



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI UÇUŞ PARAMETRELERİNİN İHA
FOTOGRAMETRİSİ İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK
MODELİ (SYM) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif BULUT

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

AKSARAY, 2022



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI UÇUŞ PARAMETRELERİNİN İHA
FOTOGRAMETRİSİ İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK
MODELİ (SYM) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif BULUT

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Adı SOYADI tarafından hazırlanan “(BU KISIM BÜYÜK HARFLERLE KOYU (BOLD) YAZILMALIDIR)” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr.
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Elif BULUT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, tezimin hazırlanıp bu aşamaya gelmesinde yardımlarını ve yönlendirmelerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, tez savunmasında katkılarıyla destek olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ ve Doç. Dr. Özgün AKÇAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince desteklerini esirgemeyen Aksaray Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Tez kapsamında gerçekleştirdiğim arazi çalışmalarına her türlü desteği sağlayan JURA Madencilik-Mühendislikteki iş arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Son olarak, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve maddi/manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Elif BULUT
AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TEMEL KAVRAMLAR	9
3.1 Fotogrametri Tanımı ve Gelişimi	9
3.2 Dijital (Sayısal) Fotogrametri.....	12
3.3 Hava Fotogrametrisi	13
3.4 İnsansız Hava Araçları (İHA).....	14
3.4.1 İHA'ların kullanım alanları	15
3.4.2 İHA'ların sınıflandırılması	15
3.4.3 İHA sistem bileşenleri	16
3.5 İHA Fotogrametrisi	18
3.5.1 Görüntü yürütmesi	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
4.1 Çalışma Bölgesi.....	25
4.2 Verilerin Elde Edilmesi	26
4.2.1 Donanım.....	26
4.2.2 Uçuş planlaması ve İHA veri setleri	27
4.2.3 YKN'lerin tesisi ve ölçülmesi.....	29
4.3 Verilerin İşlenmesi	32
4.3.1 Hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirilmesi.....	32
4.3.2 Kalite değerlendirmesi	35
4.3.2.1 Uçuş parametrelerine göre değerlendirme	35
4.3.2.2 Kamera kalibrasyon parametrelerinin etkisi	40
4.3.2.3 Görüntü yürütme (Rolling shutter) etkisi	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	52

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI UÇUŞ PARAMETRELERİNİN İHA FOTOGRAMETRİSİ İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ (SYM) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Elif BULUT

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

ÖZET

İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımı, yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntü tabanlı ürünlerin üretimini kolaylaştırmasına ek olarak veri toplama için de etkili ve ucuz bir yaklaşımdır. Bu sistemlerle elde edilen bindirmeli görüntülerden 3 boyutlu (3B) modeller elde etmek için Structure-fromMotion (SfM) algoritmasına dayalı yazılımlar ise uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, farklı uçuş parametrelerinin İHA sistemleri kullanılarak üretilen ortomozaik, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve nokta bulutunun doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Buna ek olarak, rolling shutter etkisi ile otomatik ve önceden kalibre edilmiş kamera kalibrasyon parametrelerinin nokta bulutu ve SYM gibi fotogrametrik ürünler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Aksaray ili sınırları içerisinde yer alan bir maden sahasında farklı yükseklik, bindirme oranı ve uçuş açıları ile tek ve çift grid olmak üzere toplam yedi İHA uçuşu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen İHA görüntülerinin değerlendirilmesinde günümüzde yaygın olarak kullanılan ticari yazılımlardan Agisoft MetaShape ve Pix4D Mapper kullanılmıştır. Çalışma kapsamında tesis edilen 27 yer kontrol noktasına (YKN) ait 3B'li koordinatlar Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) tekniği kullanılarak çift okuma ile ölçülmüş ve bu noktalardan 15'i referans noktası, kalan 12'si ise denetleme noktası olarak kullanılmıştır. Nokta bulutunun geometrik doğruluğunu test etmek amacıyla çalışma alanında Ağ-RTK tekniği ile 1300 detay noktası ölçülmüştür. Değerlendirme sonucunda elde edilen fotogrametrik ürünlerin geometrik doğruluklarının test edilmesi için CloudCompare ve ArcGIS yazılımları kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İHA, Fotogrametri, Ortomozaik, SYM, Görüntü Yürümesi.

Haziran, 2022; 52 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT FLIGHT PARAMETERS ON THE ACCURACY OF DEM GENERATED USING UAV SYSTEMS

Elif BULUT

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

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

ABSTRACT

The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) is an effective and inexpensive approach for data collection in addition to facilitating the production of high spatial resolution image-based products. Software based on Structure-from Motion (SfM) algorithm has been used for a long time to obtain 3 dimension (3D) models from overlay images obtained using these systems. In this study, it is aimed to investigate the effects of different flight parameters on the accuracy of orthomosaic, Digital Elevation Model (DEM) and point clouds produced with UAV Systems. In addition, the impact of rolling shutter effect and automatic and pre-calibrated camera calibration parameters on photogrammetric products such as point cloud and DEM was investigated. Within this context, a total of seven UAV flights with different heights, overlapping ratio, flight angles and single/double grid were carried out at an open-mine area located within the borders of Aksaray province. Agisoft MetaShape and Pix4D Mapper, that are widely used commercial software today, were used to evaluate the obtained UAV images. The 3D coordinates of 27 GCPs established within the scope of the study were measured twice at one hour intervals using the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) technique, and 15 of these points were used as reference points and the remaining 12 as control points. In order to test the geometric accuracy of the point cloud, 1300 detail points were measured in the study area with the Network-RTK method. CloudCompare and ArcGIS software were used to test the geometric accuracy of the photogrammetric products obtained as a result of the evaluation.

Keywords: UAV, Photogrammetry, Orthomosaic, DEM, Pixel Displacement.

June, 2022; 52 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar	10
Şekil 3.2. Fotogrametrinin alt sınıfları	11
Şekil 3.3. Analog ve sayısal resim	12
Şekil 3.4. Hava fotogrametrisinde fotoğraf alımı	14
Şekil 3.5. Kanat sınıflarına göre İHA türleri a) Sabit kanatlı b) Döner kanatlı c) Dikey kalkış-iniş yapabilen	16
Şekil 3.6. İHA fotogrametrisi genel akış şeması	19
Şekil 3.7. SfM algoritması	20
Şekil 3.8. a) Rolling shutter tipi kamera ile görüntüleme b) Global shutter tipi kamera ile görüntüleme	23
Şekil 4.1. Çalışma alanı olarak seçilen mermer üretim sahası.....	25
Şekil 4.2. Çalışma alanına ait ortomozaik.	26
Şekil 4.3. DJI Mavic II Pro.	27
Şekil 4.4. Uçuş planlaması.....	28
Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan YKN örnekleri.	29
Şekil 4.6. CHC I80 GNSS alıcısı.....	30
Şekil 4.7. YKN'lerin çalışma alanı üzerindeki dağılımları.....	31
Şekil 4.8. Detay noktalarının çalışma alanında dağılımı.	32
Şekil 4.9. Pix4D ön hazırlık işlem parametreleri.	33
Şekil 4.10. Pix4D nokta bulutu üretimi işlem parametreleri.	35
Şekil 4.11. CloudCompare iki bulut arasındaki mesafe karşılaştırması	37
Şekil 4.12. Nokta bulutu ve detay noktalarının CloudCompare yazılımında gösterimi.	38
Şekil 4.13. İki veri grubu arasındaki ortama mesafeler.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. İHA'ların sınıflandırılması	16
Çizelge 3.2. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatına göre belirlenen zorunlu teçhizatlar	18
Çizelge 4.1 Gerçekleştirilen uçuşlara ait parametreler.	29
Çizelge 4.2 Çalışma alanına tesis edilmiş olan YKN koordinatları.....	31
Çizelge 4.3. Denetleme noktalarına ait KOH değerleri.	36
Çizelge 4.4. Kalite raporlarındaki denetleme noktalarının KOH değerleri.	36
Çizelge 4.5. Nokta bulutları ve detay noktaları arasındaki ortalama uzaklıklar.	39
Çizelge 4.6. Kalibrasyon parametrelerinin fotogrametrik ürünlere etkisi.	40
Çizelge 4.7. Görüntü yürümesine ait hesaplanan değerler.	41



SİMGELER VE KISALTMALAR

3B	Üç Boyutlu
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
DGPS	Differential GPS
FAA	Federal Aviation Administration
GCS	Ground Control System
GIS	Geographical Information Systems
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
ITRF96	International Terrestrial Reference Frame
İHA	İnsansız Hava Aracı
LİDAR	Light Detection and Ranging
Lİ-PO	Lityum Polimer Piller
ODM	OpenDroneMap
RADAR	Radio Detection And Ranging
RMS	Root Mean Square
RTK	Real-Time Kinematic
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SAR	Sythetic Aperture Radar
SfM	Structure-from Motion
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHT-İHA	İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatnamesi
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Sistemi
UA	Uzaktan Algılama
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UTM	Universal Transverse Mercator
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı

1. GİRİŞ

Son yıllarda, dijital üç boyutlu (3B) modellerin elde edilmesi uygulamalarında fotogrametrik yöntemlerin kullanımı önemli bir artış göstermiştir. İlerleyen teknoloji sayesinde bilgisayarlı görme ve yeni hesaplama tekniklerinin gelişimine paralel olarak, fotogrametri alanında görüntü işleme, yüzey modelleme ve harita üretimi işlemlerinde düşük maliyet, yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüklü verilerin üretilmesi imkanı ortaya çıkmıştır. 2000'li yıllardan itibaren hava fotogrametrisi uygulamalarında daha fazla kullanılmaya başlanan İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın son zamanlardaki teknolojik gelişimi sonucunda kullanımının kolaylaşması ve daha güvenilir sonuçlar üretilmesi özellikle orta ve büyük ölçekli fotogrametrik uygulamaların artmasını sağlamıştır (Barba vd., 2019).

İHA'lar, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir araçlar olmalarından dolayı son yıllarda hava fotoğraflarının çekilmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Algılayıcı ve uçuş platformlarda meydana gelen son gelişmeler, hacim hesaplamaları, ortomozaik haritalar ve 3B modeller oluşturma, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için veri toplama, açık ocak madenleri ve inşaatların denetlenmesi, araziye ait genel detayların haritalanması ve çok daha fazlasını içeren uygulamaları önemli ölçüde genişletmiştir. İHA'ların gelişimiyle birlikte, arazide ölçme işlemleri için harcanması gereken süre birkaç günden birkaç saate kadar azalmış ve yersel yöntemlerle ölçmesi zor ve tehlikeli alanlarda da güvenli bir yöntem olarak öne çıkmıştır (Raczynski, 2017). İHA kaynaklı sensörlerin bir diğer avantajı da, görüntülenmek istenen nesne veya alana ait yakın mesafe ve farklı görüş açılarından veri elde etme yeteneğidir. Literatürde İHA görüntüleri, kamera ekseninin dikey olduğu nadir görüntüler ve eğik bir kamera açısıyla çekilen oblik görüntüler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Fotogrametride yaygın olarak kullanılan dik görüntülemeye daha fazla ölü bölge oluşmakta ve nesneye ait bazı ayrıntılar kaybolabilmektedir, dik ve oblik görüntülerin birlikte değerlendirilmesi, nesnelerin tanımlanması, yüzeylerin sürekliliği ve dikey duvarların daha iyi tanımlanarak modellenmesi avantajına sahiptir (Barba vd., 2019).

Fotogrametri, Uzaktan Algılama (UA) ve klasik yersel ölçme teknikleri ile üretilen Sayısal Yükseklik ve Yüzey Modelleri (SYM), Sayısal Arazi Modelleri (SAM), ortomozaik ve nokta bulutları günümüzde yer, çevre ve mühendislik bilimleri gibi

birçok farklı disiplinde sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat UA ve yersel ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında maliyet ve zaman açısından sağladığı avantajlar sebebiyle İHA yardımıyla gerçekleştirilen fotogrametrik çalışmalarda kullanılan Structure-fromMotion (SfM) tekniği ile ardışık olarak çekilen seri fotoğraflardan nokta bulutu, yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik gibi fotogrametrik ürünler elde edilebilmektedir. İHA'lar kullanılarak elde edilen yer yüzeyine ait üç boyutlu obje/yüzey modelleri ve ortomozaikler birçok farklı çalışmada kullanılmaktadır. Üretilen SYM ve SAM'lar ile zamana ve çevreye bağlı hacim değişimleri izlenmekte, ortomozaikler ve üç boyutlu obje/yüzey model verileri ile yüzeye ait uzunluk ve alan hesaplamaları yüksek doğrulukla hesaplanabilmekte ve zamansal değişim analizleri gerçekleştirilebilmektedir (Akay ve Özcan, 2017; Eltner vd., 2017; Özcan ve Akay, 2018; Rusnak vd., 2018).

Bu çalışmada, farklı uçuş parametrelerinin İHA Sistemleri kullanılarak üretilen ortomozaik, SYM ve nokta bulutuna doğruluğuna etkisinin belirlenmesi araştırılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında görüntü yürümesi (rolling shutter etkisi) ile otomatik ve önceden kalibre edilmiş kameranın kalibrasyon parametreleri kullanımının nokta bulutu ve SYM gibi fotogrametrik ürünler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Aksaray ili sınırları içerisinde yer alan bir maden sahasında farklı yükseklik, bindirme oranı ve uçuş açıları ile tek ve çift grid olmak üzere toplam yedi adet İHA uçuşu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen İHA görüntülerinin değerlendirilmesinde günümüzde sıklıkla kullanılan ticari yazılımlardan Agisoft MetaShape ve Pix4D Mapper kullanılmıştır. Çalışma kapsamında tesis edilen 27 Yer Kontrol Noktası (YKN)'na ait 3B koordinatlar GNSS Ağ-RTK tekniği kullanılarak ölçülmüş ve bu noktalardan 15'i referans noktası, kalan 12'si ise denetleme noktası olarak kullanılmıştır. Nokta bulutunun geometrik doğruluğunu test etmek amacıyla çalışma alanında GNSS tekniği ile 1300 detay noktası ölçülmüştür. Değerlendirme sonucunda elde edilen fotogrametrik ürünlerin doğrulukları CloudCompare ve ArcGIS yazılımları kullanılarak belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İHA sistemlerinin fotogrametrik ürünlerin üretilmesi amacı ile kullanılmasına yönelik ilgili literatürde geçmiş yıllarda gerçekleştirilmiş birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak aşağıda özetlenmiştir;

Avdan vd. (2014), gerçekleştirdikleri çalışmada farklı yükseklik ve bindirme oranlarına sahip görüntüler kullanılarak ortomozaik ve SYM'ler üretilmiştir. Elde edilen ortomozaik 'in doğruluk analizinde çalışma alanına tesis edilen ve GNSS alıcısı ile ölçülen YKN'lerden, SYM içinse yersel yöntemlerle üretilen modelden faydalanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre İHA kullanılarak elde edilen verilerin yersel yöntemlerle elde edilen veriler ile uyum gösterdiği ve karşılaştırılan veri grupları arasındaki farkların genel olarak 10 cm'den az olduğu belirtilmektedir.

Toprak (2014), yılında gerçekleştirdiği çalışmada İHA sistemleri ile üretilen ortomozaiklerin doğruluklarını araştırmak amacı ile çalışma alanında RTK yöntemiyle ölçülen 20 adet YKN kullanmıştır. Karşılaştırma sonucunda İHA ile üretilen fotogrametrik üründe yatay bileşende ± 6 cm fark elde etmiş ve İHA kullanılarak üretilen ortomozaik haritaların yeterli konum doğruluğunu sağladığını belirtilmiştir.

Karkınlı vd. (2015), gerçekleştirdikleri çalışmada 48 hektarlık bir çalışma alanında İHA ile uçuşlar gerçekleştirerek elde edilen verilerin yatay ve düşeyde doğruluklarını belirlemişlerdir. Uçuşlarda 100 metre uçuş yüksekliği ve %70-%25 bindirme oranı kullanarak toplamda 720 adet fotoğraf çekilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen SAM doğruluğu yatayda 6,6 cm, düşeyde 8,5 cm olarak bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre İHA'nın mühendislik faaliyetlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Uysal vd. (2015), gerçekleştirdikleri çalışmada 5 hektarlık bir alanda İHA fotogrametrisi ile üretilen SYM'nin doğruluğunu araştırmışlardır. 60 m uçuş yüksekliğine sahip görüntülerden üretilen SYM'nin 30 adet kontrol noktası ile karşılaştırılması sonucunda yükseklik bileşeninde 6.62 cm doğruluk elde etmişlerdir. Böylelikle, İHA Fotogrametrisi kullanılarak üretilen verilerin harita üretimi, haritacılık ve diğer bazı mühendislik uygulamalarında düşük maliyet, zaman tasarrufu

ve minimum saha çalışması avantajları ile kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kılınçoğlu (2016), yüksek lisans tez çalışmasında İHA fotogrametrisi ile farklı özelliklerdeki İHA'ların aynı uygulama alanında kullanılabilirliğinin test etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla 3 farklı İHA kullanılarak 80 m, 100 m ve 300 m'den uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda YKN'lere ait karesel ortalama hataların (KOH) ; 100 m uçuş yüksekliğindeki İHA için 7.9 cm, 80 m için 9.6 cm ve 300 m İHA için 50.3 cm olduğu belirtilmiştir.

Erdoğan (2016) çalışmasında farklı bindirme oranı (%70 ve %80) ve uçuş yüksekliğine (50m ve 80m) sahip İHA görüntülerinin işlenmesi ile oluşturduğu 36 noktalı grid ağından GNSS ile elde ettiği değerlerin karşılaştırılması sonucunda yatay ve düşeyde yaklaşık ± 0.5 cm'lik bir fark tespit etmiş ve kayda değer bir değişim olmadığını belirtmiştir.

Özcan (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İHA kullanılarak farklı uçuş yüksekliklerinden elde edilen görüntüler ile SYM ve nokta bulutu oluşturulmuştur. Elde edilen fotogrametrik ürünlerin doğruluklarının belirlenmesi amaçlanan çalışmada YKN koordinatları DGPS (Differential-GPS) yöntemiyle ölçülmüş ve karşılaştırmada kullanılmıştır. Yatay bileşene ait hata değerlerinin düşey bileşene göre daha küçük olduğu gözlemlenen çalışmada üretilen ortomozaik'e ait doğrulukların yatayda yaklaşık 5-6 cm civarında, düşeyde ise 9 cm'e varan değerler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada topografyada meydana gelen ani yükseklik değişimlerinin ürün doğruluklarına olumsuz etki ettiği belirtilmiştir.

Öztürk vd. (2017) İTÜ Ayazağı yerleşkesinde belirlediği çalışma alanında 3 farklı yükseklik (60, 80 ve 100m) ve kamera açılarında (45^0 , 60^0 ve 90^0) yapılan İHA uçuşları sonucunda üretilen ortomozaiklerin doğruluk değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Üretilen ortomozaiklerin doğrulukları çalışma alanına tesis edilmiş ve GNSS Hızlı-statik yöntemi ile ölçülmüş 5 adet YKN ile test edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; 45^0 'lik açı ile çekilen görüntülerden üretilen ortomozaik'in diğerlerine göre daha yüksek doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada elde edilen ürünler incelendiğinde İHA ile görüntü alımında çekim açısının doğru belirlenmesi gerektiği

ve buna ek olarak görüntü çekilmesi için en uygun zaman aralığının belirlenmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Raczynski (2017) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında uçuş yüksekliği, bindirme oranı ve uçuş hızı gibi parametrelerden etkilenen İHA verileri ile elde edilebilecek doğruluk araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca kullanılan YKN'lerin çeşitli sayı ve dağılım konfigürasyonları da test edilmiştir. Ayrıca tez kapsamında lazer tarama ve İHA fotogrametrisinden elde edilen 3B nokta bulutu veri setleri de karşılaştırılmıştır. Haritacılık uygulamalarında istenilen doğruluğa erişmek için en önemli faktörün Rolling shutter etkisinin modellenmesi olduğu belirtilen çalışmada önemli bir diğer parametre ise yer örnekleme aralığı (YÖA) ile direkt ilişkili olmasından ötürü uçuş yüksekliği olarak belirtilmiş ve uygun hava koşullarında yaklaşık %70x60 bindirme oranının yeterli olduğu görülmüştür.

Atak (2018) yaptığı çalışmasında, ticari İHA fotogrametri yazılımlarınca üretilen ortomozaikler ile açık kaynak kodlu Open Drone Map (ODM) yazılımı ile üretilen ortomozaik'in doğruluğunu ve yazılımları kullanım kolaylıkları açısından kıyaslamıştır. Bu kıyaslama için Pix4D Mapper, Photoscan Pro ve OpenDroneMap (ODM) yazılımları kullanılarak YKN'li ve YKN'siz 6 adet ortomozaik üretilmiş ve üretilen ortomozaiklerin doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada doğruluk analizleri sonucunda ticari yazılımlardan elde edilen farkların ihmal edilebilir olduğu, açık kaynak kodlu yazılımında ise düşük doğruluğa sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şenkal (2018) yaptığı çalışmada İHA yardımıyla elde edilen görüntüler ile ortomozaik, nokta bulutu ve SYM üretilmiş ve yersel yöntemler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuç ürünlerden ortomozaikler yersel veriler ile karşılaştırdığında YKN kullanılmayan verilerde 1 metre, YKN kullanılan verilerde ise 5 cm fark bulunduğunu tespit edilmiştir. SYM karşılaştırmasında ise yersel yöntemler ile İHA sistemleri arasındaki farkın düşey bileşende (Z) ± 10 cm olduğunu belirtmiştir.

Nagendran vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı yükseklikten (50, 60, 70, 80 ve 100m) gerçekleştirilen uçuşlarda YKN kullanımının SYM ve ortomozaik doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. YKN'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki X, Y ve Z bileşenlerine ait toplam hata karşılaştırıldığında, YKN

kullanılmayan durumlarda KOH'nin ortalama hatanın tüm uçuş yüksekliklerinde daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca YKN olmadan, üretilen ürünün doğruluğunun orijinal konumundan 10 ila 40 m veya daha fazla bir aralıkta sapabileceği belirtilmiş ve 8-10 adet YKN'nin güvenilir bir fotogrametrik ürün elde etmek için yeterli olduğuna değinilmiştir.

Akay vd. (2019)'nin gerçekleştirdikleri çalışmada İHA ile farklı uçuş yüksekliklerinin sabit bir objenin uzunluk, alan ve hacim değişimleri belirlenmiş ve yersel veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla belirlenen objeye ait nokta bulutu, SYM ve ortomozaikler elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, boyutu küçük nesnelerin uzunluk ve alan hesaplamaları için İHA verilerinin kullanılmasının uygun olacağı ancak hacim hesaplamalarında ise doğruluğun santimetre mertebesinde olması nedeniyle belirlenen proje amacına bağlı olarak İHA verilerinin tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Sadeq (2019) tarafından gerçekleştirilen bilimsel makale çalışmasında görüntülerdeki bindirme oranının dikey ve oblik görüntülere etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, bindirme oranının artması ve farklı açılardan entegre görüntüler kullanılmasının SAM ve ortogörüntülerin hassasiyetini yükselttiği sonucuna ulaşılmıştır. Oblik ve dikey görüntülerin birleştirilmesiyle elde edilen fotogrametrik ürünün doğruluğunun aynı sayıdaki görüntü için bile sadece dikey görüntüden daha yüksek doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir.

Altun (2019) yılında gerçekleştirdiği çalışmada İHA'dan elde edilen verilerin halihazır harita üretimindeki uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla Sivas ilindeki Cumhuriyet Üniversite kampüsü içerisinde 3 hektarlık bir alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde nokta konum doğruluğunu ve farklı ticari yazılımların güvenilirliğini belirlemek amacıyla, iki farklı İHA kullanılarak 60 metre yükseklikte %80 boyuna %70 enine bindirme oranıyla uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerin değerlendirilmesinde Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımları kullanılmıştır. Kullanılan yazılımlara ait KOH'ler incelendiğinde Pix4D Mapper yazılımının daha iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur.

Çetin (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İHA ile elde edilen görüntüler Pix4D Mapper ve Agisoft Photoscan yazılımlarında işlenerek ortomozaik ve SYM

üretlmifltir. Aynı veriler klasik fotogrametrik teknikler kullanılarak da elde edilmiş ve aynı yazılımda işlenerek yükseklik verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; klasik hava fotogrametrisi kullanılarak elde edilen konum doğruluğuna, İHA yardımıyla edinilen görüntüler kullanılarak düşük maliyette erişilebildiği belirtilmiştir. Ayrıca, farklı İHA platformlarından elde edilen görüntülerin Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımlarında işlenmesi ile elde edilen sonuçların birbirlerine yakın doğrulukta olduğu görülmüştür.

Saygılı (2019) yılında gerçekleştirdiği “İnsansız hava aracı ile fotogrametrik olarak üretilen verilerin konum doğruluklarının araştırılması” adlı tez çalışması kapsamında Zonguldak ili Bülent Ecevit niversitesi kampüsü içerisinde bulunan binalara ilişkin detayların ölçülmesinde İHA fotogrametrisinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla çalışma alanında 192 metre %60 boyuna %40 enine bindirme oranı ve 160 metre %80 boyuna ve %60 enine bindirme oranına sahip iki farklı uçuş gerekleştirilmifltir. Elde edilen sonuçlar total station kullanılarak elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ilk uçuşta sırasıyla X, Y ve Z bileşenlerine ait konum doğrulukları sırasıyla, ± 5.61 cm, ± 7.55 cm, ± 15.11 cm ve ortalama konum doğruluğu $mxyz = \pm 17.80$ cm olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen ikinci uçuşta ise konum doğrulukları yukarıda belirtilen sırayla, ± 6.53 cm, ± 4.31 cm, ± 14.62 cm ve ortalama konum doğruluğu ise $mxyz = 16.59$ cm olarak bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen KOH’lar incelendiğinde 160 m yükseklikte gerçekleştirilen uçuştan elde edilen değerlerin, 192 m irtifadan gerçekleştirilen uçuştan elde edilen değerlere oranla daha küçük olduğu görülmektedir.

Selek (2019) gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında ormanlık, kırsal ve kentsel alanlarda İHA lmeleri gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada bu alanlara ait yapılan uçuşlardan ortomozaik, SAM ve SYM’ler Agisoft yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Ormanlık alanlarda 90x70 bindirme oranına sahip uçuşun değerlendirme sresinin uzun olduğu ve 80x50 bindirme oranının bu alanlarda yeterli doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir. Üretilen bu verilerin karşılaştırılması BUSKİ’den elde edilen ortomozaik ve sayısal arazi verileri kullanılarak gerekleştirilmifltir. Karşılaştırma sonucunda İHA ile üretilen fotogrametrik ürünlerin yeterli doğrulukta yersel ölçmelere göre daha etkin ve az maliyetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Deliry (2020) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında klasik haritalama tekniklerine alternatif olan İHA tabanlı sistemlerin doğruluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Eskişehir Teknik Üniversitesi Kampüs alanında 16 m, 100 m ve 170 m yükseklikten İHA uçuşları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutları, gen 3B modeller, SYM, SAM ve ortomozaiklerin doğruluk analizlerinde çalışma alanında yapılan total station, GNSS-RTK, yersel lazer tarayıcı verileri kullanılmıştır. Yatay ve düşeyde en yüksek doğruluğa (2.5 cm ve 2 cm) 16m uçuş yüksekliğindeki eğik görüntülerden elde edilen ürünlerden ulaşılmıştır. Elde edilen bulgulara göre 16 m ve 100 m uçuş yüksekliğinden elde edilen görüntüler kullanılarak üretilen ortomozaik ve SYM’lerin doğruluklarının arazi analizi içeren birçok uygulama için yeterli olduğu belirtilmektedir.

Çallı (2021) tarafından entegre RTK özelliği bulunan ve bulunmayan İHA’lar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada elde edilen görüntüler Pix4D Mapper ve Agisoft PhotoScan yazılımları kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen ortomozaiklerin doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre RTK zellikli İHA kullanılarak yatay ve düşeyde elde edilen hassasiyetin RTK özelliği bulunmayan İHA’ya göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan ticari değerlendirme yazılımları arasında yapılan karşılaştırma sonucunda ise Pix4D Mapper yazılımı kullanılarak değerlendirilen verilerin daha iyi bir doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir.

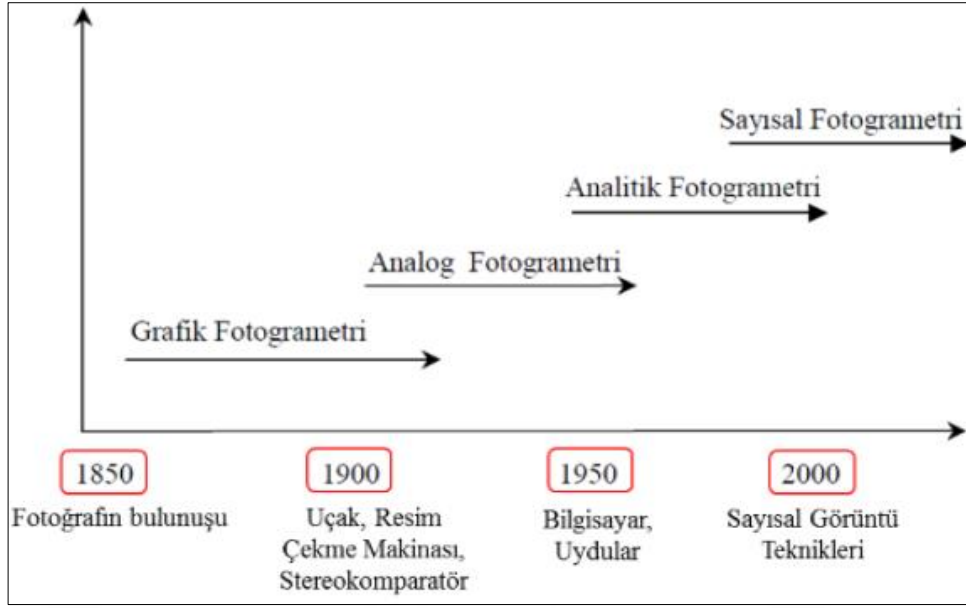
3. TEMEL KAVRAMLAR

3.1 Fotogrametri Tanımı ve Gelişimi

Fotogrametri kelimesi, Yunancada “photos (ışık)”, “grama (çizim)” ve “metron (ölçme)” anlamlarına gelen sözcüklerin birleştirilmesiyle oluşmuştur ve ışık yardımı ile ölçme ve çizme anlamına gelmektedir (Çetin, 2019). Fotogrametri, fiziksel temas olmaksızın bir ya da birden fazla fotoğraf yardımıyla, yayılan elektromanyetik enerjinin ölçme, değerlendirme ve yorumlama yapılmasına olanak sağlayarak objelerin ve yüzeylerin özellikleri ilgili güvenilir bilgiler edinilebilen bir bilim dalıdır (Schenk, 2005). Başka bir ifadeyle de, obje ya da yüzeylerin 2 ve 3 boyutlu konumları ile şekil ve boyutlarının fotoğraflar üzerinden sayısal olarak ölçülmesi tekniğidir (Öztürk, 2010; Selek, 2019; Kılınçoğlu, 2016).

Fotogrametrinin geçmişten günümüze olan gelişimi doğrudan bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelerden etkilenmiştir. Fotogrametrinin dört ana gelişim aşaması, fotoğraf, uçak, bilgisayar ve elektronik gibi teknolojik icatlarla şekillenmiş ve her aşama teknolojik gelişmelere paralel olarak yaklaşık 50 yıllık süreçlerde devam etmiştir (Şekil 3.1). Bu dört nesil fotogrametrik evreler;

- Plançete (Grafik) Fotogrametrisi (1850-1900),
- Analog Fotogrametri (1900-1950),
- Analitik Fotogrametri (1950-2000),
- Dijital Fotogrametri (2000 - günümüz) olarak sınıflandırılmaktadır (Schenk, 2005; Saygılı, 2019).



Şekil 3.1. Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar (Kılınçoğlu, 2016).

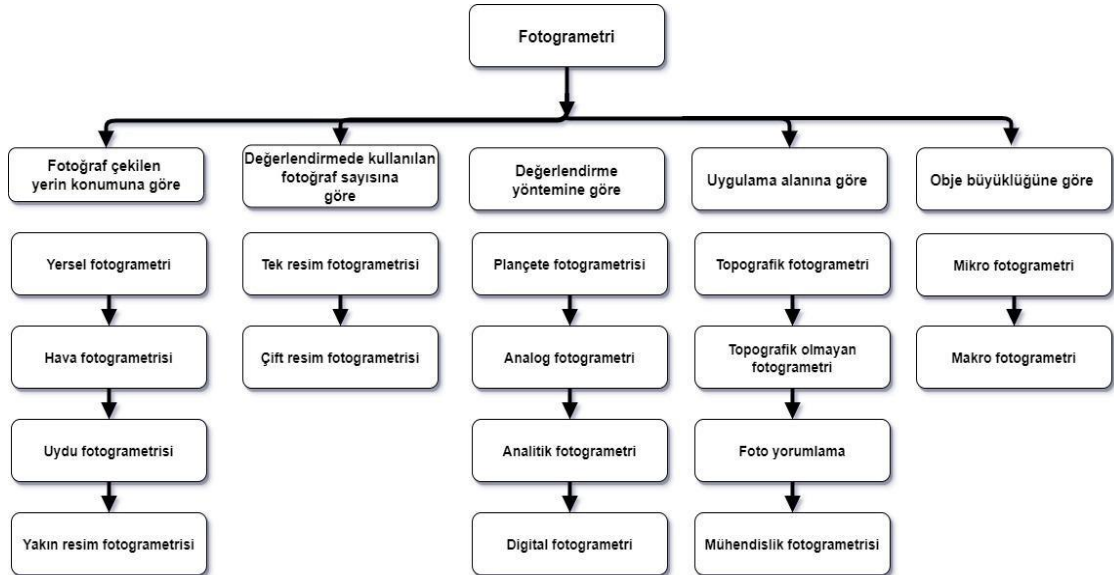
18. yüzyılın ortalarından sonuna kadar devam eden birinci nesil fotogrametri, yersel ve balon fotogrametrisinde kayda değer başarılarla sahip öncü ve deneysel bir aşama olarak görülmektedir (Schenk, 2005). 1908 yılında Eduard von Orel tarafından inşa edilen ilk grafik çizici (stereoplotter), yersel fotogrametriyi dağlık alanlarda pratik hale getirmesinden dolayı analog fotogrametri olarak nitelendirilen ikinci dönemde önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Collier, 2002). Optik ve matematik alanında yaşanan gelişmelerle birlikte havadan çekilen fotoğraf örnekleri de ortaya çıkmaya başlamış ve bu yıllarda uçurtma, balon, zeplin vb. kullanılarak hava fotoğrafları çekilmiştir (Çallı, 2021). Ancak, 1. Dünya Savaşı sırasında pervaneli uçaklar ve kameraların faaliyete geçmesiyle birlikte hava fotoğrafları düzenli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hava fotogrametrisi alanında en kayda değer gelişmeler ise iki dünya savaşı arasında gerçekleşmiş ve havadan araştırma tekniklerinin temelleri atılarak günümüze kadar gelmiştir (Schenk, 2005).

Üçüncü fotogrametrik evre olarak adlandırılan modern analitik fotogrametri, bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmeler neticesinde başlamıştır. Hava triyagülasyonuna ek olarak, üçüncü neslin bir başka önemli buluşu da geliştirilen analitik çizicidir. 1980’li yıllara doğru, daha küçük boyutlarda ve sayısal bilgisayarlara bağlı olarak çalışabilen çizicilerden çok sayıda üretilmiş ve 20. yüzyılın sonlarında bu

çiziciler sık kullanılan bir harita üretim yöntemi haline gelmiştir (URL-1; Saygılı, 2019).

Dördüncü nesil olarak adlandırılan dijital fotogrametri çağı, 80’li yılların sonlarında bilgisayar, depolama cihazları ve kamera alanında meydana gelen teknolojik gelişmeler sonucunda başlamıştır (Saygılı, 2019). Dijital hale getirilmiş veya dijital olarak algılanmış stereo görüntülere ait tüm değerlendirme işlemlerinin tamamen grafik işlemcili bilgisayarlar ile yapıldığı fotogrametri tekniği olan dijital fotogrametri de diğer fotogrametrik yöntemlere göre daha kısa zamanda ve yüksek doğrulukta sonuçlar alınabilmektedir (Yılmaztürk, 2016; Çallı, 2021).

Fotogrametride temel amaç çekilen fotoğraflar kullanılarak objelerle ilgili konum, şekil, görünüş, büyüklük vb. geometrik bilgilerin elde edilmesidir. Fotogrametri biliminde uygulanan matematiksel model değişmese de teknolojinin gelişmesi ve buna bağlı olarak kullanılan ekipmanların değişmesiyle bu bilim zaman içerisinde çeşitli alt sınıflara ayrılmıştır (Kılınçoğlu, 2016; Seki, 2017). Bu sınıflar genel olarak, görüntü alınan yerin konumuna, değerlendirmede kullanılan görüntü adedine, değerlendirme tekniğine, uygulama alanına ve nesne büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.2).

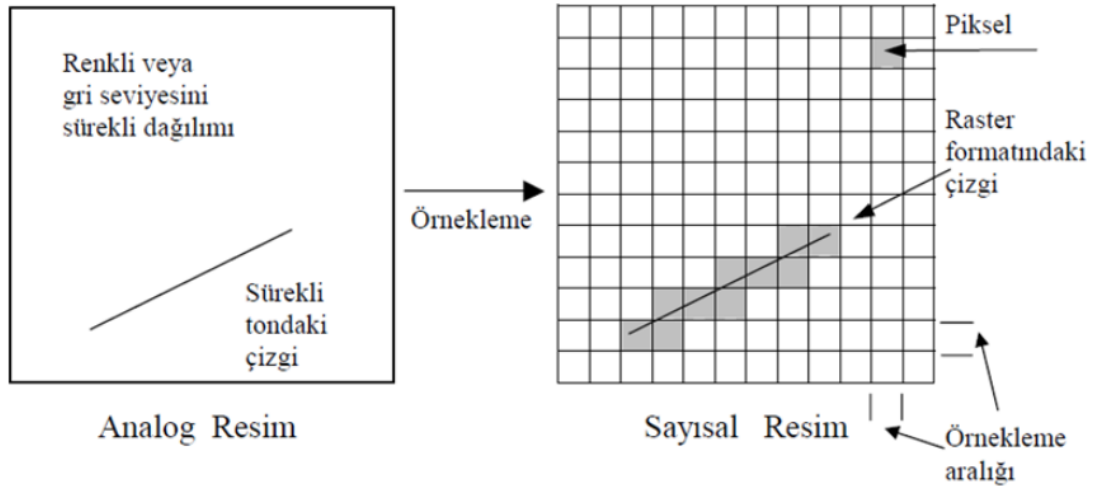


Şekil 3.2. Fotogrametrinin alt sınıfları (Toprak, 2014’den değiştirilerek).

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ölçmelerde İHA Sistemleri kullanılmasından dolayı ileriki bölümlerde dijital fotogrametri ve hava fotogrametrisi başlıkları detaylı olarak açıklanacaktır.

3.2 Dijital (Sayısal) Fotogrametri

Teknolojik ilerlemelerle birlikte bilgisayar, donanım ve yazılım alanında yaşanan gelişmeler sonucunda verilerin daha hızlı işlenmesi ve yüksek hacimli verilerin depolanabilme imkanı artmıştır. Bunun sonucunda da dijital formata dönüştürülmüş hava ve yer fotoğraflarının işlenmesi seçeneği oluşmuştur. Dijital görüntüler, tarayıcılar, sayısal kameralar, İHA ve hava radarı vb. araçlar kullanılarak elde edilebilmektedir (Sidek ve Ahmad, 2009). Özellikle 1990'lı yıllardan sonra analog fotoğraftan dijital fotoğrafa geçiş sürecine paralel olarak da fotogrametride yeni bir yöntem olan dijital fotogrametri evresi başlamıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Analog ve sayısal resim (Kılınçoğlu, 2016).

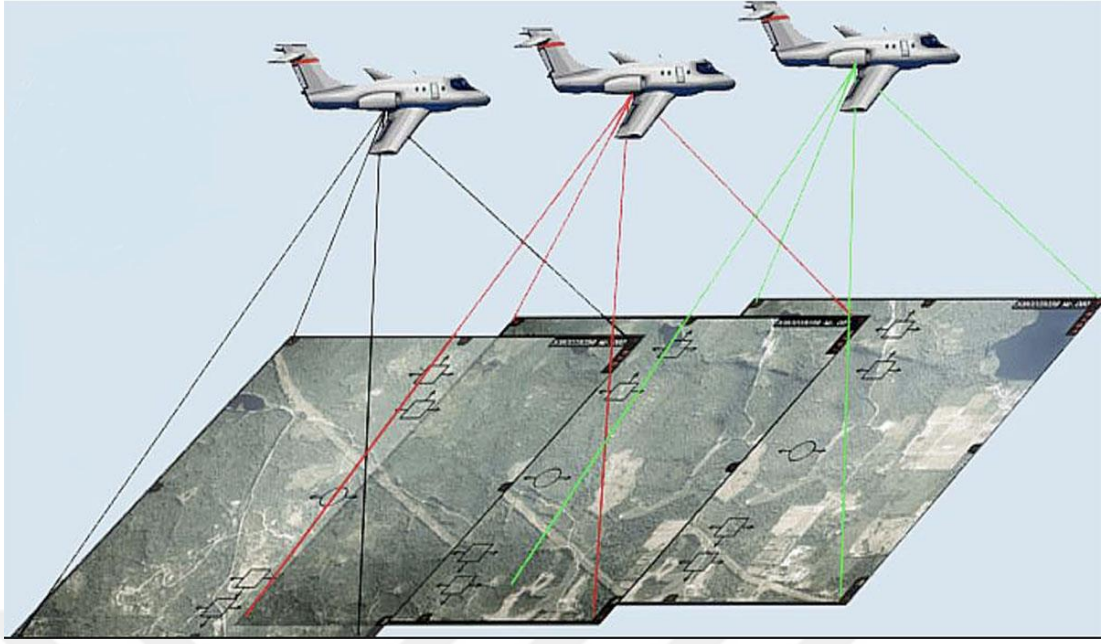
Dijital fotogrametri, sayısal formda elde edilmiş ya da analog resimlerden taranarak dönüştürülmüş stereo görüntülerin fotogrametrik iş istasyonları kullanılarak gerekli yazılım ve donanım bileşenleri ile birlikte değerlendirildiği bir fotogrametri tekniğidir. Sayısal formattaki görüntülerin yüksek çözünürlüğe sahip olması, bilgisayar ortamında birden fazla renk seçeneği bulunması ve elde edilen görüntü üzerinde iyileştirmelerin daha hızlı gerçekleştirilebilmesi gibi nedenlerden ötürü dijital fotogrametri ortaya çıktığı günden itibaren hızla yaygınlaşmıştır (Yıldız, 2010; Kılınçoğlu, 2016). Dijital fotogrametri kullanılarak kısmen veya tamamen

otomatikleştirilmiş nokta ölçmesi, koordinat dönüşümleri, üçüncü boyutun oluşturulması için görüntü eşleştirme işlemleri gerçekleştirilir. Yapılan işlem sonunda ortomozaik ve SYM'ler oluşturularak, bu fotogrametrik ürünler harita üretiminde kullanılabilmektedir (Konecny, 2003; Çetin, 2019).

3.3 Hava Fotogrametrisi

Fotogrametri, geçmişten günümüze kadar teknolojik gelişmelerden oldukça etkilenmiş bir bilim dalıdır. 1800'lü yılların ortasında yerden çekilen fotoğraflar yardımıyla ilgili objelerden bilgi üretilen bilim dalında, yaşanan teknolojik gelişmeler sonrasında fotoğraf çekme noktasının yer yüzeyinin üzerine çıkması, yersel fotogrametrinin aksine geniş alanların daha kısa sürelerde görüntülenmesine olanak sağlamıştır.

Çekilen bu fotoğraflar, yalnız harita üretimi için değil yer yüzeyinin topografyası veya arazi örtüsü hakkında bilgi edinmek, bu veriler yardımıyla bilgi sistemleri oluşturmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Bu fotoğraflar çoğunlukla düşey olarak elde edilmektedir (Yılmaz vd., 2018). Hava fotogrametrisinde; uçuş planlaması, istenilen ölçeğe göre yapılabilir. Hazırlanan uçuş planında, uçuşun yüksekliği, açısı, bindirme oranı, kolon sayısı vb. uçuş parametreleri ile kameranın entegre edildiği hava aracının hız, rota vb. bilgileri belirlenebilmektedir (Şekil 3.4). Elde edilecek olan sonuç ürününün yüksek doğrulukta olması amacıyla zemin üzerinde YKN'ler uçuş yüksekliğine bağlı olarak havadan ayırt edilebilecek şekilde hazır şablonlar ile tesis edilmektedir. Yer yüzeyi üzerinde işaretlenen bu noktalar daha sonra hassas jeodezik ölçme aletleri ile ölçülerek koordinatları elde edilmektedir. YKN'lerin arazi üzerindeki dağılımı ve tesis sıklığı hava triyangülasyonuna bağlı olarak seçilmektedir (Uysal, 2018; Çaşkurlu, 2021).



Şekil 3.4. Hava fotogrametrisinde fotoğraf alımı (Saygılı, 2019).

Sabit resim ölçeği ve geniş alanlara ait haritaların ekonomik ve yüksek doğruluklu üretilmesi açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması nedeniyle günümüzde, hava fotogrametrisi sıklıkla tercih edilmektedir. Hava fotogrametrisi sayesinde üç boyutlu şehir modelleri, topoğrafik ve kabartma haritalar, sayısal yükseklik modeli, ortomozaik ve sayısal arazi modelleri gibi ürünler elde edilebilmektedir (Gençerk, 2016). Geçmişten bugüne havadan fotoğraf çekiminde, uçurtma, balon, zeplin, uçak ve helikopter gibi farklı uçuş platformlarına ek olarak son yıllarda İHA'lar da sıklıkla kullanılmaktadır (Kılınçoğlu, 2016).

3.4 İnsansız Hava Araçları (İHA)

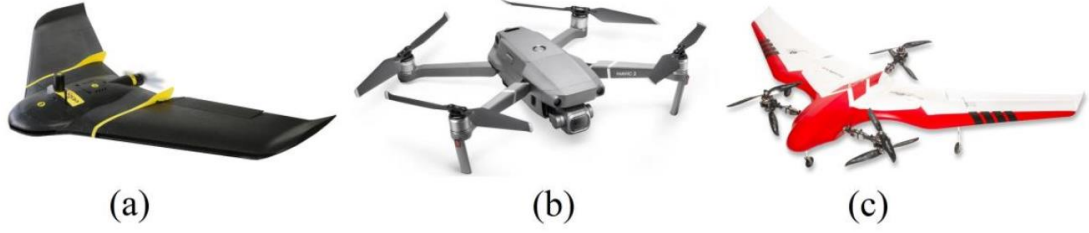
İHA'lar, uzaktan kumanda edilebilen, pilotsuz, otonom veya yarı otonom uçuş kabiliyetine sahip sabit ve döner kanatlı olmak üzere iki ayrı sınıf halinde kategorize edilebilen araçlardır (Saripalli vd., 2003; Gençerk, 2016; Kılınçoğlu, 2016). “Hava robotları” veya “drone- yerden kumandalı hava aracı” gibi birbirinden ayrı isimlendirmeler kullanılan İHA'lar ilk olarak 1900'lü yılların başında askeri gözetleme, keşif saldırı ve haritalama amacı ile kullanılmaya başlanmış ve 1950'li yılların devamında ise sivil uygulamalar için kullanımı yaygınlaşmıştır (Rango vd., 2006; Seki, 2017; Çömert vd., 2012; Kılınçoğlu, 2016).

3.4.1 İHA'ların kullanım alanları

Ülkemizde öncelikle askeri amaçlarla kullanılan İHA'ların, teknolojinin gelişmesine paralel olarak, farklı özellikler sunması, ulaşılması zor ve tehlikeli bölgelerde yer alabilmesi sivil kullanımının da önünü açmıştır (Eisenbeiss, 2009; Selek, 2019). İHA'lar, üzerine entegre edilen farklı tipte algılayıcılar ve elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesi için açık kaynak kodlu ve ticari değerlendirme yazılımlarının geliştirilmesi sayesinde jeomorfolojik analiz ve görüntüleme-izleme amaçları için arazi yüzeyinin yüksek çözünürlüklü yeniden yapılandırılması (Agüera-Vega vd., 2017; Rossi vd., 2018) multispektral görüntülerin analizi yoluyla tarım ve ormanlar üzerine yapılan çalışmalar (Feng vd., 2015; Honkavaara vd., 2013) ve meydana gelen deprem, sel, çığ gibi felaket olaylarının ardından afet yönetimi (Quaritsch vd., 2010), altyapı sektöründe, kule ve köprülerin denetimi (Morgenthal vd., 2019) hava taşımacılığı altyapısı (Mualla vd., 2019) ile demiryolları ve karayollarının (Máthé vd., 2015) izlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Barba vd., 2019).

3.4.2 İHA'ların sınıflandırılması

İHA'ların sınıflandırılması her ülkede uygulama alanlarına göre oldukça farklıdır ve bu konuda tek bir uluslararası standart bulunmamaktadır. Her ülkenin kendi düzenleme ve sınıflandırma şeması vardır. Kullanım alanları açısından İHA'lar genellikle askeri, sivil ve ticari İHA'lar olarak sınıflandırılmaktadır. Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından tanımlanan en basit sınıflandırma, İHA'ların ağırlıklarına göre yapılmaktadır; buna göre İHA'lar üç sınıfta: Mikro hava aracı (MAV) olarak da adlandırılan ve 1 gramdan hafif en küçük İHA'lar, 25 kg'dan küçük olan minyatür İHA'lar veya sUAS olarak da adlandırılan küçük İHA'lar ve ağır İHA sınıfı olan 25 kg'dan daha ağır insansız hava araçları olarak sınıflandırılmaktadır (Deliry, 2020). Başka bir sınıflandırmada, boyuta (çok küçük, küçük, orta ve büyük), menzile (çok düşük maliyetli yakın mesafe, yakın mesafe, kısa menzil ve orta menzil) ve dayanıklılığa göredir (Fahlstrom ve Gleason, 2012). Fotogrametride kullanılan İHA'lar ise genel olarak üç tipe ayrılabilir: bunlar, sabit kanatlı, döner kanatlı (rotorcraft) ve dikey kalkış ve iniş (VTOL) yapabilen hava araçlarıdır (Şekil 3.5; Greenwood vd., 2019).



Şekil 3.5. Kanat sınıflarına göre İHA türleri a) Sabit kanatlı b) Döner kanatlı c) Dikey kalkış-iniş yapabilen (Deliry, 2020).

Sabit kanatlı olan İHA'lar çoğunlukla el yardımıyla fırlatılarak, ya da fırlatma rampası kullanılarak uçurulmaktadır. Döner kanatlı İHA'lar ise havalanmak için herhangi bir yardıma ihtiyaç duyulmaksızın, bulunduğu yerden havaya yükselmekte ve sonrasında kumanda yardımıyla yönlendirilen sistemlerdir (Toprak, 2014; Altun, 2019). Ülkemizde de kullanımı askeri amaçlarla başlayan ve daha sonra sivil kullanımda yaygın olarak kullanılmaya ve üretilmeye başlanan İHA'larla ilgili yasal bir düzenleme zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizde, İHA'ları kapsayan yasal düzenlemeler ve kısıtlamalar, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından düzenlenmekte ve geliştirilmektedir. SHGM - İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatnamesinin (SHT-İHA) beşinci maddesine göre Ülkemizde İHA'lar, ağırlıklarına göre dört sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. İHA'ların sınıflandırılması (SHT-İHA, 2016).

Sınıfı	Azami kalkış ağırlığı
İHA0	500 gr (dahil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar
İHA1	4 kg (dahil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar
İHA2	25 kg (dahil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar
İHA3	500 gr (dahil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar

3.4.3 İHA sistem bileşenleri

Fiziksel bileşenleri genellikle benzer olan insanlı ve insansız hava araçlarının aralarındaki temel farklılıklar, İHA'larda kokpit, pencere ve çevresel kontrol sisteminin bulunmamasıdır (ICAO, 2011). Sivil ve ticari amaçlarla kullanılan küçük İHA'lar, güç ihtiyacı, ağırlık ve taşınacak yük açısından askeri olanlardan farklıdır. Üç ana bileşenden oluşan İHA Sistemlerinde, insansız uçuş platformu ya da aracı, otonom uçuş kontrol sistemi (yer kontrol sistemi) ve uzaktan kumanda edilen hava aracı ile yer

kontrol istasyonunu birbirine bağlayan komuta-kontrol bağlantısı olarak da isimlendirilen iletişim sistemi yer almaktadır. Hava aracı sistemi, gövde bileşeni, sevk ünitesi (motor ve pervane), uçuş kontrolleri ve güç sisteminden oluşmaktadır ve hava aracında amaca bağlı olarak taşınan ekstra yük (Global Positioning System (GPS), ivmeölçer, Inertial Measurement Unit (IMU), kamera vb.) bu bileşenlerden bağımsız bir alt sistem olarak kabul edilmektedir (Deliry, 2020; Fahlstrom ve Gleason, 2012; ICAO, 2011). Yer Kontrol Sistemi (GCS), İHA sisteminin, video verilerini, telemetri verilerini, uçuş esnasında çevrede bulunan uyduları, güç sarfiyatını, uçuş parametrelerini işleyen ve görüntüleyen operasyonel kontrol merkezidir.

İHA sistemlerinin genel kullanım amacı faydalı yüklerin taşınması olduğundan üretim aşamasındaki yük bileşenleri görev ihtiyacına göre seçilmektedir. Haritalama, keşif ve gözlem amaçları için yükler genellikle fotoğraf, video, kızılötesi ve termal kameralar dahil olmak üzere Light Detection and Ranging (LiDAR), RADAR ve Sythetic Aperture Radar (SAR) gibi sensörleri içermektedir. Küçük İHA'lar, güç kaynağı olarak genellikle lityum polimer piller (Li-Po) kullanmaktadır. IMU ve GNSS sensörleri ile donatına bu sistemlerde yer kontrol istasyonu ile bağlantı telemetri aracılığı ile sağlanmaktadır (Gençerk, 2016; Deliry, 2020). Uçağın konumu ve durumu hakkında bilgi veren sensörler yardımıyla İHA sistemi uçuş parametrelerini ve kamera ile görüntülemeyi sağlamaktadır. Manuel, yarı otonom ve otonom uçuş modları mevcut olan sistemlerden otonom uçuş modu, uçuş kontrol yazılımında önceden tanımlanan rotanın takip edilerek görüntüleme yapılabilmesi sebebiyle fotogrametrik amaçlı kullanımlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Günümüzde, ölçme amaçlı üretilen ve kullanılan İHA'ların çoğu, otomatik pilot modunda uçuş gerçekleştirebilen IMU, GPS ve mikroeletromekanik sistemlerle donatılmıştır ve kullanılan yazılıma bağlı olarak bu sistemlerin otonom dereceleri değişmektedir (Greenwood vd., 2019; Deliry, 2020).

Ülkemizde, 2016 yılında yayınlanan 'İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı'nın 7. maddesine göre, İHA0, İHA1, İHA2 ve İHA3 sınıflarındaki İHA'larda bulunması gereken zorunlu teçhizatlar belirlenmiş ve Çizelge 3.2'de verilmektedir.

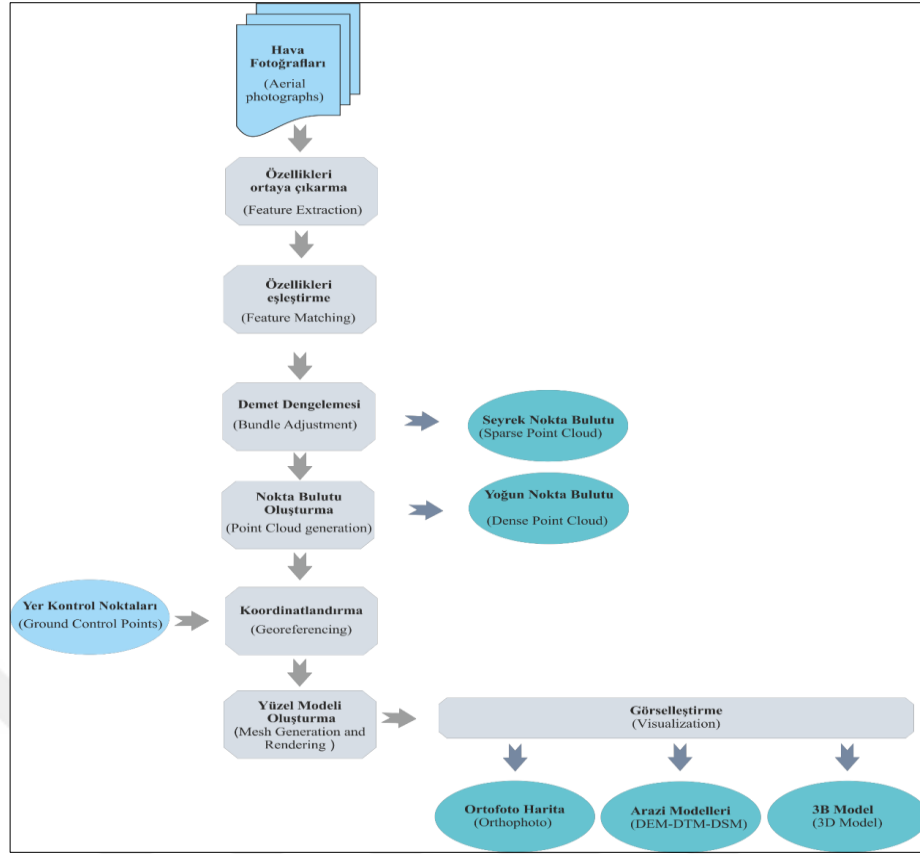
Çizelge 3.2. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatına göre belirlenen zorunlu teçhizatlar (SHT-İHA, 2016).

İHA Sınıfı	Gerekli Teçhizat
İHA0	İHA'nın teknik olarak ekipman, sistem ve faydalı yük bileşenleriyle donatılması İHA işleticisinin/sahibinin/pilotunun ya da imalatçısının seçimine bağlıdır.
İHA1	a) Komuta ve kontrol veri bağıının kesilmesi durumunda acil durum iniş veya uçuş sonlandırma kabiliyeti, b) Batarya gücü/yakıt seviyesinin devamlı izlenebilmesi, c) Çakar lamba, ç) İHA'da veya yer kontrol istasyonunda otomatik uçuş kayıt sistemi.
İHA2	a) Çakar lamba yerine aydınlatma lambaları, b) Yedekli seyrüsefer sistemi veya yedekli uçuş kontrol sistemi ya da bilgisayarı, c) Yedekli komuta ve kontrol veri bağı, ç) Hava trafik ünitesi ile gerektiğinde haberleşmeyi sağlayacak uygun haberleşme sistemleri,
İHA3	a) Mode-S transponder, b) TCAS veya ADS-B benzeri algı ve sakın sistemi

3.5 İHA Fotogrametrisi

İHA fotogrametrisinde kullanılan teknik, hava fotogrametrisinde kullanılan iş akışına benzerdir ve genel olarak şu şekilde sıralanabilmektedir;

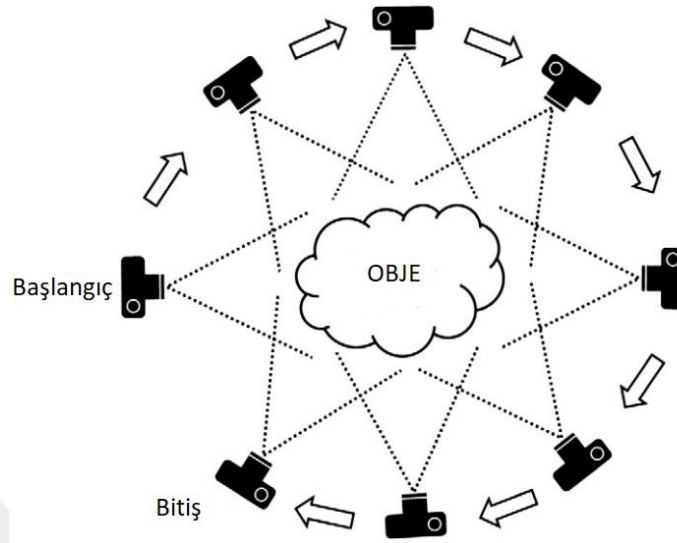
- görüntülerin havadan çekilmesi,
- görüntü özelliklerinin ortaya çıkarılması (feature extraction),
- demet dengelemesi,
- seyrek nokta bulutunun üretilmesi,
- yoğun nokta bulutunun üretilmesi,
- geometrik dönüşüm (Rektifikasyon),
- mesh modelin oluşturulması,
- ortomozaik, sayısal yüzey ve yükseklik modellerinin üretilmesi (Atak, 2018; Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İHA fotogrametrisi genel akış şeması (Atak, 2018).

Bilgisayar ile görüş alanında yaşanan gelişmeler sonucunda 3B model üretilmesi amacıyla farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlardan yaygın olarak kullanılan ve 1990'larda geliştirilen hareket ile nesne oluşturma-Structure From Motion (SfM) tekniğinin kökenleri bilgisayarlı görüş topluluğu (Spetsakis ve Aloimonos, 1991; Boufama vd., 1993; Szeliski ve Kang, 1994) ve geçtiğimiz on yılda otomatik özellik eşleştirme algoritmalarının (Förstner, 1986; Harris and Stephens, 1988) gelişimine dayanmaktadır (Westoby vd., 2012). SfM yönteminde amaç yeniden oluşturmaya dayanmakta olduğu için haritalama amacı dışında daha çok 3B görselleştirme için kullanılmaktadır (Seren ve Demirel, 2016). İHA fotogrametrisinin, yani SfM'nin ya da Multiview Stereo (MVS) olarak da adlandırılan bu tekniğin temel prensibi çok sayıda fotoğrafa ait özellikleri otomatik bir şekilde algılayıp eşleştirdikten sonra noktaların üçgenlenmesi ile fotogrametriye yardımcı olan, bir dizi algoritmayı belirtmektedir (Peterson vd., 2015; Yakar ve Doğan, 2017). Bu teknik, temelde modellenmek istenen objenin farklı bakış açılarından bindirmeli olarak çekilen iki boyutlu görüntülerinden ortak noktaları algılayıp 3B model üretmek için stereo

görüntü tekniği kullanılan bir fotogrametrik yaklaşımdır (Dellaert vd., 2000; Furukawa ve Hernández, 2013; Yakar ve Doğan, 2017; Çelik vd., 2020).



Şekil 3.7. SfM algoritması (Westoby vd., 2012’den Türkçeleştirilerek).

Klasik fotogrametri tekniklerinde, nesneye ya da ilgili alana ait geometrik modelin oluşturabilmesi için, çekim yapılan kamera ve YKN’lerin yüksek doğruluklu koordinat ve oryantasyon bilgilerine gereksinim duyulmaktadır. SfM tekniğinde ise model geometrisi, oryantasyon bilgileri ve kamera pozisyonu aynı anda ve otomatik olarak çözülmektedir (Sarıtürk ve Şeker, 2017; Şekil 3.7).

Özellikle büyük hacimli veri setlerine sahip kompleks yapıların (engebeli arazi yapısı, jeolojik yapı, karmaşık mimari ve büyük mühendislik yapıları vs.) modellenmesinde bu teknik kullanılarak yüksek çözünürlüğe sahip, düşük maliyetle fotogrametrik ürünlerin üretimi (nokta bulutu, SYM, ortomozaik) ve 3B görselleştirme çalışmaları mümkün olmaktadır (Kolzenburg vd., 2016; Morgan ve Brogan, 2016; Sarıtürk ve Şeker, 2017).

Görüntü işleme yazılımlarında, bindirmeli çekilen görüntülerdeki ortak noktalar yardımıyla öncelikle hava triyagülasyonu ve demet dengelemesi işlemleri gerçekleştirilir ve her bir görüntüdeki kameranın konumu belirlenerek kamera kalibrasyon parametreleri hesaplanır. Bu işlemler sonucunda, kamera konumları hesaplanmakta ve seyrek nokta bulutu üretilmektedir. Demet dengelemesi ile tüm bindirmeli görüntü çiftleri için iç ve dış yöneltme parametreleri kestirildikten sonra derinlik haritaları oluşturulmaktadır. Yoğun nokta bulutları da yoğun stereo

görüntülerin eşleştirilmesi sonucunda hesaplanan derinlik haritalarına bağlı olarak üretilmektedir (Agisoft, 2021). Nokta bulutları, bir vektör uzayında 3B bir objeye ait özelliklerin X, Y ve Z koordinat sisteminde matematiksel olarak temsil edildiği noktalar kümesidir (Demirtaş, 2022). Bir nesnenin üç boyutlu dış yüzeyini ifade etmeye yarayan tüm konum bilgilerini temsil eden yoğun nokta bulutları, birden fazla çekilmiş ve birbiriyle örtüşen görüntülerden derinlik bilgisinin elde edilmesi temeline dayanmaktadır (Kılınç ve Uysal, 2021; URL-4). İki boyutlu (2B) görüntülere kıyasla 3B yapısı nedeniyle gelişmiş geometrik bilgiler sağlayan nokta bulutları, kültürel miras alanlarının modellenmesi, arazi kullanımı/arazi örtüsü, SYM üretimi, obje modelleme, topografik harita üretimi, hacim hesapları, gibi çeşitli uygulamalarda sıklıkla şekilde kullanılmaktadır (Atik vd., 2022). LİDAR, hava fotoğrafları ve lazer tarayıcılar gibi sistemlerle elde edilen nokta bulutlarının kullanım alanların yaygınlaşmasında, 3B veri üretimine olanak sağlayan fotogrametri ve bilgisayarlı görüş alanında yaşanan teknolojik gelişmeler de etkili olmuştur (Polat ve Uysal, 2017). Özellikle son yıllarda İHA teknolojisinde yaşanan ilerlemelerin sonucunda, yüksek çözünürlüklü görüntülere daha düşük maliyetlerle ulaşılabilmesi ve fotogrametrik yöntemlerle elde edilen nokta bulutlarının sıklıklarının ve hassasiyetlerinin artması, İHA sistemlerinin nokta bulutu üretiminde lazer tarayıcılar ve LiDAR sistemlerine alternatif olmasına neden olmuştur (Leberl vd., 2010; Kılınç ve Uysal, 2021).

İlk olarak 1950'li yıllarda ortaya çıkan SYM'ler son 20 yılda yaygın olarak kullanılan bir ürün haline gelmiştir. SYM, yer yüzeyi ile ilgili temel bilgiler sağlayan Dünya yüzeyinin 3 boyutlu sayısal bir temsilidir (Guth, 2006). SYM ve bu üründen türetilen diğer veriler (eğim, bakı, drenaj ağı, eğrilik, topografik indeks, vb.), birçok uygulama için önemli topografik ürünlerdir (Wolock ve Price, 1994; Mukherjee vd., 2013). SYM'ler, doğal ve kültürel mirasların korunması ve yönetimi, yer bilimleri, askeri uygulamalar, mühendislik alanı, kent yönetimi, üç boyutlu görselleştirme gibi birçok alanında temel ihtiyaç olarak görülmekte ve sıklıkla kullanılmaktadır (Sele, 2019). SYM, ilk ortaya çıktığı günden bugüne farklı teknikler kullanılarak üretilmektedir, bu teknikler; stereo görüntüler kullanılarak fotogrametri (San ve Suzen, 2005; Hohle, 2009), RADAR interferometri tekniği (Kervyn, 2001), havadan lazer tarama (Favey vd., 2003), havadan stereo görüntü (Schenk, 1996) ve eşyükselti eğrilerinin enterpolasyonu kullanarak üretilen topografik haritalar (Wilson ve Gallant, 2000) olarak sıralanabilir (Taud vd., 1999). SYM üretimi için kullanılan geleneksel

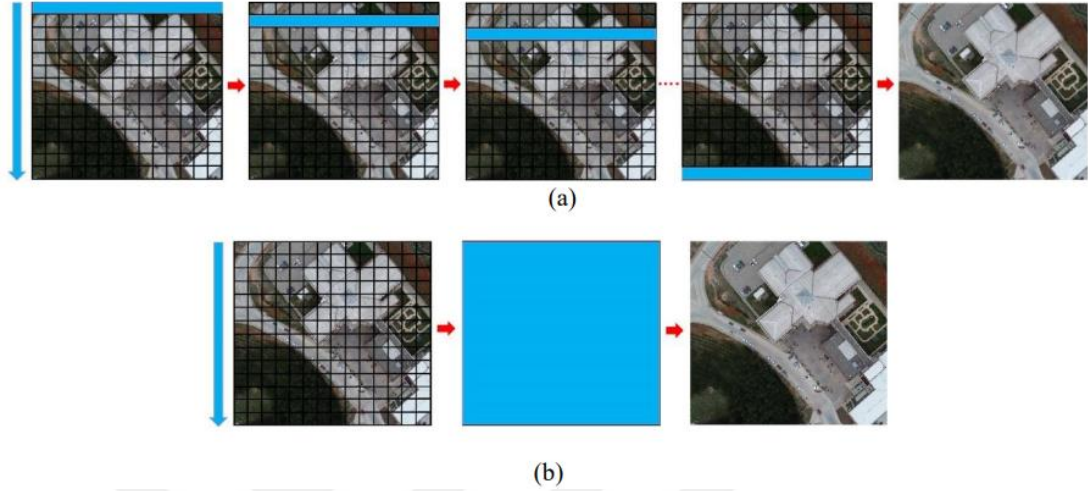
yöntemler, arazi çalışmaları gerektirmesi sebebiyle maliyetli ve zaman alıcıdır. LİDAR, RADAR, havadan lazer tarama gibi insanlı uçuş platformları geniş alanların SYM üretiminde güçlü bir araç haline gelse de bu platformların ana dezavantajı, özellikle küçük çalışma alanlarında oldukça maliyetli olmasıdır. Son yıllarda bu dezavantajı aşmak için SYM üretiminde İHA Sistemleri yaygın olarak tercih edilmektedir (Uysal vd., 2015).

Ortomozaik; resimlerde meydana gelen hataların (eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkları) giderildiği ve dik iz düşürüldüğü sayısal görüntüler olarak tanımlanmaktadır. Ortomozaik görüntüler araziye birebir olarak temsil ettiği için birçok alanda altlık görüntü olarak kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 2018). Ortomozaik haritalar, ilgili alana ait uydu fotoğrafları veya havadan çekilmiş görüntülerin, o alana ait üretilmiş sayısal yükseklik modelleri (SYM) ile ilişkilendirilmesiyle elde edilmektedir. Ortomozaik haritalar, topoğrafyayı gerçeğe oldukça yakın bir biçimde temsil etmelerinden dolayı birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Ortomozaik görüntüler, hava fotoğraflarından farklı olarak, sahip oldukları yüksek konum doğruluğu sebebiyle yatay mesafe, açı ve alan ölçmeleri gerektiren disiplinlerde kullanılabilmektedirler (Smimard, 1997; Erden, 2006; Yılmaz vd., 2013). Bu özelliklerinden dolayı ortomozaik haritalar CBS tabanlı uygulamalar için oldukça kullanışlı bir altlıktır (Rossi, 2004; Erden, 2006).

3.5.1 Görüntü yürümesi

Kültürel miras alanları, maden ocakları, tarım ve şehir alanları gibi küçük ve orta büyüklükteki alanların haritalanması ve 3B modellerinin üretilmesi gibi fotogrametrik uygulamalarda ticari İHA kullanımına gün geçtikçe artan bir ilgi vardır. Küçük boyutlu ticari İHA'ların temel avantajlarına (düşük maliyet, kolay taşınabilirlik, kullanım kolaylığı) ek olarak bu İHA'lar diğer tekniklerle yarışabilecek doğrulukta ürünler verme yeteneğine sahiptirler. Ancak hafif ve maliyetlerinin uygun oluşu sebebiyle genellikle görüntü yürümesine yol açan rolling shutter kameralar ile donatılmaktadırlar ve bu kameralarda yapılan görüntülemelerde, fotoğraf bir kerede ve tamamen algılanmak yerine satır satır okunarak kaydedilmektedir (Kurczyński ve Bielecki, 2017; Şekil 3.8). Bu durum, mevcut fotogrametri yazılım paketlerini kullanarak yüksek doğrulukta ürünler elde etmek söz konusu olduğunda önemli bir engel olarak görülmektedir (Vautherin vd., 2016).

Görüntü yürümesi, hava fotoğraflarının alımında pozlama esnasında, objektifin açık kaldığı süre boyunca uçağın hareket halinde olması sebebiyle bir noktaya ait görüntünün nokta yerine çizgi şeklinde ifade edilmesiyle ortaya çıkan bir durumdur (Yaşayan vd., 2011).



Şekil 3.8. a) Rolling shutter tipi kamera ile görüntüleme b) Global shutter tipi kamera ile görüntüleme (İncekara ve Şeker, 2021).

Bu durum, hızlı hareket eden nesnelerin görüntülenmesinde, sensörün bulunduğu platformun görüntüleme esnasında yüksek hızda hareket etmesi veya sensörün titremesi sebebiyle meydana gelerek görüntülerde geometrik bozulmalara yol açabilmektedir. Bu etkiden dolayı bozulmuş görüntülerin fotogrametri yazılımında işlenmesi esnasında, görüntü yürümesi ya da piksel yer değiştirmesi, görüntü eşlenmesi adımı bazı sorunlara ve dolayısıyla kamera parametrelerinin yanlış hesaplanmasına sebep olmaktadır. Yanlış ya da hatalı hesaplanan kamera parametreleri ise elde edilen fotogrametrik ürünlerin düşük doğruluğa sahip olmasına neden olmaktadır (URL-5).

Ardışık çekilen iki fotoğraf arasında geçen süre (Δt), platform hızına (V) ve baz uzunluğuna (B) bağlı olarak Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Yaşayan vd., 2011);

$$\Delta t = \frac{B(m)}{V(\frac{m}{s})} \quad (3.1)$$

Rolling shutter kamera nedeniyle meydana gelen görüntü yürümesi ise Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmaktadır (Kurczyński ve Bielecki, 2017);

$$\Delta = \frac{V \cdot \tau \cdot f}{r \cdot H} \quad (3.2)$$

Burada, Δ görüntü yürümesini (piksel yer değıştirmesi), V platform hızını, τ sensörün pozlama süresini, f kameranın odak uzaklığını, r piksel boyutunu ve H ise uçuş yüksekliğini veya sensör ile obje arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Örnek olarak, 8 m/s hızla ve yerden 70 m yükseklikte uçan ve 74 milisaniye (ms) pozlama süresi olan bir DJI Phantom 2 İHA için, rolling shutter etkisi yaklaşık 10 piksellik bir yer değıştirmeye neden olmaktadır. Bu, İHA'nın görüntü çekimi sırasında yaklaşık 60 cm hareket ettiğı anlamına gelmektedir. Öte yandan, DJI Inspire 1 İHA için piksel yer değıştirmesi çok daha kısa pozlama süresi (30 ms) sayesinde yaklaşık 4 pikseldir (Vautherin vd., 2016).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Çalışma Bölgesi

Tez çalışması kapsamında çalışma alanı olarak Aksaray ilinin yaklaşık 40 km kuzeydoğusunda bulunan Ortaköy ilçesi Hacımahmutuşağı (E:38° 44', B:33° 56') beldesinde yaklaşık 15 hektarlık bir açık maden ocağı seçilmiştir (Şekil 4.1). Belirlenen alan bir mermer sahası olup yarma ve dolgular mevcuttur.



Şekil 4.1. Çalışma alanı olarak seçilen mermer üretim sahası.

Çalışma alanı olarak seçilen bölgede yükseklik değerleri 1409 m ile 1444 m arasında değişmekte olup yaklaşık 35 metre yükseklik farkları bulunmaktadır. Seçilen alanda sık ağaçlar ve yüksek gerilim hatlarının bulunmaması İHA ölçmelerinde kolaylık sağlamıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen mermer sahasında 662812.5 m³ dolgu alanı, 69511.14 m³ yarma alanı, 9107.322 m² stok alanı, 17103 m² fabrika alanı ve 173.171 m² şantiye alanı bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Çalışma alanına ait ortomozaik.

Açık maden ocaklarında kübaj, dolgu miktarı ve dekapaj hesaplamaları için halihazır harita üretiminin yanında İHA verilerinden üretilen ortomozaik, nokta bulutu, SYM'ler ile bu ürünlerden elde edilen 3B modellerden yararlanılmaktadır (Akbostancı, 2019; Şekil 4.2).

4.2 Verilerin Elde Edilmesi

4.2.1 Donanım

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uçuşlarda DJI Mavic II Pro marka İHA kullanılmıştır. Kullanılan İHA dört pervaneli, katlanır özellikte ve 20 megapiksel kamera çözünürlüğüne sahip olup ağırlığı yaklaşık 970 gr, pil ağırlığı ise 297 gr'dır. Maksimum uçuş hızı 20 m/sn, uçuş süresi ise 30 dakikadır ve 10 m/s'ye kadar hızdaki rüzgarlardan etkilenmeyerek uçuşlara olanak sağlamaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. DJI Mavic II Pro (URL-6).

4.2.2 Uçuş planlaması ve İHA veri setleri

Tez çalışmasında uçuş planlarının hazırlanmasında DJI pilot yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda; İHA'ya entegre kamera bilgileri, çalışma alanına göre fotoğraf çekiminin yapılacağı uçuş yüksekliği ile enine ve boyuna bindirme oranı, kamera açısı ile uçuş yapılacak alan çizilerek uçuş planı hazırlanmıştır. Görüntü alımları, rüzgar olmayan, bulutsuz ve güneşli bir havada (Güneş boyunun en az olduğu zaman aralığında) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasında, görüntülerin elde edilmesi amacıyla 7 adet uçuş için hazırlanan uçuş planlarında farklı fotoğraf, kolon ve yer örnekleme aralığında uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan uçuş planları arazide İHA'ya yüklenmek için kaydedilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen 3 numaralı uçuşa ait hazırlanan plan Şekil 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.4. Uçuş planlaması.

Uçuş öncesindeki hazırlık aşamasında İHA'ya entegre kameranın ayarları yapılarak daha önceden belirlenen uçuş planlarına göre çalışma alanına ait görüntüler elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında görüntülerin elde edilmesinde kullanılan İHA'nın otomatik uçuş özelliği sayesinde önceden hazırlanan uçuş planına bağlı olarak belirlenen bindirme oranı, yükseklik ve açılarda görüntüler otomatik olarak çekilmiştir.

Çalışmada GPS/IMU destekli sisteme sahip olan bir insansız hava aracı kullanılmıştır. GPS ve IMU ölçme sistemlerinde son yıllarda yaşanan gelişmeler, iki sistemin birbirleriyle ve sayısal hava kameralarıyla entegre olmasına olanak vermiştir. GPS/IMU sistemi bulunan İHA'lar ile dış yöneltme parametreleri görüntülerin alımı esnasında direkt olarak elde edilebilmektedir (Yiğit vd., 2013). Bu sistemlerde, GPS ile dış yöneltme parametrelerinden resim orta noktasının coğrafi konumu belirlenebilirken (X, Y, Z), IMU sistemiyle de dönüklükler (ω , ψ , κ) hesaplanabilmektedir (Yastıklı, 2004).

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uçuşlara ait bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir. 1 no'lu uçuşta 123 adet, 2 no'lu uçuşta 456, 3 no'lu uçuşta 171, 4 no'lu

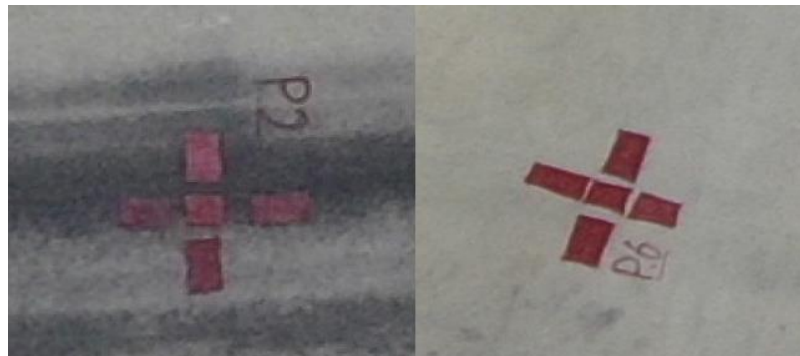
uçušta 527, 5 no'lu uçušta 400, 6 no'lu uçušta 236 ve 7 no'lu uçušta ise 169 adet fotoğraf çekilmiştir.

Çizelge 4.1 Gerçekleştirilen uçuşlara ait parametreler.

Uçuş No	Uçuş Yüksekliği (m)	Bindirme Oranı	Uçuş Açısı (°)
1	120	%80 - %60	90
2	100	%90 - %70	90
3	100	%80 - %60	90
4	100	%80 - %60 (Çift Grid)	90
5	100	%80 - %60	45
6	100	%80 - %60	60
7	Serbest Uçuş		

4.2.3 YKN'lerin tesisi ve ölçülmesi

İHA ile çekilen fotoğraflara ait iç ve dış yöneltmelerinin hesaplanabilmesi, üretilecek olan ortomozaikler, SYM, SAM vb. çıktıların doğruluklarının test edilmesi ve bir referans sisteminde tanımlanabilmesi amacıyla çalışma sahasına homojen olarak dağıtılmış yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır. YKN'ler topografyanın hızlı değiştiği bölgelerde (>50m) söz konusunu noktalar arasındaki mesafe en fazla 250 m olacak şekilde tesis edilmiştir. Kontrol noktalarının arazide tesis edilmesi esnasında, bu noktaların İHA ile çekilen fotoğraflardan ayırt edilebilecek renk ve büyüklüğe sahip olması gerekmektedir. Uçuş işlemleri öncesinde bu noktaların yerlerinin belirlenerek arazide tesis edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında tesis edilen yer kontrol noktalarına ait örnekler Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan YKN örnekleri.

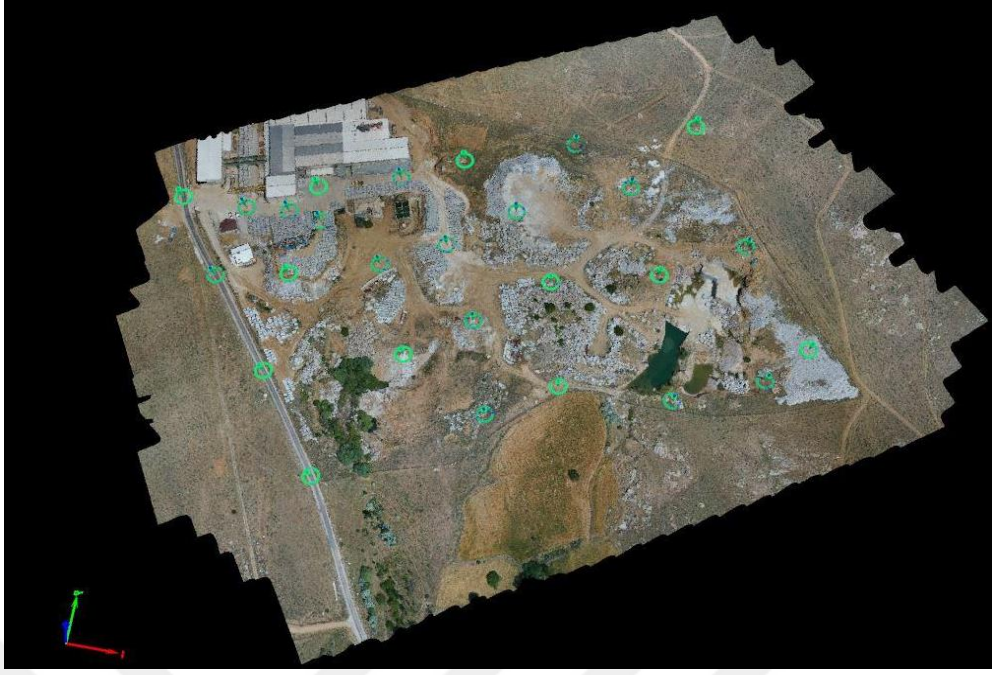
Uçuşlardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla çalışma sahasına tesis edilen 27 adet YKN çift frekanslı CHC I80 GNSS alıcısı kullanılarak ITRF96

datumunda UTM 33-3 koordinat sisteminde Ağ-RTK yöntemi ile 1 saat aralıklı olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6). YKN'lere ait kesin koordinatlar iki ölçme sonucunda elde edilen koordinat değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. CHC I80 GNSS alıcısı (URL-7).

İHA kullanılarak elde edilen fotoğraflarda görünürlüğün artırılması amacıyla, kontrol noktaları asfalt ve toprak zemin üzerinde koyu zemin üzerine açık ve 20 x 20 cm'lik kare, karenin 20 cm uzağında kanatların eni 20 cm boyu 40 cm olan dikdörtgenler biçiminde hazırlanmıştır. YKN'ler açık alanlarda tesis edilmiş olup, bu görüş konisi içinde bina, ağaç gibi herhangi bir engel bulunmamasına ve engel bulunması durumunda engel yüksekliğinin 1.5 katı ötesine işaretleme yapılmasına dikkat edilmiştir (MAPEG, 2021; Şekil 4.7).



Şekil 4.7. YKN'lerin çalışma alanı üzerindeki dağılımları.

YKN'lerin çalışma alanı üzerinde konumları Şekil 4.7'de, YKN'lere ait koordinatlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Çalışma alanına tesis edilmiş olan YKN koordinatları.

N. No	X	Y	Z	N. No	X	Y	Z
P1	581394.17	4289365.41	1426.80	P15	581820.50	4289266.91	1426.00
P2	581440.54	4289302.44	1421.33	P16	581887.44	4289295.47	1433.72
P3	581501.13	4289230.88	1415.30	P17	581916.44	4289326.63	1437.62
P4	581560.51	4289155.34	1409.77	P18	581856.63	4289405.52	1440.56
P5	581448.38	4289366.25	1426.53	P19	581792.77	4289369.51	1433.24
P6	581483.86	4289370.21	1426.56	P20	581708.86	4289346.61	1431.66
P7	581501.02	4289397.12	1426.77	P21	581669.45	4289400.83	1439.45
P8	581511.69	4289366.14	1426.40	P22	581756.54	4289442.42	1438.85
P9	581499.62	4289314.08	1426.01	P23	581704.08	4289476.25	1434.54
P10	581568.49	4289338.87	1421.78	P24	581615.78	4289444.08	1432.14
P11	581607.08	4289264.65	1422.27	P25	581618.66	4289365.36	1426.66
P12	581655.18	4289302.90	1426.89	P26	581566.65	4289419.34	1426.68
P13	581681.32	4289227.58	1425.08	P27	581799.74	4289508.72	1444.21
P14	581731.95	4289262.20	1422.99				

Çalışma alanında GNSS tekniği kullanılarak elde edilen detay noktaları, İHA ile çekilen hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutları ile karşılaştırma yapılması amacı ile kullanılmıştır. GNSS alıcısı kullanılarak ölçülen detay noktalarının çalışma alanındaki dağılımının ortomozaik üzerinde gösterimi Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.8. Detay noktalarının çalışma alanında dağılımı.

4.3 Verilerin İşlenmesi

4.3.1 Hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirilmesi

Çizelge 4.2’de verilen uçuşlara ait verilerin değerlendirilmesinde ticari bir yazılım olan Pix4D Mapper ve Agisoft Metashape yazılımları kullanılmıştır. Görüntülerin ön hazırlık işlemleri ile nokta bulutu ve SYM üretimi Pix4D yazılımında gerçekleştirilmiştir. İHA ile elde edilen görüntülerin işlenmesinde Pix4D yazılımı ile aşağıda bulunan adımlar izlenerek değerlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

- Ön hazırlık işlemleri
- Kalite raporunun (fotogrametrik triyagölasyon işlemi sonuçları) analizi
- Nokta bulutu ve mesh üretimi
- Sayısal yüzey ve yükseklik modeli, ortomozaik ve indeks üretimi

Tez kapsamında gerçekleştirilen değerlendirme işlemlerinde ön hazırlık işlemlerine başlanmadan önce görüntülerin değerlendirildiği projelerin referans datumu ve koordinat sistemi ITRF-TM-33-3 olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, ön hazırlık işlemleri sırasında bindirmeli olarak çekilen görüntüler girdi olarak verildikten sonra

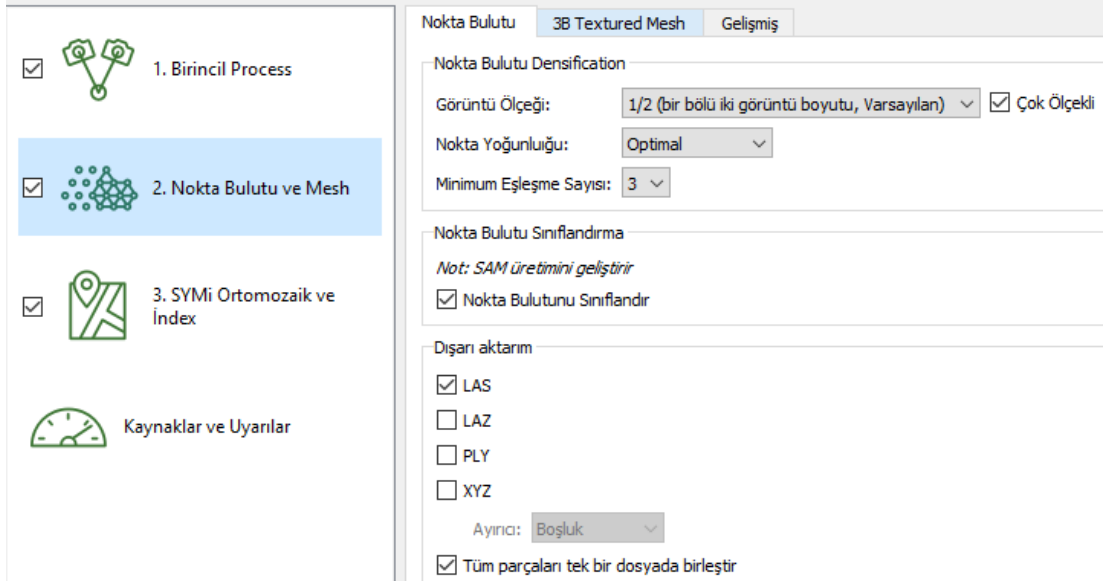
görüntülerdeki ortak noktalar kullanılarak görüntüler eşleştirilmektedir. Bu aşamada kullanılan yazılım, değerlendirme öncesinde görüntü çözünürlüğü, görüntülerdeki eşleme noktalarının sayısı ve kamera kalibrasyon parametreleri vb. seçenekleri değiştirerek değerlendirme süresini ayarlama imkanı vermektedir. Projenin ön hazırlık aşamasında değerlendirme stratejisine ait belirlenen işlem parametreleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

Şekil 4.9. Pix4D ön hazırlık işlem parametreleri.

Değerlendirme işlemine ait parametreler belirlendikten sonra görüntülerdeki ortak noktalar yazılım tarafından otomatik olarak belirlenerek görüntülerin eşleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Görüntü eşleme işlemlerinden sonra girdi verilerinin kontrol edilmesi amacıyla YKN kullanılmadan bir kalite raporu üretilmektedir. Yazılım tarafından üretilen kalite raporunda, görüntülerdeki ortak nokta sayısı, veri seti, kamera optimizasyonu, eşleşme ve eğer kullanıcı tarafından YKN’ler yüklendiyse geo referanslandırma sekmeleri kontrol edilmektedir. Bu aşamadan sonra yazılıma YKN’lerin çalışma alanında GNSS tekniğiyle ölçülen koordinat değerleri girilmiş ve her bir kontrol noktası için görüntüler üzerinde YKN’lerin zemin üzerindeki konumları işaretlenmiştir. Kontrol ve denetleme noktalarına ait KOH değerlerinin kontrol edilmesi amacıyla yeniden bir görüntü eşleme işlemi başlatılmıştır ve değerler kontrol edilmiştir. Elde edilen izdüşüm koordinatları ve elipsoit yükseklikleri arasındaki farklar, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)’nde belirtilen sınırlar (± 7 cm) içerisinde kalmıştır (BÖHHBÜY, 2018). Kontrol ve denetleme noktalarının KOH değerlerinin belirtilen sınır değerleri

içerisinde kaldığı için yoğun nokta bulutu üretimine geçilmiştir. Bu aşamada, oluşturulacak olan yoğun nokta bulutu ve SYM verileri için belirlenen parametreler ve istenen çıktıların formatlarıyla ilgili özellikler seçilebilmektedir. 1. aşamada üretilen nokta bulutunun yoğunluğunu arttırılarak SYM ve ortomozaik için daha yüksek doğruluk sağlanmaktadır.

Yapılan çalışmada nokta bulutu ve SYM üretimi aşamasında görüntü çözünürlüğü olarak bir pikselin yarısı ($\frac{1}{2}$) ayarlanmıştır. Üretilecek nokta bulutunda kullanılacak olan noktaların yoğunluğu, istenilen işlem süresine göre hızlı (nokta sayısı az), optimum ya da yavaş (nokta sayısı fazla) olarak seçilebilmektedir. Bu çalışmada ortalama sürede görüntü işlenmesi amacıyla optimum ayar tercih edilmiştir. Otomatik eşleme için gereken minimum nokta sayısı en az 3 olacak şekilde belirlenmiştir. Eşleme için gereken nokta sayısı arttırıldığında her bir görüntü için aranan eş sayısı artacağından işlem süresi uzayacak fakat daha doğru eşleşme olanağı olacaktır. Üretilecek nokta bulutu üzerine giydirilecek doku ayarı orta çözünürlükte olacak şekilde seçilmiştir. Yazılımda istenilen çıktılara ait formatlar nokta bulutu için LAS, LAZ, PLY, XYZ formatlarında nokta bulutundaki her bir nokta için X, Y, Z ve renk bilgisi içerecek şekilde, doku giydirilmiş 3 boyutlu görüntü için ise PLY, FBX, DXF, OBJ gibi farklı uzantılarda üretilebilir (Kılınçoğlu, 2016). Bunlardan LAS, LİDAR dosya formatı, LAZ, sıkıştırılmış LİDAR dosyası, PLY uzantısı poligon dosya formatı ve XYZ uzantısında alınan çıktılar ise ASCII metin formatında üretilmektedir. Nokta bulutu ve mesh üretimi aşamasında seçilen parametrelere ait görsel Şekil 4.10 verilmiştir.



Şekil 4.10. Pix4D nokta bulutu üretimi işlem parametreleri.

4.3.2 Kalite değerlendirmesi

4.3.2.1 Uçuş parametrelerine göre değerlendirme

Farklı uçuş parametreleri kullanılarak üretilen ortomozaikler üzerinden hesaplanan denetleme noktalarının koordinatları ile çalışma alanında GNSS tekniği kullanılarak ölçülen 12 adet denetleme noktasına ait koordinatlar doğruluk analizi için karşılaştırılmıştır. Ortomozaikler üzerinden hesaplanan denetleme noktalarının yatay ve düşey yöndeki KOH değerleri 4.1 ve 4.2’de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Üretilen SYM’ler üzerinde denetleme noktalarına karşılık gelen yükseklik değerleri ArcGIS yazılımının “raster calculator” aracı yardımıyla elde edilerek GNSS tekniği ile elde edilen denetleme noktalarına ait yükseklik değerleri ile 4.2’de verilen eşitlik yardımıyla karşılaştırılmıştır.

$$\mu_{xy} = \sqrt{\frac{\mu_x^2 + \mu_y^2}{2}} \quad (4.1)$$

$$\mu_z = \sqrt{\frac{\sum \Delta z_i^2}{n_z}} \quad (4.2)$$

Denetleme noktalarına ait KOH değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Denetleme noktalarına ait KOH değerleri.

Uçuş No	Uçuş Parametreleri			Ortomozaiik (cm)			SYM (cm)
	Yükseklik	Bindirme Oranı	Açı (°)	KOH X	KOH Y	KOH XY	KOH Z
1	100	80x60	90	1.63	2.82	2.30	5.30
2	100	80x60 çift grid	90	1.70	2.31	2.03	5.84
3	100	80x60	45	1.68	1.33	1.52	5.27
4	100	80x60	60	1.40	2.16	1.82	3.87
5	100	90x70	90	1.34	1.62	1.49	5.42
6	120	80x60	90	1.23	2.45	1.94	5.86
7	100	80x60	60-90	1.63	1.70	1.67	4.84

Çizelge 4.3’de verilen ortomozaiiklere ait KOH değerleri incelendiğinde, en düşük hata değerinin 90x70 bindirme oranı ile çekilen görüntülerde olduğu görülmektedir. Ayrıca 45⁰ açı ile çekilen görüntülerden üretilen ortomozaiiklere ait hata değerlerinin 90x70 bindirme oranından elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu ve aralarında sadece 3 mm’lik bir fark olduğu görülmektedir.

SYM’lere ait düşey KOH değerleri incelendiğinde, ortomozaiik üzerinde hesaplanan değerlerin aksine 60⁰ uçuş açısı ile çekilen fotoğraflardan üretilen SYM’lerin 45⁰ ve 60⁰-90⁰ açılı uçuşlara oranla daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir.

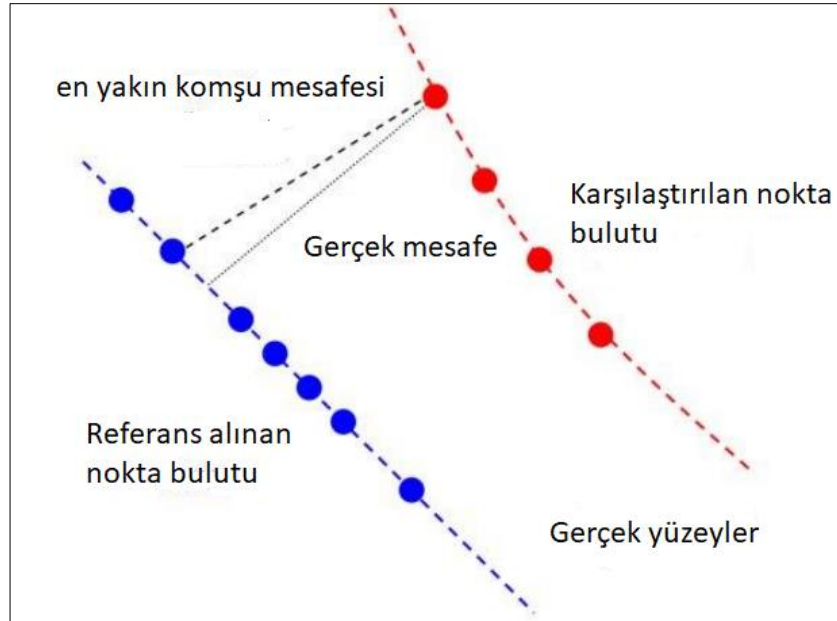
Pix4D yazılımında dengeleme işlemi sonucunda üretilen kalite raporlarındaki denetleme noktalarının koordinatları GNSS tekniği ile ölçülen denetleme noktalarının koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Kalite raporunda hesaplanan denetleme noktalarına ait KOH değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kalite raporlarındaki denetleme noktalarının KOH değerleri.

Uçuş No	Uçuş Parametreleri			KOH (cm)		
	Yükseklik	Bindirme Oranı	Açı (°)	X	Y	Z
1	100	80x60	90	1.63	2.83	4.60
2	100	80x60 çift grid	90	1.69	2.32	4.39
3	100	80x60	45	1.68	1.32	3.06
4	100	80x60	60	1.38	2.17	3.93
5	100	90x70	90	1.33	1.61	4.14
6	120	80x60	90	1.23	2.45	3.24
7	100	80x60	60-90	1.63	1.69	3.45

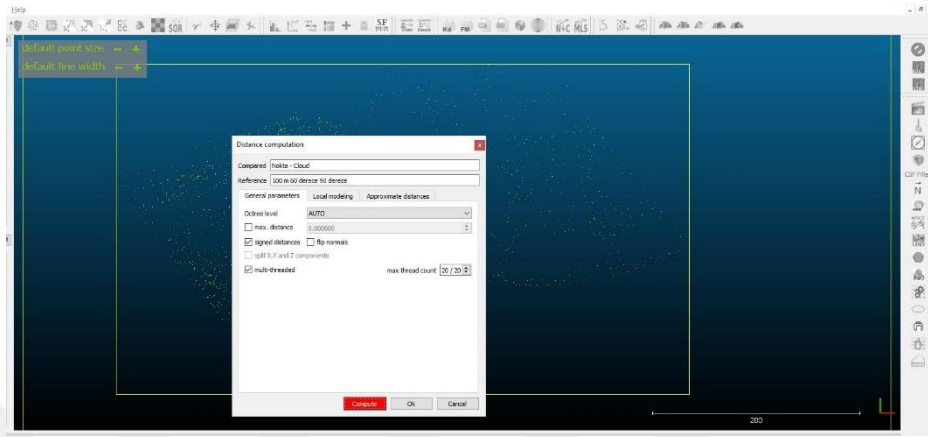
Çizelge 4.4’de verilen değerler incelendiğinde, yatay bileşendeki KOH değerlerinin 4.1 ve 4.2’deki eşitlikler kullanılarak elde edilen değerlerle yakın olduğu görülmektedir. Bu sebeple ortomozaik üzerinden hesaplanan KOH değerleri ile yazılım üzerinden kalite raporunda hesaplanmış olan denetleme noktalarının KOH değerlerinin benzerlik göstermesi yazılımın da benzer bir işlem algoritmasına sahip olduğunu göstermektedir. Yüksekliğe ait KOH değerleri incelendiğinde ise en yüksek doğruluğun 45⁰’lık açı ile çekilen görüntülerden elde edildiği görülmektedir. En yüksek hata değeri ise 1 no’lu uçuşta elde edilmiştir.

CloudCompare açık-kaynak kodlu, yoğun nokta bulutu ve mesh modellerin düzenlenip işlenebildiği bir yazılımdır. Genellikle farklı teknikler kullanılarak elde edilen veri grupları arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır (Sarıtürk ve Şeker, 2017; Şekil 4.11). Bu tez kapsamında, çalışma alanında farklı uçuş parametreleri kullanılarak oluşturulan yoğun nokta bulutları ve GNSS tekniği ile elde edilen detay noktaları “Cloud to Cloud Distances” aracı ile karşılaştırılmıştır. Yazılımda yoğun nokta bulutu ve detay noktaları arasındaki mesafelerin hesaplanmasında “en yakın komşu- nearest neighbor” algoritması kullanılmakta ve karşılaştırılan bulutun her noktası için, CloudCompare referans olarak verilen detay noktalarındaki en yakın noktayı arayarak iki nokta arasındaki Öklid mesafesini hesaplamaktadır.



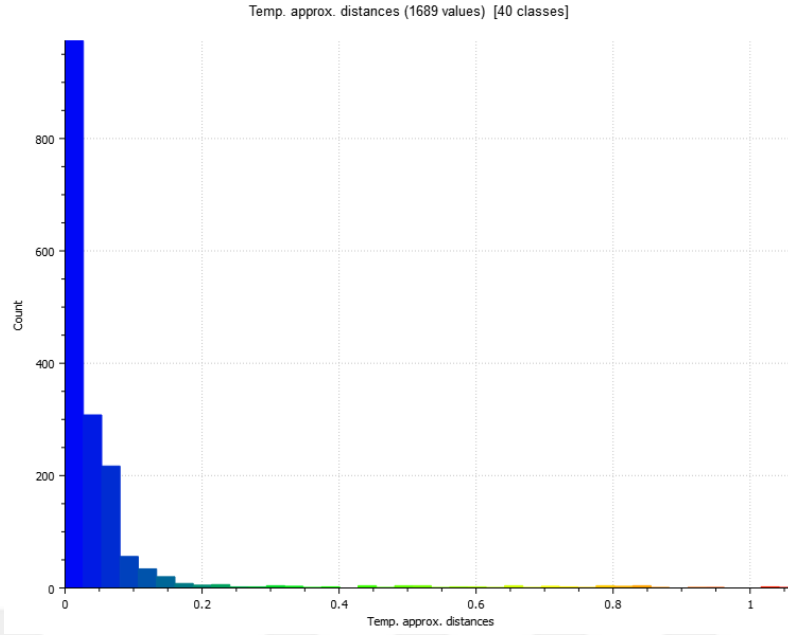
Şekil 4.11. CloudCompare iki bulut arasındaki mesafe karşılaştırması (URL-3’ten Türkçeleştirilerek).

Bu amaçla, Pix4D yazılımında üretilen LAS uzantılı yoğun nokta bulutları TUREF-TM33 koordinat sisteminde dışarı aktarılmış ve GNSS tekniği ile elde edilen detay noktalarına ait X, Y ve Z değerleri ile birlikte CloudCompare yazılımında içeri aktarılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Nokta bulutu ve detay noktalarının CloudCompare yazılımında gösterimi.

Şekil 4.13’de 100 m, 45⁰, 80x60 bindirme oranına sahip uçuşa ait görüntüler kullanılarak üretilen nokta bulutu ve GNSS tekniği ile ölçülen 1300 nokta arasındaki ortalama uzaklıklar ve nokta sayılarına (count) ait histogram verilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen histogram incelendiğinde farkların ± 1 cm arasında değiştiği ve çoğunlukla 0’a yakın değerlerde yoğunlaştığı gözükmemektedir. Bu bulgulara göre karşılaştırılan iki veri grubu arasında yüksek bir uyum olduğu söylenebilmektedir. Tüm uçuşlardan üretilen nokta bulutları ile detay noktaları arasındaki ortalama uzaklık değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.13. İki veri grubu arasındaki ortalama mesafeler.

Çizelge 4.5. Nokta bulutları ve detay noktaları arasındaki ortalama uzaklıklar.

Uçuş No	Uçuş Parametreleri			Ort. Uzaklıklar (mean distances) (cm)
	Yükseklik	Bindirme Oranı	Açı (°)	
1	100	80x60	90	8.40
2	100	80x60 çift grid	90	5.91
3	100	80x60	45	5.20
4	100	80x60	60	7.13
5	100	90x70	90	5.93
6	120	80x60	90	7.11
7	100	80x60	60-90	9.33

Nokta bulutuna ait sonuçlar incelendiğinde, 45° uçuş açısı ile çekilen fotoğraflardan üretilen nokta bulutunun diğerlerine oranla daha yüksek bir doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Sadece bindirme oranları incelendiğinde 90x70 bindirme oranının en düşük hata değerine sahip olduğu, uçuş yükseklikleri kendi arasında değerlendirildiğinde ise 120m uçuş yüksekliğinin daha yüksek bir doğruluk sağladığı görülmüştür. Tek ve çift grid uçuşlardan üretilen nokta bulutlarına ait KOH değerleri arasında ± 2 cm’lik bir fark bulunduğu görülmektedir.

4.3.2.2 Kamera kalibrasyon parametrelerinin etkisi

İHA görüntüleri kullanarak yoğun nokta bulutu üreten yazılımlar kamera kalibrasyon bilgilerini otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Yapılan çalışmada ideal resim çekim geometrisine yakın bir geometri kullanılarak hesaplanmış kamera kalibrasyon parametrelerinin sabit olarak değerlendirmeye dahil edilmesi durumunda yoğun nokta bulutu ve SYM'ye etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak 3 numaralı uçuşa (100m, %80-%60, 90⁰, Çizelge 4.1) ait görüntüler Agisoft Metashape yazılımında değerlendirilerek kamera kalibrasyon parametreleri otomatik olarak elde edilmiştir. Daha sonra farklı uçuş yüksekliklerine sahip 1 numaralı (120m, %80 - %60, 90⁰, Çizelge 4.1) ve 4 numaralı (100m, %80 - %60 çift grid, 90⁰, Çizelge 4.1) uçuş ile serbest uçuşa ait görüntüler birlikte değerlendirilerek kamera kalibrasyon parametreleri (odak uzaklığı (f), kalibre edilmiş odak uzaklığı (c)) hesaplanmıştır. Hesaplanan kamera kalibrasyon parametreleri 3 numaralı uçuşa ait görüntülerin tekrar değerlendirilmesinde sabit kabul edilerek yoğun nokta bulutu ve SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. 3 numaralı uçuşa ait otomatik ve önceden kalibre edilmiş kamera kalibrasyon parametreleri kullanılarak üretilen nokta bulutu CloudCompare yazılımında, SYM ise ArcGIS yazılımında denetleme noktaları ile karşılaştırılmıştır. Üretilen fotogrametrik ürünler ile denetleme noktaları arasındaki ortalama mesafeler ve ürünlere ait KOH değerleri hesaplanarak Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Kalibrasyon parametrelerinin fotogrametrik ürünlere etkisi.

	Nokta bulutu		SYM
Kalibrasyon parametreleri	Ort. Mesafe (cm)	KOH (cm)	KOH (cm)
Otomatik	8.40	12.60	5.3
Önceden kalibre edilmiş	7.70	12.60	3.4

Çizelge 4.6'da verilen ortalama mesafeler ile nokta bulutu ve SYM'ye ait KOH değerleri incelendiğinde, nokta bulutu ve SYM için önceden kalibre edilmiş parametreler kullanıldığında yaklaşık ± 1 cm daha yüksek doğruluk elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle, kalibrasyon işlemi önceden gerçekleştirildiğinde hem nokta bulutunda hem de SYM'de daha yüksek hassasiyet elde edildiği açıkça görülmektedir.

4.3.2.3 Görüntü yürüme (Rolling shutter) etkisi

Bu çalışmada kullanılan İHA rolling shutter kameraya sahiptir. Bu nedenle elde edilen tüm görüntüler satır satır alınmakta ve görüntünün tamamı aynı anda kaydedilememektedir. Bu nedenle, rolling shutter etkisinin değerlendirmeden önce modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu tez çalışması kapsamında 100 m yükseklik ve 80x60 bindirme oranı, 120 m yükseklik ve 80x60 bindirme oranı ve 100 m yükseklik ve çift grid olarak çekilen görüntüler bu etkinin modellendiği ve modellenmediği iki durumda da Agisoft Metashape yazılımında değerlendirilmiştir ve tüm uçuşlarda aynı uçuş hızı kullanılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Görüntü yürümesine ait hesaplanan değerler.

Uçuş param.	Rolling shutter	KOH X (cm)	KOH Y (cm)	KOH Z (cm)	Toplam (cm)	Görüntü (piksel)	KOH (Z) SYM (cm)
100m 80x60	–	2.61	1.92	6.70	7.44	0.81	5.30
	✓	1.99	2.03	6.18	6.80	0.81	4.36
120 m 80x60	–	3.29	2.83	6.22	7.59	0.52	5.86
	✓	3.27	2.82	6.22	7.57	0.52	2.28
100m DG	–	3.17	1.81	4.60	5.88	0.80	5.84
	✓	2.07	1.55	4.49	5.18	0.70	5.41

Çizelge 4.7’de verilen değerler incelendiğinde, her 3 uçuşta da rolling shutter etkisi modellendiğinde denetleme noktalarındaki KOH’nin azaldığı görülmektedir. 120 metre yükseklikten alınan görüntülerde yatay ve düşey yönlerde önemli bir değişiklik olmamasına rağmen, diğer uçuşlarda bu etkinin X bileşeninde 1 cm, düşey yönde ise 0,5 cm değerlerine ulaştığı görülmektedir. Çizelge 4.7’de verilen SYM’lerin yükseklik bileşenine ait KOH değerleri incelendiğinde, Rolling shutter etkisi modellendiğinde bu durumun sonuçlara olumlu yansıdığı ve en yüksek etkininde 120m uçuş yüksekliğinde (± 3.58 cm) elde edildiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez çalışmasında farklı uçuş parametrelerinin İHA fotogrametrisi ile üretilen fotogrametrik ürünler (ortomozaik, nokta bulutu ve SYM) üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle, farklı yükseklik, bindirme oranı ve açılarda toplam 7 adet uçuş gerçekleştirilmiştir ve elde edilen görüntüler Agisoft MetaShape ve Pix4D Mapper yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Uçuşlardan elde edilen verilerin değerlendirilme işlemlerinde çalışma alanına tesis edilmiş olan 27 adet YKN'den yararlanılmış ve çalışma alanı ile tesis edilen YKN'ler Ağ-RTK tekniği ile ölçülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında İHA ile yapılan uygulamalar maddeler halinde, elde edilen bulgu ve sonuçlar ise alt maddeler halinde özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen İHA görüntüleri Pix4D Mapper yazılımı ile değerlendirilmiş ve her bir uçuş için ortomozaik, SYM'ler üretilmiş ve yazılıma ait kalite raporları elde edilmiştir. Elde edilen ürünlerin doğruluk analizi aşamasında GNSS tekniği ile ölçülen 12 denetleme noktasının koordinatları kullanılmış ve fotogrametrik ürünlerin yatay ve düşeydeki doğrulukları elde edilmiştir.

- Tüm uçuşlardan elde edilen ortomozaiklere ait hata değerleri incelendiğinde, 90x70 bindirme oranı ile çekilen görüntülerin en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Ayrıca 45⁰ açı ile çekilen görüntülerden üretilen ortomozaiklere ait hata değerlerinin 90x70 bindirme oranı değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Üretilen SYM'lere ait düşey KOH değerleri incelendiğinde, ortomozaik ve kalite raporundan hesaplanan değerlerin aksine 60⁰ uçuş açısı ile çekilen fotoğraflardan üretilen SYM'lerin 45⁰ ve 60⁰-90⁰ açılı uçuşlara oranla daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir.
- Elde edilen bulgulara göre çalışma alanında bindirme oranının daha geniş olmasının ve eğik görüntü alımının daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Buna sebep olarak artan bindirme oranının görüntü eşleştirilmesini iyileştirmesi ve daha iyi bir hava triyangülasyonu sağlaması olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak eğik çekim yapılan görüntülerde daha iyi sonuçlar elde edilmesinin, çalışma alanında görüntü alım açısıyla güneş ışınlarının uygun olması ve eğik çekim yapıldığında dik alıma göre daha fazla

görüntü elde edilmesi ve bunun sonucunda çalışma alanında daha iyi bir modelleme yapılabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında farklı uçuş parametrelerinin üretilen nokta bulutlarına etkisini belirlemek amacıyla İHA ile elde edilen görüntüler Pix4D Mapper yazılımında değerlendirilmiş ve üretilen nokta bulutları Ağ-RTK GNSS tekniği kullanılarak ölçülen 1300 detay noktasından elde edilen koordinat değerleri CloudCompare yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır.

- Elde edilen bulgulara göre 45⁰ uçuş açısı ile çekilen fotoğraflardan üretilen nokta bulutunun diğerlerine oranla daha yüksek bir doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Sadece bindirme oranları incelendiğinde 90x70 bindirme oranının en düşük hata değerine sahip olduğu, uçuş yükseklikleri kendi arasında değerlendirildiğinde ise 120m uçuş yüksekliğinin daha iyi bir doğruluk sağladığı görülmüştür. Tek ve çift grid uçuşlardan üretilen nokta bulutlarında ise çift gride ait değerlerin tek grid'e oranla daha yüksek doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir.

Kamera kalibrasyon parametrelerinin üretilen nokta bulutu ve SYM'ye etkisinin belirlenmesi amacıyla kamera kalibrasyon parametreleri belirlenen bir uçuş için otomatik ve önceden kalibre edilmiş olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen değerler GNSS tekniği kullanılarak ölçülen detay noktaları ile CloudCompare yazılımı kullanılarak karşılaştırılmış ve iki model arasında bulunan uzaklık ve KOH değerleri hesaplanmıştır.

- Veri grupları arasında hesaplanan ortalama mesafe ve hata değerleri incelendiğinde, tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda nokta bulutu ve SYM için önceden kalibre edilmiş parametreler kullanıldığında yaklaşık ± 1 cm daha yüksek doğruluk elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle, kalibrasyon parametreleri önceden hesaplandığında fotogrametrik ürünlerde daha hassas sonuçlar elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Rolling shutter etkisinin üretilen fotogrametrik ürünlere etkisinin belirlenmesi amacı ile farklı uçuş parametreleri kullanılarak çekilen görüntüler bu etkinin modellendiği ve modellenmediği iki durumda da değerlendirilmiştir.

- Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre farklı uçuş parametrelerine sahip her 3 uçuşta da rolling shutter etkisi modellendiğinde üretilen fotogrametrik ürünlerin hassasiyetinin yükseldiği belirlenmiştir. Tez kapsamında elde edilen önemli sonuçlardan biri de düşük maliyetli kamera kullanılan İHA’larda rolling shutter etkisi modellendiğinde hata oranının ciddi bir biçimde düşerek doğruluğun arazi ölçmelerinde kullanılacak seviyelere gelmesidir. Ayrıca, rolling shutter etkisinin modellenmesi kullanıcı açısından ek bir maliyet yaratmamakta sadece değerlendirme süresini arttırmaktadır.



KAYNAKLAR

- Agisoft, 2021. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.7
Publication date 2021, Agisoft LLC.
- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. ve Martínez-Carricondo, P., 2017. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle, *Measurement*, 98, 221–227.
- Akay, S. S. ve Özcan O., 2017. Volumetric comparison of uavbased point clouds generated from various softwares, *International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences*, Çanakkale, Türkiye, 240.
- Akay, S. S., Özcan, O., Şanlı, F. B., Bayram, B. ve Görüm, T., 2019. İHA görüntülerinden üretilen verilerin doğruluk değerlendirmesi, 10. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, TUFUAB 2019, 106-110.
- Akbostancı, T., 2019. Maden sahalarında agrega stoklama alanlarında hacimsel ölçme yöntemlerinin performans değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Altun, A. T., 2019. İnsansız hava araçları verilerinden üretilen ortogörüntülerin geometrik doğruluğunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Atak, H., 2018. İnsansız hava araçları kullanarak ortomozaik harita üretimi ve doğruluk analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Atik, M. E., Güngör, Ö., Keskin, E. ve Duran, Z. 2022. Fotogrametrik nokta bulutu verisinin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9, 2, 137-149.
- Avdan, U., Şenkal, E., Çömert, R. ve Tuncer, S., 2014. İnsansız hava aracı ile oluşturulan verilerin doğruluk analizi. 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17.
- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L. ve Limongiello, M., 2019. Accuracy assessment of 3D photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle, *Drones*, 3, 4, 79.
- Boufama, B., Mohr, R. ve Veillon, F., 1993. Euclidean constraints on uncalibrated reconstruction, *Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Vision*, Berlin, Germany, 466–470.
- BÖHMBÜY, 2018. Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, No :2018/11962, Ankara.
- Collier, O., 2002. The impact on topographic mapping of developments in land and air survey: 1900-1939, *Cartography and Geographic Information Science*, 29, 3, 155-174.
- Çallı, R., 2021. İHA sistemleri ile elde edilen ortomozaik haritaların doğruluk değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat.

- Çaşkurlu, T. H., 2021. Bina rölevesi kapsamında yersel lazer tarama ve insansız hava araçları yardımıyla üretilen verilerin doğruluk analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S. N. G., Oğuz, G. M. ve Kanun, E., 2020. SfM tekniği ile oluşturulan 3B modellerin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılması: Gözne Kalesi örneği, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2, 1, 22-27.
- Çetin, O., 2019. Hava fotoğrafları ve insansız hava aracı görüntülerinden arazi topoğrafyası ölçümü, sonuçların analizi ve karşılaştırması (Haymana Yeşilyurt köyü uygulaması), Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Çömert, R., Avdan, U. ve Şenkal, E., 2012. İnsansız Hava Araçlarının kullanım alanları ve gelecekteki beklentiler. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim 2012, Zonguldak
- Deliry, S. I., 2020. Mühendislik ölçmelerinde İHA fotogrametrisi ve SfM'nin doğruluk analizi ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dellaert, F., Seitz, S. M., Thorpe, C. E. ve Thrun, S., 2000. Structure from motion without correspondence. In Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2, 557-564.
- Demirtaş, M. A., 2022. Derin öğrenme ile 3B nokta bulutlarının sınıflandırılmasına genel bir bakış. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 13, 1, 1-9.
- Eisenbeiss, H., 2009. UAV Photogrammetry. Doktora Tezi, Thesis, University of Technology Dresden, ETH Zurich, Switzerland.
- Eltner, A., Kaiser, A., Abellan, A. ve Schindewolf, M., 2017. Time lapse Structure-From-Motion photogrammetry for continuous geomorphic monitoring, Earth Surface Processes and Landforms, 42, 2240–2253.
- Erden, Ö., 2006. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile dijital ortofoto üretimi ve kentsel gelişimin izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdoğan, A., 2016. Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Fahlstrom, P. ve Gleason, T., 2012. Introduction to UAV systems. John Wiley and Sons, USA.
- Favey, E., Geiger, A., Gudmundsson, G. H. Ve Wehr, A., 2003. Evaluating the potential of an airborne laser-scanning system for measuring volume changes of glaciers, Geografiska Annaler: Series A Physical Geography, 81, 4, 555–561.
- Feng, Q., Liu, J. ve Gong, J., 2015. UAV Remote Sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis, Remote Sensing, 7, 1074-1094.
- Förstner, W., 1986. A feature-based correspondence algorithm for image matching, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 26, 150–166

- Furukawa, Y. ve Hernández, C., 2015. Multi-view stereo: A tutorial, *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 9, 1-2, 1-148.
- Gençerk, E. Y., 2016. İnsansız hava aracı fotogrametrisi uygulaması ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Greenwood, W. W., Lynch, J. P. ve Zekkos, D., 2019. Applications of UAVs in Civil Infrastructure, *Journal of Infrastructure Systems*, 25, 2, 04019002.
- Guth, P. L., 2006. Geomorphometry from SRTM – comparison to NED. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 3, 269–277.
- Harris, C. ve Stephens, M., 1988. A combined corner and edge detector. *Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference*, Manchester, 147–151.
- Hohle, J., 2009. DEM generation using a digital large format frame camera. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75, 1, 87–93.
- Honkavaara, E., Saari, H., Kaivosoja, J., Pölönen, I., Hakala, T., Litkey, P., Mäkinen, J. ve Pesonen, L., 2013. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight uav spectral camera for precision agriculture, *Remote Sensing*, 5, 5006–5039.
- ICAO, 2011. Unmanned Aircraft Systems (UAS), International Civil Aviation Organization.
- İncekara, A. H. ve Şeker, D. Z., 2021. Rolling Shutter Effect on the Accuracy of Photogrammetric Product Produced by Low-Cost UAV. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8, 4, 549-553.
- Karkınlı, A. E., Kesikoğlu, A., Kesikoğlu, M.H., Atasever, U.H., Özkan, C., Çivicoğlu, P. ve Beşdok, E., 2015. İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Konya.
- Kervyn, F., 2001. Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less favourable environment, *Computer & Geoscience* 27, 1039–1050.
- Kılınç, Ç. ve Uysal, M., 2021. Küçük ölçekli fotogrametrik haritalarda nokta bulutu filtreleme yöntemleri ile eş yükseklik eğrisi üretimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 1, 167-178.
- Kılınçoğlu, D. B., 2016. Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kolzenburg, S., Favalli, M., Fornaciai, A., Isola, I., Harris, A. J. L., Nannipieri, L. ve Giordano, D., 2016. Rapid updating and improvement of airborne lidar DEMs through ground-based SfM 3-d modelling of volcanic features, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54, 11, 6687-6699.
- Konecny, G., 2003. Geoinformation remote sensing, photogrammetry and Geographic Information Systems, Taylor and Francis, Londra, 126-157.
- Kurczyński, Z. ve Bielecki, M., 2017. Metric properties of rolling shutter low-altitude photography, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 29.

- Leberl, F., Irschara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S. ve Wiechert, A., 2010. Point clouds, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76, 10, 1123-1134.
- Máthé, K. ve Buşoniu, L., 2015. Vision and control for UAVs: A survey of general methods and of inexpensive platforms for infrastructure inspection, Sensors, 15, 7, 14887-14916.
- MAPEG, 2021. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, MAPEG Harita Standartları ve bu standartlara göre haritada uyulacak esaslar, Ankara.
- Morgan, J. A. ve Brogan, D. J., 2016. How to visual SFM, Department of Civil & Environmental Engineering Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Morgenthal, G., Hallermann, N., Kersten, J., Taraben, J., Debus, P., Helmrich, M. ve Rodehorst, V., 2019. Framework for automated UAS-based structural condition assessment of bridges, Automation in Construction, 97, 77-95.
- Mualla, Y., Najjar, A., Galland, S., Nicolle, C., Tchappi, I. H., Ansar-Ul-Haque Y. ve Främling, K., 2019. Between the megalopolis and the Deep Blue Sky: Challenges of Transport with UAVs in Future Smart Cities. In AAMAS, 1649-1653.
- Mukherjee, S., Joshi, P. K., Mukherjee, S., Ghosh, A., Garg, R. D. ve Mukhopadhyay, A., 2013. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM), International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 205-217.
- Nagendran, S. K., Tung, W. Y. ve Ismail, M. A. M., 2018. Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 169, 1, 012031.
- Özcan, O. ve Akay S. S., 2018. Modeling morphodynamic processes in meandering rivers with uav-based measurements, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, İspanya, 78-1-5386-7150-4/18.
- 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.
- Öztürk, A., 2010. Hava fotoğraflarının sensör yöneltme modelleri ve geleneksel modeller kullanılarak yöneltilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S. ve Uluğ, R., 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) görüntüleri ile ortomozaik üretiminde yükseklik ve kamera açısının doğruluğa etkisinin araştırılması, Geomatik, 2, 3, 135-142.
- Peterson, E., Klein, M. ve Stewart, R., 2015. Whitepaper on Structure from Motion (SfM) Photogrammetry: constructing three dimensional models from photography, U. S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Research and Development Office Science and Technology Program Final Report, ST-2015-3835-1.

- Polat, N. ve Uysal, M., 2017. Yoğun nokta bulutunda bina çatı yüzeylerinin tespiti, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 248-252.
- Quaritsch, M., Kruggl, K., Wischounig-Strucl, D., Bhattacharya, S., Shah, M. ve Rinner, B., 2010. Networked UAVs as aerial sensor network for disaster management applications, Elektrotechnik und Informationstechnik, 127, 3, 56-63.
- Raczynski, R. J., 2017. Accuracy analysis of products obtained from UAV-borne photogrammetry influenced by various flight parameters, Yüksek Lisans Tezi, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Norveç.
- Rango, A., Laliberte, A., Steele, C., Herrick, J. E., Bestelmeyer, B., Schmugge, T., Roanhorse, A. ve Jenkins, V., 2006. Using unmanned aerial vehicles for rangelands: current applications and future potentials, Environmental Practice, 8, 3, 159-168.
- Rossi, T. A., 2004. Application of digital photogrammetric methods in the of land cover change on the coastal dunes of warren dunes state park, Berrien Country, Yüksek Lisans Tezi, The Michigan State University, Michigan.
- Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S. ve Casagli, N., 2018. Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization, Landslides, 15, 5, 1045-1052.
- Rusnák, M., Sládek, J., Kidová, A. ve Lehotský, M., 2018. Template for high-resolution river landscape mapping using UAV technology, Measurement, 115, 139-151.
- Sadeq, H. A., 2019. Accuracy assessment using different UAV image overlaps, Journal of Unmanned Vehicle Systems, 7, 3, 175-193.
- San, B. T. ve Suzen, M. L., 2005. Digital elevation model (DEM) generation and accuracy assessment from ASTER stereo data, International Journal of Remote Sensing 26, 22, 5013–5027.
- Sarıtürk, B. ve Şeker, D. Z., 2017. SFM tekniği ile 3B obje modellenmesinde kullanılan ticari ve açık-kaynak kodlu yazılımların karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 4, 126-131.
- Saripalli, S., Montgomery, J. F. ve Sukhatme, G. S., 2003. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 19, 3, 371-380.
- Saygılı, B., 2019. İnsansız hava aracı ile fotogrametrik olarak üretilen verilerin konum doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Schenk, T., 1996. Digital aerial triangulation, Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 31, B3, 735–745.
- Schenk, T., 2005. Introduction to photogrammetry, The Ohio State University, Columbus, 106, USA.
- Seki, M., 2017. İnsansız hava araçlarının hacim hesaplarında kullanılabilirliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

- Selek, E., 2019. İHA ile üretilmiş ortomozaik, sayısal arazi ve yüzey modeli performanslarının incelenmesi: Bursa ili örneği, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Seren, A. M. ve Demirel, H., 2016. Açık alanda bulunan büyük objelerin 3 boyutlu modellenmesi: güncel geomatik mühendisliği yöntemlerinin karşılaştırılması, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Simard, P. G., 1997. Accuracy of digital orthophotos, Doktora Tezi, University of New Brunswick, Austria.
- SHT-İHA, 2016. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sidek, F. K. ve Ahmad, A., 2008. Development of mapping procedures using digital imagery derived from unmanned aerial vehicle system. PWTC, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Spetsakis, M. E. ve Aloimonos, Y., 1991. A multi-frame approach to visual motion perception, International Journal of Computer Vision, 6, 245–255.
- Szeliski, R. ve Kang, S. B., 1994. Recovering 3-D shape and motion from image streams using nonlinear least squares, Journal of Visual Communication and Image Representation, 5, 10–28.
- Şenkal, E., 2018. İnsansız Hava Aracı ile elde edilen görüntülerden üretilen ortomozaik ve sayısal yüzey modellerinin doğruluğunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Taud, H., Parrot, J. ve Alvarez, R., 1999. DEM generation by contour line dilation, Computers & Geosciences, 25, 7, 775–783.
- Toprak, A. S., 2014. Fotogrametrik tekniklerin İHA ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Uysal, E., 2018. Sayısal fotogrametrik üretimler için yürürlükteki uluslararası doğruluk kriterlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Uysal, M., Toprak, A. S. ve Polat, N., 2015. DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, Measurement, 73, 539-543.
- Vautherin, J., Rutishauser, S., Schneider-Zapp, K., Choi, H. F., Chovancova, V., Glass, A. ve Strecha, C., 2016. Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter cameras, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3, 3, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
- 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.
- Wilson, J. P. ve Gallant, J. C., 2000. Secondary topographic attributes, In: Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Eds.), Terrain Analysis: Principles and Applications. John Wiley and Sons, New York, 87–131.

- Wolock, D. M. ve Price, C. V., 1994. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model, *Water Resources Research*, 30, 11, 3041–3052.
- Yakar, M. ve Doğan, Y., 2017. Silifke aşağı dünya obruğunun İHA kullanılarak üç boyutlu modellenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 94-101.
- Yastıklı, N., 2004. Algılama sistemlerinin doğrudan yöneltilmesi, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 90, 5-11.
- Yaşayan, A., Uysal, M., Varlık, A. ve Avdan, U., 2011. Fotogrametri, T.C. Anadolu Üniversitesi yayını No: 2295, Eskişehir.
- Yıldız, F., 2010. Dijital (Sayısal) fotogrametri teknolojisi, *Cebit Bilişim Zirvesi*, 08 Ekim 2010, İstanbul.
- Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A. ve Bilgilioğlu, S. S., 2018. İnsansız hava aracı ile ortomozaik üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği, *Geomatik*, 3, 2, 129-136.
- Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karşlı, F. ve Gökalp, E., 2013. İnsansız hava aracı ile üretilen ortofoto haritalarda doğruluk analizi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB-2013)*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
- Yılmaztürk, F., 2016. Fotogrametri Ders Notları, *Sektör Harita Yayıncılık*.
- Yiğit, C. Ö., Torun, A., Şahin, İ. ve Yıldız, M., 2013. GPS/IMU ve yer kontrol noktasının farklı kombinasyonları ile üretilmiş ortomozaik görüntülerin planimetrik doğruluklarının değerlendirilmesi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB-2013)*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
- URL-1 <http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photoqrammetry.pdf>, Erişim tarihi: 14/07/2021
- URL-2 <<http://kayra.net/trk/index2.php?Id=6>>, Erişim Tarihi: 28/02/2021
- URL-3 <<http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>>, Erişim Tarihi: 17/06/2022
- URL-4 <<https://www.netinbag.com/tr/business/what-is-a-point-cloud.html>>, Erişim Tarihi: 08/07/2022
- URL-5 < <https://www.pix4d.com/blog/rolling-shutter-correction>>, Erişim Tarihi: 20/06/2021
- URL-6 <<https://www.dji.com/mavic-2-enterprise>>, Erişim Tarihi: 14/03/2022
- URL-7 <<https://ttqqueretaro.com/tienda/product/gnss-gps-chc-i80/>>, Erişim Tarihi: 16/01/2022

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Elif BULUT

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü,
2014-2019

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim
Dalı, 2019-2022

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. JURA Madencilik / 2019-

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Bulut E. ve Yılmaztürk F. (2022). Investigation of the effects of different flight parameters on the accuracy of DEM generated using UAV systems, Turkish Journal of Geosciences 3, 1, 22-29.