



**YER ÖRNEKLEME ARALIĞINA (YÖA) BAĞLI OLARAK
YER KONTROL NOKTA (YKN) SAYISI VE DAĞILIMININ
HARİTA ÜRETİM HASSASIYETİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VOLKAN İZCİ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
NİSAN - 2024**

**YER ÖRNEKLEME ARALIĞINA (YÖA) BAĞLI OLARAK
YER KONTROL NOKTA (YKN) SAYISI VE DAĞILIMININ
HARİTA ÜRETİM HASSASIYETİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VOLKAN İZCİ

ORCID ID: 0000-0003-4876-423X

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ ULVİ
ORCID ID: 0000-0003-3005-8011**

**MERSİN
NİSAN - 2024**

ÖZET

YER ÖRNEKLEME ARALIĞINA (YÖA) BAĞLI OLARAK YER KONTROL NOKTA (YKN) SAYISI VE DAĞILIMININ HARİTA ÜRETİM HASSASIYETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Harita üretiminde teknolojik gelişmelerle birlikte duyulan ihtiyaçlardan dolayı klasik yöntemlerden fotogrametrik yöntemlere geçilmiştir. Hava fotogrametrisinin getirdiği avantajlar insansız hava araçlarının (İHA) geliştirilmesiyle üst seviyelere taşınmıştır. Artık daha pratik, daha az maliyetli ve kullanılan ekipmanların özelliklerine göre daha hassas harita üretimi gerçekleştirilmektedir. Elbette bu hassas üretim konum doğruluğuna bağlıdır. İHA fotogrametrisi uygulamalarında konum doğruluğunu kamera özellikleri, meteorolojik şartlar, uçuş planları, yer kontrol noktaları (YKN) ve dağılımları ile yer örnekleme aralığı etkilemektedir. YKN'ler, görüntülerin düzeltilmesi sırasında hem uzaktan algılamada hem de fotogrametride yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki bağlantıyı sağlar. Fotogrametrik çalışmalarda görüntüler alınmadan önce çalışma alanına YKN'ler atanır. YKN'lerin seçimi, dağıtımı ve doğruluğu, düzeltme sonuçlarını etkilediklerinden çok önemlidir.

YKN'lerin sayısı ve dağılımı, düzeltmede kullanılan nokta seçim yöntemi (saha çalışması, harita okuma vb.), matematiksel model, sensör tipi ve görüntünün çözünürlüğü, çalışma alanı yapısı (düzlük, dağlık vb.) ile istenilen konum doğruluğu ve hassasiyeti gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Yer örnekleme aralığı (YÖA) ise yerdeki bir pikselin boyutunu temsil eder. YÖA değeri ne kadar büyük olursa, görüntülerin mekânsal çözünürlüğü azalacaktır ve ayrıntılar daha az görüntülenecektir. YÖA değerini gereksinimlere ve veri toplama amacına uygun olarak belirlemek gerekir. İdeal örnekleme aralığı, kullanılan İHA'nın özellikleri, uçuş parametreleri ve projenin gereksinimleri göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Bu bilgiler ışığında çalışmamızda YKN sayılarının harita üretimindeki hassasiyete ne kadar etki ettiği ve aynı zamanda bu noktaların konumlarının etkisi araştırılmıştır. Öncelikle YKN ve KN'lerin karaya kurulumu, ölçümleri ve uçuş operasyonlarından oluşan saha çalışması yapılmış, uçuş görüntülerinin bilgisayara aktarılarak fotogrametrik yazılımla işlenmesi, nokta bulutu oluşturulması, ortofoto harita ve sayısal yüzey modelinin üretilmesi işlemleri gerçekleştirilerek analizlerinin yapılması sağlanmıştır. Arazide ölçülen YKN ve KN koordinatları ile yazılımla elde edilen harita koordinatlarının karşılaştırılması ile çalışma sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, İHA, SfM, Yer Kontrol Noktası, Yer Örnekleme Aralığı.

Danışman: Doç. Dr. Ali ULVİ, Mersin Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GROUND CONTROL POINT (GCP) QUANTITY AND DISTRIBUTION ON MAP PRODUCTION ACCURACY DEPENDING ON GROUND SAMPLING DISTANCE (GSD).

Due to technological advancements and the needs felt in map production, there has been a transition from classical methods to photogrammetric methods. The advantages of air photogrammetry have been moved to the upper levels by the development of unmanned aerial vehicles (UAVs). More precise map production is now carried out according to the characteristics of more practical, less costly and used equipment. Of course this precise production depends on location accuracy. In UAV photogrammetry applications, location accuracy is affected by camera properties, meteorological conditions, flight plans, ground control points (GCP) and distributions, as well as location sampling range. GCPs provide the connection between the ground coordinate system and the image coordinate system in both remote sensing and photogrammetry during the correction of images. GCPs are assigned to the work area before images are taken in photogrammetric studies. The choice, distribution and accuracy of GCPs are very important as they affect the results of the correction.

Number and distribution of GCPs, point selection method used in correction (field work, map reading etc.), mathematical model, sensor type and resolution of the image, working area structure (flatness, mountain.) depends on various factors such as desired position accuracy and precision.

The ground sampling distance (GSD) represents the size of a pixel in the ground. The greater the GSD value, the less spatial resolution of the images will be reduced, and the less detailed will be displayed. It is necessary to determine the value of the GSD in accordance with the requirements and the purpose of data collection. The ideal sampling distance should be determined by taking into account the characteristics of the UAV used, the flight parameters and the requirements of the project.

In the light of this information, how much GCP numbers affect the sensitivity in map production and at the same time the impact of the locations of these points were investigated. First of all, field work consisting of the installation, measurements and flight operations of GCP and CPs on the ground was carried out, it is ensured that flight images are processed by photogrammetric software by transferring to the computer, point cloud is created, orthophoto map and numerical surface model are produced and analyzed. The work was terminated by comparing the GCP and CP coordinates measured on the ground with the map coordinates obtained with the software.

Keywords: Photogrammetry, UAV, SfM, Ground Control Point, Ground Sampling Distance.

Advisor: Assoc. Dr. Ali ULVİ, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca her konuda her türlü desteğini veren aileme, eşime, kızıma ve yüksek lisans eğitiminde iyi ki beraber çalışmışız dediğim Sayın Doç. Dr. Ali ULVİ hocama sonsuz teşekkürlerimi iletirim.

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-2-TP2-4527 numaralı proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
3. METARYAL VE YÖNTEM	7
3.1. İnsansız Hava Araçları	7
3.1.1 İHA'ların Tarihsel Gelişimi	8
3.1.2. İHA'ların Avantajları ve Dezavantajları	9
3.1.3. Türkiye'nin İHA Alanındaki Gelişim Süreci	10
3.1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	10
3.1.5. Kullanım Alanlarına Göre İHA'lar	12
3.1.5.1. Askeri İHA Sistemleri	12
3.1.5.2. Sivil İHA Sistemleri	13
3.1.6. Performans Özelliklerine Göre İHA'lar	16
3.1.7. İnsansız Hava Araçlarının Türkiye'deki Sınıflandırılması	17
3.1.8 İHA'nın Uluslararası ve Türkiye Kullanımlarında Hukuki Altyapısı	18
3.2. Fotogrametri	20
3.2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması	21
3.2.2. Hava Fotogrametrisi	22
3.2.3. İHA Fotogrametrisi	24
3.2.4. Geleneksel Fotogrametri ve İHA Fotogrametrisi	27
3.2.5. Structure From Motion (SfM)	27
3.3. İHA Fotogrametrisinde Konum Doğruluğunu Etkileyen Faktörler	29
3.3.1. Kamera Özellikleri	29
3.3.1.1. Kamera Ayarları	30
3.3.1.2. Kamera Stabilizasyonu	31
3.3.2. Meteorolojik Koşullar	32
3.3.2.1. Hava Şartlarına Göre Fotoğraf Çekimi	32
3.3.2.2. Uçuş Gerçekleştirilemeyen Durumlar	32
3.3.3. Uçuş Planları	33
3.3.4. Yer Örnekleme Aralığı	33
3.3.5. Yer Kontrol Noktası	36
3.4. Kullanılan Materyal	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Arazi Çalışması	43
4.1.1. Çalışma Alanı	43
4.1.2. Çalışma Alanında Yapılan İşler	44
4.2. Yer Kontrol Noktaları ve Kontrol Noktalarının Dağılımı	45
4.3. Uçuş Planlama ve Verilerin İşlenmesi	48
4.4. Nokta Koordinatlarının Karşılaştırılması	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. İHA'ların Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılması	16
Tablo 3.2. İHA'ların Havada Kalış Süresi ve Menzile Göre Sınıflandırılması	16
Tablo 3.3. İHA'ların Çıkabileceği Yüksekliğe Göre Sınıflandırılması	17
Tablo 3.4. İHA'ların Kanat Yüklemesine Göre Sınıflandırılması	17
Tablo 3.5. İHA'larda Kullanılan Motor Tipine Göre Sınıflandırılması	17
Tablo 3.6. SHGM “İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı” Özet Çizelgesi	19
Tablo 3.7. Zenmuse P1 Genel Özellikleri	39
Tablo 3.8. Zenmuse P1 Video Özellikleri	39
Tablo 3.9. Zenmuse P1 Gimbal Özellikleri	40
Tablo 3.10. Zenmuse P1 Kamera Özellikleri	40
Tablo 3.11. TOPCON SR İzleme Özellikleri	41
Tablo 3.12. TOPCON SR Konum Belirleme Hassasiyeti Özellikleri	42
Tablo 3.13. TOPCON SR Veri ve Hafıza Özellikleri	42
Tablo 4.1. Her Uçuşta Elde Edilen Fotoğraf Sayısı	50
Tablo 4.2. YKN Sayısının ve Dağılımının RMSE xy Üzerindeki Etkisinin Sonuçları	53
Tablo 4.3. YKN Sayısına Göre Yükseklik (z) Ortalama Kare Hatası Değerleri	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. VTOL İHA	14
Şekil 3.2. VTOL İHA Görünümü	15
Şekil 3.3. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi	20
Şekil 3.4. Hava Fotogrametrisi Çekim Uçağı	22
Şekil 3.5. Fotogrametrik Uçuş Planı	24
Şekil 3.6. İHA Fotogrametrisi İş Akışı	26
Şekil 3.7. SfM İşlem Adımları	28
Şekil 3.8. Yer Örneklem Aralığı Değişkenleri	35
Şekil 3.9. Matrice 300 RTK Görseli	38
Şekil 3.10. DJI Zenmuse P1 Kamera	39
Şekil 3.11. TOPCON SR Görseli	41
Şekil 4.1. Yapılan Çalışmanın Metodolojisi	43
Şekil 4.2. Mersin Üniversitesi Kampüsü Genel Görünümü	44
Şekil 4.3. YKN Çalışma Alanına Tesisi ve Ölçülmesi	44
Şekil 4.4. YKN'lerin Alan İçi ve Çevredeki Dağılımı	45
Şekil 4.5. YKN'lerin Çalışma Alanının Merkezinde Homojen Kurulumu	46
Şekil 4.6. YKN'lerin Çalışma Alanındaki Homojen Dağılımı	47
Şekil 4.7. YKN'lerin Çalışma Alanındaki Homojen Dağılımı	48
Şekil 4.8. Uçuş Planlamasının Yapılması	49
Şekil 4.9. Uçuş Planlamasında Resim Çekim Noktalarının Gösterimi	49
Şekil 4.10. Mersin Üniversitesi Kampüsüne Ait DSM	51
Şekil 4.11. Mersin Üniversitesi Kampüsüne Ait Ortofoto Harita	51
Şekil 4.12. YKN Sayısının Planimetrik Karesel Ortalama Hataya Etkisinin Grafikselsel Gösterimi	53
Şekil 4.13. YKN Sayısının Yükseklik (z) Karesel Ortalama Hataya Etkisinin Grafikselsel Gösterimi	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
İHA	İnsansız Hava Aracı
İHS	İnsansız Hava Sistemleri
YKN	Yer Kontrol Noktası
KN	Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı
RMSE	Root Mean Square Error
SAM-DTM	Sayısal Arazi Modeli
SYM-DSM	Sayısal Yüzey Modeli
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
EUROUVS	Avrupa İnsansız Hava Sistemleri Kurumu
ASS-INS	Ataletsel Seyrüsefer Sistemleri
SfM	Structure-from-Motion

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere insanlar yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek, yaşadığımız yerküreyi ve ötesini daha iyi anlayabilmek, daha iyi planlayıp düzenleyebilmek, keşfetmek, gözlemlemek ve yönetebilmek için ciddi anlamda mühendislik çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmalar için çeşitli altlıklara, haritalara, mekânsal veri ve bilgi gibi ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu ürünler birçok alanda etkili kararlar alınmasına, kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasına ve genel olarak sürdürülebilir kalkınmaya da katkısı bulunmaktadır.

Harita üretimi birçok alanda önemli bir rol oynayan kritik bir süreç olup, farklı yöntemler kullanılmaktadır. Her yöntemin avantajları ve dezavantajları vardır, bu nedenle harita üretimi projelerinde kullanılan yöntem genellikle projenin gereksinimlerine, bütçesine ve hedeflenen hassasiyete bağlı olarak seçilir.

Teknolojik gelişmeler öncesi harita üretimi, daha çok manuel ve analog yöntemleri içeren klasik yöntemlerle yapılmaktaydı. Bu yöntemler genellikle elle çizim, saha ölçümleri ve analog harita projeksiyonlarını içermektedir. Ancak bu üretim süreci genel olarak detaylı ve zaman alıcıdır.

19. yüzyılın ortalarında topografik haritaları oluşturmak için fotoğrafların kullanılması ile birlikte fotografik görüntülerin analizi ve ölçülmesi yoluyla coğrafi bilgi elde etme süreci olan fotogrametri yöntemi de kullanılmaya başlanılmıştır. Fotogrametrik yöntemin sürekli gelişmesi ve çeşitlenmesiyle ürün üretiminde süre, maliyet ve doğruluğun hassasiyeti bakımından önemli bir avantaj sağlanmıştır. Fotogrametrik harita üretimindeki otomasyon analog fotogrametri ile başlamış, gelişimini analitik fotogrametri ile gerçekleştirmiş, yükselişini ise dijital fotogrametri yakalamıştır. Dijital fotogrametri ile, fotoğraf çekimi ve bu fotoğrafların değerlendirilmesi konusunda büyük kolaylıklar sağlanmıştır.

Fotogrametride ilk uygulama yöntemleri resim çekildiği yere göre yersel fotogrametri olsa da zamanla yerini harita üretiminde geniş imkanlar ve kolaylıklar sunan hava fotogrametrisine devretmiştir. Klasik hava fotogrametrisinde, başta hava kameraları olmak üzere kullanılan ekipmanlar açısından, ürün meydana gelinceye kadarki süreç oldukça maliyetlidir. Ayrıca uçuşların izne bağlı olmasından ve istenilen zamanda uçuş yapılamamasından dolayı zamansal açıdan dezavantaj sağlamaktadır. Üretilen haritanın hassas olması ve zamanında yetişmesi mühendislik projeleri için çok önemli olduğundan, daha pratik, çok daha az maliyetli ve daha hızlı ürün veren insansız hava araçları(İHA) geliştirilmiş, İHA' lara yerleştirilen dijital kameralar ile birlikte İHA fotogrametrisi harita üretim alanında kendine ciddi bir yer edinmiştir. İHA' lar, ölçüm ihtiyacı duyulan erişimin zor ve tehlikeli olabileceği yerlerde ölçüm yapabilmesini sağlayabilmekte, ve sonuçta da elde edilen görüntüler kullanılarak yapılan ölçümler hassasiyet bakımından yersel tekniklerle ölçülebilecek düzeydedir. Yersel ölçüm tekniklerine bu açıdan uygun bir alternatif olmaktadır. Ayrıca İHA uzaktan algılama tekniklerine göre daha düşük irtifadan uçuşmasından dolayı daha yüksek çözünürlük imkanı sağladığı için gittikçe yaygınlaşan bir platformdur.

İHA'ların uydu görüntülerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan uydu görüntülerinin vermesi mümkün olmayan konumsal çözünürlüklerde görüntüler üretilebilir. Bununla birlikte uçuş programını hava şartları gibi kısa süreli etkileyen nedenler dışında istenilen zamanda uçuş gerçekleştirilip görüntü alınabilir. Ancak bu durum uydu görüntülerinin temininde mümkün olamamaktadır. Uydu görüntüleri alabilmek için sıra beklenmeli ve hava şartlarının da müsait olmaması gibi nedenlerden hedeflenen kalitede uydu görüntülerine her zaman ulaşılamamaktadır. Ayrıca İHA kullanılarak zamansal çözünürlükleri yüksek görüntüler elde edilebilmektedir. İHA teknolojisinin başka bir avantajı da uydulardan alınacak görüntülere oranla çok daha az maliyetli görüntülerin elde edilebilmesini sağlamalarıdır (Şahin ve Yakar, 2007).

Harita üretiminde her ne kadar zaman ve maliyet çok önemli kriter olsa da konum doğruluğu hepsinden önemlidir ki zaten amaç hassas ve doğru ürüne ulaşmaktır. İHA fotogrametrisinde de konum doğruluğunu olumlu yada olumsuz etkileyen bazı etkenler bulunmaktadır. Yer kontrol noktası(YKN) sayısı ve dağılımı, uçuş yapılacak yükseklik, yer örnekleme aralığı(YÖA), meteorolojik koşullar ve kamera özellikleri bu etkenlerin başında gelmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Erdoğan ve Mutluoğlu (2020), nokta konum doğruluğunu DJI Phantom 3 Pro ile çekilen fotoğraflardan nokta bulutu ve ortofoto üreterek araştırmışlardır. Virtual Surveyor yazılımı kullanılarak ortofoto ve sayısal yükseklik modeli(SYM) birleştirilmiş, çalışma alanı olarak 100m x 100m ölçülerinde ve yükseklik farklılıklarının da pek olmadığı bir yer seçmişlerdir. Sonrasında çalışma alanında, (20m x 20m) ölçülerinde kareler ağına bölünmüş bir grid ağ oluşturmuşlardır. Grid ağının köşe ve kesişim noktalarına işaret konulmuştur. İşaretlenmiş olan bu noktalara ait koordinatlar (X,Y,Z) RTK-GPS ölçme tekniğiyle belirlenmiştir. Çalışma alanında İHA kullanılarak 50m ve 80m yüksekliklerden %70-%80 oranında bindirmeli görüntüler elde edilmiştir. Görüntüler fotogrametrik olarak değerlendirilmiş, sonuçta elde edilen noktaların konum değerleri ile, RTK-GPS ölçme tekniğiyle elde edilmiş olan nokta konum değerlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak da ortalama yatayda ve düşeyde nokta konum doğruluğu bulmuşlardır.

Kurban vd. (2015), standartlara uygun çoklu döner kanatlı (çok-palli), GPS ve oto pilot destekli bir hava aracı kullanarak (600m x 800m) ölçülerindeki çalışma alanını 100m irtifadan örtüşmeli olarak 720p yüksek çözünürlüklü görüntüsünü almışlardır. Görüntüler Tesla grafik işleme ünitesine (GPU) sahip olan bir bilgisayar kullanılarak yoğun-eşleme (dense matching) yöntemiyle işlenmiş ve çalışma alanının çok yüksek konumsal çözünürlüğü olan sayısal arazi modeli(SAM-DTM) verisi oluşturulmuştur. Yapılan kontrollerin sonucunda, oluşturulan DTM modeline ait 2B konumsal doğruluk 6cm ve yüksekliğe ait doğruluk ise 8cm mertebesinde olduğu gösterilmiştir.

Şahin ve Yakar (2007), ortofotonun doğruluğunu kontrol etmek için, SYM'nin üretim yöntemi, grid aralığı ve girdi verilerinin etkilerini incelemişlerdir. Bu doğruluğun tespiti için, referans veri olarak; birinci çalışma alanında stereo modellerden elde edilen koordinat değerleri, ikinci çalışma alanında ise arazide takeometrik yöntemle ölçülmüş olan üç boyutlu nokta koordinatları kullanılmıştır. Koordinat değerleri bulunan bu noktalar, farklı SYM modelleri ile üretilen ortofotolar üzerindeki koordinat değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar istatistiksel analizlere tabi tutularak detaylı bir karşılaştırma yapılmıştır.

Özcan (2017), İHA kullanılarak yapılan çalışmada farklı yüksekliklerden dijital kamera ile alınan görüntülerin ve elde edilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) konum doğruluklarının bulunması amaçlamıştır. Yer kontrol noktalarının koordinatları Ayrimsal Küresel Konumlama Sistemi (DGPS) kullanılarak belirlenmiş ve bu veriler, konumsal doğrulamada kullanılmıştır. Yoğun nokta bulutlarının doğruluğu da arazi ölçümleri ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İHA ve DGPS ile gerçekleştirilen ölçümler arasında, düşeydeki farkın ortalama olarak santimetre seviyelerinde olması dikkat çekmektedir. Söz konusu bu farklar, çalışma alanın topoğrafyasındaki ani değişimlerin bulunduğu alanlarda daha büyük olduğu görülmüştür.

Öztürk vd. (2017), çalışma alanının ortogörüntülerini üretebilmek için 60m, 80m ve 100m olarak farklı yüksekliklerde uçuşlar gerçekleştirmişler ve 60m ve 80m yükseklik için 90°, 100m

yükseklik için 45°, 60° ve 90° olmak üzere farklı kamera açıları kullanarak, yüksek çözünürlüklü sayısal görüntüler elde etmişlerdir. Sonrasında çalışma alanında önceden jeodezik yöntemle tesis etmiş oldukları 5 yer kontrol noktası ile ortogörüntülerin doğruluklarını kontrol etmişlerdir.

Avdan vd. (2014), arkeolojik alanda insansız hava aracı ile elde edilen verilerin doğruluk analizini yapmışlardır. Eskişehir İline bağlı Şarhöyük (Dorylaion) Arkeolojik alanında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. İnsansız hava aracı kullanılarak farklı yükseklikte ve farklı bindirme oranlarında iki adet uçuş gerçekleştirilmiş, alanın görüntüleri alınmıştır. Bilgisayar ortamında görüntüler işlenerek ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) elde edilmiştir. Uçuş öncesi alana elde edilen verilerin doğruluklarını tespit etmek için 34 adet yer kontrol noktasının tesisi yapılmış ve hassasiyeti için GNSS kullanılarak jeodezik yöntemle koordinat değerleri belirlenmiştir. Kontrol noktalarının bir kısmı elde edilen ortofoto ve SYM'nin koordinatlandırılması amacıyla kullanılmış, bir kısmı ise ortofoto görüntülerin doğruluk analizini yapmak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca topoğrafik yöntemle çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli üretilmiş, bununla İHA ile elde edilmiş olan sayısal yüzey modelinin doğruluk analizi yapılmıştır. Sayısal yükseklik modeli yaklaşık 6000 nokta ölçülerek üretilmiş olup, bu sayısal yükseklik modeli ile insansız hava aracı ile üretilen sayısal yüzey modeli uygun görülen yerlerde karşılaştırılmıştır.

Agüera Vega vd. (2017), bir başka çalışmada kullanılan YKN sayısının ortofoto ve SYM ürünlerinde doğruluğa etkisini araştırmıştır. 17 ha'lık bir alanda İHA ile 120 m uçuş yüksekliğinden 160 hava fotoğrafı alınmıştır. Fotogrametrik işlem esnasında farklı YKN sayısı kombinasyonlarına (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 YKN) göre ürünler elde edilmiştir. Değerlendirmeler sonucu YKN sayısındaki artışın yatayda ve düşeyde doğruluğun arttığını göstermiştir.

Martinez-Carricondo vd. (2017), İHA fotogrametrisi sonucu ortaya çıkan ürünlerin doğruluğunu etkileyen birçok faktör olduğu ve yer kontrol noktalarının sayısının ve çalışma alanındaki dağılımının etkisinin özellikle önemli olduğunu vurgulayarak, çalışmalarında İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünleri optimize etmeye çalışmak için farklı YKN dağılımları incelenmiş, test edilen tüm dağılımlar arasında en iyi sonuçlar kenar dağılımı ve tabakalı dağılım ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, planimetri hatalarını en aza indirmek için YKN'leri çalışma alanının kenarına yerleştirmek gerektiği ve dikey doğruluğu optimize etmek için YKN'lerin tabakalı dağılımlı alanın içine yerleştirilmesinin de önemli olduğu belirtilmiştir.

Zulkipli ve Tahar (2018), düşük maliyetli İHA'ların, yol tasarımı gibi birçok uygulama için güvenilir bilgi sağlamada çok pratik olduğunu vurgulayarak, çalışmalarında yol tasarımı için çok motorlu İHA'nın performansını araştırmaktadırlar. Bu çalışmaları, belirli bir irtifadan yer verilerini yakalamak için bir araç olarak İHA'ya odaklanmaktadır. Analiz, İHA uçuş planlamasını, görüntü alımını ve yol tasarımının doğruluk değerlendirmesini içermekte olup, İHA'ların yol tasarımına güvenilir doğrulukta veri sağlamak için kullanılabileceği sonucuna varılabilir. Yol tasarımı için daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla İHA için farklı uçuş yükseklikleri uygulanmalıdır.

Turner vd. (2012), iklim değişikliğinin bitki örtüsü üzerinde etkisi olan Antartika bölgesinde iki çalışma alanı belirlemiştir. Birinci çalışma alanı 1.1 ha alana sahipken ikinci çalışma alanı 0.5 ha'dır. 50 m uçuş yüksekliğinden İHA ile elde edilmiş ultra yüksek çözünürlüklü, birinci çalışma alanında 200 diğesinde 69 adet hava fotoğrafı kullanarak ortofoto üretimi yapmıştır. Yersel ölçüm tekniğiyle birinci çalışma alanı için 25, ikincisi için 20 adet YKN ölçümü yapmıştır. KOH kriterine göre YKN'siz üretilen ürünlerin KOHxy değerleri 65-120 cm arasında değişirken YKN kullanılarak üretilen ürünlerin hata payı 10-15 cm arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Park ve Yeom (2021), yaptıkları çalışmada İHA'lar kullanılarak bir hafriyat sahası için en uygun YKN düzenlemesini önermeyi amaçlamaktadır. Çalışmalarının sonucunda önerilen YKN tesis standartları sahada kullanıldığında, hafriyat sahaları için İHA tabanlı sayısal haritalar oluşturulurken ölçümcünün yeteneklerine olan bağımlılığı azaltmak mümkün olacak, ayrıca sayısal haritaların doğruluğunu belirli bir seviyenin üzerinde güvence altına almak ve hatta ölçüm verimliliğini artırmak mümkün olacağı belirtilmiştir.

Oniga vd. (2018), yüksek hassasiyetli sonuçlar elde etmek için kaç yer kontrol noktasının gerekli olduğu sorusuna cevap bulmayı amaçlamışlardır. Sonuçları elde etmek için, yaklaşık 1 hektarlık bir alan, DJI Phantom 3 Standard adlı düşük maliyetli bir İHA ile yerden 28 m ve 35 m olmak üzere iki farklı yükseklikte fotoğraflanmış, kamera nadiral pozisyonda yönlendirilmiş ve bir total station kullanılarak 50 yer kontrol noktasını ölçmüşlerdir. Nihai ürünlerde yüksek doğruluk elde etmek için 1 YKN/200 m²'lik bir yoğunluğun gerekli olduğu sonucuna varmışlardır.

Wierzbicki vd. (2015), çalışmalarında belirli hava koşullarında ve gökyüzünün aydınlanma değişimlerinde İHA performansını değerlendirmek istemiştir. Bunun için düz bir tarım arazisini çalışma alanı olarak belirlemiştir. Analiz sonucu olumsuz hava koşullarının üretilen ürünlerin kalitesini ve doğruluğunu %25 oranında azalttığını belirtmekte ve bu gibi durumlarda daha iyi sonuçlar için uçuş yüksekliğinin azaltılması gerektiğini belirtmektedir.

Uysal vd. (2015), Afyon il sınırları içinde yer alan Şahitler Tepesi bölgesinde 5 ha alanı çalışma bölgesi olarak belirlemiştir. İHA fotogrametrisi performansını değerlendirmek için 60 m uçuş yüksekliğinden 200 adet hava fotoğrafı elde etmiştir. Ayrıca yersel ölçümle GNSS alıcısı ile RTK modunda 27 adet YKN ölçümü yapılmıştır. Bu verilerle Agisoft PhotoScan yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modeli üretmiştir. Sonuçta üretilen verinin doğruluk analizi için 30 adet kontrol noktası kullanılmış ve KOHz 6.6 cm değeri elde edilmiştir.

Ferrer-Gonzalez vd. (2020) bu çalışmalarını, YKN sayısının ve dağılımının koridor şeklindeki bir çalışma sahasında İHA fotogrametri projelerinin doğruluğunu nasıl etkilediğini değerlendirmek için yapmıştır. Bu amaçla, 2,1 km'lik bir yol üzerinde farklı konfigürasyonlara sahip birkaç proje gerçekleştirilmiş ve YKN veya KN olarak kullanılmak üzere 47 nokta ölçülmüştür. Doğruluğu değerlendirmek için, jeoreferanslama sürecinden elde edilen RMSE(kök ortalama kare hatası) değerleri ve nokta bulutları karşılaştırmasından elde edilen M3C2 (Çok Ölçekli Modelden Modele Bulut Karşılaştırması) mesafesi kullanılmıştır. İncelenen tüm dağılımlar için, demet ayarlamasında YKN

sayısındaki artışla birlikte yatayda ve düşeyde doğruluk artmış ve planimetrik doğruluk her zaman dikey doğruluktan daha iyi olduğu görülmüştür.

Sanz-Ablanedo vd. (2018) çalışmalarında coğrafi referanslama aşamasında kullanılan yer kontrol noktalarının (YKN) sayısı ve konumunun kritik rolüne odaklanmışlardır. İHA-SfM fotogrametri doğruluğunun BA(ışın demetleri dengelemesi)'ya eklenen YKN'lerin konumuna ve sayısına nasıl bağlı olduğunu göstermektedir. Çalışma, YKN'lerin tüm ilgi alanı etrafında, ideal olarak üçgen ağ ızgarasında(üçgenleme) eşit olarak dağıtılması gerektiğini göstermiştir, çünkü bu kurulumla herhangi bir YKN'ye olan maksimum mesafe en aza indirilmiştir. Sonuç olarak, belirli bir sayıda YKN olduğu zaman en elverişli dağılım ile elde edilen doğruluğun, YKN'lerin uygun olmayan şekilde dağıtılması durumunda elde edilen doğruluktan iki katı daha iyi olacağını göstermektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İnsansız Hava Araçları

İnsansız Hava Araçları (İHA) veya diğer adıyla dronlar, operatör tarafından uzaktan kumanda edilebilen veya otomatik olarak uçabilen, insan müdahalesi olmadan çalıştırılabilen hava araçlarıdır.

İnsansız hava araçları için genel olarak otomatik veya uzaktan komuta sistemi ile pilotsuz olarak uçan ve faydalı yük taşıyabilen hava araçları denilebilir. Bu araçlar aerodinamik kuvvet kullanarak havalanır ve aerodinamik uçuş ilkelerine göre tam veya yarı otomatik uçabilme özelliğine sahiptirler. İnsansız hareket eden bu araçlar hiperspektral, radar, termal, kızıl ötesi, kimyasal ve biyolojik sensörlere sahip kamera gibi çeşitli görüntüleme cihazları ile bütünleştirilerek gündüz ve gece görüntü elde etme olanağı vermektedirler. Yer istasyonuna gerçek zamanlı veri aktarımı özelliği bulunmakta, bu özelliği ile doğal afet ve hava olayları gibi önemli bilgileri yer istasyonuna anlık olarak aktarabilmektedir.

İHA'lar farklı sistemlerden oluşmakta, farklı türlere ve tasarımlara sahip olup bunları sabit ve döner kanatlı İHA'lar (UAV - İnsansız Hava Aracı), çok rotorlu İHA'lar (multirotor veya quadcopter), helikopter benzeri İHA'lar gibi çeşitli tasarımlar olarak sayabiliriz. Her tür, farklı uygulamalara ve görevlere uygun olabilir.

İlk olarak askeri uygulamalarda kullanılmaya başlayan İHA'lar, sonraları sivil kullanımın başlaması ile birlikte hassas tarım ve ormancılık gibi çalışma alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. İHA teknolojisinin gelişmesi ile yangın izleme-söndürmeden kültürel miras ve arkeolojiye, her türlü çevresel araştırmadan üç boyutlu (3B) rekonstrüksiyona kadar başkaca disiplinler tarafından farklı hedefler doğrultusunda kullanılmaya başlanmıştır(Ulvi, 2021).

İHA'lar genellikle kameralar, sensörler, GPS, bataryalar ve kontrol sistemleri gibi donanımlardan oluşmaktadır. Uzaktan kumandayla çalıştırılabilir veya önceden programlanmış rotaları izleyerek otomatik olarak uçabilirler. Uçuş kontrollerini sağlamak için genellikle uzaktan kumanda cihazları, bilgisayarlar veya mobil uygulamalar kullanılır. Yeni sensörler, otonom uçuş kapasitesi ve uzun menzilleri gibi gelişmeler, İHA'ların daha etkili olmasına ve çeşitli görevlerin yerine getirilmesine olanak tanır.

İHA'ların hava sahasında artan kullanımı, hava kanalı yönetimi ve gizlilik ihlalleri ile kötü niyetli kullanımlar gibi sorunlar da mevcut olduğundan güvenlik çözümleri ortaya çıkmış, sıkı bir yasal düzenlemelere tabi tutulmaya başlanılmıştır. İHA sahipleri, kullanım amacına göre, genellikle uçuş lisansları almakta ve kullanıcılar belirli uçuş kurallarına uymak zorundadır. Özellikle ABD ye bağlı Federal Havacılık Kurulunca, Birleşmiş Milletlere bağlı Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonunca ve Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütünce (EUROCONTROL) bu teknolojinin kullanım şeklinin nasıl olması gerektiği ile ilgili yasal çerçevenin çalışmaları detaylı olarak yapılmaktadır. Türkiye’de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nce bu yasal konularla ilgili olarak gerekli mevzuat çalışmaları yapılmaktadır(URL-1).

Askeri, sivil ve bilimsel alanlarda birçok önemli rol oynamakla birlikte büyük potansiyele sahip olan ve teknolojik olarak sürekli olarak tükenen bu hava taşıtları bugün olduğu gibi gelecekte de önemini arttırarak gelişecektir.

3.1.1. İHA'ların Tarihsel Gelişimi

İnsansız hava araçlarının atası olarak hava balonlarını söyleyebiliriz. Hidrojen gazının 1766 yılında keşfedilmesi ile birlikte kullanılmaya başlanılmıştır. Bu hava balonları insansız olarak ilk defa askeri amaçla 1793 yılında Amerikan İç Savaşında keşif yapabilmek için kullanıldığı bilinmektedir. Kısa bir süre sonra başta askeri amaçlı olmak üzere kullanılan hava balonları, Josep Louis Gay Lussac tarafından 1800'lü yılların başında bilimsel araştırmalar için de kullanılmıştır. Ancak 1849 yılına gelindiğinde Avusturya'da insansız olarak ve uzaktan kontrol ile zaman fitilli bomba taşıyan balonlar kullanılmış, bu da döneminin şartlarına göre İHA'ların ilk kez kullanılması olarak kabul edilmiştir(Şin ve Kadioğlu, 2019).

1909 yılında modern navigasyonun babası olarak kabul edilen Elmer Sperry, uçakların uçuş sırasında dengesini sağlayabilmek için cayroskopik(jiroskopik) dengeleyici aletler modellemeye başlamıştı. Bu aletler, kendi kendine seyrüsefer bilgilerini ve seyrüsefer performans bilgilerini üretebilen modern ataletsel seyrüsefer sistemlerinin(ASS-INS) de yani günümüzdeki navigasyonun da ilk örnekleri olacaktı. ABD Donanması, uçakların daha dengeli uçuş gerçekleştirebilecek duruma gelmesi ve uçuşu yapacak pilot ihtiyacının duyulmaması ihtimali oluşması üzerine bir 'uçan torpido' tasarlama düşüncesi ile çalışmalara başlamıştır. Western Electric Şirketi'nce 1917 yılında dönemin ilkel cayroları ile insansız uçuşlarda kullanılan kısıtlı doğruluğu artırmak için sisteme radyo kontrolü geliştirilip eklenmiştir. Böylece hem geliştirilen Curtiss-Sperry uçan torpidosu ilk uçuşunu gerçekleştirmiş olacaktı, hem de gelecek 80 yıl boyunca uzaktan komuta edilen uçakların geliştirilmesi için gereken teknolojinin temellerini oluştuyordu(URL-1).

1916 yılında A.M.LOW tarafından "Ariel Target" adında tarihteki ilk pilotsuz kanatlı uçak projesi ortaya çıkarılmış, bu uçağa Nikola Tesla'nın RC teknolojisini örnek alan radyo kontrolü dahil edilmiş ve kamikaze bombası olarak kullanılmak istenilmiştir. Bu bakımdan tarihte kullanılan ilk İHA Sistemine örnek verilebilir. Ancak hiçbir savaşta kullanılmamıştır.

1918 yılında Charles Franklin Kettering tarafından bir raylı sistemden fırlatılan, üzerine kanat takılan, önceden ayarı yapılmış bir cayroskop ve barometre eklenmiş olarak, belirlenen bir rotada uçmak üzere ayarlanabilen hava torpidosu üretilmiş ve tarihte ilk uçan kanatlı dron modeli olmuştur.

1922 yılında Ivan Jerome ve Dr. Georg de Bothezat tarafından ilk insanlı dron örneği olan "De Bothezat Heli Copter" üretilmiştir.

İngiliz Kraliyet Deniz Donanması, pilotlarının hedefleme çalışması yapabilmesi için 1930 yılında telsizle kontrolü sağlanabilen "Kraliçe Arı (Queen Bee)" adında insansız hava aracını geliştirdiler.

Amerika Birleşik Devletleri, 1939 yılında uzaktan kumanda ile kontrol edilen “Radioplane OQ-2” adında insansız hava aracını geliştirdi.

1950 yılında Amerikan Ordusu’nun RP-71 adıyla keşif görevi yapması için atanan daha sonra MQM-57 Falconer olarak adı değiştirilen MQM-33 ilk hedef uçağı olmuştur.

Günümüze ait ilk modern insansız hava aracı ise 1995 yılında General Atomics ve Pentagon ortaklığıyla MQ-1 Predator olmuştur.

3.1.2. İHA’ların Avantajları ve Dezavantajları

Fotogrametrik veri üretiminde İHA’ların diğer yöntemlere göre bazı avantajlarını şu şekilde sayabiliriz (Özemir, 2017);

- Kapalı hava koşullarında, klasik hava araçları ile istenilen yüzeye ait hava fotoğrafları elde edilemezken, İHA ile irtifa avantajını kullanıp bulutların altından uçarak görüntü elde edilebilmektedir.
- İHA’lar üretilen projenin gereksinimlerine göre düşük veya yüksek irtifalarda uçuş gerçekleştirerek sırasıyla yüksek veya düşük çözünürlüklü hava fotoğrafı elde edebilmektedir.
- Bazı nedenlerden dolayı uçuşun tekrarlanmasını gerektiren durumlar olduğunda maliyetin düşük olması ile hızlı bir şekilde uçuş tekrarının yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Tekrarlanabilen uçuş olanakları ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip veriler elde edilebilmektedir.
- Tehlikeli çalışma ortamlarından uzak bir şekilde İHA’lar sayesinde veri toplama (yangın, deprem, patlama ya da volkanik hareketlerin incelenmesi vb.) olanağı bulunarak, anında çözüm üretecek gerçek zamanlı veri üretimi sağlanabilmektedir.

İnsanlı uçaklara ve uydulara göre İHA’ların bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir (Karaağaç, 2014);

İnsanlı uçaklara göre avantajları

- ✓ Düşük sürdürülebilirlik ve işletmedeki maliyetin azlığı,
- ✓ Kullanımdaki manevra ve operasyon kabiliyetlerinin insan yetenekleriyle sınırlanmaması ve insan kaynaklı hata riskinin asgari olması (yorgunluk olması, çalışma saatindeki fazlalık, G kuvvetinin etkisi gibi),
- ✓ Pilot ve görevli personel için gereken kokpit alanı ile yaşamsal sistemlerin olmamasından ve bunların sebep olduğu maliyet kalemlerinin olmaması,
- ✓ Özellikle askeri kullanımda vurulabilme veya fark edilme olasılığının daha düşük olması.

Uydu sistemlerine göre avantajları

- ✓ Düşük tedarik, sürdürülebilirlik ve işletme maliyetinin azlığı,
- ✓ İhtiyaca göre alınan verilerin daha kaliteli ve doğru olması (görüntü çözünürlüğü gibi),

- ✓ Manevra kabiliyetinin yüksek olması.

İHA Sistemleri avantajlarının yanı sıra az da olsa dezavantajları da mevcuttur. Şu şekilde sıralanabilir (Karaağaç, 2014) :

- Birçok ana sistemin beraber çalışacak olması,
- Operatörün durumsal farkındalığının düşük olması,
- Meteorolojik durumlardan kolay etkilenebilmesi,
- Kısıtlı uçuşu sonlandırabilme kabiliyeti,
- Yetersiz frekans bandının olması.

3.1.3. Türkiye'nin İHA Alanındaki Gelişim Süreci

İnsansız hava araçları sivil ve askeri anlamda insanlık için büyük kolaylıklar getirmiştir. Günümüzde sivil ihtiyaçların ve kullanımların yanı sıra insansız sistemler keşif, gözetleme ve savaş gibi askeri durumlarda daha büyük yatırımlarla daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Sivil ve askeri kullanımlar, ihtiyaçlarının giderilmesi açısından sürekli olarak İHA teknolojisinin gelişmesini sağlamaktadır.

Türkiye' de insansız hava araçlarının kullanılması ve daha sonrasında yerli imkanlarla geliştirilmesi ABD ve Avrupa ülkelerine göre zaman almıştır. Bunun başlıca nedenlerinde biri teknolojik birikimdir. Teknoloji üst üste bilgi birikimi geldikçe ve bunun için de belli bütçeler ayrılarak gerekli AR-GE çalışmalarından sonra gelişmektedir(URL-1).

Teknolojideki hızlı gelişmelere Türkiye' de uyum sağlamış sayesinde, askeri anlamda büyük avantaj sağladığından 1990'lı yıllarla birlikte insansız sistemlere önem vermiştir.

3.1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

Geniş kullanım alanlarına sahip olan İHA'ların farklı ihtiyaçları karşılamak ve bu görevleri yerine getirmek maksadıyla değişik özelliklere sahip olduğundan çok farklı sınıfları bulunmaktadır. Uluslararası kaynaklarda İnsansız Hava Sistemleri (İHS) için genel olarak kabul edilen bir sınıflandırma şekli bulunmamaktadır. İhtiyaç duyulan kullanma amacından teknik olarak sahip olduğu yeteneklerine kadar değişik özelliklerde İHA sınıflandırmaları yapılmış olsa da genel olarak İHA'nın azami kalkış ağırlığı ile uçuş yapacağı azami irtifa en temel sınıflandırma çeşididir. Sınıflandırma işlemi, öncelikle ağırlık kriterini temel almakta olup, daha sonra bu ağırlık kriteri, İnsansız Hava Aracı'nın (İHA) maksimum irtifası dikkate alınarak yeniden sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Bahsedilen bu sınıflandırmalar, farklı kullanım alanlarında farklı bakış açılarına sahip birimlerin ortak bir temelde

buluşmasına ve aynı dili konuşmasına olanak sağlamakta, bilgi alışverişini kolaylaştırmaktadır (Kurt ve Ün, 2015).

Bununla beraber tanımlara ve sınıflandırmalara uymuş olan bütün hava araçları da İHS kategorisinde değerlendirilmemektedir. Örnek vermek gerekirse, balistik ve yarı balistik hava araçları ile kruz füzeleri Birleşik Krallık'ta insansız hava sistemleri sınıfına dahil edilmemektedir (Yiğit vd., 2018).

Yapılmış ve yapılacak olan her çalışmada, ihtiyaçların veya kriterlerin baz alınması sonucu birçok sınıflandırma bulunmakta, bu sınıflandırmalar irdelendiğinde baz alınan kriterlere göre 16 başlık altında toplanabildiği görülebilmektedir (Korchenko ve İlyash, 2013).

- 1) Hava araçlarının kullanım alanlarına göre;
Sivil ve askeri çalışmalar, görevler gibi.
- 2) Kullanılmış olan kontrol sisteminin türüne göre;
Doğrudan, gözlenen (otonom), uyumsuz-otonom ve uyumlu-otonom kontrol sistemleri.
- 3) Uçuş kurallarına göre;
Görerek, Aletli / Enstrümantasyona dayalı ve Görerek-Aletli uçuş kuralları.
- 4) Havada kullanılan alanların durumuna göre;
Bölünmüş veya ayrılmış (yasaklı veya kısıtlanmış) alan ile bölünmemiş veya ayrılmamış (izinli ve hava trafik kontrol sistemine dahil uçuş alanları) alan.
- 5) Hava araçlarının tiplerine göre;
Uçak, döner kanat, sabit kanat, helikopter, güdümlü ve hibrit gibi.
- 6) Kanat yapılarına göre;
Sabit kanatlı, döner kanatlı, VTOL.
- 7) Kalkarken ve inerken kaldırma kuvvetinin yönüne göre;
Kalkışta dikey ya da yatay, inişte yatay, dikey, paraşüt, direk, durmaksızın gibi.
- 8) Kalkış – iniş tiplerine göre;
Kalkış için standart havalimanı, gemilerin güvertesi, suyun yüzeyi, el ile fırlatılarak, fırlatma platformu gibi başlangıç kurulum sistemi kullanarak; iniş için standart havalimanı, suyun yüzeyi, gemilerin güvertesi, çoklu iniş veya standart dışı iniş gibi.
- 9) Hava araçlarının motor tiplerine göre;
Gaz türbinli, pistonlu motorlar ve elektrik motorları.
- 10) Yakıt sistemlerine göre;
Üretimi sırasında yakıt doldurulmuş olan tek kullanımlık İHA'lar, yakıt dolumu yapmaya uygun olarak yakıt sistemi kullanılan İHA'lar.
- 11) Yakıt tanklarının tiplerine göre;
Temel ve ekstra yakıt tankları bulunan İHA'lar.
- 12) Yakıt sisteminden yararlanma sayısına göre

13) Genel kategori (Performansına göre) (kalkış ağırlıkları, menzilleri, uçuş süresi, irtifa miktarlarına göre);

14) Gerçekleştirilebileceği mesafenin yarıçapına göre;

Gidilecek mesafenin yarıçapına göre; çok yakın, kısa, orta ve uzun yarıçap.

15) Uçuş irtifalarına göre;

Düşük, orta ve yüksek irtifa.

16) Görev ve çalışma alanlarına göre;

Askeri veya sivil gibi kullanım alanlarına, tipine veya başkaca bir ayırım yapmadan sadece görev veya çalışma alanı dikkate alınması.

Bu sınıflandırmaların yanında, Avrupa İnsansız Hava Sistemleri Kurumu (EUROUVS) nun bazı ölçütlere dikkat ederek yaptığı çalışmadan yararlanılarak başka bir sınıflandırma yapılmış, bu sınıflandırma başlıklar halinde şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Mikro / Mini İnsansız Hava Araçları
- ✓ Taktiksel İnsansız Hava Araçları
- ✓ Stratejik İnsansız Hava Araçları
- ✓ Özel Görev İnsansız Hava Araçları.

İnsansız hava araçlarının standart bir sınıflandırması olmadığından bu tür sınıflandırmalar daha da arttırılabilir. Ancak ihtiyaçlar ve kriterler baz alındığında daha çok kullanım alanına ve İHA'ların genel özelliklerine göre incelememiz daha yararlı olabilecektir.

3.1.5. Kullanım Alanlarına Göre İHA'lar

3.1.5.1. Askeri İHA Sistemleri

İHA sistemleri geliştirilmeden önce askeri anlamda gözetleme, istihbarat ve keşif gibi temel askeri görevlerde fazlaca can kayıpları olması kaçınılmazdı. Bu gibi askeri görevlerin gerçekleştirilmesi sırasında görevli personelin hayati tehlikesi oluşmaması düşüncesi, süre bakımından insan anatomisinin kaldıramayacağı boyutlarda olan uzun görevler için oldukça yüksek bir performans zorunluluğu ve insanların ulaşım sağlayamayacağı yerlerin olmasından veya çok zaman almasından dolayı İHA'ların geliştirilerek bu görevlerde kullanılmasının gerekliliği doğmuştur. Dolayısı ile İHA sistemleri ile yerine getirilen bu görevlerde, bahse konu olumsuz olaylarla karşılaşılması ortadan kaldırılmış olmaktadır. İHA sistemleri görevin ne olacağına ve ne kadar süreceğine bağlı olarak ihtiyaç duyulan donanımlarla (haberleşme, uydu iletişimi, veri güvenliği, kendini koruma gibi) donatılmaktadırlar (Ulvi, 2015).

İHA sistemlerinin gelişim sürecinde yer almış ilk gelişmiş uygulamalar; belli bir hedef doğrultusunda ayarlanarak mühimmat gibi tek kullanımlık görevler (kamikaze), radarda tespit edilen insanlı uçakların izini taklit edebilen sahte uçak uygulamaları, hava savunmaları için atış eğitimi

sırasında kullanılmak üzere hedef uçak uygulamaları olarak sıralanabilir. Bunlar gibi temel uygulamalardan sonra İHA üreticileri, gelişen teknoloji ile birlikte, daha özel amaçlı uygulamaları gerçekleştirebilmek için yeni İHA sistemleri geliştirmişlerdir. Bu sistemlerin kullanım alanları arasında; biyolojik, kimyasal, radyoaktif türü tehditlerin belirlenmesi, mayın tespiti yapma, güvenlik koridoru açma gibi görevler ilk olarak sayılabilir(URL-2).

3.1.5.2. Sivil İHA Sistemleri

i - Döner Kanatlı Sistemler

Helikopterlerin yapısından örnek alınarak ortaya çıkan döner kanatlı İHA sistemleri düşük maliyeti ve basit kullanımı sayesinde ön plana çıkmaktadır. Fırçasız motor yapısına sahip bu sistemler genel olarak 3, 4, 6, 8 pervaneli ve az miktarda 12 ve 16 pervaneli olarak kullanılır. İtme kuvveti ve pervanelerin oluşturduğu tork ile kontrolü sağlanarak, motorlar eş zamanlı olarak saat yönüne veya tersine dönerek havalanır ve manevra kabiliyeti edinir. Önde ve arkada yer alan pervanelerin dengeli itme gücü sayesinde havada sabit bir şekilde durabilmesi sağlanmaktadır(Eisenbeiss, 2009). Döner kanatlı İHA'ların en büyük avantajı düşey olarak sabit bir noktaya manuel veya otomatik olarak iniş kalkış yapabilmeleri olarak söyleyebiliriz. Bu özelliği sayesinde sabit kanatlı İHA'larda gerekli olan iniş ve kalkış platformlarına gerek duyulmamaktadır. Bu sayede profesyonel bir eğitime ihtiyaç duymadan kullanıcıların kolaylıkla kullanmasını sağlamaktadır. Ek olarak yüksek manevra kabiliyeti, etrafında dönebilme ve sabit bir noktada asılı kalma özelliği birçok avantaj sağlamaktadır. Döner kanatlı İHA'ların dezavantajları da bulunmaktadır. Elektronik ve mekanik olarak karmaşık bir yapıya sahip oldukları için bakım ve onarımları zahmetlidir. Havada yavaş hareket etmeleri ve uçuş sürelerinin düşük olması nedeniyle çalışma alanını taramak için birden fazla iniş-kalkış yapılması gerekmektedir. Bu da operasyonel zaman ve bütçeyi arttırmaktadır(Gençerk, 2016).

* Pil ile çalışan sistemler

** Quadrotor (Dört Pervaneli)

** Hexacopter (Altı Pervaneli)

** Multicopter (Sekiz Pervaneli)

* Yakıt ile çalışan sistemler

** Helikopter

ii - Sabit Kanatlı Sistemler

Sabit kanat İHA sistemleri, ince kanatları sayesinde hava sürtünmesini etkisiz kılan kuyruk kısmındaki elektrikli ya da içten yanmalı motordan gücünü alarak havada hızlanabilmesini sağlamaktadır. Kanatlarının içerisinde bulunan kontrol yüzeyleri sayesinde havada alçalıp yükselmesi

ve yön kontrolü sağlanmış olur. Diğer bir ifadeyle kontrol yüzeyleri sayesinde yanal eksen, boyuna eksen ve düşey eksen kontrollerinin yapılması sağlanır. Bu kanat yapısıyla havada süzülme özelliğine sahip olan bu araçlar uzun süre havada kalma avantajına sahiptirler. Ancak dikine iniş ve kalkış yeteneklerinin olmaması da beraberinde dezavantaj sağlamaktadır(Eisenbeiss, 2009). Otonom uçuş haricinde manuel kullanım ile kontrol etmek istenildiğinde deneyim gerektirir ve bu sistemlerde kalkış - iniş anlarında yaşanan zorluklarından dolayı inişlerde paraşüt açarak, kalkışlarda ise fırlatma rampası ya da elle fırlatma yöntemi kullanılır(Kesikoğlu, 2020).

* Pil ile çalışan sistemler

** Fırlatıcı(Rampa) Kullanan Sistemler

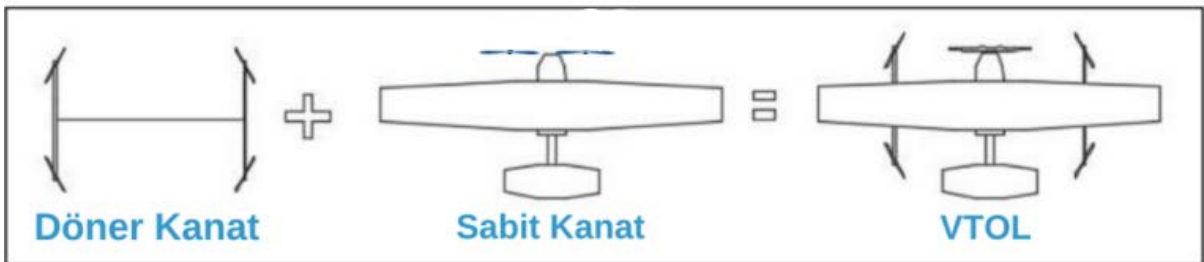
** El ile fırlatılan Sistemler

* Yakıt ile çalışan sistemler

iii - VTOL

VTOL (Vertical Take Off and Landing) kelime anlamı olarak dikey iniş ve kalkışın kısaltması olup; bu insansız hava araçları döner kanatlı İHA'lar gibi iniş ve kalkış sırasında geniş bir piste ihtiyaç duymama özelliğine sahip olduğu gibi sabit kanatlı İHA'lar gibi de uzun süre uçuş yapabilme özelliğine sahiptirler.

VTOL'lerin uçuş prensibi hibrit uçuş sistemi olup, döner kanat ve sabit kanat sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İki sistemin de oldukça verimli bir şekilde çalışması ile diğer insansız hava araçlarına göre çok daha üstün bir uçuş performansı sağlar(URL-3).



Şekil 3.1. VTOL İHA (URL-3).

Döner Kanat Sistemi (Dikey iniş-kalkış):

Bu sistem multicopter itki sistemi olup, VTOL'ün dikey kalkış ve inişi sırasında kullanılmaktadır. Genellikle dört(4) adet DC fırçasız motora sahip olup, bunlar gövde üzerine sabitlenmişlerdir (DC fırçasız motorlar uzun ömürlülük, bakım gerektirmeme, gürültüsüz çalışma ve yüksek verimlilik gibi avantajlara sahiptirler.). Motorların iki tanesi saat yönüne doğru, diğer ikisi ise saat yönünün tersine dönmektedir. Böylece multicopterlerin ana uçuş prensibi olan açısal momentum ile iniş-kalkış yapmaktadır.

Sabit Kanat Sistemi (Yatay Seyir):

Kalkıştan sonra VTOL'ün kanatları ile ilerlemesine imkan veren sistemdir. Bu sistem ile, İHA'ların ana itki motoru ile kanatları üzerinde uzun süre uçuş gerçekleştirebilmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.2. VTOL İHA Görünümü.

VTOL İHA'ların Diğer İHA'lara Göre Avantajları

- ✓ Döner kanatlı itki sisteminin olması ve bu sayede verimli manevra kabiliyetinin olması,
- ✓ Yüksek hızlara ve daha uzun menzillere ulaşabilmesi,
- ✓ Uzun uçuş süresine sahip olması,
- ✓ Orman veya dağlık kesimler gibi sınırlı alana sahip bölgelerde kullanılabilmeleri,
- ✓ Kısmen sert hava koşullarında dahi kalkış ve iniş yapabilmesi,
- ✓ Havada sabit kalabilmesi ve buna bağlı olarak hassas gözlem yapabilmesi.

iv - Çırpan Kanatlı Sistemler

Kuşların kanatlarını kullanması gibi yükselme tekniğinden yararlanan, esnek ve çırpan kanatları olan İHA'lardır. Delfly II ve Nano-Hummingbird bunlara örnektir.

v - Hibrit ve Değiştirilebilir Sistemler

Önceki kategorilerden bir karışım olarak dizayn edilmiş, olduğu yerden havalanarak sonrasında pervanelerini ve gövdesini eğip uçak benzeri bir hareketle uçabilen sistemlerdir. T-Wing ve Bell Eagle Eye bu sistemlere örnek olabilir.

vi - Uçurtmalar

* Delta Uçurtma

* Fled Uçurtma

* Soft Uçurtma

vii - Zeplin

Genellikle hidrojen veya helyum gibi hafif gazlarla doldurulan, uzun bir gövdeye ve altında bir sepete sahip büyük hava gemileri olup, ilk olarak 20. yüzyılın başlarında askeri ve sivil amaçlar için kullanılmıştır. Uçakların gelişmesiyle birlikte zeplinlerin kullanımı azalmıştır.

viii - Balon

Sıcak hava veya helyum gibi bir gazla doldurulmuş, genellikle kumaş veya başka hafif malzemelerden yapılmış bir hava taşıdır. Balona bağlı olan taşıma sepetinde yeterli personel ve teçhizatlarla fotoğraf çekimi yapılarak hava fotogrametrisinde ilk uygulamalar arasında örnek verilebilecek taşıtlardır.

3.1.6. Performans Özelliklerine Göre İHA'lar

İHA'ların sınıflandırılmasında en önemli kategorilerden biri de performans özelliklerine göre olanıdır. Burada ağırlık, havada kalış süresi, kanat yüklemesi, menzil, kanat açıklığı, çıkabileceği maksimum yükseklik ve hız gibi performans özellikleri baz alınır.

- Ağırlığına Göre;

Tablo 3.1. İHA'ların ağırlıklarına göre sınıflandırılması (Arjomandi,M).

Ağırlığa Göre Sınıflandırma		
Kategori	Ağırlık aralığı	İHA
Fazla ağır	>2000 Kg	Global Hawk
Ağır	200-2000 Kg	A-160
Orta	50-200 Kg	Raven
Hafif	5-50 Kg	RPO Midget
Mikro	>5 Kg	Dragon Eye

- Havada Kalış Süresi ve Menzile Göre;

Tablo 3.2. İHA'ların havada kalış süresi ve menzile göre sınıflandırılması (Arjomandi,M).

Havada Kalış Süresi ve Menzil			
Kategori	Havada Kalış Süresi	Menzil	İHA
Uzun	> 24 Saat	> 1500 km	Predator B
Orta	5-24 Saat	100-400 km	Silver Fox
Kısa	> 5 Saat	< 100 km	Pointer

- Çıkılabilen İrtifaya Göre;

Tablo 3.3. İHA'ların çıkabileceği yüksekliğe göre sınıflandırılması (Arjomandi,M).

Çıkılan Yüksekliğe Göre Sınıflandırma		
Kategori	Maksimum Yükseklik	İHA
Alçak	< 1000 m	Pointer
Orta	1000 - 10000 m	Finder
Yüksek	> 10000 m	Darkstar

- Kanat Yüklemesine Göre;

Tablo 3.4. İHA'ların kanat yüklemesine göre sınıflandırılması (Arjomandi,M).

Kanat Yüklemesine Göre Sınıflandırma		
Kategori	Kanat Yüklemesi (kg / m2)	İHA
Düşük	< 50	Seeker
Orta	50-100	X - 45
Yüksek	> 100	Global Hawk

- Motor Tipine Göre;

Tablo 3.5. İHA'larda kullanılan motor tipine göre sınıflandırılması (Arjomandi,M).

Motor Tiplerine Göre İHA Örnekleri					
İki Zamanlı	Turbofan	Turboprop	Piston	Elektrikli	Pervaneli
Pioneer	Global Hawk	Predator B	Neptune	Dragon Eye	LEWK
RPO Midget	Phoenix		Dragon Drone	Dragon Warrior	Sperwer
	X - 45		Finder	Pointer	
	X - 50		A 160	Raven	
	Fire Scout		GNAT	Luna	
			Crececelle	Javelin	
			Seeker		
			Brevel		
			Snow		
			Goose		
			Silver Fox		
			Heron		

3.1.7. İnsansız Hava Araçlarının Türkiye'deki Sınıflandırılması

Teknolojinin sürekli gelişiyor olması ile askeri ve sivil kullanımların çeşitlenmesi kaçınılmaz olmuş, bunların sonucunda da sınıflandırma türleri farklılık göstermeye başlamıştır. Uluslararası platformlar daha çok sınıflandırmalarını çıkabilecekleri irtifaya göre yapsa da(Blyenburgh, 1999),

Türkiye’de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)’nce yapılan mevzuat çalışmalarında genel olarak kanat yapıları ve taşıyabildikleri yük ağırlığına göre sınıflandırılma yapılmaktadır.

SHGM’ nün 2016 ve 2019 yıllarında yayımlanan talimatına göre İHA’lar kaldırabileceği ağırlık bakımından dört(4) farklı şekilde gruplandırılmaktadır.

- a) (İHA0): Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) – 4kg aralığında olan İHA’lar,
- b) (İHA1): Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA’lar,
- c) (İHA2): Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA’lar,
- d) (İHA3): Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA’lar olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu sınıflandırmalara göre 500 gr ve altındaki İHA’ların ticari anlamda kullanılmaları için sınırlandırma bulunmazken, 500 gr ve üzeri İHA’lar için SHGM’nce verilmiş olan uçuş ehliyetinin bulunması zorunludur. Askeri amaçlı kullanılanların dışında olan ve genellikle sivil amaçlı kullanılan döner kanatlı İHA’lara dron da denilmektedir(Kahveci ve Can, 2017).

3.1.8. İHA’nın Uluslararası ve Türkiye Kullanımlarında Hukuki Altyapısı

İHA mevzuatlarının temeli, 1944 yılında Birleşmiş Milletler Şikago Konferansı’nda oluşturulan Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi ile, bu sözleşmeye bağlı olarak 1947 yılında kurulan Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü(ICAO)’nün yayınlarına ve uluslararası sözleşmelere dayanmaktadır(Cary ve Coyne, 2011).

ICAO’nun 2011 yılında İHA mevzuat oluşturma bakımından yayımladığı düzenlemeden sonra; ABD, AB, İngiltere, Kanada, Avustralya, İsveç gibi bazı ülkelerin de mevzuat çalışmaları ve uygulamaları olmuştur.

Dünyadaki bu mevzuat çalışmalarına paralel olarak Türkiye’de ise sivil havacılık çalışmalarını düzenleyen 2920 ve 5431 sayılı kanunlar esas alınmaktadır. İHA’lar ile ilgili olarak yasal zemin oluşturma ve mevzuat çalışmaları doğrultusunda Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından 2920 ve 5431 sayılı kanunlara dayalı olarak “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul ve Esaslarına İlişkin Talimat (SHT-IHA)” 30 Ekim 2013 tarihinde yayımlanmış, böylece daha detaylı ve özel bir hukuki altyapı oluşturulmuştur.

Havacılık hukukunun üç temel konusu olan; hava sahasına entegrasyon veya hava trafik yönetimi, uçuşa elverişlilik sertifikasyonu, İHA pilot veya operatör lisansı ve sertifikasyonu gibi konularda 22 Şubat 2016 (son değişiklik: 05.07.2019) tarihinde ikinci bir düzenleme yapılarak yine SHGM tarafından ‘İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-IHA)’ olarak yayımlanmış, ve bilgi eksikliği hissedilen bu konulara açıklık getirilmiştir. Bu temel konulara ek olarak kaza durumlarında sorumluluğun, amacı dışında kullanımın, özel hayatın gizliliği ve İHA’ların yerleşim alanlarına yakın bölgelerde kullanımı gibi konuların da düzenlenmesi ile sınırlama getirilmiştir(Torun, 2017).

Birçok ülkede, 25-30 kg ağırlığından daha büyük İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), sivil havacılık mevzuatına tabi tutulmaktadır. Ancak, bu ağırlık sınırının altındaki İHA'lar kamu kurumları

veya yerel yönetimlerin gözetimi ve iznine tabidir. Yani, kullanılan İHA'nın ağırlığı, uçuşa ilişkin hukuki düzenlemelerin belirlenmesinde kritik bir faktördür. ICAO sözleşmelerinde belirlenen limitler de dikkate alarak hazırlanan ve SHGM tarafından Türkiye’de de uygulanabilinen talimata göre, azami kalkış ağırlığı 500 gr’dan az olan hobi amaçlı ürünler harici tüm diğer sınıflandırmalarda ithalat, kayıt, uçuş izni, sertifikasyon, pilotaj, sigorta ve sivil havacılık kurallarına uygun göreve, doğru geçerli kullanım ve izin sınırlamaları bulunmaktadır. Tablo 3.6. da ağırlıklarına göre sınıflandırılmış olan İHA’lara uygulanacak prosedürlerin özet bilgisi gösterilmiştir.

Tablo 3.6. SHGM, ‘İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-IHA)’ özet tablosu.

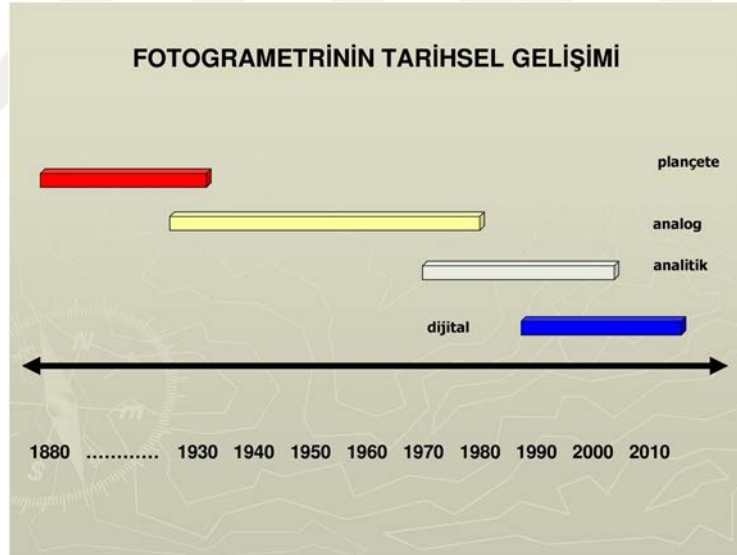
TÜR	Kategori Dışı	İHA0	İHA1	İHA2	İHA3
Min Ağırlık (kg)	...	0.5	4	25	150
Maks Ağırlık (kg)	0.5	4	25	150	...
İthalat		Katalog, standart	Katalog, standart	Uçuşa Elverişlilik Sertifikası	Uçuşa Elverişlilik Sertifikası, Test
Kayıt		Kayıt	Kayıt, Acil Durum İniş	Tescil, Hava trafik ünitesi ile haberleşme	Tescil, Algıla, sakın
Uçuş İzin		Uçuş Operasyon El Kitabı	Uçuş Operasyon El Kitabı	Onaylı Uçuş Operasyon El Kitabı	Onaylı Uçuş Operasyon El Kitabı
Uçuşa Elverişlilik Sertifikası					3 yılda yenileme, Servis bülteni, bakım
Pilot, Lisans		Eğitim, Kayıt	Eğitim, Kayıt	Pilot Eğitim, Lisans	Pilot Eğitim, Lisans
Sigorta	Sorumlu	Sorumlu	Sorumlu	Sorumlu, Sigorta	Sorumlu, Sigorta
NOTAM		Meskun	Meskun	Tüm	Tüm

3.2. Fotogrametri

Fotogrametri, kuralına göre çekilmiş fotoğraflar yardımı ile yapılan ölçme tekniği ve görüntü verilerinin metrik yorumlaması olup, nesnelerin bir veya birden fazla fotoğraftan uzaydaki şeklini, boyutlarını ve konumunu detaylı olarak belirlemeyi amaç edinmiş bir bilim dalıdır. Farklı bir ifade ile fotoğraf üzerinden iki veya üç boyutlu cisimlerin ölçülmesi olup, fotoğraf yardımı ile objelerin geometrik ve radyometrik parametrelerini elde etmektir.

Bir başka ifade ile; Fotogrametri, kameralar veya sensörler ile elektromanyetik enerji yardımı ile yerden, havadan veya uydudan alınan fotografik veya başka şekildeki görüntülerden analog, analitik ya da dijital(sayısal) yöntemlerle güvenilir ölçüler alarak, fiziksel nesnenin şekil, boyut ve konumu ile çevrenin çeşitli özelliklerini belirleyen bilim dalıdır(Aydeniz, 2020).

Fotogrametri, fotoğrafın bulunması ile kullanılmaya başlayan bir tekniktir. 1910' lu yıllardan sonra uçaklardaki ve analog fotogrametrik cihazlardaki gelişmelerin sonucu, analog fotogrametri olarak, klasik bir uygulama halini almıştır. Bilgisayar ve sistemlerinin kullanılmaya başlanması ile birlikte 1970'li yıllarda analitik fotogrametrilerin üretim sürecine girilmiştir. Teknolojideki gelişmeler sonucu 1990'lardan sonra dijital fotogrametri süreci başlamıştır.



Şekil 3.3. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi (Yıldız, 2010).

Fotogrametri ile birlikte nesnelere her hangi bir temas edilmesine gerek kalmadan ölçüm işlemi yapılabilmektedir. Ölçme işlemi, istenilen zamanda gerçekleştirilebilmekte veya tekrarlanabilmekte, yer ve zaman bakımından fotoğraf çekimine bağlı değildir. Ölçme işlemlerinin birçoğunda mümkün olmayan ölçmelerin homojen olma koşulu, fotoğraf çekme işleminin çok kısa bir sürede olmasından, burada tam olarak gerçekleşmektedir. Ölçümü zor olan karmaşık nesneler ve hareket ciddi bir zorlukla karşılaşılmadan ölçülebilmekte, çıplak gözle görünmesi mümkün olmayan ışınlardan belirli limitler

dahilinde yararlanılabilmektedir. Fotoğraf üzerinde çalışmak, doğrudan nesneler üzerinde ölçüler yapıp veri toplamaktan daha kolay, daha hızlı ve daha ekonomik olmaktadır. Hareketli nesnelerin ölçülmesi gibi, doğrudan ölçülmesi imkansız nesnelerin de ölçülmesine imkan sağlamaktadır. Ölçme ve veri toplama gerekli olduğu takdirde hareket halindeki bir araçtan da gerçekleştirilebilmektedir (URL-4).

3.2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Fotogrametriyi, ölçülmesi istenen nesnelerin yakın veya uzak olmasına, kullanılacak kameraya, fotoğraf çekilen yerin konumuna, edinilecek bilginin türüne, değerlendirme yöntemine ve kullanılan resim sayısı ile uygulama alanlarına göre sınıflandırmak mümkündür. Konumuz ile ilgili olan sınıflandırma türü daha çok fotoğraf çekilen yerin konumuna göre olandır.

Fotogrametri, değerlendirme tekniklerine göre dört gruba ayrılmıştır. Analog fotogrametri, çift fotoğraf değerlendirmesinden yararlanılarak çekilen fotoğrafların 3B modellerinin üretildiği ve nesnelerin çizgisel yollar ile değerlendirildiği bir tekniktir. Grafik fotogrametri, fotoğrafların sayesinde mesafe ve doğrultu ölçmeleriyle perspektif harita üretimi amacıyla kullanılan bir değerlendirme tekniğidir. Sayısal fotogrametri, dijital biçime çevrilmiş fotoğraf çiftlerinin tamamıyla bilgisayar ortamında kullanılmak suretiyle otomatik değerlendirme süreçlerinin yürütüldüğü bir tekniktir. Analitik fotogrametri ise analog fotogrametri ve matematiksel tekniklere ilaveten elektronik ve bilgisayar yapılarının kullanıldığı bir tekniktir(Aydeniz, 2020).

Değerlendirme esnasında kullanılacak olan resim sayısına göre fotogrametri, tek ve çift fotoğraf değerlendirmesi olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek fotoğraf değerlendirmesi; metrik veriler, fotoplanlar ve fotomozaiklerin elde edildiği tekniktir. Çift fotoğraf değerlendirmesi yani stereo değerlendirme, aynı bölgenin iki değişik noktadan çekilen fotoğrafları ve bu fotoğraf çiftleri sayesinde metrik verilerin elde edildiği tekniktir.

- ***Fotoğraf Çekilen Yerin Konumuna Göre***

Yersel Fotogrametri: Fotoğraf çekme işleminin, yer üzerindeki bir noktadan yapılarak gerçekleştirilmiş tekniktir.

Hava Fotogrametrisi: Fotoğrafın, genelde bir hava aracına monte edilmiş kamera ile çekilmesi ile yapılan tekniktir.

Yakın Resim Fotogrametrisi: Ölçülecek nesne ile kamera arasındaki mesafenin en fazla 300 m olduğu tekniktir (Ulvi, 2015).

3.2.2. Hava Fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi uçak gibi hava araçlarında bir düzeneğe monte edilmiş kamera yardımı ile çekilen fotoğraflarla çalışan, orta ve büyük ölçekli harita yapımında sıklıkla kullanılan fotogrametri yöntemidir.

Fotogrametrinin ilk çıkışında ve gelişim süreci içerisinde nesnelerin görüntüsü yerden çekilerek elde edilmekteydi. Hava fotogrametrisi ile çekim noktası gökyüzüne taşınmış oldu. Böylelikle distorsiyon(*Herhangi bir nesnenin şeklinin değişime uğraması*) hataları giderildikten sonra daha büyük bir alanın hızlıca haritalarının oluşturulması sağlanmış olmaktadır. Hava fotogrametrisinde resim ölçeğinin sabit kabul edilebilmesi, haritacılık sektöründe ekonomik ve prezisyon(*Düşey açılarının ölçülmesi ile yüksekliklerin belirlenmesi yöntemi*) açısından pek çok avantajı beraberinde getirmiştir.

Hava fotogrametrisinde fotoğraf çekimi genellikle uçaklardan yapılmaktadır. Hava fotogrametride kullanılan bu uçakların bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir(URL-4).

- ✓ İlerisine, yanlarına ve aşağısına doğru iyi bir görüş sağlamalıdır.
- ✓ Hız miktarı ihtiyaca göre değişken olabilmelidir. Örneğin 150-300 km/h.
- ✓ En az 4 saat yakıtı ihtiyaç duymamalı, mümkünse 6-7 saat uçuş gerçekleştirebilmelidir.
- ✓ Deniz seviyesinden 7-8 km irtifaya çıkabilmelidir.
- ✓ İniş ve kalkışını kısa pistlere de yapabilmelidir.
- ✓ Monte edilecek kamera için tam olarak ağırlık merkezinde yer bulunmalı, ve delik açılmış olmalıdır.
- ✓ Uçak içerisinde 3 veya 4 personelin rahatlıkla hareket edebilip çalışabileceği bir kabin bulunmalıdır.



Şekil 3.4. Hava fotoğrafı çekim uçağı (URL-4).

Kullanılacak uçağın içerisinde en az üç (3) personel bulunmalı ve bunlar pilot, navigatör ve fotoğrafçıdan oluşmalıdır. Navigatör, uçuşun planlandığı gibi gerçekleşmesini sağlayan kişidir. Bu görevi yerine getirebilmek için navigasyon dürbünü kullanılır. Bu dürbün sayesinde uçağın yönlerine doğru geniş bir görüş imkanı sağlanmış olunur. Hava fotogrametrisinde pilot ve navigatörün zaruri olmakla birlikte dijital kamera kullanılması durumunda personel ve ekipman sayısı azaltılabilir(URL-4).

Küçük ölçekli hava fotogrametrisinde topoğrafik haritalar ile büyük ölçekli hava fotogrametrisinde prezisyonlu topoğrafik haritalar, kentsel CBS, 3B şehir modelleri hava fotogrametrisinin çalışma alanları olarak sayabilir.

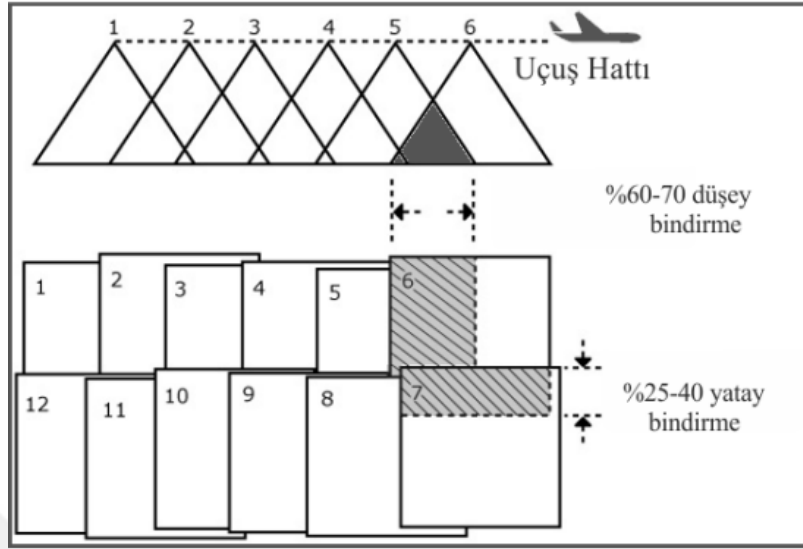
Hava fotogrametrisinde özel kameralar ile kullanılacak fotoğraflar çekilir. Bu kameraların odak uzaklığının sabit olması, distorsiyonunun az olması ve ayırma gücü yüksek objektiflere sahip olması gibi özellikleri bulunması gerekmektedir. Kameranın özelliklerine göre hava fotoğrafları siyah veya beyaz, doğal veya yapay renkli olabilmektedir. Standart olarak üretilen haritalarda genellikle siyah/beyaz film kullanılmaktayken, son yıllarda doğal renkli hava fotoğrafları ve sayısal hava fotoğrafları kullanılmaya başlanılmıştır. Özellikle siyah/beyaz fotoğraflara göre renkli fotoğraflar daha çok tercih edilmektedir. Renkli fotoğrafların gerek yorumlama yapılırken gerekse ortofoto ürünü için, siyah beyaz benzerlerine göre birkaç yüz kat daha fazla bilgi taşıdıkları söylenebilir(Yaşayan, 2018).

Hava fotogrametrisinde genel olarak işlem sırası;

- Planlama,
- Arazi çalışmaları,
- Fotoğraf çekimi,
- Değerlendirme olmak üzere dört(4) bölüme ayrılarak gerçekleştirilir.(Atak, 2018)

Hava fotogrametrisi için bazı işlem adımları sırası ile uygulanmalıdır. Öncelikle üretilecek harita ölçeğine göre hava fotoğrafı sağlanacak bölge için yatay ve düşey bindirmeli olarak detaylı uçuş planı hazırlanır. Bu uçuş planında gerçekleştirilecek uçuşun yönü, uçulması gereken şerit sayısı, doğrultusu ve konumu, görüntü bindirme oranları, poz süresi ve aralığı, rüzgarın yönü ve etkisi gözlemlenerek uçağın rotası, hızı, kullanılacak kamera ve tipi belirlenmiş olur. Fotogrametrik çalışmaların doğruluğunda önemli etkenler biri olan yer kontrol noktaları, havadan net bir şekilde görülebilecek şekilde tasarlanır ve işaretlenir. Hassasiyetinin yüksek olması gerektiğinden dolayı klasik jeodezik yöntemle ölçülür. Hava triangülasyonu için kullanılacak yer kontrol noktalarının dağılımı ve sıklığı ise hava nirengisine göre seçilmelidir. Uçuş planı yapıp, arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra uçuş gerçekleşir ve özel yapılmış metrik kameralarla hava fotoğrafları alınır. Ofis ortamında, yeni konumsal bilgilerin üretilmesi için kullanılması gereken fotoğrafların seçimi ve sayısal düzenlemeler,

ölçü ve hesaplamalar gerçekleştirilerek stereo değerlendirme ve çizim gerçekleştirilir. Böylece çalışma alanının yüksek hassasiyette ölçümü gerçekleştirilmiş olur(Avşar, 2006).



Şekil 3.5. Fotogrametrik uçuş planı.

Son yıllarda, fotogrametri uçakları GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemi) teknolojisi ile donatılarak, navigasyon için sayısal olarak hazırlanan uçuş çizgileri aracılığıyla gerçekleştirilen uçuşlarda sapmaların anlık olarak görüntülenmesi sağlanmıştır. Bu sayede, planlanan uçuşun daha hassas ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmektedir. GPS sisteminin başka bir kullanımı olan kinematik GPS kullanımı ile fotoğraf çekim noktalarının (izdüşüm merkezleri) X_0 , Y_0 ve Z_0 koordinatları desimetre doğruluğunda elde edilebilmektedir. Fotoğraf çekimi sırasında dış yöneltme elemanlarının yarısının belirlenmesi, sonraki fotogrametrik çalışmaları büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır(URL-4). Bu yöntem, elde edilen görüntülerin daha kesin bir şekilde yerleştirilmesini ve analizini sağlayarak, fotogrametri alanında daha doğru ve verimli sonuçlara ulaşmayı desteklemektedir.

3.2.3. İHA Fotogrametrisi

İHA fotogrametrisi, içerisinde insan olmaksızın otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen, insansız hava araçlarına monte edilmiş kameralar aracılığıyla elde edilen fotoğrafların kullanılmasıyla gerçekleştirilen bir fotogrametrik süreci ifade eder. Bu yöntem, özellikle gelişen görüntü işleme teknikleri ile birlikte, mimari, arkeolojik ve tarihi eserlerin 3B modellemesi, geniş alanların hacim gibi hesaplamalarının yapılması, ulusal veya uluslararası sınır gözetleme, kadastro ve halihazır harita üretimi gibi çeşitli uygulamalarda oldukça etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Ulvi, 2021).

İnsansız hava araçlarının sağladığı esneklik ve yüksek çözünürlüklü görüntü kalitesi, İHA fotogrametrisini çeşitli disiplinlerde tercih edilen bir yöntem haline getirmiştir. Bu teknoloji, özellikle

zorlu erişim bölgelerinde ve geniş alanlarda veri toplama süreçlerini hızlandırarak, detaylı ve hassas sonuçların elde edilmesine olanak tanır. Bu nedenle, İHA fotogrametrisi, birçok profesyonel alanda çeşitli hesaplamalar ve analizler için önemli bir araç haline gelmiştir.

İHA sistemlerinin fotogrametri alanında kullanılması ile birlikte zorlu ve riskli arazi şartlarında, kapalı hava gibi meteorolojik durumlardan az etkilenme, düşük maliyet ve yatırım, veriye hızlı ulaşma, hassas konum doğruluğu gibi avantajlar oluşmaktadır. Ancak tüm bu avantaj sağlayan özelliklerinin sınırlarını zorlamamak gerekmekte, avantaj olan bu özellikleri dezavantaja çevirmemek gerekir.

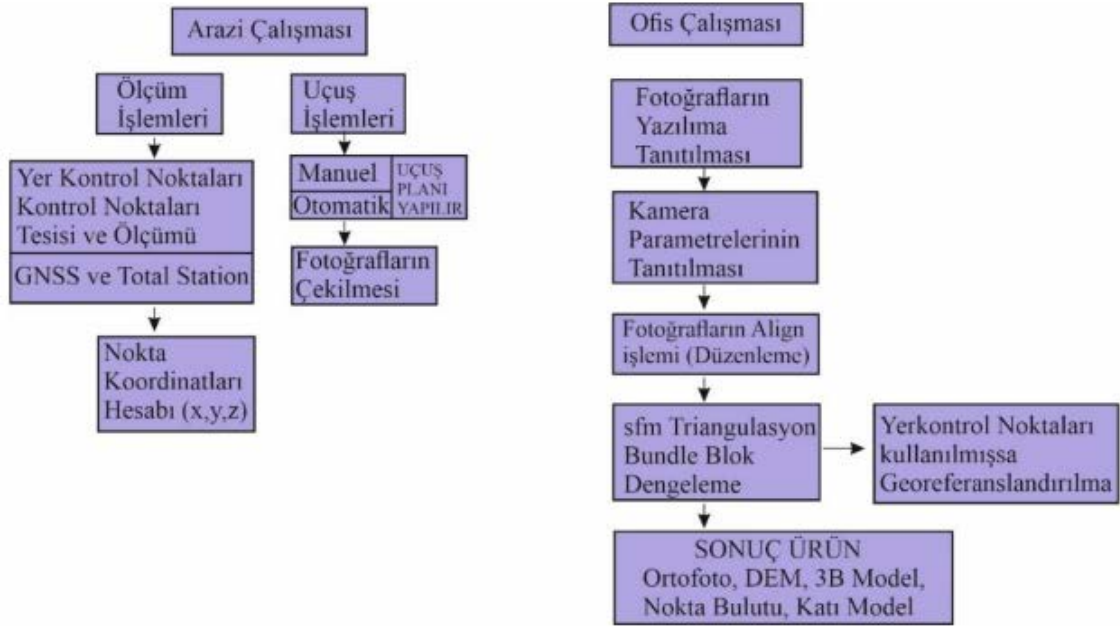
İHA fotogrametrisinde hava aracının ve faydalı yüksekliğin seçiminde proje amacı, süresi, bütçesi ve büyüklüğü, alanın topoğrafyası, meteorolojik koşullar, ihtiyaç duyulan doğruluk ve hassasiyet göz önünde bulundurulmalıdır.

İHA destekli fotogrametrinin temel amacı, uçak kullanılarak gerçekleştirilen ve genellikle geniş alanlar için geçerli olan hava fotogrametri yöntemlerine göre küçük alanların daha kısa sürede yüksek hassasiyette fotoğraflarını çekmektir. Aynı zamanda İHA'ya entegre kameralar ile uygulama içerisinde beklenen doğruluk değerlerine göre belirli örtüşme oranları ve uçuş yükseklikleri dikkate alınarak görüntüler alınmaktadır. Bu fotoğraflar, fotogrametrinin nasıl çalıştığına bağlı olarak çeşitli yazılımlarda işlenir ve sonuç verileri üretilir(Kadı, 2021).

Genel olarak bu yöntemde, fotoğraflar piksellerine ayrılarak içerdikleri detay özellikleri(bina köşeleri gibi) belirlenir; ardından bindirmeli olarak çekilmiş diğer fotoğraflarda aynı piksellerle eşleştirilerek demet dengelemesi yapılarak fotoğrafların çekildiği andaki bir modeli oluşturulur. Bu aşamada, seyrek nokta bulutu verisi elde edilir. Nokta bulutu oluşturma sürecinde, seyrek nokta bulutu ve kamera lokasyonları kullanılarak sık nokta bulutu oluşturulur. Geometrik dönüşüm (georeferencing) gerçekleştirebilmek için bu aşamada yer kontrol noktalarının tesis edilmiş olması gerekmektedir. Daha sonra, yüzey modeli oluşturularak ortofoto, arazi modelleri ve 3B model ürünleri gibi görselleştirme ürünleri elde edilebilir(Atak, 2018).

İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), geleneksel veri toplama yöntemlerine göre sağladığı daha fazla esneklikle birlikte, hem çalışma sahasında daha az vakit harcanmasını ve hem de maliyetin düşürülmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Habib vd., 2009). Yeni nesil İHA'lara monte edilen Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) sayesinde, çekilen fotoğrafların hassas konum bilgilerinin de olması bu sistemin sunduğu avantajlardan biridir. Ayrıca, hem GPS modülünün bulunması hem de bu İHA'ların otomatik fotoğraf çekebilme özelliği, distorsiyonun (öteleme, dönüklük ve kayıklık gibi geometrik bozulmaların) önemli ölçüde azalmasına katkı sağlamaktadır. İHA'ların sahip olduğu gelişmiş teknik görüntüleme sistemlerinin bulunması ile birlikte düşük irtifadan uçuş kabiliyetinin bulunması sayesinde elde ettiği veriler, uydu görüntülerinden ve insanlı uçaklardan elde edilen verilere kıyasla çok daha yüksek çözünürlüğe sahip ve çok daha detaylı bilgiler içermektedir. Bu durum, çeşitli alanlarda, özellikle arazi analizi, kentsel planlama, çevre izleme ve tarım gibi uygulama alanlarında daha doğru ve detaylı veri toplama imkanı sağlayarak, karar alma süreçlerini önemli ölçüde iyileştirmektedir.

İHA fotogrametrisi birçok kullanım sahasında kendine yer açmış olmasına rağmen halen kadastro ve planlama gibi mülkiyeti de ilgilendiren çalışmalarda halen kendine tam olarak yer edinememiş ve sadece lokal olarak güncelleme gibi çalışmalarda kullanılıyor olsa da çok sayıda kullanıcının başta doğruluk, uygunluk, ölçülebilirlik (izleme, kalibrasyon, kayıt gibi) açısından İHA'nın uygulama olanakları konusunda çalışmaları devam etmektedir. İHA (İnsansız Hava Aracı) tabanlı ölçme uygulamalarındaki deneyimlerle birlikte, kaliteli olma, güvenilirlik ve altyapı oluşturma ihtiyacı hızla artmaktadır.



Şekil 3.6. İHA fotogrametrisi iş akış şeması (Ulvi, 2021).

3.2.3.1. İHA Fotogrametrisinin Hedefi ve İşlem Adımları

İHA fotogrametrisi (Structure from Motion-SfM, Görüntüden Yapısal Model Oluşturma) Bilgisayarlı görü (computer vision) alanındaki gelişmeler sayesinde geniş çalışma alanları bulmuştur. Bu fotogrametri uygulamasında hesaplama ve işlem süreci aşağıdaki gibi gerçekleştirilir;

- ✓ Her bir noktanın çok boyutlu nitelik vektörleri (feature vector) kullanılarak diğer görüntülerdeki karşılıklarını belirlemek, yoğun ve detaylı bir 3B nokta bulutu oluşturma,
- ✓ Elde edilen yoğun nokta bulutu verileri üzerinden detaylı ve hassas bir yüzey modeli elde etmek için üçgen yüzey ağı ya da piramidal katı model (TIN/TEN model, TIN: Triangulated Irregular Network; TEN: Tetrahedronized Irregular Network) oluşturma,
- ✓ Üçgen yüzey ağı veya piramidal katı modelin, orijinal görüntülerle geri-çatım (back-projection) yöntemiyle birleştirilerek, nesnenin detaylı yüzeyi veya katı modelinin elde edilmesi,
- ✓ Nesnenin yüzeyine detaylı ve gerçekçi bir görüntü dokusu eklemek için oluşturulan yüzeye görüntü giydirme (texturing) (fotogrametri ve uzaktan algılamada ortofoto)(Torun, 2017)

3.2.4. Geleneksel Fotogrametri ve İHA Fotogrametrisi

İHA fotogrametrisi (SfM) ve geleneksel fotogrametri arasında matematiksel ve istatistiksel modellerinde farklılıklar bulunmaktadır.

Geleneksel fotogrametri geometrik, matematiksel ve istatistiksel temellere dayanırken, İHA fotogrametrisi ise bilgisayarlı görü alanındaki gelişmeler ile nokta bulutundan katı model oluşturma amacı için görüntü eşleme ve geometrik dönüşüm algoritmalarına ve modellerine dayanmaktadır.

İHA fotogrametrisi, 3B nesne geri çatımını sağlamak amacıyla doğruluktan çok verimliliğe odaklanır ve bu nedenle elde edilmiş olan tüm veriyi kullanarak lokal çözüm ve lokal optimizasyon teknikleri ile geleneksel fotogrametrinin ışın demeti dengelemesi gibi modellerinden yararlanmaktadır.

Oysa geleneksel fotogrametri, global tutarlılık, model geçerliliği, ölçülerin doğruluğu, uyumluluğu ve temel olarak bütüncül/global matematiksel model ile çözüm aramakta olup, hedeflenen nesnenin bütününi kapsayacak bir global çözüm elde etmeye yöneliktir. Bu temel fark, İHA fotogrametrisinin havadan ölçme, 3B sayısal yüzey modeli oluşturma ve ortofoto yaratma aracı olarak kullanılmasında, uygulama alan ve disiplinlerini sınırlayan bir etken haline getirmektedir. İHA fotogrametrisinin geleneksel fotogrametrinin yerine geçmesi iki alanda gelişme ile mümkün olabilecektir. İlk olarak, İHA fotogrametrisinde kullanılan matematiksel ve istatistiksel modellerin ve bunların uygulama noktasının, geleneksel fotogrametri ile uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Diğer bir gelişme ise, geleneksel fotogrametrinin global çözüm sağlamasında temel olan kamera merceği niteliği ve distorsiyonu hakkında sahip olunan bilgi sayesinde fiziksel koşulların bütüncül-global matematik model tasarlamaya sağladığı olanakların, İHA sensörleri için de geçerli ve kullanışlı hale getirilmesidir (Cryderman vd., 2015, Draeyer vd., 2014, Torun 2016, UAS PEngineering 2012).

Geleneksel hava fotogrametrisinde kullanılan uçaklardan farklı olarak İHA'lar, alçak irtifalarda nesnelere yakın uçuşa imkânı sunmakta, ulaşımın mümkün olmadığı ve insanlı hava araçlarının bulunmadığı bazı durumlarda tercih edilen tek alternatif İHA'lar olmaktadır. Buna ek olarak küçük konvansiyonel hava fotogrametri uygulamalarında, veri hacmi gereksiz ve maliyetli olmasına rağmen dronların kullanımı önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlayabilir (Öztürk vd, 2017).

3.2.5. Structure-from-Motion (SfM)

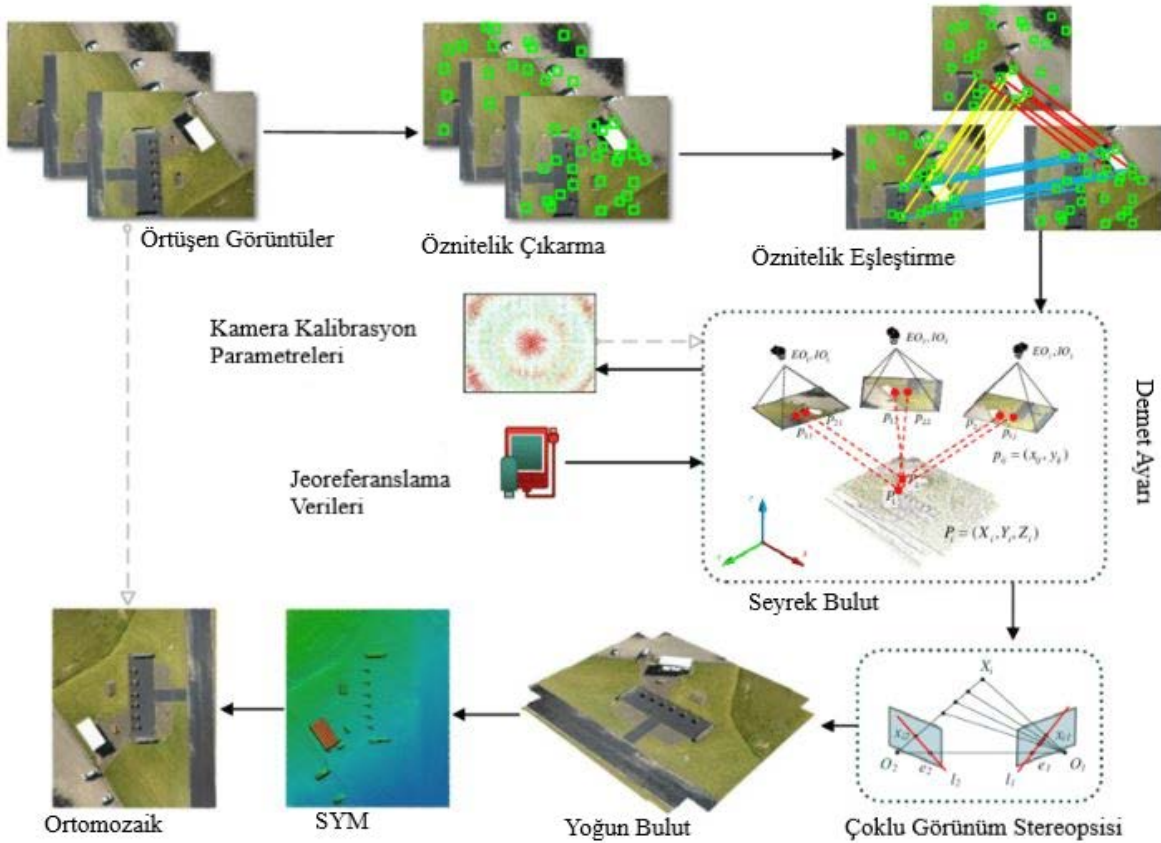
Son yıllarda kullanılmaya başlanan Structure-from-Motion (SfM) fotogrametri, yüksek çözünürlüklü veri kümeleri üzerinde geniş ölçekte çalışma imkanı sunan, düşük maliyetli, kullanıcıya avantaj sağlayan devrim niteliğinde bir fotogrametrik tekniktir.

Structure-from-Motion (SfM), fotoğrafların kamera parametrelerini, pozisyonları ve görüntülerdeki nesnenin üç boyutlu geometrilerinin otomatik olarak düzenlenmesini sağlayarak üç boyutlu model oluşturulmasını mümkün kılan görüntü temelli bir modelleme tekniğidir. SfM, fotogrametrik ölçüm süreçlerine dayanarak belirli bir örtüşme oranına sahip farklı konumlardan çekilen

fotoğraf serilerindeki nesnelerin eşleştirilmesine dayalı olarak, objelerin üç boyutlu modellenmesini sağlamaktadır. (Snavely vd., 2007). İnsanların ve diğer canlıların çevrelerindeki üç boyutlu ortamı, göz içindeki retina tabakasında oluşan iki boyutlu hareketli görüntülerden algılaması gibidir. Görüntüler arasındaki ilişkileri belirleyebilmek için, algılanan köşeler, kenarlar gibi özelliklerin(features) bir görüntüden diğerine izlenmesi gerekmektedir.

Geleneksel fotogrametri teknikleri, geometrik model oluşturabilmek için kamera ile yer kontrol noktalarının hassasiyeti yüksek 3B konum ve yönlendirme bilgilerine ihtiyaç duyar. Oysa hareket tabanlı yapısal algılama yönteminde model geometrisi, kamera pozisyonu ve yönlendirme bilgisi aynı anda ve otomatik olarak çözülmektedir (Atak, 2018). Üç boyutlu uzayda bir noktanın kesin konumunun belirlenmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas bir şekilde konumlandırılmasına duyulan ihtiyacın ortadan kalkması geleneksel stereoskopik fotogrametri ile SfM yöntemi arasındaki temel fark olarak söylenebilir.

Son yıllarda SfM tekniği, ticari yazılımlar kullanılarak İHA'lar ile elde edilen görüntülerin işlenmesiyle yüksek çözünürlüklü sayısal yeryüzü modeli ve ortofoto haritaların üretilmesi için kullanılmaktadır(Lucieer, 2014). SfM tekniği, belirli yöntemlere bağlı kalınırsa, yersel ve havadan farklı platformlardan çekilen fotoğrafların birbiri ile bütünleştirilmesi imkanı da vermektedir.



Şekil 3.7. SfM işlem adımları.

3.3. İHA Fotogrametrisinde Konum Doğruluğunu Etkileyen Faktörler

İHA fotogrametrisinde elde edilen verilerin konum doğruluğunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; uçuş planı, uçuş yüksekliği, yer kontrol noktalarının dizaynı, kamera özellikleri ve ayarları, fotogrametrik yazılım, operatörün deneyimi ve meteorolojik koşullar olarak sıralanabilir. Tüm bu etkenler aslında konum doğruluğu için ayrı ayrı etkisi olduğu kadar birbirine bağlı olarak da konum doğruluğunu belirleyen faktörlerdir.

3.3.1. Kamera Özellikleri

Fotogrametride kullanılan kameraların özelliklerinin, elde edilen görüntülerin kalitesi, hassasiyeti ve sonuçların doğruluğu üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Kameraların çözünürlük, odak uzaklığı, lens tipi ve distorsiyon, görüntü sensörü boyutu, dinamik aralık, renk doğruluğu ve izleme sistemi gibi özellikleri görüntü kalitesi ile ürün doğruluğu için önemlidir.

Kamera donanımı, bir fotoğrafın kalitesini belirleyen temel faktörlerden biridir. Özellikle kamera çözünürlüğü, görüntünün detay düzeyini belirler ve bu da fotoğrafın genel netliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yüksek çözünürlük, daha fazla piksel içerir ve bu da daha net ve ayrıntılı görüntüler elde etmenize olanak tanıyacağından, yer örnekleme aralığını (YÖA) ve konum doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Diyafram açıklığı, objektife gelen ışığın miktarını kontrol eder. Geniş bir diyafram açıklığı, daha fazla ışığın sensöre ulaşmasına izin verir ve bu da düşük ışık koşullarında daha iyi performans sağlar. Ayrıca, diyafram açıklığı alan derinliğini etkiler. Düşük diyafram değerleri (yüksek diyafram açıklığı), arka planı bulanıklaştırarak öne çıkan nesnenin daha belirgin olmasını sağlar. Alan derinliği, bir fotoğrafın odaklandığı noktadan uzaklıkta ne kadar netlik sağladığını ifade eder. Düşük bir alan derinliği, odaklanan nesnenin net olduğu, ancak arka planın belirsiz olduğu bir görüntü yaratır. Objektifin odak uzaklığı, bir fotoğraf makinesinin lensinin odak noktasından sensöre veya film yüzeyine olan mesafedir. Odak uzaklığı, bir objektifin görüş alanını ve büyütme seviyesini belirlemekte, YÖA ve alan derinliğini etkileyen önemli parametrelerden biridir.

Odak uzaklığındaki farklar, çekilen görüntülerde radyal distorsiyonun miktarını etkiler. Kısa odak uzunlukları, geniş görüş alanları sunarken daha fazla distorsiyon etkisine neden olabilir, bu da özellikle kenar bölgelerde fark edilir hale gelerek kenarlara yakın nesnelerin bozulmuş bir şekilde görünmesine neden olabilir. Uzun odak uzaklıkları ise genellikle daha az radyal distorsiyona sahiptir, ancak daha dar bir görüş alanı sunarak düz çizgilerin daha az eğri görünmesine yol açar.

3.3.1.1. Kamera ayarları

Kamera ayarları belirlenirken, diyafram açıklığı, obtüratör hızı ve ISO değeri arasında bir denge kurulması önemlidir. Bu parametrelerin otomatik olarak birbirleriyle uyumlu bir şekilde ayarlanmalıdır. Ancak, çekilen fotoğraflarda belirsizlik veya gürültü varsa, bu durumda manuel olarak ayarlamak daha faydalı olacaktır.

Gürültü, genellikle yüksek ISO değerleri nedeniyle ortaya çıkar. ISO, bir kameranın ne kadar ışığı algılayacağını belirleyen bir parametredir. Kameralar genellikle ortam ışığına göre ISO ayarını otomatik olarak yapar, ancak düşük ışık koşullarında veya özel efektler için manuel ayar yapmak daha iyidir. Çekilen görüntülerin işlenebilmesi için, keskinlik ve minimum gürültü önemlidir.

Obtüratör hızı, bir görüntünün ne kadar süre boyunca pozlandığını belirler. Hareketli nesneleri dondurmak veya bulanıklık efektleri oluşturmak için kullanılır. Diyafram açıklığı ise objektife gelen ışık miktarını kontrol eder ve alan derinliğini belirler. Bu iki parametre ortam ışığına göre otomatik olarak ayarlanır, ancak özel bir etki veya belirli bir pozlama için manuel ayar yapmak daha etkili olabilir.

ISO'nun gürültülü görüntüler üretmeyen düşük bir değere ayarlanması, enstantane hızının sabitlenmesi ve açıklığın alandaki değişen parlaklık seviyelerine göre otomatik olarak ayarlanması görüntü çekimindeki temel kurallar olarak sıralanabilir. Bunun yanında deklanşör hızı da sabit ve yeterince hızlı olmalıdır ki hareketli nesnelerin bulanıklık oluşturması engellenmiş olsun. Eğer çekilen görüntülerde %5'ten fazlası yönsel bulanıklığa sahipse, bu durumda enstantane hızı biraz artırılmalı ve ISO değeri mümkün olduğunca düşük olarak ayarlanmalıdır. Yüksek ISO ayarları genellikle gürültüyü artırabilir ve görüntü kalitesini olumsuz etkileyebilir.

Açıklık değerleri(minimum ve maksimum) genellikle kullanılan lense bağlı olarak değişir. Yüksek diyafram açıklığı, daha düşük sayılara çevrildiğinden, daha geniş bir diyafram açıklığına işaret eder. Hem deklanşör hızı hem de ISO değerleri önceden ayarlanmışsa, diyafram açıklığının otomatik modda bırakılması genellikle daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu, çekim koşullarına hızlı bir şekilde tepki verilmesini ve doğru pozlamanın sağlanmasını kolaylaştırır. Önerilen odak modu, sonsuzlukta manuel odaklamadır. Karasal projeler için, uzun bir odak uzaklığı kullanılırsa, bu mod muhtemelen odak dışı sonuçlara yol açacaktır(URL-5). Uzun odak uzaklıklarıyla odaklama hassasiyeti artacağından, manuel odaklamada daha dikkatli olunmalı, gerekirse otomatik olarak ayarlanması sağlanmalıdır.

Yetersiz donanım ve/veya yanlış kamera parametreleri nedeniyle görüntülerle ilgili yaşanabilecek sorunlar şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Düşük çözünürlükten dolayı detay eksikliği ve netlik kaybı,
- ✓ Düşük enstantane hızından dolayı bulanıklık, fluluk ve titreme,
- ✓ Yüksek ISO duyarlılığından dolayı yüksek gürültü,
- ✓ Yanlış pozlanma (yanlış diyafram ve / veya enstantane hızı) ayarı ile aşırı parlak veya aşırı karanlık görüntüye sebep olması,
- ✓ Yanlış odaklama veya hareketli nesnelerin dondurulamaması ile netlik kaybı,

- ✓ Hatalı lens kullanımında yanlış perspektif ayarları, distorsiyon veya kenar bozulmalarına sebep olması,
- ✓ Yanlış beyaz dengesi veya renk profili ayarları ile görüntülerde istenmeyen renk sapmalarının olması,
- ✓ Yetersiz lens kaplaması ile parlama,
- ✓ Elektronik veya mekanik görüntü sabitleme nedeniyle oluşan bozulmalar.

Kamera ayarlarının doğru bir şekilde yapılmış olması kadar, çekilen görüntü alınacak ortamın yeterli aydınlatmaya sahip olması da kritiktir. Eğer ortamda yeterli ışık bulunmuyorsa, çekilen görüntülerde daha fazla gürültü ve azalan keskinlik gözlemlenebilir. Bu durum, sonuçların doğruluğunu olumsuz yönde etkileyerek istenmeyen sonuçlara neden olabilir(Kapıcıoğlu, 2019).

3.3.1.2. Kamera Stabilizasyonu

Kameralarda, çekim yaparken titreşim veya sarsıntı olmaması istenir. Bunu sağlayabilmek için sabitleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde dengeleme halkası kullanılmaktadır.

Dengeleme halkası, nesnenin yatay pozisyonunu koruyarak kameranın hava aracının hareketinden bağımsız olarak sabit bir konumda kalmasını sağlayan bir destek sistemidir. Aynı zamanda, hava aracının motorlarının neden olduğu titreşimi en aza indirerek görüntü stabilitesine katkıda bulunur. Bu halka, hava aracının etrafındaki her türlü hareketi absorbe eder ve nesnenin hava aracına bağlı kamera sistemi istenilen çekimleri titreme veya dalgalanma olmadan gerçekleştirebilir(LaFay, 2015).

Hava araçlarında kullanılan dengeleme halkaları genellikle iki veya üç eksenli olarak bulunur. İki eksenli dengeleme halkaları, sallantıları düzeltme konusunda kısıtlı olabileceğinden, bu durum bazen görüntülerde bozulmalara yol açabilmektedir. Ancak, üç eksenli dengeleme halkaları kullanılarak sallantılar etkili bir şekilde telafi edilebilir. Dengeleme halkaları, belirli kamera modellerine uygun olarak tasarlanır ve çeşitli kompakt kameralarla uyumlu olacak şekilde referanslara sahiptirler.

Özel olarak hava araçları için tasarlanmış dengeleme halkaları, önceden ayarlanmış ve kullanıma hazır bir şekilde gelir, bu da düzenleme ve çalıştırma süreçlerini hızlı ve kolay hale getirir. Bu özellik, kullanıcıların en karmaşık ayarlarla uğraşmadan stabil ve kaliteli görüntüler elde etmelerini sağlar. Önceden kalibre edilmiş dengeleme halkalarını kullanmak, renk doğruluğu, kontrast ve çözünürlük gibi açılardan kaliteli görüntüler elde etme olasılığını önemli ölçüde artırır (LaFay, 2015).

3.3.2. Meteorolojik Koşullar

İHA fotogrametrisinde rüzgar hızı ve yönü, sis ve bulut örtüsü, hava sıcaklığı, güneş ışığının yönü ve yoğunluğu, nem oranı, atmosfer koşulları ve yağış dikkate alınması gereken meteorolojik unsurlardan bazılarıdır.

3.3.2.1. Hava Şartlarına Göre Fotoğraf Çekimi

Açık ve güneşli bir günde, yeryüzünde meydana gelen gölgeler, çekim yapılan saate bağlı olarak çeşitli uzunluklarda ortaya çıkar. Gün ortasında, güneş ışınları dik bir açıyla gelir, bu da gölge boylarını en kısaya indirir. Bu durumda, gölgeler nesnenin hemen yanına düşer ve canlı, belirgin ve parlak görüntüler elde etmek mümkün olur(Sarı, 2017).

Parçalı bulutlu günlerde, arazide gökyüzünden sızan ışık ve bulutların hareketi nedeniyle büyük gölgeler meydana gelebilir. Bu durum, görüntülere derinlik ve kontrast katarken, aynı zamanda hava aracı kamerasının doğru bir şekilde pozlandırılmasını zorlaştırabilir(Corporation, 2018). Özellikle gölge ve aydınlık alanlar arasındaki kontrastın büyük olduğu durumlarda, kameranın otomatik pozlama ayarı doğru pozlamayı bulma konusunda zorlanabilir.

Gökyüzünün tamamen bulutlu olduğu havalarda, ufuk hattının belirginliği oldukça az olacak, sadece bulutlar içine aldığı güneş ışığını yayacaktır. Bu durum yüksek doygunluk ve düşük kontrast sağlar. Fakat kapalı havalarda ufuk görüntüsü azaltıldığında güzel görüntüler de elde edilebilir(Corporation, 2018).

Rüzgarlı havalarda çekimler oldukça olumsuz etkilenmektedir. Özellikle darbeli güçlü rüzgarlarda hafif ve küçük hava araçları fazlaca etkileneceğinden kullanımdan kaçınmakta yarar vardır. Ayrıca hava araçlarının özelliğine göre genel olarak belirlenmiş olan uçabileceği azami rüzgar sınırına dikkat edilmelidir(Sarı, 2017). Sınırları zorlayan bu tür havalarda uçuş yapmaktan kaçınmak en isabetli karar olmakla birlikte, uçuşun gerçekleştirilmesi zorunlu durumlarda doğru seçilmiş hava aracı ile yüksek hassasiyetli ve doğru dengeleme halkaları kullanılarak istenilen kalitede görüntüler elde edilebilir.

3.3.2.2. Uçuş Gerçekleştirilemeyen Durumlar

Uçuş esnasında, puslu, yoğun sisli ve yağmurlu hava koşullarından kaçınılması önemlidir. Özellikle düşük sıcaklıklarda sis içinde uçmaktan kaçınmak gereklidir, çünkü bu durum kanatlar üzerinde buzlanmaya neden olabilir. Buzlanma, kaldırma gücünü azaltarak başarılı bir uçuşu engelleyebilir(Sarı, 2017). Aynı şekilde, hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda da batarya ömrü kısalsabilir. Bu sebeple, uçuş planlaması yaparken hem soğuk hem de sıcak hava koşullarını dikkate almak, güvenli ve verimli bir uçuş sağlamak açısından önemlidir.

3.3.3. Uçuş Planları

Uçuş planlaması, hava ve İHA fotogrametrisi için en önemli aşamalardan biridir. Başarılı bir çalışma için fotoğrafların hangi irtifadan, ne hızda ve hangi aralıklarla çekileceği, alanı temsil edecek şekilde kaç sütunun temsil edileceği ve sütun başına kaç fotoğraf çekileceği uçuş planlama aşamasında belirlenmelidir(Şenkal, 2018). Uçuş planı hazırlanırken elde edilecek veriye uygun parametrelerin seçimi amaçlanır. Uçuş parametresi yer örnekleme aralığı (YÖA-GSD), boyuna bindirme derecesi (px), enine bindirme derecesi (qy) ve hat tasarımıyla ilgili bazı parametreleri içermektedir. Yapılan araştırmalarda İHA ile fotogrametrik harita üretiminde kullanılan yazılımların kullandıkları temel algoritmalar ve bu algoritmalarla ilişkili ara işlemler için belirlenen bindirme oranları, enine %80, boyuna ise %60 olması sonucuna varılmıştır (Bemis vd., 2014).

Uçuştan önce yerel meteorolojik verileri toplamak gerekir. Rüzgarsız ve güneşli günleri tercih etmekte yarar vardır (He vd., 2012). Çalışma alanında kar varsa, yansımalar, parlama veya sahadaki detayların görünüp görünmeyeceği gibi karın görüntü kalitesini etkileyip etkilemediği sorgulanmalıdır.

Çalışma yapılacak arazinin topografik yapısını öğrenmek gerekmektedir. Dağ veya tepe gibi yükseltiler varsa, bunların yüksekliğinin uçuş güvenliğini etkileyip etkilemediğini değerlendirmek gerekir.

Uçuş planı hazırlamada İHA'nın özelliğine göre farklı programlar kullanılmaktadır. Uçuş yapılacak alanın sınırları tespit edildikten sonra belirlenen uçuş yüksekliğine ve İHA üzerinde bulunan kameranın özelliğine göre fotogrametrik uçuş için resim çekilecek hattı belirleyen kolonlar oluşturulur. Belirlenen bindirme oranlarına bağlı olarak bu kolonlarda belirli aralıklarda fotoğraflar çekilir (Çallı, 2021). Bu fotoğraflar, çeşitli programlarda işlenerek sonuç veriler üretilir.

3.3.4. Yer Örnekleme Aralığı

Yer örnekleme aralığı(YÖA), iki ardışık piksel orta noktası arası mesafenin yer üzerindeki uzunluğudur. Daha basit bir ifadeyle, YÖA yerdeki bir pikselin boyutunu temsil eder. YÖA değeri ne kadar büyük olursa, görüntülerin mekânsal çözünürlüğü azalacaktır ve ayrıntılar daha az görüntülenecektir. YÖA değerini gereksinimlere ve veri toplama amacına uygun olarak belirlemek gerekir. İdeal örnekleme aralığı, kullanılan İHA'nın özellikleri, uçuş parametreleri ve projenin gereksinimleri göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Yapım Yönetmeliği (BÖHHBYY)' nin 54. maddesinde;

“(1) Yer örnekleme aralıkları, üretilecek harita ve ortofoto ölçeğine bağlı olarak belirlenir. Çekilecek hava fotoğraflarının yer örnekleme aralığı, harita ve ortofoto ölçeğinin;

- a) 1/5000 olması durumunda 30 cm'den,
- b) 1/2000 olması durumunda 20 cm'den,

c) 1/1000 olması durumunda 10 cm'den,

ç) 1/500 olması durumunda 5 cm'den, fazla olamaz.

(2) Yer örnekleme aralığında, uçuş koşullarından kaynaklanan $\pm\%10$ değişimler kabul edilir.” denilmektedir.

İHA fotogrametrisinde yer örnekleme aralığının artması konum doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. YÖA ise uçuş yüksekliği ve odak uzaklığına bağlı olarak değişmektedir.

İHA fotogrametrisinde yer örnekleme aralığını belirlerken aşağıdaki faktörlerin göz önünde bulundurulmasında fayda vardır:

- Çözünürlük ve Detay İhtiyacı: İHA'nın kullanıldığı uygulamaya bağlı olarak, belirli bir çözünürlük düzeyine ve detay seviyesine ihtiyaç duyulabilir. Daha yüksek detay gerektiren uygulamalarda örnekleme aralığı daha küçük olabilir.
- Uçuş Yüksekliği ve Görüş Alanı: İHA'nın uçtuğu yükseklik, görüş alanını ve çözünürlüğü etkiler. Daha yüksek uçuş yükseklikleri genellikle daha geniş alanları kapsar, ancak çözünürlük azalır. Bu durumda, örnekleme aralığı, doğru sonuçlar elde etmek için önemlidir.
- Topografya ve Arazi Değişkenlikleri: Araştırılan bölgenin topografyası ve arazi değişkenlikleri, örnekleme aralığını etkileyebilir. Daha engebeli alanlarda, örnekleme aralığını daha küçük tutmak, arazinin detaylarını daha iyi yakalamaya yardımcı olabilir.
- Veri İşleme Kapasitesi: İHA tarafından toplanan büyük miktarlardaki verinin işlenmesi zaman alabilir. Veri işleme kapasitesi, örnekleme aralığını etkileyen bir faktördür. Daha sık örnek almak, daha fazla veri toplamayı ve işlemeyi gerektirebilir.
- Hedef Doğruluk Seviyesi: İHA fotogrametrisiyle elde edilen verilerin doğruluğu, kullanım amacına bağlı olarak belirlenebilir. Daha yüksek doğruluk seviyeleri için daha sık örnekleme aralığı kullanılabilir.

Görüntünün yer örnekleme aralığı arttıkça, görüntünün uzamsal çözünürlüğü azalır ve görülen detaylar azalır. Ek olarak, yer örnekleme aralığı, uçuş yüksekliği ile ilişkilidir ve uçuş yüksekliğinin artmasıyla birlikte artmaktadır (URL-7).

Bir projenin görüntüleri, arazi yükseklik farkları ve kamera açısındaki değişikliklere bağlı olarak sabit bir yükseklikte uçulmuş olsa dahi, aynı YÖA'na sahip olmayabilir. Ortomozaik, üç boyutlu nokta bulutu ve kamera konumları kullanılarak oluşturulduğundan, ortalama bir YÖA hesaplanarak kullanılır(URL-5).

Uçuş yüksekliğini ve kamera özelliklerini proje gereksinimlerine göre ayarlamak için görüntü alımına başlamadan önce, uçuş planlama aşamasında YÖA değerine karar vermek önemlidir. Örneğin, bir alanda ayrıntılı ve yüksek çözünürlüklü harita üretilmesi gerektiğinde, araziye daha yakın (düşük

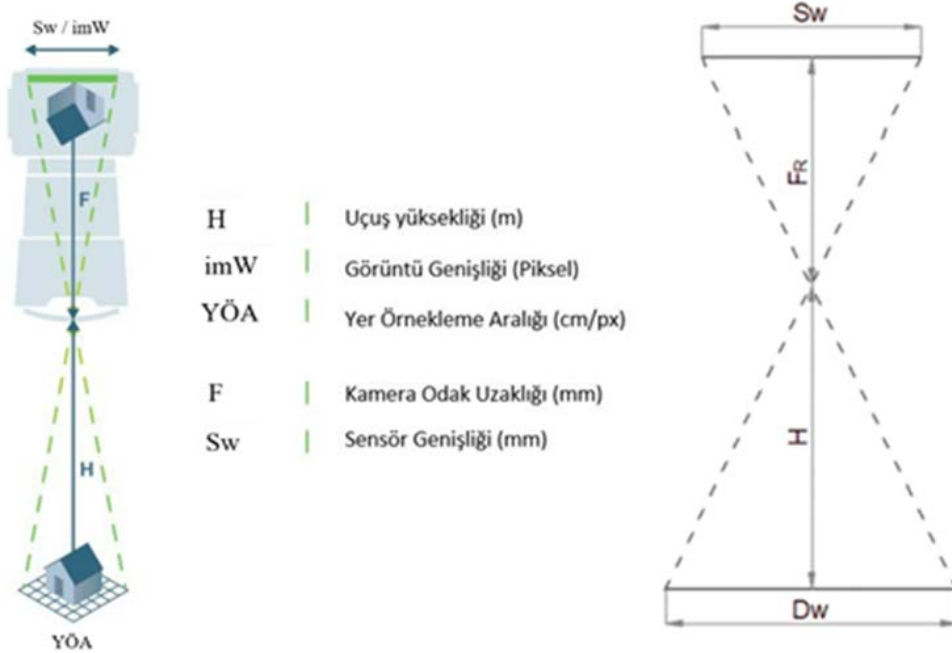
YÖA) uçulmasını önerilir. Öte yandan, çok ayrıntılı sonuçlara ihtiyaç duyulmayan, geniş alanları kaplayan altılık haritalar üretilirken daha yüksekten uçmak (yüksek YÖA), uçuş süresini, batarya kullanımını ve veri işleme süresini büyük ölçüde azaltabilir(URL-6).

Yer örnekleme aralığını belirlemede etkili olan faktörler arasında, merceğin odak uzaklığı, hava aracının yerden yüksekliği ve kameranın piksel boyutu önemli rol oynamaktadır. Hava aracının zemine daha yakın olması, yer çözünürlüğünü arttırmaktadır. Optik açıdan bakıldığında, daha küçük bir odak uzaklığı zemin çözünürlüğünü azaltacaktır. Aynı şekilde, piksel boyutu ne kadar küçük olursa, yer çözünürlüğü de o kadar yüksek olacaktır. Başka bir deyişle, uçuş yüksekliği ve pikselin doğrusal boyutunun artması, yer örnekleme aralığını artırırken, odak uzaklığının artması yer örnekleme aralığını azaltacaktır. Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir(Lumenara, 2019);

$$YÖA = \frac{H \times px}{f} \quad (3.1)$$

YÖA : Yer Örnekleme Aralığı
 H : Uçuş Yüksekliği
 px : Pikselin Doğrusal Boyutu
 f : Objektif Odak Uzaklığı

Hava aracının çalışma alanı üzerindeki operasyonel yüksekliği yine aracın özelliklerine ve ilgili mevzuatlara göre ayarlanabilirken; mercek ve kamera, gerekli YÖA' na ulaşılmasına yardımcı olacak şekilde tercih edilmelidir. Kamera seçiminde, sadece piksel boyutu değil okuma gürültüsü, hassasiyet ve dinamik aralık da göz önünde bulundurulmalıdır(Corporation, 2018). Denklem 3.1'de gösterildiği üzere YÖA, yükseklik ile değişmektedir. Yani düşük yükseklik, düşük zemin örnekleme mesafesi anlamına gelmektedir(Leachtenauer ve Driggers, 2001).



Şekil 3.8. Yer örnekleme aralığı değişkenleri.

Görüntü boyutlarını genişlik ve yükseklik olarak düşünürsek, her ne kadar pikseller aynı boyutta olsalar da genişlik ve yükseklik değerleri birbirinden farklı olduğundan burada aslında genişlik doğrultusunda ve yükseklik doğrultusunda olmak üzere iki farklı YÖA değeri hesaplanmaktadır. Fakat ağırlıklı olarak güvenli bölgede kalmak için büyük değer kabul edilir(URL-6).

$$YÖAh = \frac{\text{Uçuş Yüksekliği} \times \text{Sensör Yüksekliği}}{\text{Odak Uzaklığı} \times \text{Görüntü Yüksekliği}} \quad (3.2)$$

$$YÖAw = \frac{\text{Uçuş Yüksekliği} \times \text{Sensör Genişliği}}{\text{Odak Uzaklığı} \times \text{Görüntü Genişliği}}$$

Uçuş yüksekliği, YÖA sonuçlarının doğruluğunu, kalitesini ve son ortomozaikte görünen detayları etkilemektedir. Belirli bir YÖA elde etmek için gereken uçuş yüksekliği (H) hesaplanabilmekte ve kamera odak uzaklığına, kamera sensör genişliğine ve görüntü genişliğine bağlı olarak değişmektedir(URL-4). YÖA hesabı değişkenleri Şekil 3.8.'de verilmiştir.

S_w : Gerçek sensör genişliği (mm)

F_R : Gerçek odak uzaklığı (mm)

H : Uçuş yüksekliği (m)

D_w : Genişlik yönünde bir görüntü ile zemine kaplanan mesafe (m)

imW : görüntü genişliği (piksel)

$yöa$: istenen YÖA (cm/piksel)

Şekil 3.8 de verilen değişkenler kullanılarak uçuş yüksekliği aşağıda verilen denklem takımları kullanılarak hesaplanabilir;

$$H / F_R = D_w / S_w \quad (3.3)$$

$$H = (D_w \times F_R) / S_w \quad (3.4)$$

$$D_w = (imW \times yöa) / 100 \quad (3.5)$$

$$H = (imW \times yöa \times F_R) / (S_w \times 100) \quad (3.6)$$

3.3.5. Yer Kontrol Noktası

İHA fotogrametrisinden elde edilen ürünlerin doğruluğunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar arasında yer kontrol noktası (YKN) sayısının ve çalışma alanındaki dağılımının etkisi özellikle önemlidir (Carricondo vd., 2018).

Fotogrametrik ürünlerin kalitesinin değerlendirilmesi, birçok değişkenin dikkate alınması gerektiğinden karmaşık bir iştir. Yapılan deneysel çalışmaların hiçbirisi tüm değişkenleri kapsamamıştır. Fotogrametrik bir ürünün kalitesini doğrudan etkileyen tüm olası faktörler arasında yer kontrol

noktalarının (YKN) araştırılması en çok zaman alan görevlerden biridir. Bu nedenle, gerekli doğruluk seviyesini korurken YKN'lerin miktarının ihmal edilmesi veya azaltılması, hem sahada hem de ofiste geçirilen süre azaltılabileceğinden İHA tabanlı fotogrametrik projeleri iyileştirebilir (Pessoa vd. 2020).

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)'nde yer kontrol noktası için; “Yeryüzünde tesis edilen, koordinatları ve/veya yüksekliği jeodezik yöntemlerle belirlenen noktaların genel adıdır.” denilmektedir.

Ortofoto oluşturma, perspektif görüntülerdeki rölyef yer değiştirmesini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak ortofotolar, tekdüze bir ölçeğe sahip olmaları ve nesneleri gerçek coğrafi konumlarında göstermeleri ile karakterize edilir. Başka bir deyişle ortofotolar haritayla aynı özellikleri paylaşır. Bu nedenle kullanıcı ortofotolarla nesneleri konumlandırabilir, mesafeleri ölçebilir, alanları hesaplayabilir, değişiklikleri ölçebilir ve diğer yararlı bilgileri elde edebilir (Habib vd. 2007).

YKN'ler, görüntülerin düzeltilmesi sırasında hem uzaktan algılamada hem de fotogrametride yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki bağlantıyı sağlar. Bu amaçla görüntülerin çekildiği kameraların kalibrasyon bilgilerinden ve YKN'lerden yararlanılır. Dijital kameralar kullanıldığında, düzeltmede kullanılan dış yönlendirme elemanlarını doğrudan belirlemek için hem küresel konumlandırma sistemi (GPS) hem de atalet ölçüm birimi (IMU) kullanılır. Ancak sistematik GPS hatalarını ve veri dönüşümünü çözmek için YKN'lere ihtiyaç vardır. Fotogrametrik çalışmalarda görüntüler alınmadan önce çalışma alanına YKN'ler atanır. YKN'lerin seçimi, dağıtımı ve doğruluğu, düzeltme sonuçlarını etkilediklerinden çok önemlidir.

YKN'lerin sayısı ve dağılımı, düzeltmede kullanılan nokta seçim yöntemi (saha çalışması, harita okuma vb.), matematiksel model, sensör tipi ve görüntünün çözünürlüğü, çalışma alanı yapısı(düzlük, dağlık vb.) ile istenilen konum doğruluğu ve hassasiyeti gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Polinom dönüşümü veya doğrudan doğrusal dönüşüm (DLT) gibi parametrik olmayan matematiksel modeller, görüntüleme geometrisini yansıtmadıkları için teorik gereksinimlerden daha fazla sayıda YKN gerektirir. Bu modeller aynı zamanda noktaların dağılımına da bağlıdır (Toutin, 2003a). Ancak görüntüleme geometrisi ve yörünge elemanları gibi verileri kullanan parametrik modeller, parametrik olmayan modellere göre daha az sayıda YKN gerektirir ve nokta dağılımından daha az etkilenir (Toutin, 2003b).

Son yıllarda İHA fotogrametrisinde RTK donanımına sahip İHA'lar ile yapılan çalışmalarda YKN ihtiyacı olmadan fotogrametrik işlem sonucu üretilen ürünlerin hassasiyetinde ilerleme kaydedilmiştir. Ancak bu durum çalışma alanlarında yersel ölçüm tekniğiyle YKN veya KN ölçümlerini ortadan kaldırmamıştır. Daha hassas sonuçların alınabilmesi için YKN'lere halen ihtiyaç duyulduğundan az sayıda da olsa YKN'lerin kullanımı, RTK donanımlı İHA'lar kullanılarak elde edilen ürünlerin konum doğruluğunu artırıcı yönde etkilemektedir. Bununla birlikte RTK donanımlı İHA'lar RTK'sız İHA'lara göre daha maliyetlidir. Bu nedenle daha az maliyetli olan RTK'sız İHA sistemleri kullanılmaya devam edilmektedir(Forlani vd. 2018, Stöcker vd. 2017).

Her ne kadar teknolojik gelişmeler olsa da YKN'ler, gerek uzaktan algılamada, gerekse fotogrametride ortogörüntü üretimindeki etkisi devam etmektedir. Kullanılacak YKN seçilirken sayısı, noktanın niteliği, doğruluğu ve dağılımı oldukça önemlidir. Nokta seçiminde:

- ✓ Proje alanının farklı bölgelerine yayılmalı,
- ✓ Projenin coğrafi dağılımını kapsamalıdır(topoğrafik özelliğe dikkat edilmeli),
- ✓ Sonradan zarar görebilecek alanların seçilmemesi(basit yapı kenarları gibi),
- ✓ Simetrik nesnelerin ortasının tercih edilmesi,
- ✓ Bina, köprü gibi hareket edebilecek yapıların üzerinin tercih edilmemesi,
- ✓ Görüntünün YÖA değeri ile nesnenin boyutu arasındaki ilişkinin uygunluğuna,
- ✓ Noktanın konum doğruluğunun, görüntünün geometrik çözünürlüğünün üçte biri olmasına (EC, 2006) dikkat edilmelidir.

3.4. Kullanılan Materyal



Şekil 3.9. Matrice 300 RTK görseli (URL-8).

Matrice 300 RTK, DJI (Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co. Ltd.) firmasının ürettiği modern havacılık sistemlerinden olup ticari dron platformudur. Kullanıcılarına 55 dakikaya kadar uçuş süresi, gelişmiş AI özellikleri, altı (6) yönlü algılama ve konumlandırma imkanı sunmaktadır.

İletişim sistemi olarak görüntü ve uçuş kontrol verilerini kablosuz olarak ileten, yüksek çözünürlüklü ve düşük gecikmeli bir dijital video aktarım sistemi olan OcuSync Enterprise teknolojisini kullanır. Bu sistem 15 km mesafeye kadar ve üç kanallı 1080p videoyu destekler, 2.4 GHz ve 5.8 GHz arasında gerçek zamanlı geçiş, yüksek parazitli ortamların yakınında daha güvenilir uçuş sağlarken AES-256 şifrelemesi güvenli veri aktarımı sağlar(URL-8).



Şekil 3.10. DJI Zenmuse P1 kamera (URL-9).

Zenmuse P1 drone kamerası 3 eksenli stabilize bir gimbal üzerinde değiştirilebilir sabit odaklı lensler ile tam çerçeve sensörü entegre eden bir cihazdır. Aynı zamanda fotogrametri uçuş görevleri adına tasarlanmış olup, performansı ve doğruluğu çok yeni bir düzeye taşımaktadır. P1, uçuş esnasında her 0.7 saniyede bir fotoğraf çekebilen ve tek bir uçuşta 3 km² kapsayan tam çerçeve, az gürültülü yüksek hassasiyetli bir sensör içermektedir(URL-9).

Tablo 3.7. Zenmuse P1 genel özellikler (URL-9).

ZENMUSE P1 GENEL ÖZELLİKLER	
Boyutlar	198 × 166 × 129 mm
Ağırlık	Yaklaşık 800 g
Güç	20 W
IP Derecelendirme	IP4X
Desteklenen Uçak	Matrice 300 RTK
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-20 ° - 50 ° C (-4 ° - 122 ° F)
Depolama Sıcaklık Aralığı	-20 ° - 60 ° C (-4 ° - 140 ° F)
Mutlak Doğruluk	Yatay: 3 cm, Dikey: 5 cm

Tablo 3.8. Zenmuse P1 video özellikleri (URL-9).

ZENMUSE P1 VIDEO ÖZELLİKLERİ	
Video Formatı	MP4
Video Çözünürlüğü	16: 9 (1920 × 1080)
	16: 9 (3840 × 2160) *
	* Yalnızca 35 mm lens desteklenir
Kare Hızı	60 fps

Tablo 3.9. Zenmuse P1 gimbal özellikleri (URL-9).

ZENMUSE P1 GİMBAL ÖZELLİKLERİ	
Stabilize Sistem	3 eksenli (eğme, döndürme, kaydırma)
Açısal Titreşim Aralığı	$\pm 0.01^\circ$
Montaj	Ayrılabilir DJI SKYPORT
Mekanik Aralık	Eğim: -125° ila $+40^\circ$; Rulo: -55° ila $+55^\circ$; Yatay Kaydırma: $\pm 320^\circ$

Tablo 3.10. Zenmuse P1 kamera özellikleri (URL-9).

ZENMUSE P1 KAMERA ÖZELLİKLERİ	
Sensör	Sensör boyutu (Fotoğraf): $35,9 \times 24$ mm (Tam kare)
	Sensör boyutu (Maks. Video kayıt alanı): 34×19 mm
	Etkili Pikseller: 45MP
	Piksel boyutu: $4,4 \mu\text{m}$
Desteklenen Lensler	DJI DL 24mm F2.8 LS ASPH (ENTERPRISE) (parasoley ve dengeleme halkası / filtreli), FOV 84°
	DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH (ENTERPRISE) (parasoley ve dengeleme halkası / filtreli), FOV $63,5^\circ$
	DJI DL 50mm F2.8 LS ASPH (ENTERPRISE) (parasoley ve dengeleme halkası / filtersi ile), FOV 46.8°
Desteklenen SD Kartlar	SD: UHS-I derecelendirmesi veya üstü; Maksimum kapasite: 512 GB
Depolama Dosyaları	Fotoğraf / GNSS Ham Gözlem Verisi / Görüntü Günlük Dosyası
Fotoğraf Boyutu	3: 2 (8192×5460)
Operasyon Modları	Fotoğraf, Video, Oynatma
Minimum Fotoğraf Aralığı	0,7 saniye
Deklanşör Hızı	Mekanik Perde Hızı: $1/2000$ * -1 s
	Elektronik Obtüratör Hızı: $1/8000$ -1 s * Aperature değeri f / 5.6'dan büyük değil
Diyafram Aralığı	f / 2.8-f / 16
ISO Aralığı	Fotoğraf: 100-25600
	Video: 100-25600



Şekil 3.11. TOPCON SR görseli (URL-10).

TOPCON SR Genel Özellikleri;

- ✓ 226 Kanallı Universal İzleme Teknolojisi
- ✓ Yeni Nesil Patentli Fence Anten Teknolojisi
- ✓ 20 Saate Varan Çalışma Süresi
- ✓ Üstün Cors Performansı
- ✓ Çift Sım Kart Girişi
- ✓ Ip 67 Toz Ve Su Geçirmez Tasarım
- ✓ Opsiyonel Magnet Relay servisi ile 35 km'ye kadar RTK imkanı(URL-10)

Tablo 3.11. Topcon SR izleme özellikleri (URL-10).

TOPCON SR İZLEME ÖZELLİKLERİ	
Kanal Sayısı	Universal izleme ile 226 Kanallı Vanguard Teknolojisi
GPS	L1, L2, L2C
GLONASS	L1, L2, L2C
SBAS - QZSS	L1, L2C
Anten Tipi	Fence Anten

Tablo 3.12. Topcon SR konum belirleme hassasiyeti özellikleri (URL-10).

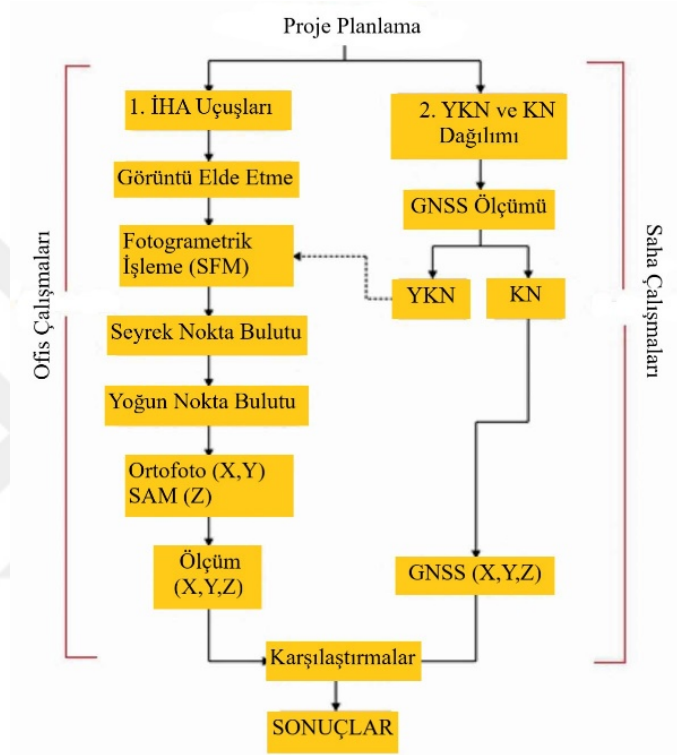
TOPCON SR KONUM BELİRLEME HASSASİYETİ	
RTK (L1 + L2)	H: 10 mm + 1.0 ppm
	V: 15 mm + 1.0 ppm
Hızlı Statik (L1 + L2)	H: 3 mm + 0.5 ppm
	V: 5 mm + 0.5 ppm
DGPS	H: 0.4 m, V: 0.6 m
SBAS	H: 1.0 m, V: 1.5 m

Tablo 3.13. Topcon SR veri ve hafıza özellikleri (URL-10).

TOPCON SR VERİ VE HAFIZA ÖZELLİKLERİ	
Hafıza	2 GB Dahili
Aktarım Hızı	10 Hz' e kadar
Veri Aktarım Formatı	TPS, RTCM SC104 v 2.x, 3.x; CMR/CMR+
ASCII Çıkış Formatı	NMEA 0183 versiyon 2.x and 3.0

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada YKN ve KN' lerin araziye tesis edilmesi, ölçümleri ve uçuş operasyonlarından oluşan saha çalışması, ikinci aşama olarak ofis çalışmalarında ise uçuş görüntülerinin bilgisayara aktarılarak fotogrametrik yazılımla işlenmesi, nokta bulutu oluşturulması, ortofoto harita ve sayısal yüzey modelinin üretilmesi işlemleri gerçekleştirilerek analizlerinin yapılmasıdır. Araziye ölçülen YKN ve KN koordinatları ile yazılımla elde edilen harita koordinatlarının karşılaştırılması ile çalışma sonlandırılmıştır(Şekil 4.1).

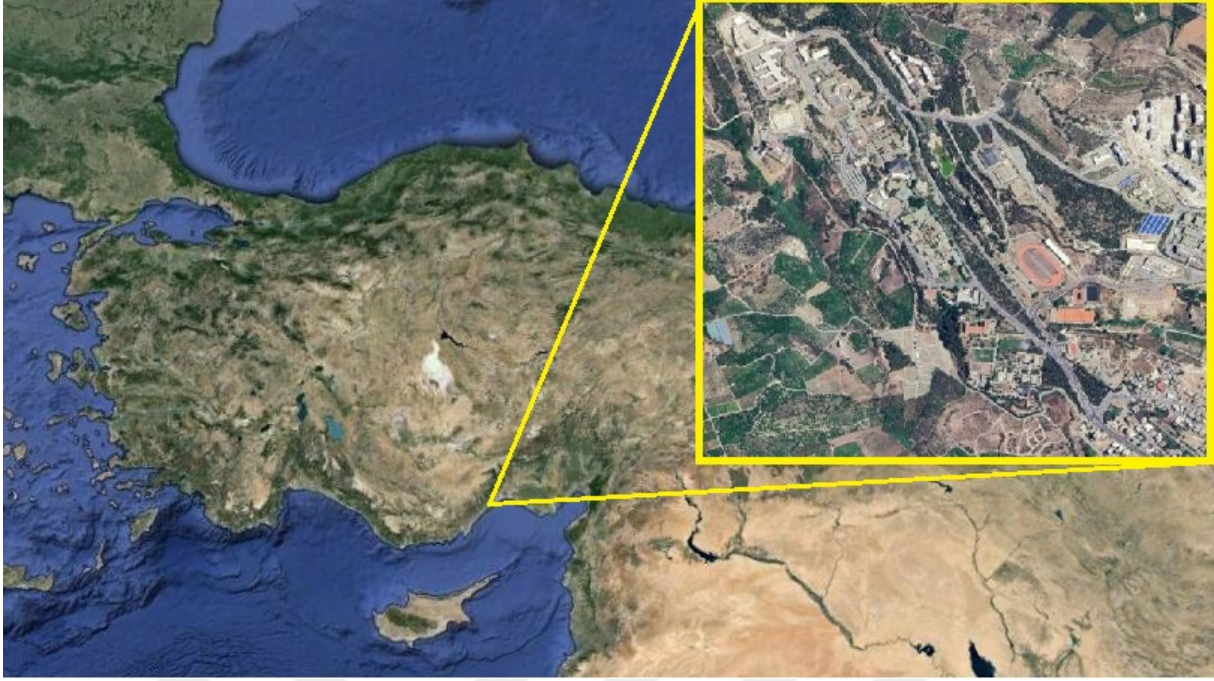


Şekil 4.1. Yapılan çalışmanın metodolojisi.

4.1. Arazi Çalışması

4.1.1. Çalışma Alanı

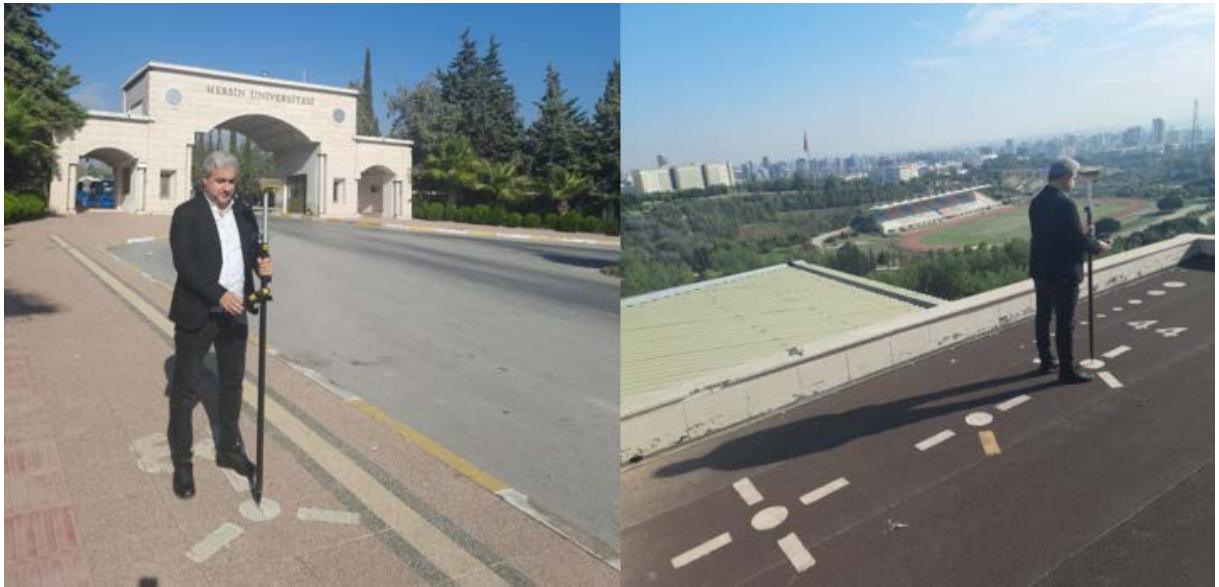
Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü çalışma alanı olarak seçilmiştir(Şekil 4.2). Mersin merkez ilçelerinden Yenişehir İlçesi sınırları içerisinde olan Çiftlikköy kampüsü Mersin Üniversitesinin merkez kampüsü olup, yaklaşık 722 ha yüz ölçüme sahiptir.



Şekil 4.2. Mersin Üniversitesi Kampüsü genel görünümü.

4.1.2. Çalışma Alanında Yapılan İşler

Çalışma alanına tesis edilmiş olunan 40 adet yer kontrol noktasının ve kontrol noktasının, Topcon Hiper SR cihazı kullanılarak, GNSS CORS yöntemi ile ölçümleri yapılmıştır(Şekil 4.3). Uçuş öncesi uçuş planı hazırlanmış ve DJI Matrice 300 RTK dronuna DJI Zenmuse P1 kamera monte edilerek elverişli bir günde uçuş gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol noktalarının sayısı ve dağılımını test etmek için uçuş yüksekliği değiştirilmemiştir.



Şekil 4.3. YKN çalışma alanına tesisi ve ölçülmesi.

4.2. Yer Kontrol Noktaları ve Kontrol Noktalarının Dağılımı

YKN'lerin çalışma alanındaki dağılımında dört senaryo test edilmiştir.

İlk senaryo için otuz (30) adet YKN, çalışma alanı çevresine homojen bir şekilde dağıtılırken, on (10) tanesi merkeze yerleştirildi. Ortofoto haritasının üretimi için dört (4) adet YKN ile dengeleme ve ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Her dengeleme ve üretim çalışmasında YKN sayısı 4 adet artırılmıştır. Daha sonra çalışma alanının ortasında yer alan 2, 4, 6, 8 ve 10 adet YKN varyasyonuna ek olarak 30 adet YKN kullanılarak ortofoto üretilmiştir. Toplam 13 adet ortofoto haritası ve DSM üretildi (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. YKN'lerin alan içi ve çevredeki dağılımı.

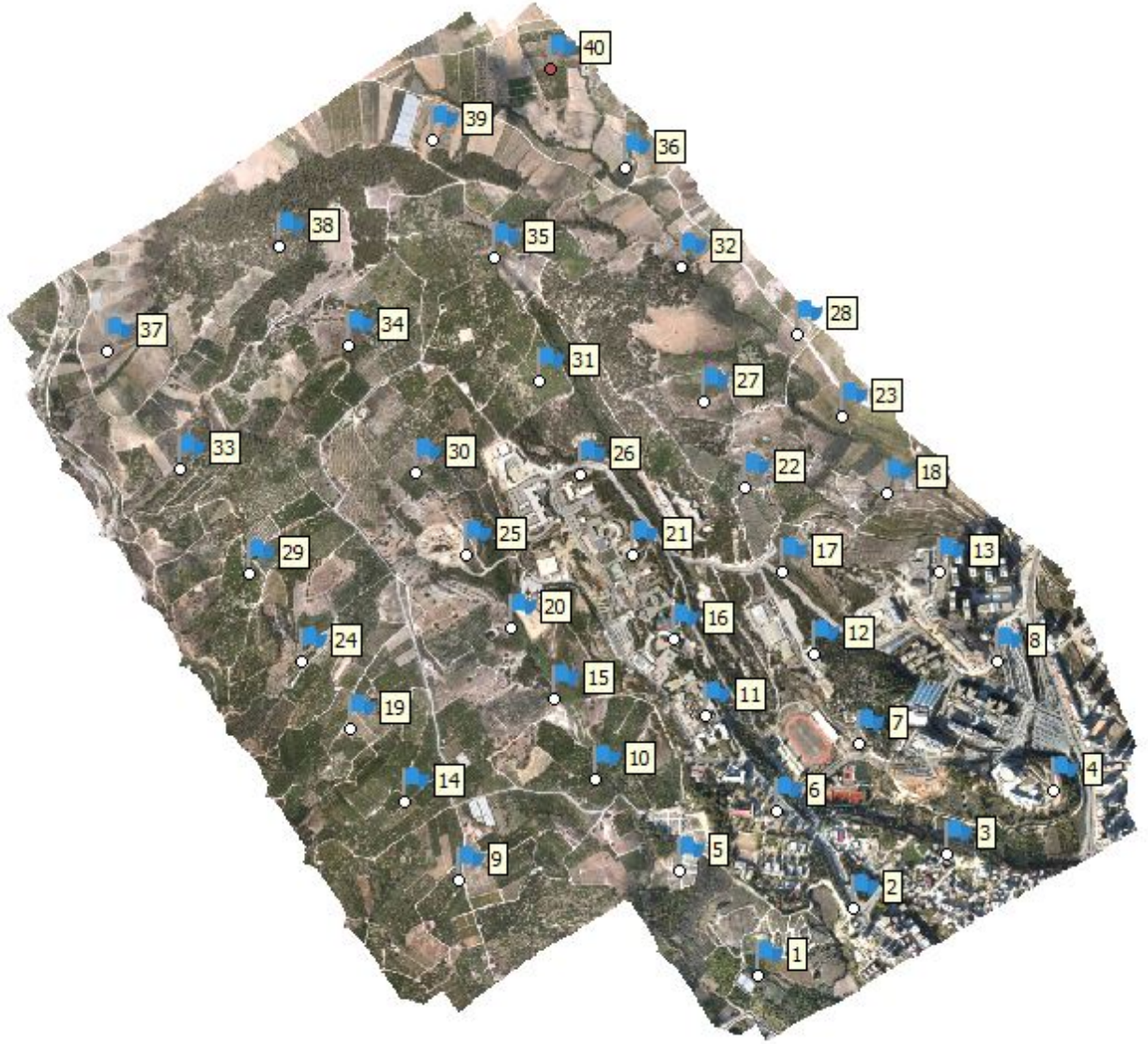
İkinci senaryo için çalışma alanının merkezine 30 adet YKN homojen bir şekilde, kenarlarına ise 10 adet YKN yerleştirilmiştir. Ortofoto haritasının üretimi için dört adet YKN ile dengeleme ve ortofoto harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Her dengeleme ve üretimde YKN sayısı 4 adet artırılmıştır. Daha

sonra çalışma alanının kenarlarında yer alan 2, 4, 6, 8 ve 10 adet YKN varyasyonuna ek olarak 30 adet YKN kullanılarak ortofoto harita üretilmiştir. Toplam 13 adet ortofoto haritası ve DSM üretilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. YKN' lerin çalışma alanının merkezinde homojen kurulumu.

Üçüncü senaryo için 40 adet YKN çalışma alanına homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Dengeleme ve ortofoto üretimi dört YKN ile başlatıldı ve her denemede dört artırılmış, otuz YKN den sonra ikişerli artırılarak işlem tamamlanmıştır. Sonuç olarak toplam 13 adet ortofoto ve DSM üretilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. YKN'lerin çalışma alanındaki homojen dağılımı.

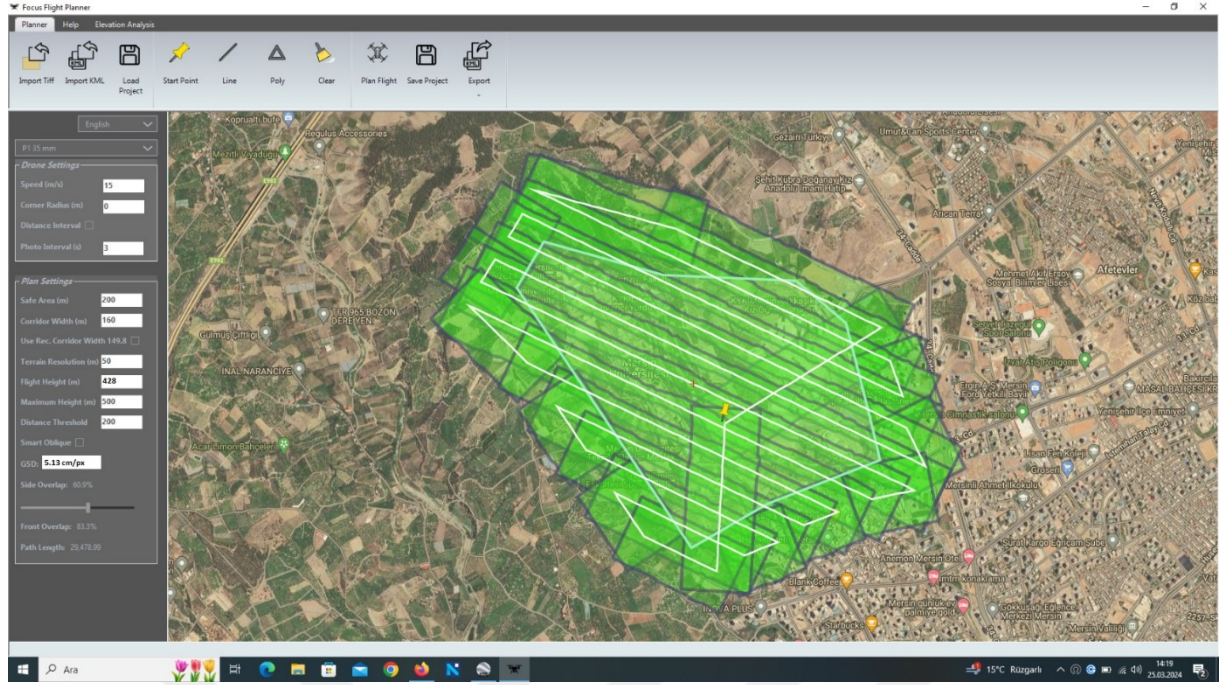
Dördüncü senaryo için 40 adet YKN çalışma alanına önce köşelerden başlanarak merkeze doğru dörderli bir şekilde dağıtılmış otuz YKN den sonra ikişerli artırılarak işlem tamamlanmıştır. Sonuç olarak toplam 13 adet ortofoto ve DSM üretilmiştir (Şekil 4.7).



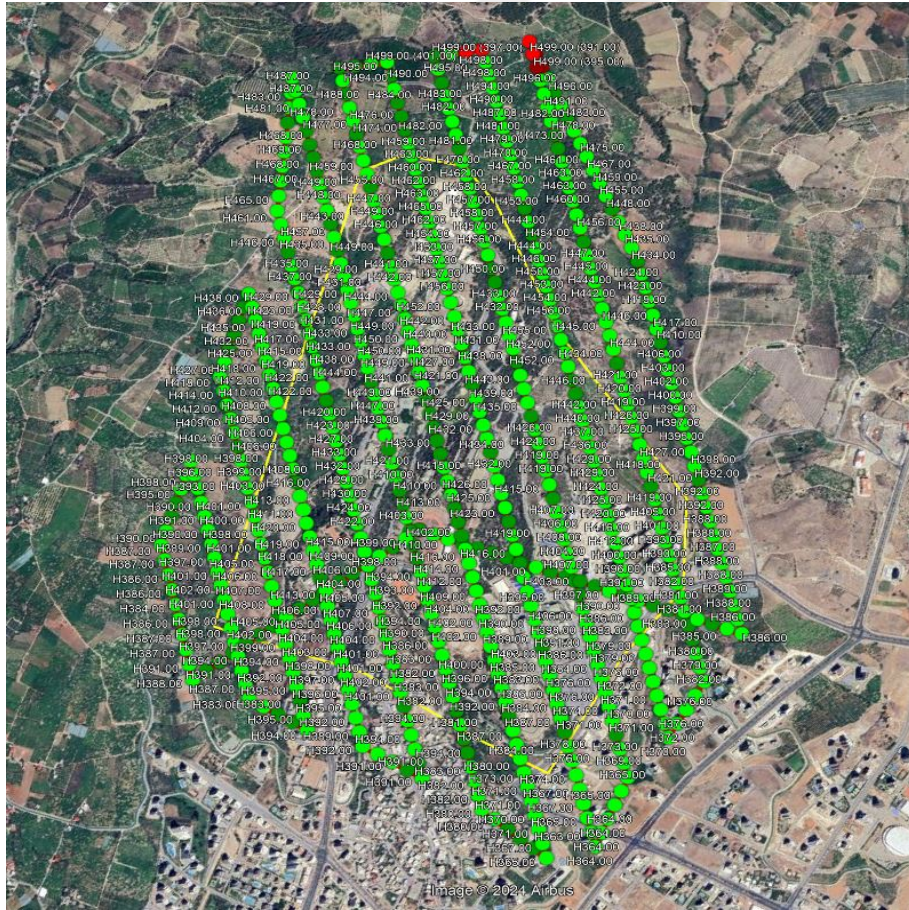
Şekil 4.7. YKN' lerin çalışma alanındaki köşeden merkeze çapraz dağılımı.

4.3. Uçuş Planlama ve Verilerin İşlenmesi

Bu çalışmada Matrice 300 cihazının kamerası yani DJI Zenmuse P1 kamerası kullanılmıştır. Çalışma alanının büyüklüğü (722 ha) dikkate alınarak uçuş 5,13 GSD olarak planlanmıştır. Uçuş yüksekliği GSD' ye göre 428 m'ye karşılık gelmektedir. Toplamda 5 uçuş gerçekleştirilmiştir. Tüm uçuşlarda ileri ve yan örtüşme oranları sırasıyla %80 ve %60 olarak seçilmiştir. Her uçuş yaklaşık 30 dakika sürmüştür (Şekil 4.8., Şekil 4.9.).



Şekil 4.8. Uçuş planlamasının yapılması.



Şekil 4.9. Uçuş planlamasında resim çekim noktalarının gösterimi.

5 uçuş sonucunda toplam 878 fotoğraf çekilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Her uçuşta elde edilen fotoğraf sayısı.

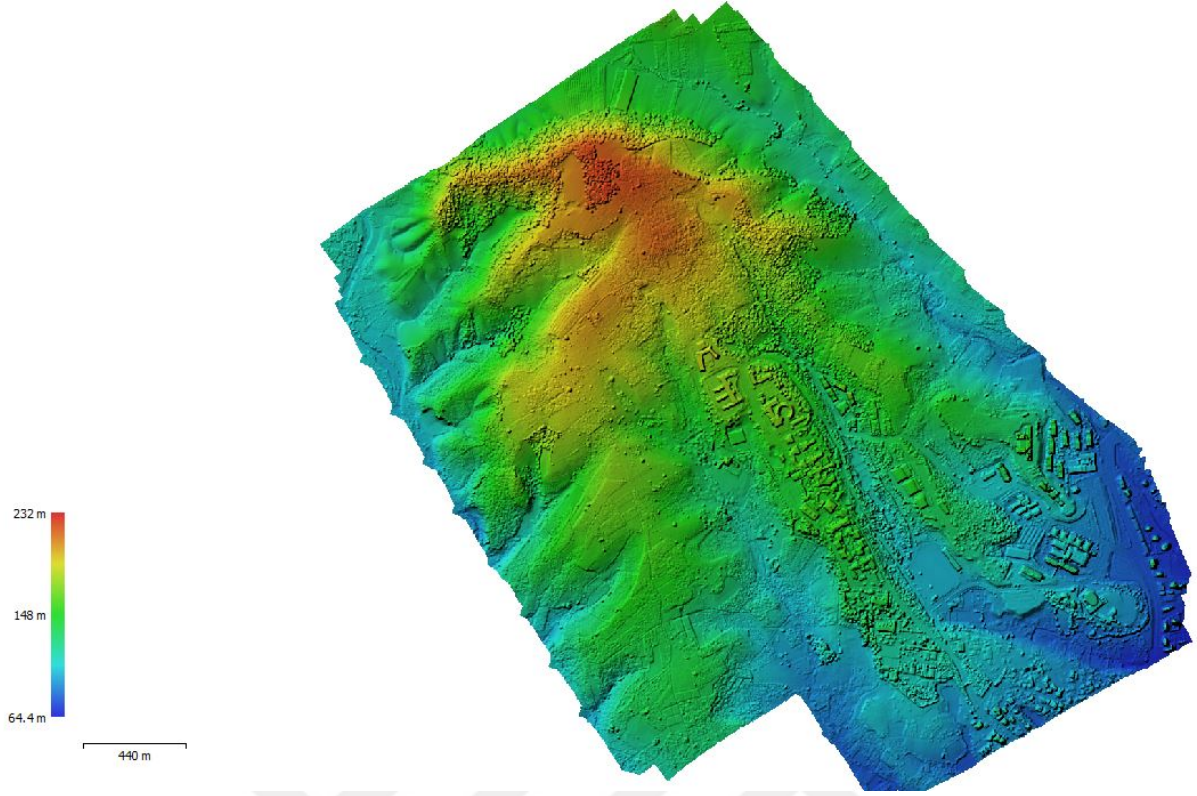
Uçuş Numarası	1	2	3	4	5
Resim Sayısı	30	31	317	315	185

Günümüzde metrik olmayan kameralarla çekilen fotoğraflara dayalı olarak yüzeylerin 3 boyutlu modellenmesine olanak tanıyan çok sayıda ucuz yazılım bulunmaktadır. Çoğu yazılım, bilinen bir 3 boyutlu konum olmadan kamera konumlarını, yönlendirmeyi ve sahne geometrisini otomatik olarak çözen fotogrametrik teknik olan hareketten yapı (SfM) gibi özel algoritmalara dayanmaktadır. SfM algoritmasından türetilen kamera konumları, YKN' lerin koordinatları tarafından sağlanan ölçek ve yönelime sahip değildir. Sonuç olarak, 3 boyutlu nokta bulutu, görüntü koordinat sistemine atıfta bulunarak göreceli koordinatlarda oluşturulur. Bu modelin coğrafi referanslaması genellikle hem yerde hem de fotoğrafların her birinde açıkça görülebilen konumlarda az sayıda YKN yeri kullanılarak gerçekleştirilir.

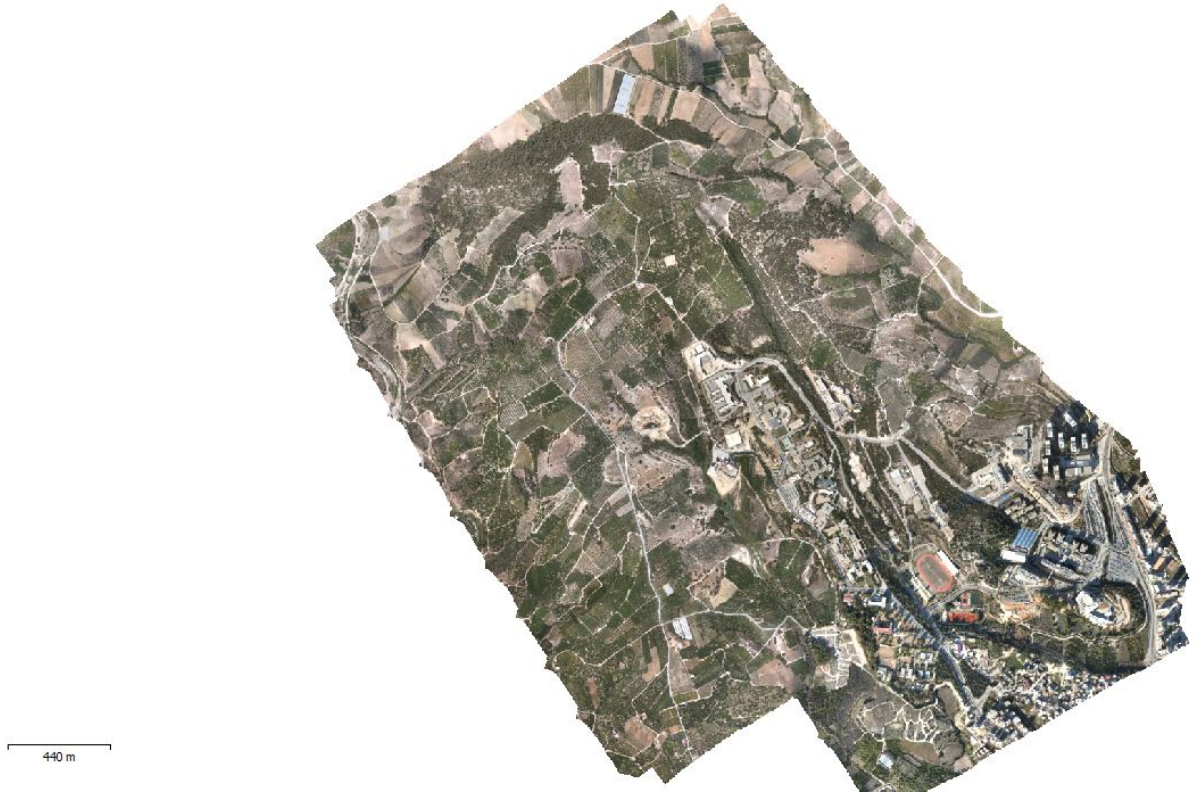
İHA ölçümlerinde paket blok dengeleme ve yoğun görüntü haritalama amacıyla SfM tabanlı bir yazılım olan Agisoft Metashape yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda YKN koordinatlarının ölçümü dışında tüm işlemler otomatiktir.

İHA veri işleme iş akışı aşağıdaki gibidir:

- Yazılıma veri girişi (fotoğraflar, IMU ve GPS verileri)
- YKN girişi
- Kamera optimizasyonu
- Yoğun görüntü işleme
- Nokta bulutu üretimi ve sınıflandırılması
- DSM ve ortofoto üretimi(Şekil 4.10., Şekil 4.11.)



Şekil 4.10. Mersin Üniversitesi Kampüsüne ait DSM.



Şekil 4.11. Mersin Üniversitesi Kampüsüne ait ortofoto harita.

4.4. Nokta Koordinatlarının Karşılaştırılması

Çalışma alanında belirlenen 30 kontrol noktasının koordinatları (X, Y ve Z) GNSS tekniği ile ölçülmüştür. Bu koordinatlar referans koordinatları olarak kabul edildi. Doğruluk analizinde aşağıdaki karesel ortalama hata denklemleri kullanılmıştır. Doğruluk değerlendirmesi işleminde ise: tüm fotogrametrik projelerin doğruluğu, tipik RMSE formülasyonu kullanılarak coğrafi referanslama için kullanılmamış olan kontrol noktaları (KN) üzerinden işlem yapılmıştır. Bu kapsamda ortogörüntülerde KN' ler belirlenmiş ve koordinatları incelenen GNSS koordinatları ile karşılaştırılarak, aşağıda verilen denklemlerde tanımlandığı gibi RMSE_x, RMSE_y ve RMSE_{xy} yatay doğruluk ölçümleri elde edilmiştir:

$$RMSE_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_{GNSS})^2}{n} \quad (4.1)$$

$$RMSE_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_0 - Y_{GNSS})^2}{n} \quad (4.2)$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_{GNSS})^2 + (Y_0 - Y_{GNSS})^2}{n}} \quad (4.3)$$

- n, her proje için test edilen KN' lerin sayısıdır.
- X_0 ve Y_0 sırasıyla x ve y koordinatlarıdır, i'inci KN için ortofotoda ölçülmüştür.
- X_{GNSS} ve Y_{GNSS} x ve y koordinatlarıdır, sırasıyla i'inci KN için GNSS ile ölçülmüştür.

Ayrıca ortogörüntü üzerinde KN' nin x ve y koordinatları için DSM gridinden yükseklik değerleri elde edilmiş ve GNSS koordinatı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Denklem (4.4)'te tanımlandığı gibi z yönü için bir $RMSE_z$ doğruluk ölçüsü üretilmiştir.

$$RMSE_z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_{GNSS})^2}{n} \quad (4.4)$$

- Z_0 , SYM'den elde edilen i'nci KN üzerindeki yükseklik olup, X ve Y koordinatları dikkate alınır, ortofoto üzerinde ölçülür.

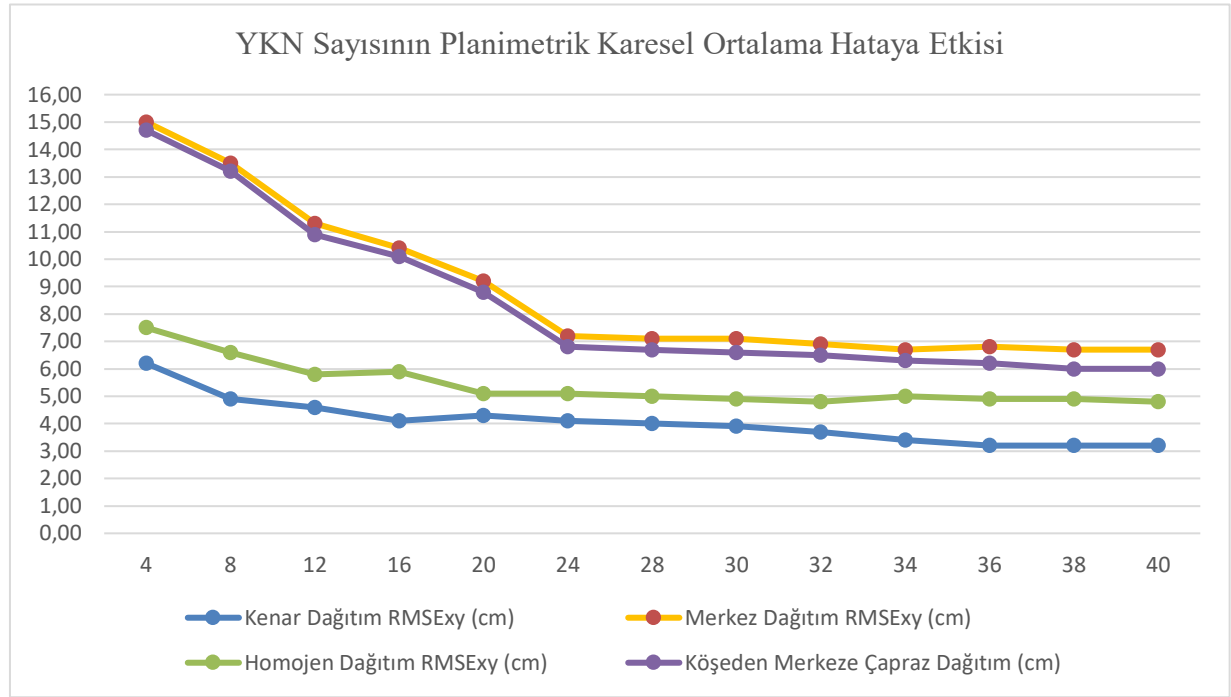
$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_{GNSS})^2 + (Y_0 - Y_{GNSS})^2}{n}}$$

GNSS ile ölçülen i'nci Z koordinatıdır.

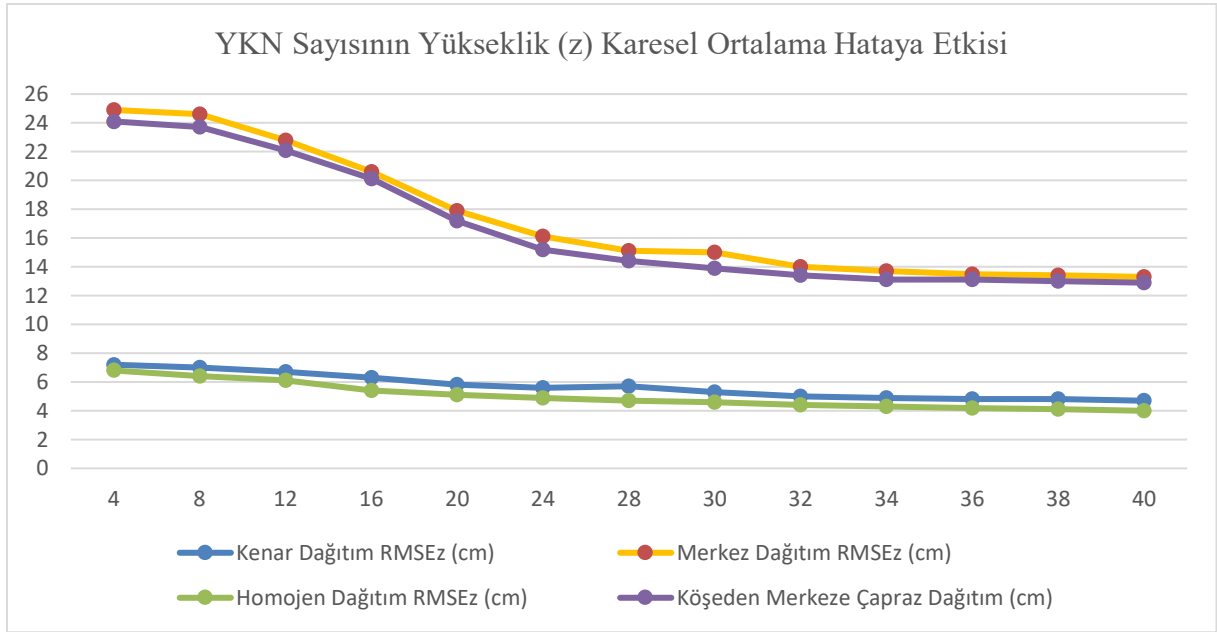
- Denklemlerle elde edilen planimetrik ve Yükseklik (z) farklılıklar Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve bunların grafikleri Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. YKN sayısının ve dağılımının RMSE_{xy} üzerindeki etkisinin sonuçları.

YKN Sayısı	4	8	12	16	20	24	28	30	32	34	36	38	40
Kenar Dağıtım RMSE _{xy} (cm)	6.20	4.90	4.60	4.10	4.30	4.10	4.00	3.90	3.70	3.40	3.20	3.20	3.20
Merkez Dağıtım RMSE _{xy} (cm)	15.00	13.50	11.30	10.40	9.20	7.20	7.10	7.10	6.90	6.70	6.80	6.70	6.70
Homojen Dağıtım RMSE _{xy} (cm)	7.50	6.60	5.80	5.90	5.10	5.10	5.00	4.90	4.80	5.00	4.90	4.90	4.80
Köşeden Merkeze Çapraz Dağıtım (cm)	14.70	13.20	10.90	10.10	8.80	6.80	6.70	6.60	6.50	6.30	6.20	6.00	6.00

**Şekil 4.12.** YKN sayısının planimetrik karesel ortalama hataya etkisinin grafiksel gösterimi.**Tablo 4.3.** YKN sayısına göre Yükseklik (z) ortalama kare hatası değerleri.

YKN Sayısı	4	8	12	16	20	24	28	30	32	34	36	38	40
Kenar Dağıtım RMSE _z (cm)	7.20	7.00	6.70	6.30	5.80	5.60	5.70	5.30	5.00	4.90	4.80	4.80	4.70
Merkez Dağıtım RMSE _z (cm)	24.90	24.60	22.80	20.60	17.90	16.10	15.10	15.00	14.00	13.70	13.50	13.40	13.30
Homojen Dağıtım RMSE _z (cm)	6.80	6.40	6.10	5.40	5.10	4.90	4.70	4.60	4.40	4.30	4.20	4.10	4.00
Köşeden Merkeze Çapraz Dağıtım (cm)	24.10	23.70	22.10	20.10	17.20	15.20	14.40	13.90	13.40	13.10	13.10	13.00	12.90



Şekil 4.13. YKN sayısının Yükseklik (z) karesel ortalama hataya etkisinin grafiksel gösterimi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tablo 4.2 incelendiğinde en yüksek RMSE değerlerinin 4 YKN alanında elde edildiği, en düşük değerlerin ise 40 YKN için belirlendiği görülmüştür. RMSE_{xy} değerleri kenar dağılımda 6.20 ile 3.20 cm, merkezi dağılımda 15.00 ile 6.7 cm ve homojen dağılımda 7.5 ile 4.8 cm, köşeden merkeze doğru çapraz dağılımda 14.70 ile 6.00 cm arasında değişmektedir.

Yine Tablo 4.3 incelendiğinde en yüksek RMSE değerlerinin 4 YKN alanında elde edildiği, en düşük değerlerin ise 40 YKN için belirlendiği görülmüştür. RMSE_z değerleri kenar dağılımda 7.20 ile 4.70 cm, merkezi dağılımda 24.90 ile 13.30 cm ve homojen dağılımda 6.80 ile 4.00 cm, köşeden merkeze doğru çapraz dağılımda 24.1 ile 12.90 cm arasında değiştiği görülmektedir.

Şekil 4.12. ve 4.13.'de gösterilen bu değerlere dayanarak, İHA fotogrametrik projelerinde elde edilen DSM'lerin ve ortofotoların doğruluğu üzerinde YKN'lerin sayısının ve dağılımının önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Ortofoto ve DSM planimetrik değişikliklerini gözlemlemek için kenarlara yerleştirilenlere ek olarak merkezi dağılımdaki 10 (on) adet YKN kullanılmıştır. Şekil 4.12.'den görülebileceği gibi 24 ve 30 YKN kullanıldığında hata oranı durağan hale gelmiştir. Çalışma alanının merkezine 2, 4, 6 YKN eklendiğinde hata oranı azalmıştır. Eklenen son 4 (dört) YKN de ise hata oranı tekrar durağan hale gelmiştir. Kenar dağılımındaki planimetrik değişimi test etmek için yapılan veri analizi, merkez dağılımdaki YKN'lerin (on YKN) üç katının kenar dağılımı desteğiyle en iyi planimetrik doğruluğun elde edildiğini ortaya konulmuştur. En kötü planimetrik doğruluk merkezi dağılımda gözlemlendi. YKN 24 ve 30 arasında sabit hale gelen hata oranı, kenar dağılımındaki 10 YKN ile azaltıldı.

Benzer şekilde ortofoto ve DSM Yükseklik (z) doğruluğundaki değişimi gözlemlemek için kenardakilere ek olarak merkezi dağılımdaki 10 (on) YKN kullanılmıştır. Şekil 4.13. incelendiğinde YKN 28 ve 30 arasında sabit kalan hata oranının merkezi dağılımda YKN kullanılmasıyla azaldığı görüldü. Merkezi dağılım analizi, en kötü Yükseklik (z) doğruluğun bu dağılımda gözlemlendiğini gösterdi. Böylece 28. ve 30. YKN'ler arasında sabit hale gelen hata oranı, kenara yerleştirilen 10 YKN ile azaltıldı. Bu dört dağılımda en iyi Yükseklik (z) dağılım homojen dağılımda elde edilmiştir. Her iki grafiğin incelenmesi, kenar dağılımının planimetrik ve Yükseklik (z) doğruluk üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir.

Literatürde YKN sayısı ve dağılımının İHA fotogrametrisi ile üretilen ortofotolar ve DSM'ler üzerindeki etkisinin analizine odaklanan bazı çalışmalara bakacak olursak; Tahar (2013) benzer bir çalışmayı 150 hektarlık bir alanda yapmış ve çalışmada kullanılan YKN'lerin herhangi bir sayı ve dağılımı için planimetrik doğruluğun Yükseklik (z) doğruluktan daha iyi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca YKN sayısı arttığında her iki doğruluk rakamının da arttığını belirledi (planimetrik doğruluk 0,49'dan 0,46 m'ye ve Yükseklik (z) doğruluk 0,830'dan 0,780 m'ye). Carvajal-Ramírez vd. (2016), yaklaşık 1 hektarlık heyelan alanında yaptıkları çalışmada 3 (üç) YKN kullanmışlardır. Tüm YKN'leri kenarlara dağıtıp hem planimetrik hem de Yükseklik (z) hataları en aza indirmek için üç YKN'nin kenarlara

yerleştirilmesi gerektiği sonucuna varmışlar ve 0,047 m planimetrik doğruluk ve 0,100 m Yükseklik (z) doğruluk elde etmişlerdir. Reshetyuk ve Mårtensson (2016) yaptıkları çalışmada 2,73 hektarlık bir alanda farklı YKN varyasyonlarının İHA fotogrametri ürünlerinin doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada beş YKN tüm alana eşit olarak dağıtılmış uçuşlar 81 m ve 163 m olmak üzere iki irtifada yapılmıştır. Bu uçuşlar için RMSE değerleri sırasıyla 0,030 m ve 0,080 m idi. Sonuç olarak bu doğruluğu elde etmek için hektar başına 1,8 YKN önermişlerdir. Carricondo vd. (2018), minimum Yükseklik (z) doğruluk için hektar başına 0,5 ila 1 YKN önermiştir. Ablanado vd. (2018), büyük projelerde yüksek doğruluk istendiğinde 100 fotoğraf başına üçten fazla YKN kullanılması gerektiğini önermektedir. Önerilen YKN sayıları bu proje için uygulanırsa çok sayıda YKN'ye ihtiyaç duyulacaktır. Arazi araştırmalarında harcanan süreyi kısaltmak ve maliyetten tasarruf etmek amacıyla haritalamada İHA'lar kullanılmaktadır. Önceki çalışmalarda önerilen sayıda YKN'nin mevcut projede kullanılması, İHA'ların haritalamada kullanılma amacının dışına çıkacaktır. Bu çalışma sonucunda diğer benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer ve doğru sonuçlar elde edilmiştir. İHA'larla fotogrametrik çalışmalar yapılırken saha çalışmasında en çok zaman alan ve kısıtlayıcı görevlerden biri YKN'lerin konumlandırılmasıdır. Çalışma öncesinde YKN'lerin yerleşimi ve olası hataların büyüklüğünün bilinmesi projeye katkı sağlayabilir. Bu çalışma ile optimum planimetrik doğruluğu elde etmek için YKN'lerin çalışma alanının kenarlarına yerleştirilmesi gerektiğini belirlenmiştir. Ancak bu dağılım, optimum Yükseklik (z) doğruluğa yol açmayabilir. Bu nedenle YKN'lerin bir kısmını çalışma alanının merkezine yerleştirerek güçlendirmek, böylece toplam hatayı en aza indirmek gerekmektedir. YKN'lerin hem sayısının hem de dağılımının, DSM'lerin ve İHA-fotogrametrik çalışmalarda üretilen ortofotoların doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR

Ablanedo, E. S., J. H. Chandler, J. R. R. Pérez, and C. Ordóñez. 2018. "Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used." *Remote Sensing* 10 (10): 1606. doi:10.3390/rs10101606.

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P. (2017). "Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points number using unmanned aerial vehicle" *Measurement* 98 Pages 221-227, ISSN 0263-2241, 2017.

Arjomandi, M., 2012, "Classification Of Unmanned Aerial Vehicles", <http://personal.mecheng.adelaide.edu.au/maziar.arjomandi/Aeronautical%20Engineering%20Projects/2006/group9.pdf>

Atak, H. (2018). "İnsansız Hava Araçları Kullanarak Ortofoto Harita Üretimi Ve Doğruluk Analizleri", Gebze Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.

Avdan U., Şenkal E., Çömert R., Tuncer S. (2014). İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi, V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul

Avşar E., (2006). "Tarihi köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi" (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydeniz, A.B. (2020). "İnsansız Hava Aracı İle Çekilen Fotoğraflardan Ve Videolardan Oluşturulan 3B Modellerin Karşılaştırılması", Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2020.

Bemis S. P., Micklethwaite S., T. D., ve James M. R., Akciz S., Thiele S. T., B. H. A. (2014). "Ground-based and UAVBased photogrammetry: A multi-scale, high resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology." *Journal of Structural Geology*, 69.

Blyenburgh, P.V. (1999). UAVs: an Overview. Uninhabited Aerial vehicles (UAVs), *Air and Space Europe* Vol:1, No:5/6. Pp. 43-47.

Carricondo, P. M., F. A. Vega, F. C. Ramírez, F.-J. Carrascosa, A. G. Ferrer, F. Porras, and P. Juan. 2018. "Assessment of UAV-photogrammetric Mapping Accuracy Based on Variation of Ground Control Points." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 72,1-10.

Carvajal-Ramírez, F., F. Agüera-Vega, and P. J. Martínez Carricondo. 2016. "Effects of Image Orientation and Ground Control Points Distribution on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry Projects on a Road Cut Slope." *Journal of Applied Remote Sensing* 10 (3): 34004. doi:10.1117/1.JRS.10.034004.

Cary, L, Coyne, J. (2011): ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS), Circular 328, 2011-2012 UAS Yearbook - UAS: The Global Perspective – 9th Edition - June 2011 - Blyenburgh & Co © - www.uvs-info.com - Page: 112/216

Corporation, L. (2018). Aerial imaging: how to achieve the correct ground resolution, Lumenera Corporation White Paper Series. Lumenera Corporation, Ottawa, pp. 1-6.

Cramer, M et.al. (2013): On The Use of RPAS in National Mapping – The EuroSDR Point of View, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W2, 2013, UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany

Cryderman, C, A. Shufletoski (2015): Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations, GEOMATICA Vol. 68, No. 4, 2014 pp. 309 to 317

Çallı, R. (2021). İHA Sistemleri İle Elde Edilen Ortofoto Haritaların Doğruluk Değerlendirmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

Draeyer,B., C. Strecha (2014): White paper: How accurate are UAV surveying methods? Pix4D White paper, February 2014

EC, 2006. Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery, European Commission, Directorate General Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen Monitoring Agriculture with Remote Sensing Unit, Italy.

Eisenbeiss, H. (2009). “UAV Photogrammetry,” ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, ISSN 0252-9335, ISBN: 978-3-906467-86-3, Zurich, Switzerland, 2009.

Erdoğan A., Mutluoğlu Ö.(2020). İnsansız Hava Araçları ile Harita Üretim Çalışmalarında Farklı Yüksekliklerde Yapılan Uçuşların Konum Doğruluğuna Etkisi, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi– 2020; 2(1); 28-35

Ferrer-Gonzalez E., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramirez F. ve Martínez-Carricondo P. (2020). “UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points”, Remote Sensing, 2020, 12, 2447.

Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L. & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. Earth surface processes and Landforms, 38(4), 421-430.

Forlani, G., DallAsta, E., Diotri, F., Di Cella, U. M., Roncella, R., Santise, M. (2018). “Quality assessment of Dsms produced from Uav flights georeferenced with on-board Rtk positioning,” Remote Sensing, 2018.

Gençerk, E. Y. (2016). “İnsansız Hava Aracı Fotogramtrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

Gökçen, M. F. (2020). “Açık Maden İşletmelerinde Yer Kontrol Noktalarının İnsansız Hava Aracı Fotogramtrisi İle Üretilen Ürünlere Etkisinin Araştırılması”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2020.

Habib, A., Shan, J. ve Toth, C. K. (2009). Accuracy, quality assurance, and quality control of LiDAR data. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, 269-94.

Habib, A. F., E.-M. Kim, and C.-J. Kim. 2007. “New Methodologies for True Orthophoto Generation.” Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 73 (1): 25–36. doi:https://doi.org/10.14358/PERS.73.1.25.

Hastaoğlu, A. E. C., Hastaoğlu, K. Ö., Poyraz, F., Gül, Y. (2021). “İHA fotogramtrisi konum doğruluğuna kamera odak uzaklığı etkisinin incelenmesi”, Türkiye Fotogrametri Dergisi– 2021; 3(1); 22-28

He, J., Li, Y., and Zhang, K. (2012). Research of UAV Flight Planning Parameters. Positioning, 03(04), 43–45. https://doi.org/10.4236/pos.2012.34006

Kadı, A. D. (2021). İHA ile Ortofoto Harita Üretimi ve Duyarlılığın İrdelenmesi: KTÜ Kampüs Alanı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Kahveci, M., Can N. (2017). İnsansız hava araçları: Tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (4), s.511-535.

Kapıcıoğlu, H. Ş. (2019). "İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisinde Yer Kontrol Noktalarının Konum Doğruluğuna Etkisinin İncelenmesi", Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2019.

Kapıcıoğlu H. Ş., Hastaoğlu, K. Ö., Poyraz, F., Gül, Y. (2018). Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep/ Nizip. International Conference On Innovative Engineering Applications - CIEA 2018, 1174-1178.

Karaağaç, C. (2014). İHA sistemlerine genel bakış. Academia. edu. Retrieved from https://www.academia.edu/8285152/%C4%B0HA_Sistemlerine_Genel_Bak%C4%B1%C5%9F (Erişim Tarihi: 10.09.2019)

Karlı, F., İstanbul Üniversitesi Açık Ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, Fotogrametri Ders Notları Kitabı Kesikoğlu, A. (2020). "Düşük irtifa görüntüleme sistemlerinin ortofoto üretiminde kullanımı," Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.

Kiracı, A. C., İşcan L. ve ark. (2010). "Sayısal Hava Kamerası ve Fotogrametriye Kazandırdıkları", Harita Dergisi, Ocak 2010, sayı:143.

Korchenko A.G., Illyash O.S., (2013), "The Generalized Classification of Unmanned Air Vehicles", (2013) IEEE 2nd International Conference "Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments" Proceedings pp.28-34

Kurban T., Karkınlı A.E., Kesikoğlu A. (2015). Düşük İrtifa Görüntüleme Sistemleri İle Üretilen Haritalarda Konumsal Doğruluğunun İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi.

Kurt Ş., Ün O., "İnsansız Hava Araçları (İHA) Üzerine Hava Hukuku Açısından Bir Değerlendirme" , Erciyes Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 2015, Cilt: 10,Sayı: 2, Sayfa: 195-213.

LaFay, M. (2015). Drones for dummies. John Wiley & Sons. 288 s, Kanada.

Leachtenauer J. C., Driggers, R. G. (2001). Surveillance and reconnaissance imaging systems: modeling and performance prediction. Artech House. 399 p.

Linder, W. (2009). Digital photogrammetry: A Practical Course (Vol. 1). Berlin: Springer, 2009.

Lucieer, A., Turner, D., King, D.H., Robinson, S.A. (2014). Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture microtopography of Antarctic moss beds. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 27, 53–62.

Lumenera, T. (2019). The most important camera parameters for aerial imaging," Lumenera Corporation White Paper Series, 2019.

Oniga V. E., Breaban A. I. ve Statescu F. (2018). "Determining the Optimum Number of Ground Control Points for Obtaining High Precision Results Based on UAS Images", Proceedings 2018.

Özcan O. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, 1-7 s

Özcan, O. (2017). “İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi”, Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, 1-7 s, 2017.

Özemir I. (2017). İnsansız hava aracı ile fotogrametrik veri üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 140, İstanbul

Öztürk O., Bilgilioglu B.B., Çelik M.F., Bilgilioglu S.S., Uluğ R. (2017). İnsanız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortogörüntü Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. Geomatik Dergisi ,2017; 2(3);135-141

Park J. W. ve Yeom D. J. (2021). “Method for establishing ground control points to realize UAV-based precision digital maps of earthwork sites”, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2021.

Pessoa, G. G., A. C. Carrilho, G. T. Miyoshi, A. Amorim, and M. Galo. 2020. “Assessment of UAV-based Digital Surface Model and the Effects of Quantity and Distribution of Ground Control Points.” International Journal of Remote Sensing. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1800122>.

Reshetyuk, Y., and S.-G. Mårtensson. 2016. “Generation of Highly Accurate Digital Elevation Models with Unmanned Aerial Vehicles.” The Photogrammetric Record 31 (154): 143–165. doi:10.1111/phor.12143.

Sanz-Abianedo E., Chandler J. H., Rodriguez-Perez J. R. ve Ordonez C. (2018). “Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used”, Remote Sensing, 2018, 10, 1606.

Sarı, F. D. (2017). Farklı Hava Şartlarında Drone Video Çekimi, <https://www.droneturk.com.tr/farkli-hava-sartlarinda-drone-video-cekimi/>. Erişim Tarihi: 28.03.2019.

SHGM (2019). İnsansız Hava Aracı pilotluk eğitim ders notları.

SHGM (2016). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İnsansız Hava Aracı ve Pilot Kayıt Sistemi.

Skaloud, J. (2006). “Reliability in direct georeferencing: An overview of the current approaches and possibilities,” In EuroSDR workshop EuroCOW on Calibration and Orientation, Castelldefels, Spain, 2006.

Snively, N., Seitz, S.M., Szeliski, R. (2007). Modeling the world from internet photo collections. International Journal of Computer Vision. 80 (2), pp 189–210.

Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M., Gerke, M. (2017). “Quality assessment of combined IMU/GNSS data for direct georeferencing in the context of Uav-Based mapping,” The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017.

Şahin İ., Yakar M. (2007). “Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması” , Konya Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Şenkal, E. (2018). İHA ile elde edilen görüntülerde üretilen ortofoto ve yüzey modellerinin doğruluğunun araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.

Şin B., Kadioğlu İ. (2019). “İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Yabancı Ot Tespitinin Yapılması”, Turkish Journal of Weed Science 20(2):2019:211-217.

Tahar, K. N. 2013. An Evaluation on Different Number of Ground Control Points in Unmanned Aerial Vehicle, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-2/ W2, ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, 27 – 29 November 2013, Istanbul, Turkey

Torun, A. (2016): Integrating Geospatial Technologies: Reflections on Intergeo 2016, GIM International, November 2016

Torun, A. (2017). “İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü Ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması”, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.

Toutin, T. 2003a. Geometric Correction of Remotely Sensed Images, Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies. edited by M. A. Wulder and S. E. Franklin, 143–180. Kluwer Academic Publishers.

Toutin, T. 2003b. “Error Tracking in IKONOS Geometric Processing Using a 3D Parametric Model.” Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 69 (1): 43–51. doi:https://doi.org/10.14358/PERS.69.1.43

Tunalioğlu, N., Doğan, A. H., Durdağ, U. M. (2019). GPS sinyal gürültü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 6(1), ss. 1-9, 2019.

Turner D., Lucieer A., Watson C. (2012). “An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds,” Remote Sensing, 4, 1392-1410, 2012.

UAS PIEngineering (2012): Aspects of Accuracy in UAS Photogrammetry, White Paper Version 1.0.4PIEngineering Ltd

Ulvi, A. (2015). “Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında(Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma.”, Doktora Tezi, 2015.

Ulvi, A. (2021). “İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması”, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8(1), 458-471, 2021.

Uysal M., Toprak A., Polat N. (2015). “DEM Generation with UAV Photogrammetry and Accuracy Analysis in Sahitler Hill,” Measurement, 73, pp.539-543, 2015.

Wierzbicki D., Kedzierski M., Fryskowska A. (2015). “Assesment of the influence of UAV image quality on the orthophoto production,” Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, pp. 1–8, 2015.

Yiğit, C. Ö., Torun, A., Şahin, I., Yıldız, M. (2013). “Gps/İmu ve yer kontrol noktasının farklı kombinasyonları ile üretilmiş ortofoto görüntülerin planimetrik doğruluklarının değerlendirilmesi,” Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon 2013.

Yastıklı, N. (2004). “Algılama Sistemlerinin Doğrudan Yöneltilmesi,” HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, ss. 5-11, 2004.

Yaşayan, A., Uysa, M., Varlık, A., Avdan, U. (2018) Fotogrametri, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295

Yiğit E., Yazar I., Karakoç T. H. (2018). “İnsansız Hava Araçları (İHA)’nın Kapsamlı Sınıflandırması Ve Gelecek Perspektifi”, Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi (2018), C3-S1, 10-19.

Yıldız F., Selçuk Üniversitesi, Dijital (Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı “Akademik Perspektif” Cebit Bilişim Zirvesi 2010 08.Ekim.2010 Beylikdüzü-İstanbul

Zulkipli M. A. ve Tahar K. N. (2018). “Multirotor UAV-Based Photogrammetric Mapping for Road Design” Hindawi International Journal of Optics Volume 2018

URL-1 <https://www.thk.org.tr/iha>, Erişim Tarihi: 10.09.2023

URL-2 <http://www.ssm.gov.tr>, Erişim Tarihi: 10.09.2023

URL-3 <https://www.linkedin.com/pulse/vtol-iha-teknolojisi-nedir-kullanim-alanlari-nelerdir-avdeso-drone-2e/?originalSubdomain=tr>, Erişim Tarihi: 10.09.2023

URL-4 http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/cografi_bilgi_sistemleri_onlisans_ue/fotogrametri.pdf, Erişim Tarihi: 23.10.2023

URL-5 Pix4D, (2019). “Pix4D capture - Manual.” <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204010419--iOS-Pix4Dcapture-Manual>. Erişim Tarihi: 28.10.2023

URL-6 <https://www.linkedin.com/pulse/yer-ornekleme-araligi-gsd-nedir-ataymuhendislik/?originalSubdomain=tr>, Erişim Tarihi: 03.11.2023

URL-7 Base aerial survey, (2019). What is GSD? Ground Sampling Distance., aerial survey base. <https://www.aerial-survey-base.com/gsd-calculator/what-is-gsd/>. Erişim Tarihi: 04.01.2024

URL-8 <https://www.djistoreturkiye.com/dji-matrice-300-rtk--6958265100710>, Erişim Tarihi: 12.02.2024

URL-9 <https://www.djistoreturkiye.com/dji-zenmuse-p1-ean2021112206>, Erişim Tarihi: 12.02.2024

URL-10 <https://www.paksoytekni.com.tr/paksoy-topcon/gnss/hiper-sr.html>, Erişim Tarihi: 12.02.2024