

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İHA VERİLERİ TEMELİNDE AGISOFT, CONTEXT CAPTURE VE PIX4D
GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ 3B KONUM DOĞRULUĞU
ANALİZİ

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UMUT ÇAĞLAYAN

OCAK 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İHA VERİLERİ TEMELİNDE AGISOFT, CONTEXT CAPTURE VE PIX4D
GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ 3B KONUM DOĞRULUĞU
ANALİZİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut ÇAĞLAYAN

DANIŞMAN: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

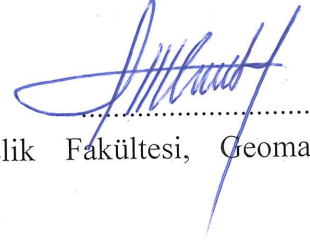
ZONGULDAK
Ocak 2020

KABUL:

Umut ÇAĞLAYAN tarafından hazırlanan “İHA Verileri Temelinde Agisoft, Context Capture ve Pix4D Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının 3B Konum Doğruluğu Analizi” 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



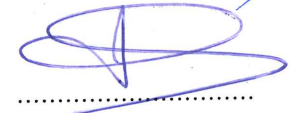
Üye: Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

**ONAY:**

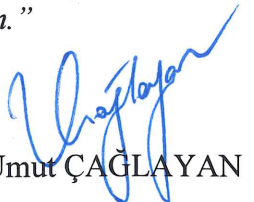
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../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.”


Umut ÇAĞLAYAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İHA VERİLERİ TEMELİNDE AGISOFT, CONTEXT CAPTURE ve PIX4D GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ 3B KONUM DOĞRULUĞU ANALİZİ

Umut ÇAĞLAYAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Ocak 2020, 79 sayfa

Haritacılık disiplininde, geleneksel fotogrametri ve hava kaynaklı lazer taramaya ek olarak, yeni bir hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojisi olan insansız hava aracı (İHA) son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. İHA verileri, düşük maliyetli, hızlı, periyodik ve kolay elde edilip işlenebilmeleri sayesinde yüksek ölçüde talep görmeye başlamışlardır. Kamera bileşenli optik sistemler en çok kullanılan İHA tipleri olup, bu sistemlerden elde edilen yoğun nokta bulutları piyasaya hakim olmuş ve farklı parametreler kullanan birkaç paket yazılım ile işlenmekte ve sonuç 3B modeller üretilmektedir.

Ancak burada temel bir problem ortaya çıkmaktadır. Hangi paket programın 3B modelleri daha gerçekçi yani gerçeğe en yakındır? Gerçekleştirilecek bu tez çalışması ile çok güncel olan bu sorunun yanıtları aranacak ve ulaşılan sonuçlar ışığında öneriler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: İHA, Agisoft, ContextCapture, Pix4D, SFM, Fotogrametri

Bilim Kodu: 616.02.00, 616.02.04



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

UAV DATA BASED AGISOFT, CONTEXT CAPTURE AND PIX4D IMAGE MATCHING SOFTWARES' 3D ACCURACY ANALYSIS

Umut ÇAĞLAYAN

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

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Umut Güneş SEFERCİK

January 2020, 79 pages

In addition to traditional photogrammetry and airborne laser scanning, a brand new air based remote sensing technology which is unmanned aerial vehicle (UAV) becomes very popular recently in discipline of geomatics. Because of relatively its low cost, fastly periodically and easily collecting and processing quickly UAV datas getting in charged massively. The type of UAV which is including digital camera is mostly using type and dense point clouds which is generating from these composition have dominated their place in market and these datas can processing with a few software that using some different parameters. Thus 3D models can be produced.

However, here is a very popular problem appear. Which software's 3D models are more realistic or closer to reality? In this study, the answer will be investigated and make suggestions through results.

Keywords: UAV, Agisoft, ContextCapture, Pix4D, SFM, Photogrammetry

Science Code: 616.02.00, 616.02.04



TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bana her türlü destek ve yardımını sunan, tüm donanım, bilgi ve tecrübeleri ile beni ve çalışmalarımı yönlendiren, mesleğimde bana yeni bir ufuk çizgisi gösteren Sayın Hocam Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK'e,

Literatür çalışmalarım sırasında Bartın Üniversitesi kütüphanesinin kaynaklarından faydalanmama olanak sağlayan Sayın Hocam Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU'na,

Yine lisansüstü eğitimim ve tez çalışması süreci boyunca benden desteklerini esirgemeyen, yüksek lisans çalışmalarımın başlangıcından bu yana sağladığı akademik katkı ve gösterdiği büyüklükten ötürü Sayın Hocam Arş. Gör. Can ATALAY'a,

Ayrıca süreç boyunca bana çeşitli şekilde destekte bulunan isimlerini saymadığım tüm sevenlerime en içten teşekkürlerimi saygı ve minnet ile bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR	3
2.1 HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA	3
2.1.1 Hava Kaynaklı Lazer Tarama Uygulama Alanları.....	5
2.1.1.1 Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).....	5
2.1.1.2 Sınıflandırma ve Detay Çıkarımı	7
2.1.1.3 Bitki ve Orman Haritalama Olanakları.....	8
2.1.1.4 Diğer Kullanım Alanları.....	9
2.1.2 Sistemdeki Hata Kaynakları	10
2.2 UZAY KAYNAKLI OPTİK ALGILAMA	11
2.2.1 Çözünürlük Kavramı	11
2.2.1.1 Mekansal Çözünürlük	11
2.2.1.2 Radyometrik Çözünürlük	12
2.2.1.3 Spektral Çözünürlük.....	13
2.2.1.4 Zamansal Çözünürlük	15
2.2.2 Tarama Sistemleri	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.2.1 İze Dik Tarama.....	16
2.2.2.2 İz Yönünde Tarama.....	17
2.2.3 Optik Algılamamanın Kullanım Alanları ve Özellikleri.....	17
2.3 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR	18
2.3.1 Yapay Açıklıklı Radar Elde Edilmesi	19
2.3.2 Çözünürlük Kavramı	20
2.3.2.1 Menzil (İze Dik) Çözünürlük	20
2.3.2.2 Azimut (İz Boyunca) Çözünürlük	21
2.3.3 SAR Görüntülerinin Geometrik Özellikleri	21
2.3.3.1 Kısaltım Bozulması	22
2.3.3.2 Örtüşme Bozulması	22
2.3.3.3 Gölge Bozukluğu.....	23
2.3.4 SAR Sisteminin Özellikleri	23
2.3.5 SAR Veri Toplama Teknikleri	25
2.3.5.1 Şerit Haritalama Modu	25
2.3.5.2 SpotLight Modu	25
2.3.5.3 Tarama Modu	26
2.3.5.4 İnterferometrik SAR.....	26
2.3.5.5 Polarimetrik SAR	27
2.4 FOTOGRAMETRİ.....	28
2.4.1.1 Grafik (Plançete) Fotogrametrisi.....	29
2.4.1.2 Analog Fotogrametri	29
2.4.1.3 Analitik Fotogrametri	29
2.4.1.4 Sayısal (Dijital) Fotogrametri.....	30
2.4.2 Fotogrametri Geometrisi	30
2.4.2.1 İç Yönelme	30
2.4.2.2 Dış Yönelme.....	31
2.4.5. Fotogrametri Tekniği Özellikleri ve Kullanım Alanları	32
2.5 İNSANSIZ HAVA ARACI.....	33
2.5.1. İHA Sınıflandırması ve Özellikleri	34
2.5.2 İHA Sistemlerinde Standartlaşma	35

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.5.3 Veri Toplama ve İşleme	36
2.5.4 Görüntü Eşleme Metodları	37
2.5.4.1 Alan Tabanlı Görüntü Eşleme	38
2.5.4.2 Nesne-Detay (Öznitelik) Tabanlı Görüntü Eşleme	39
2.5.4.3 İlişkisel (Sembolik) Görüntü Eşleme	39
2.5.5 İHA Sistemlerinin Kullanım Alanları	39
2.5.6 Optik İHA Sistemleri ile Birlikte Kullanılan Yazılımlar	40
2.5.6.1 Agisoft PhotoScan (v1.3.2)	42
2.5.6.2 Context Capture (CC v1.4).....	44
2.5.6.3 Pix4D (v2.3)	45
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
3.1 ÇALIŞMA ALANI.....	47
3.2 MATERYALLER	48
3.3 METODOLOJİ.....	51
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
4.1 NOKTA BULUTU SAYISAL DEĞERLERİ	59
4.2 NOKTA BULUTLARI.....	59
4.3 DYM ÜRETİMİ	60
4.4 YATAY DÜZLEMDE MUTLAK DOĞRULUK ANALİZİ	61
4.5 DÜŞEY DÜZLEMDE MUTLAK DOĞRULUK ANALİZİ.....	62
4.6 DÜŞEY DÜZLEMDE RÖLATİF DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ.....	63
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 ALS Sisteminin Genel Yapısı	3
Şekil 2.2 Çoklu algılama sistemlerinden elde edilmiş görüntü ve nokta bulutu örneği.....	4
Şekil 2.3 SAM örneği.....	6
Şekil 2.4 SYM örneği.....	6
Şekil 2.5 Çeşitli sınıflara ayrılmış ALS verisi örneği	7
Şekil 2.6 3B konum verisi ve yoğunluk verisinin eklenmesi ile oluşan farkın gösterimi.....	8
Şekil 2.7 ALS tekniği ile orman taraması	9
Şekil 2.8 Farklı konumsal çözünürlükteki uydu görüntüleri.....	12
Şekil 2.9 Aynı bölgenin farklı radyometrik çözünürlükteki uydu görüntüleri	12
Şekil 2.10 Çoklu bantlardan oluşmuş bir görüntünün piksel değerleri örneği.....	14
Şekil 2.11 Quickbird uydusunun farklı bantlardaki görüntüleri	14
Şekil 2.12 Bir görüntüdeki farklı spektral bantların gösterim örneği	15
Şekil 2.13 Fukushima Daiichi Nükleer Santrali 2009 GeoEye-I ve 2011 IKONOS uydu görüntüleri.....	15
Şekil 2.14 Across-track tipi tarayıcı.....	16
Şekil 2.15 Along-track tipi tarayıcı.....	17
Şekil 2.16 Radar sisteminde enerji iletimi	19
Şekil 2.17 SAR sistem geometrisi.....	19
Şekil 2.18 Yapay açıklık gösterimi	20
Şekil 2.19 Optik ve SAR Görüntü Algılama Geometrisi	21
Şekil 2.20 Kısaltım Bozulması.....	22
Şekil 2.21 Ters görüntüleme bozulması.....	22
Şekil 2.22 Gölge bozukluğu	23
Şekil 2.23 Farklı bantlara ait farklı dalga boylarının nesne üzerine etkisi	24
Şekil 2.24 StripMap modu	25
Şekil 2.25 Spotlight Modu	25
Şekil 2.26 ScanSAR Modu.....	26
Şekil 2.27 InSAR sistemi	27
Şekil 2.28 Farklı polarizasyonlu L band SIR-C/X-SAR görüntüleri.....	28
Şekil 2.29 Fotogrametrik veri toplama örneği.....	28
Şekil 2.30 Fotogrametrik tekniklerin tarihsel süreci.....	29
Şekil 2.31 Fotogrametrinin matematiksel modeli	30
Şekil 2.32 P noktasına ilişkin koplanairete koşulu.....	32
Şekil 2.33 Benzerlik dönüşümü grafiği.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Çalışma alanına ait hava fotoğrafı.	47
Şekil 3.2 DJI Phantom 4.....	48
Şekil 3.3 Faro Focus3D X330 Lazer Tarayıcı.....	49
Şekil 3.4 SATLAB SL600 GNSS Alıcısı.....	50
Şekil 3.5 İş akış diyagramı.	52
Şekil 3.6 Tesis edilen YKN'ler.....	53
Şekil 3.7 GNSS alıcısı ile YKN ölçümü.	54
Şekil 3.8 Hazırlanan uçuş planı.....	54
Şekil 4.1 Nokta bulutlarının gösterimi.	60
Şekil 4.2 Referans DYM ve farklı nokta bulutlarından üretilen DYM'ler.....	61
Şekil 4.3 Mutlak düşey doğruluk hata dağılım grafikleri.....	63
Şekil 4.4 1 m Yükseklik Hata Aralığı Yükseklik Hata Haritaları.....	65
Şekil 4.5 0.5 m Yükseklik Hata Aralığı Yükseklik Hata Haritaları.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 DJI Phantom 4 Teknik Özellikleri.	48
Çizelge 3.2 Faro Focus3D X330 Teknik Özellikleri.....	49
Çizelge 3.3 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısının Özellikleri	50
Çizelge 4.1 Nokta bulutlarına ait nokta sayıları.	59
Çizelge 4.2 DYM'ler arası yatay konum farklılık değerleri.	62
Çizelge 4.3 DYM'lerin düşey konum doğruluk değerlendirmesi.....	62
Çizelge 4.4 Yazılımların karşılaştırmalı rölatif doğruluk değerleri.	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

σ	: Sigma
Σ	: Toplam İşlem Sembolü
Δ	: Delta
ΔZ	: Yükseklik Farkı
μ	: Aritmetik Ortalama
n	: Karşılaştırma Noktası
\bar{x}	: Medyan

KISALTMALAR

2B	: 2 Boyut
3B	: 3 Boyut
AFOV	: Angular Field of View
ALS	: Airborne Laser Scanning
AR-GE	: Araştırma - Geliştirme
BLUH	: Bundle Block Adjustment Universtiy of Hannover
CCD	: Charge Coupled Device
DEMANAL	: DEM Analyse
DEMSHIFT	: DEM Shifting
DYM	: Dijital Yüzey Modeli
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HKLT	: Hava Kaynaklı Lazer Tarama
IFOV	: Instantaneous Field of View
IMU	: Inertial Measurement Unit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

INSAR	: İnterferometrik SAR
ITRF96	: International Terrestrial Reference Frame 96
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MAD	: Mean Absolute Deviation
MVS	: Multi View Stereo
NIR	: Near Infrared
NMAD	: Normalised Mean Absolute Deviation
POLSAR	: Polarimetrik SAR
PRF	: Pulse Repetition Frequency
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RGB	: Red Green Blue
RMSE	: Root Mean Square Error
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAR	: Synthetic Aperture Radar
SFM	: Structure From Motion
SGM	: Semi Global Matching
SHT	: Sivil Havacılık Talimatı
SIFT	: Scale Invariant Feature Transform
SURF	: Speeded-Up Robust Features
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SZ	: Standart Z Dağılımı
TLS	: Terrestrial Laser Scanning
UTM	: Universal Transverse Mercator
YAR	: Yapay Açıklıklı Radar
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YLT	: Yersel Lazer Tarama

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son dönemlerde İnsansız Hava Aracı (İHA) ve İHA sistemleri geleneksel uzaktan algılama yöntemleri için tamamlayıcı ve rekabetçi bir teknik olarak literatürde kendisine yer bulmuştur. Kıyasla yeni bir algılama yöntemi olmasına karşın son dönemlerde yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte de yüksek bir ivme kazanmıştır.

Özellikle geleneksel tekniklere karşın günümüz donanım ve yazılımları ile azami fayda sağlayarak kullanılabilir yoğun veri setlerini oluşturabilmek adına yeni bir trend oluşturmuştur. Nitekim kamera bileşenli optik sistemler en çok kullanılan insansız hava aracı tipi haline gelmiştir. Böylece günümüz görüntü eşleme ve yoğun nokta bulutu işleme yazılımlarından da faydalanarak kamera bileşenli optik insansız hava araçlarından elde edilen veri setleri kullanılarak yoğun nokta bulutu oluşturulmakta, haritalama ve sanal modelleme gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Algılama teknolojilerinde yaşanan son gelişmelerin de katkısıyla algılama platformunu oluşturan algılayıcı bileşenlerin ve kompozisyonlarının günümüzde çok farklı yapı ve kapasitelere ulaşması ile veri toplama, değerlendirme ve anlamlandırma adına ciddi adımlar atılmıştır.

Optik İHA'lar aracılığıyla elde edilen görüntüler paket yazılımlardan da faydalanılarak sıklıkla sanal senaryolar ve üç boyutlu modeller oluşturmak için kullanılmaktadır. Ancak paket yazılımların tamamı kendi içlerine gömülü parametreleri ve algoritmaları kullanarak yarı veya tam otomatik işlemler ile sonuç ürünlere ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Bu durumda da kullanıcı proses sürecinin dışında kalabilmekte, elde ettiği ürününün, özellikle de üç boyutlu bilgi içeriğine sahip modellerin kalite, doğruluk ve hassasiyet değerleri konusunda değerlendirme analizleri yapmadığı müddetçe de kesin bir bilgi sahibi olamamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma ile kendine özgü parametreler kullanan çeşitli paket programların sonuç

ürünlerinin karşılaştırmalı üç boyutlu konum doğruluğu analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. Görüntü eşleştirme ve yoğun nokta bulutu işleme yazılımları kullanılarak elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu ürünler farklı amaçlar doğrultusunda çeşitli disiplinlerce kullanılmaktadır. Bu hususta da özellikle yazılımlardan elde edilebilecek üç boyutlu modellerin içerdiği konum doğruluğunun ve model başarısının analizi söz konusu olacaktır. Son yıllarda birçok paket programın piyasaya sürülmesi ve kullanıma başlanmasıyla birlikte, veri toplama, yazılım, proses ve kullanıcıya ait parametreler de işlem sürecinin içerisine yoğun şekilde katılmış durumdadır ve bu parametrelerin doğru şekilde analizi ve değerlendirilmesi de son derece önemlidir.

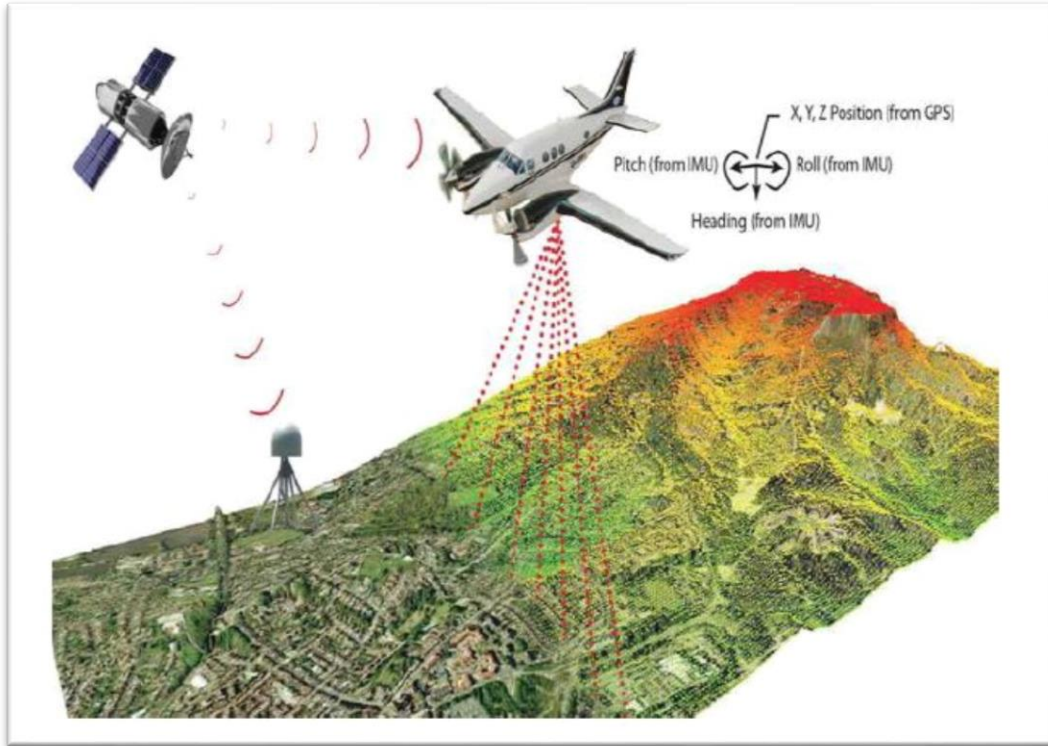
Temel olarak bu çalışmada Optik-İHA bileşeninden elde edilen hava fotoğraflarından, görüntü eşleştirme işlemleri ve yoğun nokta bulutu üretimi Agisoft, ContextCapture ve Pix4D isimli paket yazılımlar ile üretilecek ve sonuç ürünler üzerinden diferansiyel modeller karşılaştırılacak, yazılıma bağlı model kaliteleri irdelenecek, yersel lazer tarama - YLT (Terrestrial Laser Scanning - TLS) tekniği ile elde edilen referans veri seti ile karşılaştırmalı konum doğruluk analizleri yapılacak ve sonuç ürünler üzerinden tartışmalarda bulunulacaktır. Çalışma belirlenen hedefler doğrultusunda beş bölümden oluşacak şekilde gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde, uzaktan algılamada kullanılan teknikler ve İnsansız Hava Aracı konuları üzerinde durulmuş ve literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma alanı ve çalışmada kullanılan teçhizatların özellikleriyle birlikte metodoloji detaylı şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, tamamlanan prosesler sonucu elde edilen modellerin irdelenmesi ve değerlendirilmesi ile bulgular ve tartışmalar gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen değerler sonucu çalışma sonuçlandırılmış ve öneriler belirtilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

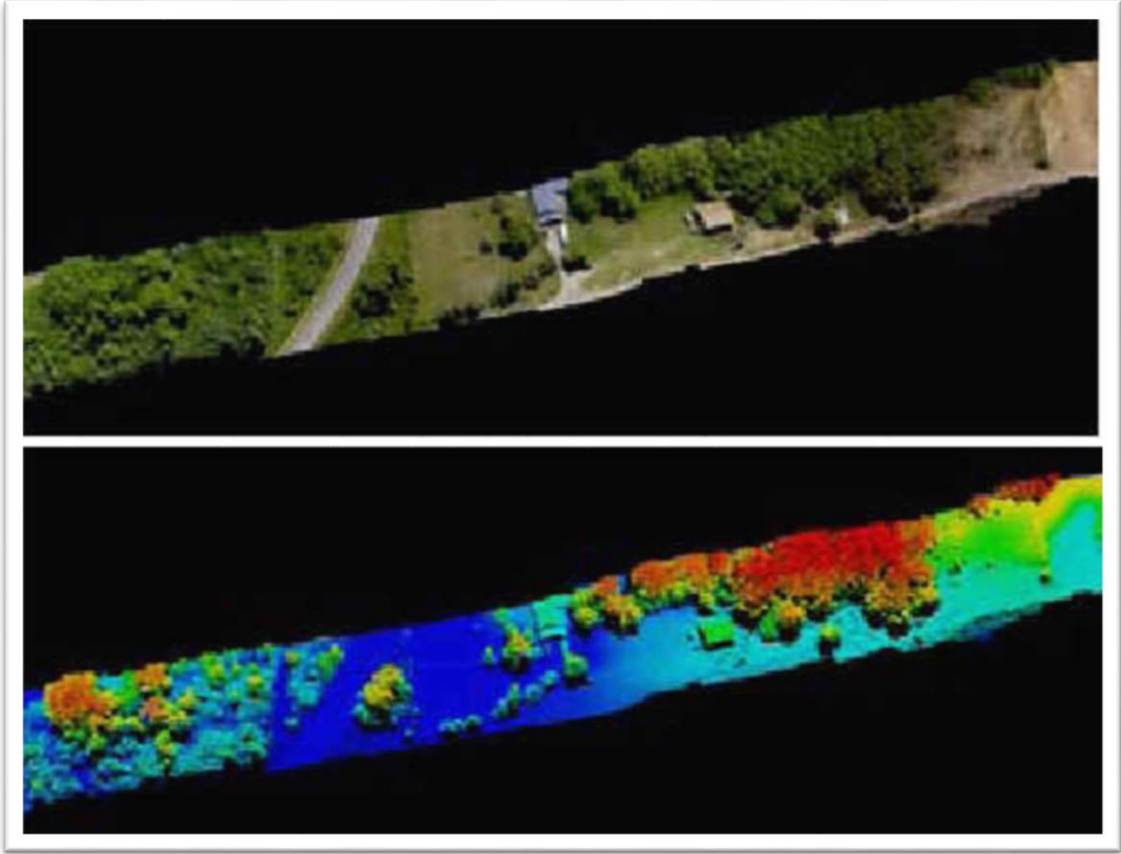
2.1 HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA

Hava Kaynaklı Lazer Tarama tekniği - HKLT (Airborne Laser Scanning - ALS), lazer enerjisi kullanılarak veri elde etme gereksinimleri doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Global Positioning System (GPS), Inertial Measurement Unit (IMU) ve lazer tarayıcı bileşenlerinin kompozisyonundan oluşan sistem üç boyutlu (3B) veri toplamada kullanılır. ALS sistemi taşıma ve pilotaj kabiliyeti bulunan herhangi bir hava aracı platformu üzerinde opere edilebilir. *Helikopter veya uçak gibi hava araçları içerisine yerleştirilen bu veri toplama sistemi, haritalanacak alanın üzerinde istenilen sıklık ve yoğunlukta uçuş yaparak, yüzeye ait üç boyutlu konum verisini toplamaktadır* (Tunalıoğlu ve Soycan 2011).



Şekil 2.1 ALS Sisteminin Genel Yapısı (Polat ve Uysal 2016).

Uçak, helikopter vb. bir hava aracının altına monte edilen tarayıcı, lazer ışınının yol ve gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı (sensör) arasındaki mesafeyi hesaplar (Yılmaz ve Uysal 2015). Sistem dahilinde bulunan GPS ve IMU sistemlerinden alınan konum ve dönüklük verisi ile beraber taranan objeye ait konum değerleri hesaplanır. Bu şekilde yeryüzüne anlık binlerce lazer ışını gönderebilen sistem, fiziksel yeryüzüne ait yüksek yoğunluklu ve referanslandırılmış üç boyutlu (3B) veri doğrudan elde edilmektedir (Polat ve Uysal 2016). Burada, referanslandırma terimi sayısal bir görüntünün geometrik düzeltilmesinin yapılması ve bir projeksiyon sistemine oturtulması anlamında kullanılmaktadır (Çelik vd. 2014). Bu işlemler silsilesi sonucunda yeryüzü ve içerisindeki objelere ait ve diğer rekabetçi uzaktan algılama teknikleri ile doğrudan üretilmeyecek olan nokta bulutu kümesi elde edilmiş olur.



Şekil 2.2 Çoklu algılama sistemlerinden elde edilmiş görüntü ve nokta bulutu örneği (Dinlemek 2012).

Hava kaynaklı lazer tarama sistemleri lazer ışınlarını elektro manyetik dalgalar halinde göndererek veri sağlayan bir sistemdir. Dolayısıyla ALS sistemi içerisindeki bileşenlerin aktif çalışan sistemler olması, ALS sisteminin teorik olarak her mevsimde ve günün herhangi bir

saatinde kullanım imkanının olmasını ve gece gündüz farkı gibi dış etkenlerden bağımsız olmasını ifade etmektedir. Bu şekilde veri toplama aşamasında hava koşullarından daha düşük seviyede etkilenmesi sistemin avantajları arasında yer almaktadır (Doğruluk vd. 2018). Fakat sistemin üzerine kurulu bulunduğu platformun uçuş ve taşıma kabiliyetinin hava ve çevre koşullarından etkilenme derecesi uçuş planlamasını doğrudan etkilemektedir.

2.1.1 Hava Kaynaklı Lazer Tarama Uygulama Alanları

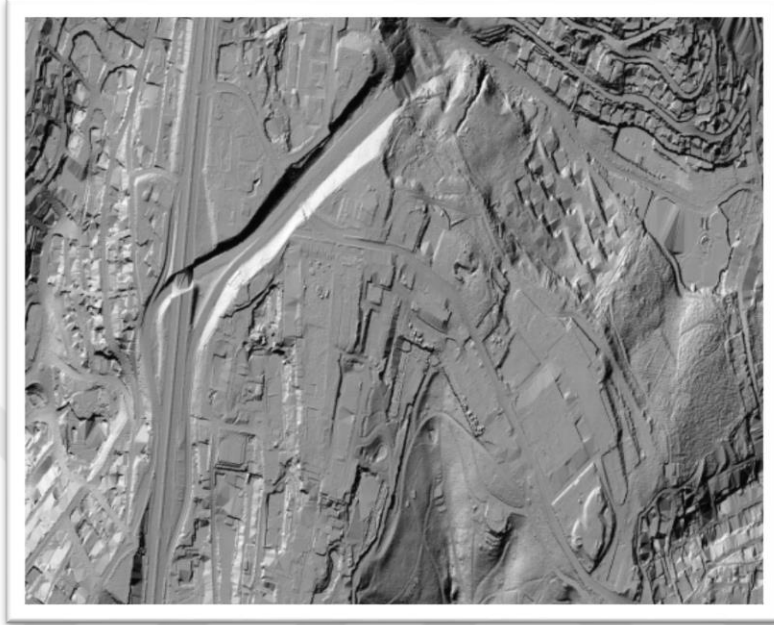
Askeri, bilimsel, mühendislik ve ticari amaçlar doğrultusunda ALS tarama verilerine dayalı bir şekilde birçok yeni bilgi üretilmesi mümkündür. Bu sayede elde edilecek ürünler de diğer pek çok farklı disiplinlere hizmet edecek bilgi kaynağı kullanılabilir. Özellikle ALS tekniği ile elde edilen veri setlerinin üç boyutlu konum bilgilerine sahip olmaları, yoğun ve doğrudan dijital ortamda elde edilebilir olması sistemi çeşitli branşlarca tercih sebebi haline getirmiştir. Uçuş öncesi bir takım yasal izinler alınması gerekirken buna karşın ölçüm işlemlerinin kısıtlandığı, risk içeren ve ulaşımın zor olduğu bölgelere veriye erişim kolaylığı sağlaması ALS tekniğini öne çıkarmaktadır (Ekercin ve Üstün 2004).

2.1.1.1 Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

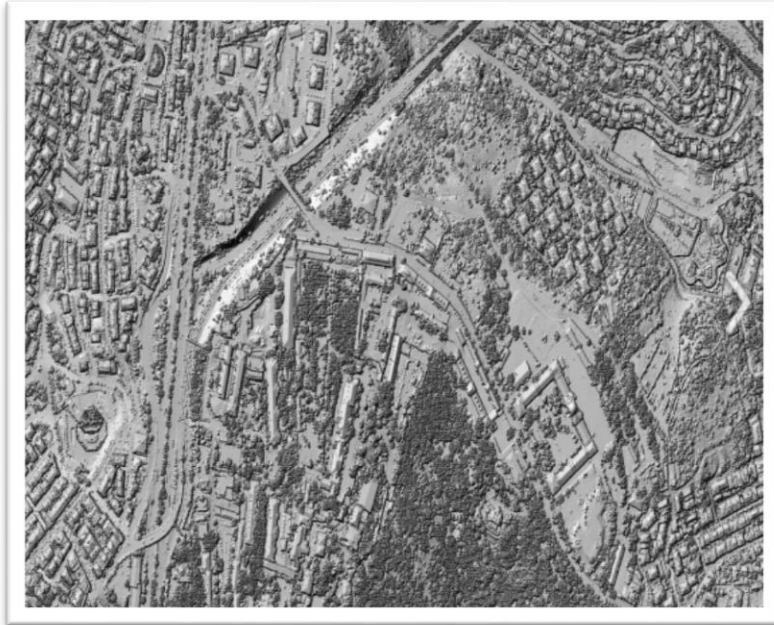
Diğer uzaktan algılama yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve detaylı şekilde üretilen bu sanal modeller ALS sisteminin yoğun ilgi gören ürünleridir (Sefercik vd. 2016). *SAM*, *yeryüzü topografyasının herhangi bir bölümüne ilişkin konum ve yükseklik bilgisiyle oluşturulmuş, o bölgeyi tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu sayısal bir modeldir* (Sefercik 2007). *SYM*, *fiziksel yeryüzünün, düzenli aralıklara bölünerek, tanımlı bir düşey datuma dayandırılmış yükseklik değerlerini ihtiva eden sayısal-kartografik gösterim yöntemidir* (Yılmaz ve Uysal 2015). Başka bir deyişle gerçek uzayın üç boyutlu şekilde sanal ortamda yeniden modellenmesidir (Sefercik vd. 2015).

Ayrıca SAM ve SYM gibi modellerin oluşturulmasında gerekli olan nokta yoğunluğu ve sıklığı SYM'nin gerçek yeryüzünü ifade etme başarısını ortaya koyacaktır (Yılmaz ve Uysal 2015). Bu konuda, üç boyutlu modelleme uygulamalarında ALS tekniği süregelen geleneksel haritacılık yöntemlerine kıyasla öne çıkmaktadır (Yılmaz ve Uysal 2015).

Bir proses sürecinden geçerek ALS ile temin edilen veri setlerinden üretilen sayısal arazi ve yükseklik modellerinden faydalanılarak oluşturulabilecek olan eş yükselti haritaları da bu modellerin içerisine gömülü olan gerçek uzaya ait doğrudan elde edilmiş veri setlerinin bilgi içeriğini kullanacağından gerçeğe daha yakın bilgileri yansıtabilecektir.



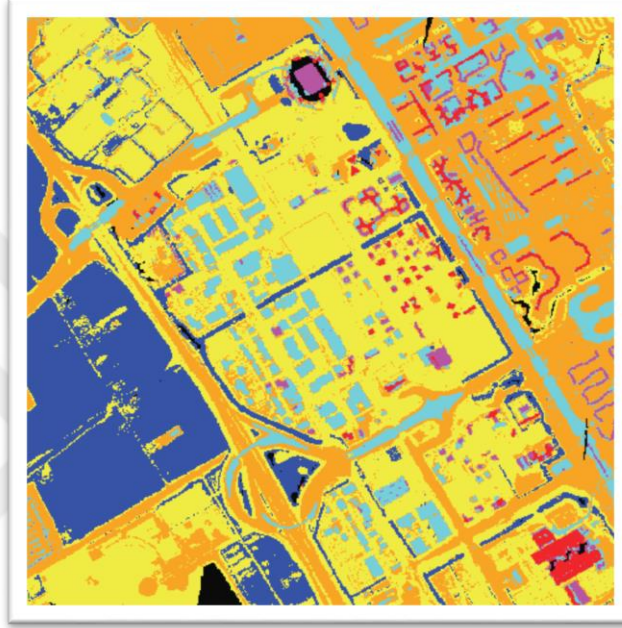
Şekil 2.3 SAM örneği (URL 1).



Şekil 2.4 SYM örneği (URL 2).

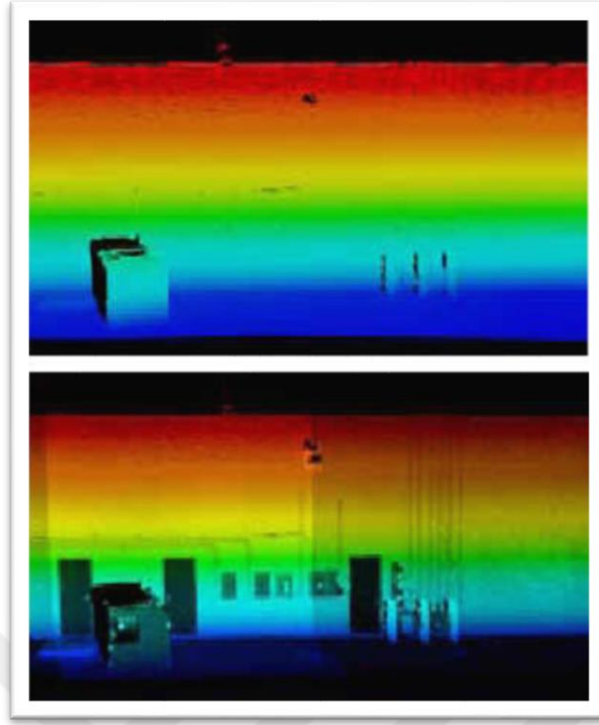
2.1.1.2 Sınıflandırma ve Detay Çıkarımı

Yüksek veri yoğunluğunun ve lazer ışınının sağladığı çoklu dönüşlerle elde edilen zengin veri setleri farklı algoritmalar da kullanılarak objelerin sınıflandırması ve yönetimi için kullanılabilir. Farklı objelerin kendisine özgü değerlerde ışın radyasyonu göstermesinden faydalanılarak sınıflandırma işlemleri yapmak mümkündür (Çelik vd. 2014).



Şekil 2.5 Çeşitli sınıflara ayrılmış ALS verisi örneği (Tiwari ve Pande 2011).

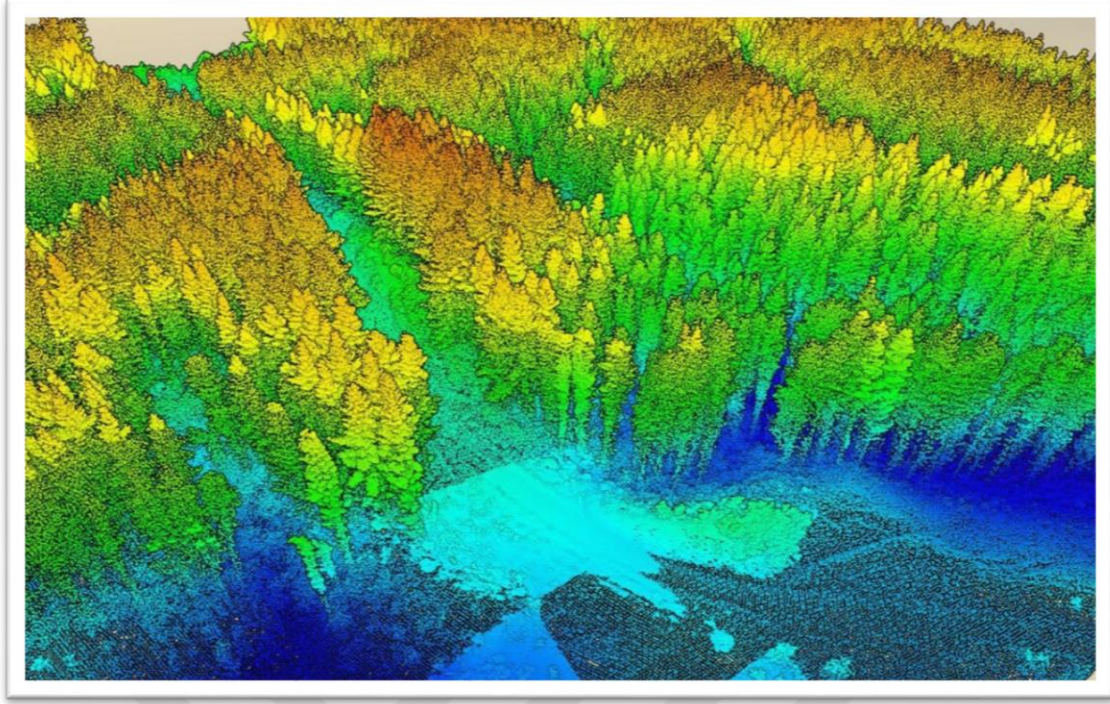
Pasif veya geleneksel tekniklerde karşılaşılan çeşitli detay ayırma sorunlarına karşılık ALS sisteminin zengin veri setleri oluşturabiliyor olması ve oluşturulan bu veri setlerinin içerdiği 3B konum bilgisinin yanı sıra taranan noktalara ait yoğunluk bilgisinin de elde edilebilir olması detay çıkarımı ve sınıflandırma gibi işlemlere de büyük katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.6 3B konum verisi ve yoğunluk verisinin eklenmesi ile oluşan farkın gösterimi (Dinlemek 2012).

2.1.1.3 Bitki ve Orman Haritalama Olanığı

ALS sisteminin bir aktif algılama teknolojisi olmasının kazandırdığı penetrasyon kabiliyeti sayesinde pasif algılamaya kıyasla bu kabiliyete ihtiyaç duyulan alanlarda algılama yapabilmesini sağlamaktadır. Penetrasyon kabiliyeti bitki altı topografyaya ait bilgi toplamayı ve modellemeyi mümkün kılar (Masini vd. 2011, Ruan vd. 2019). Ek olarak özellikle sistemin çoklu dönüş değerleri ile bilgi toplaması da bitki üstü ve bitki altı örtü için veri toplama olanağı sunar (Sefercik vd. 2015). ALS sisteminin bu yeteneği değerlendirildiğinde bitki envanteri ve yönetimi konusu gibi çalışmalarda çözüm alternatifi oluşturmaktadır.



Şekil 2.7 ALS tekniği ile orman taraması (URL 3).

2.1.1.4 Diğer Kullanım Alanları

Hava kaynaklı lazer tarama verisinin ön plana çıkan özelliği olan üç boyutlu konum verisini hızlı bir şekilde üretebiliyor ve işleyebiliyor oluşu üç boyutlu konum bilgilerinin ihtiyaç duyulduğu uygulamalarda tercih edilmesine sebep olmuştur (Polat ve Uysal 2016). Veri toplama sürecinden sonra elde edilen veri setlerinin yoğun bilgi içeriğinin bir katkısı olarak periyodik zamanlarda yapılan yeni taramalar ile değişimlerin gözlenmesine de olanak sağlamaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda ALS sistemi; kıyı mühendisliği, 3B yapı-kentsel modelleme ve planlama, ulaşım, madencilik, enerji hatları ve riskli sahaların ölçümü, afet ve hasar yönetimi-analizi, erişim ve ulaşımın güç ve riskli olduğu diğer sınırlı alanlarda ve diğer uzaktan algılama teknikleri ile kombine şekilde sıklıkla tercih edilmektedir (Ekercin ve Üstün 2004, Yılmaz ve Yakar 2006, Dinlemek 2012, Çelik vd. 2014, Polat ve Uysal 2016).

Diğer ölçme uygulamalarında ise hava kaynaklı lazer tarama tekniği farklı teknolojik kabiliyetlere sahip olan kamera ve algılayıcılar ile birlikte kombine şekilde kullanılabilir. Bu sayede sistemin yeni algılama ve tespit olanakları kazanmasının yanı sıra ürettiği veri

setlerinin içerik zenginliği de artmış olacaktır. Böylece bir kompozisyondan oluşan ve tek seferde elde edilebilecek olan bu veri setleri amaca yönelik farklı entegrasyonlara da tabii olabilir (Heritage ve Large 2009). ALS sisteminden ve diğer algılama teknolojilerinden elde edilen veri setlerinin entegrasyonu çoklu bilgi setleri oluşturma olanağı sağlar (Pascual vd. 2019). Uygulamaya bağlı değişiklik göstermekle birlikte sağladığı avantajlar ile ALS sistemi diğer ölçme yöntemlerine kıyasla ya tamamlayıcı ya da rekabetçi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Ekercin ve Üstün 2004). Kullanım imkanlarının ve alanlarının çeşitli olması öncelikle 3B konum verisine duyulan ihtiyacın günden güne artmasıdır. Teknolojik gelişmelerin birbirini beslemesi de bu sistemi daha da verimli ve kullanılabilir hale getirmektedir.

2.1.2 Sistemdeki Hata Kaynakları

Tarama ve sonrasında elde edilen ürünler aşamasında da çeşitli hatalar ile karşılaşılması olasıdır. Hesaplama ve kullanıcıdan kaynaklanan hataların yanı sıra sistem bileşenlerinden ve sistemin çalışma prensiplerinden kaynaklanan hatalar da meydana gelebilir.

Teorik olarak günün her saatinde kullanabilir olan sistem iletilen ve algılanan enerjinin bir lazer ışını olmasından ötürü fiziksel olarak lazer ışını etkileyecek olan atmosfer olaylarından etkilenebilir (Tiwari ve Pande 2011).

ALS sistemi temelde GPS, IMU ve lazer tarayıcı olmak üzere üç ana parçadan bir araya gelen bir sistem olmasından ötürü bu bileşenlerin her birisine ait oluşabilecek hata kaynağı diğer basamakları da doğrudan etkileyecektir. Bu üç bileşenin entegrasyonu, kalibrasyonu ve birbirleri ile senkronizasyonu ideal şekilde sağlanmalıdır. Sisteme entegre bileşen sayısı ve çeşidi arttıkça da farklı hata parametreleri ile karşılaşmak mümkündür. Ayrıca önem arz eden diğer bir konu sistemin üzerinde bulunduğu uçuş platformuna ait sefer parametreleridir, uçuş parametrelerindeki değişimler elde edilen veri kümesi üzerinde etki gösterecektir (Heritage ve Large 2009). Bu bileşen ve parametreler ile ilgili kontrollerin yapılması her uçuş öncesi ve sonrası büyük önem taşımaktadır (Tiwari ve Pande 2011, Dinlemek 2012).

2.2 UZAY KAYNAKLI OPTİK ALGILAMA

Sistemler genellikle uzay aracı veya uydu platformları üzerine kuruludur. Optik sistemler üzerindeki algılayıcılar ile nesnelerin veya yeryüzünün özgül doğal ışınımlarından veya güneş enerjisi ile aydınlatılmasından faydalanarak merkezi izdüşüm geometrisine göre görüntüleme yapan pasif uzaktan algılama sistemleridir. Objeler ve yeryüzü sahip oldukları fiziksel yapı ve bu yapıyı meydana getiren bileşenlerden dolayı özgül elektromanyetik radyasyon değerlerine sahiptir. Uzay kaynaklı optik algılama sistemleri de bu radyasyon değerleri arasındaki farklılıklar sayesinde nesnelere ve yeryüzüne ait algılanmış verileri kaydeder. *Elektromanyetik spektrumun belirli aralıklarında algılanan yansıma değerlerine göre görüntü piksellerini doldurma ve dijital görüntüyü oluşturma prensibine dayalı olarak çalışmaktadır* (Sefercik ve Maktav 2010). Bu sayede algılanmış görüntü elde edilir.

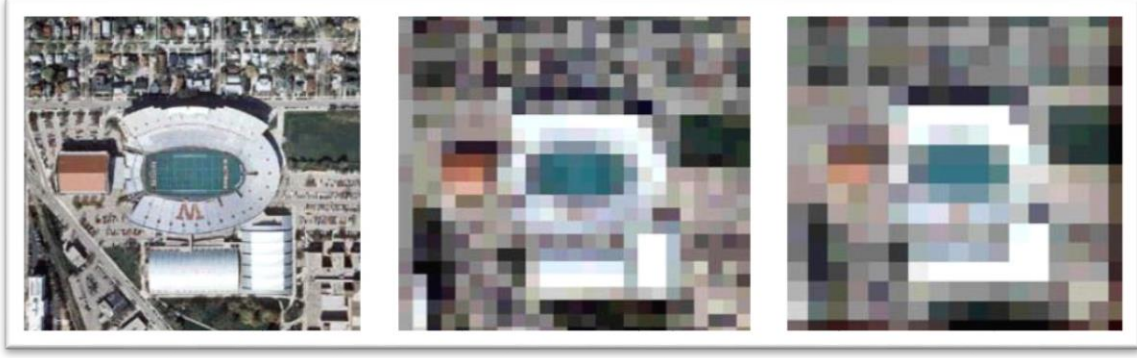
2.2.1 Çözünürlük Kavramı

Uzay tabanlı bu sistemlerin algılama sonucu işlenmek üzere dijital olarak elde edilip ilettiği veriler görüntü olarak adlandırılır. Raster yapıda olan bu görüntülerde kendisini bir araya getiren belirli sayıda piksellerden oluşur. Sistem ışınım-parlaklık verisini algılar ve bu veriyi sayısal bir şekilde kodlar. Böylece kodlanan algılama verileri piksellere atanabilecek sayısal değerlere kavuşmuş olur. Bir görüntüdeki çözünürlük kavramı ise görüntüyü oluşturan her bir pikselin yeryüzünü ifade etme becerisine karşılık gelmektedir (Çölkesen 2009).

Bir uzaktan algılama görüntüsünün çözünürlüğünü ifade etmek için mekansal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük kavramlarını irdelemek gerekir.

2.2.1.1 Mekansal Çözünürlük

Görüntüdeki objelerin ayırt edilebilirlik derecesini ifade eder. Daha geniş bir tanımla görüntüleme sisteminin anlık görüş alanının gerçek uzayda anlamlandırdığı alanı ifade eder (Çölkesen 2009). Anlık görüş alanı (IFOV; Instantaneous Field of View), birim zamanda ve bilinen bir irtifada algılayıcı tarafından yeryüzünde gözlemlenebilen alana karşılık gelir. Dolayısıyla sistemin irtifası ve sisteme ait IFOV değeri, mekansal çözünürlüğü ve buna ek olarak da görüntünün yorumlanmasını, anlamlandırılmasını da doğrudan etkileyecektir.



Şekil 2.8 Farklı konumsal çözünürlükteki uydu görüntüleri (Çölkesen 2009).

2.2.1.2 Radyometrik Çözünürlük

Radyometrik olarak incelendiğinde optik algılayıcılar elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerinde çalışan ve obje çıkarımının daha kolay olduğu renkli görüntüler sunan pasif algılayıcılardır (Özendi ve Sefercik 2013). Uydu görüntüsünün yoğunluğu veya görüntüdeki enerji farklılıkları olarak da açıklanabilir. Görüntünün barındırdığı yoğunluğa göre sahip olduğu parlaklık değeri skalasına denktir. *Radyometrik ayırma gücü, bilgisayar ortamında ve ikili sayı sistemi veya bit cinsinden tanımlanmaktadır* (Ateşoğlu 2009). Örneğin; 8 bit'lik bir görüntü için piksellere atanacak nümerik parlaklık değerleri (0-255) arasında değişir. Görüntü yoğunluğu ne kadar yüksekse elde edilen görüntünün kalitesinden ve veri boyutundan da aynı derecede bahsetmek mümkündür. Algılayıcı sistemin elektromanyetik radyasyona duyarlılığı ile radyometrik çözünürlük doğru orantılıdır. Bir başka ifadeyle bir algılayıcının radyometrik çözünürlüğünün iyi olması, yansıyan ya da yayılan enerjideki küçük farklılıkları ayırt etmede daha duyarlı olması demektir (Çölkesen 2009).

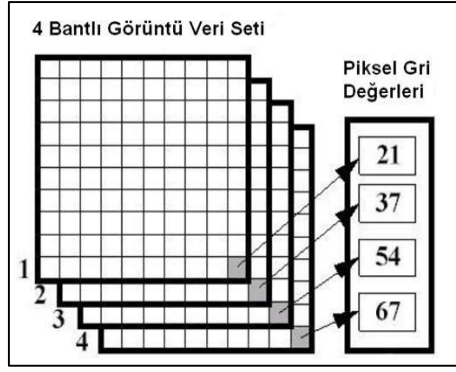


Şekil 2.9 Aynı bölgenin farklı radyometrik çözünürlükteki uydu görüntüleri (URL 4).

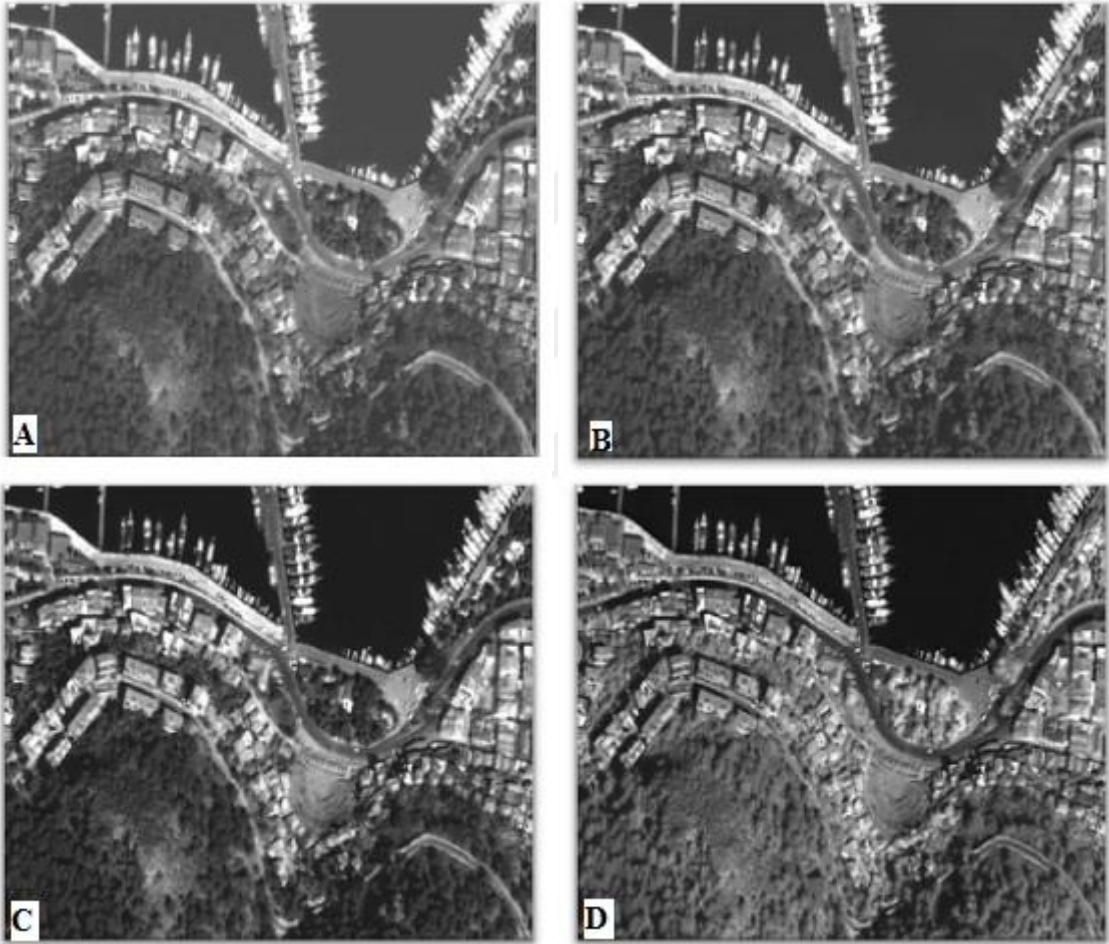
2.2.1.3 Spektral Çözünürlük

Algılayıcı sistemin elektromanyetik spektrumun hangi bölgesine karşı duyarlı olduğudur. Sistem spektral çözünürlük yetisine bağlı olarak ışınımın belirli dalga boyları arasında yansıyan ışınım duyarlı olacaktır ve bu aralıkta bilgi toplayabilecektir. Spektral çözünürlüğü açıklarken algılayıcının kullandığı spektral bant sayısından ve bu bantların genişliğinden bahsetmek de gereklidir. Her bir spektral bant özgül bir spektral çalışma bölgesine ve belirli bir spektral ayırma gücüne sahiptir. Spektral bant sayısı kaç farklı spektral bölgede algılama yapılabileceği konusunda imkan sunarken bu bantların aralıkları da spektral ayırma gücünden faydalanmayı mümkün kılacaktır. Daha az sayıda bantta ve daha dar bir spektral pencereden elde edilen görüntü spektral açıdan daha yüksek çözünürlüklü olacaktır. Bu parametreler hedeflenen amaçlar doğrultusunda hangi bilginin toplanması isteniyorsa ona göre seçilir. *Çünkü, uzaktan algılanan verilerinin bilgisayar ortamında analiz edilebilmesi için objelerin spektral özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir* (Çölkesen 2009).

Tek bir dalga boyunu (genellikle görünür ve yakın kızılötesi bölge) kapsayan aralıkta algılanmış olan siyah-beyaz şeklindeki pankromatik görüntülere ek olarak daha farklı bilgi içeriği üretmek adına elektromanyetik spektrumun aynı anda birden fazla bölgesinde algılama yapabilen sistemlerce oluşturulmuş görüntülere multispektral görüntü adı verilir. Bu görüntülerin de sahip olduğu bant sayısından çok daha fazlasını barındıran sistemlerce veri yükü daha yüksek olan hiperspektral görüntüler de üretilir. Bu sayede çok bantlı veri setleri elde edileceğinden, her veri setindeki spektral veri değerleri farklı bilgiler toplama olanağı sunacaktır. Gerçek uzaydaki çeşitlilik düşünülürse ve bu çeşitliliğin kapsadığı spektral değer kümesi de göz ardı edilmemelidir (Çölkesen 2009). Böylece çoklu bantlardan oluşan veri setlerinden elde edilecek çoklu spektral bilgiler doğrultusunda objeler arası ayırım yapma işlemi kolaylaşacaktır (Ateşoğlu 2009).



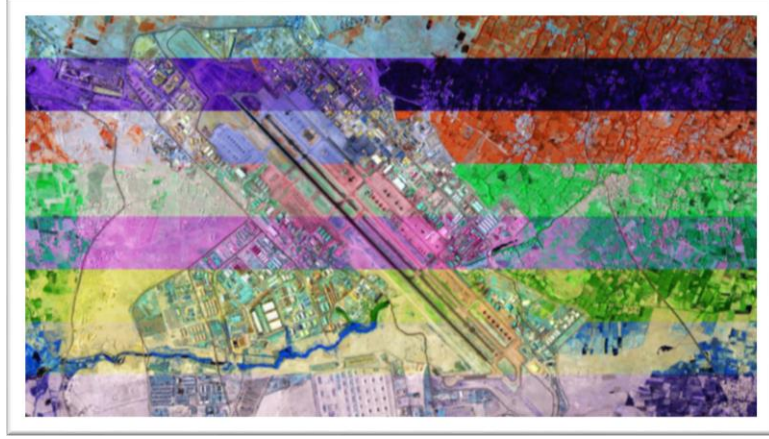
Şekil 2.10 Çoklu bantlardan oluşmuş bir görüntünün piksel değerleri örneği.



A: Band 1-Mavi B: Band 2-Yeşil C: Band 3-Kırmızı D: Band 4-Yakın Kızılötesi

Şekil 2.11 Quickbird uydusunun farklı bantlardaki görüntüleri (Düzgün 2010).

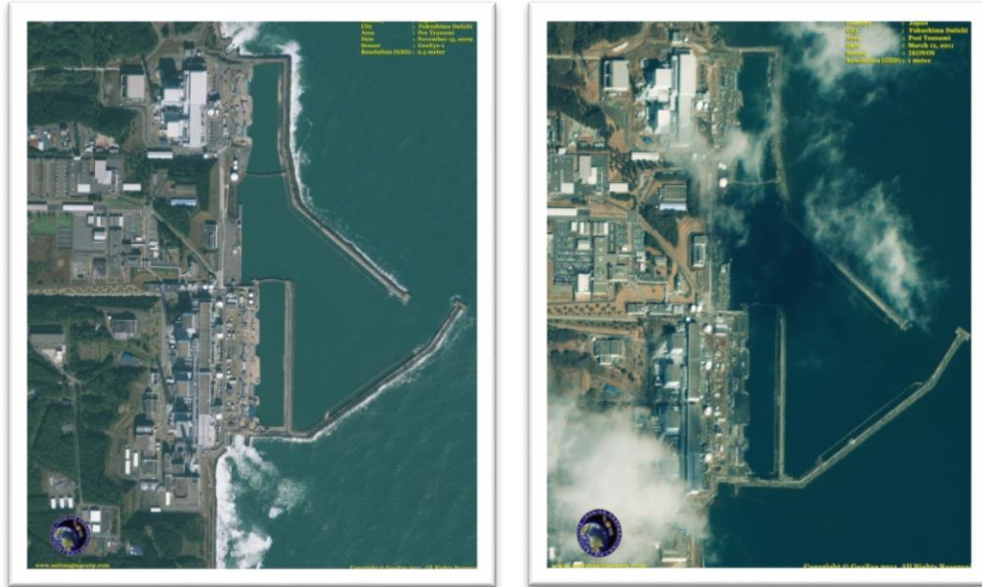
Bu şekilde toplanan birden fazla yansıma değeri renkli görüntü elde etmek için birleştirilmektedir (Uysal 2016).



Şekil 2.12 Bir görüntüdeki farklı spektral bantların gösterim örneği (URL 5).

2.2.1.4 Zamansal Çözünürlük

Bir bölgenin kimliğini oluşturan ve yansıtan çeşitli özellikler zaman içerisinde doğal unsurlar veya dış etkenler sebebiyle değişiklik gösterebilir. Bu gibi durumlarda uydu görüntülerinin güncel olması son derece önemlidir. Öte yandan bir uydu geçişi sırasında elde edilmesi beklenen görüntü içeriği atmosferik etki gibi dış etkenlerin altında kalmış şekilde yeterli kalite düzeyinde değilse uyumsuz veri seti ile çalışılmaması adına zamansal çözünürlük ön plana çıkmaktadır. Zamansal çözünürlük kabaca bir uzaktan algılama sisteminin aynı bölge için hangi periyotta görüntüleme yapıldığını açıklayan çözünürlük kavramıdır.



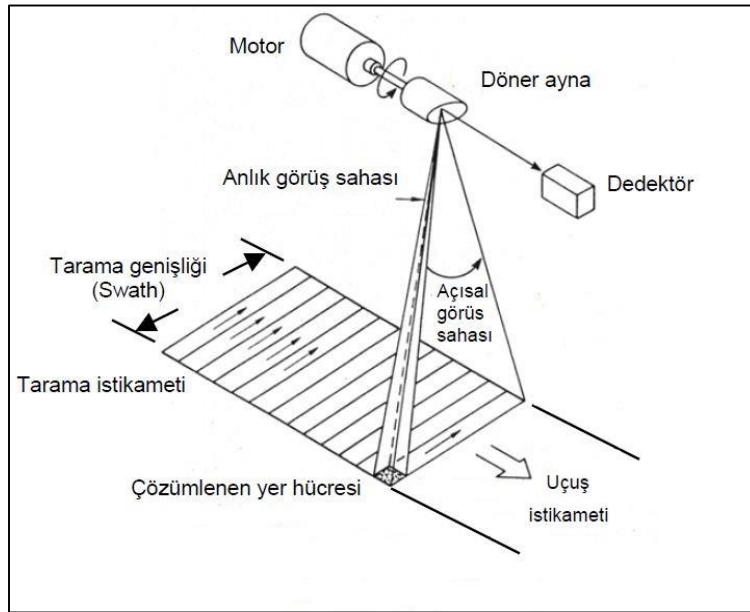
Şekil 2.13 Fukushima Daiichi Nükleer Santrali 2009 GeoEye-I ve 2011 IKONOS uydu görüntüleri (URL 6).

2.2.2 Tarama Sistemleri

Sistemlere geometrik bileşenlerince bakıldığında uzay kaynaklı görüntüleme sistemleri içerisinde sıklıkla kullanılan iki çeşit görüntüleme sistemi mevcuttur.

2.2.2.1 İze Dik Tarama

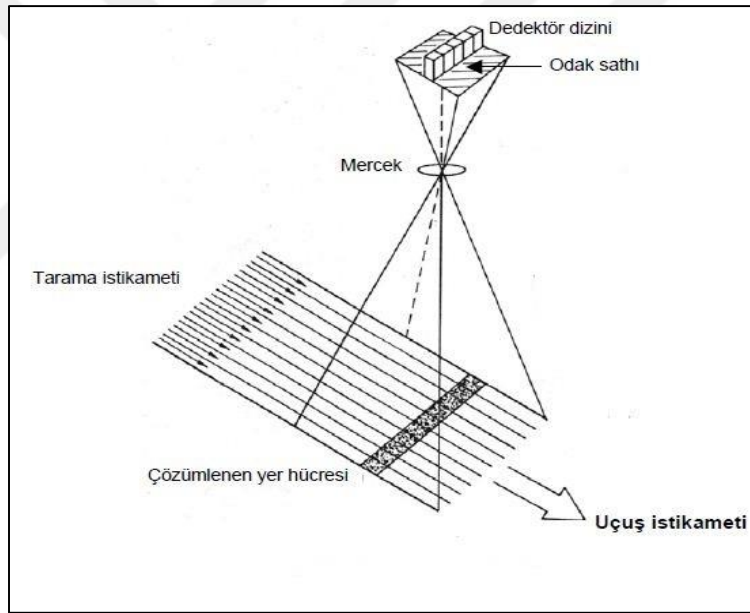
Across-track (whiskbroom) olarak da adlandırılan tarama yöntemi objeleri sensör platformunun hareket yönüne dik hatlar şeklinde tarar. Hatlardan her biri sistemin içerisinde bulunan dönen veya salınan bir ayna tarafından taranır. Enerji aynaya çarpar ve optik sisteme odaklandırılır. Mercek sisteminden çıkan ışınlar ızgara şeklindeki bir ışık ayırıcı prizmadan geçirilir. Açısal görüş alanı (Angular Field of View - AFOV) değerinden faydalanılarak tarama genişliği tespit edilebilir. Bu tip tarayıcıları çözünürlük parametrelerini doğrudan etkileyeceği için en önemli faktörlerden birisi pozlama süresidir (Dwell Time). Bir hücrenin dedektörün anlık görüş alanı (IFOV) tarafından taranabilmesi için gereken zamana pozlama süresi denir. Tarayıcıda hareketli bir ayna sistemi bulunmasından dolayı pozlama süresi kısadır ve sürenin kısa olması algılanan sinyallerin ve dolayısıyla da oluşacak görüntü içeriğinin yetersiz olmasına sebep olur. Bu da görüntü üzerinden yapılacak işlem ve çıkarımların güçleşmesi demektir.



Şekil 2.14 Across-track tipi tarayıcı.

2.2.2.2 İz Yönünde Tarama

Along-track (pushbroom) olarak da adlandırılan tarama yöntemi içerisinde hareketli bir ayna bileşeni barındırmaz. Tarama, odak sathına doğrusal dizin (linear array) şeklinde dizilmiş dedektörler ile uçuş yönü ile aynı doğrultuda yapılır. Along-track tarayıcılarda pozlama süresi across-track tarayıcılara kıyasla daha esnektir. Böylece kıyasla daha iyi görüntüler toplamaya elverişli bir sistemdir. Her bir dedektörün sınırlı spektral gücüne karşın pozlama süresindeki artış dedektör başına düşen daha dar IFOV ve bant aralığının tasarlanabilirliğine olanak tanır. Bu sayede mekansal çözünürlüğe de pozitif bir etki sağlamaktadır. İçerisinde hareketli parça bulunmaması nispeten daha uzun kullanım ömrünü beraberinde getirmektedir. Fakat satıh üzerine dizilmiş çok sayıda CCD (Charge Coupled Device) dedektör bulunması da başlı başına kalibrasyon işlem yükünü ifade eder (Büyüksalih 2000).



Şekil 2.15 Along-track tipi tarayıcı.

2.2.3 Optik Algılamamanın Kullanım Alanları ve Özellikleri

Dünyada anlık olarak gelişen ve değişen şartlara karşı adaptasyon ve mücadele amacıyla uzaktan algılama verilerine sürekli olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda insanoğlu için yeryüzü ile ilgili bilgi toplayabilen her yöntem ve kavram son derece önemli olmuştur ve çeşitli teknolojiler de bu bilgi içeriklerini zenginleştirmek yönünde gelişmeler göstermiştir.

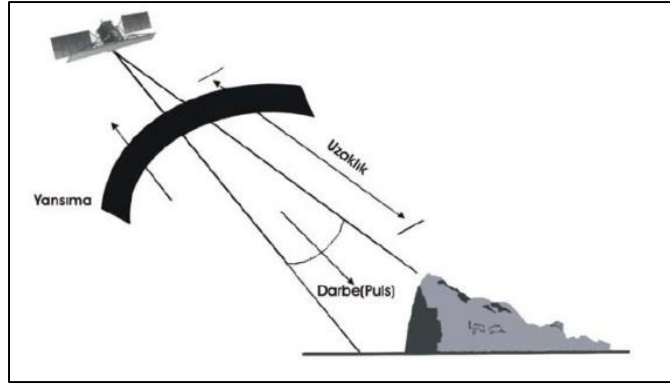
Uzaktan algılama sistemleri ve bu sistemlerce elde edilmiş ürünler çeşitli jeoloji, hidroloji, çevre, tarım, şehircilik, meteoroloji ve sağlık bilimlerinde ve buna ek olarak taktiksel amaçlar doğrultusunda sıklıkla kullanılmaktadır (Düzgün 2010, Uysal 2016).

Birçok disiplinin çalışmalarına ayrı ayrı veya kombine bir şekilde hizmet eden optik algılamaların sahip olduğu sayısal ürün üretebilme kabiliyeti, geniş alanlar için hızlı, pratik ve ekonomik çözümler sunması, güncel, evrensel şekilde takip edilebilir olması ve çeşitli ayrıntı güçlerinin bulunması bu sayede işlem, analiz kolaylığı sağlayabilmesi ve görüntülemenin belirli periyotlar ile tekrarlanabilme özelliklerinin olması tercih konusu olmasının önünü açmıştır (Musaoğlu 2014, Sefercik vd. 2014, Uysal 2016).

Optik algılama sistemlerinin sağladığı bu pozitif değerlere karşın dikkat edilmesi gereken en önemli noktalarından birisi olan güneşe (kızılötesi algılayıcılar hariç) ve atmosfer koşullarına karşı olan bağımlılığı bu sistemleri ancak yılın belli dönemlerinde, bulutsuz ve gündüz hava şartlarında kullanabilme kısıtlılığı getirmektedir (Özendi ve Sefercik 2013, Sefercik ve Yastıklı 2016, Clement vd. 2017). Dolayısıyla atmosferde yaşanan hava değişimleri görüntü kayıplarına yol açabilir veya uygun görüntülerin elde edilmesini engelleyebilir (Çölkesen 2009, Sefercik ve Maktav 2010, Sefercik ve Yastıklı 2016).

2.3 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Yapay Açıklıklı Radar-YAR (Synthetic Aperture Radar-SAR) sistemi, mikrodalga sinyalleri iletir ve bu sinyallerin dönütlerini alıp kaydederek işler. Böylece hedef aydınlatmasını kendisi sağladığından aktif bir algılama sistemi örneğidir. RADAR (Radio Detecting And Ranging), atmosfer şartlarından bağımsız olarak her atmosfer koşulunda objelere ait bilgi toplayabilen bir sistemdir (Sefercik 2007). Sistem veri toplamayı bünyesinde barındırdığı alıcı-verici ünitesi tekil olan monostatik ve çoklu olan bistatik şekillerde sağlayabilir. *Sistem, geri dönen sinyallerin gecikmelerini kullanarak sinyal işleme tekniğiyle bunları yüksek çözünürlüklü görüntülere dönüştürür* (Sefercik 2007).

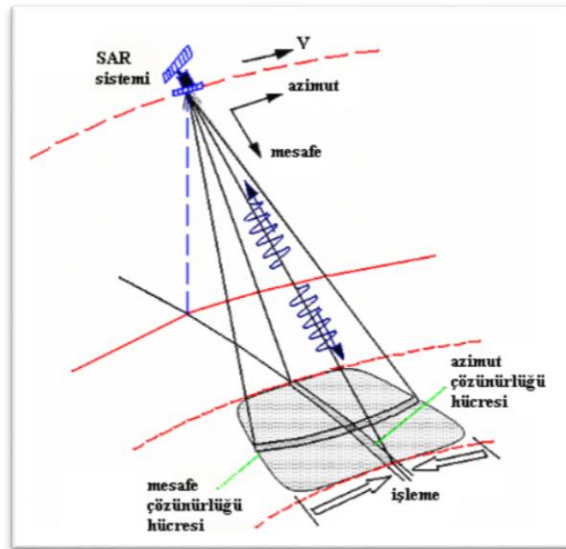


Şekil 2.16 Radar sisteminde enerji iletimi (Esetlili 2008).

2.3.1 Yapay Açıklıklı Radar Elde Edilmesi

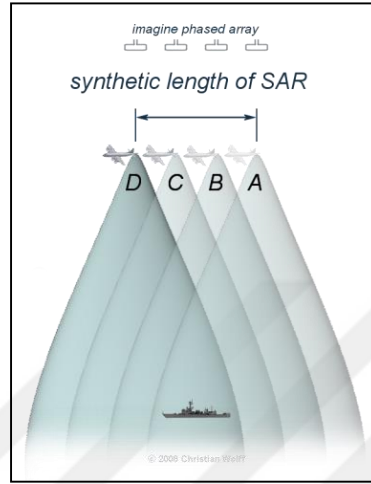
Radar sisteminde görüntü çözünürlüğü için azimut ve menzil çözünürlüklerinden bahsetmek gerekir. Menzil (mesafe) yönündeki çözünürlük darbe süresine (frekansa) bağlıken azimut yönündeki çözünürlük için anten uzunluğu (açıklığı) hesaplanmalıdır.

Temelde SAR ile algılama, sinyal işleme ve Doppler etkisi kuramlarına dayanan tespit yöntemidir. Temel radar sistemlerinde, kuramsal olarak parametrelerin değiştirilmesi karşılaşılan çözünürlük sorunlarının aşılmasında yeterli olacakken pratikte bu fikrin işlerliği mümkün olmamıştır. Dolayısıyla platformun hareketi ile bu parametreler yapay olarak simüle edilmiştir. *Yapay açıklık, hedef ışın ile aydınlatılırken, platformun kat ettiği mesafedir* (Demirci 2005). Bu şekilde SAR sistemi elde edilmiştir.



Şekil 2.17 SAR sistem geometrisi (Sefercik 2007).

SAR sisteminde simüle edilen yaklaşım sayesinde her işlem bölgesi için veya hedef için çoklu gözlem süreleri elde etmek mümkündür. *Belirli bir bölgenin gözlemi boyunca radar ışını spot ışıklarına benzer şekilde bir süreklilik oluşturduğundan ilgilenilen bölge daha uzun süre aydınlatılabilmektedir* (Sefercik ve Maktav 2010). Bu şekilde yapay açıklık değeri daha yüksek olmaktadır.



Şekil 2.18 Yapay açıklık gösterimi (URL 7).

2.3.2 Çözünürlük Kavramı

SAR sistemi için çözünürlük ifadesi birbirinden farklı iki hedefin ayırt edilebilmesi ölçüsüdür. Bu hususta menzil çözünürlüğünü ve azimut çözünürlüğünü incelemek gerekir.

2.3.2.1 Menzil (İze Dik) Çözünürlük

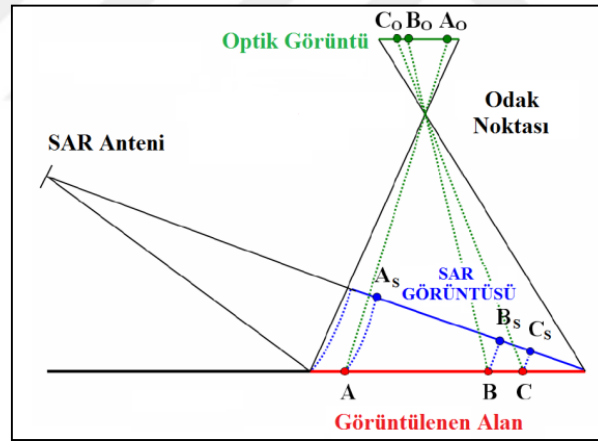
SAR sistemi anteni hareket halindeyken darbe tekrarlama frekansı (Pulse Repetition Frequency-PRF) doğrultusunda sinyaller gönderir. Hedef alınan bölgede sisteme göre aynı azimut çapında fakat farklı menzildeki objeler, bu objelere gönderilen sinyallerin gidiş-geliş gecikmesi (round-trip delay) farkıyla tespit edilir. Bu ayrışmanın sağlanabilmesi doğrudan darbe frekansına bağlıdır. Bu ayrıştırma kabiliyetine bağlı olarak da sistemin menzil çözünürlüğünün kalitesinden bahsetmek mümkün olacaktır. *Ancak istenilen menzil çözünürlüğünü sağlamak için gerekli darbe süresi çok kısa olduğundan işaretin enerjisi de düşük olmaktadır* (Deliormanlı 2009).

2.3.2.2 Azimut (İz Boyunca) Çözünürlük

Aydınlatılan bölgedeki objelerin azimut yönündeki geri dönüş sinyalleri Doppler kaymasına göre işlenmektedir. Anten objeye yaklaştıkça yanıt sinyallerinin frekansları artmakta (pozitif değer), objeden uzaklaştıkça ise frekans değerleri azalmaktadır (negatif değer). Ancak anten ile obje aynı azimut konumundayken anlık frekans değeri nötr halini alır. Bu şekilde Doppler kaymaları irdelenerek azimut üzerindeki ayırışma sağlanır. Ancak Doppler kaymalarının yaratacağı etkiye dikkat edildiğinde ise SAR sisteminde antenin azimut yönündeki uzunluğu azaldıkça azimut yönündeki çözünürlük artmaktadır (Deliormanlı 2009).

2.3.3 SAR Görüntülerinin Geometrik Özellikleri

SAR sistemleri, bilinen optik sistemlere göre çok farklı bir geometriye sahiptir (Esetlili 2008). Optik sistemler merkezi izdüşüm geometrisine göre görüntü oluştururken SAR görüntüleri yan bakış geometrisini temel almaktadır.

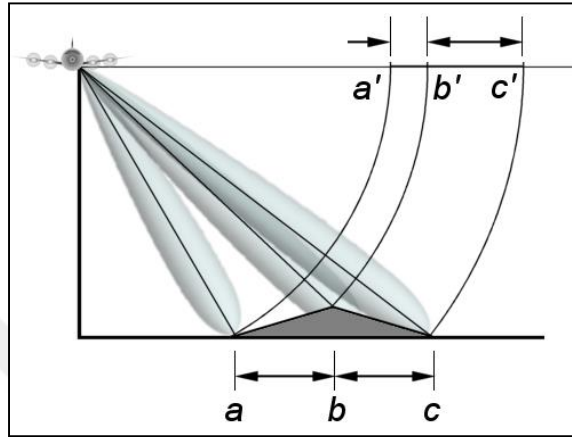


Şekil 2.19 Optik ve SAR Görüntü Algılama Geometrisi (Özendi ve Sefercik 2013).

Birbirine kıyasla farklı olan geometrik yapıdan kaynaklı olarak da görüntülerde çeşitli geometrik hatalar ile karşılaşmak SAR sistemleri için de olasıdır (Özendi ve Sefercik 2013, Giustarini vd. 2016).

2.3.3.1 Kısaltım Bozulması

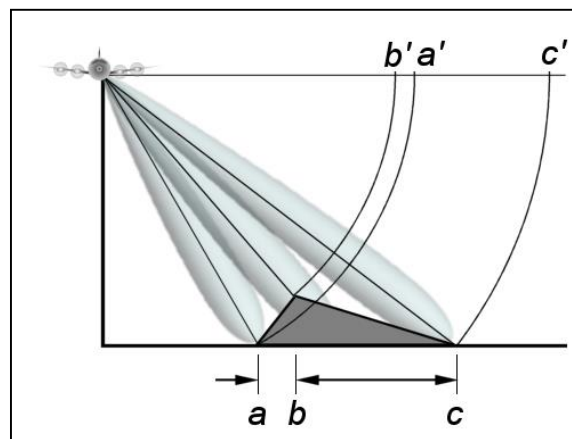
Kısaltım (Foreshortening) bozulması SAR sistemindeki menzil geometrisindeki bozulmayı ifade eder. Gerçek menzil değerlerinin yerini alan yanıltıcı menzil değerlerinin görüntü üzerinde oluşması durumudur.



Şekil 2.20 Kısaltım Bozulması (URL 7).

2.3.3.2 Örtüşme Bozulması

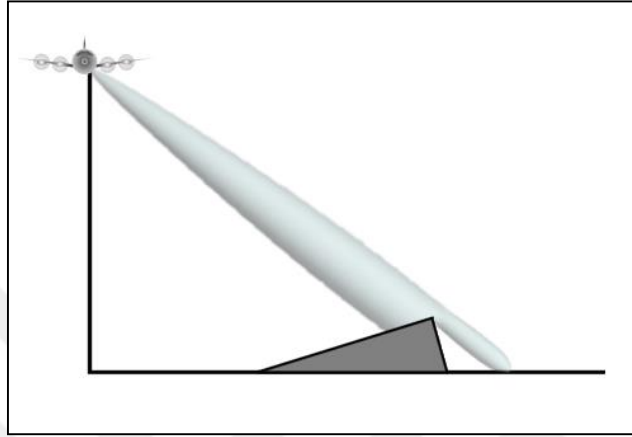
Örtüşme (Layover) bozulması, menzil üzerinde objenin ters görüntülenmesinden kaynaklanır. SAR sisteminin gönderdiği enerjinin farklı bölgeler için farklı sinyal dönüt sürelerine sahip olmasıyla gerçekleşir.



Şekil 2.21 Ters görüntüleme bozulması (URL 7).

2.3.3.3 Gölge Bozukluğu

SAR geometrisi sebebiyle önüne engel çıkan bir hedef aydınlatılamaz bu sebepten hedef bölgeye ait bilgi gölge oluşması (Shadowing) sebebiyle toplanamaz ve görüntüde karanlık olarak görünür.

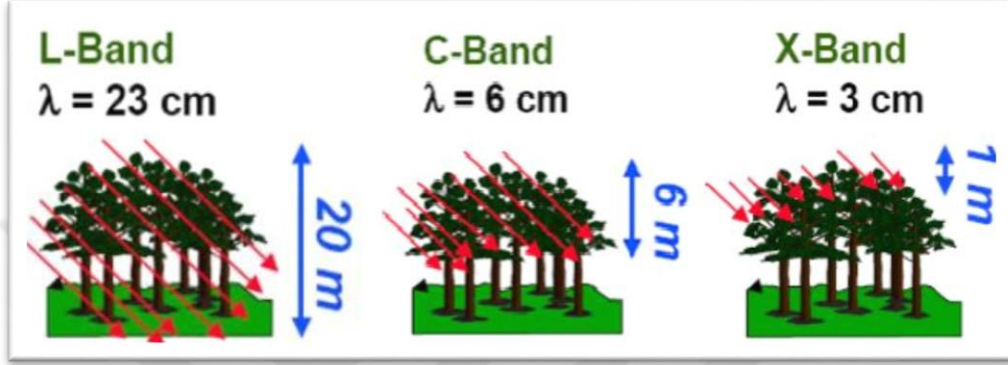


Şekil 2.22 Gölge bozukluğu (URL 7).

2.3.4 SAR Sisteminin Özellikleri

SAR diğer uzay platformları üzerinde çalışan algılayıcılara göre daha komplike bir yapıda olması birtakım getiriler sağlamaktadır. Bunlardan ön plana çıkanı dış etkenlere karşı tam bağımsız olmasıdır. Bu sayede herhangi bir atmosfer koşulundan etkilenmeden verimli bir şekilde çalışabilir. Diğer uzaktan algılama sistemleri ile kıyas edildiğinde gece-gündüz gibi zaman farklılığında ve sis-pus-bulutluluk gibi çeşitli atmosferik koşullar altında kayıp yaşanmadan veri üretebilme kabiliyetine sahiptir (Sefercik ve Maktav 2010, Giustarini vd. 2016, Sefercik ve Yastıklı 2016, Clement vd. 2017, Schaefer vd. 2019). Uygun parametreler sağlanırsa SAR sistemleri diğer görüntü kirlenici koşullar karşısında da kullanılabilir (Demirci 2005). Ayrıca detaylı bir analizde sistem, spesifik dalga boylarındaki sinyallerin geri dönüt yankılarının olağan dışı bir dış etkiye maruz kalması, analiz aşamasında yansıma yankılarında ve çözülmesinde yani sinyal değerlendirmesinde birtakım karışıklıklar yaratabilir (Brekke ve Solberg 2005, Giustarini vd. 2016, Clement vd. 2017, Eronat 2019, Fore vd. 2019, Tings vd. 2019).

Temelde RADAR prensipleri ile çalışmasından ötürü çeşitli bant ve dalga boylarında değişken penetrasyon özelliği taşımaktadır. Örneğin daha uzun dalga boyuna sahip olan P, L ve C bandı, X bandına kıyasla daha başarılı bir şekilde difüze olabildiğinden farklı örtü ve nesnelerin aydınlatılmasını, algılanmasını sağlar (Esetlili 2008, Sefercik vd. 2015, Sefercik ve Yastıklı 2016). Burada kritik nokta SAR sistemlerinin kullandığı dalga boyu ile mekansal çözünürlüğü arasında ters orantı olmasıdır (Sefercik vd. 2015).



Şekil 2.23 Farklı bantlara ait farklı dalga boylarının nesne üzerine etkisi (Esetlili 2008).

SAR sistemlerinin özgül bileşen, geometri ve çalışma prensibi incelediğinde sonuç olarak karşılaşılan ürünlerin içerikleri de farklı olacaktır. Özellikle görüntülerin farklı bir geometrik bütünlük yapısı içermesi ve gürültü değerlerine (speckle effects) sahip olması bu görüntülerin işlenmesi ve değerlendirmesinde çeşitli yaklaşımlar gerektirmektedir fakat çeşitli filtrasyon ve algoritmalarından oluşan bu yaklaşımlar farklı boyutlarda istenmeyen veri kayıplarına da yol açabilir (Demirci 2005, Esetlili 2008, Deliormanlı 2009, Sefercik ve Soergel 2010, Sefercik ve Yastıklı 2016, Özendi ve Sefercik 2013).

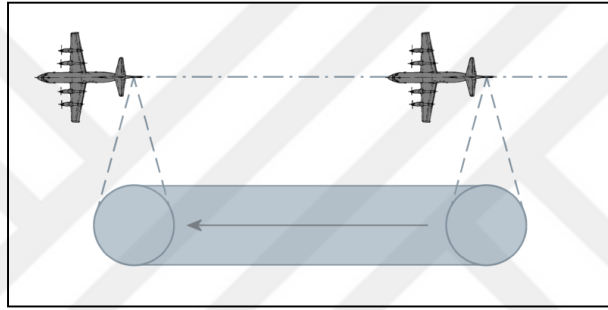
SAR görüntüleri günün her saatinde algılama yapabilmelerine rağmen renk bilgisi sunmazlar (Özendi ve Sefercik 2013). Bu sebepten belli bir elektromanyetik spektral aralıkta algılama yapan SAR sistemlerinden elde edilen görüntüler siyah-beyaz ve çeşitli parlaklıkta görüntüler olarak karşımıza çıkmaktadır (Esetlili 2008). Örneğin; nesnelerin yüzey pürüzlülüğü ve özgül fiziksel yapısı SAR görüntülerinde farklı parlaklık değerleriyle işlenebilir ve böylelikle uygun parametreler altında nesneler ayrıştırılabilir (Marino vd. 2015, Tings vd. 2019). SAR görüntülerinin renk eldesi nesnelerin fiziksel özellikleri, sinyal yapısı ve polarizasyon gibi parametrelere bağlıdır (Esetlili 2008). Görüntülerin renklendirilmesi diğer uzaktan algılama tekniklerinden de faydalanmayı kimi zaman gerekli kılmaktadır (Özendi ve Sefercik 2013).

2.3.5 SAR Veri Toplama Teknikleri

SAR sistemlerinde farklı taleplere cevap vermek adına geliştirilmiş birtakım veri toplama teknikleri bulunmaktadır.

2.3.5.1 Şerit Haritalama Modu

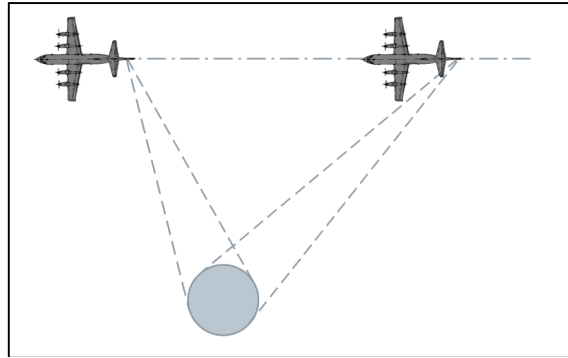
Şerit haritalama (StripMap) modu, antenin azimut doğrultusunu veri koridoru olarak kabul eden bir düzlemde veri toplama şeklidir. Değişken geliş açısı (incident angle) kullanma olanağı tanır.



Şekil 2.24 StripMap modu (URL 8).

2.3.5.2 SpotLight Modu

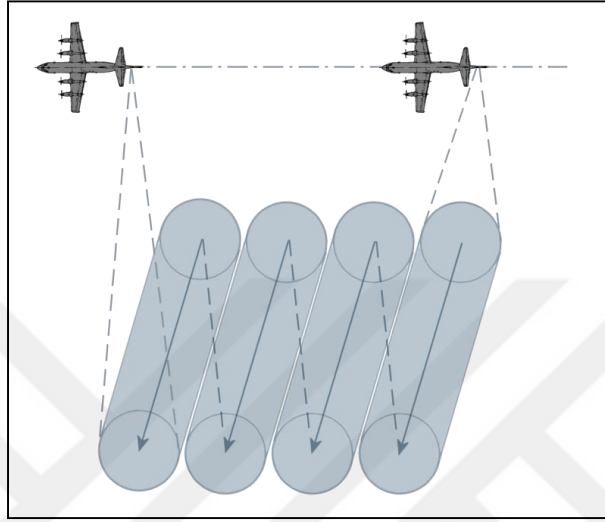
SAR sisteminin çok zamanlı gözlem alanı oluşturması şeklinde veri toplaması sonucu gerçekleşir. Aydınlatma süresinin dolayısıyla yapay açıklığın artması durumunda geçerlidir. Aynı parametreler altında StripMap moduna göre daha iyi azimut çözünürlüğü elde edilirken çoklu gözlem açıları da sunarak daha dar alanlardan veri toplama olanağı da tanır.



Şekil 2.25 Spotlight Modu (URL 8).

2.3.5.3 Tarama Modu

Veri ihtiyacı doğrultusunda tarama modu (ScanSAR) birden fazla açıda taranmış birden fazla şeritler halinde yapılır. Ek olarak bir misyonun d6nemsel olarak parça parça tamamlanabilmesi olanağı oluşturur.

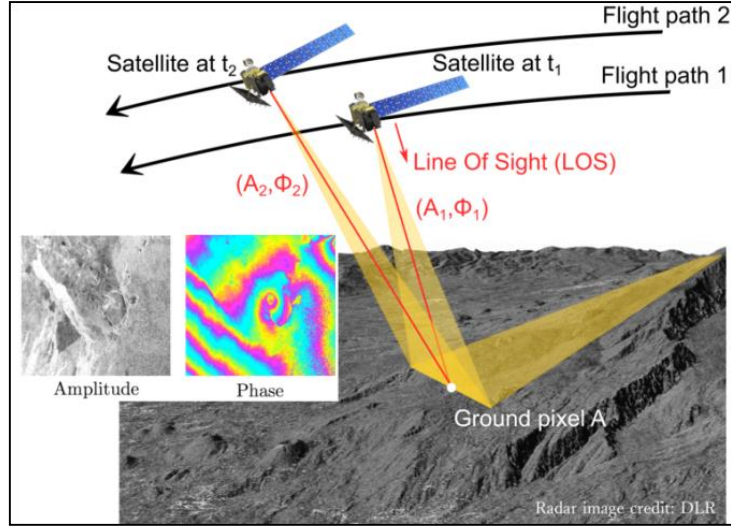


Şekil 2.26 ScanSAR Modu (URL 8).

2.3.5.4 İnterferometrik SAR

InSAR olarak adlandırılan tekniğin uygulanması iki farklı yaklaşım ile gerçekleştirilir. Burada asıl amaç u boyutlu veri elde edilmek için interferometri tekniğinden faydalanmaktır (Sefercik 2007, 2018). Genel olarak yer k6re hareketlerinin ve olaylarının yarattığı değişimlerin periyodik olarak izlenmesinde tercih edilir (Schaefer vd. 2019).

İlk yaklaşımda, tek bir SAR sistemi aynı b6lge hedeflenerek iki farklı zamanda geçiş yapar bu Şekilde toplanan verilerin işlenmesiyle InSAR verisi elde edilmiş olur. Y6ntem iki geçiş arasındaki irtifa, zaman ve faz farkından faydalanarak veri setleri oluşturulması prensibine bağlıdır.

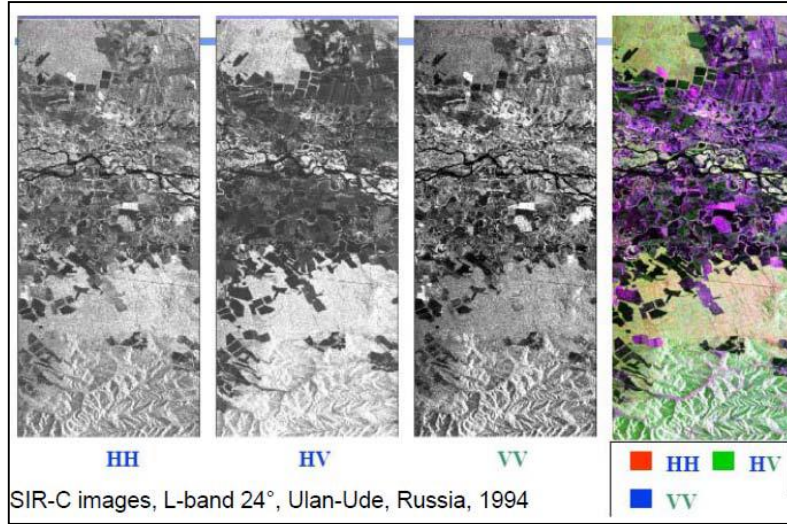


Şekil 2.27 InSAR sistemi (URL 9).

Diğer yaklaşım olarak aralarındaki mesafenin bilindiği, konumları farklı ve senkronize çalışan iki farklı SAR platformu kullanılır. Burada aynı hedef bölge için eş zamanlı ve tek geçişten elde edilen veriler arasında oluşan faz farkından faydalanılarak yükseklik verisi üretilir.

2.3.5.5 Polarimetrik SAR

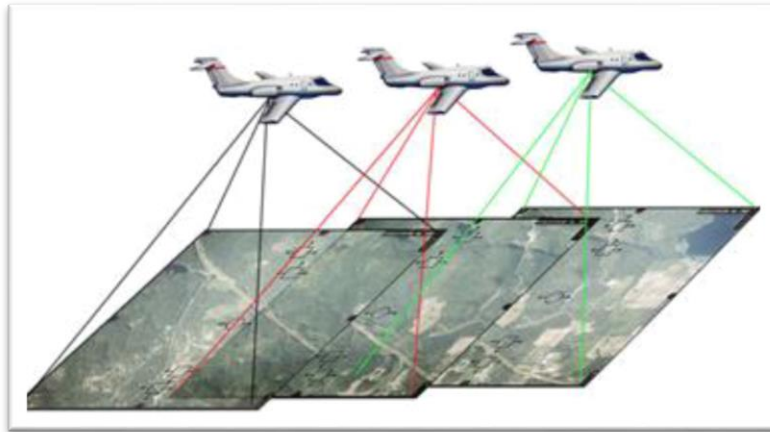
Teknolojik elverişliliğine bağlı olarak radar sistemleri kullandıkları antenlere göre elektromanyetik dalganın yatay-düşey (horizontal-vertical) polarizasyon yönünde sinyal iletme ve toplama yeteneğine sahip olabilir. Örneğin bir PolSAR sistemi polarize olmuş dalgalar yayıp HH, VV, HV, VH şeklinde bu sinyalleri geri ölçebilir. SAR sisteminin polarizasyon yeteneği, sistemin penetrasyon kabiliyetini doğrudan etkiler. *Böylece polarimetrik radarlar görüntülenen özneliliklerin, polarizasyon özelliklerini içererek daha zengin ifadeler oluştururlar* (Demirci 2005). *Polarimetrik SAR verileri, farklı saçılma süreçlerini analiz etmek ve görüntü sınıflandırması için kullanışlıdır* (Açıksarı ve Akçay 2018).



Şekil 2.28 Farklı polarizasyonlu L band SIR-C/X-SAR görüntüleri (Halounova 2009).

2.4 FOTOGRAMETRİ

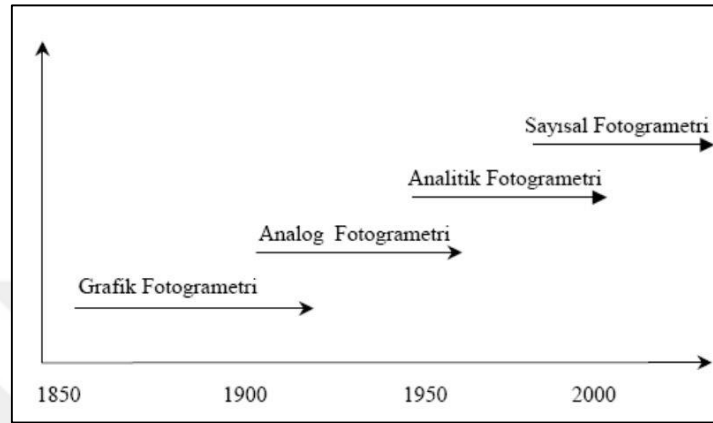
Fotogrametri; merkezi izdüşüm geometrisiyle işleyen, matematiksel ve topolojik ilişkilerden faydalanarak tekli ve çoklu fotoğraflaması yapılmış bölge veya objelerin görünen fiziksel özelliklerini yorumlama, modelleme ve elde edilen ürünler doğrultusunda da bu verileri farklı disiplinlere aktarmada kullanılan ölçüm ve gözlem tekniğidir. Böylece hedeflenen amaçlar doğrultusunda fiziksel ve topolojik veriler düzlemsel (2B) veya gerçek (3B) boyutta kesin, hassas ve kararlı şekilde elde edilebilir (Avşar 2006, Aydar 2007, Güleç 2007, Gezmiş 2017).



Şekil 2.29 Fotogrametrik veri toplama örneği.

2.4.1 Fotogrametrik Teknikler

Fotogrametrinin teknik gelişim süreci incelenirse başlangıçta gözlem ve plan amaçlı olarak kullanılırken zaman içerisinde değişen ve gelişen teknikler doğrultusunda günümüzde başlangıcından çok farklı noktalara ulaşmıştır.



Şekil 2.30 Fotogrametrik tekniklerin tarihsel süreci.

2.4.1.1 Grafik (Plançete) Fotogrametrisi

Fotoğraflar aracılığıyla açı, doğrultu ve uzunluk hesapları ile projektif geometri kavramları kullanarak veri üretilen tekniktir.

2.4.1.2 Analog Fotogrametri

Analog kameralar ile stereo çifti olarak elde edilmiş fotoğraflarla ve optik, optik-mekanik sistemlerce yöneltme işlemleri yapılarak elde edilen stereo modelden çizimsel yöntemlerle değerlendirme yapılan, bölge ve objeye ait 3B veri modelleme tekniğidir.

2.4.1.3 Analitik Fotogrametri

Çözümlemenin matematiksel ilişkilere dayandığı, stereografik değerlendirme işlemlerine komparatör gibi elektronik sistemlerin de entegrasyonu ile yöneltme, ölçme ve değerlendirme proseslerinin yarı otomatik veya tam otomatik olarak yapıldığı tekniktir.

ve asal nokta koordinatlarının iki boyutlu olarak çözümlenmesi işlemidir. Elde edilen odak ve koordinat değerleri yardımıyla izdüşüm ışını konumlandırılır.

Sayısal fotogrametrik sistemlerde yapılan iç yöneltme, kalibrasyon raporundaki kamera bilgilerinin sisteme tanımlanmasıdır. *Diğer bir ifade ile iç yöneltme adımı, kameranın parametrelerinin belirlenmesi işlemidir* (Ulvi 2015). *Kalibrasyonun asıl amacı, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden iç yöneltme parametrelerinin hesaplanmasıdır* (Demiröz vd. 2017).

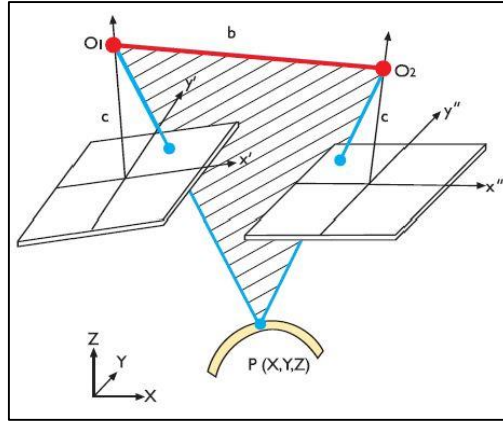
İç yöneltme işleminin tamamlanmasıyla fotoğraf koordinat sistemi ile piksel koordinat sistemi arasındaki ilişki sağlanmış veya benzer bir ifadeyle fotoğraf ve piksel arasındaki bağlantı birbirine yöneltilmiş olur.

2.4.2.2 Dış Yöneltme

İç yöneltme işlemleri ile kalibrasyon parametreleri çözümlenmesi yapıldıktan sonra dış yöneltme elemanları bulunur (Gezmiş 2017). İç yöneltme elemanlarına ek olarak hesaplanmış, izdüşüm merkezinin (kamera optik sisteminin merkezinin) 3B koordinatları ve yine 3B eksen etrafındaki dönüklüklerin elde edilmesidir. Bu şekilde dış yöneltme işlemleri karşılıklı ve mutlak yöneltme işlemlerini içerisinde barındırmış olur.

Karşılıklı Yöneltme

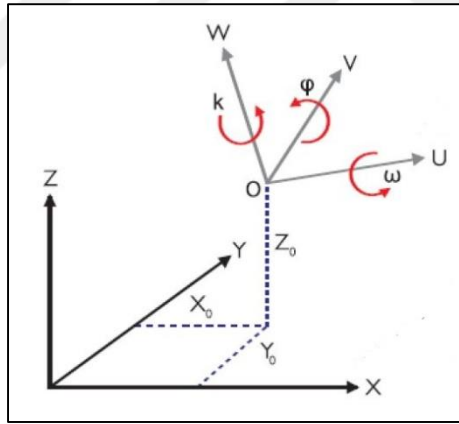
Karşılıklı yöneltme işlemi ile fotoğrafın dönüklük ve eğiklik değerleri giderileceğinden fotoğraflar çiftleri birbirlerine göre çekildikleri konuma gelmiş olurlar. Böylece eş düzlemsellik (koplanarite) koşulu sağlanmış olur. Karşılıklı yöneltme sonucu elde edilecek düşey paralaks değerleri sayesinde 3B model oluşturma olanağı sunar fakat buradaki önemli husus oluşturulabilecek bu 3B model gerçek uzay geometrisine göre paralel, çakışık ve uygun ölçekli olmayabilir.



Şekil 2.32 P noktasına ilişkin koplanarite koşulu.

Mutlak Yönelme

Karşılıklı yönelme işleminin sunduğu 3B model konum, ölçek ve öteleme bilgisi bakımından kesinlik sunmamaktadır. Bu belirsiz değerlerin giderilmesi için her iki sistemde de tanımlı kontrol noktalarıyla 3B benzerlik dönüşümü uygulanır. Böylece model gerçek 3B koordinat değerlerine kavuşmuş olur.



Şekil 2.33 Benzerlik dönüşümü grafiği.

2.4.5. Fotogrametri Tekniği Özellikleri ve Kullanım Alanları

Hava fotogrametrisi tekniği haritacılıkta standart bir harita yapım yöntemidir (Ulvi 2015). Ülkemizde ise Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nin 5. Bölüm, 51 ila 75. maddeleri arasında bu standartlar belirtilmektedir.

Sistemin giderek sayısallaşması (dijitalleşmesi) beraberinde birtakım yenilikler getirmiştir. Görüntünün doğrudan elde edilmesiyle film banyosu ve tarama işlemlerinin giderek sistemin

dışında kalmasıyla bu işlemlere dayalı distorsiyonlar da gittikçe elimine edilmiştir (Mırdan 2018). Sistemin dijitalleşmesine bağlı olarak veri toplamadaki kabiliyeti değişmiş beraberinde planlama esnekliği oluşmuştur. Uçuş planlaması dolayısıyla veri toplama süreci hava koşullarından doğrudan etkilense de çeşitli kameralar ile elde edilen hava fotoğrafları kullanılan kameranın özelliklerine göre siyah-beyaz, renksiz veya renkli olabilir. Bu sayede eş zamanlı olarak farklı özneliklere sahip verileri toplamak mümkün olmaktadır. Görüntüleme sistemlerindeki teknolojik gelişmelere de bağlı olarak fotogrametrik sistemlerin veri toplama yelpazesi gelişmiş, çözünürlük kavramları ile ilgili parametrelerde iyileşmeler yaşanmış ve bu parametrelerin özelleştirilmesi imkanı doğmuştur (Gezmiş 2017). Böylece görüntü işleme, iyileştirme ve yorumlama teknikleri daha verimli kullanılmakta ve giderek otomatikleşmektedir (Mırdan 2018).

Hemen hemen farklı disiplinlerdeki gelişmelerle de birlikte entegrasyon başarısı sağlanmasıyla fotogrametri tekniği tekil bir yöntem olmaktan çıkmıştır. Özellikle konum ve durum bilgisi üreten GPS/IMU sistemleriyle birlikte farklı mobiliteye sahip platformlarca opere edilebilir bir hal almıştır (Mırdan 2018).

Bunlar dışında fotogrametri tekniğinin diğer kullanım alanları olarak; SAM-SYM üretimi, jeodezik çalışmalar, 3B obje-şehir modelleme, çeşitli mühendislik uygulamaları ve projeleri, zirai çalışmalar, jeolojik etüdlere, askeri, tıbbi ve kriminal branşları sayılabilir ve teknolojik imkanlar doğrultusunda da çoğaltılabilir (Toprak 2014, Çiçekli 2015, Ulvi 2015, Mohammed 2016, Gezmiş 2017).

2.5 İNSANSIZ HAVA ARACI

İnsansız Hava Araçları (İHA), bir pilotun uçuş platformu üzerinde bulunmadığı, uzaktan dolaylı olarak bir operatör tarafından veya önceden belirlenmiş uçuş planı doğrultusunda tam ve yarı otomatik şekilde veya tamamen uçuş planı olmaksızın manuel şekilde opere edilerek çeşitli irtifalarda uçuş kabiliyetine sahip, taşıdığı faydalı yükler vasıtasıyla da veri toplayan hava araçları olarak tanımlanır (Uysal vd. 2015, Akgül vd. 2016, Atalay vd. 2016, Özemir ve Uzar 2016, Torun 2017).

İHA platformu veya sistemleri, hava aracı ve üzerinde entegre olan çeşitli algılayıcı, konum verisi, iletişim bileşenlerinin yanı sıra bunlarla senkronize çalışan hava ve yer istasyonları

bileşenleri barındıran komplike bir sistemi ifade eder (Akgül vd. 2016, Kılınçoğlu 2016, Torun 2017).

2.5.1. İHA Sınıflandırması ve Özellikleri

İHA için uluslararası platformlarda birden fazla tanım ve sınıflandırma kabul görmüştür. Genellikle; irtifa, ağırlık, boyut, taşıma kapasitesi, uçuş süresi ve menzili, gövde yapısı, yakıt türü, içerdiği donanım ve kullanım alanları gibi parametreler bu konuda etkili rol oynamıştır (Akgül vd. 2016, Kılınçoğlu 2016). İHA sistemlerini ifade eden bu çeşitli parametreler aynı zamanda sistemin özelliklerini ve kapasitesini de belirlemektedir.

Kıyasla daha yeni bir teknolojik kompozisyona sahip olan İHA'lar süregelen geleneksel yöntemlere göre daha yüksek mobiliteye bir başka ifadeyle kullanım esnekliğine sahiptirler. Yine kıyasla diğer uzaktan algılama tekniklerine göre maliyet, hızlı çözüm üretme ve değişken çözünürlük değerlerine sahip olmak gibi konularla ön plana çıkmaktadır.

Uçuş kabiliyetine bağlı olarak her durumda opere edilebilen İHA sistemleri için yüksek zamansal çözünürlükten bahsetmek mümkündür. Bu sayede tekrarlı veriler elde etmek, çoklu gözlem şartları sağlamak ve bu bilgileri aktarmak diğer tekniklere kıyasla daha hızlıdır.

İHA sistemlerinin uçuş ve taşıma kabiliyetine bağlı olarak üzerine entegre edilebilecek teknolojiler de çeşitlilik göstermektedir. Günümüzde teknolojik bileşenlerin giderek kompakt hale gelmesi ve daha verimli olması sayesinde birden fazla kabiliyeti barındıran İHA sistemleri kurmak mümkün hale gelmiştir. Öte yandan bu gelişme sistemin uçuş kabiliyeti değerlerini de iyileştirmiştir (Çömert vd. 2012). Tüm bu gelişmelerin yaşanmasıyla İHA ile elde edilebilecek ürün ve bilgi yelpazesi de günden güne genişlemekte ve yeni kombinasyonlar ile çeşitlenmektedir. Buna örnek olarak günümüzde sıklıkla kullanılan üzerine entegre bir dijital kamera ve GPS/IMU sistemlerini içeren eş zamanlı fotogrametrik görüntü ve konum bilgisi toplayan İHA örnek olarak gösterilebilir. Geleneksel yöntemlere göre alçak irtifadaki kullanım esnekliği ve fotogrametri gibi diğer uzaktan algılama tekniklerinin küçük çaplı projelerdeki maliyetlerine kıyasla daha ekonomik, hızlı ve pratik çözüm sunması bu İHA kompozisyonunu bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır (Eisenbeiß 2009, Unger vd. 2014, Wallace vd. 2016, Anurogo vd. 2017, Perkić ve Vuković 2018, Ruan vd. 2019).

Uzaktan algılama prensibine dayalı olarak veri elde eden İHA sistemlerine, platformun taşıma kapasitesine bağlı olarak birçok çeşit algılayıcı sensör entegre edilerek kullanılabilir. Bu sayede bilgi içerik ve zenginlikleri çok farklı olan, farklı amaçlara hizmet edebilecek renkli-renksiz, multispektral, termal görüntülerin yanı sıra nokta bulutu kümeleri de elde edilebilir (Çömert vd. 2012, Akgül vd. 2016, Birdal vd. 2016, Wallace vd. 2016, Sankey vd. 2018, Sefercik vd. 2018, Ruan vd. 2019). Böylece diğer uzaktan algılama tekniklerinin ve bileşenlerinin İHA ile kombine şekilde kullanılması beraberinde mevcut tekniklere yeni yaklaşımlar da getirerek katkıda bulunacaktır (Yakar ve Mırdan 2017).

2.5.2 İHA Sistemlerinde Standartlaşma

İHA sistemleri için birden fazla tanımın, sınıflandırmanın ve bileşenin olması, bu kavramların süratle gelişim ve değişim göstermesi de beraberinde birtakım çalışmaları zorunlu kılmıştır. *Tüm dünya üzerinde yönetmelik ve mevzuatlar, bu tür yeni hava teknolojisinin fotogrametrik ve uzaktan algılama uygulamalarında hukuken kullanılabilmesi için hazırlanmaktadır* (Birdal vd. 2016). İHA sektöründeki ani ivmelenmede standartlaştırma gerekliliğinin bir diğer sebebidir.

Ülkemizde Türk sivil havacılığının yasallaştırılması adına 2920 ve 5431 sayılı kanunlar esas alınırken aynı zamanda "İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul ve Esaslarına İlişkin Talimat (SHT-IHA)" 30 Ekim 2013 tarihinde yayımlanarak daha özel bir statü oluşturulmuştur. 22 Şubat 2016 tarihinde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından "İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-IHA)" yayımlanmıştır.

Bu talimatlar ile hava hukukunun temel konularından olan; hava sahası entegrasyonu, trafik yönetimi, sertifikasyon ve lisanslama konuları açıklığa kavuşturulmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra çeşitli kısıtlamalar da yürürlüğe girmiştir. Çıkarılan son yönetmelik kapsamında belirli kapasitedeki İHA uçuşları, bilimsel çalışmaların yapıldığı üniversite alanları dışında yasal izine tabi hale gelmiştir (Atalay vd. 2016, Sefercik vd. 2018).

Yalnızca gerçekleşen ya da gerçekleşmesi olası kazalar dolayısıyla İHA sektörünün hukuki altyapısının oluşturulması dahi elzem bir ihtiyaç iken; bunun ötesinde, sigorta, ticaret,

sertifikasyon, güvenlik vd. alanları içeren daha kapsamlı mevzuata ihtiyaç olduğu gerçeği göz ardı edilemez (Torun 2017).

2.5.3 Veri Toplama ve İşleme

İHA'lar geleneksel tek veya belirli sayıdaki istasyondan veri toplama tekniklerinden farklı olarak çoklu konum ve açıdan veri toplama konusunda, uçuş kabiliyetine bağlı olarak büyük esnekliğe sahiptirler (Grasso vd. 2016). İHA'lar sahip olduğu fiziksel esnekliğe karşılık yoğun hava olaylarında stabilizasyon sorunları yaşamaktadır (Akgül vd. 2016). Yine de fiziksel boyutlarının ve opere kabiliyetindeki avantajları belirli çaplardaki sahalarda İHA'ların kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Rock vd. 2011). Bu hususlar dikkate alındığında uçuş güvenliği ve kararlılığı açısından birtakım sorunları aşabilmek ve hava koşullarına mukavemet edebilmek adına İHA'ların aerodinamik ve aviyonik tasarımlarının iyileştirilmesi adına adımlar atılmıştır (Sefercik vd. 2018). Benzer çalışmalar ve geliştirmelerle sistemler oluşturulan uçuş planları ve veri toplama konusunda daha kararlı bir hale gelecektir (Toprak 2014). Yine de İHA'ların uçuş süresi ve yük kapasitesi veri toplama aşaması açısından sınırlandırıcı parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

İHA sistemleri kısa zamanda hızlı bir şekilde yoğun bilgi içeriğine sahip olan veri setleri üretme kapasitelerine sahiptir (Grasso vd. 2016). Özellikle kompakt görüntüleme sistemlerinin İHA'lar ile entegrasyonundan sonra İHA ile görüntü toplama yeni bir yaklaşım haline gelmiştir (Alhafni vd. 2019). Bu şekilde İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü ve çok sayıdaki görüntülerin de geleneksel yaklaşımlarla çözümlenmesinden ziyade günümüzde yoğun veri setlerinden faydalanabilmek için görüntü işleme ve bilgisayarlı görme (computer vision) teknikleri gündeme gelmiştir. *Son yıllarda, dijital fotogrametri çalışmalarında dijital kameraların entegre edildiği İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerden üretilen verilerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Öztürk vd. 2017).* Fakat burada İHA üzerine entegre algılayıcının veri toplama kabiliyetlerini göz ardı etmemek ve bu kapasiteye göre veri toplama sürecini planlamak son derece önemlidir (Rock vd. 2011, Tomaščík vd. 2017). Algılayıcı kapasitesi hava şartlarına bağımlılık konusunda kısıtlı olsa bile İHA'ların alçak irtifa uçuşları yapabiliyor olması planlama ve veri toplama sürecinde esneklik sağlarken bulutluluk ve gölge gibi şartlara karşı bir denge kurmayı sağlar (Eisenbeiß 2009, Anurogo vd. 2017).

Sonuç ürün odaklı yaklaşıldığında geleneksel fotogrametri ile İHA fotogrametrisi arasında fark gözlenirse de hesaplama yaklaşımları ve süreçleri arasında belirgin farklılıklar mevcuttur. *Bu farklılık, fotogrametrinin olgunlaşmış geometrik, istatistiksel ve matematik temellere dayanması; İHA fotogrametrisinin ise bilgisayarlı görü (computer vision) alanında nesne tanıma, çok sık nokta bulutundan katı model oluşturma amaçlı görüntü eşleme ve geometrik dönüşüm algoritmalarına ve modellerine dayanmasından kaynaklanmaktadır* (Torun 2017). Bu prensipsel farklılığın temelinde, tekniklerden birisinin doğruluğu amaçlaması diğerinin ise hızlı çözüme yönelmesi yer almaktadır (Torun 2017).

Bu amaçlar doğrultusunda İHA'lardan elde edilen verileri işlemek ve kullanmak adına kendi algoritmaları ile işleyen çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir (Uysal vd. 2015).

2.5.4 Görüntü Eşleme Metodları

İHA fotogrametrisinde yoğun nokta bulutundan katı model oluşturmak amacıyla çeşitli görüntü eşleme metodları kullanılmaktadır. Özellikle obje-detay çıkarımında çoklu görüntü ve fotoğrafların değerlendirilmesi çok büyük önem taşıdığından bu metodlar ön plana çıkmaktadır. *Sayısal görüntü eşleme (digital image matching), en azından kısmen aynı alanı kapsayan iki veya daha fazla digital görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin (correspondence) otomatik olarak kurulmasıdır* (Arslanbek 2009). Pikseller arası doğrudan bire bir eşlemeye dayalı bir görüntü eşleme işlemi yapmaya çalışmak günümüz görüntülerinin barındırdığı piksel sayısı, piksel boyutu ve gri ton değerleri gibi teknik özellikleri düşünüldüğünde beklenen performans açısından her koşul altında yeterli bir çözüm olmayacaktır (Potucková 2004, Güner 2013). *Görüntülerin eşleştirilebilmesi için, detay noktalarının (feature points) stereo görüntüler üzerinde seçilmesi ve eşlenik noktaların en iyi şekilde belirlenmesi gerekmektedir* (Acar 2012). Bu sebepten görüntü eşleme için çeşitli metodlara başvurulmuştur.

Bu metodları; Alan Tabanlı Görüntü Eşleme (Area Based Image Matching), Nesne-Detay (Öznitelik) Tabanlı Görüntü Eşleme (Feature Based Image Matching) ve İlişkisel Görüntü Eşleme (Relational Image Matching) olarak üç başlıkta incelemek mümkündür.

2.5.4.1 Alan Tabanlı Görüntü Eşleme

Alana bağlı eşlemede gri tonlardan oluşan küçük pencereler, eşleme elemanları olarak kullanılır (Asri 2011). Eşleme penceresi veya şablonu olarak kullanılacak matris yapısı çoğunlukla kare şeklindedir (Potucková 2004). Genelde çapraz korelasyon fonksiyonu ve en küçük kareler eşleşmesi kullanılarak karşılaştırılacak veriler arasındaki gri seviye dağılımlarının eşik değer analizlerini temel alan eşleme metodudur. Gri tonların radyometrik değişimlere karşı olan duyarlılığı ve çalışılan veri hacminin büyük olması eşleme yönteminin performansı üzerinde negatif etki oluşturabilmektedir. Alana bağlı eşleme yöntemi düzgün dokulu görüntülerde, içerisinde örtülü alanlar ve zayıf dokulu alanlar içeren görüntülere göre daha başarılı çalışmaktadır (Arslanbek 2009, Kaya 2010, Asri 2011).

Çapraz Korelasyon Yöntemi-Karşılıklı İlişki Yöntemi

Referans veri kümesi ile örnek (hedef) veri kümesi arasındaki korelasyon fonksiyonunun hesaplanması temeline dayanır. İki küme arasındaki çapraz korelasyonun hesaplanması için hedef resimdeki her bir piksel referans kümesindeki pikseller ile karşılaştırılır ve karşılaştırılan pikseller arasındaki çapraz korelasyon (cross correlation) katsayısı hesaplanır. Bu fonksiyonun maksimum değeri karşılaştırma verisi için en iyi eşleme kalitesini ifade eder. Bu yöntemde karşılaştırılan veri setleri arasındaki dönüklük, ölçek ve diğer deformasyon değerleri hesaba katılmaz bu sebepten ötürü yöntem genellikle yumuşatılmış görüntülerde ve düşeye yakın görüntülerde kullanılmaktadır (Asri 2011).

En Küçük Kareler Yöntemi

Görüntü eşleme esnasında, karşılıklı değerlendirilmesi yapılan iki görüntü arasında oluşabilecek geometrik ve radyometrik farklılıklardan dolayı doğrusal korelasyon yöntemi istenen sonuçları veremeyebilir. Görüntü eşlemesi yapılırken; doğruluk değerlendirmesi, verilerin ağırlık değerlendirmesi ve hata miktarları gibi ek parametrelerin göz önüne alınmasıyla bu durum elimine edilebilir. Bu şekilde en küçük kareler yöntemi ile gri değer farklılıkları tespit edilirken, radyometrik ve geometrik düzeltmeler de yapılmış olur.

2.5.4.2 Nesne-Detay (Öznitelik) Tabanlı Görüntü Eşleme

Alan tabanlı eşlemeden farklı olarak bu yöntemde nokta, köşe, kenar ve alan gibi detaylar değerlendirilir. Görüntünün tamamını kullanmak yerine bu öznitelik parametrelerinin karşılaştırılması temeline dayanır. Çıkarılan öznitelik verilerinin ayırt edici ve yeterli miktarda olması işlem başarısını ortaya koyacaktır (Dilbilir 2017, Jayanthi ve Indu 2018).

Nokta Eşleme

Görüntüdeki detay (ilinti) noktaları, görüntü içerisinde ayırt edilebilir ve geometrik ile radyometrik farklılardan etkilenmeyen noktalardır (Dilbilir 2017). Operatör aracılığıyla tespiti yapılan noktalar yoğunluk tabanlı eşleme metodları kullanılarak eşleme işlem sürecine katılmış olur.

Kenar-Köşe Eşleme

Görüntülerde gri tonların ani değişim gösterdiği bölgeler nesnelere ait kenar ve köşeleri ifade etmektedir. Kenar belirleme ve çizgi çıkarma operatörleri aracılığıyla görüntüdeki nesnelere ait kenarlar eşleme işlemine dahil edilmiş olunur.

2.5.4.3 İlişkisel (Sembolik) Görüntü Eşleme

Bir benzerlik kriteri olarak şekil veya konumu kullanma yerine, topolojik özellikleri karşılaştırır (Asri 2011). Bir başka tanımla bu yöntem, katı bir şekilde geometrik kurallara bağlı kalmadan görüntü üzerindeki sembolik tanımlara göre eşleme gerçekleştirmektedir. Sembolik tanımlar ve detaylar görüntüyü bir ifadeye kavuşturacak öznitelik değerlerinin her birisini ifade etmektedir.

2.5.5 İHA Sistemlerinin Kullanım Alanları

Yakın dönemdeki teknolojik gelişmelerle birlikte kompakt bileşenlerin çeşitliliğindeki ve kabiliyetlerinde artış ve bunların İHA ile entegrasyonu İHA sistemlerinin çeşitli disiplinlerce kullanımını arttırmıştır (Rock vd. 2011). İHA sistemleri bir yandan diğer sistemler ile bağlantı kurmada bir köprü görevi görürken bir yandan da yeni oluşumlara zemin hazırlamaktadır. Uzaktan algılama prensibine sağladığı katkılarla da kullanımları yoğunlaşmakta hatta diğer algılama yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır

(Özcan 2017). Böylece İHA sistemlerinin farklı platformlarda kullanılan algılama teknikleri arasındaki boşluğu kapatmak konusunda katkılarının bulunduğundan söz edilebilir (Unger vd. 2014).

İnsansız hava araçları ve sistemleri günümüzde artan bir şekilde tüketici örgütleri, ticari işletmeler ve akademik çevreler tarafından doğal veya yapay mekansal objelere ait coğrafi verileri elde etmek amacıyla kullanılmaktadır (Akgül vd. 2016). Bu hususta diğer uzaktan algılama disiplinleri ile kombine şekilde İHA ve İHA sistemleri; şehircilik, çevrecilik, ormancılık, tarım ve zirai uygulamalar, jeoloji, meteoroloji, arkeoloji, SAM-SYM üretimi, jeodezik çalışmalar, 3B obje-katı modelleme, ulaşım, madencilik, afet yönetimi ve analizi, erişimi zor ve riskli alanlara ulaşım, çeşitli mühendislik uygulamaları ve projeleri için büyük ölçekli haritalama ve görüntüleme açısından çözüm alternatifi sunmaktadır (Eisenbeiß 2009, Toprak 2014, Akgül vd. 2016, Atalay vd. 2016, Birdal vd. 2016, Grasso vd. 2016, Makineci 2016, Özemir ve Uzar 2016, Öztürk vd. 2017, Yakar ve Mırdan 2017, Weiss ve Baret 2017, Sefercik vd. 2018).

Geniş bir çözüm yelpazesi sunmasına karşın İHA sistemlerinin kullanılabilirliğinin yaygınlaşması ve standartlaşması adına ulusal ve uluslararası organizasyonlarca yapılan test ve entegrasyonlar, hukuksal ve teknik altyapı düzenlemeleri, lisans ve sertifikasyon konusundaki çalışmalar ve genel kapsamlı Ar-Ge yatırımları çok büyük önem taşımaktadır. Şu an için İHA'ların birtakım eksiklikleri çeşitli entegrasyon çalışmaları ile giderilmeye çalışılmaktadır (Makineci 2016). Mevcut durumda karşılaşılan bu konu başlıklarına ilişkin sorunların çözümü İHA'ların gelecekte akademik, askeri, sivil ve ticari sektörlerdeki gelişim hızını arttıracaktır.

2.5.6 Optik İHA Sistemleri ile Birlikte Kullanılan Yazılımlar

Fotogrametrik veri setleri üretmek amacıyla kullanılan İHA sistemleri düşünüldüğünde, hacimce yüksek boyuttaki ve yoğun veri setlerinin işlenebilmesi adına geliştirilmiş birtakım yazılım ve algoritmalar bulunmaktadır. Bu yöntemlerin geliştirilmesinde geleneksel tekniklerdeki yaklaşımlara kıyasla yoğun işlem kabiliyeti gerektiren setlerdeki çözümler konusunda daha etkili bir yaklaşıma duyulan ihtiyaç önemli etken olmuştur.

Dijital donanımlardaki ve yazılımlardaki son dönem gelişmelerine bakıldığında özellikle de çok sayıda, çoklu açılarla elde edilmiş dijital fotoğrafların bilgisayarlı görü ve işlemeye uygun

olması, veri setlerinden azami fayda sağlanması böylece hedeflenmiş bilgilere içeriklerini üretebilmek adına bu yaklaşımlar elzem hale gelmiştir (Küng vd. 2011).

Görüntüden yapısal model oluşturma (Structure from Motion-SfM) adı verilen veya büyük veri setleri için Multiview Stereo (MVS) olarak isimlendirilen yaklaşım ele alındığında; veri seti içerisindeki görüntülerin özelliklerini otomatik olarak algılayarak görüntüleri eşleştirir, böylece görüntülerden sanal bir sahne yaratmış olur. *SfM; bir nesnenin veya bir sahnenin farklı bakış açılarından alınan görüntü setlerinden, kamera parametreleriyle birlikte sahnenin 3B yapısını tahmin ederek oluşturmayı hedefleyen algoritmadır* (Yakar ve Doğan 2017).

Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform-SIFT) de aynı şekilde birçok paket yazılım için ortak bir yaklaşımdır. *SIFT (Scale Invariant Feature Transform), bir resmin, aydınlatma, döndürme ve ölçeklendirmeye karşı değişmeyen bölgesel özelliklerini belirleyip tanımlayan bir algoritmadır* (Oral ve Gençal 2016). Buna bağlı olarak görüntü segmentleri üzerindeki minimum ve maksimum değerlerin tespiti, kilit-anahtar noktalarının belirlenmesi ve yönelim (açı değerleri) değerlendirmesi silsilesi ile işlemektedir. Bu şekilde referans veri ile örnek veri arasındaki yeniden değerlendirme yapılarak anlamlandırma ve tanıma işlemi gerçekleşmiş olur.

Ayırt Edici Özellik Yöntemi (Speeded-Up Robust Features-SURF), karşılaştırması veya eşlemesi yapılacak olan sahnelerde ortak olan belirgin ayırt edici özellik noktalarının tespitini temel alan algoritmadır. SIFT yöntemine göre, bazı eşleme işlemlerinde ve çeşitlilik içeren görüntülerde daha başarılı bir algoritmadır (Jayanthi ve Indu 2016). Altyapısal olarak SIFT algoritması Gaussian farkı filtresini kullanırken, SURF yöntemi Hessian piramidi temel alan BLOB yönteminden faydalanarak aynı kontrast türüne sahip özellikleri karşılaştırarak hızlı bir çözüm sunmaktadır. (Karami vd. 2015, Jayanthi ve Indu 2016).

Yarı-Global Eşleme (Semi-Global Matching-SGM), üç boyutlu modellerin üretiminde sıklıkla kullanılan piksel bazında görüntü eşlemeye (pixel-wised matching) dayanan algoritmadır. Yaklaşımın farklılığı, her bir piksel için eşlemenin; konu olan piksel ile o piksele komşu olan tüm doğrultularda yapıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Günümüzde değerlendirmesi yapılan veri setlerinin hacmi, dolayısıyla da içerdikleri piksel yoğunlukları düşünüldüğünde; piksel bazlı görüntü eşlemeye dayanan bu algoritmanın bir dezavantaj olarak proses esnasında

ciddi donanım kabiliyetine duyacağı gereksinimi gündeme getirmektedir (Gehrke vd. 2012, Hirschmüller vd. 2012).

Böylece oluşturulan sanal modellerin temelinde, ortak noktalar barındıran çoklu stereo görüntülerin değerlendirilmesi ve işlenmesi yer alır bu sayede de eşlenen görüntüler üzerinden üretilen yoğun nokta bulutlarından katı modelleme mümkün hale gelmektedir. Bahsedilen bu yaklaşımlar benzer hedefler doğrultusunda bilgi üretmeyi amaçlayan yazılımların içerisinde gömülü olarak çalışırlar.

2.5.6.1 Agisoft PhotoScan (v1.3.2)

Sabit görüntülerden yüksek kalitede 3B modeller üretebilen görüntü temelli gelişmiş bir yazılımdır. Yazılım herhangi bir konum ve açıdan alınmış .jpeg .tiff .png gibi çeşitli görüntü formatlarını kullanarak bu görüntülerden yoğun nokta bulutu üretir. İçerisindeki algoritma ve filtreler ile bu nokta bulutlarından hedeflenen modelleri 3B çoklu görme (multi-view) teknikleri ile tam otomatik olarak yeniden katı modeller halinde üretir. Sonuç ürünleri ise diğer yazılımlarla kullanabilmek adına farklı formatlarda (GeoTiff, xyz, Google KML, Wavefront OBJ, VRML, COLLADA, PDF gibi) çıktı olarak sunabilir. Metadata olarak eklenecek kontrol noktaları sayesinde veya görüntü alımında kullanılan platformdan doğrudan elde edilebilecek olan konum verileri ile modellerin bu açıdan irdelenmesini mümkün kılar.

DJI Phantom 4 model İHA ile 70 metre irtifadan gerçekleştirilen otonom uçuş sonucu % 70 boyuna ve % 80 enine bindirme oranlarıyla elde edilen fotoğraflarla sayısal yüzey modeli, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretimi amaçlanmış bu bağlamda 2 inç/piksel mekansal çözünürlüğe sahip sonuç ürünler elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda mobil araçların günümüzde kolaylıkla opere edilebilmesi ve paket yazılımlar ile çalışılması, veri toplama ve işleme adımlarına büyük katkı sağladığı görülmüştür. Bu esnada sonuç ürünlerin mekansal çözünürlüğünün uçuş irtifasına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Anurogo vd. 2017).

Atechsys tarafından geliştirilen hexacoptere entegre 24 MP çözünürlükteki RGB Sony ILCE α 5100L dijital kamera ile tümleşik 60 mm odak uzaklığına ve 3.88 μ m piksel boyutuna sahip kamera kullanılarak 45 derecelik zenit açısında iz yönünde ve ize dik % 59-77 arasında değişken bindirme oranlarıyla 3, 5 ve 7 metrelerde değişen irtifalarda 0.20-0.45 mm arasında

değişen yer örnekleme aralığı değerleri elde edilmiş, bitki yoğunluğu ve elde edilen görüntülerle sınıflandırma çalışması yapılmıştır (Jin vd. 2017).

DJI Phantom 4 İHA ile 60-80-100 m irtifalarda olmak üzere gerçekleştirilen uçuşlarda; 60 ve 80 metrede 90 derece, 100 metrede 45-60-90 derece kamera açılarıyla sayısal görüntüler toplanmıştır. % 80 boyuna % 60 enine bindirme oranlarıyla toplanan görüntülerden sırasıyla sayısal yüzey modeli ve ortogörüntüler üretilmiş ve doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda İHA'lar aracılığıyla ortogörüntü üretilbileceği görülmüştür. Sonuç ürünler irdelendiğinde farklı irtifa ve farklı açılar ile görüntülerin elde edilmesinde bu parametrelerin doğru belirlenmesinin önemi görülmüştür (Öztürk vd. 2017).

DJI F550 hexacoptere entegre 12 MP GoPro Hero 3 kamera ile görünür bantta ve .jpeg formatında fotoğraf çekilmiştir. Hedeflenen % 60 yan, % 70 boyuna bindirme oranları için fotoğraf çekim sıklığı 1 fotoğraf/saniye olarak belirlenmiştir. 30-100 metre arasında değişen irtifalarda gerçekleştirilen sabit yükseklikteki uçuş kolonlarının her birinden 166 ila 562 adet fotoğraf elde edilmiştir. Dijital proses sonucu 3B nokta bulutu, yüksek çözünürlüklü ortofoto ve 3B arazi modelleri üretilmiş ve üretilen modellerin 1-6 cm arasında değişen çözünürlük değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda İHA üzerine entegre kamera ile maden sahalarında ortofoto ve arazi modeli üretiminin mümkün olduğu görülmüştür (Şanlıyüksel Yücel ve Yücel 2017).

12 MP çözünürlükteki DJI Phantom 3 model quadcopter ile 30 m irtifadan %80 enine ve boyuna bindirme oranları korunarak oluşturulan uçuş planı doğrultusunda toplamda 533 adet hava fotoğrafı çekilmiştir. Fiziksel oluşumuna incelenecek olan obruğun iç yüzeyine de hakim olmak adına İHA'nın orbit (yörünge) modu da kullanılarak obruğun merkezinden duvarına olan doğrultuda ve duvardan merkezine doğru olan doğrultulardan sırasıyla 32 ve 50 adet fotoğraf çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar kullanılarak 3B sayısal yüzey modeli oluşturulmuştur. Bu modelin yanı sıra yer örnekleme aralığı 1.37 cm/pixel ortofoto ve yer örnekleme aralığı 11 cm/pixel SYM üretilmiştir. Çalışmanın basamaklarında ürünlerin kalitesinin donanım özelliklerine olan bağlılığı belirtilirken çalışma sonucu İHA'ların jeolojik oluşumların modellenmesinde kullanılabilirliği görülmüştür (Yakar ve Doğan 2017).

DJI Phantom 3 quadcopter ile ortogonal fotoğraflar başlangıç noktasından ardışık 80, 50 ve 30 metre (en yüksek yüzey örtüsüne göre kabaca 65, 35 ve 15 metre) olmak üzere üç farklı

irtifadaki sabit yükseklikteki uçuşlar ile işlenmek üzere 166 adet kullanılabilir fotoğraflar çekilmiştir. Elde edilen fotoğraflardan dijital ortamdaki proses kullanılan yazılım ile sırasıyla; yoğun nokta bulutu, dokusal model, dijital yüzey modeli ve ortofoto harita üretimi şeklinde ilerlemiştir. Oluşturulan veri setleri daha sonra jeomorfolojik haritalama ve kabul edilen referans veri ile farklılık analizleri için kullanılmıştır. Referans veri hava kaynaklı lazer tarama tekniği ile 4-6 nokta/m² yoğunluğunda üretilmiştir. Buna karşılık İHA sistemi kullanılarak elde edilen nokta bulutu yoğunluğu 43.6 nokta/cm² olmuştur. Nokta bulutu içerisinde toplamda 63 milyon nokta kullanılarak oluşturulan yüzey modeli çözünürlüğü 0.015x0.015 metre civarlarında olduğu görülmüştür. Böylece İHA verileri kullanılarak oluşturulan yüzey modelinin temsil kabiliyeti açısından yüksek çözünürlük gösterdiği sonucuna varılmıştır (Kasprzak vd. 2018).

2.5.6.2 Context Capture (CC v1.4)

Üzerine yüklenen görüntülerden veya nokta bulutlarından faydalanarak bu verileri 2B çizimlere veya 3B modellere çevirebilen bir yazılımdır. Konum verisi içeren metadataları kullanabilir. Üzerine entegre modüllerle birlikte elde ettiği ürünleri dış formatlara veya web hizmetleri üzerine aktarabilir. Sonuç ürünler üzerinde konum verileri ile birlikte ölçüm ve hesap işlemleri yapmaya imkan tanır.

Hexacoptere entegre 24 Mpx çözünürlükte 3.92 µm piksel boyutuna ve dahili 20 mm lense sahip Sony ILCE-5100 model kamera ile 190 adet fotoğraf toplanmış. Veri eldesinde lineer ve oblik yörüngeler kullanılmış ve 0.5 cm yer örnekleme aralığı elde etmek için irtifa 20 m dolaylarında tutulmuştur. Referans kümesi olarak kullanmak adına 29 milyar nokta içeren yersel lazer tarama nokta bulutu seti Faro Focus 3D tarayıcı ile elde edilmiştir. Toplanan görüntülerden ContextCapture yazılımı kullanılarak üretilen ve gürültü değeri barındırmayan 19 milyon noktanın istatistiki karşılaştırması yapılmıştır. Referans ve örnek veri kümeleri karşılaştırıldığında hesaplanan istatistiki hata dağılım değerleri ortalama 0.004 m ve standart sapma değeri 0.017 m olarak hesaplanmıştır. Bu parametreler doğrultusunda İHA sistemi kullanılarak veri toplama ve işleme sonucu 3B katı yapı modeli üretilmiştir (Grasso vd. 2016).

2.5.6.3 Pix4D (v2.3)

Farklı niteliklere sahip görüntüleri 3B harita ve modellere dönüştürmek için fotogrametrik ve bilgisayarlı görme algoritmalarını kullanan paket yazılım grubudur. RGB, NIR, termal, tekil veya çok bantlı, JPG, TIFF gibi çeşitli görüntü formatlarını destekler. Konum verileri ile birlikte işleyebilir GeoTiff, OBJ, LAS, LAZ, XYZ, PLY, dxf, shp, kml formatlarındaki verileri dışa aktarabilir.

Otonom uçuş yapan 6 kollu multikopter İHA ile 50-400 m değişken uçuş irtifalarında gerçekleştirilen uçuşlar sonucunda % 70 yan, % 80 önden bindirme oranlarına sahip toplam 212 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir. Bu fotoğraflardan nokta bulutu, ortofoto, sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modeli ve vejetasyon haritaları üretilmiştir. Çalışmada İHA üzerine entegre Sony NEX5-R dijital kamera kullanılmıştır. Elde edilen SAM ve SYM modelleri arasındaki farktan yararlanarak meşcere boyunun tahliline yönelik bir çalışma yapılmıştır. Ancak fotogrametrik İHA ile elde edilen veri setleri ormanlık alanlarda tamamlayıcı olarak enterpolasyon işlemlerine ihtiyaç duyması fotogrametrik sistemlerin aktif sistemler ile entegrasyonuna ihtiyaç duyacağı sonucuna varılmıştır (Menteşoğlu ve İnan 2016).

Hexacopter ile 80 m irtifadan, % 80 boyuna ve % 60 enine bindirme oranlarıyla; % 30 konkav ve 300 m eğik mesafede %14 civarında eğimli topografya üzerinde gerçekleştirilen uçuş neticesinde 1.82 cm çözünürlüğe sahip dijital yükseklik modeli elde edilen ortofotolardan üretilmiştir. Buna ek olarak toplamda uzunlukları 945 m bulan, derinlikleri 5-18 cm arasında, genişlikleri 10-23 cm arasında değişen geçici su kanalları (yolları) tespit edilmiştir. Yörede gerçekleşen yağış sonucu tespiti yapılmış su yollarında toplanan su hacmi 10.41 m³ ve buna bağlı gerçekleşmesi beklenen toprak kaybı (erezyonu) 14.47 mg olarak tespit edilmiştir. Öngörülen değerlere ait karesel ortalama hata değeri 0.89 olarak hesaplanmıştır. Böylece İHA sistemlerinin geçici su baskınlarının izlenmesinde ve toprak erezyonu tahminlerinde kullanılabileceği görülmüştür (Gündoğan vd. 2017).

İstanbul'da bulunan Otağ-ı Hümayun'a ait yoğun nokta bulutu, gerçek ortofoto ve 3B katı model üretmek amacıyla 3DR Solo Quadcopter'e entegre GoPro Hero 4 kamera ile veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. 50 m irtifadan gerçekleştirilen uçuşta, özellikleri 12 Mpx, piksel boyutu 1.44 µm, 3.00 mm odak uzaklığı olan balık-gözü tipi lense sahip dijital kamera kullanılmıştır. Geleneksel Nadir açısında gerçekleştirilen uçuş doğrultusunda % 90 boyuna ve

%80 enine bindirme oranları ile üç uçuş bloğundan elde edilen 28 fotoğrafın değerlendirilmesi sonucu yer örnekleme aralığı 3.1 cm olan ürünler oluşturularak İHA sistemlerinin kültürel mimarinin dokümantasyonunda kullanılabileceği görülmüştür (Özerdem ve Yastıklı 2017).

Farklı irtifalarda gerçekleştirilen uçuşlarda % 90 uçuş yönünde ve uçuş yönüne dik bindirme oranlarıyla elde edilen görüntülerle, bu görüntülerden elde edilen ortofoto haritaların mekansal çözünürlükleri, üreten nokta bulutlarından elde edilen değerler ve araziden elde edilen değerler irdelenmiştir. Sırasıyla 30 metre irtifadan 97 adet fotoğraftan ve 50 metre irtifadan 70 adet fotoğraftan oluşan veri setlerinin değerlendirilmesi sonucu üretilen ortofoto haritalar kıyaslandığında alçak irtifa uçuşunun az bir farkla daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yatay düzeyde gerçekleştirilen ölçmelerin düşey doğrultudaki ölçülere göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir (Özcan 2017).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Zonguldak ilinin Çaycuma ilçesindeki Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne bağlı Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu yerleşkesi seçilmiştir.

Bu çalışmanın önceki bölümlerinde anlatıldığı gibi akademik çalışmaların yapıldığı üniversite alanlarında İHA uçuşlarının serbest olması ve yörede farklı doku özellikleri sergileyen doğal ve yapay unsurların bir arada bulunması çalışma alanı belirlenmesinde önemli parametreleri oluşturmaktadır.

Koordinat üretiminde ve hesaplanmasında Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu, dilim orta meridyeni 33 derece olan 3 derecelik ITRF96 koordinat sistemi kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Çalışma alanına ait hava fotoğrafı.

3.2 MATERYALLER

Bu çalışmada yarı-tam otomatik uçuş gerçekleştirebilen Optik-İHA platformundan veri toplamak amacıyla teknik özellikleri Çizelge 3.1'de belirtilen Çinli üretici DJI firmasının Phantom 4 modeli quadcopter ürünü önceden belirlenen uçuş planı doğrultusunda fotogrametrik veri toplamak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.2 DJI Phantom 4 (URL 10).

Çizelge 3.1 DJI Phantom 4 Teknik Özellikleri.

Ağırlık	1380 gr
Gövde	Quadcopter (4 Kollu)
Çap	350 mm
Max Rüzgar Mukavemeti	10 m/sn
Max Uçuş Süresi	~ 28 dk
Konumlandırma	GPS/GLONASS
FOV	60°(Yatay), ±27°(Düşey) 70°(Ön/Arka), 50°(Sol/Sağ)
Kamera Sensörü	1/2.3" CMOS
Aktif Piksel	12.4 MP
Resim Boyutu	4000x3000 piksel
Elektronik Deklanşör Hızı	8 - 1/8000 sn
ISO Kalitesi	100-3200 (Video) 100-1600 (Fotoğraf)
Gimbal Stabilizer	3 Yönlü (Pitch, Roll, Yaw)
Açısal Gimbal Duyarlılığı	±0.02°

Referans veri seti olarak kullanılacak nokta bulutunu oluşturmak için FARO firmasının Focus3D X330 modellenli yersel lazer tarayıcısı kullanılmıştır. Tarayıcı üç boyutlu koordinat değerleri bilinen her bir istasyon noktasında kurularak çalışma için yeterli veri toplanana kadar tarama işlemi tekrarlanmıştır. Böylece çalışma alanını kapsamaları için nokta bulutunda yeterli sayıda nokta elde edilmiştir. Yersel lazer tarayıcıya ait görsel Şekil 3.3'te ve yersel lazer tarayıcıya ait teknik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Faro Focus3D X330 Lazer Tarayıcı (URL 11).

Çizelge 3.2 Faro Focus3D X330 Teknik Özellikleri.

Lazer Sınıf	Laser Class 1
Ağırlık	5.2 kg
Boyutlar	240 x 200 x 100mm
Menzil	0.6 - 330 m
Nokta Yoğunluğu	976,000 nokta/saniye
Hassasiyet	± 2mm

Yersel lazer tarayıcının üzerine tatbik edildiği ölçüm istasyonlarının tesisinden sonra her bir istasyon noktasının ve diğer yer kontrol noktalarının 3B konum değerlerini elde etmek için CORS-TR uyumlu SATLAB SL600 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Alıcıya ait görsel Şekil 3.4'te ve alıcının teknik özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 SATLAB SL600 GNSS Alıcısı.

Çizelge 3.3 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısının Özellikleri (URL 12).

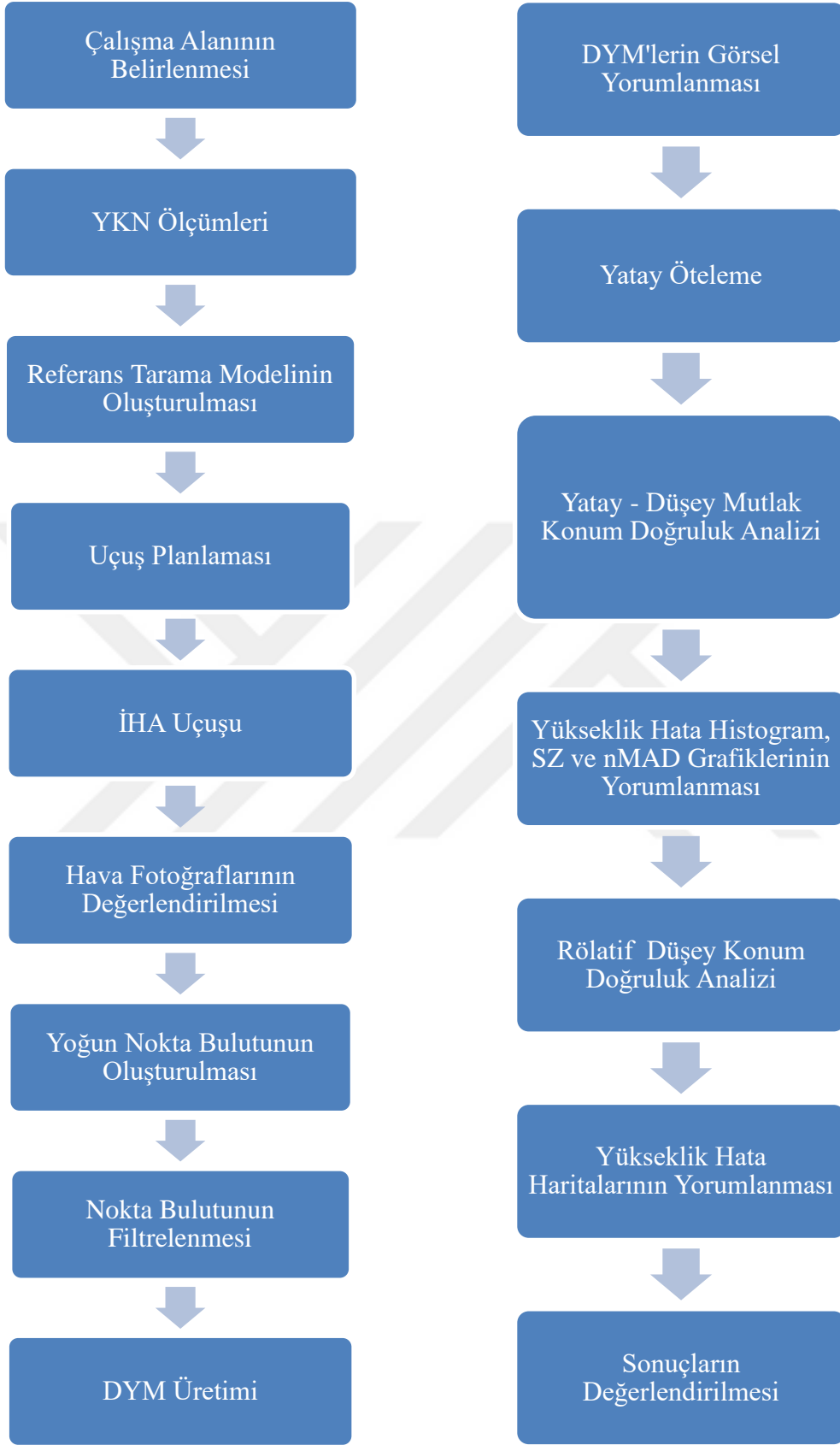
Sinyal İzleme	<ul style="list-style-type: none"> - GPS: L1 C/A, L2E, L2C - GLONASS: L1 C/A, L1 P, L2 C/A, L2 P - BEIDOU : B1, B2 - GALILEO : L1 BOC, E5B - QZSS : L1 C/A, L1 SAIF, L2C - SBAS : L1 C/A, (WAAS-EGNOS-MSAS-GAGAN)
Hassasiyet	<ul style="list-style-type: none"> - RTK : Yatay 8 mm + 1 ppm, Düşey 15 mm + 1 ppm - PP : Yatay 2.5 mm + 1 ppm, Düşey 5 mm + 1 ppm - RTK Init Süresi: < 10 sn
Veri Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> - 10 Hz Güncelleme Hızı (50 Hz'e kadar arttırılabilir) - sCMRx, CMR, CMR+, RTCM SC104 2.x, 3.x Format Desteği - VRS, FKP, MAC, intRTK Desteği - NMEA Veri Çıkışı - Doğrudan RINEX Hızlı ve Normal Statik Veri Kaydı
Güç	<ul style="list-style-type: none"> - Batarya Süreleri - 24 Saat Statik Ölçü - 18 Saat RTK Gezicisi (UHF veya GPRS) - 15 Saat RTK Sabiti
Giriş / Çıkış Arayüzü Hassasiyet	<p>RTK yatay (10 mm + 1 ppm), düşey (20 mm + 1 ppm) PP yatay (2.5 mm + 1ppm), düşey (5 mm + 1 ppm)</p>
Fiziksel Özellikler	<ul style="list-style-type: none"> - XENYO 5220U Özel Alaşım Gövde - Boyut : 182 mm x 92 mm - Ağırlık : 1.2 kg
Haberleşme	<ul style="list-style-type: none"> - Dahili 3.5G UMTS/HSDPA/HSPA+ GSM/GPRS MoSYM - Dahili olarak Dijital UHF MoSYM Seçenekleri <ul style="list-style-type: none"> ▪ ADLF1 : 2 Watt (Protokolü - SATLAB) ▪ XDL : 2 Watt (Trimtalk/Satel Protokolü)

3.3 METODOLOJİ

Çalışmanın iş akış diyagramı, Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Çalışma alanının belirlenmesinden DYM üretimine kadar olan kısım çalışmanın birinci etabını, üretilen DYM'lerin analizleri ve yorumlaması ise çalışmanın ikinci etabını oluşturmaktadır.

Birinci etapta; hava fotoğraflarının eşleştirilmesi ve yoğun nokta bulutunun üretilmesi için Agisoft, Pix4D ve ContextCapture yazılımları kullanılmıştır. Nokta bulutlarının incelemesi MicroStation TerraScan modülü ile tamamlanmış ve Surfer yazılımı ile DYM'ler üretilmiştir. İkinci etapta; üretilen DYM'lerin ötelenmesi ve rölatif doğruluk analizi için BLUH (Bundle Block Adjustment Universtiy of Hannover) sisteminin bir parçası olan DEMSHIFT ve DEMANAL yazılımları kullanılmıştır. Görsel yorumlama ve haritaların oluşturulması için Surfer yazılımından faydalanılmıştır.

Çalışma alanı daha önce anlatılan belirleyici şartlar düşünülerek tespit edilmiştir. Yer kontrol noktalarının ve yersel lazer tarama için kullanılacak olan istasyon noktalarının tesisi ve bu noktalara ait 3B konum ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu noktaların tesisi ve ölçüm işlemlerinden sonra referans veri setini oluşturmak için belirlenen istasyon noktalarından yersel lazer tarama tekniği ile tarama yapılarak referans dijital yüzey modelini oluşturmak için kullanılacak olan yoğun nokta bulutu kümesi elde edilmiştir. Daha sonrasında takip edilecek olan uçuş planlaması hazırlanmış ve İHA uçuşu ile hava fotoğrafları toplanmıştır. Görüntü eşleştirme yazılımları kullanılarak bu hava fotoğraflarının değerlendirilmesi yapıldıktan sonra yoğun nokta bulutları oluşturulmuş ve bu bulutlar kullanılarak test edilecek olan dijital yüzey modelleri üretilmiştir. Üretilen dijital yüzey modelleri görsel olarak yorumlanıp, karşılaştırıldıktan sonra modellere ait konum doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi ve önerilerle çalışma sonlandırılmıştır.



Şekil 3.5 İş akış diyagramı.

DJI Phantom IV İHA ile gerçekleştirilen uçuştan elde edilen hava fotoğraflarının verimli bir şekilde eşleşebilmesi için çalışma alanını kapsayacak ve sahaya homojen şekilde dağılmış olan toplam 17 adet yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmiştir. Tesis edilen YKN'ler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



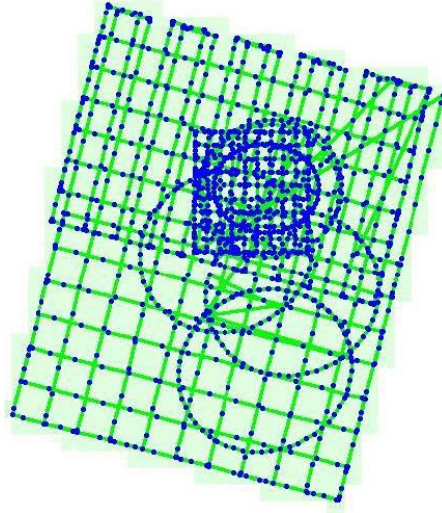
Şekil 3.6 Tesis edilen YKN'ler.

Çalışma sahasında belirlenen YKN'lerin tesisi için SATLAB SL600 GNSS alıcısı ile 3B koordinat değerleri, yatayda ve düşeyde 1 cm konum doğruluğunda statik GNSS yöntemi ile ölçülmüştür.



Şekil 3.7 GNSS alıcısı ile YKN ölçümü.

Uçuş planlaması yapılırken gerçekleştirilecek uçuşun çalışma sahasını boşluk bırakmayacak şekilde kapsamına dikkat edilmiştir. Pix4Dcapture yazılımı kullanılarak hazırlanan uçuş planı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Hazırlanan uçuş planı.

Uçuşlarda en az % 80 boyuna ve % 40 enine bindirme oranları ve % 5-10 eğik çekim tercih edildi. Toplamda 1499 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir. Bu esnada; 1139 adet fotoğraf 50 metre ve 30 metre irtifalardan 60 derecelik açıyla bütün kampüs ve 1 adet bina çift grid sisteminde uçularak elde edilirken geriye kalan 360 adet fotoğrafın eldesinde radyal 30 metre irtifadan her 5 derecede 1 fotoğraf alınacak şekilde uçuş parametreleri kullanılmıştır.

Uçuştan sonra elde edilen fotoğraflar Agisoft, Pix4D ve ContextCapture yazılımları ile ayrı ayrı eşleştirilerek yoğun nokta bulutu üretimi tamamlandı. Nokta bulutu üzerindeki daha fazla fotoğrafın etkisini test etmek için, alanın yarısı diğer şeritlerin uçuş şeritleri kaydırılarak elde edilen tekrarlanan fotoğraf çiftleri ile kaplandı. Modellenmesi hedeflenen Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu binasından çok daha geniş bir alandan veri toplandığı için oluşturulan nokta bulutu yapıyı betimleyecek şekilde filtreledikten sonra DYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Vektör-raster dönüşümü yapılırken her piksel için maksimum Z kullanımını mümkün kılabilmek amacıyla data metrics enterpolasyon yöntemi seçilmiştir.

Doğruluk analizi üretilen verilerin kalitesini ve standartlara olan uygunluğunu değerlendirmek için göz ardı edilmemesi gereken bir işlem adımdır. Özellikle istasyon ve yer kontrol noktalarının ve üç boyutlu nokta bulutlarının konum doğrulukları ortak verilerin kullanılacağı çalışmalar için son derece kritik bir önem taşımaktadır. Dolayısıyla üç boyutlu çalışmalarda elde edilen X, Y ve Z olmak üzere 3B konum değerlerinin doğruluğunun irdelenmesi birtakım istatistiksel yaklaşımları gerekli kılmaktadır.

DYM'ler Surfer yazılımında oluşturulup görsel olarak yorumlandıktan sonra analiz aşamasına geçebilmek için öncelikle farklı yazılımlardan elde edilen nokta bulutlarına ait DYM'ler ile referans DYM arasındaki öteleme farklılıkları giderilmiştir. Referans modele göre yatay öteleme farklılıklarından arındırılan modeller böylece SZ ve nMAD istatistik yöntemleri ile mutlak düşey konum doğruluk açısından analiz edilmiş ve hata dağılımlarını ifade eden grafikler yorumlanmıştır. Takip eden adımda ise referans DYM ile yazılımlardan elde edilen DYM'ler arasında piksel bazlı rölatif düşey konum analizi ve oluşturulan DYM modeller arasındaki uyum başarısı hata haritaları aracılığıyla yorumlanmıştır.

Düşey konum doğruluk analizinde, piksel tabanlı yükseklik farklılıklarının standart sapması (SZ) kullanılmıştır. Ek olarak, normalleştirilmiş medyan mutlak sapma (nMAD), ikinci doğruluk göstergesi olarak kullanılmıştır. nMAD, özellikle büyük yükseklik fark değerleri (kaba hata) için güçlü bir yöntemdir ancak hacimce büyük veri setlerinde küçük fark değerlerin tespitinde SZ kadar başarılı değildir.

Standart sapma (SZ) (Eşitlik 1), bir çalışma grubundaki verilerin her birisinin ortalama veriye olan uzaklığını belirten yaklaşımdır. Başka bir ifadeyle her bir uzaklık değerinin (varyans)

dağılım frekansını ifade eder. Dolayısıyla standart sapma çalışma kümesindeki verilerin her birisinin kendi arasındaki farklılığı gösterir.

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Kareler toplamı standart sapması (Root Mean Square Error - RMSE) (Eşitlik 2), genellikle ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek için kullanılır. Negatif değerler alamaz. Denklemden n piksel sayısıdır (karşılaştırma noktası).

$$RMSE_{\Delta Z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}{n}} \quad (3.2)$$

Sistemik hata (bias), gerçek uzaydaki bir sahneyi ona benzer şekilde modellediğimizde modellemenin sahip olduğu hatadır. Bu hata tipi seçtiğimiz model basitleştikçe daha belirgin hale gelir.

Medyan Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation-MAD), bir veri kümesinin ortalama mutlak sapması; her veri noktasıyla ortalama arasındaki ortalama uzaklık değeridir. Ortalama mutlak sapma bize veri kümesinin ne ölçüde değişken olabileceği hakkında fikir verir. Güçlü bir analizde bir başlangıç değerine ihtiyaç duyulur. Medyan ve MAD değerleri daha verimli bir analiz için genellikle başlangıç değeri olarak kullanılır ancak yine de beklenen hassasiyetle veya sonuçlarla karşılaşmak mümkün olmayabilir (Rousseeuw ve Croux 1993). NMAD, tek değişkenli bir niceliksel veri örneğinin değişkenliğinin sağlam bir ölçütü olan medyan mutlak sapmanın bir türevidir. MAD ve nMAD, 3 ve 4 eşitlikleri ile hesaplanır; burada $X_j^{\tilde{}}$, yükseklik farklarının tek değişkenli veri setlerinin medyanıdır ($\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n$) ve $X_i^{\tilde{}}$, $X_j^{\tilde{}}$ 'nin yükseklik farklarının medyanıdır. μ ; referans ve karşılaştırılan DYM'ler arasındaki yükseklik farklarının aritmetik ortalamasıdır.

$$MAD = \tilde{X}_i [|\Delta Z_i - \tilde{X}_j(\Delta Z_j)|] \quad (3.3)$$

$$nMAD = 1.4815 \times (MAD) \quad (3.4)$$

Referans DYM ile karşılaştırılan DYM'ler arasındaki yükseklik hata haritaları denklem 5 ile oluşturulmuştur.

$$CoherenceMap = DiffDYM = DYM_{Reference} - DYM_{Compared} \quad (3.5)$$

Hata dağılımlarının simetrik ve normal olduğu görüldükten sonra rölatif düşey konum doğruluğu analizi yapılmıştır. Yükseklik hata haritaları oluşturulmuş böylece yazılımlardan elde edilen nokta bulutlarından üretilen modeller ile referans model arası uyum başarıları görülmüştür.





BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 NOKTA BULUTU SAYISAL DEĞERLERİ

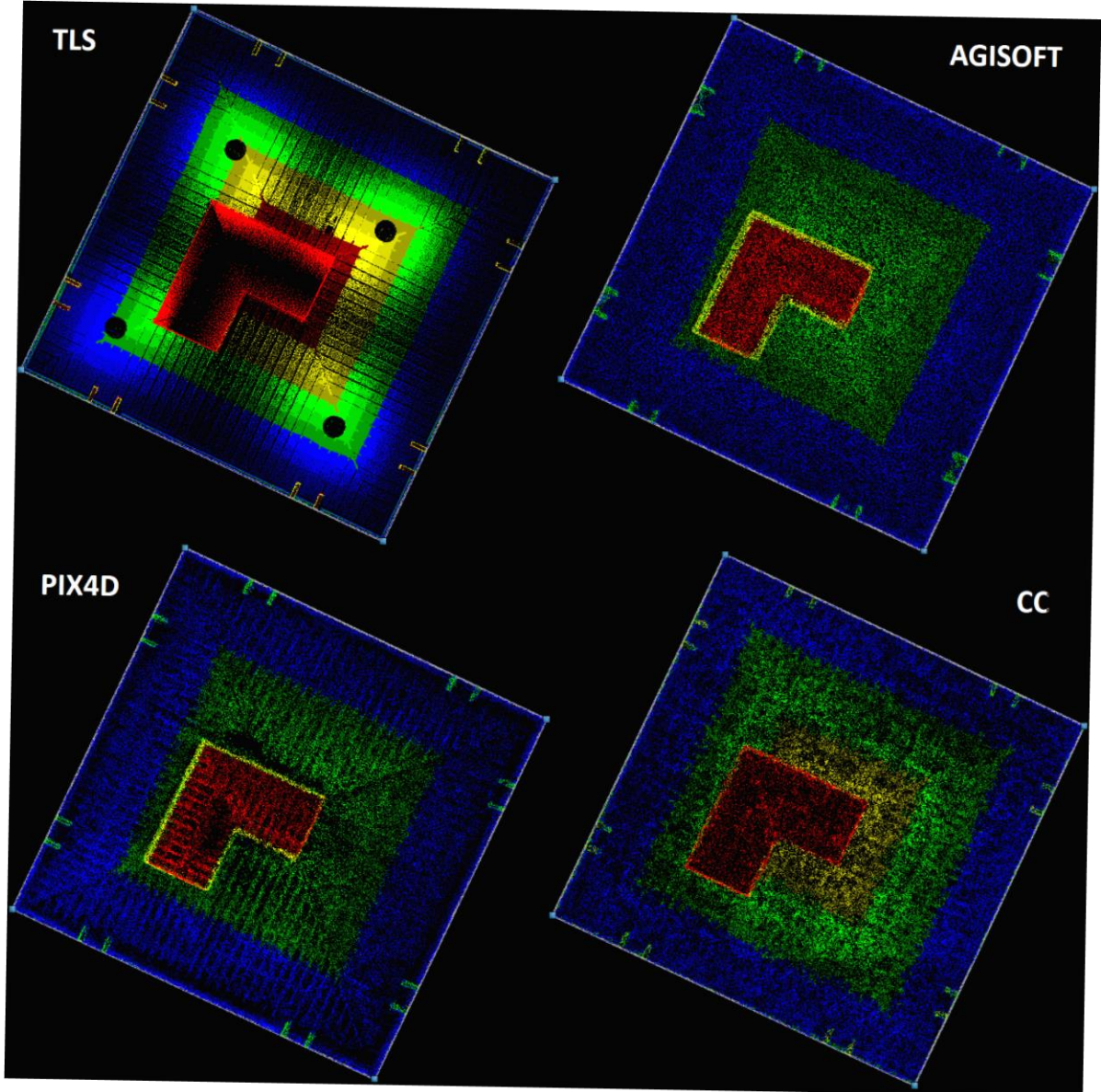
Çalışmanın beklenen hedefleri gerçekleştirebilmesi ve modellemeyi tam olarak yapabilmesi adına çalışma alanını tamamen kapsayacak miktarda ve yeterli yoğunlukta nokta-veri barındırması son derece önemlidir. Bu bağlamda farklı istasyon noktaları kullanılarak yersel lazer tarama tekniğiyle ve Optik-İHA uçuşundan elde edilen fotoğrafların yoğun nokta bulutu işleme yazılımları ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen nokta bulutlarına ait nokta sayıları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Nokta bulutlarına ait nokta sayıları.

Nokta Bulutu Veri Seti	Nokta Sayısı
Referans TLS	5934362
Agisoft	530180
Pix4D	334736
ContextCapture	344272

4.2 NOKTA BULUTLARI

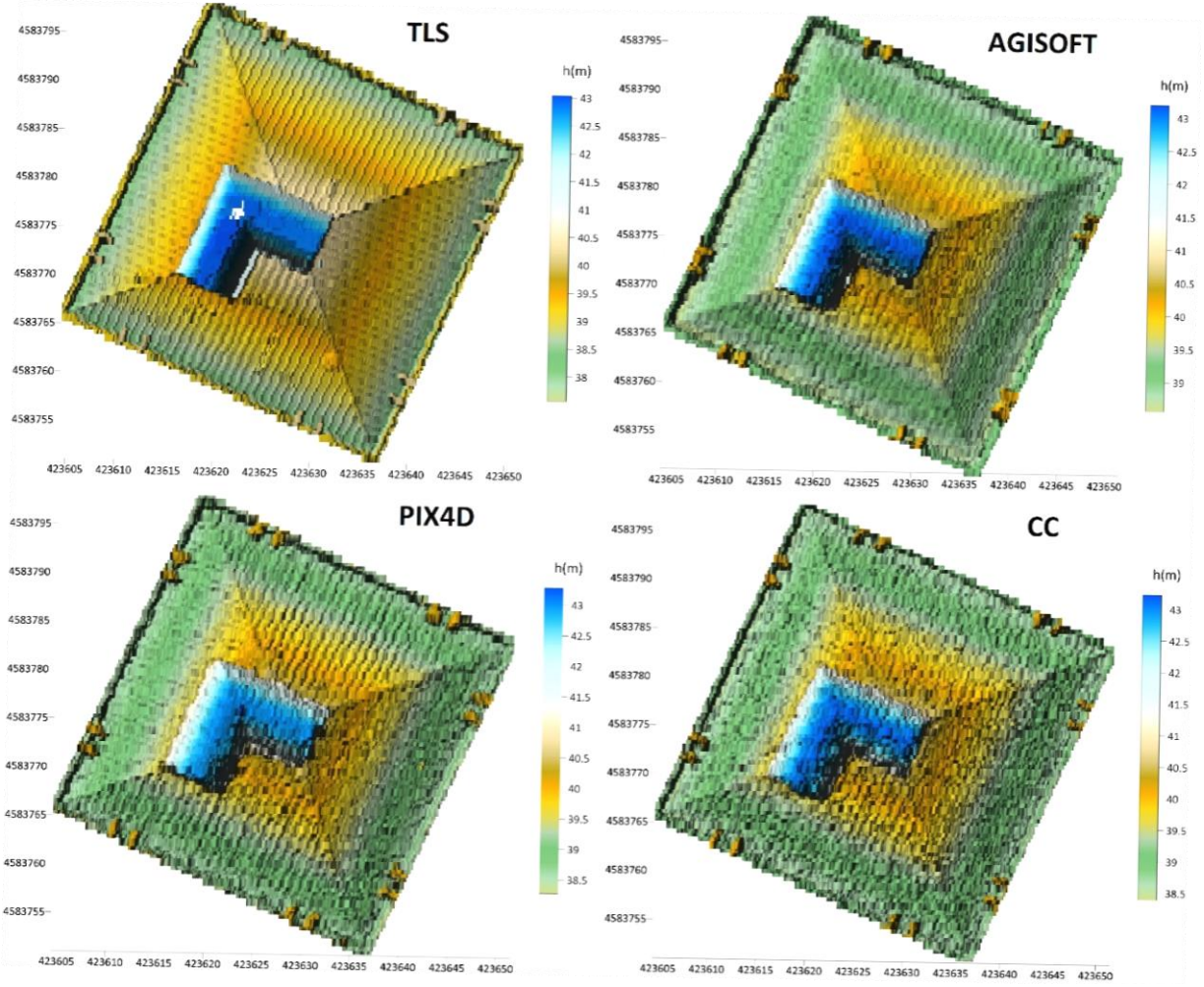
Nokta bulutları MicroStation TerraScan modülünde elde edilmiştir. Referans TLS'de görülen dört yuvarlak boşluk yersel lazer tarama işlemindeki istasyon noktalarıdır ve ölçüm sırasında tarayıcının kendi alt kısmına atım yapamamasından kaynaklanmaktadır. Ancak, her biri takip eden istasyon noktasından taranarak az sayıda da olsa nokta ile tasvir edilmişlerdir.



Şekil 4.1 Nokta bulutlarının gösterimi.

4.3 DYM ÜRETİMİ

Referans TLS ve karşılaştırılan tüm DYM'ler 25 cm grid aralığında Surfer yazılımında üretilmiştir. Referans TLS DYM'sinin test edilen DYM'lere göre nokta yoğunluğuna bağlı kalite farklılığı açık şekilde görülmektedir. DYM'lerin yükseklik skalaları dikkatle incelendiğinde Agisoft DYM'sinin diğerlerine nazaran daha yüksek kotta olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 Referans DYM ve farklı nokta bulutlarından üretilen DYM'ler.

4.4 YATAY DÜZLEMDE MUTLAK DOĞRULUK ANALİZİ

Düşey doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için temel kural karşılaştırılan DYM'lerin %100 yatay örtüşmesinin sağlanmasıdır. Yatay örtüşmenin sağlanması için Agisoft, Pix4D ve ContextCapture DYM'lerinin referans TLS DYM modelle yatay konum farkları X ve Y yönünde alan bazlı çapraz korelasyon yöntemi ile belirlenmiş ve yatay öteleme işlemi ile giderilmiştir. Çizelge 4.2 referans ve test edilen DYM'ler arasındaki giderilmiş yatay konum farklarını göstermektedir.

Yazılımdan kaynaklanan bir hata ile karşılaşıldığından ContextCapture ile üretilen DYM'nin, referans TLS DYM'si ile yatay örtüşmesinin sağlanabilmesi için manuel şekilde öteleme işleminin yapılması gerekli olmuştur. Bu ötelemeyle ilgili olarak da X ve Y yönündeki manuel öteleme değerleri ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 DYM'ler arası yatay konum farklılık değerleri.

Referans DYM	Ötelenen DYM	ΔX (cm)	ΔY (cm)
TLS (0.25m)	Agisoft (0.25m)	8.77	5.83
	Pix4D (0.25m)	8.16	5.14
	ContextCapture (0.25m) (Manuel Öteleme)	-17.00	-38.00
	ContextCapture (0.25m)	7.33	5.34

4.5 DÜŞEY DÜZLEMDE MUTLAK DOĞRULUK ANALİZİ

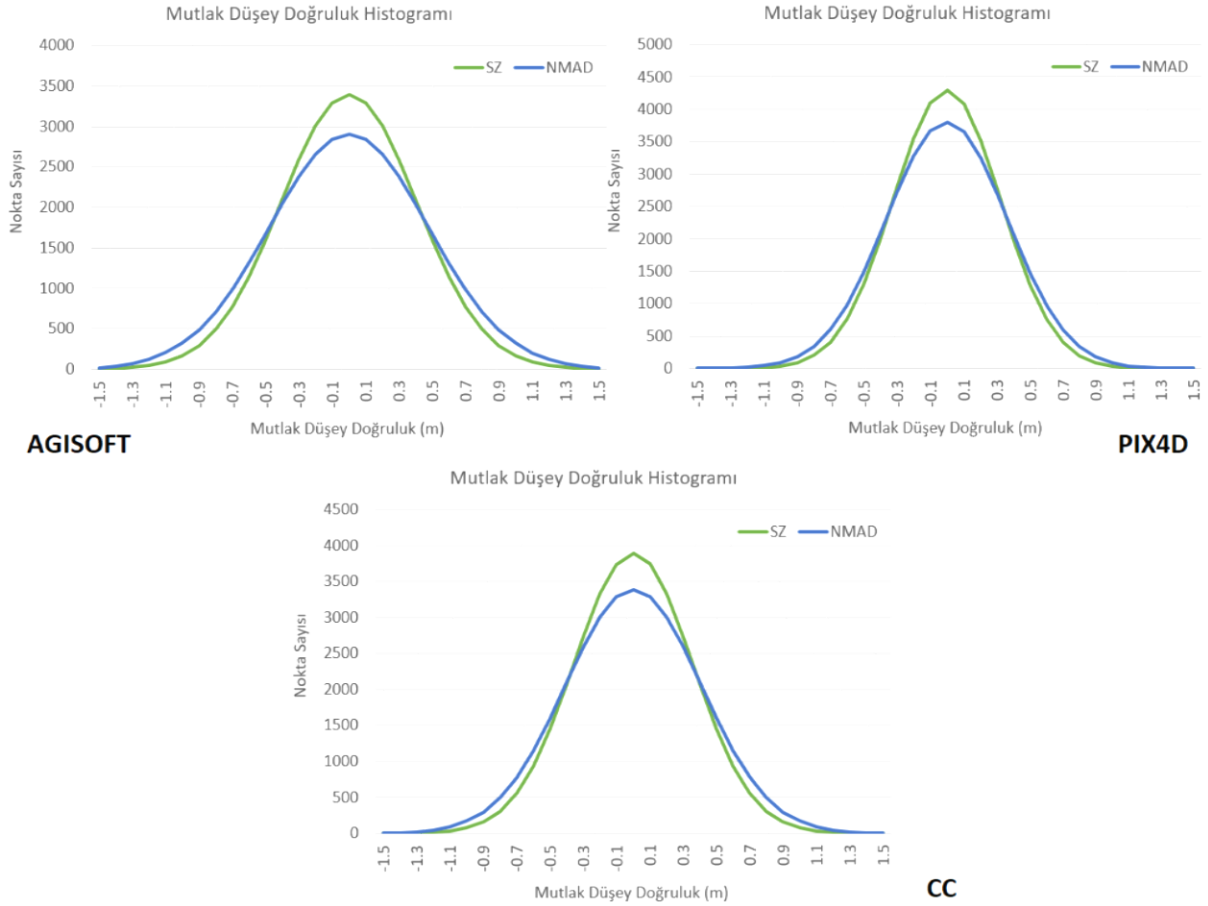
DYM'ler arasındaki X ve Y konum değerleri bakımından yatay düzlemdeki örtüşme farklılıkları giderildikten sonra düşey konum doğruluk değerlendirmesi incelendiğinde Çizelge 4.3'de gösterilen sonuçlara varılmıştır.

Çizelge 4.3 DYM'lerin düşey konum doğruluk değerlendirmesi.

Referans DYM	Test edilen DYM	Sistemik Hata (Bias) (m)	SZ (Bias Elimine) (m)	NMAD (Bias Elimine) (m)
			SZ	NMAD
TLS (0.25m)	Agisoft (0.25m)	-0.53	0.37	0.38
	Pix4D (0.25m)	-0.35	0.31	0.31
	ContextCapture (0.25m)	-0.43	0.32 $+0.09 \times \tan(\text{eğim})$	0.31 $+0.11 \times \tan(\text{eğim})$

Analiz aşamasında BLUH (Bundle Block Adjustment University of Hannover) sisteminin bir parçası olan DEMANAL programı kullanılmıştır. Analizlerde referans DYM programa tanıtılmış ve karşılaştırılmak istenen ve ötelemesi (shift) yapılmış DYM programa girdi olarak yüklenmiştir. Programa parametre olarak eşik yükseklik farkı değeri, maksimum eğim değerinin tanjantı tanımları yapılmıştır. Bu parametreler, kaba hataların elde edilecek analiz sonuçlarını asgari düzeyde etkilemesi amacıyla belirlenmiştir. ContextCapture yazılımından elde edilen DYM ile referans DYM'nin karşılaştırıldığı analiz sonuçları incelendiğinde; hem yazılımının karakteristik yapısından hem de kullanılan veri setinden de kaynaklanabileceği gibi oluşturulan DYM'nin eğim faktöründen meydana gelen tanjant çarpanının etkisi altında kaldığı görülmüştür.

Aşağıda sunulmuş yükseklik hata histogramlarında görüldüğü gibi standart sapma (SZ) ve normalize medyan mutlak sapma değerlerinin (NMAD) tepe noktaları (modları) her üç analiz edilen DYM için de sıfır hataya yakındır ve herhangi bir çift tepeleşme görülmemektedir. Bu durum, hata dağılımının simetrik ve normal olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.3 Mutlak düşey doğruluk hata dağılım grafikleri.

4.6 DÜŞEY DÜZLEMDE RÖLATİF DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ

Önceki bölümlerde DYM'ler arası yatay düzlemdeki örtüşme sağlanmış, yatay ve düşey düzlemde mutlak konum doğruluk analizleri yapılmıştır. Düşey konum mutlak doğruluk analizinin ardından her üç yazılım için de mutlak düşey doğruluk değerleri için SZ ve nMAD yöntemleri ile hata dağılımının simetrik ve normal olduğu görülmüştür.

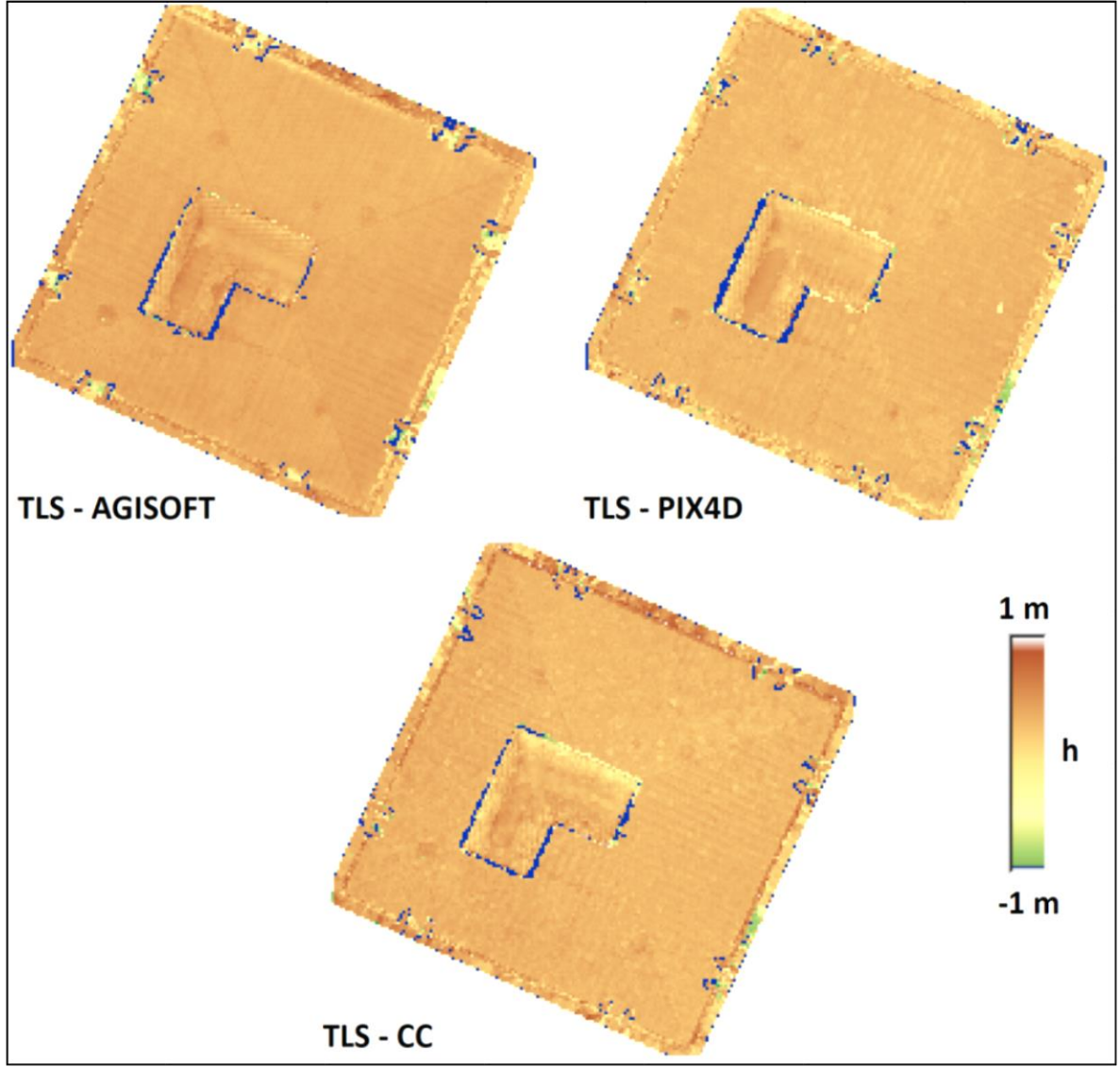
Bu adımlardan sonra Agisoft, Pix4D ve ContextCapture yazılımlarının nokta bulutları ile üretilen her bir DYM ile TLS tekniğinden elde edilen DYM arasında sırasıyla piksel bazlı rölatif düşey konum değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Yazılımların karşılaştırmalı rölatif doğruluk değerleri.

Pixel	Mesafe (m)	Agisoft	Pix4D	ContextCapture
1	0.25	.09	.10	.10
2	0.50	.12	.12	.12
3	0.75	.13	.13	.14
4	1.00	.15	.14	.15
5	1.25	.16	.14	.16
6	1.50	.17	.15	.17
7	1.75	.18	.16	.18
8	2.00	.19	.16	.19
9	2.25	.20	.17	.19
10	2.50	.21	.18	.20

Rölatif değerlendirmenin başlangıç aşamalarında her üç yazılım da benzer performans gösterebilir de değerlendirmenin ilerleyen aşamalarında yazılımların kendi aralarında ayrışmalar net şekilde görülmektedir. Genelleyecek bir değerlendirme yapılacak olursa küçük yakın farklar ile Pix4D yazılımı rölatif doğruluk açısından diğer yazılımlara göre daha başarılı bir performans sergilemiştir.

Yükseklik hata haritalarında referans TLS ile Agisoft, Pix4D ve ContextCapture DYM'leri arasındaki uyum piksel tabanlı olarak görülmektedir. Haritalar görsel yorumlamayı kolaylaştırmak açısından Şekil 4.4'te 1 m ve Şekil 4.5'te 0.5 m olmak üzere iki ayrı aralıkta hazırlanmıştır. Özellikle düşey objelerdeki problem hata haritalarında açık şekilde görülmektedir. Çatının orta kısmındaki mimari yapı (çatı ışıklığı) ve çatıyı çevreleyen duvar ve üzerindeki taşıyıcı kolonlara ait uzantılarda uyumsuzluk her üç DYM için de artmaktadır. Hata skalaları incelendiğinde hem 1 m hem de 0.5 m için görsel yapısı daha düzgün görülmesine rağmen Agisoft hata haritasının diğerlerinden biraz daha koyu renkte yani az miktarda daha hatalı olduğu görülmektedir.

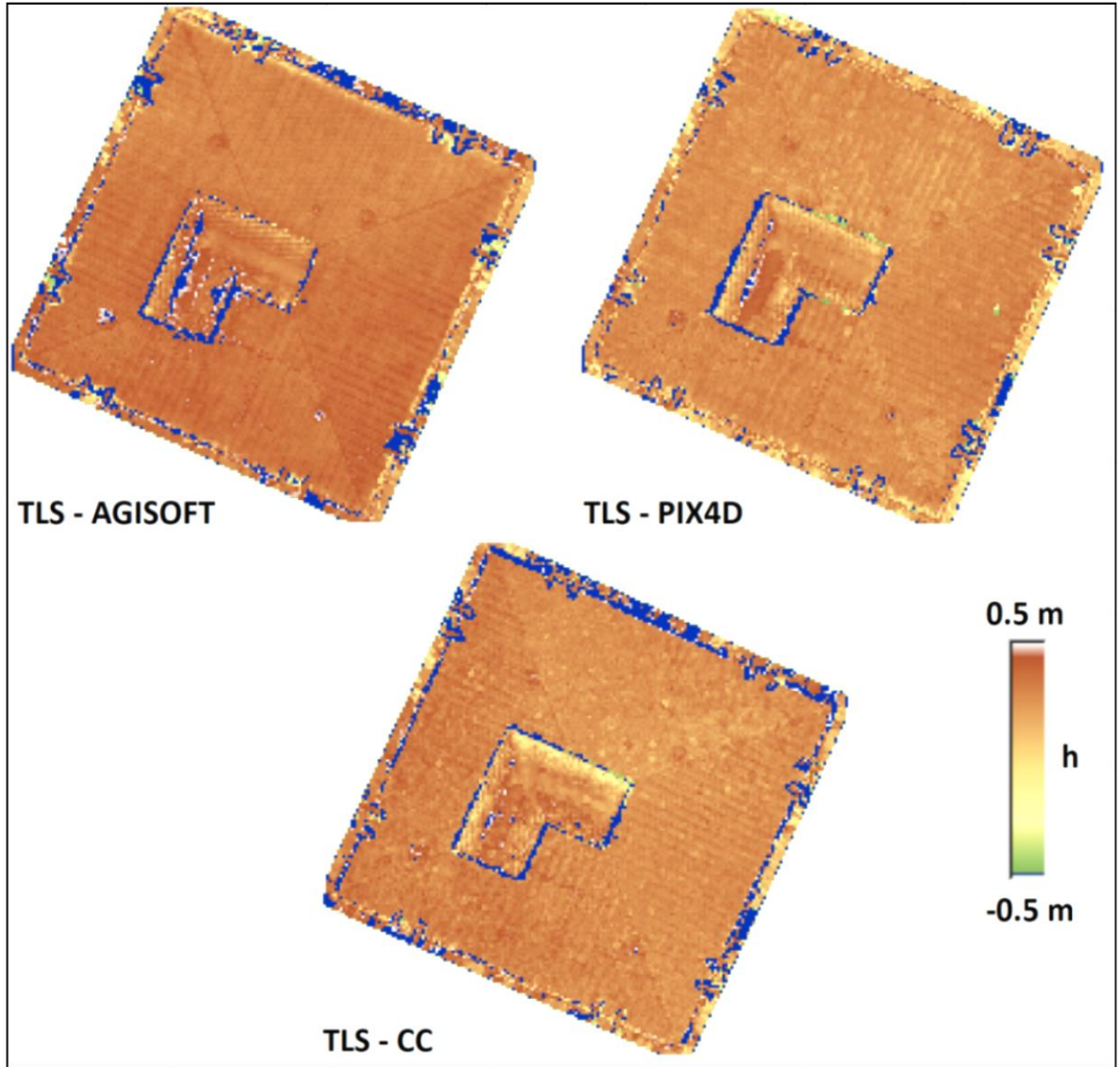


Şekil 4.4 1 m Yükseklik Hata Aralığı Yükseklik Hata Haritaları.

Test edilen modellerin barındırdığı sistematik hata miktarları düşünüldüğünde, ± 1 m aralık ile belirlenmiş olan skala referans ve test model arasındaki uyum ölçütünü sergilemekte seçilen aralığın daha kaba olması sebebiyle kısıtlı bir hassasiyet göstermektedir. Bu sebepten aradaki uyumu daha net bir şekilde gözlemleyebilmek için modellerin analizlerde tespit edilmiş olan sistematik hata miktarlarına daha yakın, daha duyarlı olacak bir skalada değerlendirmesinin yapılması adına ± 0.5 m aralığı seçilmiştir.

± 1 m hata aralığına göre daha duyarlı olan ± 0.5 m aralıklı yükseklik hata haritaları incelendiğinde ise; çatıda yansıma, fiziksel yapılarından kaynaklı parlamaya sebep olabilecek objelerin bulunduğu bölgelerde ve ani yükseklik değeri değişimlerinin olduğu bölgelerde

enterpolasyonun etkisinden kaynaklanan bozulmaların referans model ile test modeller arasındaki uyumu düşürdüğü açıkça görülmektedir.



Şekil 4.5 0.5 m Yükseklik Hata Aralığı Yükseklik Hata Haritaları.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yoğun nokta bulutu işleme yazılımları olan Agisoft, Pix4D ve ContextCapture'ın performansı detaylı şekilde incelenmiştir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu yerleşkesinde DJI Phantom IV Optik-İHA kullanılarak toplanan hava fotoğrafları ve hava fotoğraflarından da uygun eşleşmeler ile yazılımlar aracılığıyla yoğun nokta bulutu elde edildi. Fotoğraflardan yoğun nokta bulutu ve DYM üretimi için zaman faktörüne ve donanım kabiliyetine olan ihtiyaç görülmüştür. Nokta bulutları kullanılarak 0.25 m grid aralıklı DYM'ler üretildi ve TLS DYM, gerçek yüzeye olan yakınlığı temsil ettiğinden doğruluk analizleri için referans küme olarak tercih edilmiştir.

Aynı veri seti ve eş parametreler kullanılmasına karşın Agisoft ile üretilen nokta bulutunun yoğunluğu ve nokta bulutundan üretilen DYM'nin görsel kalitesi diğer yazılımlara göre daha zengin olmuştur ki bu durumun ardında Agisoft nokta bulutu kümesinin daha çok sayıda nokta içermesi düşünülmektedir. Ek olarak DYM'lerin yükseklik skalaları incelendiğinde Agisoft DYM'sinin diğer DYM modellerine kıyasla daha yüksek kotta olduğu görülmüştür.

Düşey konum doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle yatay öteleme işlemleri otomatik ve manuel olmak üzere yapılmıştır. Öteleme işlemleri sonucu elde edilen değerler tablosu incelendiğinde her üç yazılım için de öteleme işlemi sonrasında birbirine yakın öteleme değerleri elde edilmiştir. Bu durumun yanı sıra istatistiksel yaklaşımlar dikkate alındığında ise düşey konum doğruluk analizlerinde her üç yazılım da benzer değerler gösterse de Pix4D yazılımı kıyaslanan diğer programlara göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Üretilen modeller üzerindeki sistematik hata değerleri karşılaştırıldığında da Pix4D yazılımı ile üretilen modelin daha az sistematik hata (Bias) barındırdığı ve sırasıyla bunu ContextCapture ve Agisoft yazılımlarının takip ettiği görülmüştür.

ContextCapture yazılımından elde edilen DYM ile referans DYM'nin karşılaştırıldığı analiz sonuçları incelendiğinde; hem yazılımının karakteristik yapısından hem de kullanılan metadatan da kaynaklanabileceği gibi oluşturulan DYM'nin eğim faktöründen meydana gelen tanjant çarpanının etkisi altında kaldığı görülmüştür.

Mutlak düşey konum doğruluk histogram grafiklerinden de görüldüğü gibi standart sapma (SZ) ve normalize medyan mutlak sapma değerlerinin (nMAD) tepe noktaları (modları) her üç analiz edilen DYM için de sıfır hataya yakındır ve herhangi bir çift tepeleşme görülmemektedir. Bu durum, hata dağılımının simetrik ve normal olduğunu ortaya koymaktadır.

Rölatif düşey konum doğruluk değerlendirmeleri incelendiğinde Pix4D yazılımının doğruluk bu bağlamda bir miktar daha ön plana çıktığı görülmektedir. Düşey konumlu ve yapay objelerdeki uyumsuzluk hata haritalarında açık şekilde görülmektedir. Çatının orta kısmındaki bulunan mimari yapı (çatı ışıklığı) ve çatıyı çevreleyen duvar ve üzerindeki taşıyıcı kolonlara ait uzantılardaki uyumsuzluk her üç DYM için de artmaktadır. Burada düşey konum değerlerindeki ani değişimlerden kaynaklanarak devreye giren enterpolasyonun bozucu etkisinden bahsetmek mümkündür. Hata skalaları incelendiğinde hem 1 m hem de 0.5 m için oluşturduğu modelin görsel yapısı daha düzgün görülmesine rağmen TLS-Agisoft hata haritasının diğerlerinden biraz daha koyu renkte yani az miktarda daha hatalı olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, aynı yazılımları kullanacak olan ve benzer teknik ve işlem parametreleri ile veri toplama ve işleme adımları içeren çalışmalar için uygun bir referans olabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Acar H** (2012) Nokta Belirleme Algoritmaları İle Otomatik Görüntü Eşleştirme, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 38 s.
- Açıksarı E ve Akçay Ö** (2018) İkili PolSAR Görüntülerinin Çok Zamanlı Ayırma ve Kontrolsüz Sınıflandırma Analizi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2): 69-87.
- Agisoft LLC** (2019) *AgisoftMetashape User Manual Professional Edition Version1.5*.
- Akgül M, Yurtseven H, Demir M, Akay A E, Gülci S ve Öztürk T** (2016) İnsansız Hava Araçları ile Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66 (1): 104-118.
- Alhafni B, Guedes S F, Ribeiro L C, Park J and Lee J** (2019) Mapping Areas Using Computer Vision Algorithms and Drones, *University of Bridgeport. Bridgeport, United States of America*.
- Anurogo W, Lubis M Z, Khoirunnisa H, Pamungkas D S, Hanafi A, Rizki F, Surya G, Situmorang A D L, Timbang D, Sihombing P N, Lukitasari C A and Dewanti N A** (2017) A Simple Aerial Photogrammetric Mapping System Overview and Image Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), *Journal of Applied Geospatial Information*, 1 (1): 11-18.
- Arslanbek L** (2009) Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi Fotogrametri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 149 s.
- Asri İ** (2011) GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametri Sistemi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 107 s.
- Atalay C, Karakış S ve Sefercik U G** (2016) Düşük Maliyetli Aksiyon Kamera ile Elde Edilen İnsansız Hava Aracı Verilerinin Nokta Bazlı Doğruluk Analizi, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 34-38.
- Ateşoğlu A** (2009) Farklı Uydu Görüntü Verileri ile Meşcere Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması (Bartın-Mugada Örneği), *Doktora Tezi*, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 111 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Aydar U** (2007) Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 58 s.
- Bentley** (2017) *ContextCapture Quick Start Guide*.
- Birdal A C, Avdan U ve Türk T** (2016) İnsansız Hava Araçları ile Elde Edilen Verilerden Ağaç Yüksekliklerinin Tahmin Edilmesi, *6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye.
- Brekke C and Solberg A H S** (2005) Oil Spill Detection by Satellite Remote Sensing, *Remote Sensing of Environment*, 95: 1–13.
- Büyüksalih G** (2000) Doğrusal Dizin (Pushbroom) Görüntüleme Sistemleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2-3): 219-228.
- Clement M A, Kilsby C G and Moore P** (2018) Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar Flood Mapping Using Change Detection, *Journal of Flood Risk Management*, 11: 152–168.
- Çelik H, Baş N ve Coşkun H G** (2014) Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde Lidar Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (1): 117-125.
- Çiçekli S Y** (2015) Hava Fotogrametrisinde Otomatik ve Operatör Tarafından Sayısal Yükseklik Verilerinin Harita Üretim Doğruluğuna Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 38 s.
- Çölkesen İ** (2009) Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 53 s.
- Çömert R, Avdan U ve Şenkal E** (2012) İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 16-19 Ekim 2012, Zonguldak, Türkiye.
- Daniel GM** (2015) *CloudCompare Version 2.6.1 User Manual*.
- Deliormanlı S** (2009) Yapay Açıklıklı Radar Ham Verilerinden Görüntü Oluşturulması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 45 s.
- Dilbilir Y** (2017) Görüntü İşlemede Kullanılan İstatistik Yöntemler ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik Anabilim Dalı, Van, 64 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dinlemek M U** (2012) Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Verilerinin Kullanım Olanaklarının Analizi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 152 s.
- Dji** (2017) *DJI Phantom 4 Specifications*.
- Doğruluk M, Aydın C C ve Yanalak M** (2018) Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava Lidar Uygulaması; İstanbul Örneği, *Geomatik Dergisi*, 3 (3): 242-253.
- Düzgün H Ş** (2010) *Uzaktan Algılamaya Giriş*, Ünite-2 Uzaktan Algılamada Veri, Ders Notu, 04/10/2010, ODTÜ, Türkiye.
- Düzgün H Ş** (2010) *Uzaktan Algılamaya Giriş*, Ünite-8 Uygulamalar, Ders Notu, 04/10/2010, ODTÜ, Türkiye.
- Eisenbeiß H** (2009) UAV Photogrammetry, *Doctoral Thesis*, University of Technology Dresden, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Germany, 203 pp.
- Ekercin S ve Üstün B** (2004) Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: Lidar, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 91: 34-38.
- Eronat A H** (2019) Farklı Kaynaklı Uydu Görüntüleri Kullanarak Bakü (Azerbaycan) Kıyılarındaki Petrol Kirliliğinin Gözlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21 (61): 47-54.
- Esetlili M T** (2008) Sentetik Açıklıklı Radar (Mikrodalga) Uydu Görüntüleri Kullanılarak Toprak Özelliklerinin Belirlenebilirliği Üzerine Bir Araştırma, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, İzmir, 342 s.
- Faro Technologies Inc.** (2013) *FARO LaserScanner Focus3D X 330 Features, Benefits & Technical Specifications*, 4 pp.
- Fore A G, Yueh S H, Stiles B W, Tang W and Hayashi A K** (2019) On Extreme Winds at L-Band with the SMAP Synthetic Aperture Radar, *Remote Sensing*, 11 (1093).
- Gehrke S, Morin K, Downey M, Boehrer N and Fuchs T** (2012) Semi-Global Matching: An Alternative Lidar for DSM Generation?, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.
- Gezmiş Ö** (2017) Yersel Ölçüm ve Fotogrametrik Alım Yöntemi ile Yapılan Halihazır Haritaların Kıyaslanması, *Uzmanlık Tezi*, İller Bankası Anonim Şirketi, 117 s.
- Grasso N, Aicardi I, Chiabrando F, Lingua A M, Noardo F and Spano A** (2016) UAV Photogrammetry With Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI (B1): 835-842.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Giustarini L, Hostache R, Kavetski D, Chini M, Corato G, Schlaffer S and Matgen P** (2016) Probabilistic Flood Mapping Using Synthetic Aperture Radar Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 0196 (2892).
- Güleç S A** (2007) Yersel Fotogrametri Yöntemi ile Rölöve Alım Tekniğinin Taç Kapılarda Uygulanışı Konya Örnekleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya, 144 s.
- Gündoğan R, Alma V, Dindaroğlu T, Günal H, Yakupoğlu T, Susam T and Saltalı K** (2017) Monitoring and Estimation of Soil Losses from Ephemeral Gully Erosion in Mediterranean Region Using Low Altitude Unmanned Aerial Vehicles, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4 (W6): 59-61.
- Güner S** (2013) Hareketli Platformlarla Fotogrametrik Hacim Hesabı Üzerine Bir Çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane, 53 s.
- Halounova L** (2009) Light SAR 1, Radar Basics, *ESA Advanced Training Course On Land Remote Sensing*, 29 June 2009, Prague, Czech Republic.
- Hirschmüller H, Buder M and Ernst I** (2012) Memory Efficient Semi-Global Matching, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1 (3): 371-376.
- İnan M ve Menteşoğlu B E** (2016) İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Ormancılık Uygulamalarında Kullanımı, *6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 296-304.
- Jayanthi N and Indu S** (2016) Comparison of Image Matching Techniques, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 7 (3): 396-401.
- Kasprzak M, Jancewicz K and Michniewicz A** (2018) UAV and SfM in Detailed Geomorphological Mapping of Granite Tors: An Example of Staroscinskie Skały (Sudetes, SW Poland), *Pure and Applied Geophysics*, 175: 3193-3207.
- Kaya M** (2010) Sayısal Hava Kamerası ve Analog Hava Kamerası Kullanılarak Üretilen Fotogrametrik Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 132 s.
- Kılınçoğlu D** (2016) Farklı İnsansız Hava Araçları ile Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 101 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Küng O, Strecha C, Fua P, Gurdan D, Achtelik M, Doth K M and Stumpf J** (2011) Simplified Building Models Extraction from Ultra-Light UAV Imagery, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22: 217-222.
- Large A R G and Heritage G L** (2009) Laser Scanning – Evolution of the Discipline, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, 1st edition. Edited by G.L. Heritage and A.R.G. Large. 2009 Blackwell Publishing, ISBN 978-1-4051-5717-9: 1-20.
- Makineci H B** (2016) İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi, *Geomatik Dergisi*, 1 (1): 19-23.
- Marino A, Sanjuan-Ferrer M J, Hajsek I and Ouchi K** (2015) Ship Detection with Spectral Analysis of Synthetic Aperture Radar: A Comparison of New and Well-Known Algorithms, *Remote Sensing*, Nicolas Baghdadi and Prasad S. Thenkabail (Ed.),7: 5416-5439.
- Masini N, Coluzzi R and Lasaponara R** (2011) On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: from Site Identification to Land scape Investigation, *Laser Scanning, Theory and Applications*, Prof. Chau-ChangWang (Ed.), ISBN: 978-953-307-205-0, InTech, e-book, 263-290.
- Mirdan O F** (2018) İç ve Dış Mekanların Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 65 s.
- Musaoğlu N** (2014) Temel Uzaktan Algılama, *Uzaktan Algılama Eğitimi*, 16 Nisan 2014.
- Oral M ve Gençal M C** (2016) SIFT Yöntemini Kullanarak Madeni Para Tanıma, *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 11-13 Mayıs 2016, Tokat, TÜRKİYE, 55-58.
- Özcan O** (2017) İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi, *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 1-7.
- Özemir I ve Uzar M** (2016) İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 245-253.
- Özendi M ve Sefercik U G** (2013) Optik ve SAR Görüntülerin Projektif Dönüşüm Kullanarak Füzyonu, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon, Türkiye.
- Özerdem Ö Z and Yastıklı N** (2017) Architectural Heritage Documentation by Using Low Cost UAV With Fisheye Lens: OTAG-I HUMAYUN in Istanbul as a Case Study, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W4: 415-418.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öztürk O, Bilgilioğlu B B, Çelik M F, Bilgilioğlu S S ve Uluğ R** (2017) İnsanız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortogörüntü Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması, *Geomatik Dergisi*, 2 (3): 135-141.
- Pascual C, Mauro F, Garcia-Abril A and Manzanera J A** (2019) Applications of ALS (Airborne Laser Scanning) Data to Forest Inventory. Experiences with Pine Stands from Mountainous Environments in Spain, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 226 (2019).
- Perkic D and Vukovic M** (2018) Documenting an Archaeological Landscape and Its Features Using a Low Cost UAV – Case study: Mravinca in Dubrovačkoprimorje, *Opvsclva Archaeologica*, Rajna Šosic Klindzic & Domagoj Toncinic (Ed.), 39 (40): 75-83.
- Pix4D** (2017) *Pix4Dmapper 4.1 User Manual*.
- 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 (035506): 679-692.
- Potuckova M** (2004) Image Matching and Its Applications in Photogrammetry, *Ph.D. Thesis*, Aalborg Universitet, Aalborg: Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg, 149 p.
- Rock G, Ries J B and Udelhoven T** (2011) Sensitivity Analysis of UAV-Photogrammetry for Creating Digital Elevation Models (DEM), *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22: 69-73.
- Rosseeuw P J and Croux C** (1993) Alternatives to the Median Absolute Deviation, *Journal of the American Statistical Association*, 88 (424): 1273-1283.
- Ruan H, Cao L, Liu H, Fu X, Zhang Z and Shen X** (2019) Comparison of UAV LIDAR and Digital Aerial Photogrammetry Point Clouds for Estimating Forest Structural Attributes in Subtropical Planted Forests, *Forests*, 10 (145).
- Sankey T T, McVay J, Swetnam T L, McClaran M P, Heilman P and Nichols M** (2018) UAV Hyperspectral and Lidar Data and Their Fusion for Arid and Semi-arid Land Vegetation Monitoring, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, Nathalie Pettorelli and Ned Horning (Ed.), 4 (1): 20-33.
- Schaefer L N, Traglia F D, Chaussard E, Lu Z, Nolesini T and Casagli N** (2019) Monitoring Volcano Slope Instability with Synthetic Aperture Radar: A Review and New Data from Pacaya (Guatemala) and Stromboli (Italy) Volcanoes, *Earth-Science Reviews*, 192: 236–257.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sefercik U G** (2007) Radar İnterferometri Tekniği İle SYM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmeleri, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2-6 Nisan 2007, Ankara, Türkiye.
- Sefercik U G** (2018) Zamansal Baz Uzunluğunun İleri Nesil Yapay Açıklı Radar Uydu Verilerinin Konum Doğruluğu Üzerindeki Etki Analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (2): 165-176.
- Sefercik U and Soergel U** (2010) Evaluation of DEMs Derived by TerraSAR-X InSAR Data, *Remote Sensing for Science, Education and Natural and Cultural Heritage*, Rainer Reuter (Editor) EARSeL, 597-610.
- Sefercik U G and Yastıklı N** (2015) ALS Model-Based Comparison of Cosmo-SkyMed and TerraSAR-X HS DSMs on Varied Land Forms, *Journal of Spatial Science*, DOI: 10.1080/14498596.2015.1068231.
- Sefercik U G ve Maktav D** (2010) Yüksek Çözünürlüklü InSAR ve Optik Dijital Yüzey Modellerinin Karşılaştırmalı Doğruluk Analizleri, *III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 11-13 Ekim 2010, Kocaeli, Türkiye, 42-52.
- Sefercik U G, 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 G, Glennie C, Singhanian A and Hauser D** (2015) Area-based Quality Control of Airborne Laser Scanning 3D Models for Different Land Classes Using Terrestrial Laser Scanning: Sample Survey in Houston, USA, *International Journal of Remote Sensing*, 36 (23): 5916-5934.
- Sefercik U G, Glennie C, Singhanian 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.
- Sefercik U G, Karakış S ve Atalay C** (2018) Yüksek Konum Doğruluklu Nokta Bulutu Sağlayan Hava Kaynaklı Lazer İHA Üretimi ve Veri Kalitesinin Değerlendirilmesi, *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir, Türkiye.
- Sefercik U G, Karakış S, Bayık Ç, Alkan M ve Yastıklı N** (2014) Yüksek Çözünürlüklü Optik Uydu Görüntülerinden Otomatik Bina Çıkarımı Performansının Artırılmasına Yönelik Yeni Bir Yaklaşım - Quickbird Örneği, *5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul, Türkiye.
- Tings B, Pleskachevsky A, Velotto D and Jacobsen S** (2019) Extension of Ship Wake Detectability Model for Non-Linear Influences of Parameters Using Satellite Based X-Band Synthetic Aperture Radar, *Remote Sensing*, 11 (563).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tiwari P S and Pande H** (2011) LIDAR Remote Sensing Applications in Automated Urban Feature Extraction, *Laser Scanning, Theory and Applications*, Prof. Chau-ChangWang (Ed.), ISBN: 978-953-307-205-0, InTech, e-book., 61-74.
- Tomastik J, Mokros M, Salon S, Chudy F and Tunak D** (2017) Accuracy of Photogrammetric UAV-Based Point Clouds under Conditions of Partially-Open Forest Canopy, *Forests*, Joanne C. White and Timothy A. Martin (Ed.), 8 (151).
- Toprak A S** (2014) Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları ile Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 164 s.
- Torun A** (2017) İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 3-6 Mayıs 2017, Ankara, Türkiye.
- Torun A** (2017) İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17: 35-52.
- Tunalıoğlu N ve Soycan M** (2011) Geçki Planlama Çalışmaları İçin Hava Lidar Verisine Dayalı Sayısal Arazi Modelleme ve Doğruluk Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 18-22 Nisan 2011, Ankara, Türkiye.
- Ulvi A** (2015) Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarda (Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 185 s.
- Unger J, Reich M and Heipke C** (2014) UAV-based Photogrammetry: Monitoring of a Building Zone, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5: 601-606.
- URL-1** <<https://bimtas.istanbul/bimtas-galeri-lttm.aspx?kls=DEM>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-2** <<https://bimtas.istanbul/bimtas-galeri-lttm.aspx?kls=DSM>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-3** <<https://interpine.nz/lidar-seeing-the-forest-for-the-trees/>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-4** <http://pages.csam.montclair.edu/~chopping/rs/CCRS/chapter2/chapter2_5_e.html>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-5** <<https://www.digitalglobe.com/products/satellite-imagery>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-6** <<https://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos/>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-7** <<https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-8** <<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab08.en.html>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-9** <<http://sites.utexas.edu/annchen/about/>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-10** <<https://www.dji.com/phantom-4>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-11** <<http://www.dicarlotech.com/products/FARO-Focus-3D-X-330-HDR>>, Ziyaret tarihi: 04.11.2019.
- URL-12** <http://www.satlab.com.tr/files/tr/urunler/gnss-alicisi/sl600/SL600_GNSSAlicisi_Turkce.pdf>, Ziyaret tarihi 15.12.2019.
- Uysal E** (2016) Uzay Fotogrametrisi, *Geomatik Dergisi*, 1 (1): 24-38.
- Uysal M, Toprak A S ve Polat N** (2015) İnsansız Hava Araçları ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015, Konya, Türkiye, 275-279.
- Wallace L, Lucieer A, Malenovsky Z, Turner D and Vopenka P** (2016) Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structurefrom Motion (SfM) Point Clouds, *Forests*, Juha Hyypä, Xinlian Liang and Eetu Puttonen (Ed.), 7 (62): 16.
- Weiss M and Baret F** (2017) Using 3D Point Clouds Derived from UAV RGB Imagery to Describe Vineyard 3D Macro-Structure, *Remote Sensing*, Farid Melgani, Francesco Nex, Clement Atzberger and Prasad S. Thenkabail (Ed.), 9 (111): 17 pp.
- Yakar M ve Doğan Y** (2017) Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17: 94-101.
- Yakar M ve Mırdan Ö** (2017) Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar, *Geomatik Dergisi*, 2 (3): 118-125.
- Yılmaz H M ve Yakar M** (2006) LIDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2): 23-33.
- Yılmaz M ve Uysal M** (2015) Hava LİDAR Nokta Bulutunun Sayısal Yükseklik Modeli Doğruluğuna Etkisi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3): 15-20.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Yücel Ş D ve Yücel M A (2017) Terk Edilmiş Kömür Ocaklarında Oluşan Maden Göllerinin Hidrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve İnsansız Hava Aracı ile Üç Boyutlu Modellenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (6): 780-791.



ÖZGEÇMİŞ

Umut ÇAĞLAYAN, 1993 yılında Çeşme'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bartın'da tamamladı. 2011 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2015 yılında mezun oldu. 2017 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrenimine başladı.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: caglayanumt@gmail.com