

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SFM TABANLI YENİ NESİL GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ
ORTOMOZAİK VE 3B TOPOĞRAFİK MODEL PERFORMANSLARININ ANALİZİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERİDE TANRIKULU

EKİM 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SFM TABANLI YENİ NESİL GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ
ORTOMOZAİK VE 3B TOPOĞRAFİK MODEL PERFORMANSLARININ ANALİZİ

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feride TANRIKULU

DANIŞMAN: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

ZONGULDAK

Ekim 2019

KABUL:

Feride TANRIKULU tarafından hazırlanan “SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Ortomozaik ve 3B Topoğrafik Model Performanslarının 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. 31/10/2019


Danışman: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



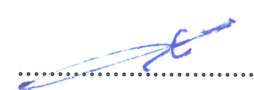
Üye : Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇIN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

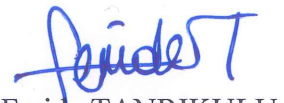
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

31/10/2019



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.”


Feride TANRIKULU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SFM TABANLI YENİ NESİL GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME YAZILIMLARININ ORTOMOZAİK VE 3B TOPOĞRAFİK MODEL PERFORMANSLARININ ANALİZİ

Feride TANRIKULU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Kasım 2019, 67 sayfa

Günümüzde, fotogrametrik üretimde İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanımı, topoğrafya haritalama, 3B şehir modellemesi ve ortofoto üretimi gibi çok sayıda uygulama için yüksek çözünürlüklü coğrafi bilgi ve nesnelerin otomatik 3B modellemesini gerçek zamanlı olarak elde etmek için uygun maliyetli, hızlı ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Structure from motion (SFM) eşleştirme algoritması ise, yeni nesil ve yaygın olarak kullanılan görüntü eşleştirme yazılımlarının temel prensibidir. Bu yazılımlar ortak prensipte çalışsalar da sonuç ürünleri gömülü parametrelerine bağlı olarak farklı özellikler ve distorsiyonlar içermektedir. Literatürde SFM tabanlı yeni nesil yazılımların üç boyutlu modelleme performanslarını karşılaştıran yayın eksikliği bulunmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışması ile yaklaşmakta olan araştırmalar için referans olabilecek bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma; görüntü elde etme, nokta bulutu üretimi ve doğruluk değerlendirmesi ana adımlarını içermektedir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin bir kampüsünden İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ile SFM tabanlı VisualSFM, Agisoft ve Pix4D görüntü eşleme

ÖZET (devam ediyor)

yazılımları kullanılarak 3B dijital yüzey modelleri (SYM) üretilmiştir. Üretilen SYM'ler, Agisoft SYM'yi referans olarak kullanan görsel ve istatistiksel yaklaşımlarla kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, analiz edilen her SFM tabanlı yazılımın artılarını ve eksilerini açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: SFM, VisualSFM, Agisoft, Pix4D, Dijital Yükseklik Modeli, Performans

Bilim Kodu: 616.02.04



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PHOTOGRAMMETRIC 3D MODELLING POTENTIAL COMPARISON OF SFM-BASED NEW GENERATION IMAGE MATCHING SOFTWARE

Feride TANRIKULU

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

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

November 2019, 67 pages

Nowadays, Unmanned Aerial System (UAS)-based photogrammetry offers an affordable, fast and effective approach to real-time acquisition of high resolution geospatial information and automatic 3D modelling of objects for numerous applications such as topography mapping, 3D city modelling, orthophoto generation. Structure from motion (SFM) matching algorithm is the basic principle of new generation and widely used image matching software. Although these software work in common principle, their final products may contain different characteristics and distortions depending on their buried parameters. In the literature, there is lack of publications which compare the three dimensional modelling performance of SFM based new generation software. Accordingly, our research group decided to carry out a study that could be a reference for upcoming researches. The main steps of this study are including: image acquisition, point cloud generation, and accuracy assessment. In this study, using VisualSFM, Agisoft and Pix4D SFM based image matching software, 3D digital surface models (DSM)

ABSTRACT (continued)

were generated from unmanned air vehicle (UAV) high resolution aerial photos in a Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University. Generated DSMs were comprehensively evaluated and compared by visual and statistical approaches utilizing the Agisoft DSM as the reference. The results clearly SYMonstrated the pros and cons of each analyzed SFM-based software.

Keywords: SFM, VisualSFM, Agisoft, Pix4D, Digital Surface Model, Potential

Science Code: 616.02.04.



TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim boyunca her dersine büyük bir istek ve zevkle katıldığım, her kapısını çaldığımda sabırla yardım edebilmek için uğraşan ve lisans bitirme tezimden sonra yüksek lisans tezim için de danışmanlığımı üstlenerek bilgi ve desteğini esirgmeden bu çalışmanın tamamlanmasını sağlayan, öğrencisi olduğum için her daim şanslı ve mutlu hissettiren değerli hocam Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK'e tüm emekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince uygulama, tez yazımı ve idari işlemler dahil her konuda tecrübe ve yardımları ile beni yönlendirerek çalışmamın tamamlanmasında büyük katkıları olan hocam Arş. Gör. Can ATALAY'a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde sağlamış oldukları maddi ve manevi destekleri ile bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan annem Nimet Tanrıkulu'na, babam Şevket Tanrıkulu'na, ve her daim beni cesaretlendiren ablam Eragül Şenel'e, kardeşim ASYM Miraç Tanrıkulu'na sonsuz teşekkür ederim.

Manevi desteklerini daima hissettiğim dostlarıma ve tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL | ii |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xv |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ | 1 |
| | |
| 1.1 MOTİVASYON | 1 |
| 1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ | 2 |
| 1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI | 2 |
| | |
| BÖLÜM 2 UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ..... | 3 |
| | |
| 2.1 LİTERATÜR TARAMASI | 3 |
| 2.2 UZAKTAN ALGILAMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER..... | 8 |
| 2.2.1 Uzaktan Algılama Çalışma Prensipleri | 9 |
| 2.2.2 Algılama Sistemleri | 12 |
| 2.2.3 Dijital Görüntü ve Çözünürlük | 14 |
| 2.3 FOTOGRAMETRİ..... | 17 |
| 2.3.1 Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihçesi | 17 |
| 2.3.2 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli | 19 |
| 2.3.3 Fotogrametrinin Sınıflandırılması..... | 21 |
| 2.4 İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE FOTOGRAMETRİ | 27 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| BÖLÜM 3 ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN MATERYALLER | 39 |
| 3.1 ÇALIŞMA ALANI..... | 39 |
| 3.2 KULLANILAN MATERYALLER | 40 |
| BÖLÜM 4 METODOLOJİ | 43 |
| BÖLÜM 5 BULGULAR..... | 51 |
| BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 59 |
| KAYNAKLAR..... | 61 |
| BİBLİYOGRAFYA | 65 |
| ÖZGEÇMİŞ | 67 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 Uzaktan Algılama Çalışma Prensipleri. | 10 |
| Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalga. | 10 |
| Şekil 2.3 Frekans-Dalga Boyu İlişkisi..... | 11 |
| Şekil 2.4 Elektromanyetik Spektrum. | 12 |
| Şekil 2.5 Algılama Sistemleri..... | 12 |
| Şekil 2.6 Pasif Algılama Sistemi..... | 13 |
| Şekil 2.7 Aktif Algılama Sistemi | 13 |
| Şekil 2.8 Dijital Görüntü Gösterimi. | 14 |
| Şekil 2.9 Konumsal Çözünürlük Karşılaştırması | 15 |
| Şekil 2.10 Yer Örnekleme Aralığı..... | 15 |
| Şekil 2.11 Farklı Bitlerdeki Görüntü Karşılaştırması..... | 16 |
| Şekil 2.12 Multispektral ve Hiperspektral Bant Arasındaki Fark. | 16 |
| Şekil 2.13 Yeryüzünden Gelen Işık Demetinin Fotoğraf Yüzeyinde Yeryüzü Şekillerini Oluşturması..... | 17 |
| Şekil 2.14 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli. | 19 |
| Şekil 2.15 Fotogramterik İzdüşüm. | 20 |
| Şekil 2.16 Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi..... | 23 |
| Şekil 2.17 Düzlemdeşlik Koşulu..... | 25 |
| Şekil 2.18 İHA Örnekleri. | 28 |
| Şekil 2.19 İHA'ların İrtifa ve Havada Kalış Sürelerine Göre Sınıflandırılması. | 33 |
| Şekil 2.20 İHA'ların İrtifa, Menzil ve Havada Kalış Kabiliyetlerine Göre Sınıflandırılması. | 34 |
| Şekil 2.21 İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi İş Akışı..... | 35 |
| Şekil 2.22 SFM Yüksek Bindirmeli Fotoğraf Çekimi..... | 37 |
| Şekil 3.1 Çalışmanın Yapıldığı Çaycuma Meslek Yüksek Okulu Kampüsü. | 39 |
| Şekil 3.2 Kampüs Alanına Ait Örnek Hava Fotoğrafları. | 40 |
| Şekil 3.3 DJI Phantom IV İHA | 41 |
| Şekil 3.4 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısı..... | 41 |
| Şekil 4.1 Çalışmanın İş Akış Diyagramı ; a) Üretim Adımları, b) Doğrulama Adımları | 43 |
| Şekil 4.2 Tesis Edilen YKN'lerin Gösterimi. | 44 |
| Şekil 4.3 SATLAB SL 6000 GNSS Aleti ile YKN Ölçümü..... | 45 |
| Şekil 4.4 Pix4dcapture Yazılımında Yapılan Uçuş Planı..... | 45 |
| Şekil 4.5 Uçuş Planına Göre Hava Fotoğraflarının Merkezleri. | 46 |
| Şekil 4.6 İHA'nın Kalkış Anı..... | 47 |
| Şekil 4.7 Pix4d Gürültülü ve Filtrelenmiş Nokta Bulutları..... | 47 |
| Şekil 5.1 Agisoft, Pix4d and VSFM Nokta Bulutları..... | 51 |
| Şekil 5.2 Agisoft, Pix4d and VSFM Nokta Bulutlarından Üretilmiş SYM'ler..... | 52 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 5.3 Frekans, SZ ve NMAD Bazında Yükseklik Farklarının Dağılımı..... | 53 |
| Şekil 5.4 Agisoft, Pix4d ve VSFM SYM Entropolasyon Sonrası..... | 54 |
| Şekil 5.5 Pix4d ve VSFM SYM'lerine Ait Doğruluk Haritaları..... | 55 |
| Şekil 5.6 Pix4d Transparent Orthomosaic Örneği. | 56 |
| Şekil 5.7 Agisoft Ortofoto Örneği..... | 57 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1 Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları..... | 9 |
| Çizelge 2.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması..... | 22 |
| Çizelge 2.3 İHA'nın Sivil ve Askeri Kullanım Alanları..... | 32 |
| Çizelge 2.4 SFM Ticari ve Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar..... | 38 |
| Çizelge 3.1 DJI Phantom IV İHA'ya Ait Parametreler | 41 |
| Çizelge 3.2 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısının Özellikleri | 42 |
| Çizelge 4.1 Tahmini Yatay Ötelemeler..... | 48 |
| Çizelge 5.1 Agisoft SYM Referansı ile Pix4d ve VSFM SYM'lerin Mutlak Düşey Doğruluğu..... | 53 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|-----------|-----------------|
| λ | : Dalga boyu |
| Δ | : Delta |
| f | : Frekans |
| C | : Işık hızı |
| κ | : Kappa |
| c | : Odak uzaklığı |
| ω | : Omega |
| k | : Ölçek faktörü |
| φ | : Phi |
| σ | : Sigma |

KISALTMALAR

| | |
|-------------|---|
| BLUH | : Bundle Block Adjustment Leibniz University Hannover |
| CAA | : Civil Aviation Authority |
| CCD | : Charge Coupled Devices |
| CMOS | : Complementary Metal Oxide Semiconductor |
| CSF | : Cloth Simulation Filtering |
| DOD | : The United States Department of Defense |
| DSLR | : Digital Single-Lens Reflex |
| FN | : Fotogrametrik Nirengi |
| GNSS | : Global Navigation Satellite System |
| ICAO | : International Civil Aviation Organization |
| IMU | : Inertial Measurement Units |
| İHA | : İnsansız Hava Aracı |
| İHAS | : İnsansız Hava Aracı Sistemi |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

| | |
|-----------------|--|
| LİDAR | : Light Detection and Ranging |
| NMAD | : Normallendirilmiş Medyan Mutlak Sapma |
| RTK-GNSS | : Real Time Kinematik GNSS |
| SFM | : Structure From Motion (Hareket Tabanlı Yapısal Algılama) |
| SIFT | : Scale Invariant Feature Transform |
| SYM | : Sayısal Yüzey Modeli |
| SZ | : Standart Sapma |
| TIN | : Triangulated Irregular Network |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| UA | : Uzaktan Algılama |
| UTM | : Universal Transverse Mercator |
| YKN | : Yer Kontrol Noktası |
| YÖA | : Yer Örnekleme Aralığı |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 MOTİVASYON

Son yıllarda havadan lazer tarama sistemi olarak bilinen LİDAR ve İnsansız Hava Aracı (İHA) gibi hızlı gelişen uzaktan algılama teknolojileri, en başta haritalama, şehir planlama, ormancılık, madencilik ve jeoloji gibi arazi ile ilgili mühendislik disiplinleri için vazgeçilmez hale geldi. “Nokta bulutu” terimi, LİDAR teknolojisi ile hayatımıza girdi. Hızlıca elde edilebilen ve yüksek çözünürlüklü LİDAR nokta bulutları, X, Y planimetrik koordinatları ve Z yüksekliği ile yüzey nesnelerinin ayrıntılı vektör tanımını sağlar. Nokta bulutları ile yapılan çok başarılı uygulamalar sayesinde nokta bulutu düşüncesi, havadan çekilmiş fotoğraflara uyarlanarak fotogrametrik görüntü işlemede kullanılmaya başlandı (Teizer ve vd. 2005, Rosnell ve Honkavaara 2012).

İHA teknolojisinde, geleneksel fotogrametri ve LİDAR’a (≥ 800 m) göre daha düşük uçuş irtifaları (≤ 300 m) avantajı sayesinde, çok yüksek çözünürlüklü (VHR) hava fotoğrafları elde edilir. Ayrıca, CMOS sensöre entegre multispektral dijital kameralarla, nokta bulutları orijinal renklerle sağlanır (Rosnell ve Honkavaara 2012). Nokta bulutlarının İHA teknolojisine uyarlanmasıyla, birkaç nokta bulut tabanlı ticari yazılım paketi piyasaya sürüldü. Bu yazılım paketleri, hedef alanlarda yüksek çözünürlüklü orto-görüntü ve dijital yüzey modeli (SYM) üretimi için İHA stereo veri işlemeyi destekler ve temel prensibi “hareketten yapı (SFM)” eşleştirme algoritmasıdır. Tüm İHA kullanıcıları veri işleme için mevcut yazılım paketlerinden birini tercih eder, ancak daha iyi bir SYM oluşturmak için hangi yazılım paketinin performansının daha iyi olduğunu ve yapılacak çalışmaya uygun olup olmadığını belirlemede sıkıntı yaşanabilir. SFM tabanlı çalışmalarda bir öncül olabilmesi adına bir ücretsiz ve iki ticari güncel fotogrametrik yazılım ile değerlendirme yapmanın literatürdeki eksikliği gidermede faydalı olacağı düşüncesi çalışmamızdaki en büyük etkidir.

1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Teknolojiyi takip etmek ve alanımızla ilgili konularda hayatı kolaylaştıracak çözüm önerimleri sunabilmek önemlidir. İHA teknolojisine bakıldığında üretim için SFM tabanlı birçok farklı eşleştirme yazılımları mevcut, ancak bu yazılımlar ortak prensipte çalışmalarına rağmen sağladıkları sonuç ürünler farklı özellikler ve distorsiyonlar içerebilmektedir. Yapılan literatür araştırmasında, kullanıcıları hangi SFM tabanlı yazılımdan daha iyi performans alacakları konusunda yönlendirecek nitelikte eserlerin eksikliği göze çarpmış ve bana ait olan bir yüksek lisans tezi başlatılmıştır. İnsansız hava aracı ile elde edilen hava fotoğrafları kullanılarak Visual SFM, Agisoft ve Pix4D SFM tabanlı görüntü eşleştirme yazılımlarından ortomozaikler ve üç boyutlu (3B) dijital topoğrafik modeller elde edilmesi ve elde edilen 3B sonuç ürünlerin görsel yorumlama ve istatistiksel analizlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda hangi SFM tabanlı yazılımda hangi tip sorunlarla karşılaşılacağı ortaya konması amaçlanmıştır.

1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI

Birinci bölümde çalışmaya nasıl motive olduğumuz ve bu çalışmayı yapmamızdaki nedenler ile çalışmanın önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde uzaktan algılamadan, İHA teknolojisi ve bu teknoloji ile birlikte gelen Structure From Motion algoritmasından, sağladıkları kolaylıklardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanı ve kullanılan materyaller anlatılmıştır. Dördüncü bölümde uygulamaya dair işlem adımları anlatılmıştır. Beşinci bölümde uygulama sonucu elde edilen veriler ve yapılan analiz sonuçları gösterilmiştir. Altıncı bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

BÖLÜM 2

UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ

2.1 LİTERATÜR TARAMASI

Özellik eşleştirme ve Structure from Motion (SfM) fotogrametrik teknikleri kullanılarak İHA fotoğrafçılığının geometrik düzeltilmesi ve mozaigine yönelik bir teknik sunulmuştur. Görüntüler, başlangıçta keyfi bir model alanında, üç boyutlu nokta bulutları oluşturmak üzere işlenmiştir. Nokta bulutları, tahmini kamera konumlarını kullanan bir doğrudan georeferencing tekniği veya nokta bulutu içinde otomatik olarak tanımlanan YKN'leri kullanan bir Yer Kontrol Noktası (YKN) tekniği kullanarak gerçek dünyadaki bir koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Ardından nokta bulutu, görüntülerin düzeltilmesi için gereken bir Dijital Arazi Modeli (SYM) üretmek için kullanılmıştır. Mekânsal konumlandırılmış görüntüler daha sonra çalışma alanının bir mozaigini' oluşturmak için birleştirilmiştir. Doğrudan tekniğin mutlak uzaysal doğruluğu 65-120 cm iken, YKN tekniği yaklaşık 10-15 cm'lik bir doğruluk sağlamıştır. Kullanılan tekniğin otomasyonu ve sadeliği, daha sonraki analizlerden önce düzeltme ve mozaikleme gerektiren büyük görüntü veri setleri üreten İHA operasyonları için ideal olduğu görülmüştür (Turner vd. 2012).

Tüketici sınıfı bir dijital kamera kullanılarak elde edilen geniş kapsamlı fotoğraf setlerinden yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modelleri (SYM) oluşturmak için kullanılan yöntemlerin ilk değerlendirmesi olarak, SfM'den türetilmiş bir SYM, yersel lazer taraması kullanılarak elde edilen benzer bir model ile doğrudan karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, karmaşık topografya ve çeşitli arazi örtüsü alanlarına rağmen, SfM kullanılarak decimetre ölçeğinde dikey doğruluğun elde edilebileceğini göstermiştir. SfM'nin örnek uygulamaları, çeşitli ölçeklerde açık bir kayalık kıyı uçurum, breached moraine-baraj kompleksi ve buzul desenli bir anakaya sırtı olmak üzere zıt üç kara formu için sunulmuştur. SfM tekniğinin, jeoloji uygulamaları için fotogrametri alanında önemli bir ilerlemeyi temsil ettiği ve karmaşık topografyayı yakalamak için ucuz, etkili ve esnek bir yaklaşım olduğu görülmüştür (Westoby vd. 2012).

Son yirmi yıl içinde, izleme araçlarındaki ve bilgi teknolojilerinin artan kullanımındaki gelişmeler inşaat sahalarının daha iyi görüntülenmesine yol açmıştır. Oyun motorlarının İnsansız Hava Araçları (İHA) ile çekilen fotoğrafları kullanılarak sanal ortamın görselleştirilmesi öne sürülmüştür. Sistemi test etmek için derin kazılar seçilmiştir. Aralarında video kameranın da bulunduğu birçok sensör ile donatılmış İHA'lar yardımı ile derin kazıların ulaşılması güç olan bölgelerinde dahi rahatlıkla fotoğraf alınabilmektedir. Fotoğraflar geometrik bilgilerden yoksun olduğu için çok yoğun ve renkli bir nokta bulutu oluşturmak için Hareketten Yapı ve Çoklu Görüntü Stereo algoritmaları önerilmiştir. Nokta bulutu denetim için yeterince etkili olamayacağından daha da işlenmiş ve nokta ağı elde edilmiştir. Daha sonra etkileşimli bir ortam sağlamak için bu ağ oyun motorları aracılığıyla sanal bir dünyaya aktarılmıştır. Geliştirilen ürün, Ankara'da bulunan iki derin kazı tesisinde başarıyla test edilmiştir. (Teke 2016).

Sagalassos'taki kazı alanını doğru, hızlı ve düşük maliyetli 3D modellemek için görüntü tabanlı bir 3B nokta bulutu tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemin diğer tekniklere alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmak için ticari bir yazılım uygulanmıştır. Üretilen modelin doğruluk değerlendirmesi, yer kontrol noktalarının doğrudan ölçülen koordinatlarının modelden üretilenlerle karşılaştırılması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğruluğun 1,3 cm civarında olduğunu göstermiştir. Bu teknik, topografik ve manuel dokümantasyon yöntemlerinden daha verimli olduğunu kanıtlamıştır (Ovalı ve Şeker 2017).

Yoğun trafik akışına sahip, ölçülecek fazla detayı olan (bina, rögar, aydınlatma direği gibi) karayolu şehir merkezi geçişlerinde yersel yöntemler kullanılarak arazi ölçüm çalışmaları zaman ve maliyet açısından negatif etkilemekte, işçilerin ihmallerine bağlı olarak iş güvenliğini de tehdit etmektedir. Bu nedenele, sayısal fotogrametrik sistemlere nispeten çok daha az maliyetlerle kurulabilen İHA sistemleri, karayolu ölçüm koridorlarında önemli bir alternatif olarak görülmektedir. İHA ile ortofoto görüntü ile sayısal arazi modeli üretiminin karayolu ölçüm koridorlarında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Structure From Motion (SFM) algoritması ve GNSS-IMU entegreli bir İHA kullanılarak Antalya-Manavgat-Alanya Devlet Yolu'nda Okurcalar-İncekum mahalleleri arasında 700 metrelik karayolunun 4,9 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ile nokta bulutu üretilmiştir. Üretilen nokta bulutundan test karayolu koridoruna ait sayısal arazi modeli, Cloth Simulation Filtering (CSF) ve Gaussian filtreleme yöntemleri uygulanarak elde edilmiştir. Yersel yöntem ile İHA sisteminin doğruluğu test edilmiş, bu yöntemin toprak zeminlerde 7,32 cm, sert satırlı zeminlerde 3,96 cm düşey

doğrulukla 3B veri üretebileceği bulunmuştur. Bulunan sonuçlar, İHA sistemlerinin düz arazi yapısına sahip karayolu koridorlarında sayısal arazi modeli ve ortofoto görüntü üretiminde oldukça etkili sistemler olduğunu göstermiştir (Tercan 2018).

Osmanlı İmparatorlukğu döneminden kalan bir antik kent ve kervan yolunun, GNSS-IMU ve otopilot desteği olan bir İHA ile 80 metre irtifadan üstüste bindirmeli olarak 731 adet yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler, Structure From Motion (SfM) algoritması ile işlenmiş, sit alana ait mekânsal çözünürlüğü 2.1 cm olan ortofoto görüntüsü ve çözünürlüğü 8.4 cm olan sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Geleneksel yersel yöntem referanslığında İHA sisteminin doğruluğu test edilmiş, aplikasyon işlemi ile saptanan aynı ölçüm noktalarında bu iki yöntem arasındaki kot farkı yaklaşık olarak 0.4-4.3 cm aralığında olduğu görülmüştür. Varılan sonuçlar, antik kentler ve kervan yollarının belgelenmesinde, İHA fotogrametri sistemlerinin hassas ve detaylı 3B veri üretmek için ideal bir yöntem olduğunu göstermiştir (Tercan 2017).

Hırvatistan da yer alan Dalmatia tarihi bölgesinde, Roma Döneminden kalan askeri kamp alanı ve arkeolojik kalıntılarının sayısal yüzey modelini üretmek için insansız hava aracı kullanılarak görüntüler elde edilmiş ve bu görüntüler SfM algoritması ile işlenmiştir. Üretilen yüzey RTK-GNSS ölçümleri ile karşılaştırılmış, çalılık ve ağaçların olmadığı alanlar için bulunan test sonuçları yaklaşık olarak 10 cm düşey doğruluk sağlamıştır (Dubbini vd. 2016)

SfM ve geleneksel fotogrametri teknikleri, İsviçre'deki bir dağ buzulu olan Zmuttgletscher'in arşiv görüntüleri, 1946 ve 2005 arasındaki dokuz tarih boyunca, ve en popüler yazılım paketleri kullanılarak üretilen SYM'lerin buzul yükselmesindeki değişikliklerinin doğruluğunu analiz etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, SfM kullanarak, konvansiyonel fotogrametride olduğu gibi benzer kalitede SYM'ler üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Daha yüksek nokta bulutu yoğunluğu ve daha az gürültünün, nihai SYM'nin daha yüksek bir zemin çözünürlüğüne izin verdiği ve kullanıcının da 3-6 kat daha az zaman harcadığı saptanmıştır. Ortaya çıkan SYM zaman serileri, -67.0 ± 5.3 m olan buzul dilindeki yüzey yükselmesinde ortalama bir değişiklik olduğunu ortaya koymuştur. SfM-MVS teknolojisinin (yani PhotoScan ve Pix4Dmapper), yüksek YKN kalitesi kontrolünün önkoşulları altında bilimsel (glasiolojik) amaçlar için kullanılacak kadar olgun olduğu ve benzer kalitede fakat daha düşük çözünürlükte ve daha uzun işlem süresi gösteren geleneksel fotogrametriye (yani ERDAS-IP) tercih edilebileceği belirtilmiştir (Mölg ve Bolch 2017).

İzmir Agora'sında yer alan Roma Döneminden kalan bir hamam yapısı, SfM tekniği kullanılarak ve daha sonraki restorasyon çalışmaları için de bir referans olabileceği düşünülerek 3B modellemesi ve analizleri yapılmıştır. Bu model üretimi için, yapı üzerinden otonom uçuşa yeteneğine sahip İHA ile alınan görüntüler ve yerden çekilmiş görüntüler kullanılmıştır. Saha çalışması sırasında Lazer Disto kullanılarak yapı üzerinden koordinat ölçümleri alınmış ve üretilen sayısal modelin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Sonuç olarak yüksek görsellikte ve 10 cm ortalama hataya sahip üç boyutlu model elde edilmiştir. Yerinden ve model üzerinden yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında model ölçümlerinin yeterli doğruluğu sağladığı görülmüştür (Önal vd. 2017).

Eğik hava fotoğrafı ölçümleri, kıyı manzaralarını belgelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. California Fort Kıyı Kayıtları Projesi'nden, Fort Funston'a ait 2002'den 2010'a kadar uzanan fotoğraflar kullanılarak, çalışma alanındaki uçurumların topografik nokta bulutlarını üreten dört boyutlu bir analizde yer kontrol noktalarıyla birleştirilmiştir. Üretilen nokta bulutları havadan LIDAR verileri ile karşılaştırılmış ve oluşan belirsizliklerin SfM analizlerinde kullanılan yer kontrol noktalarının sayısı ve mekansal dağılımı ile ilgili olduğu görülmüştür. Altı veya daha fazla yer kontrol noktası kullanıldığında, SfM ve LIDAR verileri arasındaki ortalama karesel hata 0,30 m'den (en az 0,18 m) ve ortalama sistematik hata 0,10 m'den az bulunmuştur. SfM sonuçlarının, geleneksel havadan LIDAR'a göre, uçurumun dikey çıkıntı yapan bölümlerini de nokta kapsamına dahil etmeleri ve 10-100 kat daha yüksek nokta yoğunluğuna sahip olması gibi birçok faydası olduğu saptanmıştır. SfM sonuçlarının zaman serileri; toprak kaymaları, kaya düşmeleri ve Fort Funston plajı boyunca yer alan toprak kayması aşınması dahil topografik değişiklikleri ortaya koymuştur. Böylece, tarihi eğik fotoğraflarla SfM fotogrametrik tekniklerinin, kıyı topografyasını haritalamak ve kıyı değişimini ölçmek için yararlı nicel bilgilerin çıkarılmasına izin verdiği sonucuna varılmıştır ve yer bilimlerindeki sorunlara uygulanabileceği görülmüştür (Ritchie vd. 2017).

İHA kullanılarak Ormansızlaşma ve Orman Bozunumundan Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması (REDD +) bağlamında gelişmekte olan ülkelerdeki orman izleme için SfM tekniğinin düşük maliyetli bir yöntem olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olup olmadığının değerlendirmesini yapmak üzere iki görüntü bölgesi için havadan görüntü verileri toplanmıştır; sırasıyla Quest QPOD sabit kanatlı İHA ve DJI Phantom 2 quadcopter İHA'sını kullanarak Meshaw (Devon, İngiltere) ve Dryden (İskoçya, İngiltere). Meshaw sahasında SfM ve havadan LiDAR nokta bulutları ile yüzey modelleri arasında karşılaştırmalar yapılırken,

Dryden'de SfM ağaç yükseklikleri, zeminden ölçülen ağaç boylarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar SfM ve LiDAR dijital yüzey modelleri ($R^2 = 0.89$) ve kanopi yüksekliği modelleri ($R^2 = 0.75$) arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Ancak, Dryden'de, SfM ağacı yükseklikleri ile zeminden ölçülen yükseklikler arasında zayıf bir korelasyon gözlenmiştir ($R^2 = 0.19$). Dryden'deki kötü sonuçlar, orman arazisinin SfM'nin yeterince gölgelik altı toprak noktaları oluşturmayacak şekilde kapalı bir kanopi yapısına sahip olması ile açıklanmıştır. Yazılım ve sensörlerde devam eden iyileştirmelerle birlikte, SfM tekniğinin kullanılmasının yakın gelecekte ormancılık uygulamaları için LiDAR'a gerçek bir rakip olabileceği sonucuna varılmıştır (Mlambo vd. 2017).

SfM biliminden ve jeomorfik uygulamalarda kullanımından başlayarak birkaç alana katkıda bulunmak amacıyla SfM veri setlerinde doğal olan hata ve belirsizlikler saptanmış, küçük bir nehir restorasyon projesinde jeomorfik değişimi haritalamak ve izlemek için SfM kullanımı ve TLS referanslığında karşılaştırması yapılmıştır. SfM'nin yaklaşık iki santimetrelik ortalama bir belirsizlik sergileyen son derece tutarlı sonuçlar verdiği bulunmuştur. SfM ve TLS veri setleri arasındaki küçük çaplı farklılıkların çoğu, GPS hatası ölçeğinde (1-2 cm) olduğu görülmüştür. SfM, gelecekteki uygulamalarda dikkate alınması gereken bazı araştırma modellerinden kaynaklanan sistematik hatalar olmasına rağmen, son derece tutarlı sonuçlar sağlamıştır (Dietrich 2014).

Vatikan'da yer alan Aziz Petrus Meydanı'nın biblosunun, SfM tekniğini kullanan ticari yazılım olan Agisoft PhotoScan ve açık-kaynak kodlu VisualSfM ile MeshLab yazılımlarından üretilen 3B modellerinin performansları değerlendirilmiştir. Bu farklı yazılımlardan elde edilen 3B modellerin karşılaştırılması, yine açık-kaynak kodlu CloudCompare yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımının açık-kaynak kodlu yazılımlardan bir adım önde olmasına rağmen, çalışmanın amacına göre her iki seçenek alternatif olabilecek seviyededir (Sarıtürk ve Şeker 2017).

Farklı yüksekliklerde İHA kullanılarak elde edilen görüntülerden SfM algoritması temel alınarak nokta bulutu ve bunlardan ortofoto ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretilmiş, arazi ölçmeleri ile doğrulukları karşılaştırılmıştır. Yer kontrol noktalarının konumsal doğruluğu Ayrımsal Küresel Konumlama Sistemi (DGPS) ile belirlenmiştir. Üretilen nokta bulutları ile DGPS ölçümlerinden alınan koordinatlar arasında düşeyde santimetre bazında fark

saptanmıştır. Böylece gelecekte doğruluk, maliyet ve oluşturulma süreleri değerlendirildiğinde İHA'ların kullanımının klasik fotogrametrinin yerini alacağı öngörülmüştür (Ozcan 2017).

İHA ile elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutlarından yüksek çözünürlüklü yüzey modelleri, Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) tekniği kullanılarak oluşturulmuş ve yüksekliklerinin doğruluğu saptanmıştır. Yapılan analizlerde yükseklik değerleri ortalama 5.2 cm \pm 2.36cm ile belirlenmiştir. Yükseklik bilgisinin üretilmesi için İHA görüntülerinin mühendislik uygulamalarında yüksek doğruluklu veri sağladığı belirlenmiştir (Özcan vd. 2016).

Büyük ölçekli, yüksek çözünürlüklü arazi modellemesi için mevcut modelleme yöntemleri maliyet ve zaman engelleyici olabildiğinden dolayı düşük maliyetli kameraları ve insansız hava araçlarını 3D arazi haritalaması amacıyla entegre etmek için Las Cruces, New Mexico'da yaklaşık 30000 m²' lik bir alanda SfM tekniğinin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Haritalama sürecinde alınan yapı üç farklı ortamda deneysel olarak değerlendirilmiştir: insan yapımı ortamlarda zemin bazlı testler, doğal ortamlarda zemin bazlı testler ve doğal ortamlarda havadan yapılan testler. Doğal ortamlarda yapılan zemin bazlı testlerin kamera kalibrasyonu için son derece yararlı olduğu gösterilmiştir ve ortaya çıkan modellerde maksimum 4,26 cm hata ve 1,50 cm standart sapma tespit edilmiştir. Bu alanlar kabul edilebilir doğrulukta ve 1,24 cm çözünürlükle eşleştirilmiştir (Hudzietz ve Saripalli 2012).

2.2 UZAKTAN ALGILAMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Uzaktan algılama, yeryüzü ile fiziksel veya mekanik bir temas olmaksızın, yeryüzünden belli uzaklıklarda bulunan çeşitli algılayıcı sistemler tarafından nesnelere yansıyan ışınımın özelliklerini değerlendirerek nesnelere hakkında bilgi toplayan bilim ve teknik olarak tanımlanabilmektedir (Musaoğlu 2014).

Doğal çevrenin çoğunluğu dinamik nitelikte olduğu için bir kez belirlenmesi yeterli değildir. Uzaktan algılama tekniği ile havadan ve uzaydan elde edilen görüntüler yorumlanabilir ve sık sık takip edilmeleri sağlanır (URL-1).

1858'de Gaspard Felix Tournachon'un 700-ft yukarıdan Paris'i çekmesi, bilinen ilk hava fotoğrafı olarak Uzaktan Algılama teknolojisini tarihinin başlatmıştır. Yıllar içinde önemli

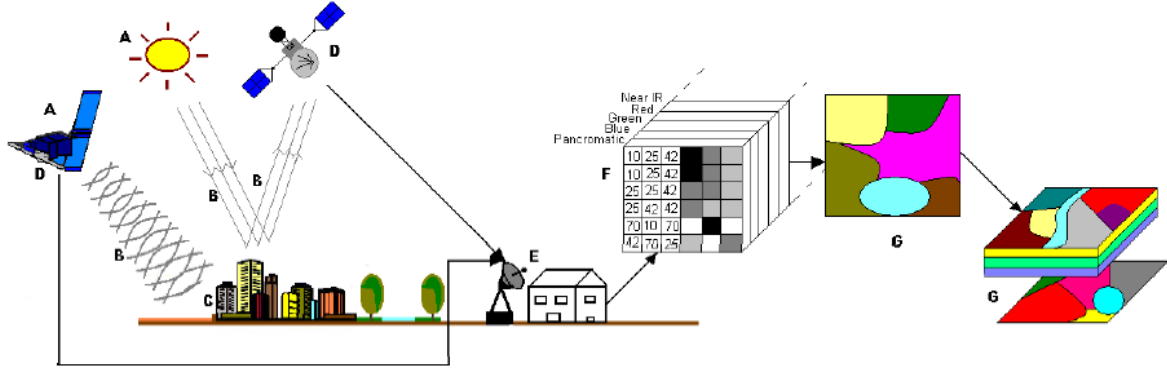
gelişmeler yaşanırken II. Dünya Savaşı sonlarında keşif ve güvenlik amaçlı uçaklardan çekilen fotoğraflar ile büyük önem kazanmıştır. Günümüze kadar gelindiğinde ise insanlı/insansız hava araçları veya uydu platformlarına monte edilen algılayıcılar tarafından üretilen yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklü veriler birçok amaç için kullanılır hale gelmiştir (URL-2).

Çizelge 2.1 Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları.

| | |
|--------------------|---|
| Haritacılık | Sayısal arazi modellemeli üretimi, yeryüzü deformasyonunun izlenmesi, topoğrafik harita üretimi, tematik harita üretimi, afet yönetimi, şehircilik ve arazi kullanım uygulamaları. |
| Meteoroloji | Hava tahminleri, meteorolojik olayların izlenmesi, hava yolu ile yayılan partiküllerin takibi. |
| Savunma | Hedef saptama, istihbarat, stratejik araştırmalar. |
| Ziraat | Rekolte tahmini, ürün türünün belirlenmesi, bitki gelişimi izleme, toprak nemi ve türü belirleme. |
| Ormancılık | Orman türlerinin haritalanması, bitki örtüsünün belirlenmesi, yangın takibi, ağaçlandırma çalışmaları, ağaç hastalıklarının izlenmesi, ormansızlaşma ve çölleşme izleme. |
| Hidroloji | Deniz, göl ve akarsu kirliliği inceleme, su kalitesi analizleri, buzul hareketlerinin incelenmesi, kayaç tiplerinin tespiti, kıyı araştırmaları. |
| Tarım | Arazi kullanımının belirlenmesi, Bitki tipini ayırma, Ürün çeşitliliğinin belirlenmesi, Bitki canlılığının izlenmesi, Bitki gelişimini izleme, Rekolte tahmini, Toprak nemi ve türünü belirleme |
| Jeoloji | Jeolojik yapı takibi ve haritalama, fay şeklinin takibi, deprem araştırmaları, jeotermal araştırmalar, volkanik araştırma çalışmaları ve izleme, maden ve yeryüzü kaynaklarının aranması, petrol aramaları. |
| Çevre | Ekolojik gelişmelerin sürekli ve geniş, ölçekte izlenmesi, Arazi örtüsü veya kullanımının haritalanması, Akarsu, deniz ve göl su kirliliklerinin belirlenmesi, Kıyı alanlarındaki değişimlerin izlenmesi, Sanayi alanları ve çevresindeki değişimlerin izlenmesi, Orman alanlarındaki değişimin izlenmesi |

2.2.1 Uzaktan Algılama Çalışma Prensipleri

‘Veri Elde Etme’ ve ‘Veri İşleme ve Yorumlama’ olmak üzere iki aşamadan oluşan uzaktan algılama uygulamaları dört temel bileşenden oluşan bir çalışma prensibi ile veri üretir. Bu temel bileşenler; enerji kaynağı, yeryüzü, alıcı ve yer istasyonudur. Şekil 2.1’de bu bileşenlere dayalı çalışma prensibi gösterilmiştir (Marangoz 2016).

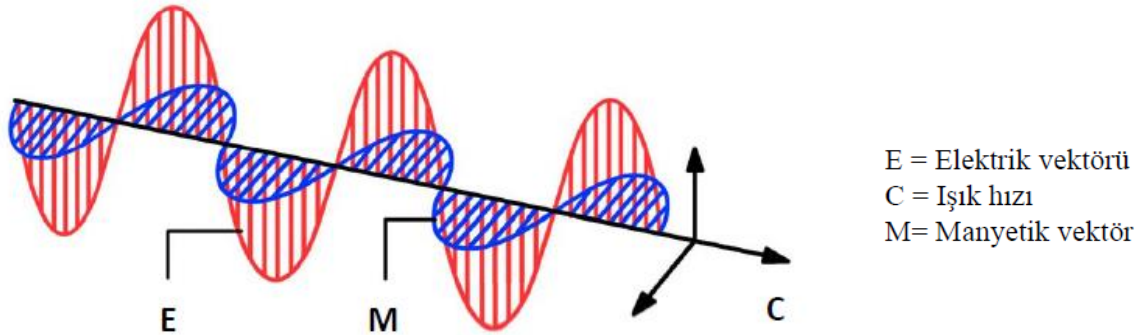


A: Enerji kaynağı B: Işınım ve atmosfer C: Dünya yüzeyi D: Kaydedici sensör E: Yer istasyonu F: Veri Analizi G: UA Uygulaması

Şekil 2.1 Uzaktan Algılama Çalışma Prensipli.

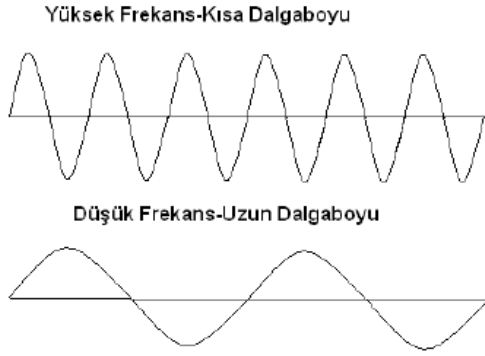
Verinin elde edilebilmesi için gerekli olan elektromanyetik enerjiyi bilgi toplanacak yüzeye gönderen enerji kaynağı, uzaktan algılamanın ilk bileşenidir. Bu kaynaktan gönderilen enerji yeryüzüne ulaşır ve yansıyarak sensör tarafından algılanana kadar atmosfer ile etkileşimdedir. Yeryüzü ile etkileşimi objeler hakkında bilgi sağlar. Alıcıdaki sensörler tarafından emilme ve yutulma sonrasında yansıyan enerji algılanıp kaydedilir ve kaydedilen veriler işlenip görüntüye dönüştürülmesi için yer istasyonuna gönderilir. Bilgi çıkarımı yapmaya hazır hale getirilmek üzere görüntü, dijital ve görsel teknikler ile işlenerek ve farklı veri kaynakları ile de birleştirilmeye uygun olarak kullanıma sunulur (Yılmaz 2016).

Temel bileşenlerden olan elektromanyetik enerji tüm bileşenler arasındaki bağlantıyı sağlar. Tüm nesnelere belli bir enerji yayar ve diğer nesnelere gelen enerjiyi de yansıtırlar. Uzaktan algılama temelde bu yayılan ve yansıtılan enerjiyi ölçer, nesnelere ve enerji arasındaki etkileşimin sonucudur (URL-2).



Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalga.

Şekil 2.2’de gösterilen James Clerk Maxwell’in tanımladığı elektromanyetik dalga modeline göre elektromanyetik enerji, bir nesneden diğerine elektrik ve manyetik alan dalgaları olarak ışık hızı ile iletilir (Çölkesen 2009).



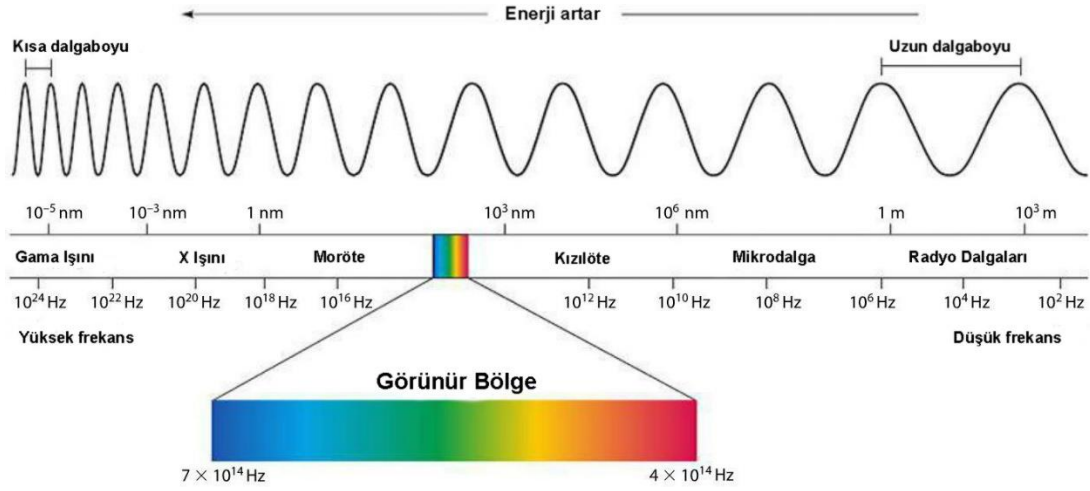
$$C = \lambda \cdot f$$

Dalga boyu (λ) ve frekans (f), dalga karakterini ifade etmek için kullanılır ve C (ışık hızı) yani elektromanyetik enerji sabit bir hıza eşittir (URL-2).

Şekil 2.3 Frekans-Dalga Boyu İlişkisi.

Yeryüzündeki ışınım, dalga boyu, frekans gibi parametreler en küçük dalga boyundan (nanometre) başlayıp en büyük dalga boylarına (kilometre) kadar bilinen tüm elektromanyetik dalgaları içeren geniş gösterim, elektromanyetik spektrum olarak ifade edilir (Şekil 2.4). Uzaktan algılama tekniğinde enerji bu spektrumdaki dalga boyu değerlerine göre sıralanır ve görüntü oluşur (Marangoz 2016).

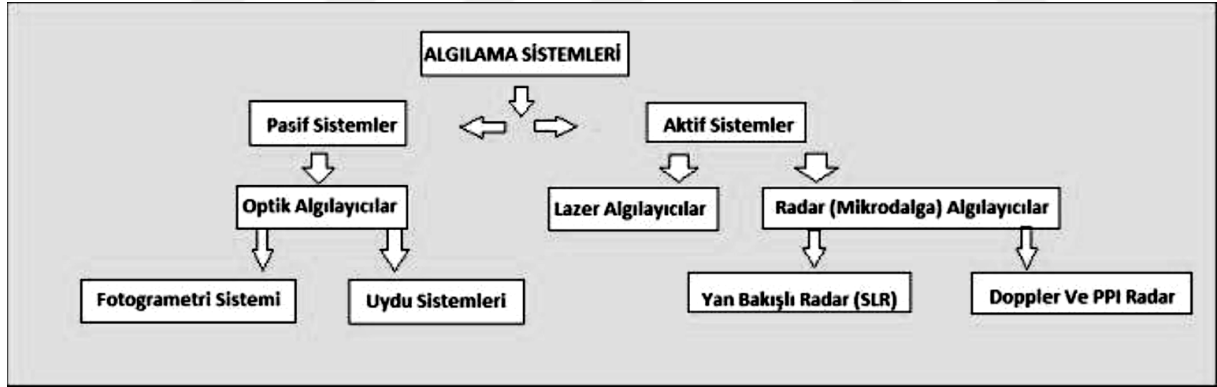
Elektromanyetik spektrumda dalga boyları bina mertebesinde uzunluğa sahip radyo dalgalarından, bir atom çekirdeği mertebesindeki kısa dalga boylarına kadar uzanır. Uzaktan algılamada, yeryüzüne ilişkin bilgi toplamasında en çok mikrodalga, kızılötesi ve görünür dalgaboyu aralıkları kullanılır. İnsan gözünün algılayabildiği dalga boyları, sadece görünür bölgedeki 0.4-0.7 μm arası dalga boylarıdır ve insan gözüyle, fotoğraf makinası/kamera vb. ile ayırt edilebilirler. Gözümüzün algıladığı ışınlar dışında, farklı emülsiyonlar kullanılarak 0,3-1.5 μm arasında pasif algılamaya dayalı optik görüntü elde edilir. Aktif algılayıcılar ise, 1-1000 mm arasındaki mikro dalga bölgesinde algılama yapmaktadırlar. Frekans değeri yüksek olan dalgalar büyük enerjiye sahiptirler. Frekansla enerji arasında doğru orantı vardır; frekans arttıkça enerji artmaktadır (Yılmaz 2016).



Şekil 2.4 Elektromanyetik Spektrum.

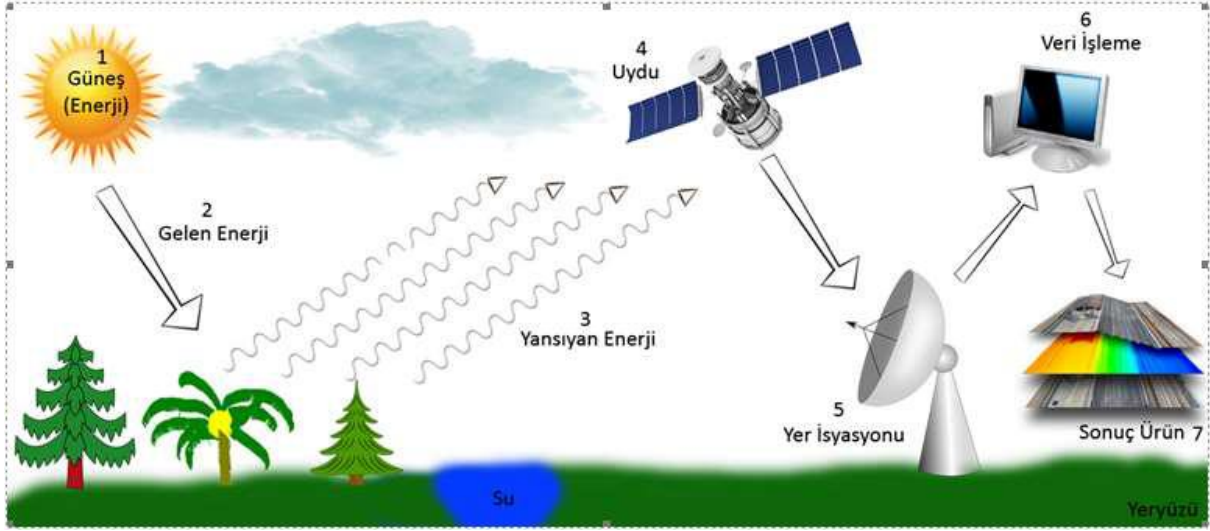
2.2.2 Algılama Sistemleri

Kullanılan enerji kaynağına göre uzaktan algılama sistemleri, doğal enerji kaynağı kullananlar *pasif* ve yapay bir enerji kaynağı tarafından üretilen enerjiyi kullananlar *aktif* algılama olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.5).



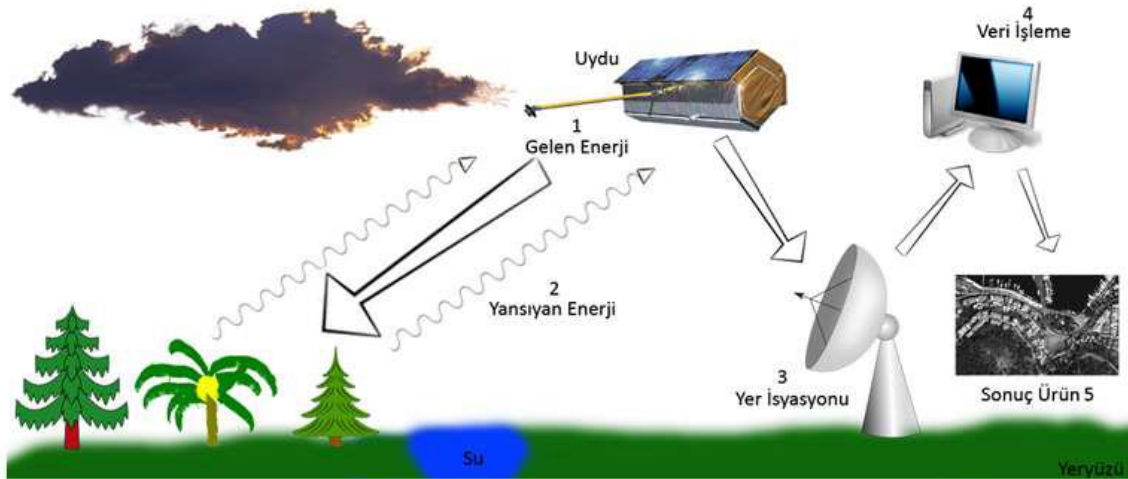
Şekil 2.5 Algılama Sistemleri.

Pasif sistemler; optik sistemler olarak da adlandırılan, kendi enerjisini üretemeyen ve güneş enerjisini kullanarak gelen enerji yansımalarının görüntüye çevrildiği bir sistemdir. Güneş bağımlı olduğu için gece, bulutlu ve yağışlı havalarda sistem kullanılamamaktadır. Ancak maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır. Pasif algılama sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.6'da gösterilmektedir (Sefercik 2014).



Şekil 2.6 Pasif Algılama Sistemi.

Gelen enerjinin dalga boyuna göre piksellere renk değeri atayarak dijital görüntünün oluşmasını sağlayan CCD (Charge-Coupled Devices) ve CMOS (Complementary metal oxide semiconductor) adındaki çipli sensörlerin bulunduğu pasif algılama sistemlerine karşılık mikrodalga veya aktif algılama sistemlerinde aynı amaçla gönderici ve alıcı antenler bulunmaktadır. *Aktif sistemler* kendi enerjilerini kendileri üretirler, hedefe mikrodalga sinyaller gönderirler ve nesnelere kendi yapılarına göre gelen enerjiyi yansıtırlarken alıcı antenler tarafından anten algılama grafiklerine kaydedilerek görüntü oluşturulur (Campbell ve Wynne 2011). Radar ve lidar sistemleri bu sisteme örnektir. Güneşe bağımlı olmadıkları için hava koşullarından etkilenmezler, gece ve gündüz sürekli veri akışı sağlanır. Aktif algılama çalışma prensibi Şekil 2.7’de görülmektedir (Marangoz 2016).



Şekil 2.7 Aktif Algılama Sistemi

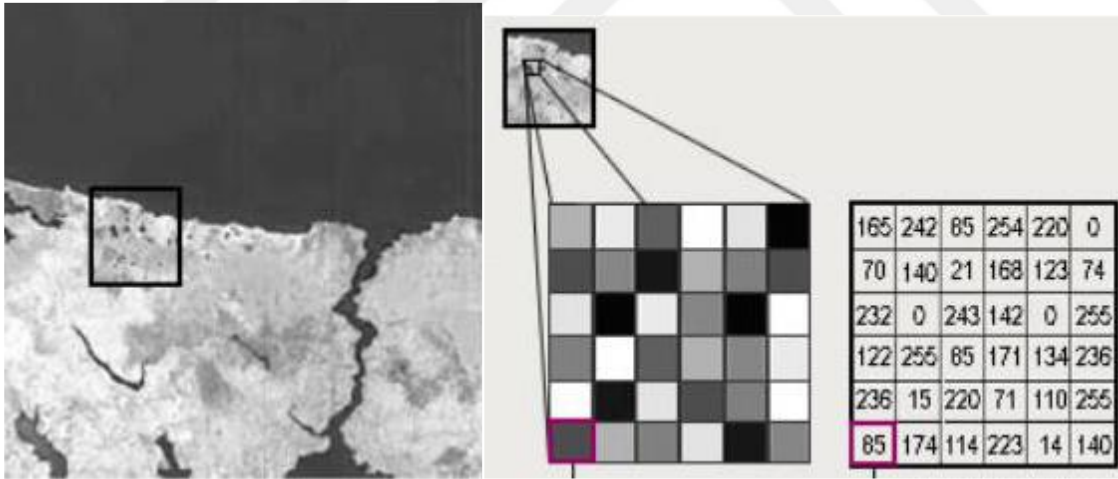
2.2.3 Dijital Görüntü ve Çözünürlük

Uzaktan algılama tekniğinde veriler dijital olarak kaydedilmekte ve gerçekteki bir objenin iki boyutlu temsili olan görüntüye dönüştürülüp yorumlanmak üzere işlenmektedir.

Enerji alıcı tarafından algılanır, ölçülür ve değeri bilgisayarın okuyabileceği bir sayıya çevrilip yeryüzündeki uydu yer istasyonuna gönderilir. Bu değerler her bir sıra ve sütunda bir gri değeri ifade eder ve böylece raster formatındaki görüntü oluşur (Wolf vd. 2014).

Dijital görüntü, x ve y koordinatları ile tanımlı, en küçük elemanı piksel olan iki boyutlu dizilerden oluşur. Her piksel içindeki sayısal değer, görüntüdeki objeye ait parlaklık bilgisi veya gri tonunu, başka bir deyişle objelerden yansıyan enerji miktarını ifade etmektedir.

Piksel değerleri 0 (siyah) ile 255 (beyaz) gri renk tonuna (8 bit için) karşılık gelir. Piksel sayısı görüntü içindeki objenin ayırt edilebilirliğini artırır ve pikselin büyüklüğü yeryüzünde karşılık geldiği alanın büyüklüğü olduğu için çözünürlüğü ifade eder (Marangoz 2016).

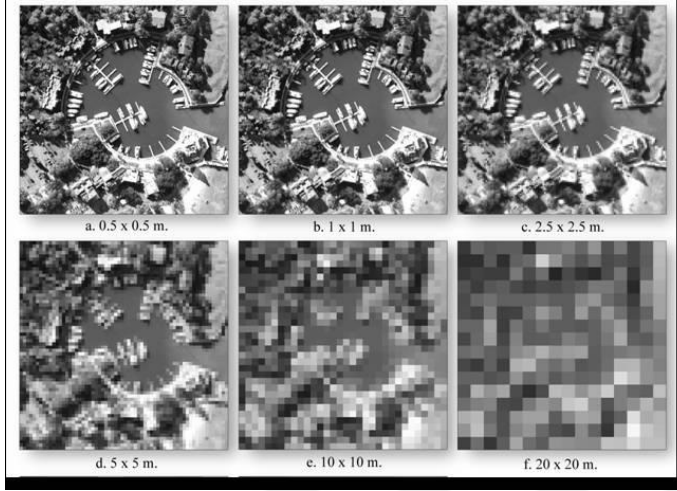


Şekil 2.8 Dijital Görüntü Gösterimi.

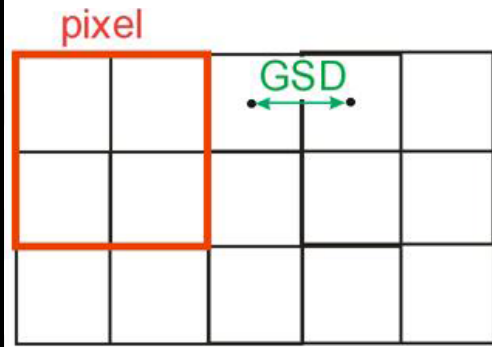
Çözünürlük, görüntünün yorumlanabilmesi için detayların ayırt edilebilirlik ölçüsüdür. Uzaktan Algılamada; *konumsal*, *radyometrik*, *spektral* ve *zamansal* olmak üzere dört farklı çözünürlük mevcuttur.

Konumsal (mekansal) çözünürlük; Görüntüdeki birbirine yakın iki objenin ayırt edilebilmesi için gereken en küçük hedef boyutu, harita üretimi amacıyla görüntü üzerinden haritaya

aktarılabacak her coğrafi objektivi tanımlamada yüksek olması gereken çözünürlüktür. Başka bir deyişle görüntünün en küçük elemanı olarak tanımlanan bir pikselin yeryüzünde kapladığı alandır. Piksel sayısı fazla olursa yansıyan ışınların her biri ayrı ayrı pikselde tutulacağı için çözünürlük yüksek olur. Çözünürlük ne kadar yüksek olursa görüntülenen detay artmakta ve cisimlerin tespiti kolaylaşmaktadır (Şekil 2.9). Sadece çok büyük nesnelere görülebiliyorsa çözünürlük düşük, küçük nesnelere de ayırt edilebiliyorsa çözünürlük yüksektir (URL-3).



Şekil 2.9 Konumsal Çözünürlük Karşılaştırması.



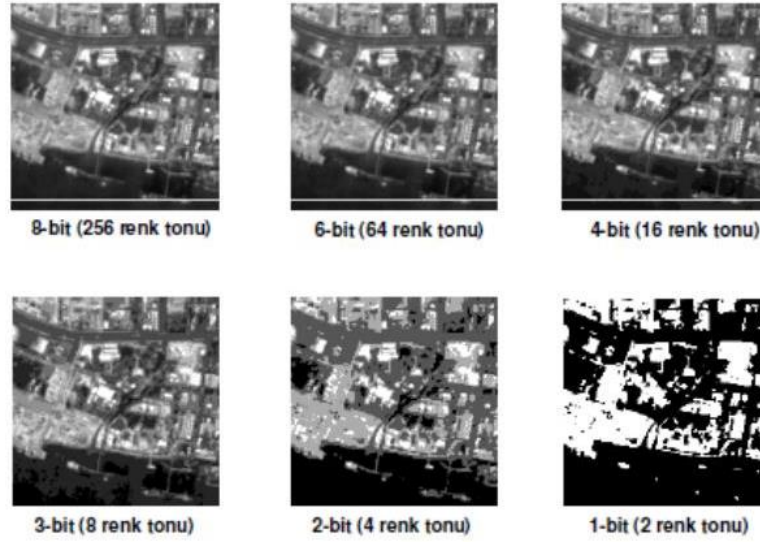
Şekil 2.10 Yer Örnekleme Aralığı.

YÖA/Yer Örnekleme Aralığı (GSD/Ground Sampling Distance); komşu piksellerin merkezleri arasındaki mesafe ya da bir pikselin yeryüzünde kapsadığı alanın fiziksel karşılığı olarak tanımlanmaktadır. Bir görüntünün çözünürlüğünden bahsederken piksel boyutu genellikle bu ifade ile verilmektedir (Şekil 2.10).

Bir cismin tespit edilebilmesi için bir pikselden fazla pikselle temsil edilmesi gerektiği söylenmektedir. Eğer cisim tek bir piksel boyutunda ise bulunduğu zeminden ayırt edilebilecek kadar zıt bir renkte olmalıdır, aksi takdirde komşu pikseller ve zemin arasında aynı renkte kalacak ve tespiti mümkün olmayacaktır (İnce 2018).

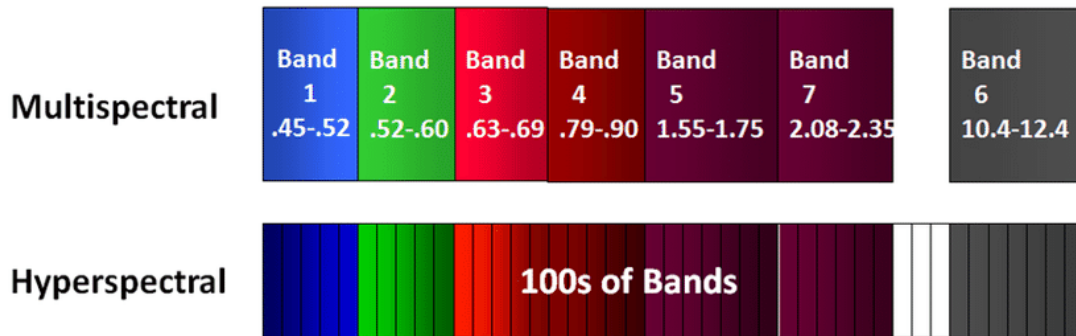
Radyometrik Çözünürlük; Bir görüntüleme sisteminde elektromanyetik enerji miktarının hassasiyeti, veri yoğunluğu veya farklılıkların ayırtedilebilmesi olarak tanımlanmaktadır. Enerjideki bu farklılıklar da gri tonu veya gri değeri sayısı olarak ifade edilmektedir. Bir görüntünün radyometrik çözünürlüğünden bahsederken enerjinin bölündüğü, 2^n formülü ile hesaplanan 'bit' sayısı kullanılmaktadır. $2^1=2$ gri değerli bir görüntü yalnızca siyah ve beyaz iki renkten oluşmaktadır. Bit sayısı arttıkça radyometrik çözünürlük yani görüntünün kalitesi

ve detayların ayırılması artmaktadır. Bu durum aynı bölgeye ait farklı renk tonlarındaki görüntüler ile Şekil 2.11’de örneklendirilmiştir (Marangoz 2016).



Şekil 2.11 Farklı Bitlerdeki Görüntü Karşılaştırması.

Spektral Çözünürlük; algılayıcının kaydedebileceği dalga boyu genişliği ve spektral bant sayısı olarak ifade edilmektedir. Algılayıcı elektromanyetik spektrumun geniş bir bölgesinde algılama yapıyorsa spektral çözünürlüğü düşüktür. Bu çözünürlük ne kadar yüksekse alım yapılan dalga boyu genişliği o kadar dardır. Spektral çözünürlüğün artması için her spektral bantın algıladığı dalga boyu aralığı küçülmeli, algılayıcının sahip olduğu spektral bant sayısı artmalı veya özel bir kanal kullanılmalıdır. Günümüzde 36 farklı spektral bant yardımıyla birçok afet olayının takibini yapabildiği MODIS uydusu gibi hiperspektral algılayıcı sistemler kullanılmaktadır (Yılmaz 2016). Şekil 2.12’de kullanılan multispektral ve hiperspektral bant arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Multispektral ve Hiperspektral Bant Arasındaki Fark.

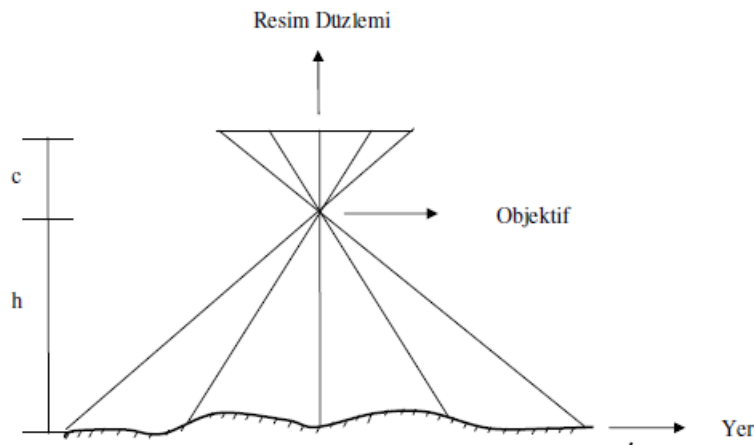
Zamansal Çözünürlük; algılayıcının aynı alandan tekrar geçme süresini veya hangi periyotlarla görüntü kaydettiğini belirtmek için kullanılmaktadır. Görüntüleme sıklığı arttıkça zamansal çözünürlük artar. Uzaktan algılama uygulamaları için farklı zamanlarda aynı alana ait görüntü alımı kent gelişimi gibi takip gerektiren değişiklik saptama çalışmaları için önemlidir (Yılmaz 2016).

2.3 FOTOGRAMETRİ

2.3.1 Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihçesi

Fotogrametri, köken olarak eski Yunan dilinden *photos* (ışık), *grama* (çizim), *metron* (ölçme) sözcüklerinin birleştirilmesiyle oluşan ‘ışık yardımı ile çizerek ölçme’ anlamına gelmektedir. Bu teknik kullanılarak bir cisim fotoğraf çekimi ile şekil, boyut ve konumuna göre yeniden oluşturulmaktadır (Polat 2018).

Fotogrametri, önceki bölümde bahsedildiği gibi uzaktan algılama teknolojisinin bir dalı olduğu için herhangi bir fiziksel temas olmaksızın, yayılan elektromanyetik enerjinin algılanıp kaydedilmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması ile yeryüzü ve üzerindeki doğal ve yapay nesnelere hakkında geometrik olarak güvenilir bilgiler sağlamaktadır. Cisimlerin iki ya da üç boyutlu koordinatları doğrudan cisimler üzerinden değil cismin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları kullanılarak alınan fotoğrafik izdüşümü üzerinden ölçülmekte ve istenilen dönüşümler yapılarak harita, plan vb. üretilmektedir (Kılınçoğlu 2016).



Şekil 2.13 Yeryüzünden Gelen Işık Demetinin Fotoğraf Yüzeyinde Yeryüzü Şekillerini Oluşturması.

'1400'lü yıllarda Leonardo da Vinci (1452-1519) ve Albrecht Dürer (1471-1528) gibi sanatçıların uzayın düzlem perspektifler ile üç boyutlu resimlerin yeniden oluşturulması ile fotogrametrinin matematik temelini atmıştır. Fotogrametrinin hala kullanılan analitik ve geometrik ilkelerini S. Finsterwalder ve öğrencileri tarafından 1800'lü yıllarda ortaya konulmuştur.' (Doyle 1963, Şahin'den 2017).

'1827 yılında J. Niepce'nin fotoğrafi buluşu ardından Niepce ile birlikte çalışan L. J. Mande Daguerre, Niepce'nin ölümü ardından 1837 yılında fotoğrafın resmetme tekniğinin yeni bir yöntemi olan dagerrotipiyi buldu. İlk fotogrametrik araç ve yöntemler 1849 yılında Fransız Binbaşı Aime Laussedat tarafından yersel fotogrametri olarak kullanılmıştır.' (Birdseye 1939, Şahin'den 2017).

Bazı topografik alanların ölçümü yerden yapılan fotoğraf çekimleri ile mümkün olmadığı için yeryüzünü bütünüyle görebilecek yer olarak havadan yapılan denemeler ile fotogrametride esas gelişmeler başlamıştır (Marangoz 2002).

'Fotogrametrik çalışmalara yönelik ilk hava fotoğrafı 1855 yılında Gaspard Felix Tournachon tarafından Paris'te 262 feet yükseklikten balonla çekilmiştir.' (Tatar 2011, Şahin'den 2017). *Balondan sonra uçurtma kullanılarak 1880 yılında M. Arthur Batut tarafından Fransa'nın Labruguiere bölgesinin havadan fotoğrafını çekmiştir.'* (Bilgi 2007, Şahin'den 2017).

'1885 yılında Persopolis harabeleri ilk kez fotogrametrik yöntemle belgelenmiştir.' (Bacaksız 2010, Şahin'den 2017).

'1901 yılında Carl Zeiss Jena tarafından, C. Pulfrich'in modelini tasarladığı Sterocomparator'u üretmiştir. Bu araç yardımıyla, resim çiftleri bir araya getirilerek harita üretimine başlanmıştır.' (Krahman 2008, Şahin'den 2017).

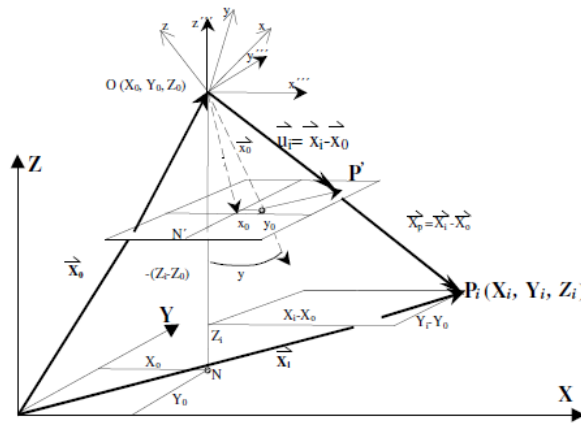
'1980'li yıllarda dijital görüntüleme cihazlarının ortaya çıkması ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle sayısal fotogrametri kavramı oluşmuş, 1990'lı yıllardan itibaren değerlendirme ve yöntemlerde sayısal fotogrametri kullanılmaya başlanmıştır.' (Özağaç 2006, Şahin'den 2017).

'2000'li yıllarda, Lazer tarayıcılar, Lidar uygulamaları ve dijital hava kameralarının kullanımı yaygınlaşmıştır.' (Aydar 2007, Şahin'den 2017).

Askeri amaçlarla ve hava fotoğraflarının kullanımı ile ortaya çıkmış olan fotogrametri tekniği, günümüzde kişilerin hayal gücüne bağlı olarak birçok alanda geleneksel yersel ölçümlere nazaran hızlı ve hassas veri sunması sonucu tercih edilmektedir. Yüksek çözünürlüklü kameralar ve yüksek irtifa uçakları kullanılarak geniş ve herhangi bir sebepten yakınına gidilemeyen alanlar için harita ve model üretim imkanı sunmakta ve aynı zamanda bu alanlar üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Elde edilen fotoğraflar tekrar tekrar farklı ürün üretimi veya aynı yerin zamansal değişimini takip etmek için çekim anından bağımsız sürekli ölçüm yapabilme imkanı sağlamaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra bilgi toplama süresi ve maliyeti diğer yöntemlere göre göreceli olarak değişmektedir. Olumsuz hava şartlarından etkilenmekte, büro çalışmaları için daha teknolojik donanımlar ve değerlendirme için teknik personel gerektirmektedir (Erdönmez 2018).

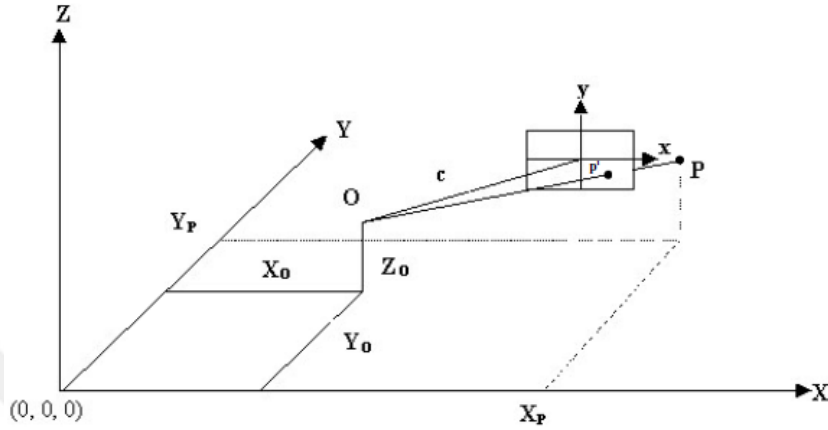
2.3.2 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli

Matematik model, cisim uzay koordinat sistemindeki noktaların fiziksel oluşum temellerinin matematiksel ifadelerle gösterim şeklidir. Fotogrametrinin '*merkezi izdüşüm*' olan temel matematiksel modeli, zaman içerisinde bilimde değişim ve gelişim yaşanmasına rağmen değişmemiştir (Şekil 2.14). *Merkezi izdüşüm*, matematiksel ve geometrik özellikleri kullanarak fotoğraftaki nesnelere; şekil, konum, büyüklük, görünüş, vb özelliklerinin kolayca belirlenmesini sağlar (Avşar 2007).



Şekil 2.14 Fotogrametrinin Matematiksel Modeli.

Cisim uzayındaki noktalara ait ışınlar fotoğraf makinesi izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca kolinearite koşuluna göre izdüşürülür. İzdüşümü gerçekleştiren görüntülerin yeniden konumlandırılması için ileride detaylı anlatılacak olan iç yöneltme ve dış yöneltme parametrelerinin hesaplanması gereklidir (Kılınçoğlu 2016).



Şekil 2.15 Fotogramterik İzdüşüm.

Resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arası açısal ilişkiler, koordinat eksenleri arası doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu (3x3) ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenir. Resim koordinat sisteminde p noktasının konumunu belirleyen resim vektörü;

$$P = \begin{pmatrix} x_p & -x_0 \\ y_p & -y_0 \\ 0 & -c \end{pmatrix}$$

olur. Burada x_0, y_0 ana nokta koordinatları, c odak uzaklığıdır. Resim çekme makinesi sonsuza odaklanmadıkça ana nokta uzaklığı, odak uzaklığına eşit değildir. Bu durumda ana nokta uzunluk değeri odak uzaklığında Δf kadar sapma değerine sahiptir.

$$c = f + \Delta f$$

Cisim uzay koordinat sisteminde P noktasının konum vektörü,

$$P = \begin{pmatrix} X_P & -X_0 \\ Y_P & -Y_0 \\ Z_P & -Z_0 \end{pmatrix}$$

olur. Kolinearite eşitliğine göre, p resim ve P cisim vektörleri arasındaki matematiksel bağıntı,

$$P = k.D.P$$

$$P = \begin{vmatrix} x_p & -x_0 \\ y_p & -y_0 \\ 0 & -c \end{vmatrix} = k.D. \begin{vmatrix} X_P & -X_0 \\ Y_P & -Y_0 \\ Z_P & -Z_0 \end{vmatrix}$$

şeklinde ifade edilir. Burada k ölçek faktörü olup, $k = \frac{p}{p}$ olarak ifade edilir. Resim koordinatlarının bilinen değerler olması durumunda cisim koordinatları, $k = \frac{1}{k} D^T p$

$$\begin{vmatrix} x_p & -x_0 \\ y_p & -y_0 \\ 0 & -c \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ D^T \\ k \end{bmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_P & -X_0 \\ Y_P & -Y_0 \\ Z_P & -Z_0 \end{vmatrix}$$

olarak elde edilir. k ölçek faktörünün kolinearite eşitliklerinde her bir ışıın için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda oluşan matematiksel ifadelerden k ölçek faktörü yok edilirse,

$$f_1 = x - x_0 + c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$f_2 = y - y_0 + c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

matematiksel denklemler elde edilir.

2.3.3 Fotogrametrinin Sınıflandırılması

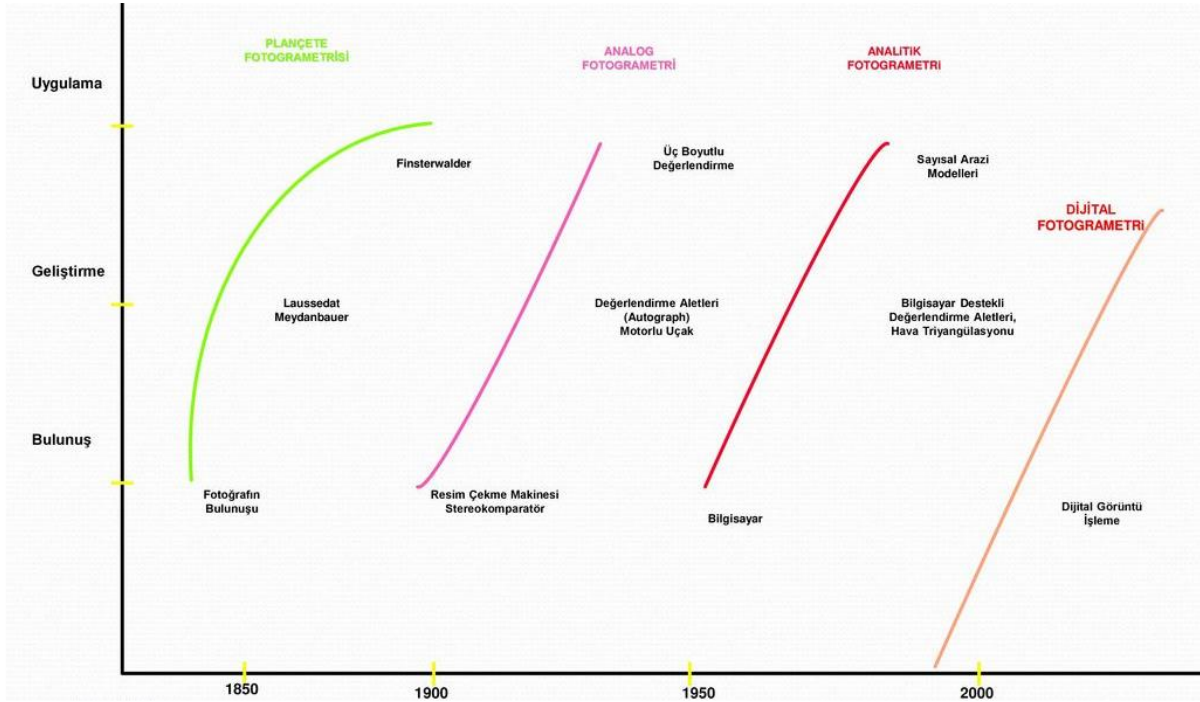
Esas hedefi uzaktaki nesnelerin geometrik durumunu fotoğraflar yardımıyla elde etmek olan fotogrametri tekniği için Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi ölçülecek nesnenin yakın veya uzak oluşuna, kullanılan kameranın durumuna, bilginin ne amaçla edinilmek istendiğine, değerlendirme yöntemine ve bilginin kullanılacağı alana göre farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır. Teknolojideki gelişmeler ile bu yöntemler de gelişmekte böylece sınıflandırmalarda da değişiklik yapılması uygun olmaktadır (Ersoy 2009).

Çizelge 2.2 Fotogrametrinin Sınıflandırılması.

| Fotogrametri Sınıflandırmaları | |
|--|---|
| Resim Çekilen Yerin Konumuna Göre | Yersel Fotogrametri Hava Fotogrametrisi Uydu Fotogrametrisi Yakın Resim Fotogrametrisi |
| Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre | Tek Resim Fotogrametrisi Çift Resim Fotogrametrisi |
| Değerlendirme Yöntemine Göre | Plançete Fotogrametrisi Analog Fotogrametri Analitik Fotogrametri Dijital Fotogrametri |
| Objeye Büyüklüğüne Göre | Mikro Fotogrametri Makro Fotogrametri |
| Uygulama Alanlarına Göre | Foto - Yorumlama Metrik Fotogrametri Topoğrafik Fotogrametri Topoğrafik Olmayan Fotogrametri Kadastro Fotogrametrisi Jeodezik Fotogrametri Endüstri Fotogrametrisi Mimarlık Fotogrametrisi Ortofotografi |

- **Değerlendirme Yöntemine Göre**

Fotogrametrinin tarihsel gelişimine bakıldığında (Şekil 2.16) plançete (grafik), analog, analitik ve dijital (sayısal) fotogrametri olmak üzere dört aşama ile günümüze geldiği görülmektedir (Avşar 2007).



Şekil 2.16 Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi.

Fotoğraflar üzerinden açı ve uzunluk ölçmeleri ve belli temel geometrik kavramlar kullanılarak çizgisel harita üretimi yapılan *plançete* ile başlayan fotogrametri teknolojisi, stereo olarak çekilmiş klasik fotoğrafların optik ve/veya optik-mekanik değerlendirme aletleri ile üç boyutlu modelinin üretilmesini sağlayan *analog* fotogrametri ile devam etmiştir. Bilgisayar çağının başlaması ile stereo değerlendirme aletlerinin yerini bilgisayar ve elektronik ölçme sistemleri almış ve yöneltme, ölçme, değerlendirme işlemleri otomatik ya da yarı otomatik yapılabilen *analitik* fotogrametri tekniği gelişmiştir (Marangoz 2002). Günümüzde birçok alanda kullanılmakta olan Dijital fotogrametri ise dijital görüntülerin kullanıldığı ve bilgisayar desteği ile değerlendirme işlemlerinin yapılarak sonuç ürüne hızla ulaşılmasını sağlayan son teknolojidir. Hızlı işlemcilerin ve güçlü belleklerin gelişmesi, yüksek çözünürlüklü görüntüler ve bu görüntüler üzerinde istenilen iyileştirmenin yapılabilmesi kullanımını yaygın hale getirmiştir (Kraus 2007).

Tüm veri ve sonuçları dijital ortamda bulunup tüm işlem adımları bilgisayar ortamında yapılan dijital fotogrametri tekniğinde, varolan analog fotoğraflar taranarak sayısal forma dönüştürülür veya sayısal fotoğraf çekimlerinden elde edilen stereo görüntüler kullanılır.

Uçuş anında oluşan bir koordinat sistemi, kameranın kendine ait piksel yapısının oluşturduğu bir koordinat sistemi ve sonuç ürün için istenen tanımlı bir koordinat sistemi bulunduğu için

hangi fotografik değerlendirme yöntemi kullanılırsa kullanılsın, fotoğrafların çekim anındaki konumlarının yeniden elde edilmesi anlamına gelen ve bu koordinatlar arasındaki dönüşüm yapılmasını sağlayan yöneltme işlemleri yapılması gerekmektedir. Bu yöneltme işlemleri *iç* ve *dış* yöneltme olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır.

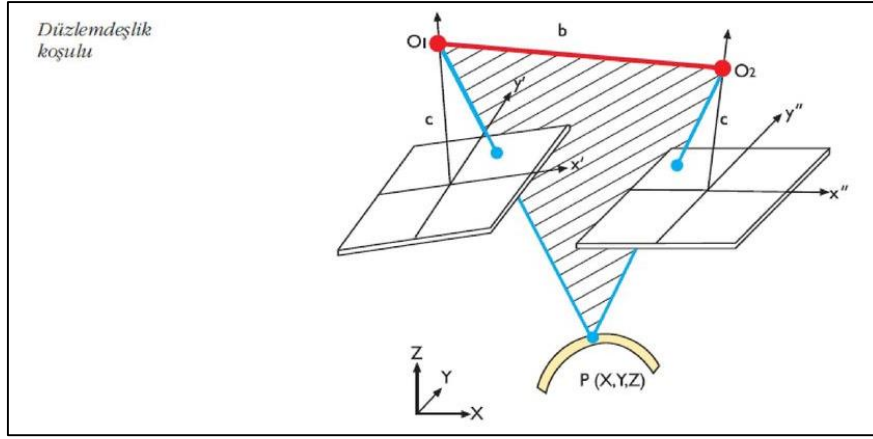
İç Yöneltme; fotoğraf asal noktasının koordinatları, mercek distorsiyon değerleri ve odak uzaklığı olarak tanımlanan çekim kemarası özellikleri ile yapılabilecek en büyük hata sınırı ve öncül standart sapma değerlerinin fotoğrafın çekim anındaki durumunu oluşturmak için değerlendirme aletine getirilmesidir. Sayısal fotogrametri için bu, kalibrasyon raporundaki kamera parametrelerinin yazılımda tanımlanmasıdır (Ulvi 2015).

Dış Yöneltme; Fotoğraf koordinat sistemi ve arazi koordinat sistemi arasındaki dönüşüm olarak tanımlanmaktadır. Bir arazi noktasının konumunun bulunması için 12 bilinmeyen (X_0 , Y_0 , Z_0 , ϕ_1 , ω_1 , κ_1 , X_0 , Y_0 , Z_0 , ϕ_2 , ω_2 , κ_2) vardır ve bu bilinmeyenler uzayda hedefin üç boyutlu modelinin oluşmasını sağlayan *karşılıklı* ve bu modelin araziye paralel, ölçekli hale gelmesini sağlayan *mutlak* yöneltme ile çözümlenir (Atak 2018).

- **Karşılıklı Yöneltme;** fotoğraf çiftlerinin eğiklik ve dönüklükleri giderilip, ışın destelerinin ilgili noktalarda çakışacak şekilde düzenlenerek çekildiği andaki konuma getirme işlemidir. Keyfi bir koordinat sisteminde, araziye paralel ve ölçekli olmayan, stereo model elde edilmiş olur.

Bu stereo modeldeki herhangi bir nokta için iki fotoğraftan gelen iki ışın gereklidir. Karşılıklı yöneltmenin amacı ışın destelerini rölatif olarak konumlandırmak, eşlenik noktalardan gelenlerin bir düzlemde kesişmesini sağlamak ve bazla aynı yönde olan x paralaksına dik olan y paralaksını ortadan kaldırmaktır. 5 eşlenik noktanın böyle kesiştirilmesi ile 5 parametre (κ_1 , κ_2 , ϕ_1 , ϕ_2 , ω_1) çözülür, böylece diğerleri de çakışacak ve bilinmeyenler tespit edilecektir (Marangoz 2016).

İki izdüşüm ışınının kesişebilmesi için bunların aynı düzlemde olması gerekir. Aynı düzlemde olma durumu düzlemdeşlik (koplanarite) koşulu ile sağlanır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Düzlemdeşlik Koşulu.

- **Mutlak Yönelme;** karşılıklı yöneltme ile ölçeği, uzaydaki konumu ve yöneltmesi belirsiz olarak elde edilen stereo modelin istenilen model ölçeğine getirilip arazi koordinat sistemindeki o nokta ya da cisme ait koordinatların elde edilebilmesi için üç boyutlu benzerlik dönüşümü adı altında öteleme ve döndürme işlemlerinin yapılmasıdır. İki koordinat sistemi arasında üç öteleme ($X_0 Y_0 Z_0$), üç dönüklük ($\varphi \omega \kappa$) ve bir ölçek (λ) olmak üzere toplam yedi bilinmeyen çözüm için model koordinatları hesaplanmış ve arazi sisteminde de en az üç adet koordinatları bilinen kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Nokta koordinatları arazide ölçülerle belirleniyorsa Yer Kontrol Noktası (YKN) olarak, noktaların ölçüm ve dengelemesi ile koordinatlar bulunuyorsa Fotogrametrik Nirengi (FN) olarak adlandırılır. Bu noktalarla dengelenmeli bir çözüm yapılarak, modeldeki tüm noktaların X,Y,Z arazi koordinatlarının hesaplanabileceği dönüşüm parametreleri hesaplanır (Ulvi 2015).

Sayısal Fotogrametride yöneltme işlemleri, iç yöneltmenin yapılması ile başlar ve Kolon, Bağımsız Modeller ve Işın Desteleriyle Dengeleme Yöntemi olmak üzere üç farklı Fotogrametrik Nirengi (FN) üretme tekniği ile noktalar çözülerek tamamlanır. Tüm noktaları arazi/obje üzerinde ölçmek işaretlemek yerine, çoğunu fotoğraflardan oluşturmak FN üretmek işlemidir ve tüm veriler dengelendiği için sonuçlar çok güçlü olmaktadır (Atak 2018).

- **Resim Çekilen Yerin Konumuna Göre**

Yersel fotogrametri, fotogrametrinin ilk başlama alanı olup özellikle yakın resim çekimleri ile topoğrafik olmayan uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomiktir.

Yersel fotogrametri, ölçülecek cismin ve kullanılan kameranın hareket haline göre,

-Statik (Hareketsiz cisimlerin incelenmesi),

-Yarı statik (Hareketli cisimlerin, duran kameralarla çekilen resimleriyle incelenmesi),

-Dinamik (Hareketli cisimlerin, hareketli kameralarla çekilen resimleriyle incelenmesi) olarak ayrılabilir (Ulvi 2015).

Arazide belirgin yükseklik farkının bulunması ve arazinin kapalı olmaması, yersel fotogrametri uygulanması için önemliyken büyük alanlarda bu uygulama ile haritalama yapmak, fazla sayıda yer kontrol noktası ihtiyacı olacağı için yüksek maliyet ve zaman yönlerinden zordur.

Yersel fotogrametrinin uygulama alanı oldukça geniştir. Bu alanlar arasında mimarlık, endüstri, arkeoloji, madencilik ve deformasyon ölçmeleri, su yapıları, trafik kazaları, tıp ve veterinerlik, estetik cerrahi, kriminoloji, taşıt yollarının inşası ve birçok mühendislik uygulamaları sayılabilir (Gürbüz 2006).

Hava fotogrametrisi; fotogrametri yerden çekilen resimler yardımıyla yapılan yersel fotogrametri ile başlamış olsa da resim çekme noktasının havaya çıkması ile daha geniş alanları kapsama ve araziye daha iyi tanımlama imkanları sunan, standart bir harita yapım yöntemi olan hava fotogrametrisine geçiş ile büyük alanların haritalanması daha ekonomik ve hızlı hale gelmiştir.

Üretilmek istenilen haritanın veya ürünün ölçeğine göre ve rüzgâr yönü ile etkisi de göz önüne alınarak; çekimi yapılacak bölgeye ait uçuş planı, şerit sayısı, doğrultu ve konumu, bindirme oranları, poz süresi ve aralığı, uçağın rotası, hızı, kamera tipi saptanır.

Genel olarak topoğrafik ve tematik haritalar ile arazi modelleri üretmek için kullanılmasının yanı sıra bitki örtüsü veya yer yüzeyinin yapısı hakkında bilgi sistemleri oluşturmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Avşar 2007).

Geçmişten günümüze uçak, balon, helikopter gibi farklı platformlardan resim çekimi yapılabilirken, son yıllarda ise insansız hava araçları bu alanda büyük ilgi görmektedir.

2.4 İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE FOTOGRAMETRİ

Fotogrametrik algılayıcılar, teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak mevcut sorunları çözmeye yönelik hızlı bir değişim ve gelişim göstermektedir.

Özellikle küçük alanlarda uydular ve uçaklar kullanılarak görüntü ve fotoğraf elde etmenin çok pahalı olması, uyduların yeryüzündeki herhangi bir alan üzerinden yalnızca belirli gün ve saatlerde geçtiği için ve uçakların da maliyetinden dolayı; heyelan riskleri, küçük tarım alanlarının izlenmesi gibi anlık, hızlı ve hassas tekrarlı ölçümlere ihtiyaç duyulan durumlarda tekrarlı uçuş yaptırılmaması gibi geleneksel yöntemlerin getirdiği kısıtlamalara alternatif olarak; zamansal ve mekansal çözünürlüğü yüksek, hızlı ve daha düşük maliyetli veri üretmeyi sağlayan İHA (İnsansız Hava Aracı) kullanımı dünya çapında yaygınlaşmıştır (Zongjian 2008).

İHA; hava robotu, yerden kumandalı hava aracı veya 1930 yıllarında hedef uçağı görevindeki radyo kontrollü uçakların çıkardığı sestem esinlenerek kullanılan İngilizce ‘arı’ anlamındaki ‘drone’, en yalın haliyle içinde insan olmadan, otomatik/yarı otomatik veya istasyondan bir pilot tarafından kuamanda ile yönlendirilen ölçüm aracıdır. Kendi güç sistemi ile yüklenip çıkarılabilen faydalı yükleri de taşıyan İHA, önceden yüklenen uçuş planına göre uçup geri dönerek iniş yapabilen araçlardır (Dikmen 2015).



Şekil 2.18 İHA Örnekleri.

İHA kavramının tek başına sadece uçak platformuna karşılık geldiği ve yer ile bağlantısını sağlayan bütün bileşenlerini karşılamadığı düşünülerek İHAS (İnsansız Hava Aracı Sistemi) kavramı da yaygın kullanılmaktadır. Genel olarak uzaktan kontrollü uçak veya helikopterlerin kullanıldığı bu sistem; Yer Kontrol İstasyonu, Yer Veri Terminali, dijital, termal, yakın kızılötesi veya video kamera, LİDAR sistemleri, mikro işlemci, elektronik iletişim araçları ve güç kaynağı gibi diğer donanımların da entegrasyonu ile oluşur (Akgül vd. 2016).

‘İHAS, ABD Savunma Bakanlığı (DOD) ve Birleşik Krallık Sivil Havacılık Otoritesi (CAA) tarafından kabul edildi. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), belirli bir İHAS sınıfı olan “Uzaktan Kumandalı Hava Sistemi” (RPAS) kavramını, ICAO Genelgesi 328’de (ICAO, 2011) tanıttı.’ (Colomina ve Molina 2014).

İHA sistemi, navigasyon için bir GNSS sensörü ve 3B yönelimi tespit etmek için jiroskop, manyetometre ve ivmeölçer kombinasyonundan oluşan Atalet Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Units-IMU) olmak üzere çeşitli sensörlerle donatılmıştır. Yerleşik sensörlere ek olarak, bazı İHA'lar ayrıca düşük irtifalardaki küçük hareketleri algılamak için zemine yönlendirilmiş düşük çözünürlüklü bir kameradan ve GPS'in bulunduğu bölgelerde yüksekliği tespit etmek için bir sonar sistemi kullanan görüş konumlandırma sistemi içerir. Ayrıca, First-Person-View kamera sistemleri, Dijital Tek Objektifli Refleks (DSLR) kameralar, Kızılötesi sensörler ve Lazer Tarayıcılar gibi farklı yüklerle donatılabilirler. İHA'nın büyüklüğüne ve ağırlığına bağlı olarak, bu yüklerin aralığı değişebilir. Örneğin, orta seviye ticari İHA'ların

çoğu, 720p ila 4k arasında değişen bir görüntü yakalama çözünürlüğü olan dijital kameralarla donatılabilir. Bununla birlikte, üst seviye modeller için çoğunlukla DSLR fotoğraf makineleri kullanılır (Teke 2016).

Fotogrametri tekniğinin tarihi oldukça eski olmasına rağmen buna alternatif olan İHA platformu ancak 1970'li yıllarda askeri alanda istihbarat, keşif ve gözetleme görevlerinde önemli bir kullanım yeri bulmuş ve 2000'li yıllarda sivil çalışmalarda yaygın olarak görülmektedir. Yine de ilk kullanımlarına bakılacak olunursa; hava saldırısında ilk İHA kullanımı, Avusturyalıların 1849 yılında içinde zaman fitilli bomba ile birlikte 200 pilotsuz balonu Venedik'e göndermeleri olarak kabul edilmektedir. İnsansız ilk uçak (Ruston Proctor Aerial Target) ise Birinci Dünya Savaşı'nın sonlarında (1916) tasarlanmış, "otomatik uçan uçak" 1918 yılında ABD Silahlı Kuvvetleri' nin resmi uçağı olarak ilk uçuşunu yapmıştır (Kahveci ve Can 2017). İHA'ların istihbarat amaçlı kullanımı, İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında günümüze kadar devam etmiş; seri üretimleri, Soğuk Savaş Dönemi sonrasında başlamış ve 2000'li yıllarda da bunların silahlı versiyonları kullanılmaya başlanmıştır (Dikmen 2015).

Bir nevi mobil haritalama sistemi olan İHA'ların askeri alandaki bu başarılı kullanımından sonra özellikle çalışması zor olan alanlarda sağladığı avantajlar ve teknolojideki hızlı gelişim sayesinde sivil havacılıkta kullanımında hızla artış görülmektedir. Geomatik uygulamalar için gerçekleştirilen ilk sivil çalışma Przybilla ve Wester-Ebbinghaus tarafından 1979 yılında yapılmıştır (Uzar ve Özemir 2019).

Askeri ve sivil havacılıkta İHA'lar kullanılırken bazı dezavantajlarını dikkate almak gerekir. Bu dezavantajları şunlardır:

- İHA'ların hafif olması sebebiyle rüzgarlı hava koşullarında stabilitelerini koruyamamaları istenilen görüntü ve verilerin elde edilmesini engeller.
- Uçuş anında yaşanabilecek herhangi bir bağlantı kaybı sırasında araçlar uçuş güzergahından sapar, hatta kontrolü kaybederek kullanılamaz hale gelebilir.
- Araçların taşıyabilecekleri yük sınırlı olduğu için artan yük miktarına göre havada kalma süreleri azalır.
- Geniş alanlarda diğer araçlara göre havada kalış süreleri sınırlı olduğu için bu alanlarda tercih edilmez (Çömert vd. 2012).

Buna rağmen İHA'lar, küçük alanlarda insanlı hava aracı platformlarına karşı birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar şunlardır:

- İnsan yaşamı için ulaşması zor, tehlikeli ve riskli olan alanlarda; yangın, sel, deprem gibi afet yönetimi gereken durumlarda uçuş kabiliyetinin olması ile gerçek zamanlı veri elde edilmesini sağlar.
- Geleneksel insanlı araçlara göre yaklaşık 1/20 oranında daha az maliyetlidir.
- Bulutlu hava koşulları diğer araçların veri üretmesine engel olurken, bulutların altından uçarak görüntü elde edebilirler.
- Proje amacına ürünlerin kalitesinin yetersiz gelmesi durumunda veya tekrarlı ölçümler gerektiren çalışmalarda düşük maliyetli bütçeler ile yeniden uçuş yapılabilmesini ve yüksek zaman çözünürlük sağlamaktadır.
- İHA'lar daha hızlı ve yüksek manevra kabiliyetine sahiptirler.
- Doğru hedef tespiti (discrimination) özelliğine sahiptir.
- Yersel fotogrametrideki hassasiyete yakın (yer yer daha iyi) görüntüler üretebilmektedir.
- Uçuş öncesi hazırlık süreci daha kısa ve daha az maliyetlidir.
- Daha küçük kapasiteli veri saklama alanları yeterli olmaktadır.
- Klasik hava fotoğraflarına göre daha küçük kapasiteli veri saklama alanları yeterli olmaktadır (Dikmen 2015).

İHA sistemleri, sağladığı tüm bu avantajlardan dolayı askeri ve sivil birçok uygulamada sıklıkla tercih edilmekte, her geçen gün kullanımını artmaktadır. Kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Erdönmez 2018):

- Haritacılık; küçük alanlara dair detayların görülebildiği haritaların yapımı söz konusu olduğunda İHA ile elde edilen görüntüler işlenerek kentsel, arkeolojik gibi her alana ait ortofotolar kolaylıkla elde edilebilir, büyük ölçekli harita üretimi yapılır, sayısal yükseklik modeli oluşturulur, hacim ve alan hesapları yapılır.
- Arkeolojik Alanların İncelenmesi ve Belgelenmesi; bu alanlar kazılardan dolayı sürekli değişir. Korunması ve gelecek nesillere aktarılması için devamlı takip edilmesi gerektiğinden İHA'ların en çok kullanıldığı alanlardan olmuştur.

- Alt Yapı Denetimi; Üç boyutta algılama, metal gerilimini okuma gibi İHA ile üretilen veriler, güvenlik önlemleri gerektiren altyapı takiplerinde önemlidir.
- Orman Alanlarındaki Uygulamalarda; ağaç tiplerini belirleme, yangın sonrası ağaçlandırma takibi, kaçak ağaç kesimini önleme gibi doğal kaynak olan ormanları korumaya yönelik olarak İHA'lerden çokça faydalanılır.
- Madencilik; ocağın koşullarının takip edilmesi, elde edilen cevherin ölçülmesi, üç boyutlu haritalama gibi sebeplerle İHA kullanılır.
- Tarımsal Alandaki Çalışmalarda; yetiştirilen tarım ürününün verimliliğinin izlenmesi, sağlıklı ya da sağlıklı azarilerin belirlenmesi gibi çalışmalarda çiftçiye erken önlem alma fırsatı sunduğu için İHA kullanımını tercih edilir.
- Afet Yönetimi; yaşanan bir afet sonrası önlem alınmasında hızlı bir şekilde haritalama ile sağladığı faydalardan dolayı insansız araçlar bu alanda sağladığı güvenlikle birlikte oldukça önemlidir.
- Mineral ve Eneji Kaynağı Araştırmaları; İHA üzerindeki sensörler yardımı petrol, doğalgaz, mineral aramalarında kolaylıklar sunar.
- İnşaat Projelerinde; inşaat alanının üstten çekilmesi ile takip edilmesini, proje sırasında İHA görüntüleri ile edilen üç boyutlu modeli ve öngörülen proje arasında karşılaştırma yapmayı kolaylaştırır.
- Yabani Hayat Araştırmaları; Termal sensörleri sayesinde gece de kullanılabilen İHA sayesinde yabani hayvanların yasa dışı avlanmasını önlenir, doğal yaşama dair bilgi edinilir.
- Arama Kurtarma; zamana karşı yarış olan bu faaliyetlerde, gece gündüz farketmeksizin faydalandığı için İHA çok önemli hale gelmiştir.
Çizelge 2.3'te sivil ve askeri kullanım alanları ayrı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 İHA'nın Sivil ve Askeri Kullanım Alanları.

| Sivil Kullanım Alanları | Askeri Kullanım Alanları |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Hâlihazır harita üretimleri• Hava fotoğrafı ve ortofoto harita üretimleri• İnşaat alanlarının takibi• Deformasyon analizi• Hacim hesaplamaları• Baraj havzalarının ölçümü ve haritalanması• Bataklık alanlarının ölçümü• Jeolojik ve meteorolojik araştırmalar• Büyük sanayi bölge ve tesislerin ölçümü• Çöp atık alanlarının ölçümü• Doğal afet bölgelerinin acil durum haritalarının yapılması• Arkeolojik çalışma alanlarının ölçümü• Erozyonların izlenmesi• Heyelanların incelenmesi• Kentsel dönüşüm alanlarının ölçümü• Kadastro ölçmeleri• Maden sahalarının ölçümü• Mera alanlarının ölçümü• Kirlilik tespiti• Orman amenajman planı altlıklarının belirlenmesi• Orman yangını tespiti• Vejetasyon değişiminin izlenmesi• Tepe çapı genişliği ve ağaç yüksekliğinin belirlenmesi• Kıyı ve sahil şeridinin gözlenmesi• Radyasyon seviyesinin incelenmesi• Sayısal arazi modeli üretimi• Kentsel dönüşüm çalışmaları• Tarımsal faaliyetler• Tarihi yapıların tespiti• Üç boyutlu modelleme çalışmaları• Film ve reklam çalışmaları | <ul style="list-style-type: none">• Gözetleme çalışmaları• İstihbarat ve güvenlik• Keşif çalışmaları• Taarruz• Uluslararası sınır devriyesi• Elektronik harp |

İnsansız hava araçlarını sınıflandırmada kabul görmüş tek bir biçim yoktur. En genel olarak kullanım amacına göre;

- Askeri amaçlı (keşif, saldırı, istihbarat vb.) ve
- Sivil amaçlı (bilimsel, hobi, ticari vb.)

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Akgül vd. 2016).

Teknik özelliklerine göre;

- Ağırlığı,
- Yakıt/enerji kaynağı,
- Kanat yapısı
- Otomatik / kumandalı olması

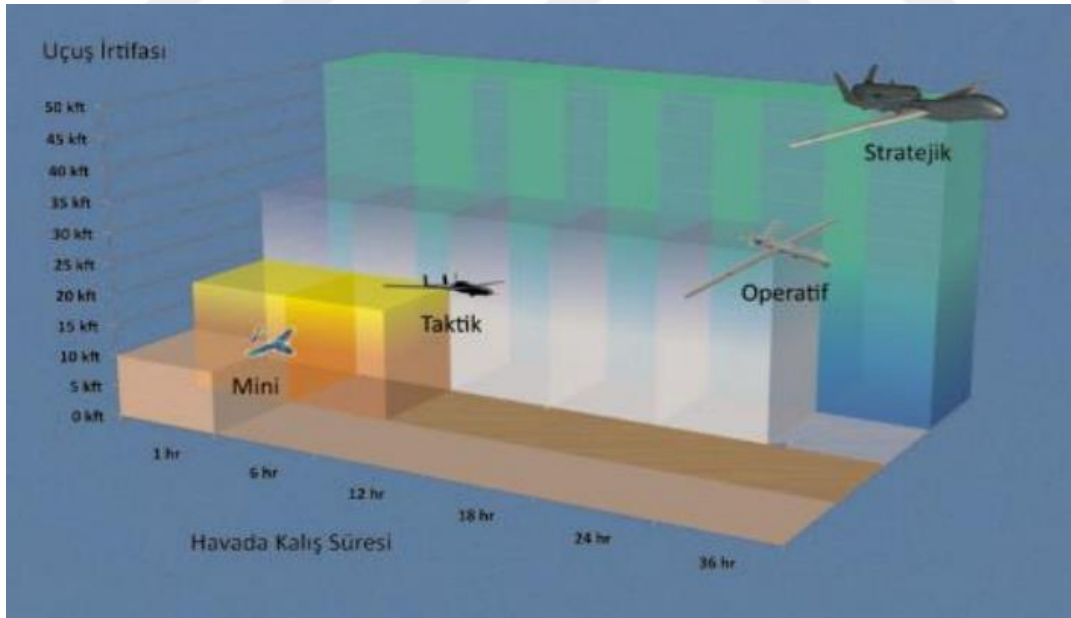
gibi sınıflandırılabilir.

ICAO genelgesi ile İHA'lar,

- Otomatik ve
- Uzaktan kumandalı





olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır (Kahveci ve Can 2017).

Genel bir kullanımı olan Şekil 2.19'da gösterilen sınıflandırma, azami havada kalış süreleri ve uçuş irtifasına göre yapılmıştır. Buna göre İHAS sınıfları *Mini*, *Taktik*, *Operatif* ve *Stratejik* olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır (Akgül vd. 2016).



Şekil 2.19 İHA'ların İrtifa ve Havada Kalış Sürelerine Göre Sınıflandırılması.

Diğer yandan irtifa, menzil ve havada kalış kabiliyetlerine göre Birleşik Krallık Savunma Bakanlığı tarafından Şekil 2.20'deki bir gruplandırma yapılmıştır (Dikmen 2015).

| Sınıfı | Kategorisi | Görev Yüksekliği (ft) | Görev Yarıçapı (km) | Sivil Kategori | Örnek Platform |
|--------------------------------|--|-----------------------|---------------------|--|--|
| Sınıf I (150 kg.dan hafif) | Mikro (<2 kg) | <200 (AGL) | 5 (LOS) | Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg) | Black Widow  |
| | Mini (2-20 kg) | <3.000 (AGL) | 25 (LOS) | | Bayraktar, Malazgirt, Scan Eagle  |
| | Küçük (>20 kg) | <5.000 (AGL) | 50 (LOS) | Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20-150 kg) | Hermes 90  |
| Sınıf II (150-600 kg) | Taktik | <10.000 (AGL) | 200 (LOS) | Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg) | Çaldıran, Karayel, Aerostar  |
| Sınıf III (600 kg.dan ağır) | Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE) | <45.000 (MSL) | Limitsiz (BLOS) | | ANKA, Heron, Predator, Reaper  |
| | Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE) | <65.000 | Limitsiz (BLOS) | | Global Hawk  |
| | Saldırı / Muharebe | <65.000 | Limitsiz (BLOS) | X-47B, Phantom Ray  | |

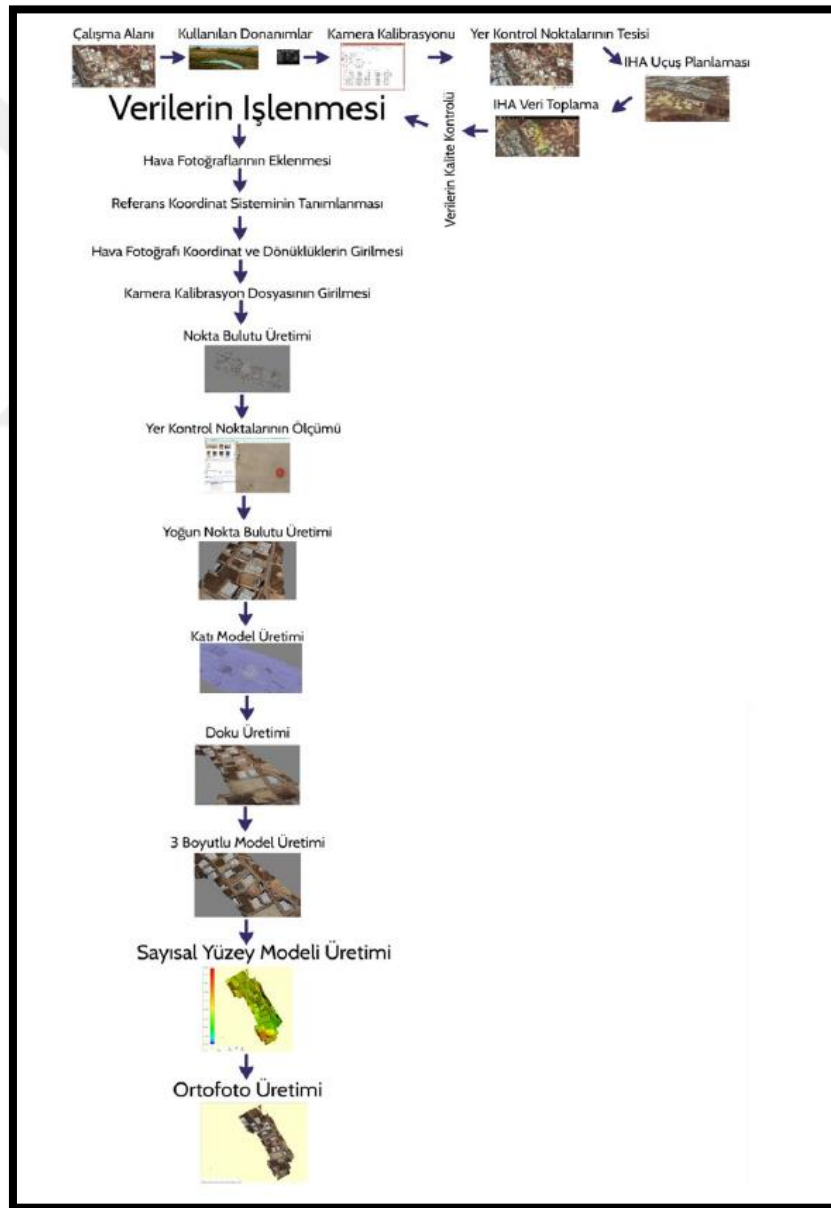
Şekil 2.20 İHA'ların İrtifa, Menzil ve Havada Kalış Kabiliyetlerine Göre Sınıflandırılması.

İnsansız hava aracı sistemleri ile fotogrametrik veri üretimi; bölüm 2.3.2'de detaylı bahsedilen, geleneksel fotogrametri ile aynı şekilde, temel yöntem olan merkezsiz izdüşüm modeline dayalıdır. Bu matematiksel modele göre iç ve dış yöneltme işlemleri yapılarak arazideki bir nokta, izdüşüm merkezi ve noktanın fotoğraftaki karşılığı; arazi ve fotoğraf düzlemi arasındaki bağı kurmak için aynı doğru üzerinde olmaktadır.

İHA ile fotogrametrik veri üretiminde öncelikle çalışma sınırları belirlenip iç yöneltme elemanlarını elde etmek için kamera kalibrasyonu yapılarak distorsiyonlar giderilmektedir. GNSS ölçümleri ile YKN'lerin yerleri, mümkün olduğunca dış köşelere homojen bir şekilde ve uçuştan önce belirlenmektedir. Uçuş planı geleneksel yöntemle aynı ancak bu araçların havada kalma süreleri kısıtlı olduğundan verimli bir ölçüm olması için planın bu doğrultuda yapılması gerekmektedir. Uçuş planına göre veri toplama adımına geçilir. Görüntülerin çekim koordinatları da bu esnada kaydedilmektedir. İHA'nın izdüşüm merkezinin koordinatını hesaplamak için Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) GPS yöntemi kullanılmaktadır. Bu esnada IMU sensörü de görüntülerin çekim noktaları ve İHA'nın 3B eksen etrafındaki dönüklüklerini kaydetmektedir. Böylece, İHA ile elde edilen fotoğrafların doğrudan coğrafi koordinatlandırması GPS/IMU entegre sistemi sayesinde uçuş anında gerçekleşmektedir. Verilerin kalite kontrolü yapılarak kullanılabilirliği ispatlandıktan sonra işlenmesi aşamasına

geçilir. Çalışma alanına ait referans koordinat sistemi tanımlanarak kamera koordinat ve dönüklükleri ile birlikte tüm veri sisteme aktarılır. Yönelme işlemleri d yapılarak ortak piksellerden nokta bulutu üretimi gerçekleşir. Yoğun nokta bulutu verisinden üçgenleme yapılarak TIN verisi, bu veriden yüzey oluşturularak katı model ve son olarak fotoğraflar giydirilerek doku üretimi gerçekleşir (Özemer 2017).

Verilerin işlenmesi sonucunda çalışmanın amacına göre eldeki verilerden ortofoto görüntüler, sayısal yükseklik modelleri, sayısal arazi modelleri ve 3 boyutlu modeller üretilebilir. Verilerin işlenmesi basamaklar halinde Şekil 2.21’de gösterilmektedir.



Şekil 2.21 İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi İş Akışı.

Structure From Motion (SfM)

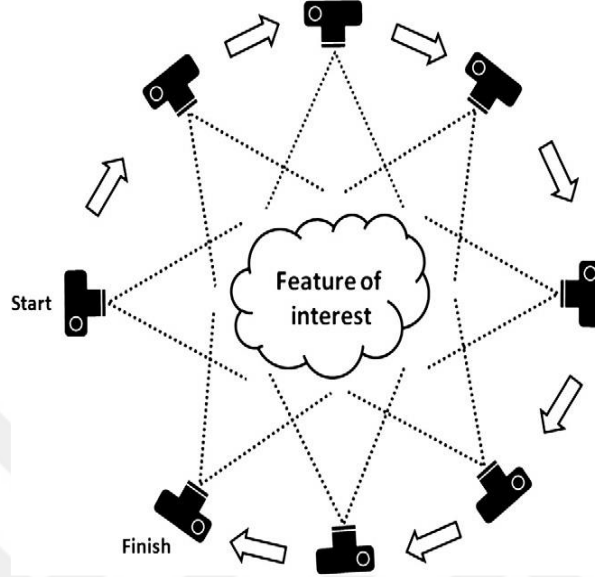
Son yıllarda üç boyutlu modellerin birçok alanda ihtiyaç haline gelmesi, bilgisayar donanım ve yazılımlarının gelişmesi ve topografik haritaların oluşturulmasında insansız hava araçlarından alınan fotoğrafların kullanılmasındaki artışa paralel olarak pratik bir fotogrametrik teknik olan Structure From Motion (SfM), sayısal yeryüzü modeli ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır (Isawi 2016).

SfM'in kavram olarak Türkçe'ye tam bir çevirisi olmamakla beraber '*Hareket Tabanlı Yapısal Algılama*' anlamı karşılamaktadır. SfM, üst üste binen görüntüler arasındaki ilişkiyi belirleyen, özellik noktalarını tespit eden ve bu noktaları, kameranın görüntü alma anında konumunu ve yönünü belirlemek için kullanan bir bilgisayar görme tekniğidir. Devrim niteliğinde kabul edilen bu teknik, çeşitli ölçeklerde yüksek çözünürlüklü veri setleri elde etmek için düşük maliyetli, kullanıcı dostu olarak nitelendirilmektedir. SfM tekniği, üç boyutlu bir nesnenin farklı açılardan çekilmiş çok sayıda görüntülerini kullanılarak, nesneyi sayısal ortamda üç boyutlu olarak modelleyebilen bir yöntemdir (Micheletti vd. 2015).

'SfM, sıralı bir dizi olarak çekilmiş iki boyutlu (2B) görüntüler kullanılarak üç boyutlu (3B) yapıların (arazi, binalar, yeryüzü şekilleri vb.) dijital modellerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu teknik, insanların ve diğer canlıların çevrelerindeki 3B dünyayı, göz içindeki retina tabakasında oluşan 2B görüntülerden algılamasına karşılık gelmektedir. Geleneksel fotogrametrik teknikler, geometrik model oluşturabilmek için, kamera ve yer kontrol noktalarının 3B konum ve dönüklük bilgilerine gereksinim duyarlar. SfM yönteminde ise model geometrisi ve kamera pozisyon bilgisi aynı anda ve otomatik olarak çözülür. Görüntüler arasında ilişki kurulabilmesi için, görüntüde algılanan köşeler vb. özelliklerin, bir görüntüden diğerine izlenmesi gereklidir. Özelliklerin zaman içinde izledikleri rota daha sonrasında özelliklerin 3B konumu ve kamera hareketinin tahmininde kullanılır.' (Saritürk ve Şeker 2017).

SfM tekniği, model geometrisi ve kamera pozisyon bilgisini aynı anda ve otomatik olarak çözmek ve üç boyutlu ve koordinatlı sayısal nokta bulutu verisi elde etmek için tek bir stereo çifti yerine, farklı açılardan çekilen çoklu, eşleşen özelliklere dayanan, yüksek örtüşme derecesine sahip fotoğraflar gerektirir. Eşleşen özelliklerin en az üç fotoğrafta görünebilmesi

temel ilke olsa da SfM için mümkün olduğunca çok sayıda görüntü elde etmek, eşleşme sayısını optimize ettiğinden şiddetle tavsiye edilir. Şekil 2.22’de bu yaklaşım tasvir edilmektedir (Westoby vd. 2012).



Şekil 2.22 SfM Yüksek Bindirmeli Fotoğraf Çekimi.

‘SfM tekniğinde bahsi geçen tüm koordinatlar iteratif bir şekilde birbiri ile kesişen görüntülerdeki aynı öğelerin belirlenmesi (keypoints) ve izlenmesi ile geri hesaplanabilmektedir (Snavely 2008). Hareket tabanlı yapısal algılama isminden de anlaşılacağı gibi hareketli bir sensör ile görüntülerin yüksek bir kesişim oranı ile farklı perspektiflerden alınmasını gerektirmektedir. Kamera koordinatları ve sahne geometrisi simultane olarak ardışık bir şekilde birbirini takip eden görüntülerden doğrusal olmayan en küçük kareler minimasyonu tekniği ile yapısal olarak tahmin edilir. Kesişen görüntülerde ortak olarak belirlenen özellikler fotoğraftan fotoğrafa takip edilerek kamera koordinatları ve nesne koordinatlarını içeren sahne oluşturulur ve tüm görüntülerle karşılaştırılarak hesaplanan koordinatlar kesinleştirilir.’ (Önal vd. 2017).

SfM' nin belirttiği temel sorun, farklı açılardan çekilen birden fazla fotoğrafta aynı öğelerin tespiti ve konumunun belirlenmesidir. Bu sorunun çözümünde ilk işlem basamağı, görüntü eşleştirmeleri için kullanılacak ayrı ayrı görüntülerdeki özelliklerin tanımlanmasıdır. Buna popüler bir çözüm olan ve Snavely (2008) tarafından yaygınlaştırılan yöntem *Ölçekli Değişmeyen Özellik Dönüşümü (SIFT)* nesne tanıma sistemidir.

Görüntülerdeki eşleşen özellikler ilk önce algılamak, SIFT, SURF ve FAST vb. gibi özellik algılama algoritmasına sahip algoritmalar ile tespit edilir. Bu eşleştirilmiş özellikleri kullanarak, kamera modeli parametreleri ve kameraların konumu ve yönü Bundle Adjustment (Kamera Ayarı) ile hesaplanır. Bu adımın sonunda seyrek bir nokta bulutu üretilir. İlk eşleşmeleri genişletmek ve bu ağı daha da yoğunlaştırmak için Multi-View Stereo (MVS) algoritmaları geliştirilmiştir. Son olarak, nokta bulutu ya YKN kullanarak manuel olarak ya da görüntülerin GPS verileri katıştırılmışsa otomatik olarak yeniden yapılandırılır (Teke 2016).

Günümüzde açık kaynak kodlu ve ticari olmak üzere farklı SFM yazılımları kullanılmaktadır. Çizelge 2.4' te bu yazılımlar gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 SFM Ticari ve Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar.

| Ücretli | | Ücretsiz | |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| Kişisel Bilgisayar | Web Tabanlı | Kişisel Bilgisayar | Web Tabanlı |
| Agisoft Metashape | | Bundler Photogrammetry Package | Photosynth |
| Acute3D | | SFMToolkit | Arc3D |
| PhotoModeler | | PhotoSynth Toolkit | CMP SfM Web Service |
| 3DF Zephyr. | | Python Photogrammetry Toolbox | Autodesk 123D Catch |
| Pix4D Mapper | Pix4D Cloud | VisualSFM | |

SFM yazılımlarını Web arayüzlü ve masaüstü kullanımlı olarak ikiye ayırabiliriz. Web arayüzlü olanlar;

- Özel bir donanım gereksinimi yoktur.
- Yerel hafızayı veya işlemciyi kullanmaz.
- Faklı kütüphaneleri veya programlama dillerini kullanmanıza gerek yoktur.
- Kişisel bilgisayarınızdan hızlıdır.
- Erişim yayıncı firmanın kontrolü altındadır.

Masaüstü kullanılan yazılımlar ise;

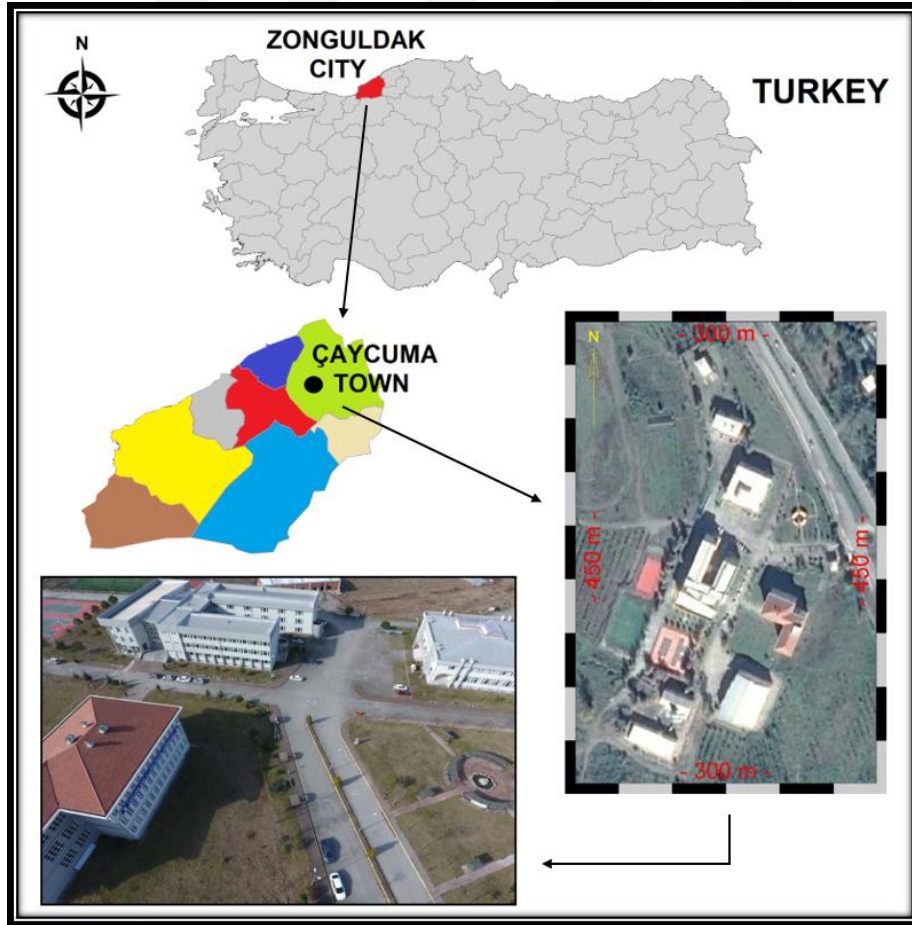
- Dışa aktarım veri kalitesi kontrolünüz altındadır.
- Zaman kullanımı kontrolünüzdendir.
- Süreçler opsiyoneldir.
- Her zaman erişim sağlanabilir.

BÖLÜM 3

ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN MATERYALLER

3.1 ÇALIŞMA ALANI

Uygulamanın yapıldığı Şekil 3.1’de gösterilen 41 derece 27 dakika 13 saniye Kuzey, 31 derece 47 dakika 22 saniye Doğu enlemindeki Çaycuma Meslek Yüksek Okulu Kampüsü, Zonguldak ilinin TÜİK 2018 yılı verilerine göre 91.569 nüfusa sahip olan Çaycuma ilçesinde bulunmaktadır. Çaycuma, Filyos Çayının doğu ve batısını oluşturan ovalar üzerine kurulmuştur (URL-4).



Şekil 3.1 Çalışmanın Yapıldığı Çaycuma Meslek Yüksek Okulu Kampüsü.

Çalışma alanı, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin üçüncü büyük kampüsüdür. Binalar, yollar ve bitki örtüsü gibi farklı arazi sınıflarına sahiptir. Topografyanın büyük kısmı neredeyse düzdür ve güney kısmında kısmen eğimlidir. İlk olarak 2002 yılında eğitim-öğretim faaliyetine başlanan ve program sayısı artırılarak devam eden meslek yüksek okulunun bulunduğu yaklaşık 10 hektarlık alan, 11 bina ve çok yüksek olmayan tekil ağaçlar içerdiği için düz denilebilecek özelliği ile daha anlamlı analizler yapılabilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.2, alana ait İHA uçuşlarından elde edilen örnek hava fotoğraflarını göstermektedir.



Şekil 3.2 Kampüs alanına ait örnek hava fotoğrafları.

3.2 KULLANILAN MATERYALLER

İHA uçuşlarında ve arazi ölçümlerinde sırasıyla Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sivil Havacılık AkaSYMisi'nin DJI Phantom IV ve SATLAB SL 600 GNSS alıcıları kullanılmıştır. Hava fotoğraflarının eşleştirilmesi ve yoğun nokta bulutlarının oluşması için Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılım paketleri kullanılmıştır. Şekil 3.3'de kullanılan DJI Phantom IV İHA ve Çizelge 3.1'de buna ait özellikler; Şekil 3.4'te SATLAB SL 600 GNSS alıcısı ve Çizelge 3.2'de buna ait özellikler kısaca gösterilmektedir.



Şekil 3.3 DJI Phantom IV İHA (URL-5).

Çizelge 3.1 DJI Phantom IV İHA'ya Ait Parametreler (URL-5).

| | |
|---------------------------|--|
| Kamera | 4K, HD, 1080p, 1/2.3" CMOS effective pixels 12.4M |
| Gimbal | 3-axis (pitch, roll, yaw) |
| Uçuş Süresi | Max. 28 minutes |
| Ağırlık | 1380 gr |
| Hız | Max. 20 m/s |
| Rüzgar Hızı Direnci | Max 10 m/s |
| Çalışma Sıcaklığı | 0°- 40° |
| Açık Konumlandırma Modülü | GPS + GLONASS |
| Konumlandırma Doğruluğu | 0.1 m V, 0.3 m H (Vision); 0.5 m V, 1.5 m H (GPS) |
| Görüntü Boyutu | 4000 x 3000 |
| Elektronik Deklanşör Hızı | 8 - 1/8000 s |
| Lens | FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞ |
| Kullanım Mesafesi | 5 km |



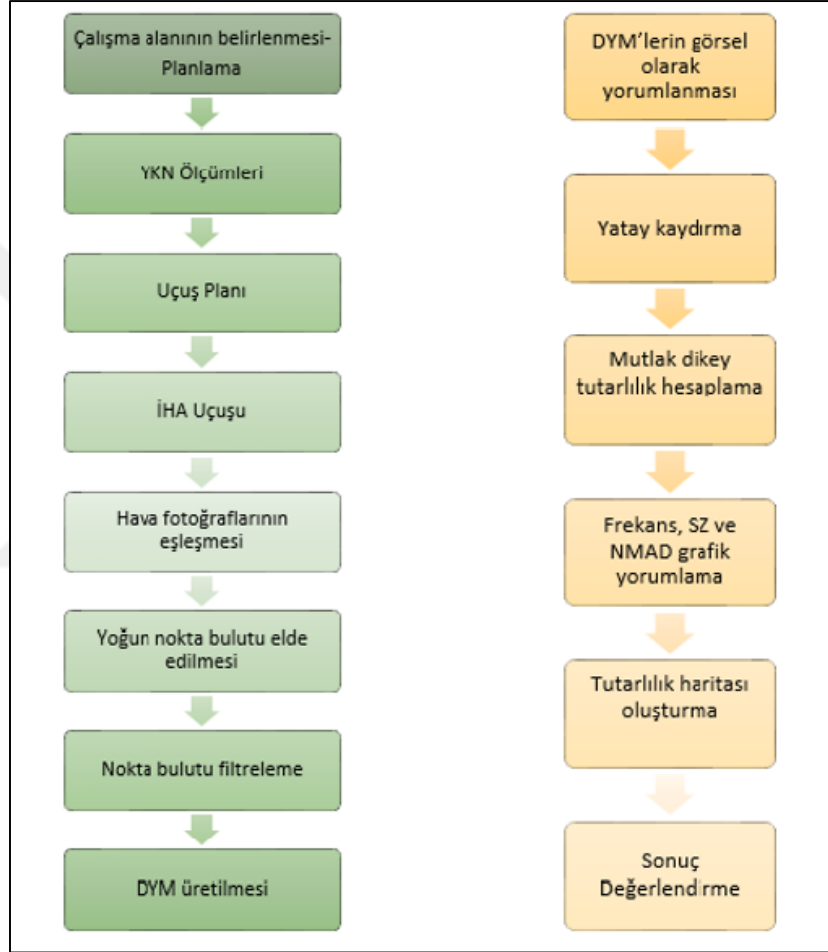
Şekil 3.4 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısı (URL-6).

Çizelge 3.2 SATLAB SL 600 GNSS Alıcısının Özellikleri (URL-6).

| | |
|-------------------------------------|--|
| Sinyal İzleme | <ul style="list-style-type: none"> - 220 Kanal - 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 - Güven Düzeyi : %99. |
| 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 - 1 GB Dahili Hafıza - microSD Kart ile limitsiz genişletilebilir hafıza - Doğrudan RINEX Hızlı ve Normal Statik Veri Kaydı |
| Güç | <ul style="list-style-type: none"> - DC 6-28 V Giriş - 10.000 m Ah Hot-Swap Li-Ion Batarya - Çift Batarya Yuvası - Batarya Süreleri - 24 Saat Statik Ölçü - 18 Saat RTK Gezicisi (UHF veya GPRS) - 15 Saat RTK Sabiti |
| Giriş / Çıkış Arayüzü Hassasiyet | <ul style="list-style-type: none"> - 2 x RS232 Seri Port - 2 x DC Güç Girişi - 1 x USB - 1 x Bluetooth - 1 x microSD Kart Yuvası - 1 x SIM Kart Yuvası RTK yatay (10 mm + 1 ppm), düşey (20 mm + 1 ppm) PP yatay (2.5 mm + 1ppm), düşey (5 mm + 1 ppm) |
| Çevresel Özellikler | <ul style="list-style-type: none"> - IP67 Standartlarında Çevresel Koruma - 2 metre Derinliğe Kadar Su Geçirmez Yapı - 3 metreden Düşmeye ve Ani Şoklara Dirençli Gövde - Çalışma Sıcaklığı : - 45 °C ile 65 °C - Depolama Sıcaklığı : - 55 °C ile 85 °C |
| Fiziksel Özellikler | <ul style="list-style-type: none"> -XENOY 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) |
| İşletim Sistemi | -Linux |
| CORS-TR | Uygun |

BÖLÜM 4

METODOLOJİ



Şekil 4.1 Çalışmanın İş Akış Diyagramı

Çalışmanın iş akış diyagramı, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi iki ana bölümden oluşmaktadır. Bütün aşamalar detaylı bir şekilde bu bölümde anlatılacaktır.

Öncül arazi çalışmalarından SYM üretimine kadar olan kısım çalışmanın ilk bölümü, üretilen SYM'lerin görsel ve istatistiksel doğruluklarını analiz adımlarını oluşturan işlemler ise ikinci bölüm olarak kabul edilmiştir.

İlk bölümde, hava fotoğraflarının eşleştirilmesi ve yoğun nokta bulutlarının üretilmesi için Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılım paketleri kullanılmıştır. Ek olarak, yoğun nokta bulutlarının incelenmesi ve filtrelenmesi için Microstation TerraScan modülü kullanılmıştır. SYM üretimi yazılımların kendi içerisine bırakılmadan nokta bulutlarının çıktısı dışarıya aktarılarak LISA ve Surfer yazılım paketlerinde enterpolasyon algoritmaları uygulanarak yapılmıştır.

İkinci bölümde, üretilen SYM'lerin kaydırılması ve karşılaştırmaya dayalı doğruluk tespiti için Bundle Block Adjustment Leibniz Hannover Üniversitesi (BLUH) DSM doğrulama yazılımı kullanılmıştır. Görsel yorumlar ve doğruluk haritası oluşturma için bu bölümde LISA ve Surfer yazılım paketleri de kullanılmıştır.

DJI Phantom IV İHA tarafından çekilecek hava fotoğraflarının doğru eşleşmesi için, arazide 17 Yer Kontrol Noktası (YKN) yapılan etüt çalışmaları ile arazinin yapısına göre kısa sürede kaybolmayacak noktalarda, homojen olmasına ve tüm alanı kapsamasına dikkat edilerek Şekil 4.2' de gösterildiği gibi seçilmiştir.



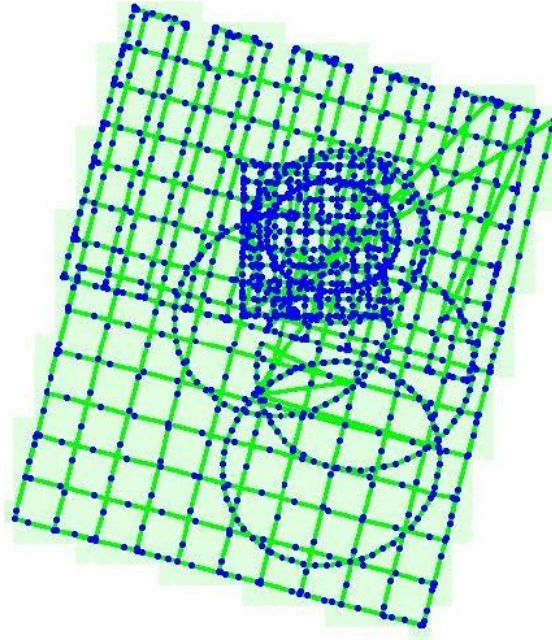
Şekil 4.2 Tesis Edilen YKN'lerin Gösterimi.

Arazide bu noktaların tesisi için SATLAB SL 6000 GNSS aleti ile kesin koordinatları, oluşacak modeller üzerinden herhangi bir noktadan doğru konum alabilmek için ölçülmüştür. Bu ölçümler, yatay ve düşeyde 1 cm konumlandırma doğruluğuna sahip olan statik GNSS yöntemiyle yapılmıştır. Bir örnek GNSS ölçümü Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 SATLAB SL 6000 GNSS Aleti ile YKN Ölçümü.

Uçuş planlamasında çalışma alanının boşluksuz tam olarak kapsanması ana hedef olmuştur. Bu nedenle çalışma alanının büyüklüğüne göre istenilen oblik görüntüleri elde etmek için Pix4Dcapture yazılımı kullanılarak uçuş planı hazırlandı ve uçuş gerçekleştirildi (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Pix4dcapture Yazılımında Yapılan Uçuş Planı.

Yapılan uçuş planına göre bütün alan, hem Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönlerinde minimum fotoğraf çifti elde edilecek şekilde ve oblik hem de enterpolasyon etkisini azaltmak amacıyla

binalar dairesel olarak uçuldu. Nokta bulutu üzerindeki daha fazla fotoğrafın etkisini test etmek için, alanın yarısı diğer şeritlerin uçuş şeritleri kaydırılarak elde edilen tekrarlanan fotoğraf çiftleri ile kaplandı. Uçuşlarda en az % 80 boyuna ve % 40 enine bindirme oranları ve % 5-10 eğik çekim tercih edildi.

- Toplam 1499 adet fotoğraf elde edilmiştir.
- 1139 adet 50 metre ve 30 metre irtifadan 60 derecelik açıyla bütün kampüs ve 1 adet bina çift grid sisteminde uçulmuştur.
- 360 adet fotoğraf radyal 30 metre irtifadan her 5 derecede 1 fotoğraf alınacak şekilde uçulmuştur.

Şekil 4.5’de elde edilen hava fotoğraflarının merkezleri harita üzerinde gösterilmektedir.



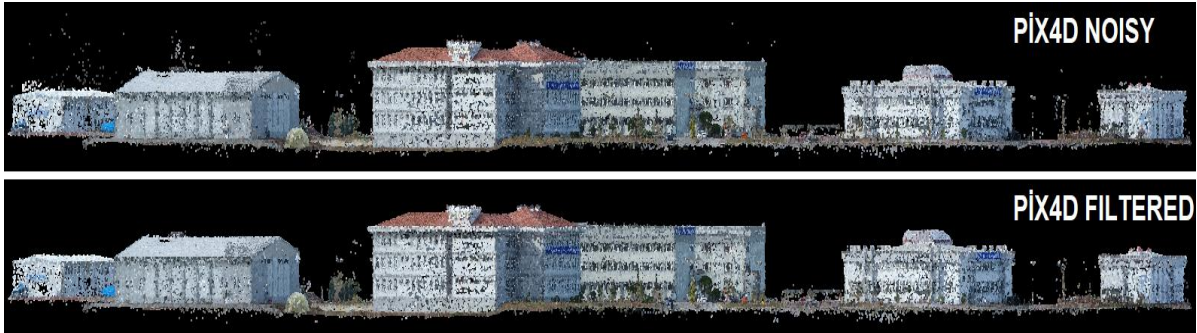
Şekil 4.5 Uçuş Planına Göre Hava Fotoğraflarının Merkezleri.

Önceden ayarları yapılmış kamera İHA’ya entegre edilmiş ve yaklaşık 75 dakikalık bir uçuş toplam üç batarya kullanarak tamamlanmıştır. Kullandığımız İHA’nın kalkış anı Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 İHA'nın Kalkış Anı.

Elde edilen hava fotoğrafları SFM tabanlı Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılımlarında ayrı ayrı eşleştirildi ve yüksek çözünürlüklü nokta bulutları elde edildi. Pix4d nokta bulutunda, özellikle tek şerit uçuştan elde edilen hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutunun güney-batı kısmında gürültülü kısımlar görülmüştür. Algılanan gürültülü parçalar nokta bulutunun düşey profilinde bir çerçeve belirlenerek filtrelenmiştir. Şekil 4.7, Pix4d nokta bulutlarının gürültülü ve filtrelenmiş halini göstermektedir.



Şekil 4.7 Pix4d Gürültülü ve Filtrelenmiş Nokta Bulutları.

Çalışma alanına ait yükseklik modelleri, Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılımlarından elde edilen nokta bulutlarından ayrı olarak oluşturulmuştur. Gerçek grid mesafesi 0.25 m olarak tercih edilmiştir. Vektör-raster dönüşümü yapılırken her piksel için maksimum Z kullanımını mümkün kılabilmek amacıyla *data metrics enterpolasyon yöntemi* seçilmiştir.

Agisoft filtre özelliğinin hem elle hemde otomatik olarak izin vermesinden dolayı daha güvenilir kabul edilmiş, yoğun nokta bulutundan üretilen Dijital Yüzey Modeli referans olarak alınmıştır. Her yazılımın kendi içinde farklı enterpolasyon metodunu kullanması ve kritik değerlere müdahale edilemediğinden yoğun nokta bulutları tek bir formatta dışa aktarılmıştır. Arama yarıçapları, arama elipslerinin bölümlendirilme adeti ve bu bölümlere ait kullanılması gereken maksimum veri adeti, her bölüme ait alt eşik adeti, ve kaç bölüm içinde yeterlilikleri sağlanmaması durumunda modele katılmama kriterlerinin bir tamamı analiz edilerek tek tipte SYM üretimi yapılmıştır.

Tek bir kaynak üzerinde Data Metrik Z maksimum enterpolasyon metodu ile arama eliptik yarıçapları 2 metre ve her bağlama noktasına ait arama elipsi 4 eş parçaya bölünerek her parçada minimum 7 nokta ile enterpolasyon hesaplanmış ve 3 yazılımdan da SYM'ler elde edilmiştir.

Üretilen SYM'lerin doğruluklarında, bazı ön düzeltmeler kaçınılmazdır. İlk olarak yükseklik modellerinin koordnat sistemleri, yatay ve düşey datumları aynı olmalıdır. Agisoft, Pix4d ve VSFM'de İHA fotoğraflarının eşleştirilmesi için aynı YKN'lerin kullanılması nedeniyle, koordinat sistemi ve referans noktası aynıdır. Ortak koordinat sistemi Universal Transverse Mercator (UTM), yatay referans noktası 1984'te kurulan Dünya Jeodezik Sistemi (WGS84) ve düşey datum ortometrik yüksekliktir.

Başka bir ön düzeltme, anlamlı, tutarlı ve tam bir düşey doğruluk vermek için kıyaslanan SYM'ler yatayda %100 örtüşmelidir. Agisoft, Pix4d ve VSFM ait SYM'ler arasındaki yatay ötelemeler alan bazlı çapraz korelasyon ile elimine edildi (Baltsavias ve ark. 2008; Alobeid ve ark. 2010). Çizelge 4.1, X ve Y yönlerindeki farklılıkların standart sapmasına dayanan tahmini yatay ofsetleri göstermektedir.

Çizelge 4.1 Tahmini Yatay Ötelemeler.

| Reference DSM | Compared DSM | ΔX (cm) | ΔY (cm) |
|----------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Agisoft (0.25m) | Pix4d (0.25m) | 0.1 | - 6.8 |
| | VSFM (0.25m) | - 0.5 | - 6.4 |

Dikey doğruluk analizinde, piksel tabanlı yükseklik farklılıklarının standart sapması (SZ) kullanılmıştır (eşitlik 1). SZ'ye ek olarak, normalleştirilmiş medyan mutlak sapma (NMAD), ikinci doğruluk göstergesi olarak kullanılmıştır. NMAD, özellikle büyük yükseklik farkları için sağlam bir tahmin edicidir, ancak büyük bir veri setinde küçük aykırı değerlerin belirlenmesi için SZ kadar hassas değildir (Hellerstein 2008). Karşılaştırılan SYM'ler arasında normal dağılmış yükseklik farklılıkları olması durumunda, NMAD SZ ile aynıdır. NMAD SZ'den büyükse, bu durum yükseklik farklarının anormal dağılımının bir göstergesidir. NMAD, tek değişkenli bir niceliksel veri örneğinin değişkenliğinin sağlam bir ölçütü olan medyan mutlak sapma (MAD) 'nın bir türevidir. MAD ve NMAD, 2 ve 3 eşitlikleri ile hesaplanır; burada \tilde{X}_j , yükseklik farklarının tek değişkenli veri setlerinin medyanıdır ($\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n$) ve \tilde{X}_i , \tilde{X}_j 'nin yükseklik farklarının medyanıdır. μ ; referans ve karşılaştırılan SYM'ler arasındaki yükseklik farklarının aritmetik ortalamasıdır. Doğruluk analizi, eğimli ve eğimli olmayan alanlar için ayrı ayrı bir eğim faktörü kullanılarak gerçekleştirildi. Analizlerde, eğimli alanların ayrılması için eşik değer olarak, $\text{eğim} < \tan^{-1} 0.1$ ($\sim 6^\circ$) eğim tercih edilmiştir.

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

$$MAD = \tilde{X}_i [|\Delta Z_i - \tilde{X}_j(\Delta Z_j)|] \quad (4.2)$$

$$NMAD = 1.4826 \times (MAD) \quad (4.3)$$

Agisoft ve karşılaştırılan SYM'ler arasındaki doğruluk haritaları denklem 4 ile oluşturulmuştur.

$$Coherence\ map = DiffDSM = DSM_{AGISOFT} - DSM_{Compared} \quad (4.4)$$



BÖLÜM 5

BULGULAR

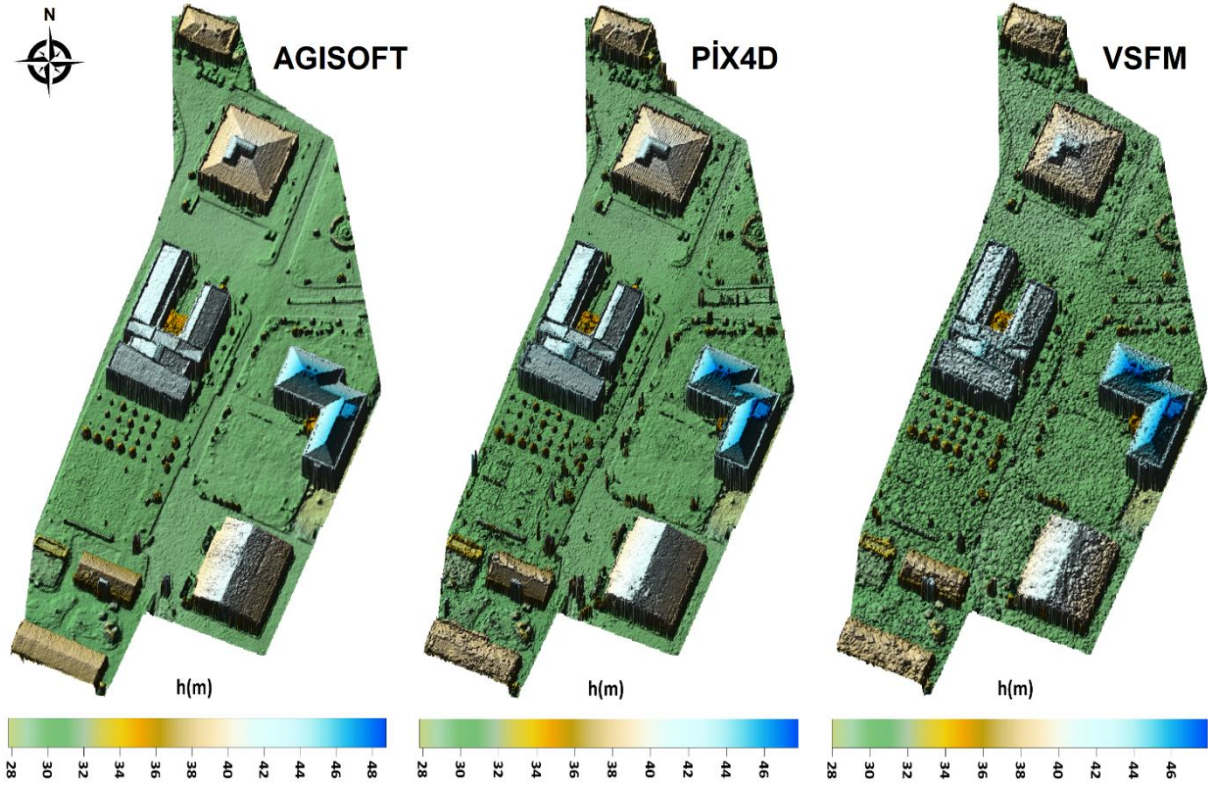
Agisoft, Pix4d ve VSFM'den elde edilen nokta bulutları, Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Açıkça görülebileceği gibi, Agisoft nokta bulutu diğerleriyle karşılaştırıldığında gerçek yüzeye daha yakındır. Pix4d ve VSFM nokta bulutlarında, eşleşme performanslarının Agisoft kadar yüksek olmadığı anlamına gelen bazı ciddi boşluklar mevcuttur. Diğer bir bulgu, eşleştirmeden sonra elde edilen noktaların sayısıdır. Agisoft ve Pix4D benzer sayıda nokta üretmişken, VSFM ancak onda birini üretmiştir.



Şekil 5.1 Agisoft, Pix4d and VSFM Nokta Bulutları.

Agisoft, Pix4d ve VSFM nokta bulutlarından üretilen yükseklik modelleri Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Nokta bulut sonuçlarına paralel olarak, Agisoft ile elde edilen SYM'nin görsel performansı Pix4D ve VSFM'den daha iyidir. , VSFM 'in yükseklik modeli oluşumunda daha az sayıda nokta bulunması nedeniyle, VSFM'e ait SYM'nin tanımlayabilme potansiyeli

diğerlerinden daha hatalı görünüyor. Agisoft ile karşılaştırıldığında, hem Pix4d hem de VSFM ile üretilmiş olan SYM'ler, özellikle tek şerit uçuş yapılan alanda gürültüye sahiptir. Üst kısımlarda, Pix4d ve VSFM SYM'lerinin tanımlama güçleri alt taraflardan daha yüksektir. Yani Agisoft ile karşılaştırıldığında, Pix4d ve VSFM ile daha yüksek 3D modelleme performansı elde etmek için daha fazla hava fotoğrafına ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir.



Şekil 5.2 Agisoft, Pix4d and VSFM Nokta Bulutlarından Üretilmiş SYM'ler.

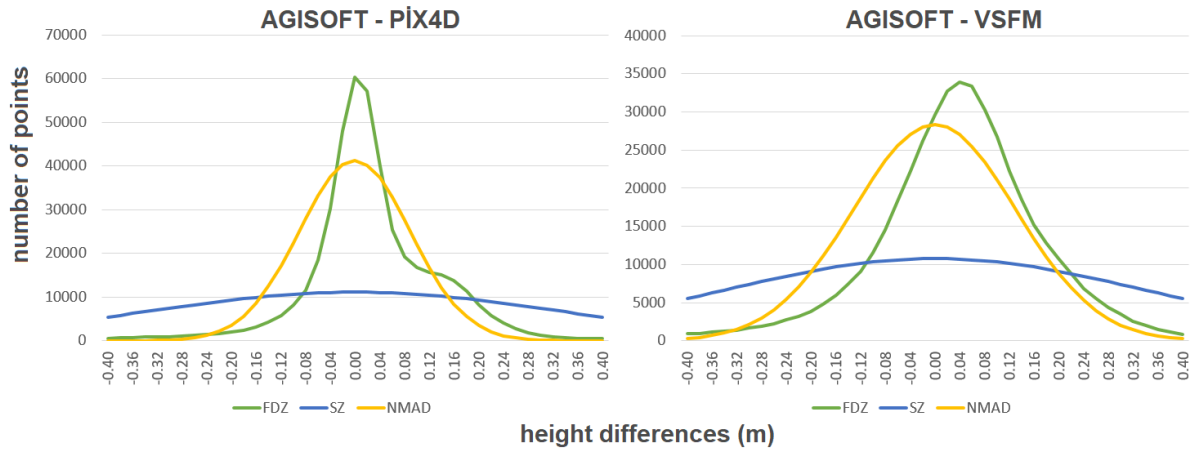
Çizelge 5.1'de, Pix4D ve VSFM yazılımları ile üretilmiş olan SYM'lerin referans seçilen Agisoft ile üretilmiş yükeklik modeli ile mutlak düşey uyumu, SZ ve NMAD esas alınarak verilmiştir. Çizelgede tüm alan ve eğimsiz alanların sonuçları ayrı ayrı gösterilmiştir. Analizde, yükseklik farkının 1 m'den daha fazla olduğu pikseller doğru yorumlama için hariç tutulmuştur. Pix4d ve VSFM için hariç tutulan noktaların yüzdesinin çok yakın olduğu görülmektedir ve sırasıyla% 0,91 ve% 0,89'dur. Analizde, referans ile test edilen SYM'ler arasındaki sistematik hata hesaplanır düşey öteleme ile elimine edilir. Sonuçlara göre, Pix4d ve VSFM ile üretilmiş SYM'ler, Agisoft SYM ile benzer mutlak düşey doğruluğa sahiptir. Her iki SYM'nin NMAD sonuçları, SZ'den daha iyidir. Bu, genel detaylar için niteliklerin Agisoft'a çok yakın olduğu anlamına gelir, ancak SZ tarafından belirlenen küçük uç değerler, mutlak düşey doğruluk üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. SZ sonuçlarına gelince, tüm alan için yaklaşık 0,4 m

yükseklik farkı bulunmaktadır. Eğim olmayan alanlarda ($\leq 6^\circ$), her iki SYM için mutlak düşey uyum yaklaşık 0,25 m'dir.

Çizelge 5.1 Agisoft SYM Referansıyla Pix4d ve VSFM SYM'lerin Mutlak Düşey Doğruluğu.

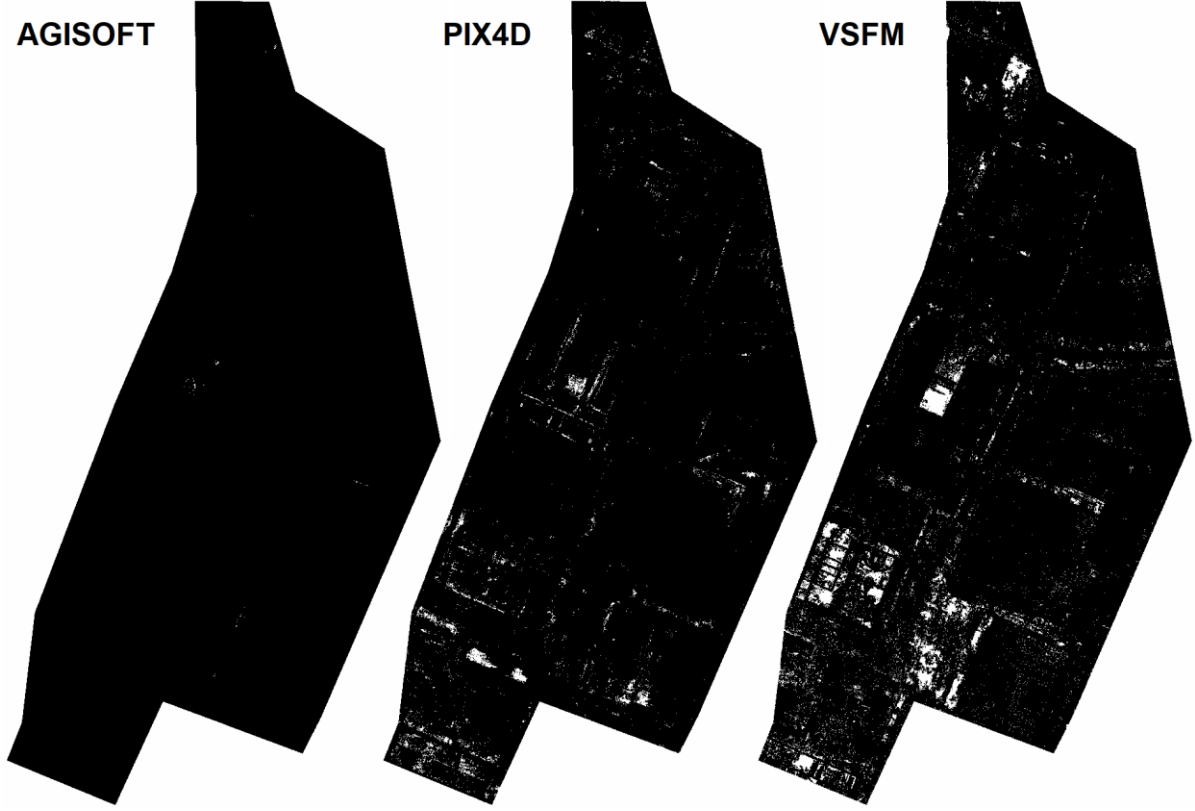
| Referans SYM | Test Edilen SYM | Sınıf | Systematic hata (cm) | SZ (m) | NMAD (m) | Hariç tutulan noktalar (%) |
|-----------------|-----------------|-------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Agisoft (0.25m) | Pix4d (0.25m) | Tüm Alan | - 4.2 | 0.40 $+0.12 \times \tan(\alpha)$ | 0.12 $+0.16 \times \tan(\alpha)$ | 0.91 |
| | | Eğimli Alan | | 0.23 | 0.05 | |
| | VSFM (0.25m) | Tüm Alan | - 18.4 | 0.39 $+0.11 \times \tan(\alpha)$ | 0.15 $+0.15 \times \tan(\alpha)$ | 0.89 |
| | | Eğimli Alan | | 0.25 | 0.10 | |

Şekil 5.3, frekans, SZ ve NMAD göre referans ve test edilen SYM'ler arasındaki yükseklik farklarının dağılımını göstermektedir. Agisoft-Pix4d analizinde NMAD, SZ'ye karşın frekansla daha iyi bir uyum gösterir ve yükseklik farklarının zirvesi sıfır civarındadır, bu da tam bir doğruluk anlamına gelir. Bununla birlikte, yaklaşık 0.16 m'de, anormal bir dağılıma işaret eden ikinci bir tepe mevcuttur. Bu tepe noktası, tek şeritli uçuştan türetilen alanın etkisi olabilir. Diğer yandan, Agisoft-VSFM grafiğinin yapısı tamamen farklıdır. Yükseklik farklılıklarının zirveleri frekans, SZ ve NMAD için değişmektedir. SZ ve NMAD piklerinin sıfıra yakın olduğu yerlerde, frekans 0.06 m civarındadır. Çizgilerin yapıları normal dağılıma işaret eder gibi simetriktir. Bununla birlikte, dağılım ölçeği, referans SYM ile daha düşük mutlak düşey doğruluk gösteren Pix4D'den daha büyüktür.



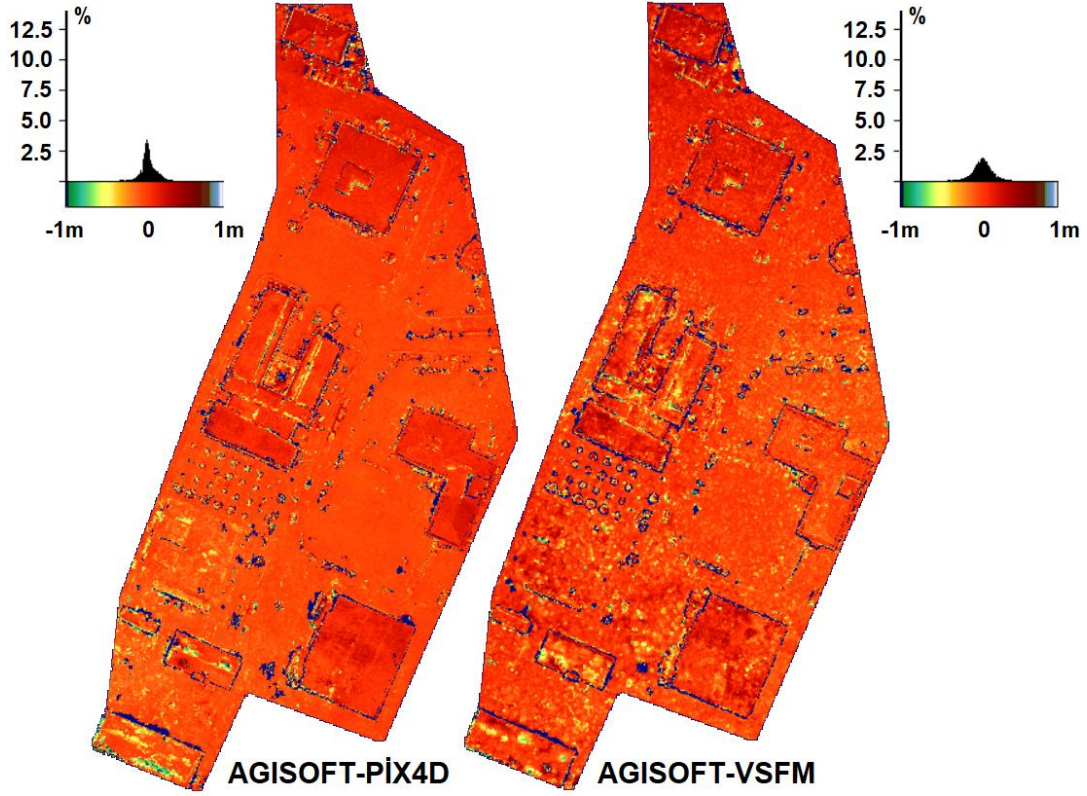
Şekil 5.3 frekans, SZ ve NMAD Bazında Yükseklik Farklarının Dağılımı.

Şekil 5.4'te siyah pontun yoğun nokta bulutunu içerdiği durumlar görülmektedir. Enterpolasyon sonrasında kapanmayan boşluklar ile eşleştirme esnasında özellik bulma (keypoint feature detection) yeterliliği anlaşılabilir. Bu noktalar, yerine yeni noktalar tanımlayabilecek düzeyde olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.4 Agisoft, Pix4d ve VSFM SYM Enterpolasyon Sonrası.

Şekil 5.5, ± 1 m yükseklik farkı ölçeğine sahip olan Agisoft ile üretilmiş SYM referansı ile Pix4d ve VSFM SYM'lerinin doğruluk haritalarını göstermektedir. Turuncu renkli alanlar, koyu mavinin en düşük tutarlılığı işaret ettiği yerlerde neredeyse tamamen tutarlı parçaları temsil eder. Doğruluk haritalarına göre, Pix4D ile üretilen SYM, referans kabul edilen Agisoft SYM ile daha tutarlıdır. Özellikle bina çatılarında ve vejetatif parçalarda, VSFM SYM'nin tutarlılığı Pix4D'den daha düşüktür. Her iki SYM için en düşük doğrulukta bulunan parçalar, enterpolasyon etkisiyle doğruluk kaybının maksimum olduğu nesnelere sınırlıdır.



Şekil 5.5 Pix4d ve VSFM SYM'lerine Ait Doğruluk Haritaları.

Şekil 5.6'da Pix4d ile üretilmiş *transelde parent orthomosaic*, Şekil 5.7'de ise Agisoft ile elde edilmiş ortofoto örneği görülmektedir. Yüksek bindirme oranı etkisi oluşan ortomazikte alanda bulunan yüzey yapılarının yoğun şekilde belirgin olması ile fark edilmektedir. Ayrıca tek blok uçuş yapılan alandaki bozulmalar Pix4d yazılımının daha fazla fotoğraf ile daha iyi bir kalite sunabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.6 Pix4d Transparent Orthomosaic Örneği.



Şekil 5.7 Agisoft Ortofoto Örneği.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeni nesil nokta bulut eşleştirme yazılım paketleri Agisoft, Pix4d ve VSFM'in performansı ayrıntılı olarak doğrulandı. Zonguldak Bulent Ecevit Üniversitesinin Çaycuma Kampüsünde, DJI Phantom IV optik İHA ile 12 megapiksel hava fotoğrafları ve uygun eşleştirme yazılım programları ile yüksek çözünürlüklü nokta bulutları elde edildi. Pix4d ve VSFM nokta bulutlarında, dikkate değer boşluklar olduğu görüldü. Aynı sayıda hava fotoğrafıyla Agisoft ve Pix4d benzer sayıda nokta üretirken VSFM bunun onda birini üretti.

Nokta bulutları kullanılarak, 0.25 m grid aralıklı SYM'ler üretildi ve Agisoft SYM, gerçek yüzeye yakınlığı temsil ederek tutarlılık doğrulama analizi için referans olarak tercih edildi. SYM üretiminde daha az sayıda nokta kullanıldığı için, VSFM ile üretilen SYM'nin tanımlama potansiyeli diğerlerinden daha başarısız görünüyor. Mutlak düşey doğruluk sonuçları, Pix4d ve VSFM SYM'lerinin Agisoft SYM ile benzer mutlak dikey tutarlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Her iki SYM'nin NMAD sonuçları, SZ'den daha iyidir. Bu, genel detaylar için niteliklerin Agisoft'a çok yakın olduğu anlamına gelir, ancak SZ tarafından belirlenen küçük uç değerler, mutlak düşey doğruluk üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. SZ sonuçlarına gelince, tüm alan için yaklaşık 0,4 m yükseklik farkı bulunmaktadır. Eğim olmayan alanlarda ($\leq 6^\circ$), her iki SYM için mutlak düşey uyum yaklaşık 0,25 m'dir. Agisoft-Pix4d analizinde NMAD, SZ'ye karşın frekansla daha iyi bir uyum gösterir ve yükseklik farklarının zirvesi sıfır civarındadır, bu da tam bir doğruluk anlamına gelir. Bununla birlikte, yaklaşık 0.16 m'de, anormal bir dağılıma işaret eden ikinci bir tepe mevcuttur. Bu tepe noktası, tek şeritli uçtan türetilen alanın etkisi olabilir. Diğer yandan, Agisoft-VSFM grafiğinin yapısı tamamen farklıdır. Yükseklik farklılıklarının zirveleri frekans, SZ ve NMAD için değişmektedir. SZ ve NMAD piklerinin sifra yakın olduğu yerlerde, frekans 0.06 m civarındadır. Çizgilerin yapıları normal dağılıma işaret eder gibi simetriktir. Bununla birlikte, dağılım ölçeği, referans SYM ile daha düşük mutlak düşey doğruluk gösteren Pix4D'den daha büyüktür.

Doğruluk haritalarına göre, Pix4D ile üretilen SYM, referans kabul edilen Agisoft SYM ile daha tutarlıdır. Özellikle bina çatılarında ve vejetatif parçalarda, VSFM SYM'nin tutarlılığı Pix4D'den daha düşüktür. Her iki SYM için en düşük doğrulukta bulunan parçalar, enterpolasyon etkisiyle doğruluk kaybının maksimum olduğu nesnelere sınırlanmıştır.

Genel olarak, görsel ve istatistiksel sonuçlar, Pix4d nokta bulutları tarafından oluşturulan Dijital Yükseklik Modeli 'nin Agisoft ile elde edilen SYM referansı ile daha uyumlu olduğunu ve VSFM ile üretilmiş SYM'nin performansının Pix4d ve Agisoft'tan daha düşük olduğunu göstermiştir. Ancak bu sonuçların benzer topografik özelliklere sahip alanlardaki çalışmalar için uygun bir referans olabileceği dikkate alınmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akgül M, Yurtseven H, Demir M, Akay A E, Gülci S ve Öztürk T** (2016) İnsansız Hava Araçları İle Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi Ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1): 104–118.
- Atak B** (2018) İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Kadastral Harita Üretiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 73 s.
- Avşar E Ö** (2007) Tarihi Köprülerin Digital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 113 s.
- Baltsavias E, Gruen A, Eisenbeiss H, Zhang L and Waser T** (2008) High-quality image matching and automated generation of 3D tree models. *International Journal of Remote Sensing* 29(5): 1243–1259.
- Campbell J B and Wynne R H** (2011) *Introduction to Remote Sensing Fifth Edition*, division of Guilford Publications, Newyork, 718 pp.
- Colomina I and Molina P** (2014) Unmanned Aerial Systems For Photogrammetry And Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92: 79–97.
- Çölkesen İ** (2009) Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, G.Y.T.E, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 153 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, 89-98.
- Dietrich J T** (2014) Applications of Structure-from-Motion Photogrammetry to Fluvial Geomorphology. *PhD Thesis*, Graduate School of the University of Oregon, Department of Geography, Eugene, 124 pp.
- Dikmen M** (2015) İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemlerinin Hava Hukuku Bakımından İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi (The Journal of Defense Sciences)*, 14: 145–176.
- Dubbini M, Curzio L I and Campedelli A** (2016) Digital Elevation Models from Unmanned Aerial Vehicle Surveys for Archaeological Interpretation of Terrain Anomalies: Case Study of the Roman Castrum of Burnum (Croatia). *Journal of Archaeological Science*, 8: 121-134.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Erdönmez M** (2018) Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 134 s.
- Ersoy M** (2009) Fotogrametrik Uçuşlarda Yan Bindirmenin Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı, Ankara, 106 s.
- Gürbüz H** (2006) *Genel Fotogrametri I*. 1. Baskı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara, 462 s.
- Hellerstein J M** (2008) Quantitative Data Cleaning for Large Databases. *Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*, 42 pp.
- Hudzietz B P and Saripalli S** (2012) An Experimental Evaluation Of 3D Terrain Mapping With An Autonomous Helicopter. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-1/C22*, 137–142.
- Isawı M Y N** (2016) Structure from Motion Using a Single Camera. *Master Thesis*, Çankaya University, Department of Mathematics and Computer Science, Information Technology Program, Ankara, 74 pp.
- İnce E** (2018) Sayısal Görüntü İşleme Ders Notları. Kaman Meslek Yüksekokulu Harita Ve Kadastro Programı, Kırşehir, Türkiye, 21 s.
- Kahveci M ve Can N** (2017) İnsansız Hava Araçları Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, 5(4): 511–535.
- Kılınçoğlu D B** (2016) Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi Ve Doğruluk Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 131 s.
- Kraus K** (2007) *Photogrammetry Geometry from Images and Laser Scans*, 2nd edition, Walter de Gruyter, Berlin-NewYork, 255-292.
- Marangoz A M** (2002) Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul, 95 s.
- Marangoz A M** (2016) Uydu Görüntüleri ve Kullanım Alanları Ders Notları, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, 81s.
- Micheletti N, Chandler J H and Lane S N** (2015) Structure From Motion (SFM) Photogrammetry. *Geomorphological Techniques*, 2: 1–12.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Mlambo R, Woodhouse I H, Gerard F and Anderson K** (2017) Structure From Motion (Sfm) Photogrammetry With Drone Data: A Low Cost Method For Monitoring Greenhouse Gas Emissions From Forests In Developing Countries. *Forests*, 8(3): 68.
- Mölg N and Bolch T** (2017) Structure-From-Motion Using Historical Aerial Images To Analyse Changes In Glacier Surface Elevation. *Remote Sensing*, 9(10): 1021-1038.
- Musaoğlu N** (2014) Temel Uzaktan Algılama Ders Notları. *İTÜ 2014-0215 Eğitim Öğretim Yılı Bahar Dönemi Lisans Dersi*, İstanbul, Türkiye, 64 s.
- Önal O, Bozdağ Ö ve Ersoy A** (2017) İzmir Agorası'ndaki Roma Dönemine Ait Hamam Yapısının SFM Tekniği İle 3 Boyutlu Katı Modelinin Oluşturulması. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-4 Kasım 2017, Trabzon, Türkiye, 589-598.
- Özcan O, Bilgilioğlu B, Akay S ve Musaoğlu N** (2016) İHA Görüntülerinden Elde Edilen Objeye Özniteliklerinin Doğruluk Değerlendirmesi. 8. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2016, İstanbul, Türkiye, 1-6.
- 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** (2017) İnsansız Hava Aracı İle Fotogrametrik Veri Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 156 s.
- Polat N** (2018) 3B Nokta Bulutlarından Bina Tespiti. *Doktora Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 158 s.
- Ritchie A C, Warrick J A, Adelman K, Limber P W and Adelman G** (2017) New Techniques to Measure Cliff Change from Historical Oblique Aerial Photographs and Structure-from-Motion Photogrammetry. *Journal of Coastal Research*, 33(1): 39-55.
- Rosnell T and Honkavaara E** (2012) Point Cloud Generation From Aerial Image Data Acquired By A Quadcopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle And A Digital Still Camera. *Journal of Sensors*, 12: 453-480.
- Sarıtürk B ve Şeker D Z** (2017) SFM Tekniği İle 3B Objeye Modellenmesinde Kullanılan Ticari Ve Açık - Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 126-131.
- Şahin O** (2017) Çoklu Fotoğrafların Üç Boyutlu Rekonstrüksiyonunu Yapan Yazılımların Performans Ölçümü. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 110 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sefercik U** (2014) Uzaktan Algılama Ders Notları. BEÜ 2014-2015 Eğitim Öğretim Yılı Güz Dönemi Lisans Dersi, Zonguldak, Türkiye, 20 s.
- Snaveley K N** (2008) Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections. *PhD Thesis*, University of Washington, Computer Science & Engineering, USA, 210 pp.
- Teizer J, Kim C and Bosché F** (2005) Real-time 3D Modelling for Accelerated and Safer Construction using Emerging Technology. *International Conference on Construction Engineering and Management (ICCEM)*, Seoul, Korea, 539–543.
- Ulvi A** (2015) Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında (Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 188 s.
- Uzar M ve Özemir I** (2019) İHA ile Fotogrametrik Veri Üretiminde Maliyet Analizi. *Harita Dergisi*, 161: 35-45.
- URL-1** < https://www.turkcebilgi.com/uzaktan_algılama >, Ziyaret Tarihi: 25.05.2019
- URL-2** < http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_3fc8b.pdf >, Ziyaret Tarihi: 25.05.2019
- URL-3** < https://www.hvkk.tsk.tr/trhavacılık_sitesi/özel_siteler/keşif_uydu_komutanlığı/genel_bilgiler/çözünürlük >, Ziyaret Tarihi: 03.06.2019
- URL-4** < <http://www.zonguldak.gov.tr/nufus> >, Ziyaret Tarihi: 13.10.2019
- URL-5** < <https://www.dji.com/phantom-4> >, Ziyaret Tarihi: 03.06.2019
- URL-6** < <http://www.satlab.com.tr/tr/kaynaklar-destek/kullanım-kilavuzlari.aspx> >, Ziyaret Tarihi: 25.05.2019

BİBLİYOGRAFYA

- Aydar U** (2007) Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 66 s.
- Bacaksız P** (2010) Fotogrametride Küresel Yüzeyle Objelerin Resim Çekim ve Değerlendirme Teknikleri Üzerine Deneysel Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 58 s.
- Bilgi S** (2007) Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 96: 32-39.
- Birdseye C H** (1939) Stereoscopic Phototopographic Mappin, *Annals Of The Association Of American Geographers*, 11: 109-110.
- Doyle F J** (1963) The Historical Development of Analytical Photogrammetry, *ASPRS Semi-Annual Meeting*, Eylül 1963, New York.
- Krahman H** (2008) The Evolution of Stereo Phorogrammetry. *Visualisation Technical-PoisonIT*, 6: 59-61.
- Özağaç S** (2006) Cumhuriyet Dönemi Türk Haritacılık Tarihi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü, Ankara, 201 s.
- Tatar Y** (2011) Uzaktan Algılama Tarihçesine Genel Bir Bakış. *Biga Yarımadası'nın Jeolojisi Sempozyumu*, 1 Aralık 2011, Balıkesir, 65-90.
- Uzar M ve Özemir I** (2019) İHA ile Fotogrametrik Veri Üretiminde Maliyet Analizi. *Harita Dergisi*, 161: 35-45.
- Westoby M J, Brasington J, Glasser N F, Hambrey M J ve Reynolds J M** (2012) 'Structure-From-Motion' Photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool For Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179: 300-314.
- Zongjian L** (2008) UAV For Mapping-Low Altitude Photogrammetric Survey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII., Part B1, Beijing.



ÖZGEÇMİŞ

Feride TANRIKULU, 1993 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara ilinde tamamladı. 2011 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünü kazandı ve buradaki hazırlık eğitimi sonunda üniversite tarafından tanınan Uluslararası Saraybosna Üniveristesi’nde İngilizce dil yeteneğini geliştirmek için yaz okuluna gönderilme hakkı kazandı. 2016 yılında lisans öğrenimini fakülte ve bölüm derecesi olarak tamamladı. 2018 yılında MEB YLSY (Yurt Dışına Lisansüstü Öğrenim Görmek Üzere Gönderilecek Öğrencileri Seçme Ve Yerleştirme) programından burs hakkı kazandı ve eğitimini tamamladıktan sonra Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü’nde çalışmak üzere görevlendirildi.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: feridetanrikulu93@gmail.com