogrametriye göze zorluk yaşayabilir. Tuz gibi ayna özelliği gösteren yüzeylerde sinyal dağılmasına dolayısıyla da sinyal işlemede zorluklara da yol açmaktadır. Fotogrametri bu yüzeyler için ayırt edebilme kabiliyetine sahiptir.

Lidar polar geometriye aygılayıcılar kullanırken fotogrametri çizgisel veya çerçeve geometriye sahip algılayıcıları kullanır.

Lidar ve SGM arasında karşılaştırma yapacak olursak; lidar aktif sensör olduğu için geceleri bile çalışabilmektedir ve ormanlık alanlarda penetrasyon gücüne sahiptir. SGM’de böyle bir durum söz konusu değildir ve en belirgin fark olarak belirtilmektedir. Lidar noktaları doğrudan yükseklik bilgisi içermektedir. Lidar nokta doğruluğu sis, volkanik kül veya yansıtma özelliği olan yerlerden etkilenebilir. Belirli bir çözünürlükte DSM sağlamak için lidarın maliyeti genellikle SGM’ninkinden daha yüksektir. SGM ise Lidardan daha büyük bir hesaplama maliyetine sahiptir. Bu hesaplamaların hızlandırmak için ise çoklu bilgisayar kullanımları ve GPU (Graphic Processing Units) kullanılarak hafifletilebilir. SGM ile üretilen dijital yüzey modellerinin yüksek yoğunluğu verideki yapının tanımlanmasını kolaylaştırır. Aynı zamanda manuel olarak yapılan düzenlemeden kaynaklı hatayı daha aza indirir(Gehrke vd. 2012).

Tezin bu bölümünde Fotogrametri ve Hava Kaynaklı Lazer Tarama konularını içeren araştırmalardan bahsedilmiştir.

Şehsuvaroğlu ve diğerleri (2014), havadan Lidar teknolojisi ile sayısal fotogrametrinin otomatik görüntü eşleme tekniğini karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda test alanına ait elde edilen sayısal hava fotoğraf ve Lidar verilerinin SYM’leri karşılaştırılmış ve analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada iki farklı ticari yazılım kullanılmıştır. Bunlardan Match-T 5.5; nokta bulutu üretmekte ve görüntü eşleştirmede kullanılmaktadır. Leica Photogrammetry Suite (LPS) ise görüntü eşleme ve grid formatında SYM üretiminde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda lidar, binaların bulunduğu bölgeler, ağaçlık alanlar gibi yerlerde daha iyi sonuçlar vermektedir. Göl gibi sulu alanlarda yetersiz nokta sağlamıştır. Lidar sayısal yüzey modeli oluşturmada fotogrametriye iyi bir alternatif olmaktadır. Bu çalışma

göstermektedir ki projede istenilen özelliklere göre uygun metodun seçilmesi en ideal çözüm olacaktır. İki yöntemin birbirini tamamlayıcı özellikleri bulunduğu belirlenmiştir.

Tompalski ve diğerleri (2018), Hava Kaynaklı Lazer Tarama ve Dijital Hava Fotogrametrisi yöntemleriyle aynı orman alanından nokta bulutları üretilmiştir. Farklı iki zamanda üretilen nokta bulutları değerlendirilmiştir. Orman modellemede ALS doğrudan en üst ve en alt örtüyü çekebildiği için kullanımı tercih sebebi olmuş ve bu sayede boşlukları doldurabilmiştir. İki zamanda üretilen nokta bulutlarının birbirine entegre olmasından daha büyük sonuçlar alındığı belirtilmiştir.

Yılmaz ve Uysal (2015), örnekleme yoğunluğuyla üretilen SYM'ler ile lidar nokta bulutu kullanılarak üretilen SYM'ler karşılaştırılmıştır. Kriging enterpolasyon yöntemi ile üretilen SYM'lerin doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda örnekleme yoğunluğu arttıkça SYM'den elde edilen doğruluğunda arttığı görülmektedir. Sayısal hava fotogrametrisine kıyasla lidarın; geniş alanlarda kısa sürede veri elde etme, konum ve yükseklik bilgisini beraber elde etme, çoğu arazi koşulunda zemin bilgisi elde etme gibi avantajları sayesinde sistemin öncelikli yöntem olarak kullanılabilceği söylenebilmektedir.

Gehrke ve diğerleri (2012), yaptıkları çalışmada ADS (Airborne Digital Sensor) için SGM yaklaşımını sunar ve DSM çözünürlüğü açısından lidar ile karşılaştırır. İsviçrede Romanshorn Belediyesinden bir örnek veri seti baz alınarak Lidar ile SGM karşılaştırılması yapılmıştır. Görüntüler 5 cm yer örnekleme aralığında elde edilen Leica Geosystems ADS40 kullanılarak seçilmiştir. Lidar DSM ise 30 cm uzaklığında Leica Geosystems ALS50-II kullanılarak yakalanmıştır. Sonuçlar; SGM lidar karşılaştırmasında $0,8 \text{ cm} \pm 5.4 \text{ cm}$ arasında ortalama bir fark göstermektedir. Perspektif görünüm bazında değerlendirdiğimizde SGM'nin keskin kenarları koruduğu ve lidar verilerinde bulunmayan demiryolu yayları veya direk gibi yapılar üzerinde daha fazla ayrıntı çözdüğü görülmektedir. Bitki envanterinde lidarın toprağa nüfuz etme kabiliyetinden dolayı SGM'ye göre avantajı açıkça görülmektedir. Sgm'nin lidara alternatif olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Yüksek çözünürlüklü DSM üretiminde özellikle ek uçuş maliyetlerinden tasarruf ettiği yerler için SGM tercih edilen seçenek olarak kabul edilir. Sonuç olarak SGM'den üretilen yüzeyin lidar noktalarıyla kuvvetle uyduğu bulundu. SGM'den üretilen DSM'lerin yüksek çözünürlüklü olmasından kaynaklı lidar alternatif yöntemdir. Aynı zamanda Lidara göre daha az maliyetli olması tercih sebebidir.

Kenner ve diğerleri (2014), Hava kaynaklı lazer tarama ve dijital hava fotogrametrisi kullanılarak İsviçre Alplerindeki kaya buzulları ve toprak kaymalarının değişimlerini izlemede kullanılmıştır. Üç boyutlu yüzey değişiklikleri tespit edilerek lazer tarama ve dijital hava fotogrametrisinin yatay kütle sürüklenmesi oranı analiz edilmiştir. Çalışma sonucu lazer taramanın yüksek çözünürlüklü veri sağladığı ve daha yoğun nokta bulutu üretmenin mümkün olduğundan bahsetmiştir.

Uzar ve Yastıklı (2011), Lidar ile sayısal hava fotoğrafının birleştirilmesiyle otomatik bina çıkarımı gerçekleştirilmiş ve doğruluk analizleri ile değerlendirmeleri yapılmıştır. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ve Hough dönüşümleriyle yapılan çalışmada %94 genel doğruluk bulunmuştur.

Coops ve diğerleri (2007), Tompalski ve diğerleri (2018), Kangas ve diğerleri (2018), Hava fotoğraflarına kıyasla ALS'yi orman envanterinde kullanmak yüksek kalitede sonuç ürettiğinden bahsetmişler. Bu sayede ALS'nin dijital hava fotogrametrisine umut verici bir alternatif yöntem olduğunu kanıtlamışlardır.

Risbøl ve diğerleri (2014), Bu çalışmada tarihi hava fotoğrafları kullanılarak dijital yükseklik modelleri üretilmiş ve bir dönemden diğer döneme değişen model farklılıkları gözlenmiştir. Tarihsel hava fotoğrafları ile hava kaynaklı lazer tarama verilerinin birlikte değerlendirildiği ve bu kapsamda peyzaj değişikliğinin incelendiği bir çalışmadır. Bu çalışmada tarihi hava fotoğrafları ve ALS veri setleri kullanılarak dijital yükseklik modelleri (DEM) oluşturulmuştur.

Höhle (2009), Almanya'da çalıştığı projesinde 8cm. GSD kullanarak; ALS ile 3,3cm., fotogrametrik yöntemde ise DCM kamera ile 3,3cm., UltraCamX kamera ile 4,8cm. DigiCam kamera ile 6,0cm. RMK kamera ile 4,6 cm. yükseklik standart sapması elde etmiştir.

White ve diğerleri (2018), Kanada British Columbia, Vancouver adasındaki yağmur ormanlarını haritalamak amacıyla ALS ve Dijital Hava Fotogrametrisi (DAP) verileri kullanılmış ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. DAP verileri ile ALS verileri yağmur ormanlarındaki gölgelik boşluğu tespit etmede benzer sonuçlar vermemiştir. ALS verileri belirgin şekilde daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Aynı zamanda daha ayrıntılı boşluk tespit ettiği sonucuna varılmıştır.

Külür (2011), Schenk (2002), Fotogrametri ve lidar yöntemlerinin birbirlerini çok iyi tamamladıkları ve iç içe çalışıldığında etkili ve çok yönlü bir veri elde etme yöntemi olduğu bahsedilmektedir. Sınıflandırma uygulamalarında lidar; hava fotoğrafları, uydu görüntüleri gibi ek veriler ile birlikte kullanılarak daha yüksek doğruluk elde edilebilir.

Ullah ve diğerleri (2017), Bu çalışmada stereo hava fotoğraflarında üretilen nokta bulutları, orman yüksekliğini tahmin etmek için ve hava kaynaklı lazer tarama verileri ile karşılaştırabilmek için kullanılmıştır. Çalışmada SGM (Semi-Global Matching) görüntü işleme algoritması kullanılarak görüntü tabanlı kanopi yükseklik modelleri üretilmiştir. Çalışmada SGM kullanılarak üretilen görüntü tabanlı nokta bulutlarının ALS ile üretilmiş dijital arazi modelleriyle karşılaştırılabilecek sonuçlar vermiştir. eATE kullanılarak üretilen nokta bulutu performansının ALS'den daha düşük olduğu görülmüştür.

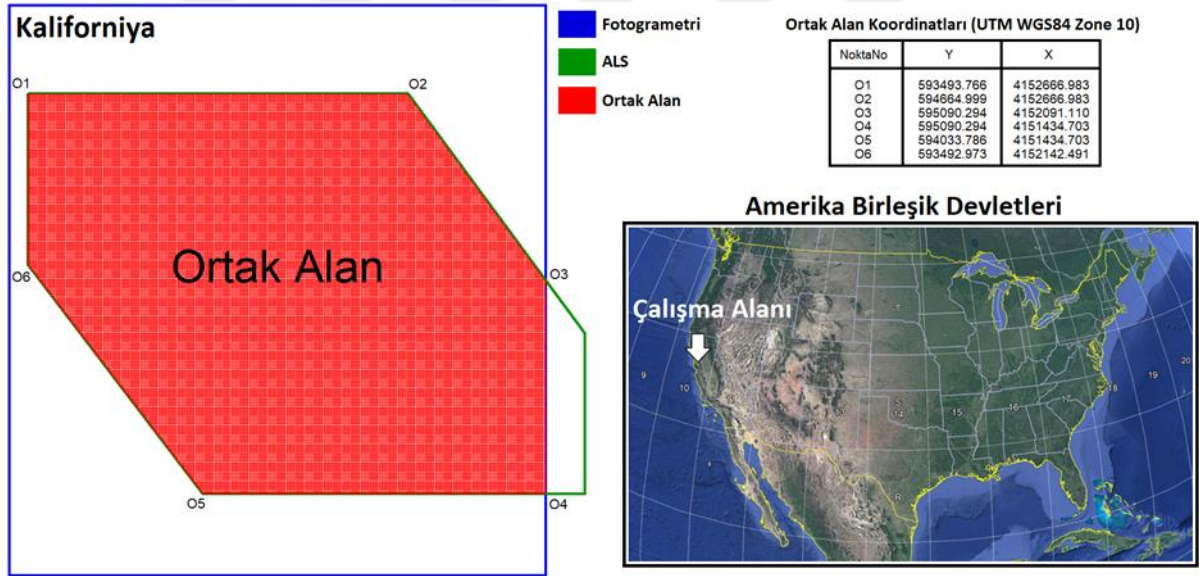
Balenović ve diğerleri (2018), Orta Hindistan'daki Pokupsko havzasında bulunan ovadaki meşe ormanlarından dijital fotogrametri ve hava kaynaklı lazer tarama teknolojileri kullanılarak Dijital Arazi Modellerinin (DTM) üretilmesi ve DTM düşey doğruluğu değerlendirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. DTM'lerin düşey doğruluğu 22 yer kontrol noktası kullanılarak değerlendirmeye girmiştir. Bu araştırmaya göre ALS teknolojisiyle en iyi çözünürlük üretilmiş olup, fotogrametriye kıyasla DTM olarak en yüksek doğruluğu verdiği gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 3

ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ SETLERİ

3.1 ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin batısında Pasifik okyanusuna komşu Kaliforniya kentinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). Yaklaşık ölçüleri $1.2 \text{ km} \times 1.6 \text{ km}$ (~1.65 km^2)'dir. Ortometrik yükseklikler, 5-100 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.1 Çalışma alanı'nın konumu.

Alanda yerleşim yoğun bir arazi örtüsü bulunmaktadır. Aynı zamanda Şekil 3.2'de Google Earth görüntülerinde görüldüğü üzere alan; yeni yapılaşmalar, sanayi bölgeleri, yerleşim alanları, otobanların da bulunduğu yoğun bir bölgedir.



Otoban

Sanayi Bölgesi

Yerleşim Yeri

Şekil 3.2 Google Earth Görüntüsü ile sokak görüntüleri.



Kaliforniya
ABD

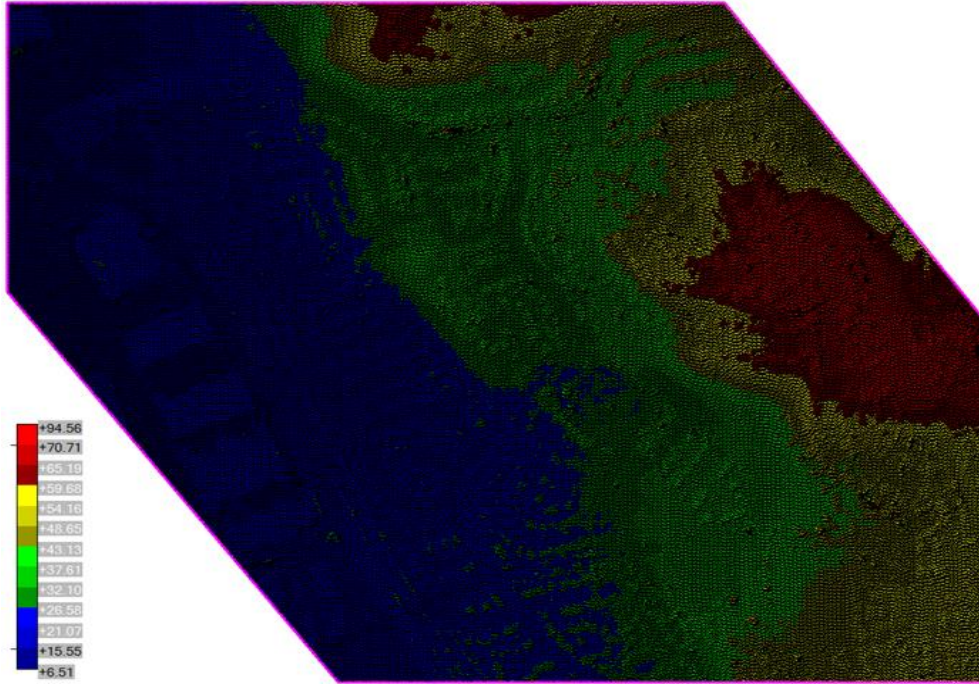
Şekil 3.3 Bölgenin Ortomozaik hali.

3.2 FOTOGRAMETRİK NOKTA BULUTU

2009 yılı Amerika Ulusal Tarım Görüntüleri Programı (The National Agriculture Imagery Program, NAIP) hava fotoğraflarından Semi Global Matching (SGM) yöntemiyle üretilmiş nokta bulutudur. NAIP'in amacı her yıl tarımsal gelişim izlenmesi amacıyla düzenli hava fotoğrafı alımıdır. Yükseklik bilgileri ortometriktir.



Şekil 3.4 Fotogrametrik nokta bulutu intensity (yoğunluk) haritası.



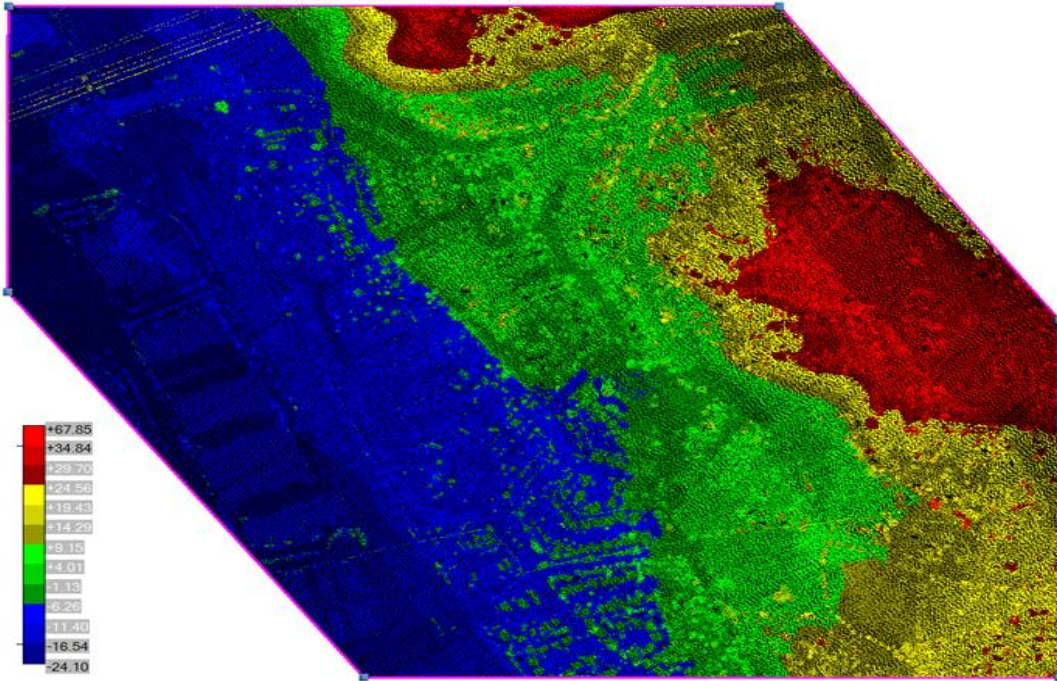
Şekil 3.5 Fotogrametrik nokta bulutu yükseklik haritası.

3.3 ALS NOKTA BULUTU

Amerikan Ulusal Hava Kaynaklı Lazer Tarama Merkezi (National Center for Airborne Laser Mapping, NCALM) tarafından 2007 yılında hava kaynaklı lazer tarama ile elde edilen nokta bulutudur. Yükseklik bilgileri elipsoidaldir.



Şekil 3.6 ALS nokta bulutu intensity (yoğunluk) haritası.



Şekil 3.7 ALS nokta bulutu yükseklik haritası.

3.4 ÖLÇÜM ALETLERİ

3.4.1 Hava Kaynaklı Lazer Tarama Cihazı

ALS uçşları Amerikan Ulusal Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Merkezi (NCALM) tarafından gerçekleştirilmiş olup Şekil 3.8’de gösterilen Optech Gemini airborne laser terrain mapper (ALTM) aleti kullanılmıştır. Bu sistem 167 kHz puls tekrarlama oranına sahiptir. Lazer dalga boyu 1064 nm’dir. Tarama frekansı 0-70 Hz’e kadar çıkabilmektedir. Tarama genişliği (FOV) 50° açı ile taranmıştır. Hava kaynaklı lazer parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir (URL-3).

Çizelge 3.1 Hava Kaynaklı Lazer Tarama Parametreleri.

Parametre	Hava Kaynaklı Lazer Tarama
Ölçüm aleti	Optech Gemini ALTM
Tarih	06/23/12
Yılın günü	175
Nokta yoğunluğu (m ²)	45
Puls ritmi (kHz)	167
Dalgaboyu (nm)	1064
Tarama frekansı (Hz)	0-70
Işın genişliği (mrad)	0.25
Bakış açısı (°)	-25 to +25
İrtifa (m)	1000



Şekil 3.8 Optech Gemini ALTM cihazı.



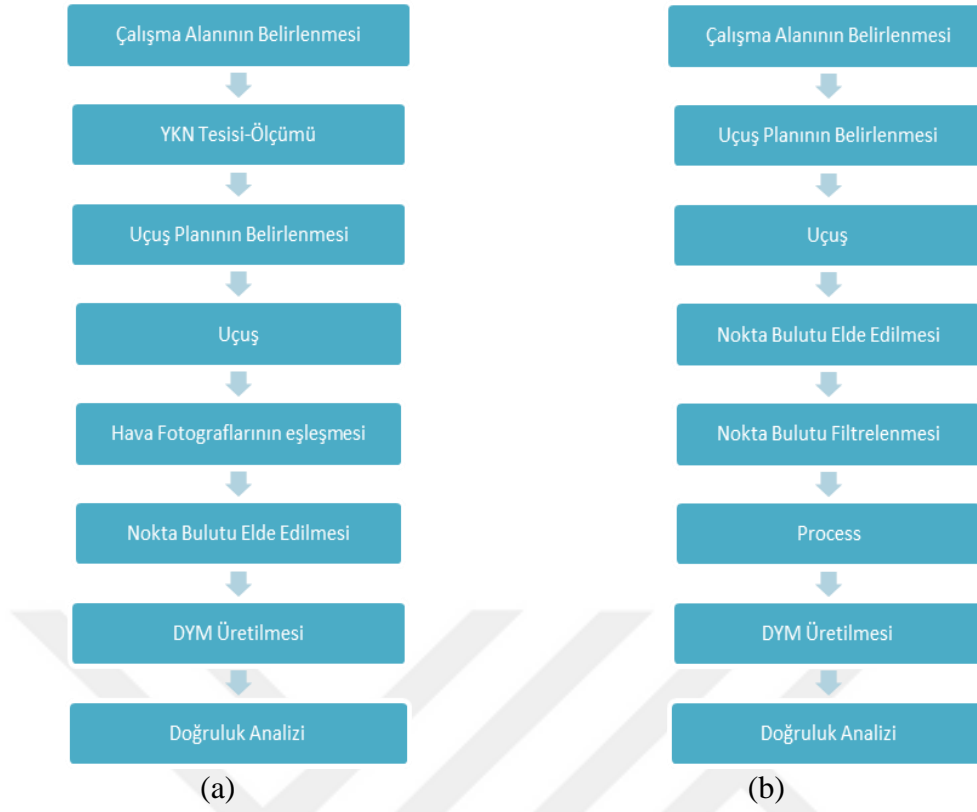
BÖLÜM 4

METODOLOJİ

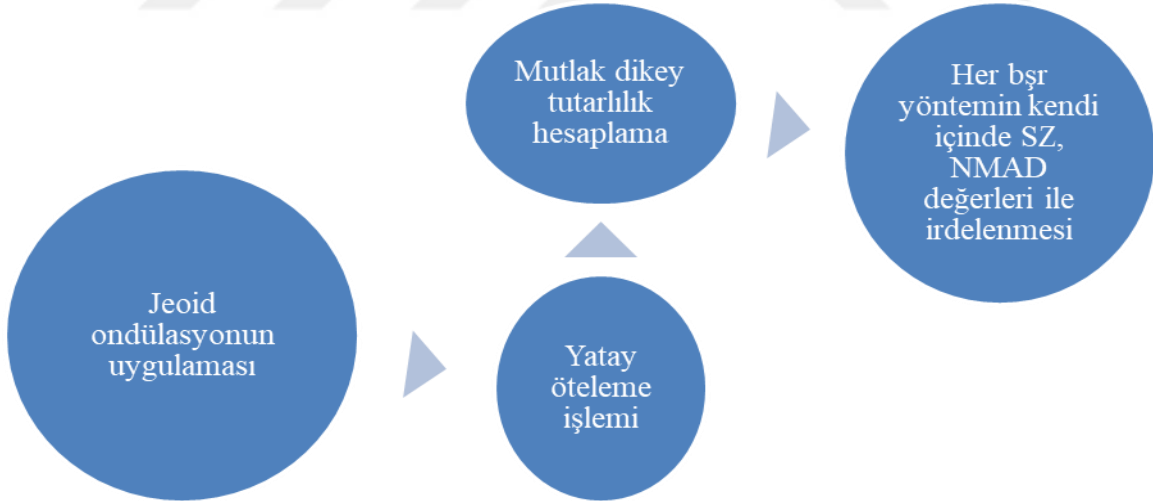
Çalışmada tarama bilgilerinin işlenmesi ve üç boyutlu (3B) dijital yüzey modellerinin üretimi ve doğruluk analizi yapılmıştır. Bu işlemler sırasında Surfer, BLUH, Terrascan ve LISA yazılımları kullanılmıştır. Öteleme işlemi BLUH (Bundle Black Adjustment Leibniz University Hannover) yazılımında gerçekleştirilmiştir. Tüm hesaplamalarda UTM WGS84 (World Geodetic System 1984) koordinat sistemi kullanılmıştır.

ALS nokta bulutu NCALM (Ulusal Hava Kaynaklı Lazer Tarama Merkezi) tarafından hava kaynaklı lazer tarama ile elde edilmiştir. Hava kaynaklı lazer tarama nokta bulutları Terrascan yazılımı ile blok halinde kaydedilmiş ve nokta bulutları üzerindeki gürültü ya da sıçramalardan kaynaklı hatalı noktalar temizlenmiştir.

Fotogrametrik nokta bulutu NAIP (Ulusal Tarımsal Görüntü Programı) hava fotoğraflarından elde edilmiştir. Ulusal tarımsal görüntü programı ABD'deki tarımsal büyüme mevsimi boyunca havadan görüntüler alır. NAIP görüntüleri, görüntü incelenmesi sırasında kullanılan altı metre fotoğraf ile tanımlanabilir. Yer control noktalarına uyan yatay bir doğrulukla 1m yer örnek uzaklığında (GSD) elde edilir. NAIP hava fotoğraflarından SGM (Semi Global Matching) görüntü eşleştirme yöntemi ile üretilmiş nokta bulutlarıdır. SGM yaklaşımı herbir pikselde yapılan eşleme işleminin tek bir yönden değil de piksele komşu tüm yönlerden yapılmasıdır.



Şekil 4.1 a) Fotogrametride DYM üretim iş akışı b) ALS'de DYM üretim iş akışı



Şekil 4.2 DYM doğruluk analiz işlem adımları.

Dijital yüzey modelinin düşey doğru analizleri farklı ölçütler ile tanımlanabilir. Karesel ortalama hata (KOH) veya yükseklik farklarının karelerinin toplamının standart sapması kullanılarak test edilen referans modeller 4.1 ve 4.2 eşitliklerine göre hesaplanmıştır.

$$RMSE_{\Delta Z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}{n}} \quad (4.1)$$

Denkleminde n piksel sayısıdır. Yükseklik farklarının karelerinin toplamının standart sapması ise;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (4.2)$$

Denkleminde olmak üzere burada μ değeri yükseklik farklarının karelerinin aritmetik ortalamasıdır ve denklem 4.3 ile ifade edilmiştir.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i}{n} \quad (4.3)$$

Çalışmada piksel tabanlı yükseklik farklarının standart sapması (SZ)'na ek olarak normalleştirilmiş medyan mutlak sapması (NMAD) da doğruluk göstergesi olarak kullanılmıştır. NMAD büyük yükseklik farkları belirlemede iyi sonuçlar vermektedir. Küçük aykırı değerler için SZ kadar duyarlı değildir (Hellerstein 2008).

NMAD değeri SZ'den büyük ise yükseklik farklarının anormal dağıldığını gösterir. NMAD değeri (4.4) mutlak medyan sapma (MAD)'nın türevidir.

$$NMAD = 1.4826 \times (MAD) \quad (4.4)$$

MAD değeri (4.5) \tilde{x}_j yükseklik farklarının tek değişkenli veri kümesi medyanı ve \tilde{x}_i ise \tilde{x}_j 'den gelen yükseklik farkları medyanı olmak üzere;

$$MAD = \tilde{x}_i [|\Delta Z_i - \tilde{x}_j(\Delta Z_j)|] \quad (4.5)$$

denkleminde eşit olur.

Çalışmada hem eğimli hem eğimsiz alanlar için ayrı ayrı doğruluk analizleri gerçekleştirildi. Eğimli alanların ayrılmasındaki eşik değer ($<6^\circ$) tercih edilmiştir.

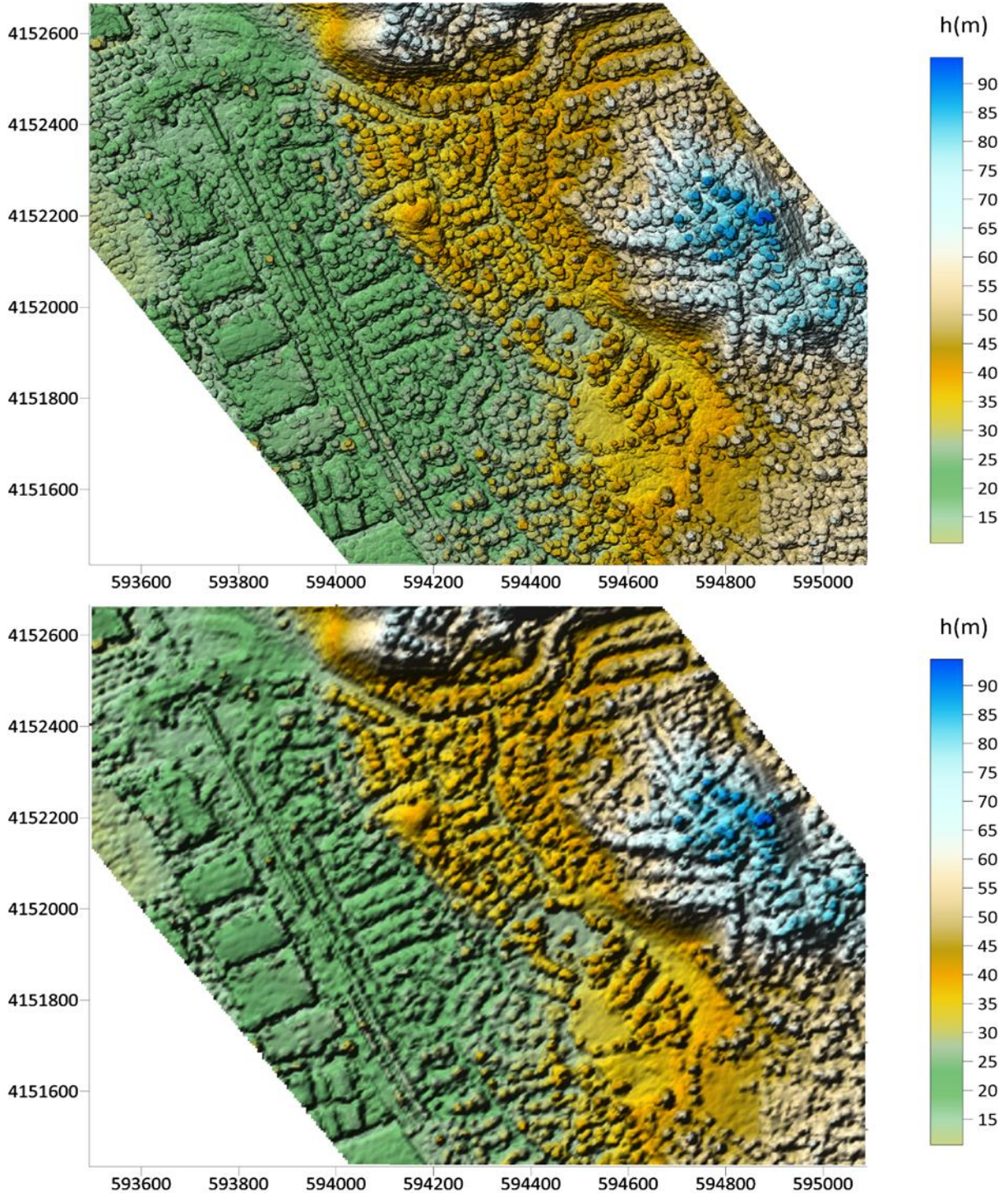


BÖLÜM 5

BULGULAR

Çalışmada ALS nokta bulutu GoogleEarth ortometrik yükseklikleri ile kıyaslanarak 33m düzeyde ötelenmiş ve yükseklikler ortometrik hale getirilmiştir. Öteleme işlemi BLUH yazılımında gerçekleştirilmiştir. Öteleme sonrası kot aralığı 8.90-100.85m olmuştur.

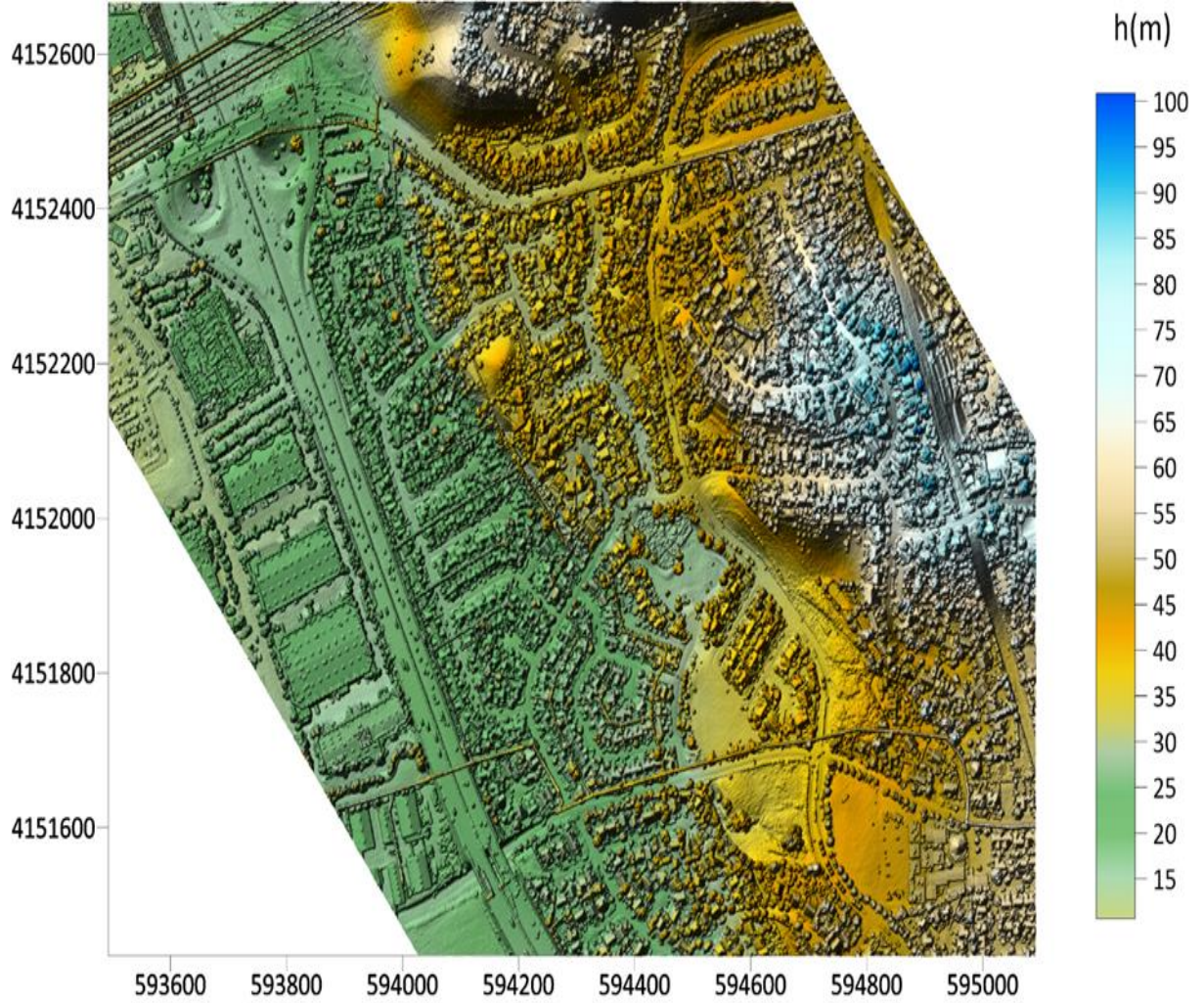
Fotogrametrik nokta bulutunun nokta sıklığı yaklaşık 2m olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, fotogrametrik veriden üretilecek Dijital Yüzey Modelinin (DYM) en uygun grid aralığının 5m olacağı düşünülmüştür. Çünkü, DYM üretiminde temel prensip veri çözünürlüğünün 3-5 katı orjinal grid aralığı kullanmaktır. Aksi halde enterpolasyonun bozucu etkisi nedeniyle DYM kalitesi düşük olarak elde edilecektir. Aşağıdaki şekilde grid aralığının önemini ortaya koymak adına fotogrametrik nokta bulutundan üretilen 1m ve 5m grid aralıklı DYM'ler sunulmuştur.



Şekil 5.1 Fotogrametrik nokta bulutundan üretilen 1m ve 5m grid aralıklı DYM.

Şekilden de açık şekilde görüldüğü gibi 2m nokta bulutu çözünürlüğü olan fotogrametrik veriden 5m gridli DYM üretimi çok daha mantıklıdır. 1m gridli DYM incelendiğinde enterpolasyonun bozucu etkisi açıkça görülmektedir.

ALS DYM'si çok yüksek çözünürlükteki nokta bulutu sayesinde 1m grid aralıklı olarak üretilmiştir.



Şekil 5.2 ALS nokta bulutundan üretilen DYM.

Şekilde de görüldüğü gibi ALS DYM'si trafikte seyreden araçlar dahil mevcut durumu çok daha detaylı ve yüksek çözünürlükte yansıtmaktadır. ALS ve fotogrametrik DYM kalite farkı gözle dahi çok net şekilde ayırt edilebilmektedir.

Düşey uyum analizlerinin yapılabilmesi için temel kural karşılaştırılan DYM'lerin %100 yatay örtüşmesinin sağlanmasıdır. Yatay örtüşmenin sağlanması için fotogrametrik modelin

referans ALS modelle yatay konum farkları X ve Y yönünde alan bazlı çarpaz korelasyon yöntemi ile belirlenmiş ve yatay öteleme işlemi ile giderilmiştir. Çizelge 5.1 fotogrametrik DYM ile ALS DYM'leri arasındaki giderilmiş yatay konum farklarını göstermektedir.

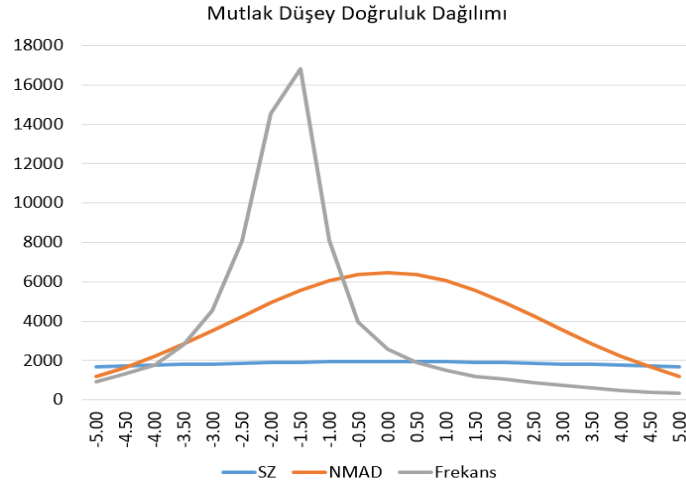
Çizelge 5.1 Fotogrametri ve ALS DYM'leri arasındaki yatay konum farkları.

Referans DYM	Ötelenen DYM	ΔX (m)	ΔY (m)
ALS (1m)	Fotogrametrik (5m)	-0.01	0.01

Çizelge 5.2'de fotogrametrik DYM'nin referans ALS'ye göre mutlak düşey doğruluğu tüm alan ve eğimsiz alan ($<6^\circ$) olmak üzere sunulmaktadır. Çizelgeye göre çalışma alanında, fotogrametrik DYM'nin mutlak düşey doğruluğunun yaklaşık 2m seviyesinde olduğu görülmektedir. Eğimsiz alanlarda ise doğruluk 1m'den daha iyi seviyeye ulaşmaktadır. NMAD değerinin hem tüm alan hem eğimsiz alanlarda standart sapmaya (SZ) nazaran daha iyi sonuç vermesi normal dağılıma işarettir. Yani fotogrametrik DYM'nin anormal bir hata içeren bölgesi bulunmamaktadır. Böyle bir durum olsaydı, NMAD değerinin SZ'den daha kötü seviyede olması gerekirdi bu da Çizelgeyi takip eden Şekil 5.3 mutlak düşey doğruluk dağılımında en az iki tepe (pik) noktası oluşması sonucunu doğururdu.

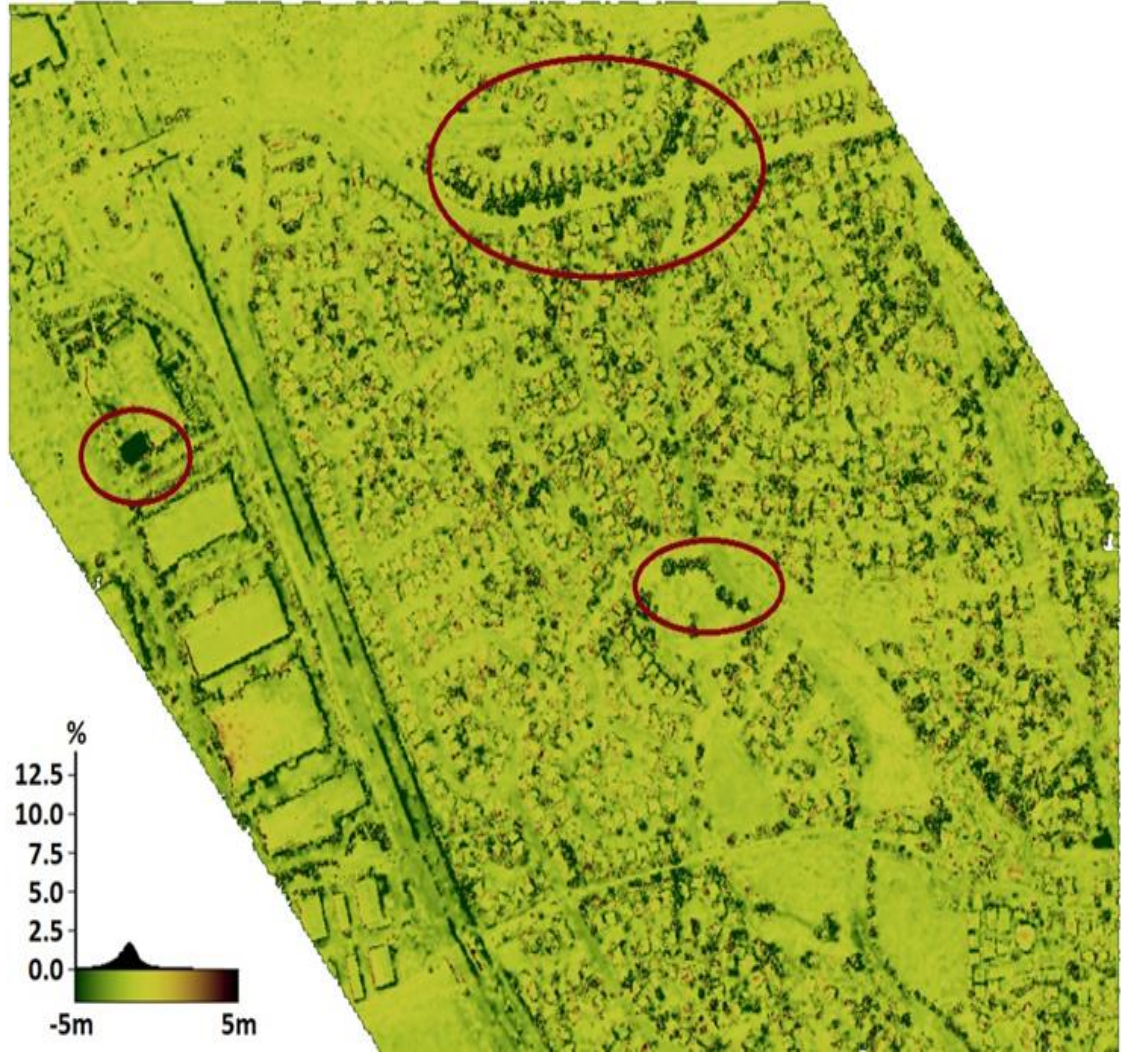
Çizelge 5.2 ALS DYM referansıyla Fotogrametrik DYM'nin mutlak düşey doğruluğu.

Referans DYM	Test edilen DYM	Sistemik Hata (Bias) (m)	SZ (bias elemine) (m)		NMAD (bias elemine) (m)	
			SZ	SZ $\alpha < 6^\circ$	NMAD	NMAD $\alpha < 6^\circ$
ALS (1m) (7285636 nokta)	Fotogrametrik (5m) (382412 nokta)	2.04	1.98	0.91	1.82	0.67



Şekil 5.3 SZ, NMAD ve frekans bazında mutlak düşey doğruluk dağılımı.

Aşağıda sunulan uyum haritası ile ALS ve fotogrametri DYM'leri arasındaki uyum piksel tabanlı olarak görülmektedir. Uyum haritasında özellikle orman alanlarında (Şekil 5.4) uyumun 5m'ler seviyesine kadar düştüğü görülmektedir. Bu durum, fotogrametrinin optik düzenekli (kameralı) hava fotoğraflarının ormanlık alanlardaki problemlerini açıkça ortaya koymaktadır. Çok dönüşlü (multi-return) sistem kullanan ALS DYM'sinin ormanlık bölgelerde çok daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Yerleşim alanlarında, bina detaylarında uyumun daha yüksek seviyelerde olduğu sonucu elde edilmiştir. Çok az sayıda olmakla beraber bazı bölgelerde (örneğin en soldaki daire içinde) 2007-2009 yılları arasında yapılan inşaatlardan kaynaklı farklar gözlenmiştir.



Şekil 5.4 Uyum Haritası.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Hava Kaynaklı Lazer tarama ve dijital fotogrametrik verileri kullanarak yoğun nokta bulutu verileri üretilmiştir. Hava Kaynaklı Lazer Tarama referanslı bir veriyle dijital fotogrametrik yöntemle elde edilen veriler değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin batısında Kaliforniya kentinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada fotogrametrik nokta bulutundan 1 m grid aralıklı ve 5 m grid aralıklı Dijital Yüzey Model (DYM)'ler üretilmiştir. Fakat enterpolasyonun bozucu etkisinden dolayı 1m gridli DYM'ler yerine 5 m grid aralıklı DYM'lerin daha uygun olduğu gözlenmiş ve bunun üzerine 5m grid aralıklı dijital yüzey modelle devam edilmiştir. ALS ve fotogrametrik DYM kalite farkı gözle dahi çok net şekilde ayırt edilebilmektedir. Yatay örtüşmenin sağlanabilmesi için yatayda 1 cm civarında X ve Y de ötelemeler yapılmıştır. Bu sayede fotogrametrik DYM ile ALS DYM'leri arasında yatay konum farkları giderilmiştir. Fotogrametrik DYM'in mutlak düşey doğruluğunun ise 2 m seviyelerinde olduğu görülmüştür. Çalışmada eğimsiz alanlarda ($\leq 6^0$) standart sapma 0.91, tüm alanlarda ise 1.98 bulunmuştur. Her iki dijital yüzey modelinde de NMAD sonuçları SZ'den daha iyi bulunmuştur. Bu durum normal dağılıma işarettir. Kısaca DYM'nin anormal bir hata içermediğini gösterir.

ALS ve Fotogrametri DYM'leri arasındaki uyum haritası özellikle orman bölgelerinde, uyumun 5 m'ler seviyesine kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum çoklu dönüşler (multi-return) veren ALS sisteminin dijital yüzey modellemede ormanlık alanlar için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bina detayları, yerleşim alanları gibi yerlerde uyumun daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- Acar H** (2012) Nokta Belirleme Algoritmaları ile Otomatik Görüntü Eşleştirme. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 38 s.
- Altınışık S** (2012) Airborne Lidar Teknolojisi ile Sayısal Harita Üretimi ve Şırnak Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (3): 16-22.
- Asri İ** (2011) GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametri Sistemi. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 129 s.
- Atak B** (2018) İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Kadastral Harita Üretiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 65 s.
- Atak H** (2018) İnsansız Hava Araçları Kullanarak Ortofoto Harita Üretimi ve Doğruluk Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 67 s.
- Aydar U** (2007) Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, İstanbul, 66 s.
- Badea D and Jacobsen K** (2007) Filtering Process of LiDAR Data. *Cadastral Journal RevCAD'07/2007*, University "1 Decembrie 1918" Alba Iulia, 95-106.
- Badea D and Jacobsen K** (2008) Filtering Process of LiDAR Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 815-820.
- Balenovic I, Gasparovic M, Milas A S, Berta A and Seletkovic A** (2018) Accuracy Assessment of Digital Terrian Models of Lowland Pedunculate Oak Forests Derived From Airborne Laser Scanning and Photogrammetry. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39 (1): 117-128.
- Barrand N E, Murray T, James D T, Barr S L and Mills J P** (2009) Optimizing Photogrammetric DEMs for Glacier Volume Change Assessment Using Laser-Scanning Derived Ground-Control Points. *Journal of Glaciology*, 55 (189): 106-116.
- Baş N** (2016) Lidar Verileri ile SAM Üretiminde Farklı Arazi Türlerine Göre Performans Araştırılması. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 104 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bölme M** (2013) Lidar ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun Kullanabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray, 42 s
- Civelekoğlu B** (2015) Hava Lidar Verilerinin Sınıflandırılması ve Orman Ağaçlarına Ait Özniteliklerin Değerlendirilmesi İstanbul Belgrad Ormanı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 45s.
- Coops N C, Hilker T, Wulder M A, St-Onge B, Newnham G, Siggins A and Trofymow J A** (2007) Estimating canopy structure of Douglas-fir forest stands from discrete-return LiDAR. *Trees Struct. Funct.*, 21: 295-310.
- Çiçekli S Y** (2015) Hava Fotogrametrisinde Otomatik ve Operatör Tarafından Toplanan Sayısal Yükseklik Verilerinin Harita Üretim Doğruluğunun Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 47 s.
- Doğruluk M, Aydın C C ve Yanalak M** (2018) Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi Hava LİDAR Uygulaması; İstanbul Örneği. *Geomatik Dergisi*, 3 (3): 242-253.
- Duran Z** (2003) Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, 159 s.
- Dzur R S** (2015) Semi-Global Matching (SGM) for Wide-Area Urban Change Detection and Building Update Collection. *Bohannon Huston*. 6 April 2015, Las Vegas, NV, 1-2.
- Ergün B** (t.y.) *Lidar Verilerinin İşlenmesi ve Analizi Dersi*, Ders Notu, Gebze Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, 28 s.
- Ergün B ve Altan O M** (2003) Yakın Resim Fotogrametrisinde Endüstriyel Uzman Sistem Uygulaması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 2 (4): 19-24.
- Erişir Z** (2015) Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi ile Lidar Verilerinin Sınıflandırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılamalı ve CBS Programı, İstanbul, 124 s.
- Gençerk E Y** (2016) İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması ile İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, İstanbul, 101 s.
- Gezmiş Ö** (2017) Yersel Ölçüm ve Fotogrametrik Alım Yöntemi ile Yapılan Halihazır Haritaların Kıyaslanması. *Uzmanlık Tezi*, İller Bankası Anonim Şirketi, 117 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gehrke S, Morin K, Downey M, Boehrer N and Fuchs T** (2012) Semi-Global Matching: An Alternative to LIDAR for DSM Generation?. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*, 6 pgs.
- Gobakken T, Bollandsas O M and Naesset E** (2015) Comparing Biophysical Forest Characteristics Estimated From Photogrammetric Matching of Aerial Images and Airborne Laser Scanning Data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30 (1): 73-86.
- Gümüş K, Erkaya H ve Tunaloğlu N** (2009) Yersel lazer tarama verilerinde çevresel ve objesel nedenlerden kaynaklanan hatalar. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs 2009, Ankara, 1-6.
- Güner S** (2013) Hareketli platformlarda fotogrametrik hacim hesabı üzerine bir çalışma. *Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane, 53 s.
- Hellerstein J M** (2008) Quantitative Data Cleaning for Large Databases. *Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*, 27 February 2008, University of California, EECS Computer Science Division, Berkeley, 42 pgs.
- Hirschmueller H** (2011) Semi-Global Matching – motivation, developments and applications, *Photogrammetric Week 11, Fritsch, D. (ed)*, Germany, 173-184.
- Höhle J and Höhle M** (2009) Accuracy Assessment of Digital Elevation Models by Means of Robust Statistical Methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64: 398-406.
- Kangas A, Gobakken T, Puliti S, Hauglin M and Naesset E** (2018) Value of Airborne Laser Scanning and Digital Aerial Photogrammetry Data in Forest Decision Making. *The Finnish Society of Forest Science*, 52 (1): 19 pgs.
- Karalar F, Uysal M, Varlık A ve Can Z C** (2010) Alana Dayalı Görüntü Eşleme Metotları İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (2): 12-22.
- Karami E, Prasad S and Shehata M** (2015) Image Matching Using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: Performance Comparison for Distorted Image. *Newfoundland Electrical and Computer Engineering Conference*, November 2015, Canada, 5 p.
- Karşlı F** (2016) *Fotogrametri II*, Ders Notu, Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü.
- Katzenbeisser R** (2003) Technical note on: Echo detection. TopoSys GmbH, Germany.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kenner R, Bühler Y, Delaloye R, Ginzler C AND Phillips M** (2014) Monttoring of High Alpine Mass Movements Cambining Laser Scanning with Digital Airborne Photogrammetry. *Geomorphology*, 206: 492-504.
- Koch B, Heyder U and Weinacker H** (2006) Detection of individual tree crowns in airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72 (4): 357-363.
- Külür S** (2011) “*JDF331, Fotogrametri I*”, Ders Notu, İstanbul, Türkiye.
- Lindenberger J** (1989) Test Results of Laser Profiling For Topographic Terrain Survey. *Photogrammetric Week '89*, Special Publications of the Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart, 33: 25-39.
- Liu J, Shen J, Zhao R and Xu S** (2011) Extraction of individual tree crowns from airborne LİDAR data in human settlements. *Mathematical and Computer Modelling*, 58 (3-4): 524-535.
- Marangoz A M** (2016) *Fotogrametri II; Fotogrametrik Değerlendirme-Çift Fotoğraf Değerlendirmesi-Analog ve Analitik Stereodeğerlendirme*, Ders Notu, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 46s.
- Masini N, Coluzzi R and Lasaponara R** (2011) On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: from Site Identification to Landscape Investigation, *Laser Scanning, Theory and Applications*, Prof. Chau-Chang Wang (Ed.), ISBN: 978-953-307-205-0, InTech, e-book, 263-290.
- Matikainen L, Hyypä J and Kaartinen H** (2009). Comparison between first pulse and last pulse laser scanner data in the automatic detection of buildings. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75 (2): 133-146.
- Odabaş T** (2018) Hava Lidar Verilerinden Rezervuar Alanının Otomatik Çıkarımı: Kestel Barajı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 96 s.
- Polat N ve Uysal M** (2016) Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 679-692.
- Reshetyuk Y** (2006) Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners. *Licentiate thesis in Geodesy*, Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy, 152 pgs.
- Risbøl O, Briese C, Doneus M and Nesbakken A** (2015) Monitoring Cultural Heritage by Comparing DEMs Derived From Historical Aerial Photographs and Airborne Laser Scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 16: 202-209.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Schenk T and Csatho B** (2002) Fusion of LiDAR Data and Aerial Imagery for A More Complete Surface Description. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(3A): 310-317.
- Sefercik U, Glennie C ve Ateşoğlu A** (2015) Hava Kaynaklı Lazer Tarama Nokta Bulutları Kullanılarak 3B Meşcere Yükseklik Haritası Üretimi, Houston Örneği, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015, Konya, Türkiye, 89-94.
- Sefercik U, Glennie C, Singhania A and Hauser D** (2016) Hava Kaynaklı Lazer Taramanın Topoğrafik Tasvir Potansiyeli: Houston Örneği, 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 139-145.
- Shan J, Sampath A** (2005) Urban DEM Generation From Raw Lidar Data: A Labeling Algorithm and its Performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71 (2): 217-226.
- Sithole G and Vosselman G** (2005) Filtering of Airborne Laser Scanner Data Based on Segmented Point Clouds. *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*, 12-14 September 2005, Enschede, the Netherlands, 6 pgs.
- Şehsuvaroğlu M S, Eker O, Erdoğan M ve Yıldız F** (2014) Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Fotogrametri mi, LİDAR mı? *Harita Dergisi*, 151: 10 s.
- Tompalskt P, Coopes N, Marshall P, White J, Wulder M and Bailey T** (2018) Combining Multi-Date Airborne Laser Scanning and Digital Aerial Photogrammetric Date for Forest Growth and Yield Modelling. *Remote Sensing*, 10 (2): 347-368.
- Ullah S, Adler P, Dees M, Datta P, Weinacker H and Koch B** (2017) Comparing İmage-Based Point Clouds and Airborne Laser Scanning Date for Estimating Forest Heights. *Forest - Biogeosciences and Forestry*, 10 (1): 273-280.
- URL-1** <<http://www.serenti.org/fotografın-tarihcesi/>>, Ziyaret Tarihi: 11.09.2019.
- URL-2**<https://docplayer.biz.tr/1939862-2-fotogrametri-2-1-fotogrametrinin_siniflandırılması-fotogrametri-genel-olarak-asagidaki-sekilde-siniflandırılır.html>, Ziyaret Tarihi: 29.11.2019.
- URL-3** <<https://pdf.directindustry.com/pdf/optech/gemini/25132-387475.html>>, Ziyaret Tarihi: 01.12.2019.
- Uzar Dinlemek M** (2012) Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Kullanım Olanaklarının Analizi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 152 s.
- Uzar M ve Yastıklı N** (2011) LiDAR ve hava fotoğraflarının füzyonu ile otomatik bina çıkarımı. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 18-22 Nisan 2011, Ankara, 8 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Volkan E** (2018) Hava Kaynaklı Lazer Tarama Verilerinden Orman Meşcere Yükseklik Haritası Üretimi ve Potansiyel Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, Zonguldak, 59 s.
- Weih R C and Riggan N D** (2010) Object-Based Classification vs. Pixel-Based Classification: Comparative Importance of Multi-Resolution Imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6 pgs.
- White J C, Tompalski P, Coops C N and Wulder A M** (2018) Comparison of Airborne Laser Scanning and Digital Stereo İmagery for Characterizing Forest. *Remote Sensing of Enviroment*, 208: 1-14.
- Yastıklı N** (2010) *Fotogrametrinin Temelleri*, Lisans Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Ana Bilim Dalı, İstanbul, 61 s.
- Yastıklı N ve Çetin Z** (2016) Hava Lidar Verileri ile 3B Bina Modellerinin Otomatik Üretimi. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, 152-159.
- Yastıklı N ve Esirtgen F** (2011) Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme ve Doğruluk Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 18-22 Nisan 2011, Ankara, 8 s.
- Yastıklı N ve Bayraktar H** (2014) Yoğun görüntü eşleştirme algoritmaları ile yüksek çözünürlüklü sayısal yüzey modeli üretimi. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul, 9 s.
- Yaşayan A, Uysal M, Varlık A ve Avdan U** (2011) *Fotogrametri (1)*. 1. Baskı, ISBN: 978-975-06-0969-5, Anadolu Üniversitesi Web-Ofset, Eskişehir, 182 s.
- Yıldız F** (2010) Dijital (Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi. *Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı*, İstanbul.
- Yılmaz M ve Uysal M** (2015) Hava LİDAR Nokta bulutunun Sayısal Yükseklik Modeli Doğruluğuna Etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3): 15-20.
- Yılmaz M ve Yakar M** (2006) LİDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 23-33.
- Zhang Z, Liu, X, Peterson J and Wright W** (2011) Statistical analysis of airborne LiDAR data for forest classification in the Strzelecki Ranges, Victoria, Australia. *19th International Congress on Modelling and Simulation*, 12-16 December 2011, Australia, 1937-1943.

ÖZGEÇMİŞ

Melike ÇATALBAŞ, 1993 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2012 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrenimine başladı.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: melike.koc93@outlook.com