



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HAVA FOTOĞRAFLARI VE İNSANSIZ HAVA  
ARACI GÖRÜNTÜLERİNDEN ARAZİ  
TOPOĞRAFYASI ÖLÇÜMÜ, SONUÇLARIN  
ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI  
(HAYMANA YEŞİLYURT KÖYÜ  
UYGULAMASI)**

**Oktay ÇETİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Oktaç ÇETİN tarafından hazırlanan ‘‘Hava Fotoğrafları ve İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Arazi Topoğrafyası Ölçümü, Sonuçların Analizi ve Karşılaştırması (Haymana Yeşilyurt Köyü Uygulaması)’’ adlı tez çalışması 01/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof.Dr. Ömer MUTLUOĞLU

#### Danışman

Doç.Dr. Cihan ALTUNTAŞ

#### Üye

Doç.Dr. Murat UYSAL

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
LEE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Oktay ÇETİN  
01.08.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# HAVA FOTOĞRAFLARI VE İNSANSIZ HAVA ARACI GÖRÜNTÜLERİNDEN ARAZİ TOPOĞRAFYASI ÖLÇÜMÜ, SONUÇLARIN ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI (HAYMANA YEŞİLYURT KÖYÜ UYGULAMASI)

Oktay ÇETİN

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Cihan ALTUNTAŞ

2019, 120 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Cihan ALTUNTAŞ  
Prof.Dr. Ömer MUTLUOĞLU  
Doç.Dr. Murat UYSAL

Son yıllarda platform ve algılayıcı teknolojisinde meydana gelen ilerleme ile birlikte insansız hava araçları fotogrametrik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Klasik hava fotogrametrisi iş adımları ile üretilen fotogrametrik sonuç ürünler, özellikle belirli büyüklüklerdeki alanlarda İHA'larla alınan görüntülerden elde edilebilmektedir. Bu çalışmada aynı alana ait farklı platformlar tarafından elde edilen fotogrametrik görüntülerin otomatik eşlenmesi ve yoğun nokta bulutu üretilerek ölçülerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, klasik yöntemle elde edilen hava fotoğrafları ile döner kanat ve sabit kanat İHA platformları tarafından alımı yapılan görüntüler uygulama aşamasında kullanılmıştır. Pix4D ve Agisoft yazılımları İHA'lar ve diğer platformlardan elde edilen fotogrametrik görüntülerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımların temel çalışma prensibi SfM algoritmasına dayalı görüntü eşleme ve yoğun nokta bulutu oluşturulmasıdır. Bahsi geçen yazılımlar ile sabit ve döner kanat İHA platformlarına ait görüntüler işlenerek sayısal yükseklik modeli ve ortofoto görüntüler oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda klasik fotogrametrik teknikler kullanılarak alımı yapılan hava fotoğraflarında aynı yazılım ile işlenmiş ve yükseklik verileri mukayese edilmiştir. Çalışma sahası olarak Ankara ili Haymana ilçesine bağlı Yeşilyurt Köyü seçilmiştir. İHA görüntüleri ve hava fotoğraflarından elde edilen ölçülerin jeodezik koordinatlandırılması uçuş esnasındaki kamera konumları ve YKN kullanılarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Dolaylı jeodezik koordinatlandırmada kullanılan YKN'ları TUSAGA aktif kullanılarak GNSS alıcısı ile ölçülmüştür. Araziden alımı yapılan GPS ölçüleri uygulama çalışmasında referans veri olarak kullanılarak doğrudan ve dolaylı jeodezik dönüşüm ile konum ve yükseklik bilgileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak; klasik hava fotogrametrisi ile elde edilen ölçme verilerine, İHA'lardan elde edilen görüntüler kullanılarak yüksek çözünürlük, düşük maliyet, hızlı işlem adımları ve yeterli konum hassasiyetinde ulaşılabildiği değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı İHA platformlarından elde edilen görüntülerin Agisoft ve Pix4D yazılımlarında işlenmesi ile elde edilen sonuçların birbirlerine yakın doğrulukta olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Fotogrametri, Otomatik Görüntü Eşleme, İnsansız Hava Aracı, SfM, Yoğun Nokta Bulutu, Yoğun Nokta Bulutu Yazılımı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **FROM AERIAL PHOTOGRAPHS AND DIFFERENT UNMANNED AERIAL VEHICLE IMAGES, MEASUREMENT OF LAND TOPOGRAPHY, ANALYSIS OF RESULTS AND COMPARISON (THE STUDY OF HAYMANA YESILYURT VILLAGE)**

**Oktaý ÇETİN**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geomatics Engineering**

**Advisor: Assoc.Prof.Dr. Cihan ALTUNTAŞ**

**2019, 120 Pages**

**Jury  
Assoc.Prof.Dr. Cihan ALTUNTAŞ  
Prof.Dr. Ömer MUTLUOĞLU  
Assoc.Prof.Dr. Murat UYSAL**

Unmanned aerial vehicle have been widely used in photogrammetric studies with the development of platform and sensor technology in recent years. The photogrammetric result products produced by the classical aerial photogrammetry work steps can be obtained from images taken with UAVs, especially in areas of a certain size. In this study, automatic matching of photogrammetric images obtained by different platforms belonging to the same area and comparison of measurements by producing dense point cloud is aimed. For this purpose, the aerial photographs obtained by the classical method and the images taken by the rotary wing and fixed wing UAV platforms were used in the application stage. Pix4D and Agisoft software are widely used to process photogrammetric images from UAVs and other platforms. The basic working principle of these software is image matching and dense point cloud based on SfM algorithm. With the aforementioned software, images of fixed and rotary wing UAV platforms were processed and orthophoto was produced with digital surface model and the results were compared. At the same time, aerial photographs taken using classical photogrammetric techniques were processed with the same software and elevation data were compared. Yeşilyurt Village of Haymana District of Ankara Province was chosen as the study area. Geodetic coordinates of measurements obtained from UAV images and aerial photographs were performed in two ways by using GCP and camera positions during flight. GCPs, which are also used in indirect geodesic coordinating, were measured with GNSS receiver using TUSAGA active. GPS measurements taken from the field were used as reference data in the study and direct and indirect geodetic transformation and location and elevation information were analyzed. As a result; It has been evaluated that survey data obtained by classical aerial methods can be obtained by using images obtained from UAVs with high resolution, low cost, fast processing steps and sufficient position accuracy. Furthermore, the results obtained by processing the images obtained from different UAV platforms in Agisoft and Pix4D software accuracy were found to be close to each other.

**Keywords:** Photogrammetry, Automatic Image Matching, Unmanned Aerial Vehicle, Structure from Motion, Dense Point Cloud, Dense Point Cloud Software

## ÖNSÖZ

Yapılan çalışma ile farklı platformlar tarafından alımı yapılan fotoğrafların iki ayrı yazılım kullanılarak işlenmesi sonrasında üretilen sonuç ürünlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Uzun süredir devam etmekte olan yüksek lisans eğitimimi tamamlama hususunda yardım ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Doç.Dr. Cihan ALTUNTAŞ'a, İHA uçuşunu gerçekleştiren Uğur OTLU'ya ve tezin düzenlenmesi esnasında sağladığı katkılarından dolayı Ramazan ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yapılan çalışma esnasında kullanılan veri, yazılım lisansı ve arazi ölçümleri için teknik ekipman desteği sağlayan Ottotek, Atay ve Semil Mühendisliğe değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Tez çalışmasının her aşamasında katkı sunan değerli eşime, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan anne ve babama, yoğun geçen tez hazırlık sürecinde birlikte geçireceğimiz zamanlarımızdan kullanmak zorunda kaldığım kızım ve oğluma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Oktay ÇETİN  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>5</b>
2.1. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi.....	5
2.2. Sayısal Fotogrametri .....	9
2.2.1. Sayısal fotogrametride kullanılan koordinat sistemleri .....	10
2.2.1.1. Piksel koordinat sistemi .....	10
2.2.1.2. Resim koordinat sistemi.....	10
2.2.1.3. Uzay koordinat sistemi .....	11
2.3. Fotogrametrik İşlem Adımları .....	11
2.3.1. Görüntü alımı .....	12
2.3.1.1. Kamera kalibrasyonu .....	12
2.3.1.2. Radyal distorsiyon .....	13
2.3.1.3. Teğetsel distorsiyon .....	14
2.3.2. Fotogrametrik değerlendirme .....	14
2.3.2.1. Tek fotoğraf değerlendirmesi.....	15
2.3.2.2. Çift fotoğraf değerlendirmesi (Stereo Değerlendirme).....	15
2.3.2.3. Yöneltilme işlemleri.....	15
2.3.2.4. Fotogrametrik nirengi .....	18
2.3.3. Kaydetme .....	20
2.4. İnsansız Hava Aracı .....	21
2.4.1. İHA'nın ilk kullanımı .....	22
2.4.2. İHA'ların sınıflandırılması ve yasal düzenlemeler.....	22
2.4.2.1. İHA sınıflandırmasında uluslararası kurumlar .....	23
2.4.2.2. İHA sınıflandırmasında ulusal kurumlar .....	25
2.4.3. İHA'ların kullanım alanları .....	26
2.4.3.1. Uzaktan algılamada İHA kullanımı .....	27
2.4.3.2. İHA ile LİDAR uygulamaları .....	31
2.4.3.3. Fotogrametride İHA kullanımı .....	32
2.4.4. İHA görüntülerinin elde edilmesi .....	33
2.4.5. İHA görüntülerinin işlenmesi .....	34
2.4.6. Görüntü yöneltilmesi ve kamera kalibrasyonu .....	35

2.5. Sayısal Yükseklik Modeli ve Ortofoto Üretimi .....	36
2.6. Hava Fotogrametrisinde Jeodezik Koordinatlandırma .....	37
2.7. Görüntüden Yapısal Model Oluşturma (SfM) .....	38
2.8. Fotoğraftan Nokta Bulutu Oluşturma Yazılımları .....	40
2.8.1. AgiSOFT Metashape .....	42
2.8.2. Pix4D .....	44
<b>3. VERİ TOPLAMA .....</b>	<b>48</b>
3.1. Çalışma Alanı Seçimi .....	48
3.2. Uçuş Planlaması .....	49
3.3. Yer Kontrol Noktalarının Ölçümü .....	50
3.4. Fotogrametrik Görüntülerin Elde Edilmesi .....	53
3.4.1. Döner kanat İHA görüntüsü .....	53
3.4.2. Sabit kanat İHA Görüntüsü .....	56
3.4.3. Hava fotogrametrisi görüntüsü .....	57
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI .....</b>	<b>60</b>
4.1. Döner Kanat İHA Görüntülerinin Fotogrametrik Değerlendirmesi .....	60
4.1.1. Nokta bulutu oluşturma .....	60
4.1.2. Jeodezik koordinatlandırma .....	66
4.1.2.1. Dolaylı jeodezik koordinatlandırma .....	66
4.1.2.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma .....	71
4.2. Sabit Kanat İHA Görüntülerinin Fotogrametrik Değerlendirmesi .....	74
4.2.1. Nokta bulutu oluşturma .....	74
4.2.2. Jeodezik koordinatlandırma .....	80
4.2.2.1. Dolaylı jeodezik koordinatlandırma .....	80
4.2.2.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma .....	84
4.3. Hava Fotoğraflarının Fotogrametrik Değerlendirmesi .....	87
4.3.1. Nokta bulutu oluşturma .....	87
4.3.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma .....	90
4.4. Kesit Alınarak Yükseklik Değerlerinin Karşılaştırılması .....	91
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>97</b>
5.1. Yazılım Sonuçlarının Karşılaştırması .....	97
5.2. Jeodezik Dönüşüm Sonuçlarının Yorumlanması .....	97
5.3. Hava Fotogrametrisi ile İHA Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	99
5.4. Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması .....	100
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>105</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>111</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

- AB: Avrupa Birliği  
BVLOS: Görsel Görüş Hattı Ötesi - Beyond Visual Line of View  
BHHYY: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği  
CAA: Sivil Havacılık Otoritesi - Civil Aviation Authority  
CCD: Şarj Bağlantılı Cihaz - Charge-Coupled Device  
CMOS: Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken - Complementary Metal Oxide Semiconductor  
DİSO: Doğrudan Sensör Yönelmesi-Direct Sensor Orientation  
EASA: Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı-European Aviation Safety Agency  
GNSS: Küresel Konumlama Uydu Sistemi-Global Navigation Satellite System  
GPS: Küresel Konum Belirleme Sistemi-Global Positioning System  
ICAO: Uluslararası Sivil havacılık Örgütü -International Civil Aviation Organization  
IFR: Aletli Uçuş Kuralları-Instrument Flight Rules  
INS: Ataletsel Seyrüsefer Sensörü-Inertial Navigation System  
InSO: DoğrudanOlmayan Sensör Yönelmesi  
ISPRS: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing  
İHA: İnsansız Hava Aracı  
İUS: İnsansız Uçak Sistemleri-Unmanned Aerial Systems-UAS  
LİDAR: Light Detection and Ranging  
MEM: Mikro Elektronik Mekanik Sistemler-Micro Electro Mechanical System  
MKA: Maksimum Kalkış Ağırlığı  
NS: Navigasyon Sistemi-Navigation System  
PPK: Sonradan İşlenen Kinematik-Post Processed Kinematic  
ROA: Uzaktan Kullanılan Hava Taşıtı-Remotely Operated Aircraft  
RPA: Uzaktan Yönlendirilen Hava Taşıtı-Remotely Piloted Aircraft  
RPAS: Uzaktan Kumandalı Uçak Sistemi-Remotely Piloted Aerial System  
RPV:Uzaktan Kumandalı Araç-Remotely Piloted Vehicle  
RTK:Gerçek Zamanlı Kinematik - Real Time Kinematic  
SAM:Sayısal Arazi Modeli  
SAR:Yapay Açıklıklı Radar-Synthetic Aperture Radar  
SfM: Görüntüden Yapısal Model Oluşturma - Structure from Motion  
SIFT: Ölçek Sabit Özellik Dönüşümü-Scale Invariant Feature Transform  
SURF: Hızlandırılmış Sağlam Özellikler - Speeded-up Robust Features  
SYM: Sayısal Yükseklik Modeli  
TUSAGA: Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı  
UNESCO: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
UVS: İnsansız Araç Sistemleri-Unmanned Vehicle System  
VLOS: Görsel Görüş Hattı-Visual Line of View  
YKN: Yer Kontrol Noktası  
YKİ: Yer Kontrol İstasyonu - Ground Control Station - GCS  
YÖM:Yer Örneklem Mesafesi - Ground Sample Distance- GSD

## 1. GİRİŞ

Her bilim dalında olduğu gibi fotogrametri ve uzaktan algılama disiplinleri, bilim ve teknoloji alanında meydana gelen değişimler ile birlikte sürekli gelişen bir süreç içerisinde kendini yenilemektedir. Yenilenme ihtiyacı dünya üzerinde değişmeyen tek gerçek kavram olarak bütün bilim dalları için ortak bir payda da bulunmaktadır. Bu anlamda, 1850'li yılların başından itibaren fotogrametri disiplini içinde bulunulan çağa göre gelişimine ara vermeden devam etmiştir.

Uzaktan algılama ve fotogrametri disiplinleri tarafından üretilen topoğrafya ve objelere ait veriler, geçmişten günümüze birçok alanda hayatı kolaylaştıran teknoloji ve sistemlerin günlük hayat içerisinde kullanımını hızlandırmıştır. Her iki disiplinde, bilgi elde edilmesi planlanan obje ile temas etmeden veri üretilmesini hedeflemektedir. Bu anlamda fotogrametri kısaca; fotoğraflar üzerinden objelerin konum ve şekillerinin belirlenerek metrik hesaplamaların yapılabilmesine olanak sağlar.

Bahsi geçen hesaplamaların kolay, hızlı, uygun maliyetli ve yüksek doğrulukla yapılabilmesi amacıyla fotogrametri, teknolojinin tarihsel gelişimi içerisinde yerini alarak plançete fotogrametrisinden itibaren gelişim sürecini devam ettirmiştir.

Klasik fotogrametrinin mevcut durumda matematiksel olarak ispatlanmış olan algoritmalar ile güvenilirliği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte yeni gelişen insansız hava aracı (İHA) sistemleriyle, klasik fotogrametrik sonuç ürünler ve çeşitli uzaktan algılama verileri elde edilebilmektedir.

İHA'lar, insanlar tarafından yapılmakta olan tehlikeli ve uzun süreli görevlerin yerine getirilmesi amacıyla öncelikle askeri amaçlar için kullanım alanı bulmuşlardır. İHA sistemleri gelişen teknoloji ile birlikte mali olarak erişilebilir seviyelere inerek sivil kullanıcılar tarafından piyasadan temin edilebilir olmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak hem sivil kullanım alanlarında hem de akademik çevrelerde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Uzaktan algılama ve fotogrametri alanında ise; elektro optik faydalı yükler ile İHA'lar tarafından elde edilen verilerin özellikle küçük alanlarda klasik yöntemler ile elde edilen fotogrametrik ürünler ile mukayese edilebilir seviyeye geldiği görülmektedir.

Günümüzde İHA teknolojisi ve bu sistemi destekleyen çeşitli faydalı yüklerin boyut ve maliyetlerinin küçülmesi fotogrametri alanında kullanımlarını yaygınlaştırmıştır. İHA'ların uzaktan algılama ve fotogrametri amaçlı kullanımı ve elde

edilen verilerin doğruluğu, hassasiyeti ile farklı alanlarda kullanılabilirliği hususunda literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Alidoost ve Arefi (2017) ile Akay ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, yaygın olarak kullanılan İHA fotogrametrisi yazılımları ile tarihi bir alana ait 3 boyutlu model üreterek sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada yazılımlar tarafından üretilen 3B modelin görsel ve geometrik doğrulukları mukayese edilmiştir. Farklı yüksekliklerde gerçekleştirilen İHA görüntü alımlarına ait sonuç ürünler karşılaştırılarak, uzunluk, alan ve hacim değerleri doğruluk analizleri yapılmıştır.

Sona ve ark. (2014), İHA görüntüleri kullanarak sayısal yüzey modeli ve yöneltmesi için farklı yazılım paketlerinin analizi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Yapılan çalışmada sabit kanat İHA kullanılmış ve elde edilen görüntüler kullanılarak üretilen sayısal yükseklik verisi test edilmiştir. Benzer bir çalışma Aktaş ve ark.(2016) tarafından yapılmış, İHA görüntüleri Agisoft ve Pix4D yazılımı kullanılarak işlenmiş ve çalışma alanına ait ortofotolar üretilmiştir. Bahsi geçen yazılımlar maliyet, zaman, veri doğruluğu ve kullanım kolaylığı yönünden incelenmiştir.

Tucci ve ark. (2019) birden fazla algılayıcıya sahip İHA platformu kullanarak taş duvar ile teraslanmış üzüm bağlarında termal analiz yapmışlardır. Öncelikle çalışma sahasından elektro optik kamera faydalı yükü ile alınmış görüntüler kullanılarak ortofoto ve yükseklik verisi üretilmiştir. Termal kızıl ötesi faydalı yükü kullanılarak günde üç alım gerçekleştirilmiş ve taş duvarların komşu sıralar üzerindeki termal etkileri incelenmiştir.

Zhang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, piyasadan temin edilen bir döner kanat platform üzerinde faydalı yük olarak optik ve kızılötesi kamera birlikte kullanılmıştır. Söz konusu çalışma ile tarımsal faaliyetlerin desteklenmesi amaçlanmış olup buğday tarlasındaki gübreleme verimi, böcek istalası tespiti ve diğer tarımsal faaliyetler incelenmiştir.

Özemir ve Uzar (2016) tarafından yapılan çalışmada, sabit kanatlı İHA kullanılarak ortofoto ve sayısal yüzey modeli üretimi yapılmıştır. Agisoft yazılımı kullanılarak alımı yapılan fotoğraflar işlenmiş ve fotogrametrik sonuç ürünler elde edilmiştir. Üretilen sayısal konum ve yükseklik verisinin kalitesi ve doğruluğunun incelenmesi amacıyla 2007 yılına ait halihazır harita referans olarak kullanılmıştır.

Uysal ve ark. (2015), Avdan ve ark. (2014) ve Özcan (2017) tarafından yapılan çalışmalarda, İHA'larla farklı yükseklikten alınan görüntülerle sayısal arazi modeli (SAM) üretilmiş ve doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Araziye tesis edilen yer kontrol

noktası (YKN) konumları kullanılarak SAM doğruluk analizi yapılmıştır. Ayrıca, Avdan ve ark. (2014)'de farklı yüksekliklerdeki yer kontrol noktalarının İHA fotogrametrisi ürünlerine olan etkilerini araştırmıştır.

Remondino ve ark. (2011), İHA fotogrametrisinin harita ve 3B modelleme çalışmalarında kullanımının bugünü ve gelecekteki durumunu inceleyen bir araştırma gerçekleştirmiştir. Yapılan araştırmada sonuç ürünlerin doğruluğunun ölçme aletlerinin kapasitesine ve görüntüleme konumlarına bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Modern İHA teknolojisinin uzaktan algılama ve fotogrametrik uygulamalarda kullanımı Colomina ve Molina (2014) tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu amaçla; bahsi geçen teknolojinin tarihsel gelişimi, hukuki düzenlemeler, platformlar üzerinde kullanılan algılayıcılar ve elde edilen verilerin uzaktan algılama ve fotogrametrik amaçlarla işlenmesi hakkında bir inceleme yapılmıştır.

İHA fotogrametrisi bugünkü durumu Eisenbeiss (2009)'da incelenmiş, işlem adımları, görüntü alımı ve fotogrametrik veri işleme hakkında bilgi verilmiştir. Pajares (2015) ise, İHA'ların sınıflandırmasını yaparak; İHA üzerinde kullanılan sensör ve algılayıcılar, kullanım alanları ve gelecekteki durumu hakkında detaylı bir tarama yapmıştır.

Hava fotogrametrisi görüntülerinden de yoğun nokta bulutu oluşturulmakta ve arazi ölçmelerinde kullanılmaktadır. Hava fotogrametrisi ve İHA fotogrametrisinin bir karşılaştırması Eisenbeiss (2011) tarafından yapılmıştır. Anılan çalışmada, kadastral uygulamalar için klasik hava fotogrametrisi uygulamalarının hem maliyetli hem de yeterli çözünürlükte olmadığı belirtilmiştir. İHA fotogrametrisi uygulamalarının yüksek çözünürlük avantajı ile takimetri ve küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System-GPS) ölçümlerine alternatif oluşturduğu ifade edilmiştir.

İHA fotoğrafları kullanılarak oluşturulan yoğun nokta bulutlarının jeodezik koordinatlandırması iki yöntemle yapılmakta olup doğrudan ve dolaylı jeodezik koordinatlandırma olarak adlandırılmaktadır. Arazide tesis edilmiş olan YKN kullanılarak yapılan jeodezik dönüşüm dolaylı jeodezik koordinatlandırma olarak isimlendirilmektedir. Uçuş esnasındaki kamera konum bilgileri kullanılarak yapılan koordinat dönüşümü ise doğrudan jeodezik koordinatlandırma olarak ifade edilmektedir. Yapılan uygulamada her iki jeodezik dönüşüm yöntemi de kullanılmış ve elde edilen sonuç ürünlerin konum doğrulukları mukayese edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında farklı platformlar tarafından elde edilmiş görüntüler kullanılarak aynı alana ait topoğrafyanın fotogrametrik olarak ölçülmesi ve

sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, klasik yöntemle elde edilen hava fotoğrafları ile döner kanat ve sabit kanat İHA platformları tarafından alımı yapılan görüntüler uygulama aşamasında kullanılmıştır. Farklı platformlara ait fotoğraflar, bilgisayarlı görme tekniği kullanan ve yoğun nokta bulutu üreten yazılımlar tarafından işlenmiş ve üretilen fotogrametrik ürünler mukayese edilmiştir. Çalışmada kullanılan Pix4D ve Agisoft yazılımları İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar otomatik görüntü eşleme ve fotogrametrik bağıntıları kullanarak üç boyutlu ölçme gerçekleştirmektedir. Bu işlemler genel olarak görüntüden yapısal model oluşturma (Structure from Motion-SfM) algoritması olarak ifade edilmektedir. Bahsi geçen yazılımlar ile farklı platformlara ait görüntüler işlenerek sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, klasik fotogrametrik teknikler kullanılarak alımı yapılan hava fotoğraflarında aynı yazılım ile işlenmiş ve yükseklik verileri mukayese edilmiştir.

Çalışma sahasında döner kanat İHA kullanılarak 748 adet fotoğraf alımı gerçekleştirilmiştir. Türkiye ulusal sabit GPS istasyonları ağı (TUSAGA) kullanılarak küresel konumlama uydu sistemi (Global Navigation Satellite System-GNSS) alıcısı ile YKN ölçümü ve yükseklik verisinin test edilmesi amacıyla araziye temsil eden kesit ölçümü yapılmıştır. Araziden alımı yapılan GPS ölçüleri uygulama çalışmasında referans veri olarak kullanılmıştır.

Platformlardan elde edilen fotoğraflardan her iki yazılım kullanılarak yoğun nokta bulutu üretilmiş ve bu veriler kullanılarak sayısal yüzey modeli ve ortofoto oluşturulmuştur. Elde edilen model üzerinden yapılan ölçümler GPS ölçümü yapılan noktaların konum ve yükseklikleri ile karşılaştırılarak doğruluk araştırması yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında, elde edilen görüntülerin jeodezik dönüşümleri doğrudan ve dolaylı yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Arazide tesis edilen YKN ve denetim noktaları kullanılarak farklı yazılımlar tarafından üretilen sonuç ürünlerin analizi yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar yorumlanarak hava ve İHA fotogrametrisinin karşılaştırılmalı bir analizi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

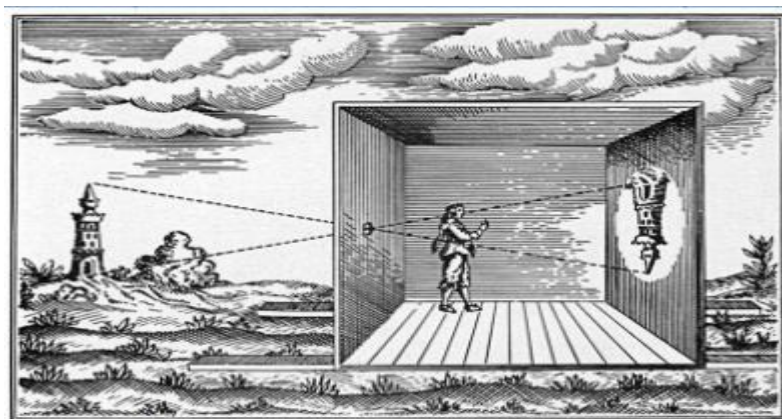
### 2.1. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi

“Fotogrametri fiziksel bir temas olmaksızın fotoğraflar yardımıyla yüzeylerin ve nesnelerin özellikleri hakkında güvenilir bilgi elde etme ve bu bilgileri ölçme ve yorumlama bilimidir”.

Yunanacadan literatüre girmiş olan bir kelime olan fotogrametri üç kök kelimenin birleşmesinden oluşmaktadır. Bahsi geçen kelimeler, foto (ışık), grama (çizim), metron (ölçme) anlamlarına gelmekte olup, fotogrametri ışık yardımı ile ölçme ve çizim olarak ifade edilmektedir.

Fotogrametri ölçümler için fotoğraf (veya günümüzde sayısal görüntü) kullansa da, kavramsal temelleri geçmişe dayanmaktadır. İlk fotoğrafın icadından uzun zaman önce yapılan pek çok keşif bulunmaktadır. Bu nedenle fotogrametrinin günümüzde ulaştığı seviyeye gelmeden önce geçmiş olduğu önemli dönüm noktalarından aşağıda kısaca bahsedilecektir (Dermain, 2019).

- a. Çinli filozof Mo Ti, Yunan Matematikçiler Aristoteles ve Öklid, ışık ve görüntüyü yansıtan iğne deliği kamerası fikrini ilk olarak tanımlayanlardı (Şekil 2.1).
- b. Batı'da Alhazen olarak bilinen ve modern optiğin babası olarak kabul edilen Basralı Al-Haitham 1038'de karanlık oda prensiplerini açıklamıştır.
- c. Roger Bacon 1267'de, güneş tutulmasını insan gözüne zarar vermeden incelemek için karanlık oda ilkelerini kullanmıştır.



Şekil 2.1. İğne deliği kamera modeli (Dermain, 2019)

- ç. Leonardo da Vinci 1480'de, “Perspektif, pürüzsüz ve oldukça saydam olan bir cam tabakasının arkasındaki bir nesnenin yüzeyindeki her şeyin, bu camın

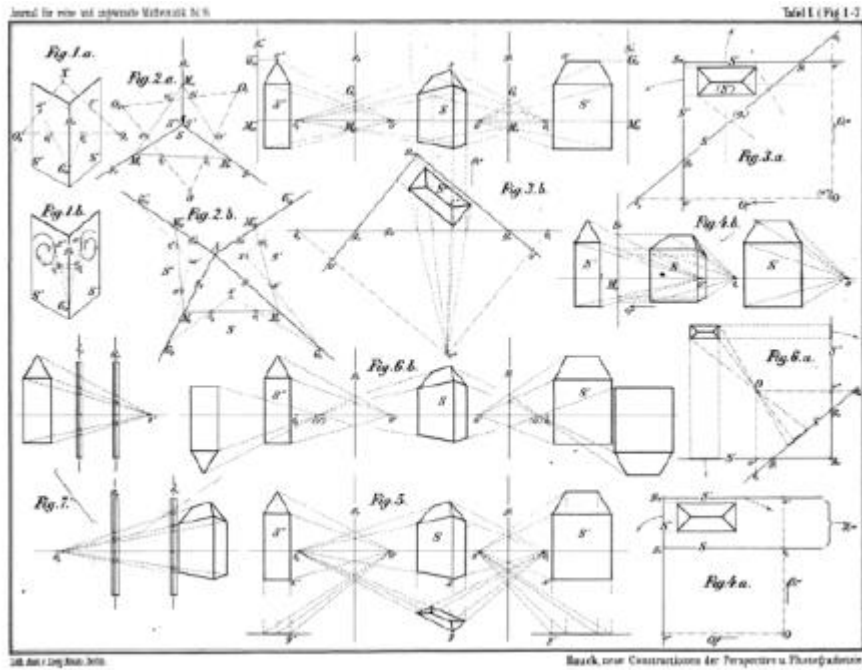
arkasında işaretlenmiş olabilecek bir nesneyi görmekten başka bir şey değildir" şeklinde ifade etmiştir.

d. Albrecht Dürer 1525'te, perspektif yasalarını kullanarak gerçek bir perspektif çizimi oluşturmak için kullanılabilecek bir araç tasarlamıştır.

e. Girard Desargues 1625'te izdüşümsel geometriyi bulmuştur.

f. Johan Heinrich Lambert tarafından 1759'da, resmin yapıldığı uzayda bir nokta bulmak için uzay kesimini kullanarak perspektif görüntünün matematiksel ilkeleri geliştirilmiştir.

g. R. Sturms ve Guido Hauck tarafından 1883 yılında izdüşümsel geometri ve fotogrametri arasındaki ilişki ortaya konmuştur (Burtch, 2008) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Hauck tarafından çizilen fotogrametrik izdüşüm (Burtch, 2008).

h. İlk fotoğraf Joseph Nicephone Niépce tarafından alınmış olup, pozitif bir görüntünün elde edilmesi için sekiz saatlik bir pozlama gerekiyordu.

1. 1837'de Jacques Mandé Daguerre, Dagerreyotipi olarak adlandırılan özel bir işlem adımını kullanarak ilk uygulanabilir fotoğrafı elde etti.

i. Fransız jeodezi bilimcisi Dominique François Jean Arago 1840'larda, Dagerreyotipi kullanarak fotogrametrinin kullanımına önderlik etmiştir.

j. Nadar (Gaspard Felix Tournachon) ise 1855'te, ilk hava fotoğrafını 80 metre irtifada bir balondan çekmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Balon ile fotoğraf çekimi (Burch, 2008).

k. İtalyan Jeodezi ve Optik mühendisi Paulo Ignazo Pietro Porro 1839'da ilk takimetreyi icat etti. 1865 yılında ise foto gonyometreyi tasarlamış olup, fotogrametride lens distorsiyonunun giderilmesi için kullanılmıştır.

l. İngiliz meteorolog E. D. Archibald 1882'de uçurtmayı bir platform olarak kullanarak başarılı fotoğraflar elde eden ilk kişiler arasındaydı. Fransa'da M. Arthur Batut Mayıs 1888'de Fransa'nın Labrugiere kentinde uçurtma kullanarak havadan fotoğraf çekmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Uçurtma ile fotoğraf çekimi (Der mains, 2019).

m. Fransız askeri Mühendis olan P. Moëssard, 1884'te haritalama amacıyla da kullanılan bir cylindrographe geliştirmiş olup, panoramik fotoğraf bu şekilde alınmıştır.

n. AiméLaussedat ise, 1849'da topoğrafik harita için yersel fotoğrafları kullanan ilk kişiydi.

o. 1893 yılında Dr. Albrecht Meydenbauer fotogrametri terimini kullanan ilk kişiydi.

ö. Fotoğrafçılık meraklısı Julius Neubranner tarafından 1903 yılında güvercinler için göğüse monte edilebilen bir hava kamerası tasarlanmış ve patenti alınmıştır (Şekil 2.5).





Şekil 2.5. Güvercin ile fotoğraf çekimi (Dermains, 2019).

p. 1903 yılında Wright kardeşler tarafından uçak icat edilmiş ve 1909 yılında İtalya'da bir şehir olan Centocelli üzerinde uçaktan ilk fotoğraf çekilmiştir.

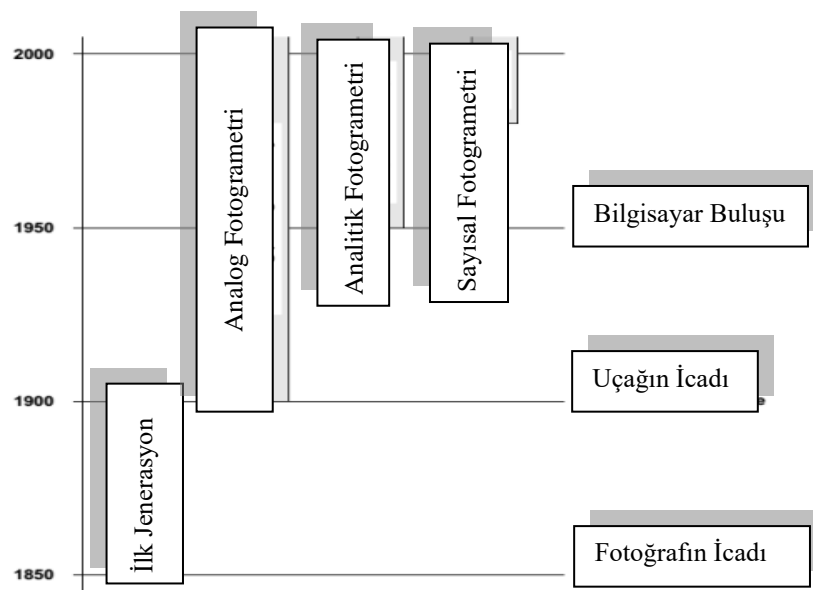
r. Yüzbaşı Cesare Tardivo'nun ise, harita yapımı amacıyla hava fotoğrafını kullanan ilk kişi olduğu düşünülür. 1913'te uluslararası fotogrametri birliğinin Viyana'da icra edilen toplantısında İtalya'daki Bengasi şehrinin 1/4000 ölçekli mozaik görüntüsünü sunmuştur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Hava fotoğrafı çekimi (Burtch, 2008).

Fotogrametrinin gelişimi, bilim ve teknoloji alanındaki genel gelişmelere paralel olarak devam etmiştir. 1850'den günümüze fotogrametrideki gelişmeler, fotoğraf, uçak, bilgisayar ve elektronik alanında meydana gelen gelişmelere bağlı olarak dört evre şeklinde birbirini takip etmiştir (Schenk, 2005). Her bir evre yaklaşık 50 yıllık bir süreç içerisinde teknolojiye bağlı olarak gelişme göstermiş olup söz konusu evreler (Şekil 2.7);

- a) Plançete (Grafik) Fotogrametrisi (1850-1900 yılları arasında),
- b) Analog Fotogrametri (1900-1950 yılları arasında),
- c) Analitik Fotogrametri (1950'den günümüze),
- d) Sayısal Fotogrametri (Günümüzde) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.7. Fotogrametrinin gelişim evreleri (Schenk, 2005).

## 2.2. Sayısal Fotogrametri

Bilgisayar alanındaki gelişmeler, işlemci hızları ve büyük bir yer tutan sayısal verilerin saklanması için depolama alanı kapasitelerini arttırmıştır. Bu durum ise kullanıcılara, raster tarayıcılar ile taranarak sayısallaştırılan ve sayısal formata dönüştürülen hava fotoğraflarının işlenmesi imkânını vermiştir. Bu gelişmeler çerçevesinde 1990'lı yıllardan itibaren sayısal fotogrametri dönemi başlamıştır. 1988'de icra edilen uluslararası fotogrametri ve uzaktan algılama birliği (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS) Kyoto Konferansında ilk sayısal fotogrametrik iş istasyonu sunulmuş ve bu gelişmeyle birlikte sayısal fotogrametrinin yaygınlaşma süreci de başlamıştır (Konecny, 2003).

Sayısal fotogrametri aslında analitik fotogrametri işlemlerinin sayısal görüntüler üzerinde uygulanmasıdır. Her türlü materyal üzerinde bulunan fotoğraflar uygun görüntü tarayıcılar ile taranarak sayısallaştırılır. Elde edilen sayısal görüntüler piksel matrisleri şeklinde bilgisayar ortamında saklanır. Böylelikle basılı resimler bilgisayar ortamında işlenebilen sayısal formata dönüştürülür. Analitik fotogrametri tarafından kullanılmakta olan matematik modeller ile sayısal veriler üzerinde ölçümler yapılır (Derenyi, 1996).

Sayısal fotogrametri ile kısmen veya tamamen otomatikleştirilmiş nokta ölçümü, koordinat dönüşümleri, üçüncü boyutun oluşturulması için görüntü eşleştirme işlemleri

gerçekleştirilir. Yapılan işlem sonunda ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulur ve harita üretim amaçlı kullanılabilir (Konecny, 2003).

Günümüzde sayısal kameralar tarafından elde edilen görüntüler kullanılır ve bu işlem sayısal fotogrametri olarak adlandırılır. Sayısal resmin kayıt edildiği iki tür algılayıcı bulunmakta olup, şarj bağlantılı cihaz (Charge Coupled Device-CCD) ve bütünleyici metal oksit yarı iletken (Complementary Metal Oxide Semiconductor-CMOS) dedektörleridir (Ergün, 2019).

Sayısal fotogrametri ile hava fotoğraflarının değerlendirilmesinin yanında, yersel görüntüler, uydu görüntüleri ve İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerin değerlendirme işleminin yapılması mümkündür.

### **2.2.1. Sayısal fotogrametride kullanılan koordinat sistemleri**

Sayısal ortama aktarılan fotoğrafların bir koordinat sistemi üzerinde bulunması gerekmekte olup, sayısal fotogrametride kullanılan temel koordinatlar şunlardır:

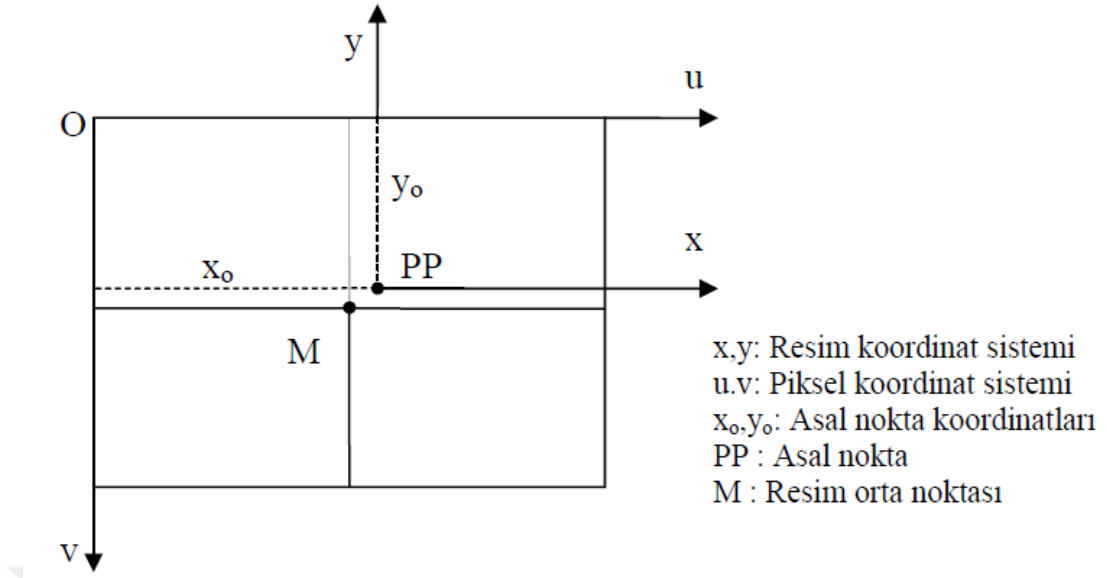
1. Piksel koordinat sistemi,
2. Resim koordinat sistemi,
3. Cisim koordinat sistemi

#### **2.2.1.1. Piksel koordinat sistemi**

Sayısal kameralar ile çekilen fotoğraflar veya tarayıcılarla sayısal ortama atılmış resimler bilgisayar ortamında iki boyutlu koordinat sisteminde olup, sayısal fotogrametride resim koordinatlarının ölçüldüğü ilk koordinat sistemidir. Sayısal görüntünün sol üst köşesi orjin noktası olup birimi görüntüdeki piksel sayısıdır (Ergün, 2019). Görüntü sensörünün piksel boyutları küçüldükçe görüntülenebilen detay sayısı yani görüntü netliği artar. Aynı şekilde piksel sayısı arttıkça görüntünün netliği artar.

#### **2.2.1.2. Resim koordinat sistemi**

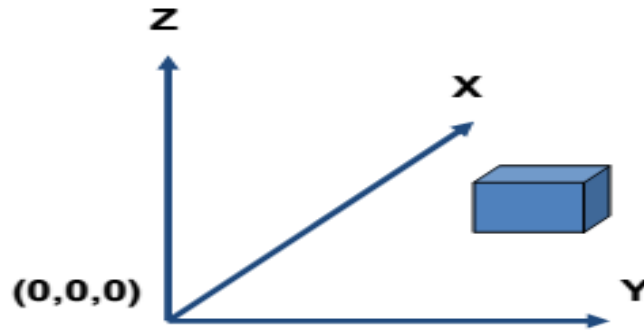
Resim koordinat sisteminin başlangıcı resmin orta noktasına yakın bir noktada bulunan  $h'$  asal noktadır. Asal noktadan sağa doğru  $+x$  eksen, yukarı doğru  $+y$  eksenidir. Asal noktanın konumu  $(x_0, y_0)$  ile resmin geometrik orta noktası tam olarak aynı nokta değildir (Şekil 2.8). Asal noktanın konumu kamera kalibrasyonu yani, iç yönelme ile belirlenir (Altuntaş, 2011).



Şekil 2.8. Piksel ve resim koordinat sistemleri (Altuntaş, 2011).

### 2.2.1.3. Uzay koordinat sistemi

Fotogrametrik değerlendirme ile elde edilen model koordinatları cisim koordinat sistemine dönüştürülerek ölçeklendirilmiş olur. Bu işlem mutlak yönelme olarak da ifade edilir. Cisim koordinat sistemi olarak jeodezik koordinatlar ya da başka koordinat sistemleri kullanılır (Şekil 2.9).

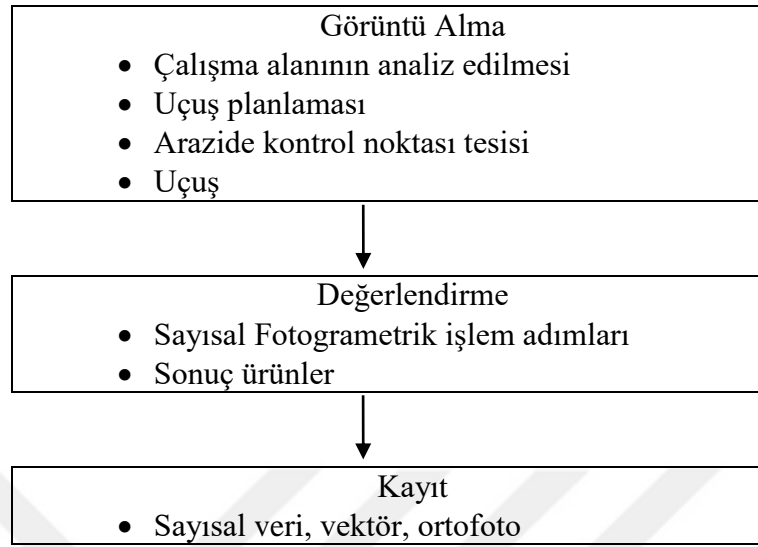


Şekil 2.9. Uzay koordinat sistemi (Ergün, 2019).

## 2.3. Fotogrametrik İşlem Adımları

Fotogrametride ölçme ve değerlendirme işlemleri, nesnelerin veya oluşturduğu çevrenin görüntüleri veya bu veriler kullanılarak elde edilen üç boyutlu modelleri üzerinden yapılmaktadır. Fotogrametrinin matematik modeli merkezsiz izdüşüm olup, haritacılık yönünden fotogrametri, arazinin merkezsiz izdüşümü olan görüntüleri

yardımıyla dik izdüşümlerini yani haritalarını elde etme bilimi ve tekniğidir. Fotogrametrik işlem adımları Şekil 2.10'da gösterilmiştir (Gürbüz, 2006).



Şekil 2.10. Fotogrametrik işlem adımları (Gürbüz, 2006).

### 2.3.1. Görüntü alımı

Nihai olarak hedeflenen sonuç ürüne göre, alımı yapılması planlanan görüntülerin uygun yöntem ve algılayıcılar tarafından elde edilmesi fotogrametride temel gereksinimlerden biridir. Görüntü alma aşamasında kullanılan alıcılar, enerji ve elde edilen görüntü türleri farklılık göstermektedir. Genel olarak fotoğraf alımı, havadan ve yerden olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Yersel fotoğrafların alım mesafesi kısadır ve küçük cisimler ile yapıların modellenmesinde kullanılır. Bugüne kadar ki genel kullanım uçaktan alınan görüntüler için hava fotogrametrisi şeklindedir.

Havadan yapılan ölçmelerde İHA, uçak ve uydudan alınan görüntüler kullanılmaktadır. İHA görüntülerinin ölçeği uçuş yüksekliğine bağlı olarak hava ve uydu fotoğraflarından daha büyüktür.

#### 2.3.1.1. Kamera kalibrasyonu

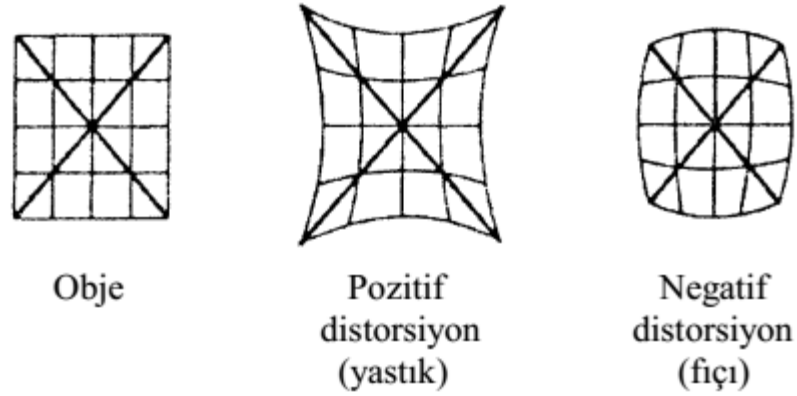
Sayısal ortamda bulunan ve iki boyutlu olan resimlere üçüncü boyut kazandırmak için kamera kalibrasyonuna ihtiyaç vardır. Fotogrametrik kameralar için ilk üretim aşamasında kamera üretici firma tarafından raporlar hazırlanır ve bu raporlar kullanıcıya sunulur. Söz konusu raporlar, periyodik olarak laboratuvar ortamında kalibrasyona tabi tutularak belirli periyotlarda güncellenir.

Kamera kalibrasyonları, fotogrametrik kameraların teknik özelliklerini ve gerekli parametreleri içerir. Kalibrasyon raporları, bir ölçü sisteminin özellikleri arasındaki ilişkileri göstermek amacıyla belirlenen distorsiyon hata değerleri, iç yöneltme elemanları ve objektif ayırma gücüne ait bilgileri içermektedir. Bununla birlikte, fotogrametrik nokta belirleme işleminin tersi, bir resim çekme makinesinin kalibrasyonudur. Fotogrametrik nokta belirlemede cisim koordinatlarının bulunabilmesi için iç yöneltme elemanları bilinmesi gereklidir. Kalibrasyonda ise iç yöneltme elemanlarının bulunabilmesi için cisim noktalarının koordinatları bilinmesi gereklidir (Demiray, 2001).

Fotoğrafın elde edilmesi maksadıyla kullanılan kameralardaki mercekler, bir takım fiziksel özelliklere sahiptir. Merceklerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak optik izdüşüm, resim düzlemi (merkezi izdüşüm düzlemi) üzerinde farklı sonuçlar oluşturur. Merceklerin izdüşümdeki bu fiziksel etkilerine genel olarak distorsiyon adı verilir. Mercek distorsiyonu, resim düzleminde resim noktasının yerinde meydana gelen değişiklik olup, ortaya çıkan farklılığın radyometrik kalite ile bir bağlantısı bulunmamaktadır. Fotogrametri için geometrik distorsiyonun mevcudiyeti önemli bir etkidir. Resim üzerinden herhangi bir sayısal ölçüm yapılacağı zaman dikkate alınarak kameranın geometrik kalibrasyonu ile ortadan kaldırılmalıdır. Resim alım makinelerinde meydana gelen iki ana distorsiyon radyal ve teğetsel distorsiyondur. Teğetsel distorsiyon çok küçük olduğundan uygulamada dikkate alınmaz, bununla birlikte objektiflerin sadece radyal distorsiyonu dikkate alınır (Ergün, 2019).

#### **2.3.1.2. Radyal distorsiyon**

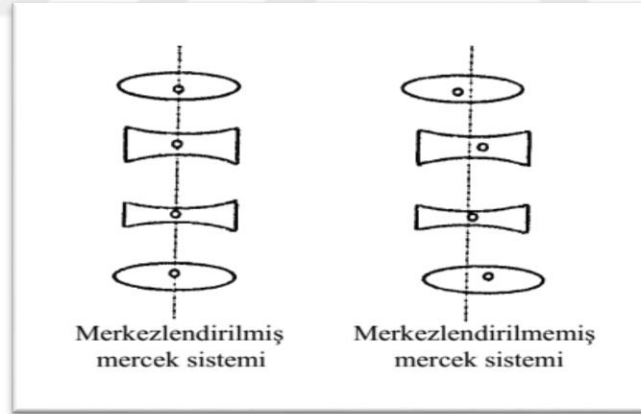
Kullanılan merceğe farklı yönlerden fakat aynı uzaklıktan gelen ışınların, merceğin açısal büyütmesi ile orantılı bir şekilde izdüşüm düzleminin önünde veya arkasında odaklanması sonucu oluşan görüntü ötelenmesidir. İzdüşüm merkezindeki konumuna göre pozitif veya negatif olabilmektedir (Ergün, 2019) (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Yastık ve fiçı biçimli distorsiyonlar (Kılıç, 2015).

### 2.3.1.3. Teğetsel distorsiyon

Resim çekme makineleri birden çok mercek sistemini içermektedir. Bu merceklerin bütün elemanları aynı doğru üzerinde olmaması nedeniyle mercek merkezleri de aynı doğru üzerinde bulunmazlar. Bu durum, Şekil 2.12'de verilen ve teğetsel (tanjant) distorsiyon olarak adlandırılan geometrik yer değiştirmeye sebep olur. Büyüklük olarak çok küçük bir değer olmasından dolayı ihmal edilebilmektedir.



Şekil 2.12. Mercek elemanlarının aynı doğrultuda olmaması durumu (Kılıç, 2015).

### 2.3.2. Fotogrametrik değerlendirme

Fotogrametrik değerlendirme işlemi, alımı yapılan fotoğraflar üzerinde bulunan objelerin yeryüzünde buldukları konum ile en, boy ve şekil gibi geometrik özelliklerinin matematiksel modeller kullanılarak ortaya çıkarılmasıdır. Değerlendirme işlemi, görüntülerden ölçüler alınarak, yorum yapılarak veya ikisi bir arada uygulanarak aletsel (analog), analitik veya digital yöntemlerle yapılır. Fotoğrafların harita yapım

amacı ile değerlendirilmesi, kullanılacak fotoğraf sayısına göre tek fotoğraf değerlendirilmesi veya çift fotoğraf değerlendirmesi olarak adlandırılabilir (Gürbüz, 2006).

### **2.3.2.1. Tek fotoğraf değerlendirmesi**

Elde edilen tek bir fotoğraf ile üç boyutlu bir uzay elde edilmesi mümkün değildir. Nesne düzleminin tekrardan elde edilmesi için bir takım bağıntılardan faydalanılması gerekmekte olup bu yöntem kullanılarak yapılan değerlendirme işlemi düşeye çevirme olarak adlandırılır. Bu yöntem ile düz alanlardan elde edilen görüntüler kullanılarak çalışma alanının koordinatları elde edilebilir. Arazinin düz olması koşulu ile birlikte X,Y,Z arazi koordinatları bilinen en az 3 kontrol noktasının da bilinmesi gerekmektedir (Yaşayan ve ark., 2011).

### **2.3.2.2. Çift fotoğraf değerlendirme (Stereo Değerlendirme)**

Alımı yapılan resimler ile üç boyutun elde edilebilmesi maksadıyla farklı çekim açılarından alınmış ve belirli bindirme oranları ile aynı alanı kapsayan fotoğraflara ihtiyaç duyulur. Bu şekilde en az iki fotoğraf kullanılarak sayısal bilgilerin üretilmesi işlemi çift fotoğraf değerlendirilmesi olarak adlandırılmaktadır. Fotogrametrinin gelişim süreci içerisinde stereo görüş kullanılarak sırasıyla, analog stereo değerlendirme ve analitik stereo değerlendirme yapılmış olup, günümüzde sayısal stereo değerlendirme kullanılmaktadır.

Günümüzde sayısal kameralar yaygın olarak kullanıldığından dolayı sayısal fotogrametrinin ana fotoğraf kaynağını bu kameralar oluşturur. Sayısal fotogrametrinin temel amacı elde edilen fotoğraf ile çalışma sahası arasında matematiksel bir bağıntının kurulmasıdır. Burada çözülmek istenen durum ise, fotoğraf alım noktasının konumu ve kamera eksenini pozisyonunun hassas bir şekilde belirlenerek ileriden kestirme yöntemi ile çalışma sahası koordinatlarının belirlenmesi işlemidir (Yaşayan ve ark., 2011).

### **2.3.2.3. Yöneltilme işlemleri**

Yöneltilme işleminin amacı fotoğrafların alım anındaki konumlarının tekrar oluşturulmasıdır. Bu işlem fotoğrafların yöneltilmesi olarak adlandırılmakta olup, iç ve dış yöneltilme olarak iki adımda gerçekleştirilir. Dış yöneltilme kendi içerisinde karşılıklı yöneltilme ve mutlak yöneltilme olarak ayrılır.

Sayısal kemeraların kullanılması ile birlikte iç yöneltilme parametreleri olarak kamera kalibrasyon bilgileri sisteme girilmektedir. İç yöneltilme işlemi, görüntü alımı yapılan kamera özelliklerinin değerlendirme aletine getirilmesi olarak tanımlanır.

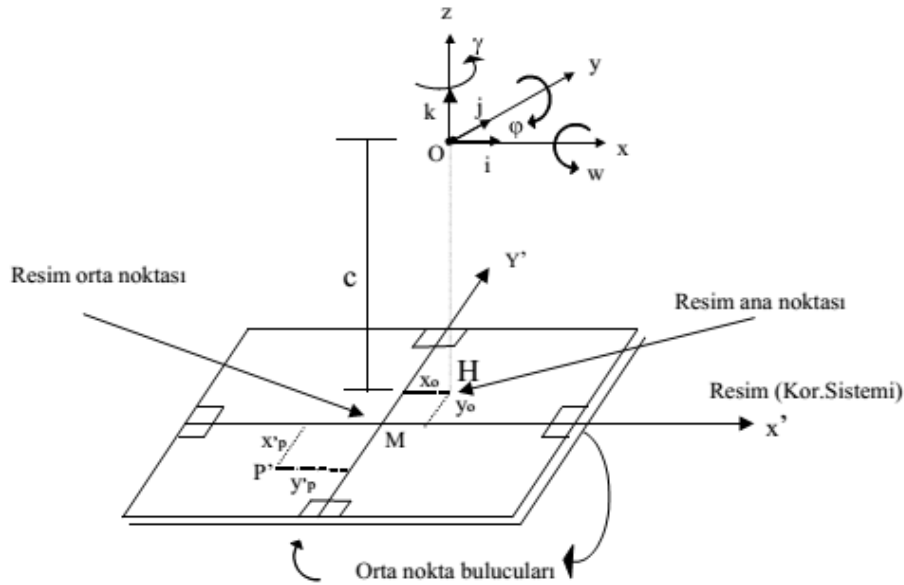


Sayısal fotogrametrik sistemlerde ise, kalibrasyon raporlarındaki kamera bilgilerinin sisteme girilmesidir (Yaşayan ve ark., 2011).

#### a. İç yöneltme

İç yöneltme ile, resim çekim anında objektifden geçerek görüntüyü oluşturan ışınların bir modelinin tekrar oluşturulması amaçlanır. Yöntem, izdüşüm merkezine bağlı olarak fotoğraf konumlarını kullanır ve cisim uzayda oluşan ışınlar arasındaki açısal ilişki hesaplanır. Bu işlemden sonra izdüşüm merkezinin konumu, alım yapılan kameraya ait resim koordinat sistemine göre yöneltmenin matematiksel bağıntılarıyla hesaplanır (Ergün, 2019).

"İç yöneltme elemanları, resim ana noktası H' nin orta noktaya göre konumu ve iz düşüm merkezinin resim düzlemine olan uzaklığıdır. Bu değerler hava fotogrametrisinde  $x_H$ ,  $y_H$ , c, yersel fotogrametride  $X_H$ ,  $Y_H$ , c elemanlarıdır" (Ergün, 2019). Şekil 2.13'de iç yöneltme parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 2.13. İç yöneltme parametreleri (Ergün, 2019).

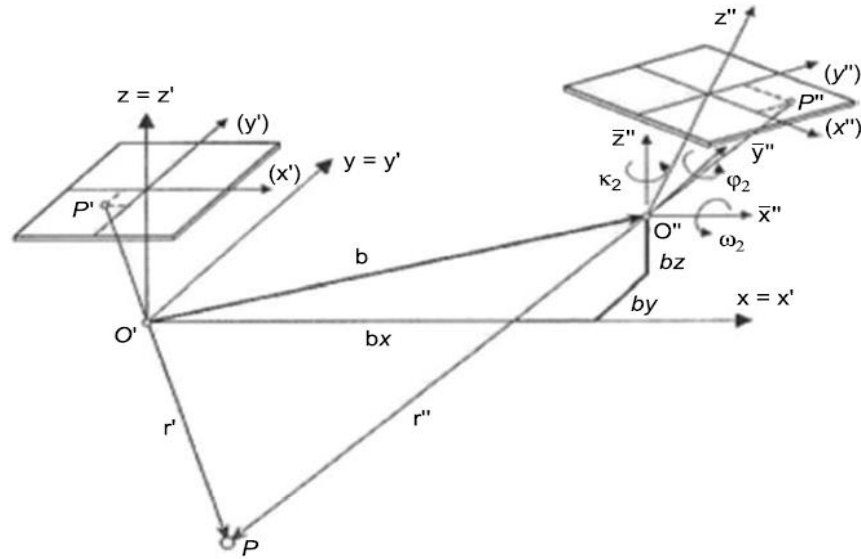
#### b. Karşılıklı yöneltme

İki izdüşüm ışının uzayda bir P noktasında kesişmesi için aynı düzlemde bulunması gerekmekte olup bu koşula düzlemdeşlik ya da koplanarite koşulu denmektedir.

Karşılıklı yöneltme ile önce, karşılıklı ışınlar birbiri ile kesiştirilir. Bir P noktasına ilişkin iki izdüşüm ışınının kesişebilmesi için bu iki ışının bir düzlemde

bulunması gerekir. O'P ve O''P ışınları aynı düzlemde olması koşulu ile düzlemsellik koşulu sağlanır. Buna göre düzlemsellik koşulu Eşitlik 2.1 ile ifade edilmekte olup (Luhmann ve ark 2007) Şekil 2.14'de gösterilmiştir.

$$(x^t \ y^t \ -c) \begin{pmatrix} 0 & b_z & -b_y \\ -b_z & 0 & b_x \\ b_y & -b_x & 0 \end{pmatrix} R^t \begin{pmatrix} x^{tt} \\ y^{tt} \\ -c \end{pmatrix} = 0 \quad (2.1)$$



Şekil 2.14. Resim koordinatları ve karşılıklı yönlendirme (Luhmann ve ark., 2007).

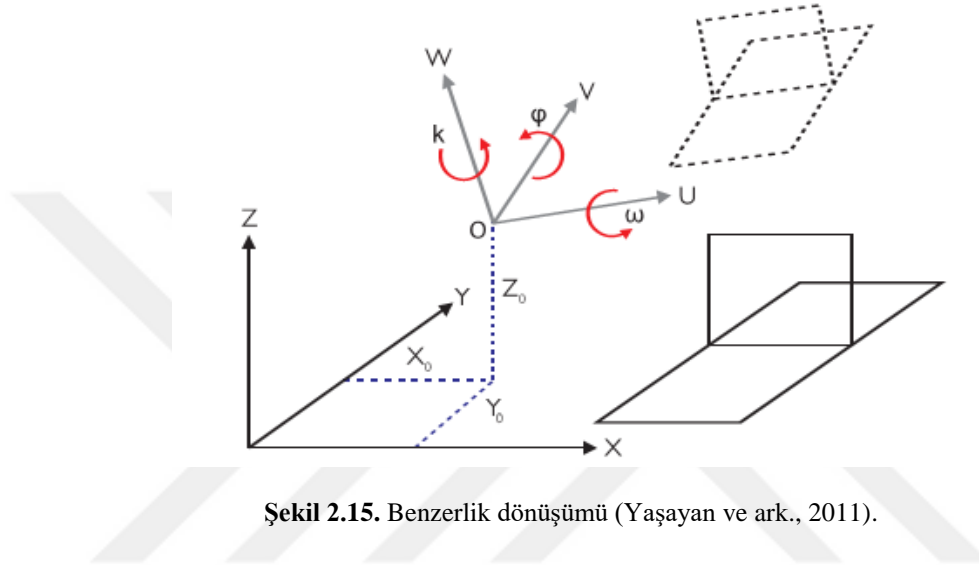
Burada  $x'$ ,  $y'$  ve  $x''$ ,  $y''$  ise, birinci ve ikinci fotoğraftaki koordinatları göstermektedir. Eşitlik 2.1 ile verilen düzlemsellik koşulu, seçilecek 5 yönlendirme elemanına göre doğrusallaştırılır. Elde edilecek denklem sistemi çözülerek seçilen yönlendirme elemanları hesaplanır ve mutlak yönlendirme yapabilmek için noktaların model koordinatları hesaplanır (Yaşayan ve ark., 2011).

### c. Mutlak yönlendirme

Karşılıklı yönlendirme ile aslında obje veya çalışma sahasının üç boyutlu modeli elde edilmiş olur. Fakat elde edilen model objeyi veya çalışma sahasını ölçekli olarak ifade etmediği gibi konumu hakkında da bilgi vermez. Bu nedenle obje veya arazinin uzaydaki konumunun belirlenmesi amacıyla mutlak yönlendirmenin yapılması gerekmektedir. Mutlak yönlendirme ile arazinin benzeri elde edilerek üç boyutlu model çalışma sahasına paralel ve ölçekli hale getirilir. Böylelikle model ve arazi arasında ilişki kurularak iki koordinat sistemi karşılıklı olarak aynı koordinat sisteminde

çalıştırılır. Burada, öteleme  $X_0Y_0Z_0$ , dönüklük  $\varphi \ \omega \ \kappa$ , ölçek ise  $\lambda$  ile ifade edilir (Şekil 2.15). Üç boyutlu benzerlik dönüşüm formülü Eşitlik 2.2'de verilmiştir (Yaşayan ve ark. 2011).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



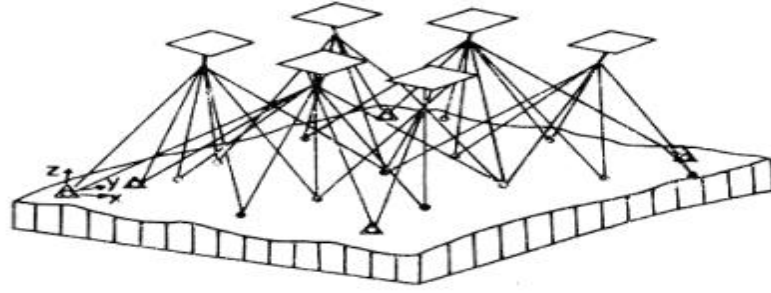
Şekil 2.15. Benzerlik dönüşümü (Yaşayan ve ark., 2011).

#### 2.3.2.4. Fotogrametrik nirengi

Yer kontrol noktaları, uçuştan önce yapılan arazi işaretleri ile fotoğraflarda net şekilde seçilebilen ve belirli esaslara göre işaretlenen, koordinatları jeodezik yöntemlerle ölçülen ve kesinleştirilen noktalardır. Bloklara bölünen çalışma sahasında her blok içerisinde yeterli sayıda yer kontrol noktası olmalıdır.

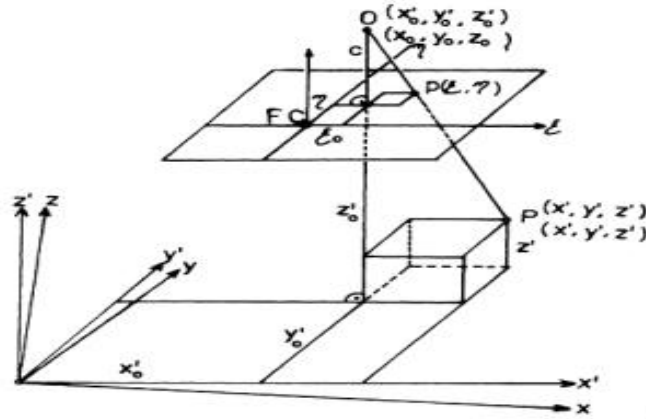
Fotogrametrik nirengi noktaları, koordinatları fotogrametrik nirengi yöntemi ile bulunan noktalar olup aynı zamanda kolonları bağlama noktası olarak kullanılacaktır. Hava fotoğrafları çekilip stereo değerlendirme aşmasına geçildiğinde bu noktalar stereo modellerin mutlak değerlendirmesinde de kullanılacaktır.

Işın demetleri yöntemi, aynı noktalara ait ışınların tek bir noktada kesiştirilmesi esasına dayanmakta olup (Şekil 2.16), en önemli özelliği ise, çok sayıdaki resmin blok oluşturularak dengelenmesi amacıyla aynı anda uygulanabilmesidir.



Şekil 2.16. Işın demetleriyle blok dengelemenin temel prensibi (Özbalmumcu, 2019).

“Yöntem, bir arazi noktası (P), alım kamerasının izdüşüm merkezi (O) ve arazi, noktasının resimdeki izdüşümünün ( $p$ ) bir doğru üzerinde bulunduğu modeli, yani merkezi izdüşümün matematik tanımı olan doğrusallık (colinearity) koşulunu esas alan matematik modele sahiptir” (Özbalmumcu, 2019). Doğrusallık koşulu Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Doğrusallık koşulu (Özbalmumcu, 2019).

Resimlerde en az 9 adet bağlama noktası yeterli olmasına rağmen 15-25 adet bağlama noktası oluşturulan blokları sağlamlaştırır ve hataların bulunmasını kolaylaştırır. Işın demetleriyle blok dengeleme sonucu resimler bir miktar kaydırılır ( $X_0, Y_0, Z_0$  ile) ve bir miktar döndürülür ( $\Omega, \phi, \kappa$  ile) (Özbalmumcu, 2019).

Işın demetleriyle blok dengelemenin matematik modeli merkezsiz izdüşümün doğrusallık koşuluna dayanmaktadır. Arazi ve resim koordinatları arasındaki ilişki doğrusallık bağıntılarıyla ifade edilir (Eşitlik 2.3).

$$\begin{aligned}
x &= x_h - c \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\
y &= y_h - c \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Burada;  $c$  kamera sabiti,  $x_h, y_h$  asal nokta konumu,  $(x,y)$  resim koordinatları ve  $(XYZ)$  bilinen arazi koordinatları olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, resimlerin dış yöneltme bilinmeyenleri yaklaşık değerleri  $(X_0^0, Y_0^0, Z_0^0, \Omega^0, \phi^0, \kappa^0)$  ve noktaların  $(X^0, Y^0, Z^0)$  arazi koordinat değerlerine ihtiyaç duyulur.

Hesaplama ilk olarak, bilinen kamera sabitesi ( $c$ ), resim koordinatları  $(x,y)$ , bilinen nokta koordinatları  $(X,Y,Z)$  kullanılarak her bir resmin dış yöneltme elemanları hesaplanır. Yapılan dengelemenin doğruluğu, arazide jeodezik yöntemle ölçümü yapılan yer kontrol noktalarının ölçüm doğruluğuna, dağılımına ve sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Her yöntemin olduğu gibi ışın demetleri yönteminin de avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajları, diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermesi, farklı jeodezik ölçümlerinin dengelemeye katılabilmesi, birden çok resmin kısıtlama olmaksızın dengelemeye katılabilmesi ve dış yöneltme elemanlarının ortaya çıkarılabilmesi olarak ifade edilebilir. Fotoğraf sayısı ve buna bağlı olarak blok sayısının fazla olmasından dolayı yüksek bilgisayar işlemcisine ihtiyaç duyması, sadece analitik aletlerde uygulanması, yaklaşık değerlerin bulunmasının zor ve zaman alıcı olması dezavantajları olarak sıralanabilir (Özbalımcı, 2019).

### 2.3.3. Kaydetme

Fotogrametrik değerlendirme sonrasında elde edilen sonuç ürünler;

- Noktasal koordinatlar,
- İki boyutlu ya da üç boyutlu uzayda vektör veriler,
- Yeterli sıklıkta nokta ile temsil edilen sayısal yükseklik modeli,
- Ortofoto görüntüler,

dir. Özellikle ortofoto görüntüler, alana ait hassas olarak üretilmiş sayısal haritaları içerdiğinden CBS uygulamalarında altlık veri olarak tercih edilmektedir.

## 2.4. İnsansız Hava Aracı

İnsansız hava aracı, yapılan uçuş planlamasına uygun olarak otonom uçuş gerçekleştiren veya uçuşun tamamı veya bir kısmı platform ile fiziki temas olmadan kullanıcı tarafından yönlendirilebilen ve tekrar kullanılabilen araçlardır. İHA'lar için; İnsansız Uçak Sistemleri (İUS), insansız hava aracı, hava robotu veya basitçe drone gibi çeşitli isimler ve kısaltmalar kullanılmaktadır. En yaygın isim kullanımı ise, İHA veya Drone'dur. İUS sistemleri ise; sistemler sistemi olarak bilinmekte olup, İHA, yer kontrol istasyonu (Ground Control Station-GCS) ve İHA'nın komuta ve kontrolü için kullanılan haberleşme veri linkinden oluşur.

ABD Savunma Bakanlığı ve İngiltere sivil havacılık otoritesi tarafından İUS teriminin kullanımı benimsenmiştir. Uluslararası sivil havacılık örgütü (International Civil Aviation Organization-ICAO) ise; belirli bir İUS sınıfı olan uzaktan kumandalı uçak sistemi (Remotely Piloted Aerial System-RPAS) kavramını ICAO Genelgesi 328'de kullanmıştır. Bu genelge ile yalnızca RPAS niteliği taşıyan insansız araçların uluslararası sivil havacılık sistemine entegre olabileceği belirtilmiş ve bu platformlar RPAS olarak adlandırılmıştır (Colomina ve Molina, 2014).

İHA kavramı ise, Bilgisayar Bilimleri, Robotik ve Yapay Zeka ile Fotogrametri ve Uzaktan Algılama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca uzaktan kumandalı araç (Remotely Piloted Vehicle-RPV), uzaktan kullanılan hava taşıtı (Remotely Operated Aircraft-ROA), uzaktan yönlendirilen hava taşıtı (Remotely Piloted Aircraft-RPA) veya insansız araç sistemleri (Unmanned Vehicle System-UVS) gibi kavramlarda kullanılmaktadır (Eisenbeiss, 2009).

İhtiyaç duyulan personel sayısı değerlendirildiğinde; insansız hava aracı olarak tanımlanan sistemlerin bazıları aslında insanlı bir uçağın faaliyeti için gerekli olan kişi sayısından daha fazla personele gereksinim duymaktadır.

Mevcut durumda söz konusu sistemler için uluslararası alanda kabul edilmiş ortak bir isimlendirme bulunmamaktadır. Sistemlerin halen gelişmekte olması, insanlı uçaklarla aynı hava sahasını kullanacak olması, sistemler üzerinde uçuş güvenliği ile ilgili kullanılacak algılayıcıların belirsiz olması gibi çeşitli sebeplerden dolayı ortak bir isimlendirme bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda hava aracı için İHA terimi kullanılacaktır.

#### **2.4.1. İHA'nın ilk kullanımı**

İHA sistemlerinin gelişiminin tarihsel süreci irdelendiğinde, teknolojik alanda elde edilen kazanımların öncelikle askeri sahada ortaya çıkan ihtiyaçların giderilmesi amacıyla kullanıma sunulduğu görülmektedir.

Bu nedenle insansız platformlar, öncelikle insanlar için tehlikeli olan, çok uzun görev süresi gerektiren veya kimyasal kirlilik bulunan ortamlarda gerçekleştirilecek faaliyetlerin gerçekleştirilmesi amacıyla planlanmıştır (UAS Road Map, 2005).

17 Aralık 1903 tarihinde Wright kardeşler tarafından yapılan ilk başarılı insanlı uçuştan 13 yıl sonra 1916 yılında geliştirilen "Ruston Proctor Hava Hedefi"nin ilk pilotsuz hava aracı olduğu ifade edilir. Birinci Dünya savaşından sonra çok sayıda pilotlu uçak hedef olarak kullanılmak amacıyla radyo kontrollü pilotsuz uçağa dönüştürülmüştür. Bunlardan en başarılısı Queen Bee olarak da bilinen DeHavilland Tiger Moth OQ-2 Radio Uçağı Amerika'da seri olarak üretilmiş ilk İHA'dır (Maltos, 2019).

Döner kanatlı platform olan ve dikine iniş kalkış yapabilen Cypher ve Cypher 2 İHA'lar Sikorsky tarafından 1980'lerde geliştirilmiştir (Devine, 2016).

1990'ların başına gelindiğinde ise, halen aktif olarak kullanılmakta olan MQ-1 Predator adlı platform keşif ve ileri gözlem amaçlı geliştirilmiştir.

#### **2.4.2. İHA'ların sınıflandırılması ve yasal düzenlemeler**

İHA sistemleri teknolojik gelişmelere paralel olarak, kullanıcı ihtiyaçlarını hızlı ve ucuz olarak karşılamak için geniş bir yelpazede geliştirilmeye devam edilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte özellikle küçük İHA platformları günümüzde bir çok kullanıcı tarafından rahatlıkla elde edilebilir bir materyale dönüşmüştür. Farklı kullanım amacına göre İHA, maddi değeri binlerle ifade edilen rakamlardan milyonlar mertebesine kadar ulaşabilen bir sistemler bütünü ifade etmektedir.

İHA'lar farklı boyut, ağırlık, malzeme, yakıt tipi, itki sistemi ile haberleşme ve kontrol birimi gibi temel bileşenlerin bir araya gelmesi ile meydana gelmektedir. İHA'lar tarafından kullanılan yatay ve dikey hava sahası aynı zamanda pilotlu olarak görev yapan ticari, sivil ve askeri diğer uçaklar tarafından da kullanılmaktadır. İnsanlı ve insansız platformlar arasındaki ayrımın hava trafik kontroller tarafından sağlıklı olarak yapılabilmesi uçuş güvenliği için gereklidir. Artan İHA sayılarıyla birlikte uluslararası uçuş güvenliğinin sağlanması amacıyla insansız platformların kullanım usullerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle ulusal ve uluslararası mecralarda ihtiyaç duyulan düzenlemelerin koordineli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

#### 2.4.2.1. İHA sınıflandırmasında uluslararası kurumlar

Çok hızlı bir ivme ile sayıları artan İHA'ların uluslararası bir düzenlemeye bağlı olarak standartlarının belgelenmesi ve kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu zorunluluğun yerine getirilmesi maksadıyla ICAO ile Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (European Aviation Safety Agency-EASA) çalışmalar yürütmektedir.

ICAO, sivil havacılık faaliyetinin tüm alanlarıyla ilgili küresel ölçekte düzenlemeler getirmek ve uçuş emniyetini sağlamak maksadıyla kurulmuş bir uluslararası organizasyondur. İHA kullanımlarının yasal olarak belirlenmiş çerçevede, belgelendirilmiş kullanıcılar tarafından ve uluslararası bir koordinasyonla uçurulması hususunda çalışmalar yürütmektedir. EASA ise, Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinin sivil havacılık otoritelerini bir araya getirerek İHA'ların uçuşa elverişlilik sertifikalarının standartlaştırılmasını amaçlayan bir kuruluştur (Colomina ve Molina, 2014).

ICAO ve EASA tarafından belirlenen kriterler olmakla birlikte, İHA'ların sivil uygulamalar maksadıyla kullanımında yaşanan artış nedeni ile ülkeler tarafından yasal düzenlemelerin de yapılması gerekmektedir. Bazı ülkeler İHA'ların işleyişiyle ilgili kendi yasalarını çıkarmış ve geçici hükümler uygulamışlardır. Bununla birlikte, sistemlerin gelişimlerinin devam etmesi nedeniyle düzenleyici tedbirlerin güncelleştirilmesi ve yasalalaştırılması faaliyetlerinin devam etmesi gerekmektedir (Levush, 2016).

ICAO tarafından İHA kullanımları mevcut durumda iki ana kavram etrafında yapılandırılmıştır. Bu kavramlar, görsel görüş hattı ( Visual Line of View-VLOS) ve görsel görüş hattı ötesi (Beyond Visual Line of View-BVLOS)' dir. İHA'lar tarafından VLOS dışında gerçekleştirilen uçuşlar BVLOS olarak kabul edilir ve uluslararası hava sahası kullanıldığı durumlarda aletli uçuş kuralları (Instrument Flight Rules-IFR) uygulanır (ICAO, 2017).

ICAO ve EASA havacılık kuralları konulması, uygulanması ve kontrolü konusunda iki önemli otorite olmasına rağmen, hafif İHA olarak adlandırılan sınıfta henüz herhangi bir düzenleme yapılmamıştır. AB'de ise, hafif İHA'ların yasal düzenlemesi Sivil Havacılık Otoritesi (Civil Aviation Authority-CAA) tarafından yapılmaktadır. Buna göre ilgili kuruluş tarafından yapılan maksimum kalkış ağırlığı (MKA)'na göre hafif İHA sınıflandırılması Tablo 2.1'de verilmiştir.



<b>Hafif İHA Sınıflandırması</b>				
<b>Sınıf 1</b>				
Mikro	MKA < 1,5/2 kg	Uçuş yüksekliği < 150 m	Pilot'dan uzaklık < 500 m	Görsel görüş hattında uçuş ve uzatılmış görsel görüş hattında uçuş
Grup A	MKA > 1,5/2 kg ve < 7 kg			
Grup B	MKA > 7 kg ve < 25 kg			
Grup C	MKA > 25 kg ve < 150 kg			
<b>Sınıf-2</b>				
Mikro	MKA < 1,5/2 kg	Uçuş yüksekliği > 150 m	Pilot'dan uzaklık > 500 m	Görsel görüş hattı dışında uçuş
Grup A	MKA > 1,5/2 kg ve < 7 kg			
Grup B	MKA > 7 kg ve < 25 kg			
Grup C	MKA > 25 kg ve < 150 kg			

**Tablo 2.1.** AB sivil havacılık otoritesi hafif İHA sınıflandırması (Blyenburgh, 2012).

Bununla birlikte ağırlığı 150 kilogramdan fazla olan İHA'ların işletme kural, usul ve limitleri EASA tarafından sertifikaya edilerek denetlenmektedir (Blyenburgh, 2012) (Tablo 2.2).

<b>EASA Tarafından Sertifiye Edilen İHA</b>			
MKA > 150 kg	Uçuş Yüksekliği > 150 m	pilot'dan uzaklık > 500 m	Görsel görüş hattında uçuş ve uzatılmış görsel görüş hattında uçuş

**Tablo 2.2.** EASA tarafından sertifikaya edilen İHA Sınıflandırması (Blyenburgh, 2012).

İHA'ların gelişimin ana sebebi askeri uygulamalar olması nedeniyle sistemler askeri maksatlarla yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanında platformlar farklı bir sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Amerikan Savunma Bakanlığı İHA'ları beş farklı kategoride sınıflandırmakta olup, Tablo 2.3'de verilmiştir (USArmy, 2010).

<b>Kategori</b>	<b>Boyut</b>	<b>MKA (lbs)</b>	<b>Görev İrtifası (feet)</b>	<b>Hava Sürati (knots)</b>
Grup 1	Küçük	0-20	< 1200 (Yer seviyesi)	< 100
Grup 2	Orta	21-55	< 3500	< 250
Grup 3	Büyük	< 1320	< 18000 (Deniz seviyesi)	< 250
Grup 4	Büyük	> 1320	< 18000 (Deniz seviyesi)	Herhangi bir hava hızı
Grup 5	En Büyük	> 1320	> 18000 (Deniz seviyesi)	Herhangi bir hava hızı

**Tablo 2.3.** Amerikan savunma bakanlığı İHA kategorileri.(UASArmy, 2010).

Görüldüğü üzere çeşitli kuruluşlar tarafından farklı sınıflandırmaya tabi tutulan İHA için uluslararası kabul görmüş bir sınıflandırma henüz bulunmamaktadır.

### 2.4.2.2. İHA sınıflandırmasında ulusal kurumlar

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de İHA'lar pek çok kişi tarafından kullanılmakta olup, bu durum uçuş emniyeti açısından risk taşımaktadır. Hızlı bir şekilde gelişme gösteren İHA pazarı beraberinde ülkemizde de hukuki düzenlemelerin yapılması zorunluluğunu getirmiştir.

Ülkemizde sivil havacılığı düzenleyen ve uluslararası sivil havacılık otoriteleri ile koordineli olarak uçuş emniyetini sağlayan tek resmi kurum Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)'dür. Türk Hava Sahasında işletilecek veya kullanılacak sivil insansız hava araçlarıyla ilgili insansız hava aracı sistemleri talimatı 22 Şubat 2016 tarihinde yayımlanmış olup, tezin yazım aşamasında yürürlükte olan güncel referanstır.

Söz konusu talimat, insansız hava aracı sistemlerinin ithali, satışı, kayıt ve tescili, uçuşa elverişliliğinin sağlanması, sistemleri kullanacak kişilerin sahip olması gereken nitelikler, hava trafik hizmetleri ve İHA operasyonlarına ilişkin usul ve esasları içermektedir.

Talimat çerçevesinde, azami kalkış ağırlığı 0.5 kg - 25 kg aralığında olan İHA'lar için kullanıcıları tarafından SHGM internet sayfası üzerinden hizmet veren kayıt sistemine veri girişlerinin yapılması gerekmektedir. Azami kalkış ağırlığı 25 kg - 150 kg arasında olan ikinci gruptaki İHA'lar ile azami kalkış ağırlığı 150 kg ve daha fazla olan İHA'ların ise Türk Hava Araçları tesciline kayıt yaptırmaları gerekmektedir.

İnsansız hava aracı sistemleri talimatında İHA'lar azami kalkış ağırlıkları referans alınarak dört sınıfa ayrılmış olup, Tablo 2.4'de verilmiştir (SHGM, 2016).

İHA Tipi	Azami Kalkış Ağırlığı
İHA 0	500 gr $\leq$ ve $<$ 4 kg
İHA 1	4 kg $\leq$ ve $<$ 25 kg
İHA 2	25 kg $\leq$ ve $<$ 150 kg
İHA 3	150 kg $\leq$ ve fazlası

**Tablo 2.4.** İnsansız hava aracı sistemleri talimatı İHA sınıflandırması (SHGM, 2016)

Ayrıca, diğer ülkelerde olduğu gibi iç hukuk çerçevesinde ulusal düzenlemelerin yapılması gerekliliği bulunmaktadır. Bu kapsamda ülkemizde de, İHA'ların Türk Sivil Havacılık Hukukuna göre statüsü ceza hukuku boyutuyla değerlendirilmiştir. İHA kavramı, insansız sivil hava araçlarının hava araçları içerisindeki yeri, hukuki niteliği, kullanım ve uçuş şartları ve uygulamadaki bazı güncel sorunların ceza hukuku kapsamında ele alan çalışmalar yapılmıştır (Özkan, 2016).

### 2.4.3. İHA'ların kullanım alanları

Donanım teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sayesinde küçük platformlar tarafından taşınabilen boyut ve ağırlıkta sensör ve algılayıcılar üretilebilmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak uzaktan algılama amacı ile kullanılacak sensör ve algılayıcılar piyasadan temin edilebilmektedir. Bununla birlikte İHA'lar tarafından elde edilen verilerin işlenmesi için gerekli olan yazılımlar ticari ve açık kaynak kodlu olarak geliştirilmiştir. Tüm bu gelişmeler İHA'ların kullanım oranları ve alanlarını arttırmıştır. İHA'lar üzerinde bulunan algılayıcılara göre birbirinden bağımsız pek çok alanda kullanılabilir. Dolayısıyla günümüzde bu durum, resmi ve sivil kuruluşlar ile şahıslar tarafından İHA kullanımının önünü pek çok alanda açmıştır.

İHA'lar, madencilik, tarım, ormancılık, çevre koruma, güvenlik, yaban hayatı koruma, trafik denetleme ve haritacılık gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji çerçevesinde yukarıda genel olarak bahsedilen alanlarda farklı kullanım amaçları ortaya çıkmaktadır. Bir anlamda İHA'lar ile kullanıcı ihtiyaçlarına özel algılayıcı çözümleri sunulmakta ve uygun maliyet ile kullanılmaktadır.

Pajares (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, İHA kullanılarak yapılabilecek uzaktan algılama çalışmalarından bahsedilmiştir. Ayrıca belirlenen ana başlıklar altında yapılabilecek diğer uzaktan algılama faaliyetleri de detaylandırılmıştır (Tablo 2.5).

Uzaktan Algılama Uygulama Alanları	
Ana Başlık	Alt uygulama alanı
Tarım ve Ormancılık	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ürün ve bitkiler</li> <li>• Ağaçlar</li> <li>• Ormanlar</li> <li>• Toprak</li> <li>• Bitki örtüsü kaplaması</li> <li>• Bitkilerin Gelişimi</li> </ul>
Afet İzleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasırga, tayfun, hortum,</li> <li>• Deprem,</li> <li>• Yangın,</li> <li>• Nükleer sızıntı,</li> <li>• Atık tespiti</li> <li>• Sel</li> <li>• Çığ, heyelan</li> <li>• Salgın hastalıklar</li> </ul>
Fotogrametri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sayısal yükseklik modeli ve 3B haritalama</li> <li>• Mozaik, orto ve rektifikasyon</li> <li>• Ölçümler</li> <li>• Kadastral Uygulamalar</li> </ul>
Kentsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Denetleme</li> <li>• İzleme</li> <li>• Yol bilgisi</li> <li>• Kent düzeni</li> <li>• Bina cephesi analizi</li> <li>• Şehir arazisi kullanımı</li> </ul>
Çevresel İzleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volkanik inceleme</li> <li>• Toprak</li> <li>• Su ortamı</li> <li>• Drenaj</li> <li>• Kırsal yollar ve jeolojik altyapı</li> </ul>
Atmosferik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gözlem</li> <li>• Hava analizi ve kirlilik</li> </ul>
Yabani hayat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fauna</li> <li>• Flora</li> </ul>
Kültürel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarihi alanların korunması</li> <li>• Arkeolojik çalışmalar</li> </ul>

**Tablo 2.5.** İHA uygulama alanları (Pajares, 2015).

Gelişmeler ve erişilebilir veriler değerlendirildiğinde, İHA'ların önümüzdeki süreçte pek çok yeni uygulama alanlarının ortaya çıkacağı ve kullanım olanaklarının yaygınlaşacağı değerlendirilmektedir.

#### **2.4.3.1. Uzaktan algılamada İHA kullanımı**

Genel tanımı ile uzaktan algılama, algılayıcı ile algılanan nesne arasında fiziksel temas olmaksızın bilgi elde edilmesi olarak ifade edilebilir. Bu nedenle günümüze kadar uzaktan algılama denildiği zaman hava platformu olarak ilk akla gelenler uydular ve insanlı uçaklar olmuştur.

Fakat gelişen teknoloji ile birlikte, uydu ve insanlı uçaklar üzerinde kullanılabilen algılayıcılar İHA'lar üzerinde kullanılmaya başlanmıştır. Uydu ve insanlı platformlar ile karşılaştırıldığında İHA'nın uzaktan algılama için kullanımında bazı avantajlar öne çıkmaktadır. İHA kullanımı, istenilen yer ve zamanda, ihtiyaç duyulan çözünürlük ve uygun maliyetli algılayıcılarla verilerin elde edilmesine olanak sağlar.

İHA ile yapılacak uzaktan algılama çalışmalarında amaca uygun olarak tasarlanmış algılayıcılar kullanılır. Fakat, yapılacak çalışmada platform olarak kullanılacak İHA ve taşıyacağı sensör ile algılayıcılar arasında mutlak bir uyuma ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle faydalı yük olarak sensörler ve taşıyıcı konumundaki İHA'lar karşılıklı olarak birbirinin kısıtıdır. Söz konusu kısıtlar ise, ağırlık, boyut, havada kalış süresi, çözünürlük, doğruluk ve enerji ihtiyacı olarak ortaya çıkmaktadır.

İHA'ların uzaktan algılama maksadıyla kullanılabilmesi için platform üzerinde kullanım amacına bağlı olarak bazı temel ekipmanlara ihtiyaç bulunmaktadır. Söz konusu ekipmanlar uçuşun yapılması maksadıyla otopilotu destekleyen sensörler ile faydalı yük olarak adlandırılan algılayıcılardır. Otomatik uçuş için sensörlerden gelen pozisyon, hız, ve yükseklik bilgisi anlık olarak otopilot tarafından kullanılır ve yapılan görev planlamasına uygun olarak uçuş sağlanır.

Uçuşun otomatik pilot tarafından yapılabilmesi için, küresel konumlama sensörü GPS, ataletsel seyrüsefer sensörü (Inertial Navigation System - INS), mikro elektro mekanik sistemler (Micro Electro Mechanical Systems-MEM) jiroskop, ivme ölçer ve yükseklik sensörleri kullanılır. Bununla birlikte uzaktan algılama çalışmalarında temel gereksinim olan algılayıcılar İHA tarafından taşınır (Pajares, 2015) (Tablo 2.6).

Yardımcı Sensörler	Uzaktan Algılama Amaçlı Algılayıcılar	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• IMU</li> <li>• Jiroskop</li> <li>• İvme Ölçer</li> <li>• Altimetre</li> <li>• Video Sabitleyici</li> <li>• Görüntü Vericisi</li> <li>• İletişim Antenleri</li> <li>• İletişim Modemleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Video kameralar</li> <li>• Termal Kameralar</li> <li>• Kızılötesi Kameralar</li> <li>• FLIR</li> <li>• LIDAR</li> <li>• Multi-Hiperspektral kameralar</li> <li>• Radar/SAR</li> <li>• Radyometre</li> <li>• Kızılötesi spektroskopisi</li> <li>• Gaz/duman dedektörü</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultraviyole spektrometresi</li> <li>• Çoklu gaz dedektörü</li> <li>• Sonar</li> <li>• Akıllı telefonlar</li> <li>• Parçacık sayacı</li> <li>• Sıcaklık, nem, basınç ölçücü</li> <li>• Radyasyon göstergesi</li> <li>• Manyetik sensör</li> <li>• Bulut damlacık spektrometresi</li> <li>• Ultraviyole alev dedektörü</li> </ul>

**Tablo 2.6:** İHA üzerindeki yardımcı sensörler ve uzaktan algılama için algılayıcılar (Pajares, 2015).

Uzaktan algılamada algılayıcılar pasif ve aktif olarak ikiye ayrılır. Pasif algılayıcılar cisimlerden yayılan enerjiyi kullanarak bilgi toplarken aktif algılayıcılar bilgi toplamak için kendi ürettikleri enerjiyi kullanırlar. Uzaktan algılama maksadıyla tasarlanan pasif algılayıcılar kullanım amacına göre elektro manyetik spektrumun farklı dalaga boylarında veri elde edilmesini sağlar. Doğadaki her nesne spektral bant üzerinde bir yansıma değerine sahiptir ve bu değer spektral imza olarak adlandırılır. Bu nedenle yapılacak çalışmada elde edilmesi amaçlanan veriye uygun bir algılayıcının belirlenmesi önemli bir adımdır. Özellikle görüntü alımı yapılan çalışma sahasında her bir piksel değeri için daha fazla veri elde edilmesi maksadıyla görünür banttan başlayarak hiperspektral banta kadar devam eden aralıkta veri toplayabilen algılayıcılar kullanılır. Özellikle aktivite tespitine yönelik yapılacak çalışmalarda termal görüntüleme kullanıcıya avantaj sağlar. Hartman ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada uygun YKN kullanılarak termal görüntülerin optik görüntülere yakın bir doğrulukla dolaylı jeodezik koordinatlandırmasının yapılabileceği tespit edilmiştir.

Uzaktan algılama, tarımsal uygulamalarda farklı amaçlar için kullanılan bir yöntemdir. Yetiştirilen ürün sağlığının denetlenmesi, rekolte tahmini, zirai ilaçların etkin kullanımı ve arazi topoğrafyasının görüntülenmesi amacıyla kullanılabilir (Zhang ve ark., 2014).

İHA'nın istenilen zaman ve yerde kullanılması özellikle ani ortaya çıkan durumlarda önemli bir etkidir. Afet sonrasında yapılacak arama kurtarma faaliyetlerinin yürütülmesi için yapılacak etki analizinde afetten etkilenen alanların yer referanslı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle insansız hava araçları ile afet sonrasında yapılacak analizler için gerekli olan görüntülerin istenilen zamanda elde edilmesi önemli bir avantajdır (Uysal ve ark., 2017).

Kültürel mirasların korunması ve takibinin yapılması maksadıyla uygun algılayıcılar kullanılarak detaylı bir analiz için veri üretilmesi gerekmektedir. İtalya, Toskana'da Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO) tarafından tarımsal miras sistemleri arasında kayıt edilmiş ve taş duvar teraslaması ile kurulan üzüm bağları bulunmaktadır. Tucci ve ark. (2019) tarafından, bölgede kullanılan teras ekimi tekniğinin bağlar üzerindeki mikro iklim değişimlerine etkisi incelenmiştir. Söz konusu uygulamada İHA üzerinde görünür ve termal kızılötesi spektral bant aralığına sahip iki farklı sensör kullanılarak çalışma sahasındaki termal izler ortaya konmuştur.

Özellikle yaz aylarında bir çok ülke için orman yangınları büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uzun süre havada kalma kabiliyetine sahip bir İHA ve uygun algılayıcıların kullanılması ile orman yangınlarının erken tespiti fayda sağlayacaktır. Dios ve ark. (2007) tarafından orman yangınlarının tespiti maksadıyla yapılan deneysel çalışmada döner kanatlı 3 farklı platform kullanılmıştır. Platformlar üzerinde kızıl ötesi kamera, yangın sensörü, görünür bantta bir kamera ve görünür bantta anlık görüntü sağlayan video algılayıcıları farklı kombinasyonlarda kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile uygun algılayıcı konfigürasyonu ve yeterli menzile sahip bir İHA ile orman yangınlarının tespiti ve takibinin yapılabilmesi değerlendirilmiştir.

Orman alanları ve ağaçların genel sağlığının korunması amacıyla uzaktan algılama verileri kullanılmaktadır. Bununla birlikte ormanlık alanlarda yapılacak planlamalarda kullanılmak üzere konumsal verilerde ihtiyaç duyulmaktadır. Akgül ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada yüksek konumsal hassasiyete sahip sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanaklarını araştırmak üzere İstanbul Üniversitesi Eğitim Araştırma ve Uygulama Ormanı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Trimble UX5 İHA kullanılarak elde edilen görüntüler ile sayısal yükseklik verisi üretilmiştir. Elde edilen yükseklik verisi sonuçlarının LİDAR (Light Detection and Ranging) veri doğruluğu kadar hassas olmadığı bunun yanında kullanım kolaylıkları sebebiyle insansız hava araçlarının ormancılık çalışmaları için katkı sağlayacak önemli bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

Yukarıda kısaca örnekler sunulan uzaktan algılama uygulamaları ile, algılayıcılar tarafından elde edilen veriler işlenerek hayatın her alanı için anlamlı çıkarımlar yapmak mümkün olmaktadır. Bu nedenle, uzaktan algılama uygulamaları için maliyet etkin çözümler sunan İHA platformlarının yoğun olarak kullanılacağı sonucuna varılmaktadır. Artan talebe karşılık ticari olarak faaliyet gösteren ve İHA platform çözümleri sunan üreticilerinin sayısı artmaktadır. Bununla birlikte gerekli ekipmanlar temin edilerek daha uygun maliyetler ile kullanıcılar tarafından kendi ihtiyaçlarına yönelik platformlar dizayn edilebilmektedir. Ticari olarak sunulan ve uzaktan algılama ve fotogrametrik çalışmalar için kullanılabilir İHA platformlarından bir kısmı Tablo 2.7'de verilmiştir.

İHA İsmi	Üretici Firma	Platform Ağırlığı (kg)	Havada Kalış Süresi (s)	Kamera / MKA
<b>Sabit Kanat İHA</b>				
SwingletCAM	SenseFly	0.5	0.5	16 Mp RGB
GeoScan101	GeoScan	3	1	24.3 Mp RGB
UX5	Trimble	2.5	1.23	16.1 Mp RGB
Pteryx	FotoMapy	5	2	1 kg pil hariç
Sirius	MAVinci	3	1.31	16 Mp RGB
ATLAS ppx	C-Astral Aerospace	1.8		20.1 Mp RGB
BASIC	C-Astral Aerospace	2.3		42.4MP RGB MS
BRAMORppX				
SenseFly eBeX	Parrot Business	1.4		SensFly Aeria X RGB
SLA-1	Satlab	2.7		20.1 Mp Sony QX-1
Delair UX11	Trimble	1.4		21.4 Mp
Trimble UX5	Trimble	2.5		24 Mp APSC
MP 100	ASTA	2.7	1.25	20.1 Mp Sony QX-1
<b>Döner Kanat İHA</b>				
Md4-1000	Microdrones	3	1.46	1.2 kg
HT-8-2000	Height-Tech	2.4	0.5	2 kg
Aibot x6	Aibotix	2.4	0.5	2.5 kg
Falcon 8	Ascending technologies	1.45	0.5	0.75 kg
HexaKopter	MikroKopter	1.2	0.5	1 kg
WingtraOne	Wingtra	3.7		42 Mp RGB
Falcon8+	Topcon Edition	2.8		36 Mp RGB
3DR H520-G	3D Robotics	1.65		20 Mp RGB
MP 200	ASTA	2.7	1.25	20.1 Mp Sony QX-1

**Tablo 2.7.** Uzaktan algılama ve fotogrametrik amaçlı ticari İHA'lar.

#### 2.4.3.2. İHA ile LİDAR uygulamaları

LİDAR uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan aktif bir algılama sistemidir. Platform ile obje arasındaki mesafe gönderilen lazer sinyalinin gidiş geliş süresi kullanılarak belirlenir. Hassas bir şekilde ölçülen mesafe ve platform üzerindeki algılayıcının açısı kullanılarak objeye ait XYZ koordinatları hassas olarak bulunabilir. Aktif algılayıcıların en önemli özelliklerinden birisi daha hassas konum verisi sağlamalarıdır.

Günümüzde lazer tarayıcılar genelde orta büyüklükteki elektro optik algılayıcılar ile birlikte fotogrametrik amaçlı çalışmalar için tercih edilir. İHA'ların irtifadaki rüzgarlara karşı hassas olması lidar kullanımı için bir dezavantajdır. Ayrıca kullanılan algılayıcının maliyeti ve ağırlığı sistemin negatif yönleri arasında sayılabilir. Fakat, yakın geçmişten başlayarak İHA platformu tarafından taşınabilecek boyutta ve artan sayıda algılayıcılar tasarlanmaktadır. Söz konusu teknoloji havadan ve karadan alım yoluyla üretilen yoğun nokta bulutunu kullanarak özellikle sayısal yükseklik modeli



(SYM) üretimi maksadıyla kullanılmaktadır. Algılayıcı tarafından hassas konum bilgisinin hızlı bir şekilde sağlanması nedeniyle özellikle, alt yapı çalışmaları, haritacılık, modern tarımsal faaliyetler, askeri ve madencilik sahalarında kullanım alanı bulunmaktadır (Colomina ve Molina, 2014). İHA'lar tarafından kullanılabilen başlıca aktif algılayıcılar Tablo 2.8'de verilmiştir.

Üretici/Model	Mesafe (m)	Ağırlık (kg)	Bakış açısı (derece)	Frekans (kHz)
Leddar Tech Vu8	215	0.75		
Leddar One	40	0.14		140
Velodyne HDL-32E	80-100	1.3	360	
Velodyne Puck VLP-16p	100	0.83	360	
Velodyne Puck VLP-16p		0.59	360	
Riegl Vux-1	300	3.5	330	550
Route Scene	100		360	
YellowScan-3		1.6-3		40-300
Geodetics MMS-SAASM		2.3		

**Tablo 2.8.** İHA'lar tarafından kullanılabilen Lidar algılayıcıları (Url-2).

#### 2.4.3.3. Fotogrametride İHA kullanımı

İHA'ların klasik anlamda haritacılık ve fotogrametrik çalışmalarda kullanılabilirliği hususu İHA ile üzerinde kullanılan fotogrametrik ve uzaktan algılama amaçlı sensörlerde meydana gelen teknolojik gelişmeler çerçevesinde önem kazanmıştır. Elde edilen verilerin işlenmesi kapsamında ihtiyaç duyulan donanım ve yazılımların da erişilebilir olması ile birlikte, akademik araştırmacılar ve farklı kurumlar ile ticari alanda faaliyet gösteren firmalar tarafından İHA'ların fotogrametrik amaçlı kullanılabilirliği incelenmeye başlanmıştır.

İHA'ların uçuş yüksekliği avantajı sebebiyle klasik hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında özellikle küçük alanlarda kullanılabilir olduğu, bununla birlikte klasik hava fotogrametrisinin geniş alanlarda veri üretimi sağlamasından dolayı avantajını koruduğu Cramer ve ark. (2013) tarafından hazırlanan çalışmada ifade edilmektedir.

Uygun sensörler ile donatılan İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerin işlenmesi ile SYM, SAM, münhaniler ve ortofoto üretimi mümkün olmaktadır. Söz

konusu ürünler ile klasik yöntemler ile üretilen pek çok kartoğrafik ve topoğrafik nihai ürün elde edilebilmektedir. İHA'lar tarafından elde edilen ürünlerin işlenmesi ile ortaya çıkan veri doğruluğunun klasik yöntemlerle elde edilen hava fotoğraflarının doğruluğuna benzer olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmaya devam edilmektedir.

Torun (2017) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel fotogrametri ile İHA fotogrametrisi arasında hesaplama yaklaşımları ve süreçleri arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Ayrıca yeni teknolojilerin mevzuattaki yerini hızlı bir şekilde alabilmesi için sektörde belirleyici kurumlara katkı sağlamak hedeflenmiştir.

İHA ile ortofotoların büyük ölçekli harita ve harita bilgisi üretmeye uygunluğunu araştırmak amacıyla bir test çalışması gerçekleştirilmiştir. Test alanında, platform olarak İHA ve uçak kullanılmış ve elde edilen veriler ile ortofoto üretimi, üretim aşamaları ve sonuç ürünler karşılaştırılmıştır (Ayyıldız ve ark., 2015).

Ülkemizde 2018 yılında Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “İHA Sistemleri ile Kadastral Detay Ölçümleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları” uygulama dokümanında belirtilen ölçüt ve esaslar ile İHA sistemleri ile üretilmiş veriler resmi olarak kabul görmüştür (TKGM, 2018). Burada önemli olan husus ise teknolojide yaşanan gelişmelerin ilgili kurumlar tarafından yakından takip edilerek gerekli mevzuat güncellemelerin hızlı bir şekilde yapılabilmesidir.

Her yeni teknolojinin, ilk tanıtımının yapıldığı tarihten başlayarak belirli bir olgunluk seviyesine ulaşmaya kadar çeşitli akademik ve sivil çevreler tarafından uygulama alanlarında test edilmesi olağan bir durumdur. Bu nedenle İHA fotogrametrisinin gelişim sürecine başladığı 2000'li yılların başlangıcından itibaren çeşitli fotogrametrik ve kadastral uygulamaların konusu olmaya devam etmektedir.

#### **2.4.4. İHA görüntülerinin elde edilmesi**

Günümüzde İHA teknolojisi ve bununla birlikte gelişen yazılım ve donanım desteği, farklı sektör ve meslek gruplarının uzaktan algılama temeline dayanan veri ihtiyaçlarını karşılama noktasında özellikle küçük alanlarda hızlı, güvenilir ve maliyet etkin çözümler sunmaktadır.

Yükseklik verisi ve ortofoto üretimi amacıyla, ihtiyaç duyulan veri hassasiyetine bağlı olarak kamera özellikleri, enine ve boyuna bindirme oranları ve uçuş irtifası belirlenerek İHA uçuş planı çerçevesinde görüntü alımı yapılır. Kullanılan platforma bağlı olarak açık kaynak ve ticari uçuş planlama yazılımları görüntü alımlarında kullanılmaktadır. Görev planlama yazılımlarında yapılan uçuş planına uygun olarak genelde otomatik olarak görüntü alımının otopilot tarafından yapılması tercih edilir.

Bununla birlikte İHANın gördüğü alan kullanıcı tarafından gözlük vasıtasıyla takip edilebilmesine rağmen görüntü alımı için tercih edilen bir yöntem değildir.

İHA fotogrametrisinin maliyet etkin olmasında etkenlerden bir tanesinde görüntüleme kameralarının erişilebilir fiyatlarla elde edilebilir olmasıdır. Bu nedenle piyasadan kolaylıkla temin edilen sayısal kameralar fotogrametrik üretim amaçlı olarak uygun yazılımlar tarafından rahatlıkla işlenebilmektedir. Özellikle küçük alanlarda, hızlı bir şekilde hem görüntü alımı hem de jeodezik koordinatlandırmanın yapılması maksadıyla arazi çalışması aynı anda yapılabilir.

#### **2.4.5. İHA görüntülerinin işlenmesi**

Hava platformlu klasik fotogrametride olduğu gibi, İHA'lerden elde edilen görüntülerin işlenerek erişilen doğruluk seviyesi, İHA'nın fotogrametrik amaçlı kullanımının gelişmesinde önemli bir adımdır.

Klasik fotogrametri ile karşılaştırıldığında, İHA'lerden elde edilen verilerin işlenmesi çok daha fazla otomatik süreci içerisinde barındırmaktadır. Fakat buradan, elde edilen verilerin doğruluğunun daha az olabileceği anlamını çıkarmak uygun olmayacaktır. Bu durum tam tersine İHA fotogrametrisinin kısıtlarını telafi etmek maksadıyla çok daha karmaşık algoritmalar ile çalışan yazılım ve donanım gereksinimlerini beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak fotogrametrik ürünlerin doğrulukları klasik yöntemlere yakın değerlere ulaşmaktadır.

İHA'lerden elde edilen görüntüler klasik fotogrametrik yazılımlar veya bilgisayar destekli görüntü işleme teknikleri ile değerlendirilebilir. Fakat bu yöntemlerin fotogrametrik temelini aynı olmasına karşın İHA görüntülerinin özelliklerinden dolayı bire bir uygulanması mümkün olmamaktadır. Elde edilen İHA görüntülerinin klasik fotogrametrisinin işlem adımları ve matematik kuramları çerçevesinde değerlendirilmesinde platform kaynaklı bir takım sıkıntılar bulunmaktadır.

İHA'ların kullanımını yaygınlaştıran başlıca sebepler hız, yüksek çözünürlük ve düşük maliyet ile mümkün olan en yüksek konum doğruluğuna sahip verilerin elde edilmesidir. Bu nedenle İHA görüntülerinin işlenmesi temelde iki farklı disiplin olan fotogrametri ve bilgisayar bilimlerinin ortak çalışmasını gerektirir.

Görüntü çıkarma operatörleri ile karakteristik detay noktaları tespit edilir. SfM algoritması ile detay noktaları eşlenerek kamera alım konumları ve eşlenik noktaların koordinatları hesaplanır. Hesaplanan eşlenik nokta koordinatları seyrek nokta bulutunu oluşturur. Oluşturulan kamera ve görüntü geometrisinden görüntü işleme ve

fotogrametrik yöntemle yoğun nokta bulutu oluşturularak İHA'lar tarafından elde edilen görüntüler işlenebilmektedir.

#### **2.4.6. Görüntü yöneltmesi ve kamera kalibrasyonu**

Fotogrametrik ölçülerden yüksek hassasiyet elde edilebilmesi için kamera kalibrasyon parametrelerinin yani iç yöneltme parametrelerinin bilinmesi gerekir. Fotogrametrik değerlendirmede ikinci temel adım görüntülerin karşılıklı ve mutlak yöneltmesidir. Gerek hava, gerek İHA fotogrametrisinde kullanılan kameralar belirli periyotlarda laboratuvar ortamında kalibre edilebilirler. Klasik hava fotogrametrisinde uçuş hattı boyunca resim ölçeği ve dönüklükleri benzerlik gösterir. Bu durum görüntü eşleme ve yöneltmede bazı bilinmeyen parametrelerin çözümünde kolaylık sağlar. Bununla birlikte İHA'lar tarafından yakın mesafeden elde edilen görüntüler yüksek çözünürlük, farklı ölçek ve stabil olmayan bindirme oranlarına sahiptir. Bu nedenle İHA görüntülerinin fotogrametrik yöneltmesinde klasik fotogrametrik değerlendirme yöntemlerinin kullanılması uygun olmamaktadır.

İHA'ların üzerinde genelde düşük maliyetli ve çok hassas olmayan oto pilot navigasyon sistemi (Navigation System-NS) kullanılır. Navigasyon sistemi verileri belirli bir doğruluk içerisinde fotoğrafların haritacılık veya jeodezik amaçlı kullanımı için konum verisi sağlar. Sistemlerin ilk uygulamalarında elde edilen navigasyon bilgileri, seyrüsefer sistemleri için yeterli doğrulukta zaman, konum, hız ve yükseklik verisi sağlamamaktaydı. Bu nedenle; doğrudan sensör yöneltmesi (Direct Sensor Orientation-DiSO) ile anlamlı sonuçlar elde edilememiş ve sonuç ürünlerden istenilen verimin sağlanabilmesi için havai nirengi veya dolaylı sensör yöneltmesi (Indirect Sensor Orientation-InSO) kullanılması gerekmiştir. Bununla birlikte platform üzerinde bulunan sensörler tarafından sağlanan ilave yöneltme parametreleri ile, bağlama noktalarının otomatik üretimi, fotogrametrik ölçümleri ve ilk yaklaşık koordinatlarının bulunması kolaylaşmaktadır. Yapılan çalışmalar hem doğrudan hem de dolaylı sensör yöneltmesi ile santimetre düzeyinde konum doğruluğunun sağlanabileceğini göstermiştir (Rehak ve ark., 2013).

Diğer taraftan, küçük alanlarda yer kontrol noktası arazide kolaylıkla tesis edilebilir. Ayrıca, YKN koordinatları mevcut ortofotolar kullanılarak okunabilir. Bu durum platform üzerinde bulunması gereken ağırlıkları azaltacağından daha uzun süre havada kalış imkanı sağlayabilir. Bu nedenle, platform üzerinde bulunacak sensörler için maliyet denge analizinin yapılacak çalışmalarda göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.

Fotoğraftan yoğun nokta bulutu üretim aşamasında kamera kalibrasyonu iki şekilde gerçekleştirilebilir. Birinci yöntem, fotoğraf alımından önce ya da sonra laboratuvar ortamında kamera kalibrasyon işlemlerinin yapılmasıdır. İkinci yöntem, ölçme alanına ait fotoğrafların değerlendirilmesi esnasında kalibrasyon bilgilerinin hesaplanmasıdır. Fotoğraftan nokta bulutu üreten yazılımların çoğu kamera kalibrasyonunu nokta bulutu oluşturma esnasında yapabilmektedir. Her iki kalibrasyon yöntemi topoğrafik ölçmeler için yeterli doğruluğu sağlamaktadır.

Kamera kalibrasyonu ve sensör yöneltmesinden bağımsız olarak fotogrametrik görüntüler otomatik olarak eşlenebilir. Klasik fotogrametride otomatik havai nirengi olarak adlandırılan bu işlem uzun yıllardır kullanılmaktadır. Söz konusu işlem adımların da; iç yöneltme parametreleri bilinmekte olup radyal ve teğetsel distorsiyonlar sabittir. Klasik hava fotogrametrisinde, nadirden alınan görüntüler ile düzenli bir blok yapısı oluşturularak yaklaşık sabit ölçekte ve şeritler üzerinde stabil bindirme oranları ile geometrik ve radyometrik değişimlerin en az olduğu hava fotoğrafları elde edilir. İHA ile elde edilen fotoğraflarda bir çok değişkenin olması nedeniyle klasik fotogrametrik işlem adımlarının yeterli olmadığı görülmüştür.

İHA tarafından elde edilen düzensiz görüntü blokları genel bir amaçla geliştirilen ve SfM olarak adlandırılan bir algoritma ile değerlendirilir. Bu algoritma temelde görüntülerin otomatik eşleştirilmesi ve sonrasında kamera konumları ve cisim noktalarının koordinatlarının ışın demetleri dengelemesi ile hesaplanmasını sağlar. Klasik hava fotogrametrisinin aksine söz konusu görüntü düzensizliği yapılan işlemlerde her hangi bir engel teşkil etmemektedir. Otomatik bağlantı noktalarının üretimi SIFT, ASIFT, BRIEF ve benzeri operatorler ile gerçekleştirilir. Otomatik eşleme ile elde edilen görüntü setinden aynı zamanda kamera kalibrasyon parametreleri de hesaplanır.

## **2.5. Sayısal Yükseklik Modeli ve Ortofoto Üretimi**

Hava fotogrametrisinde ve İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerden ortofoto ve SYM üretimi iki temel ürün olarak karşımıza çıkmaktadır.

Görüntü tekniği ile otomatik olarak eşlenen fotoğraflardan yoğun nokta bulutu oluşturularak sayısal yükseklik modeli elde edilmektedir. Üretilen nokta yoğunluğu kullanıcının ihtiyacı veya ölçme alanına bağlı olarak değiştirilebilir. Yeni nesil İHA fotogrametrik yazılımları ile yüksek çözünürlükte ve klasik fotogrametri yöntemine yakın doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir. Elde edilen sayısal yükseklik modeli çok yoğun nokta bulutu içermesinden dolayı ölçme alanı detaylarını oldukça iyi temsil

eder. Dolayısıyla bu SYM'lerden üretilecek ortofotoların kaliteside oldukça yüksek olacaktır.

Hava fotogrametrisinde klasik hava fotoğraflarının sayısallaştırılması ile elde edilen digital görüntülerden de otomatik olarak nokta bulutu üretilmektedir. Görüntü ölçeğine bağlı olarak nokta sayısı İHA fotogrametrisine göre düşük olabilmektedir.

İHA görüntülerinden yüksek doğruluklu yoğun nokta bulutu oluşturma amaçlı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Uysal ve ark. (2015) tarafından, YKN kullanılarak dolaylı jeodezik koordinatlandırma yapılmıştır. Elde edilen yoğun nokta bulutu ile üretilen sayısal yüzey modelinin yeterli yükseklik doğruluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir.

## **2.6. Hava Fotogrametrisinde Jeodezik Koordinatlandırma**

İHA'lar tarafından elde edilen görüntüler özellikle fotogrametrik ve haritalama amacıyla kullanılacakları zaman sonuç ürünlerin konum doğrulukları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle İHA görüntüleri, ihtiyaç duyulan konum doğruluğuna bağlı olarak doğrudan sensörlerden alınan veriler kullanılarak koordinatlandırılabilceği gibi dolaylı olarak YKN ölçümü yapılarak da koordinatlandırılabilir. Sonuç ürünlerin konum doğruluğu; İHA üzerinde kullanılan pozisyon, hız, yükseklik ve konum bilgisi sağlayan sensörlerin hassasiyeti ile ilişkilidir. Ayrıca İHA tarafından alımı yapılan görüntülerin sağlıklı olarak işlenebilmesi ve görüntü alımının yapıldığı 3 boyutlu uzayın gerçek konumunda tekrar oluşturulabilmesi maksadıyla yine söz konusu sensörler tarafından elde edilen parametreler kullanılabilir.

Bazı durumlarda hem platform karakteristiği hemde kullanılan sensörlerin teknik kısıtları nedeniyle yatay ve düşey konum verileri hassas bir şekilde elde edilemez. Bu nedenle, hassas konum ve yükseklik doğruluğuna ihtiyaç duyulan sonuç ürünlerin elde edilebilmesi için YKN'ler ile konum hassasiyetinin artırılmasına ihtiyaç duyulur. YKN'ler hassas jeodezik ölçümler yapılarak elde edilir ve çalışma sahasında yeterli sayı ile homojen bir dağılımla bulunması gereklidir. İHA'lar tarafından alımı yapılan görüntülerden üretilecek sonuç ürünlerin yatay ve düşey konum doğruluğu söz konusu YKN'lar kullanılarak artırılır.

Bununla birlikte konum bilgisi toplayan sonradan işlenen kinematik (Post Processed Kinematic - GNSS PPK) sensörü ile uçuş esnasında hassas konum bilgisi toplanır. Aynı zamanda araziye kurulan sabit istasyon tarafından da düzeltilen koordinat verileri kaydedilir. Uçuş sonrasında özel yazılımlar vasıtasıyla, elde edilen her iki veride işlenerek desimetre bazı durumlarda ise santimetre hassasiyetinde sonuç ürün elde

edilebilmektedir. Yapılan çalışmanın doğruluğunu arttırmak, aynı zamanda kontrolünü sağlamak amacıyla YKN ölçümü yapılabilir. Bu tekniğin kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan YKN sayısı azalmaktadır (Boy ve Saraloğlu, 2016).

Direk referanslandırma amacıyla kullanılan yöntem ise gerçek zamanlı kinematik (Real Time Kinematic-RTK)'dir. Çalışma sahasına sabit bir istasyon kurularak ilgili noktanın hassas koordinatları ölçülür ve istasyon tarafından düzeltilmiş koordinatlar radyo frekansı ile yayınlanır. İHA üzerinde bulunan alıcı tarafından ise yayınlanan düzeltilmiş koordinatlar kullanılarak fotoğraf çekim konumlarının koordinatları anlık olarak hassas bir şekilde elde edilir (Boy ve Saraloğlu, 2016).

## **2.7. Görüntüden Yapısal Model Oluşturma (SfM)**

Gelişen teknoloji ile birlikte sayısal görüntü elde eden cihazlar piyasadan kolaylıkla temin edilebilmektedir. Elde edilen görüntülerin, sayısal fotogrametri, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri gibi kullanım alanlarında hızlı bir şekilde işlenebilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle fotogrametri ve bilgisayar teknolojisi bilim dallarının ortak çalışması gerekmiştir.

Özellikle fotogrametri ve uzaktan algılamada, stereo değerlendirme ile üç boyutlu konum bilgisi üretimi ve görüntü uzayında koordinatlarının elde edilmesi amacıyla görüntü eşleştirme işlemi yapılmalıdır. Görüntülerin eşleştirilmesi için detay noktalarının stereo görüntüler üzerinde belirlenmesi ve eşlenik noktaların hassas biçimde tespiti önemlidir. Fotogrametrik uygulamalar için geliştirilmiş olan yazılımlar ile eşlenik noktalar manuel olarak seçilirken, detay çıkarım algoritmaları ile otomatik olarak elde edilebilmektedir. Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme alanlarında, görüntüler üzerinde otomatik nokta çıkarımı ve görüntü eşleme amacı ile bir çok algoritma geliştirilmiştir (Altuntaş, 2013; Acar ve Karşlı, 2012).

Görüntüden yapısal model oluşturma, iki boyutlu ve belirli bir bindirme oranlarında alınan görüntü dizilerinden 3 boyutlu yapıların elde edilmesi amacıyla kullanılan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir. Görüntüden yapısal model oluşturma, stereo görüntüden model oluşturmaya benzer bir problemdir. Her iki durumda da, görüntüler ve 3B nesnelerin yeniden oluşturulması için aralarındaki benzerliğin bulunmasına ihtiyaç duyulur.

Ardışık görüntülerden yerel özellik noktalarının tespiti, tanımlanması, konumlandırılması ve eşleştirilmesi ile görüntüler arasındaki ilişki kurulmuş olur. Buna dayalı olarak tanımlı bir koordinat sisteminde kamera konumları, eşlenik noktaların koordinatları ve kamera kalibrasyon parametreleri ışın demetleri dengelemesi ile iteratif

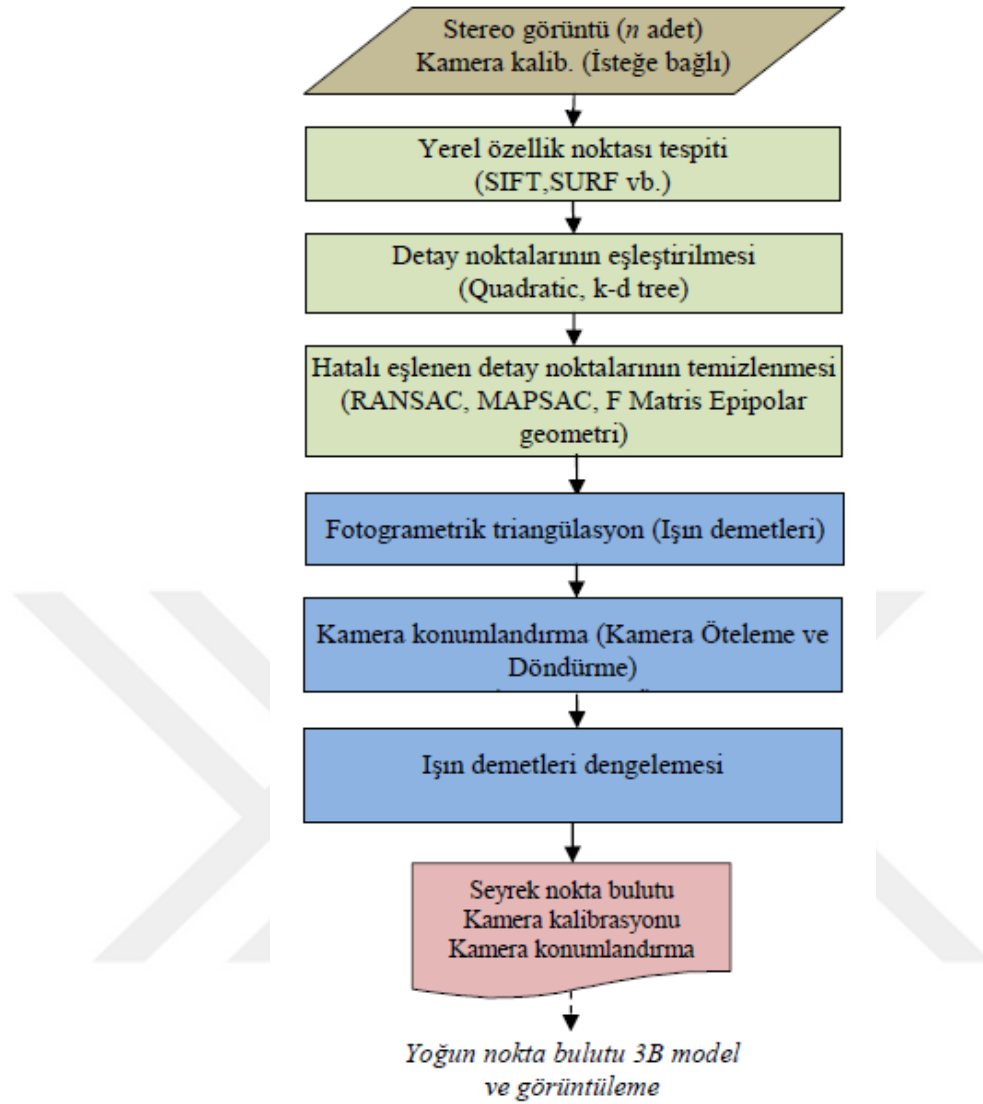
olarak hesaplanır. Bütün bu işlem adımlarının tamamı SfM algoritması olarak ifade edilir. Diğer bir ifade ile SfM, fotogrametrik görüntülerden detay noktalarının otomatik olarak tespiti, konumlandırılması, eşleştirilmesi ve kamera konumları, eşlenik nokta koordinatları ile kamera kalibrasyon parametrelerinin iteratif olarak ışın demetleri dengelemesi ile hesaplanması işlemlerini ifade eder. Böylelikle kamera kalibrasyon bilgileri olmadan da görüntüler eşleştirilerek nokta konumları hesaplanabilmektedir. SfM algoritması ile gerçekleştirilen bu işlemlerden sonra fotogrametrik görüntüler arasında daha fazla eşlenik nokta oluşturularak yoğun nokta bulutu elde edilir (Altuntaş, 2019).

En yaygın olarak kullanılan yerel özellik noktası tanımlayıcı SIFT operatörüdür. SIFT operatörü yerel özellik noktalarının 128 boyutlu bir özellik vektörü ile temsil eder (Altuntaş, 2019). Yerel özellik noktalarının tespitinde; ekstrem nokta tespiti, özellik noktası tespiti, yöneltme ve özellik tanımlama olmak üzere temel işlemler dört adımda gerçekleştirilir (Lowe, 2004).

Diğer yaygın özellik tarayıcı ise SURF (Speeded-up Robust Features)'tür. SURF algoritması SIFT'in bazı parametrelerini göz ardı ederek özellik noktalarını tanımlar, dolayısıyla daha hızlı bir operatördür (Bay ve ark., 2006).

Eşlenik noktalarla görüntüler arasında ilişki kurulduktan sonra fotogrametrik bağıntılar yardımıyla bu noktaların 3B koordinatları seçilen referans sisteme göre hesaplanır. Eşlenik noktaların oluşturduğu bu 3B nokta bulutu görüntüsüne seyrek nokta bulutu denir (Altuntaş, 2019). Otomatik görüntü eşleme ve seyrek nokta bulutu oluşturma iş akışı Şekil 2.18'de verilmiştir.





Şekil 2.18. SfM algoritması ve nokta bulutu oluşturma iş akışı (Altuntaş, 2019).

## 2.8. Fotoğraftan Nokta Bulutu Oluşturma Yazılımları

İHA'ların yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, fotogrametrik amaçlı kullanılan pek çok yazılımın ticari ve açık kaynak kodlu olarak geliştirilmesine sebep olmuştur. İki boyutlu olarak elde edilen resimler dizisinden, fotogrametrik çözümler ile SfM tekniklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan bir dizi karmaşık algoritma kullanılarak 3 boyutlu nesne uzayı yaratılabilmektedir. Endüstri ve mühendislik uygulamaları için ideal olan ticari yazılımların profesyoneller tarafından tercih edilmesinin yanında, küçük çapta uygulamalar yapan veya eğitim maksadıyla ihtiyaç duyan kişiler tarafından açık kaynak kodlu yazılımlar da tercih edilebilmektedir.

Fotogrametrik değerlendirme ve fotoğraftan nokta bulutu üreten yazılımlardan bazıları Tablo 2.9'da verilmiştir.

Yazılım İsmi	Fotogrametrik Kullanım	Çıktı Formatı	İşletim Sistemi	Fiyat
VisualSFM	Hava Yersel	ply	Windows, macOS, Linux	Ücretsiz
Regard3D	Hava, Yersel	Obj, ply	Windows, macOS, Linux	Ücretsiz
MicMac	Hava, Yersel	Geotiff, ply, xml	Windows, macOS, Linux	Ücretsiz
COLMAP	Hava, Yersel	Ply, vrmf	Windows, macOS, Linux	Ücretsiz
Meshroom	Hava, Yersel	abc, obj	Windows, Linux	Ücretsiz
OpenMVG	Hava, Yersel		Windows, macOS, Linux	Ücretsiz
Agisoft Metashape	Hava, Yersel	fbx	Windows, macOS, Linux	179 \$'dan itibaren
Pix4D	Hava	Obj, fix, dxf, las, kml, tif, osgb, slpk, shp	Windows, macOS, Android, iOS	Aylık 42 Euro'dan itibaren
DroneDeploy	Hava	dxf, GeoTIFF, las, obj, xyz	Windows, macOS, Android, iOS	Aylık 83 \$
RealityCapture	Hava, Yersel	Jpg, png, XYZ, XYZRGB, tiff, bmp, dib, rle, jpeg, jpe, jfif, exif, exr vd.	Windows	3 Aylık 99\$'dan itibaren
Photomodeller	Hava, Yersel	3ds, 3dm, dxf, igs, kml, kmz, las, ma, ms, obj, vd.	Windows	Aylık 49\$'dan itibaren
iWitnessPRO	Hava, Yersel	txt, csv, pts, las, ply, dxf, kml	Windows	2495 \$
IMAGINE Photogrammetry	Hava	İmg, igg, ovr, noaa, rpf, ddf, dem, til, ecrg, vd.	Windows	Talebe göre
Bentley ContextCapture	Hava, Yersel	3ms, 3sm, kml, dae, fbx, obj, stl	Windows	Talebe göre
Autodesk ReCap	Hava, Yersel	Asc, cl3, clr, e57, fls, fws, isproj, las, peg, vd.	Windows	Aylık 40\$'dan itibaren
3DF Zephyr	Hava, Yersel	Ply, obj, fbx, pdf 3D, u3d, dae, pts, ptx, xyz, txt, vd.	Windows,	150 Euro'dan itibaren

**Tablo 2.9.** Fotogrametrik nokta bulutu oluşturma yazılımları (Url-1).

Tezin uygulama safhasında İHA fotogrametrisi için geliştirilen yazılımlardan Agisoft ve Pix4D kullanılmış olup, bu yazılımlar aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmıştır.

### **2.8.1. AgiSOFT Metashape**

Agisoft Photoscan olarak bilinen Agisoft Metashape; CBS uygulamaları, kültürel mirasın belgelenmesi, oyun geliştirme ve görsel efekt üretimi için kullanılan profesyonel bir fotogrametri yazılımıdır (Agisoft, 2018).

Yazılım hem yersel hem de hava fotogrametrisi için kullanılabilir. Yazılım 3 boyutlu bir ağ yaratmadan önce nokta bulutunun düzenlenmesi için kapsamlı araçlar içerir. Görüntü geometrisinin tekrar düzenlenmesi için oluşturulan nokta bulutları editlenebilir.

Agisoft ile İHA fotoğrafların işlenmesinin genel amacı, 3B yüzey, ortomozaik ve DEM üretilmesidir. Görüntü işleme için ilk adım kamera yöneltmesidir. Bu aşamada yazılım resimlerdeki ortak noktaları arayarak eşleştirir. Bununla birlikte her bir resim için kamera konumunu bularak kamera kalibrasyon parametrelerini belirler.

PhotoScan-Pro 1.4 yazılımı ile alımı yapılan fotoğraflardan 3 boyutlu doku, DEM ve orto ürün elde edilmesi amacıyla gerekli olan iş adımları aşağıda verilmiştir.

- Fotoğrafların yüklenmesi,
- Yüklenen görüntülerin incelenmesi, gereksizlerin kaldırılması,
- Fotoğrafların yöneltmesi,
- Yoğun nokta bulutunun oluşturulması,
- Ağ oluşturulması (3B poligonal model),
- Doku üretilmesi,
- Bölünmüş model oluşturma,
- Sayısal yükseklik modeli oluşturma,
- Ortomosaik oluşturma,

Yazılım orijinal görüntüler ile çalışmasından dolayı görüntüler üzerinde kırpma, boyutlandırma, döndürme ve geometrik olarak dönüşüm yapılmaz. Agisoft yeni kullanıcılar için 30 günlük deneme hesabı sunmaktadır.

Agisoft yazılımı tarafından görüntü işleme adımları sonrasında rapor çıktısı hazırlanmaktadır. Bahsi geçen rapor içerisindeki ana başlıklar ve bunlar içerisindeki genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### **Survey Data (Ölçme Verisi)**

- Alımı yapılan görüntülere ait kamera konumları ve bindirme oranlarının gösterimi,

- Görüntü sayısı (Number of images)
- Uçuş yüksekliği (Flying altitude)
- Yer çözünürlüğü (Ground resolution)
- Fotoğrafların kapladığı alan (Coverage area)
- Kamera görüntü alım istasyonları (Camera stations)
- Bağ noktası sayısı (Tie points)
- Anahtar eşlenik nokta sayısı (Projections)
- Kamera görüntü alım pozisyonu hatası (Reprojection error)
- Bu bölümde ayrıca, görüntü alımı için kullanılan kameraya ait, model, odak uzaklığı, kamera çözünürlüğü ve kalibrasyon bilgisine ait tablo verilmektedir.

### **Camera Calibration (Kamera Kalibrasyon),**

Fotoğraf alımı yapılan kameraya ait görüntü kalıntılarını gösteren şekil bulunmaktadır. Ayrıca, kameraya ait kalibrasyon katsayıları ve korelasyon matrisine ait tablo bu kısımda sunulmaktadır.

### **Camera Locations (Kamera Konumları),**

Çalışma sahası üzerinde kamera konumları ve hata tahminlerini gösteren şekil verilmektedir. Burada tahmin edilen kamera konumları siyah noktalar ile ifade edilmekte olup, Z yönündeki hatalar görsel üzerinde kullanılan elips rengi ile, X ve Y yönündeki hatalar ise elipsin şekli ile gösterilmektedir.

Ayrıca, KOH X,Y,Z, KOHXY ve KOHXYZ olmak üzere kamera konum hataları tabloda gösterilmektedir.

### **Ground Control Points (Yer Kontrol Noktaları),**

Çalışma sahasına ait ortofoto görüntü üzerinde, YKN dağılımı ve hata tahminleri verilmektedir. Burada, ortofoto üzerinde Z yönündeki hatalar görsel üzerinde kullanılan elips rengi ile, X ve Y yönündeki hatalar ise elipsin şekli ile gösterilmektedir. Hesaplanan YKN konumları ise, siyah nokta ile aynı görsel üzerinde işaretlenmektedir. Hesaplamaya dahil olan kontrol noktası sayısı, KOH X,Y,Z, KOH XY ve KOH XYZ tablo'da gösterilmektedir. Aynı şekilde denetim noktalarına ait hatalar da tablo ile verilir. İlaveten her bir kontrol ve denetim noktasına ait hata değerleride tablo ile verilmekte olup tutarsız olan noktaların elimine edilmesi sağlanabilir.

### **Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli),**

Çalışma sahasına ait görüntü işleme adımları sonrasında elde edilen sayısal yükseklik verisinin görseli verilmektedir. İlaveten, sayısal yükseklik verisi çözünürlüğü, metrekaresine düşen nokta sayısı da ilgili görselin altında sunulmaktadır.

### **Processing Parameters (İşlem Parametreleri),**

- Yazılım tarafından okunan görüntü sayısı (Cameras),
- İşleme alınan görüntü sayısı (Aligned Cameras),
- Kullanılan YKN ve DN sayısı (Markers),
- Kullanılan koordinat sistemi (Coordinate System),
- Görüntü alım esnasındaki dönüklük açıları (Yaw, Pitch, Roll)
- Nokta bulutu alt başlığı ile,
- Yoğun nokta bulutu sayısı (Points),
- Anahtar noktalar (Key points),
- Yönelme parametreleri alt başlığı ile,
- İşlem adımlarında kullanıcı tarafından seçilen doğruluk (Accuracy),
- Anahtar nokta yakalama limiti (Key point limit),
- Bağ noktası yakalama limiti (Tie point limit),
- Görüntü eşleştirme zamanı (Matching time),
- Görüntülerin yeniden konumlama zamanı (Alignment time)
- Yoğun nokta bulutu alt başlığında ise, üretilen nokta sayısı ve nokta renk bilgileri verilmektedir.

Ayrıca oluşturulan SYM ve ortofoto için, koordinat bilgisi, SYM üretim aşamasında kullanılan nokta bulutu yoğunluğu ve ortofoto üretiminde kullanılan yüzey ile görüntü işleme için geçen toplam süreler verilmektedir. İlaveten Agisot yazılımına ait versiyon bilgiside kullanıcılara sunulur.

### **2.8.2. Pix4D**

Pix4D genellikle profesyonel kullanıcılar tarafından tercih edilen; bulut uygulaması, uçuş planlaması, çalışma istasyonu ile İHA fotogrametri için paket çözümler sunan bir yazılımdır. Aynı zamanda çalışma sahasından uygun görüntülerin elde edilmesi için yazılım tarafından uçuş planlamasının yapılmasına olanak sağlar. Pix4D tarafından; amatör İHA'lar ile elde edilen veriler de işlenebilmektedir. Bu amaçla elde edilen verilerin profesyonel harita araçlarına dönüştürülmesi maksadıyla Android ve IOS için mobil uygulamalar geliştirilmiştir.

Mobil uygulamalar DJI, Parrot ve Yuneec İHA'larını desteklemektedir. Yazılım komple bir çözüm içerdiğinden dolayı fotogrametrik işlemler için görüntüler arasında yeterli bindirme oranlarının sağlanması amacıyla İHA'nın uçuş paterninin kontrolünü aktif olarak takip etme olanağında sağlamaktadır.

Çalışma sahasından elde edilen görüntüler; nokta bulutu, ortomozaik ve yükseklik modellerinin üretimi amacıyla masaüstü bilgisayar veya sanal sunucuda işlenebilir.

Yazılım tarafından, İHA görüntülerinden nokta bulutu üretimi, 3B ağlar ve üretilen sayısal veriler kullanılarak yükseklik haritaları ve ortofoto üretimi gerçekleştirilir. Bununla birlikte yazılım veri üretiminin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi amacıyla uygun görüntülerin hızlı bir şekilde eşlenmesi aşamasında kullanıcıları yönlendirir (Pix4D, 2017).

Pix4D kullanıcılar için 15 günlük deneme hesabı sağlamaktadır.

Pix4D yazılımı tarafından görüntü işleme adımları sonrasında rapor hazırlanmaktadır. Bahsi geçen rapor içerisinde bulunan ana başlıklar ve bunlar içerisindeki genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### **Summary (Özet),**

- Proje ismi (Project),
- İşlem tarih bilgisi (Processed Time)
- Kamera modeli adı (Camera model name)
- Ortalama yer örnekleme mesafesi (Average ground sampling distance),
- Kaplama alanı (Area covered),
- Toplam işlem zamanı (Time for initial processing) verilir.

#### **Quality Check (Kalite Kontrol),**

- Her bir görüntüde ortalama anahtar nokta sayısı (Images),
- Projede işlenen görüntü sayısı (Dataset),
- Kameranın ilk pozisyonu ve hesaplanan pozisyonu arasında parametrelerdeki ortalama değişim miktarı (Camera Optimization)
- Yöneltilmiş her bir görüntü başına eşlenmiş ortak nokta ortalaması (Matching),
- YKN kullanım bilgisi (Georeferencing) verilir.

İlaveten ortofoto ve yoğun nokta bulutu kullanılarak üretilen sayısal yüzey modeline ait görselde bu kısımda verilir.

### **Calibration Details (Kalibrasyon Detayları),**

Yöneltmiş görüntü sayısı (Number of Calibrated Images) ve konumlandırılan görüntü sayısı (Number of Geolocated Images) tablo olarak verilmektedir. İlk görüntü konumlarını gösteren (Initial Image Position) şekil verilmektedir. YKN veya manuel bağ noktası kullanılmasıyla hesaplanan görüntü konumları da bu bölümde görsel olarak verilmektedir. Çalışma sahasından alınan fotoğraflara ait, XY konumunda üstten görünüş, XZ konumunda önden görünüş ve YZ konumunda yandan görünüş verilir. Bu gösterimde ilk hesaplanan görüntü konumları mavi nokta, hesaplanan nokta konumları ise yeşil nokta ile görselde belirtilmektedir.

Görselde kırmızı ile sunulan noktalar ise yöneltilmemiş veya projeye dâhil edilmemiş görüntüleri ifade eder. Koyu yeşil elips olarak görselde sunulan veri ise ışın demetleri dengelemesinde görüntü konum belirsizliklerini gösterir.

Kesin kamera konumları ve yöneltme belirsizliklerine ait ortalama hatalar bu kısımda tablo olarak verilmektedir. İlâveten görüntü bindirmeleri renklendirilmiş lejand içeren şekil ile gösterilir.

### **Bundle Block Adjustment Details (Işın Demetleri Dengelemesi),**

Işın demetleri dengelemesinde eşlenik noktaların karşılık geldiği cisim noktası sayısı (Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment), Işın demetleri dengelemesi için üç boyutlu nokta sayısı (Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment) ve cisim noktası koordinatlarının görüntüler üzerindeki koordinat farkları hatası (Mean Reprojection Error) değerleri tabloda gösterilir.

Ayrıca blok dengeleme ile belirlenen kamera iç yöneltme parametreleri arasındaki korelasyon grafik ile gösterilir. Kamera için başlangıç değerleri (Initial Values), hesaplanmış değerler (Optimized Values) ve belirsizlikler tabloda verilir.

İki boyutlu detay noktalar tablosu (2D Keypoints Table) alt başlığında ise; her bir görüntüdeki detay noktaları sayısı ile eşlenmiş detay noktaları sayıları verilmektedir.

**Geolocation (Jeodezik Koordinatlandırma),**

Her bir YKN ve denetim noktası ortalama hata değerleri ve bu çalışma alanına ait jeodezik koordinatlandırmanın ortalama karesel hata değerleri tabloda gösterilmektedir.

İlk İşleme Detayları (Initial Processing Details) alt başlığı altında ise, yazılım bilgilerinde (System Information) programın çalıştığı bilgisayara ait donanım ve işletim sistemi bilgileri verilmektedir. Koordinat sistemi (Coordinate System) de ise, görüntü koordinat sistemi ve sonuç ürün koordinat sistemi bilgileri bulunmaktadır. İşlem seçenekleri (Processing Options) kısmında ise, yazılım tarafından görüntü işleme esnasında kullanılan parametreler verilmektedir.

Nokta bulutu yoğunluğu detayları (Point Cloud Dencification Details) alt başlığında ise; kullanıcı tarafından görüntü işleme amacı ile seçilmiş olan parametreler ile işlem süresi verilmektedir. Ayrıca üretilen yoğun nokta bulutu sayısı ve her bir metreküpe düşen ortalama nokta yoğunluğu bu bölümde sonuçlar başlığı altında kullanıcılara sunulmaktadır. İlaveten, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretimi aşamasında kullanılan parametreler, znrlk ve işlem süresi bu kısımda sunulmaktadır.



### 3. VERİ TOPLAMA

#### 3.1. Çalışma Alanı Seçimi

Tez çalışmasına ait uygulama safhasında kullanılması planlanan veri setlerinin belirlenmesi ve elde edilmesi en zor süreçlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla tezin konusu kapsamında araştırılacak hususların irdelenmesi maksadıyla ihtiyaç duyulan verilerin temini tezin başında değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, ilerleyen zamanlarda veri temini ve işlenmesinde başka sorunların ortaya çıkmasını önleyecektir.

Yapılacak çalışmada üç farklı veri seti kullanılması planlanmış olup, söz konusu verilerden ikisi hali hazırda farklı platform ve faydalı yükler ile uçuş icra edilerek alımı yapılmış görüntülerdir. Söz konusu verilerden ilki; AB Projesi olarak başlayan ve Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Coğrafi Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı tarafından yürütülen Arazi Parsel Tanımlama Sistemi (Land Parcel Identification System-LPIS) projesi kapsamında ortofoto üretimi için elde edilen hava fotoğraflarıdır. Aynı alana ait ikinci veri seti ise, ATAY Mühendislik tarafından gerçekleştirilen bir proje kapsamında sabit kanat İHA uçuşu ile elde edilen görüntü verilerinden oluşmaktadır.

Mevcut alımı yapılmış iki farklı veri setinin kesiştiği alan Ankara'nın 65 km güney batısında bulunan Haymana ilçesine bağlı Yeşilyurt Köyüdür (Merkez: 39° 28' 18,09"K enlemi, 32° 29' 02.41"D boylamı). Söz konusu çalışma alanında tarımsal amaçlı kullanılan düşük kotta düz alanlar ile köyün hemen arkasından başlayan ve yaklaşık 60 metrelik yükseklik farkı oluşturan tepeler birarada bulunmaktadır. Yapılacak çalışmada farklı arazi topoğrafyalarının sonuca etkisini araştırmada bu durumun faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Aynı alana ait üçüncü veri seti ise, tez kapsamında gerçekleştirmiş olduğumuz döner kanat İHA uçuşu ile elde edilen görüntülerdir. Çalışma sahasının Google Maps ve Google Earth görüntüsü sırasıyla Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı konumu (Google Maps ve Google Earth görüntüsü).

### 3.2. Uçuş Planlaması

Mission Planner yazılımı kullanılarak uçuş planlaması yapılmıştır. Programa; çalışmada kullanılacak kamera bilgisi, ortalama deniz seviyesinden araziye göre görüntü alımının yapılması istenilen uçuş yüksekliği ile enine ve boyuna bindirme oranları girilerek uçuş planı hazırlanmıştır.

Yapılan planlama sonrası çalışma sahasının görüntülerinin alınması amacıyla 12 kolon olarak uçuş yapılmıştır. Uçuş planlama yazılımı tarafından; platform hızı 8 m/sn, her bir uçuş süresi yaklaşık 10 dakika, 3.43 saniyede bir fotoğraf alımı ve yer örneklem mesafesi (YÖM) 2.59 santimetre olarak hesaplanmıştır. Hazırlanan görev planlaması arazide İHA'ya yüklenmek için kaydedilmiştir. Kaydedilen bir uçuşa ait planlama Şekil 3.2'de sunulmuştur.



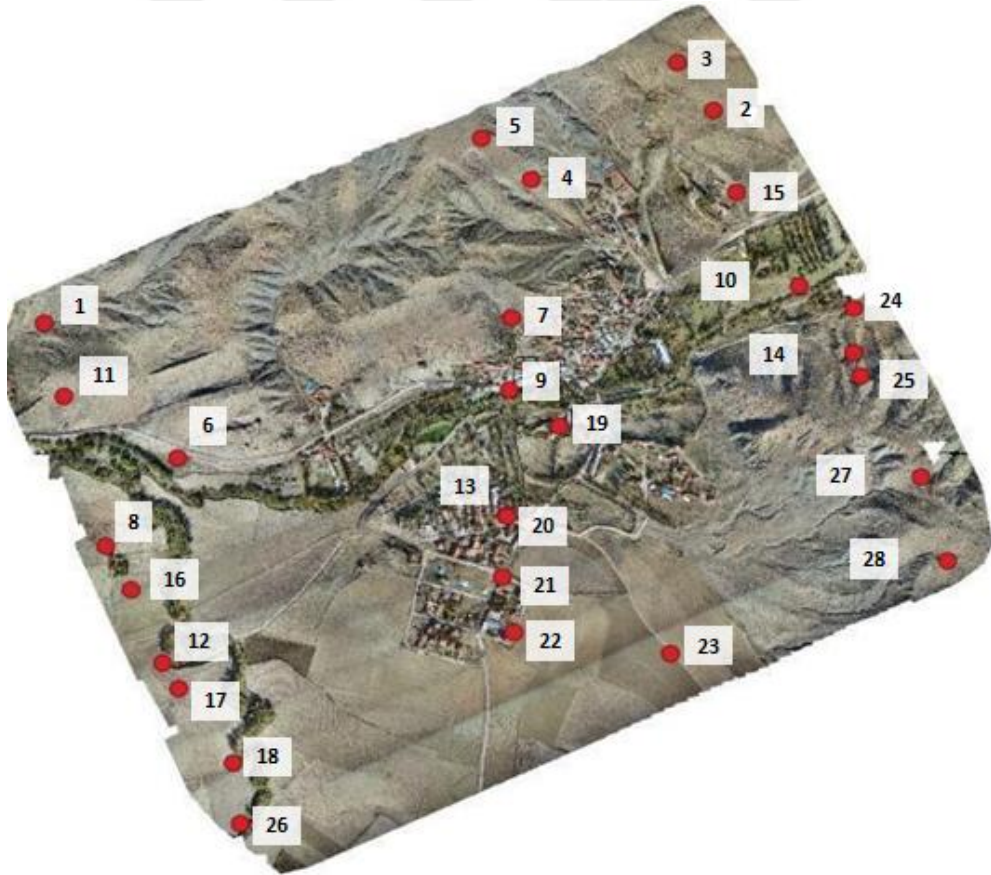
Şekil 3.2. Fotoğraf alımı maksadıyla yapılan uçuş planlaması.

### 3.3. Yer Kontrol Noktalarının Ölçümü

Verilerin hassas olarak işlenmesi için gerekli olan YKN, TUSAGA aktif ağına bağlanılarak GRS 1980 elipsoid datumunda 3 derecelik Türkiye Ulusal Referans Sisteminde, 33'üncü dilimde (ITRF96 evrensel olarak EPSG:5255) ölçülmüştür. Çalışma sahasında uçuş öncesi 28 adet YKN ölçümü yapılmıştır. İHA tarafından alımı yapılan görüntülerde belirgin olması maksadıyla sarı zemin üzerine siyah olarak işaretlenmiş standart bir kare arazide işaretleme ekipmanı olarak kullanılmıştır. TUSAGA aktif ağına bağlanılarak ASTECH Promark 500 GNSS alıcısı ile yapılan koordinat ölçümü Şekil 3.3' de gösterilmiştir. Ölçümü yapılan koordinatların bir kısmının projede YKN, diğerlerinin ise denetim noktası (DN) olarak kullanılması planlanmıştır. Döner kanat İHA görüntüleri için ölçülen yer kontrol noktaları Tablo 3.1' de, sabit kanat İHA görüntüleri için ölçülen yer kontrol noktaları Tablo 3.2' de verilmiştir. Ölçülen YKN'nın çalışma sahasına dağılımı döner kanat için Şekil 3.4 ve sabit kanat için Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Arazide YKN ölçümü.

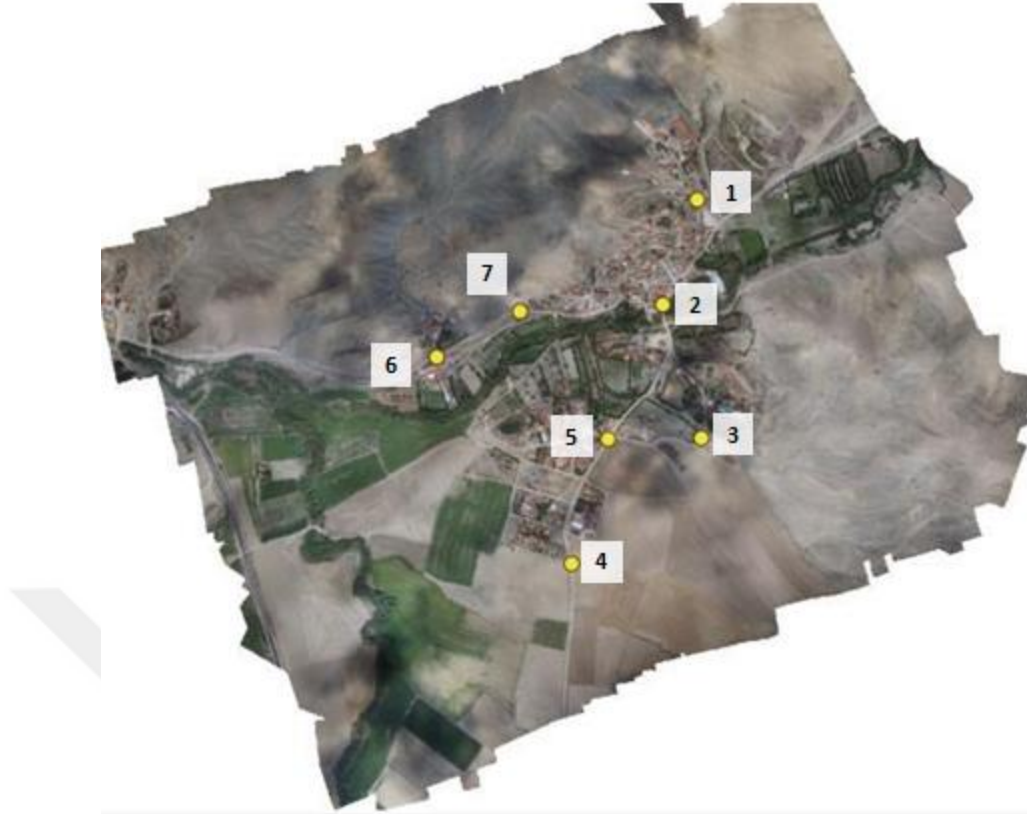


Şekil 3.4. Döner kanat İHA görüntüleri için araziye tesis edilmiş olan YKN'lerin çalışma sahasında dağılımı.

N.N.	X	Y	Z
1	4371124.4653	454433.6199	1050.2510
2	4371616.1467	455852.1698	1092.2473
3	4371727.1015	455775.7901	1110.4087
4	4371456.1506	455466.3481	1098.5610
5	4371550.9456	455358.9348	1120.3250
6	4370812.1843	454716.4214	1047.0627
7	4371135.7383	455423.3300	1073.2090
8	4370607.1913	454562.7179	1045.6693
9	4370969.1746	455419.6342	1055.4167
10	4371209.9042	456034.6035	1061.2657
11	4370955.6857	454474.1108	1067.0063
12	4370337.5212	454684.5315	1048.6767
13	4370679.1409	455411.5875	1066.8027
14	4371056.1500	456148.4747	1082.5463
15	4371426.4058	455899.7993	1074.4560
16	4370506.6769	454618.6186	1046.8247
17	4370279.4657	454719.5314	1051.3773
18	4370107.0462	454834.3442	1055.4020
19	4370886.0412	455524.9945	1060.7653
20	4370677.9103	455412.9889	1066.6997
21	4370537.3866	455404.6052	1071.7077
22	4370409.2541	455428.1236	1077.2543
23	4370360.6212	455760.8165	1087.4060
24	4371157.7169	456149.7555	1067.4697
25	4371002.1956	456164.5964	1094.2087
26	4369965.1200	454849.7571	1057.1540
27	4370767.2351	456291.4891	1127.0787
28	4370572.3935	456348.6016	1126.1563

**Tablo 3.1.** Döner kanat İHA görüntüleri için ölçülen YKN koordinatları.





**Şekil 3.5.** Sabit kanat İHA görüntüleri için araziye tesis edilmiş olan YKN'lerin çalışma sahasında dağılımı.

N.N.	X	Y	Z
1	4371270.5480	455689.8827	1066.9164
2	4370996.8865	455603.2341	1056.8414
3	4370650.0606	455700.7643	1062.5216
4	4370647.3155	455462.5858	1064.5631
5	4370325.4413	455369.8745	1072.3413
6	4370862.4362	455029.7440	1056.0603
7	4370979.7297	455238.9817	1056.2618

**Tablo 3.2.** Sabit kanat İHA görüntüleri için ölçülen YKN koordinatları.

### 3.4. Fotogrametrik Görüntülerin Elde Edilmesi

#### 3.4.1. Döner kanat İHA görüntüsü

Çalışma sahasında farklı platform ve sensör konfigürasyonu ile elde edilmiş olan verilerin test edilebilmesi amacıyla Ankara'da faaliyet gösteren Ottotek firmasına ait ticari olmayan ve kendileri tarafından tasarlanan 8 pervaneli multi rotor İHA ile uçuş yapılmıştır (Şekil 3.6). İHA dikine iniş kalkış kabiliyetine sahip olması nedeniyle, görüntü alımının yapılacağı çalışma sahasında uçuş için herhangi bir yardımcı sistem ve piste ihtiyaç bulunmamaktadır. Platform üzerinde otonom uçuş gerçekleştirilebilmesi

maksadıyla GPS sensöründen gelen verileri işleyen bir otopilot bulunmaktadır. Sistem iniş ve kalkış esnasında manuel olarak yönlendirilmekte olup uygun irtifada otonom uçuş sistemi devreye alınmakta veya çıkarılmaktadır. Platform 12000 mAH kapasiteye sahip iki batarya tarafından desteklenmektedir. Pil sağlığına bağlı olarak yaklaşık uçuş süresi 20 dakika olmaktadır.



Şekil 3.6. Multi rotor döner kanat İHA.

Mission Planner yazılımı kullanılarak yapılan ve uçuşa ait verileri içeren görev planlaması dizüstü bilgisayar yardımıyla bağlantı kablosu ile her bir kolon öncesi otopilot sistemine yüklenmektedir. Uçuş sonrası sensörler tarafından kaydedilen telemetri verisi diz üstü bilgisayara her kolon bitimi yüklenmiştir. Platform tarafından anlık telemetri verisi, uçuş paterni ve fotoğraf çekim noktaları diz üstü bilgisayara takılabilen anten vasıtasıyla Mission Planner üzerinden anlık olarak takip edilebilmektedir. Fakat İHA'nın görüş paterni içerisinde olmasına rağmen gerek platform üzerinden veri iletimi maksadıyla kullanılan anten çıkış gücü gerekse alıcı kapasitesi nedeniyle yaklaşık 300 m mesafeden sonra link kaybı yaşanmış ve uçuş anlık olarak takip edilememiştir.

Görüntü alımı maksadıyla platform üzerinde Sony A7 RII aynasız fotoğraf makinesi kullanılmış olup, teknik özellikleri Tablo 3.3' de verilmiştir. Fotoğraf makinesi kullanılan gimbal vasıtasıyla platforma sabitlenmekte ve platform hareketine bağlı olarak düşey pozisyonunu muhafaza etmektedir. Görev planlama yazılımında oluşturulan uçuş planına uygun olarak otopilot tarafından fotoğraf alımı ilgili koordinatta otonom olarak gerçekleştirilmektedir.

Görev planlama yazılımında çalışma sahasında görüntü alımı; boyuna %70, enine %40 bindirmeli olarak ve ortalama arazi seviyesinden 200 m yükseklikten planlanmış ve 12 kolonda 748 adet fotoğraf alımı gerçekleştirilmiştir.

Marka/Model	Ağırlık (g)	Sensör Tipi	Megapiksel	Odak Uzaklığı (mm)	Görüntü Boyutu (Piksel)
Sony A7RII	625	CMOS	42.4	35	7952x5304

**Tablo 3.3.** SONY A7 RII kamera özellikleri.

Mission Planner yazılımında planlanan her bir uçuş sıra ile İHA otopilot sistemine diz üstü bilgisayar kullanılarak arazide aktarılmıştır. İHA üzerinde kullanılan iki adet batarya ile uçuş süresi 20 dakika olarak hesaplanmasına rağmen telemetri verilerinin çeşitli kısıtlar nedeniyle anlık olarak dizüstü bilgisayar üzerinde takip edilememesi nedeniyle her kolon bitiminden sonra batarya değişimi yapılmıştır. 3 set yedek batarya olması nedeniyle çalışma sahası iki farklı günde uçulabilmiştir. Uçuş süresi yaklaşık 10 dakika olarak planlanmış ve her bir uçuşta yaklaşık 130 adet görüntü alımı yapılmıştır. Uçuş sonrasında otopilot sistemi tarafından kaydedilen telemetri verileri diz üstü bilgisayara aktarılmış ve yapılan büro çalışmasında Mission Planner yazılımı kullanılarak elde edilen görüntüler telemetri verileri kullanılarak yaklaşık olarak koordinatlandırılmıştır. Arazi çalışmasında yapılan uçuş öncesi hazırlık Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Fotoğraf alımı öncesi uçuş hazırlığı



### 3.4.2. Sabit kanat İHA Görüntüsü

Tez çalışması için kullanılan ikinci veri seti ise, sabit kanatlı bir platform olan ve Şekil 3.8’ de gösterilen C-ASTRAL BRAMOR ppX İHA tarafından elde edilen görüntülerdir. Söz konusu uçuş ATAY Mühendislik tarafından yapılmış olup görüntüler %80 boyuna bindirme, %60 enine bindirme oranında ve ortalama arazi kotundan 385 m uçuş yüksekliğinden elde edilmesi planlanmıştır. Görüntü alımında kullanılan kamera ise, Sony A600 olup temel teknik özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir. İHA’nın uçuş süresinin uzun olmasından dolayı tek sortide yapılan uçuş ile çalışma alanının tamamı kapsanmıştır.

C-ASTRAL BRAMOR ppX sahip olduğu GNSS PPK sensör kabiliyeti ile uzaktan algılama ve ölçme işlemleri için YKN kullanılmayan durumlarda da desimetre altında hızlı ve hassas YÖM sağlayan bir platformdur. C-ASTRAL BRAMOR ppX İHA’ ya ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

- Havada kalma süresi: 3.5 saat
- Teknik menzil Maksimum : 150 km
- Hız: 23 m/sn
- Kalkış ağırlığı: 4,7 kg
- Rüzgâr Dayanımı: 15 m/sn
- Güçlendirilmiş karbon yapı ve dayanıklı kompozit gövde
- Kolay kurulum ve hızlı göreve başlama
- Farklı sensörler ile çalışma yeteneği
- %100 otonom
- Darbelere karşı dayanıklı taşıma çantası
- Gerçek zamanlı sistem denetimi
- Katapult ile güvenli kalkış
- Paraşüt ile güvenli iniş
- Sorunsuz ve hızlı görev planlama
- Eş zamanlı görüntü aktarımı
- Yüksek performanslı batarya ve şarj cihazı
- Çalışma sıcaklığı -25°C / +40°C



Şekil 3.8.. C- ASTRAL İHA görseli (Url-3).

Marka/Model	Ağırlık (g)	Sensör Tipi	Megapiksel	Odak Uzaklığı (mm)	Görüntü Boyutu (Piksel)
Sony A600	468	CMOS	24.3	30	6000x4000

Tablo 3.4. Sony A6000 kamera özellikleri.

### 3.4.3. Hava fotogrametrisi görüntüsü

Aynı alana ait hava fotogrametrisi ölçülerinin İHA'lerden elde edilen veriler ile mukayese edilmesi tez çalışmasının amaçlarından biri olmuştur. Bu kapsamda, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Coğrafi Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı tarafından AB LPIS projesi kapsamında yapılan uçuşlar neticesinde elde edilen hava fotoğraflarının Haymana Yeşilyurt köyünü kapsayan kısmı sağlanmıştır. Proje kapsamında Türkiye üzerinde yapılan uçuşlar Beechcraft B200 Super King Air tipi ve D-IWAW tescilli uçak (Şekil 3.9) ile % 80 boyuna, % 40 enine bindirme oranında gerçekleştirilmiş olup, uçak üzerinde görüntü alımı için VEXCEL Imaging firmasına ait UltraCam Eagle hava kamerası (Şekil 3.10) kullanılmıştır.

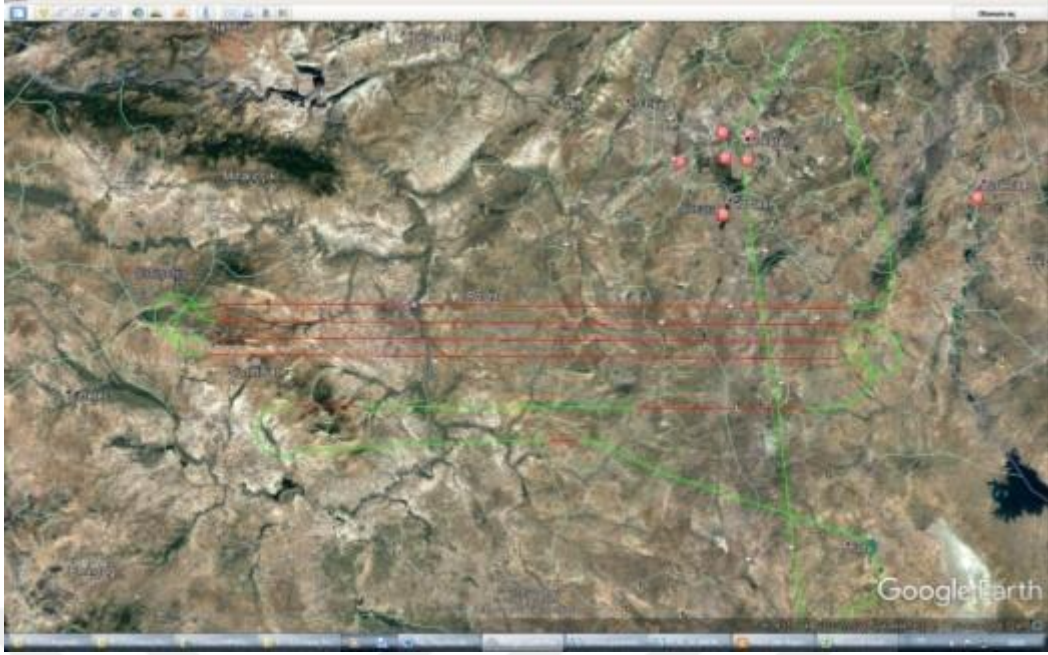
Proje kapsamında fotoğraf alımı 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. İcra edilen uçuşa ait iz ve kolon bilgisi Google Earth üzerinde Şekil 3.11'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.9.** Beechcraft B200 Super King Air (Url-4)



**Şekil 3.10.** UltraCam Eagle hava kamerası (Url-5).



**Şekil 3.11.** Uçuşa ait iz ve kolon bilgisi Google Earth görüntüsü.

Proje ile 1/5000'lik çalışma yapılması amacıyla fotoğraf alımları gerçekleştirilmiştir. Ortofoto için yer örnekleme mesafesi 30 cm olarak elde edilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

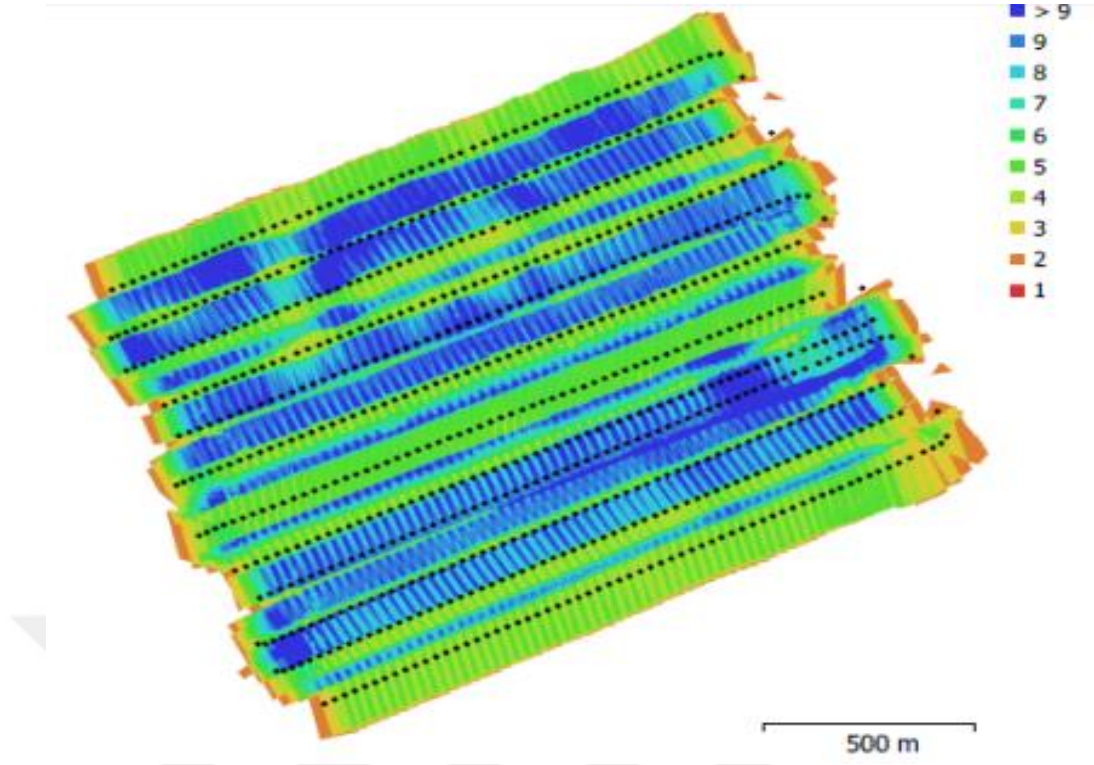
Döner kanat İHA üzerinde bulunan 42 MP kamera ile elde edilen 748 görüntü, sabit kanat İHA üzerinde bulunan 24 MP kamera ile alımı yapılan 575 görüntü ile klasik fotogrametri amaçlı alımı yapılmış olan hava fotoğraflarının işlenmesi için ciddi bir bilgisayar konfigürasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada işlenecek verilerin yoğunluğu, kullanılacak farklı yazılımlar ve üretilen veri sayısı nedeniyle HP Z400 Xeon işlemci, Nvidia Quadro 4000 ekran kartı ve 12 GB RAM kapasitesine sahip 3 adet iş istasyonu kullanılmıştır.

### 4.1. Döner Kanat İHA Görüntülerinin Fotogrametrik Değerlendirmesi

#### 4.1.1. Nokta bulutu oluşturma

Sabit kanat ve döner kanat İHA'lar tarafından elde edilen görüntüler Agisoft ve Pix4D yazılımlarının standart algoritmaları kullanılarak işlenmiştir. Alımı yapılan fotoğraflar yazılımlar tarafından SfM algoritması kullanılarak eşlenmekte ve seyrek nokta bulutu oluşturulmaktadır. Daha sonra ortak piksellerin eşlenmesi ile otomatik olarak yoğun nokta bulutu üretilmektedir.

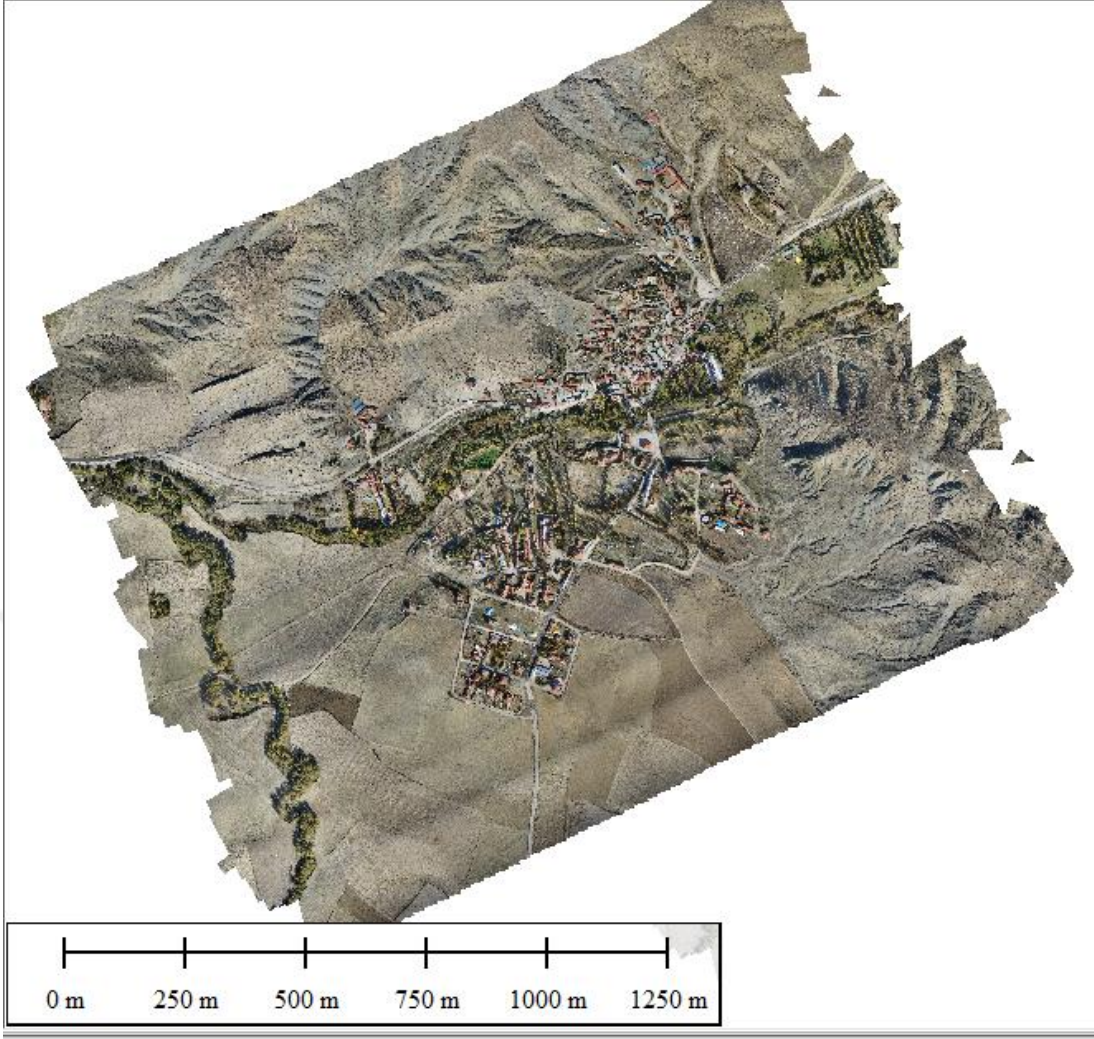
Döner kanat İHA tarafından 748 adet görüntü alımı yapılmış ve oluşturulan projede değerlendirmeye alınmıştır. Fotoğrafların uçuş kolonları ve bindirme durumları Şekil 4.1' de verilmiştir. Fotoğraftan nokta bulutu üreten yazılımlar kamera kalibrasyon bilgilerine gereksinim duymadan fotoğrafların yöneltmesini yapabilmektedir. Bu çalışmada da kamera kalibrasyon bilgileri kullanılmadan fotoğrafların dengelemesi yapılmıştır.



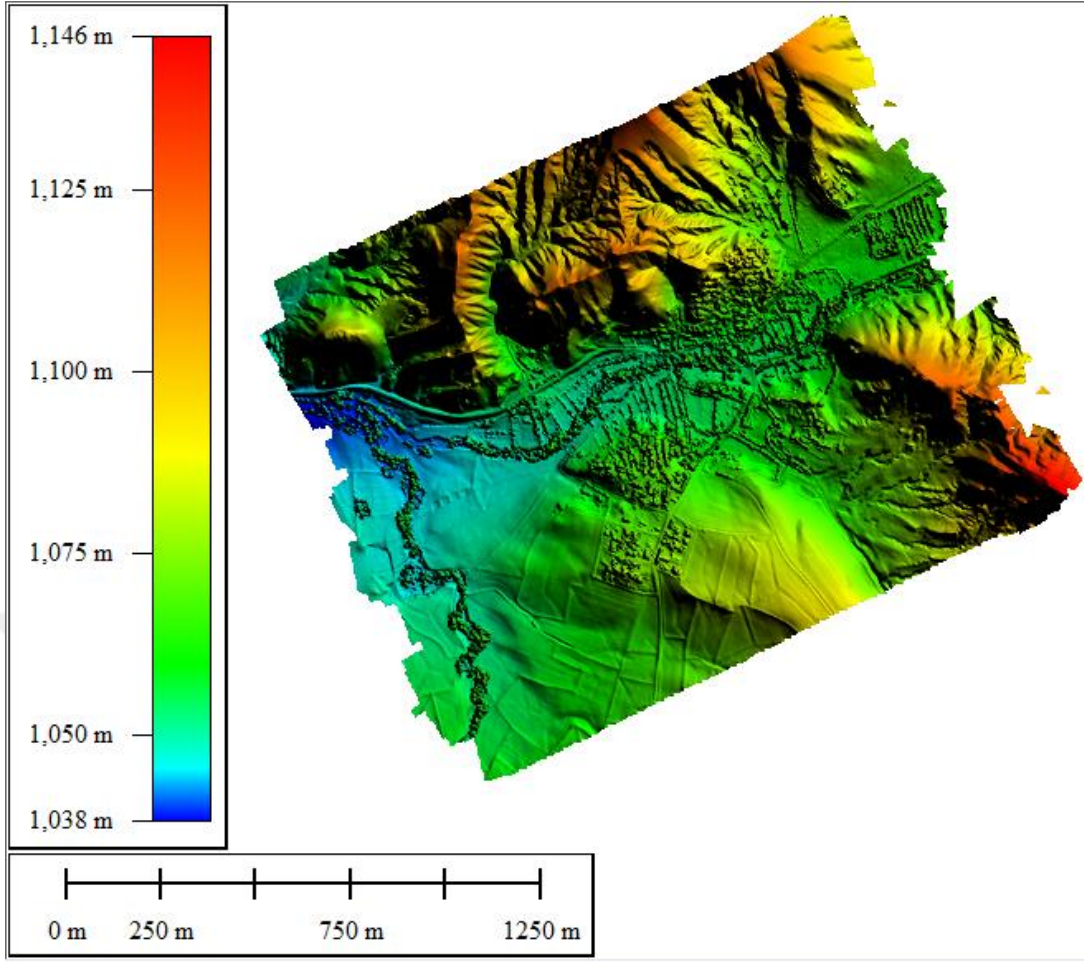
Şeki 4.1. Döner kanat İHA kamera konumları ve bindirme durumları.

Agisoft yazılımından elde edilen ortofoto Şekil 4.2, sayısal yüzey modeli ise, Şekil 4.3' de verilmiştir.





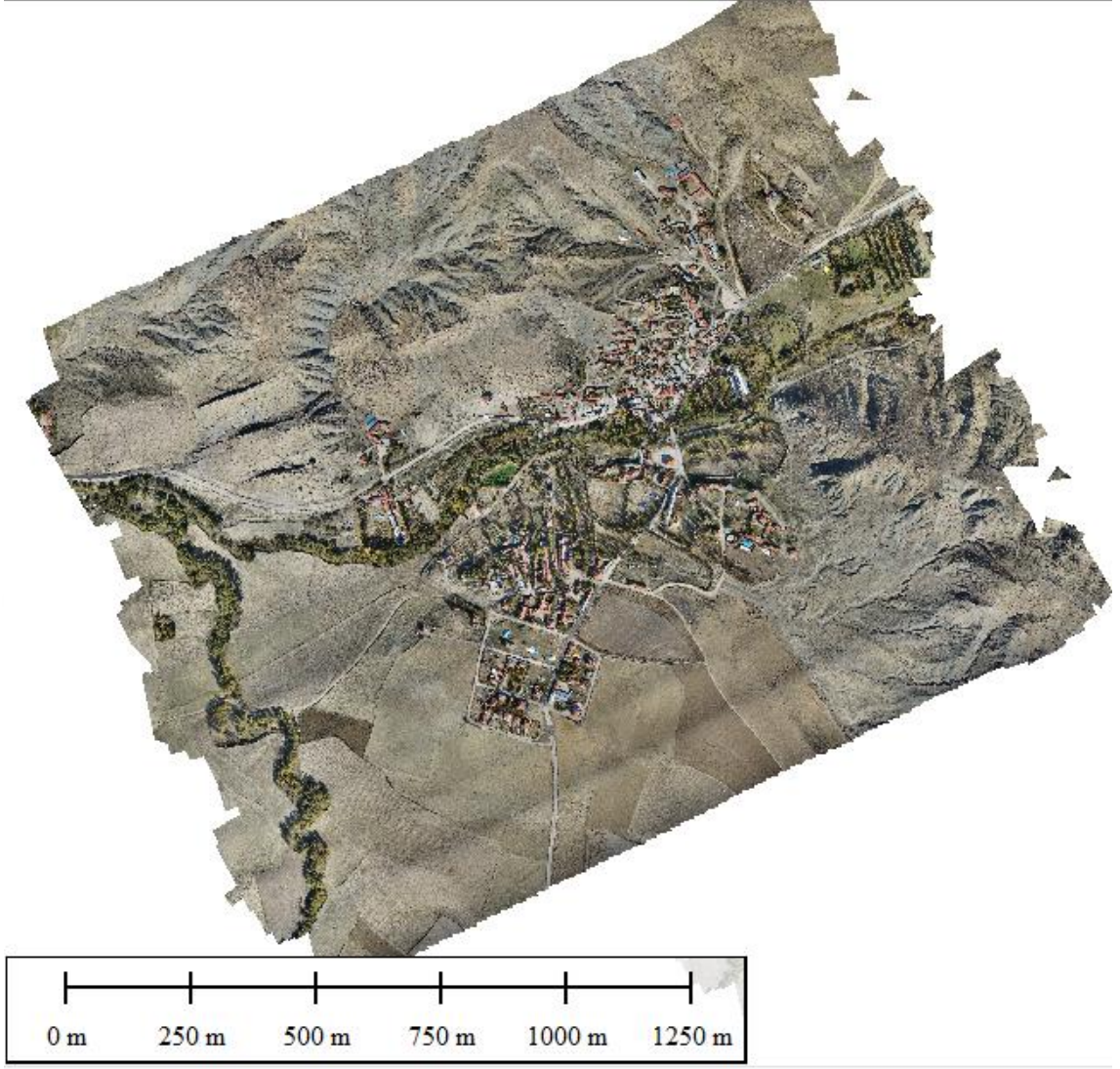
Şekil 4.2. Döner kanat İHA görüntülerinden Agisoft yazılımı ile üretilen ortofoto.



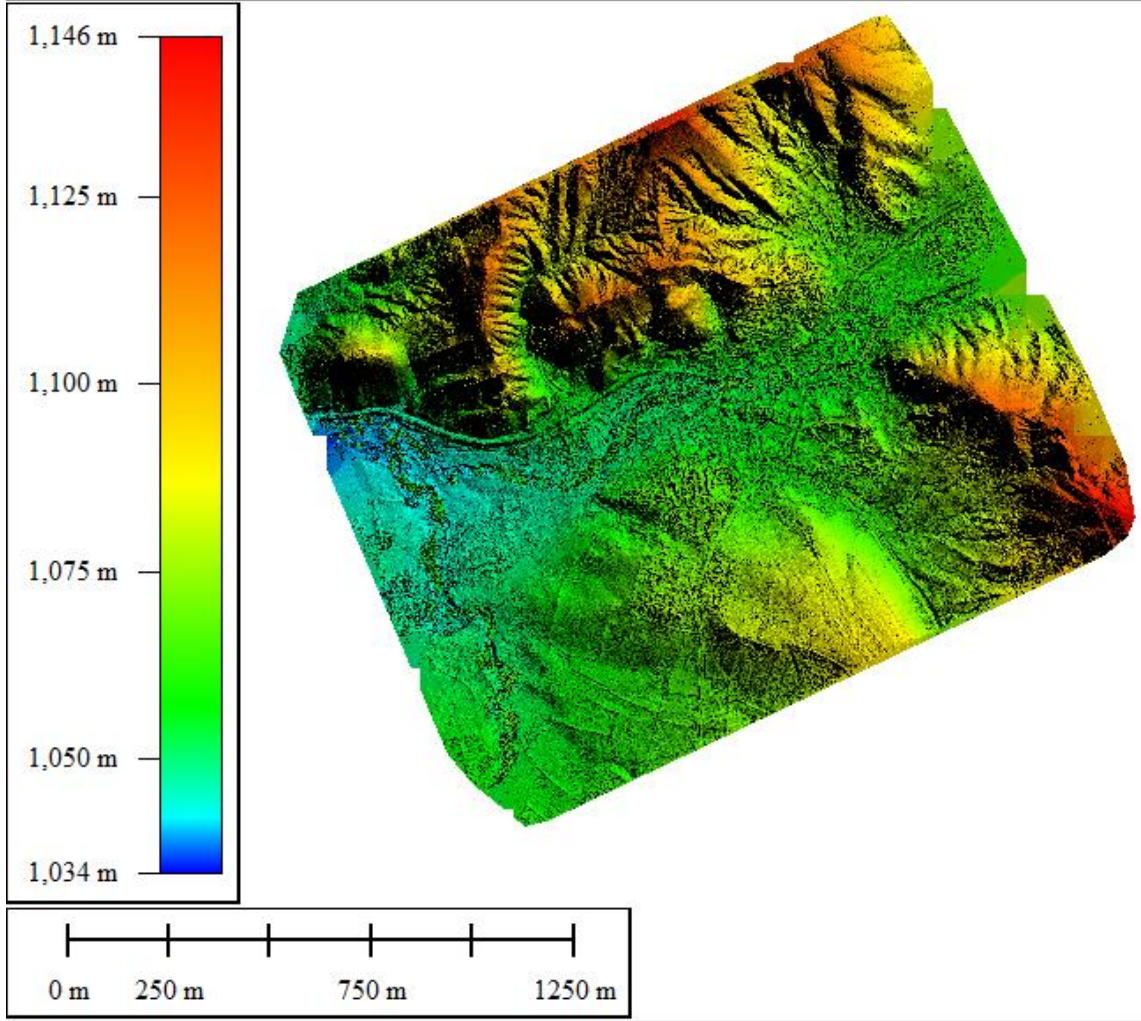
Şekil 4.3. Döner kanat İHA görüntülerinden Agisoft yazılımı ile üretilen sayısal yükseklik verisi.

Döner kanat İHA ile alınan görüntüler Pix4D yazılımı kullanılarak da değerlendirilmiş ve nokta bulutu oluşturulmuştur. Elde edilen ortofoto Şekil 4.4, sayısal yüzey modeli ise Şekil 4.5' de verilmiştir.





Şekil 4.4. Döner kanat İHA görüntülerinden Pix4D yazılımı ile üretilen ortofoto.



Şekil 4.5. Döner kanat İHA görüntülerinden Pix4D yazılımı ile üretilen sayısal yükseklik verisi.

Pix4D ve Agisoft ile yapılan fotogrametrik değerlendirme ve yoğun nokta bulutu oluşturmaya ilişkin bilgiler Tablo 4.1' de verilmiştir.

	<b>AgiSoft</b>	<b>Pix4D</b>
Fotoğraf Sayısı	748	748
Uçuş Yüksekliği (m.)	195	195
Kapladığı Alan	2.49 km <sup>2</sup>	2.53 km <sup>2</sup>
Yer Örneklem Mesafesi (cm/piksel)	2.3	2.31
Bağ Noktası Sayısı	202158 (medium)	9136418 (standart)
Nokta Projeksiyonu Sayısı	845090	29605467
Yoğun Nokta Sayısı	356537862 (medium)	309788019
Reprojection Error	0.464 piksel	0.125 piksel
Nokta Bulutu Oluşturma Süresi	9 saat 41 dk.	15 saat

**Tablo 4.1.** Döner kanat İHA görüntülerinin AgiSoft ve Pix4D yazılımları ile değerlendirmesine ilişkin bilgiler.

#### 4.1.2. Jeodezik koordinatlandırma

Oluşturulan yoğun nokta bulutlarının jeodezik koordinatlandırması iki şekilde yapılmıştır.

- a. Dolaylı jeodezik koordinatlandırma (Yer kontrol noktaları kullanılarak)
- b. Doğrudan Jeodezik Koordinatlandırma (Uçuş esnasındaki kamera konum bilgileri kullanılarak)

##### 4.1.2.1. Dolaylı jeodezik koordinatlandırma

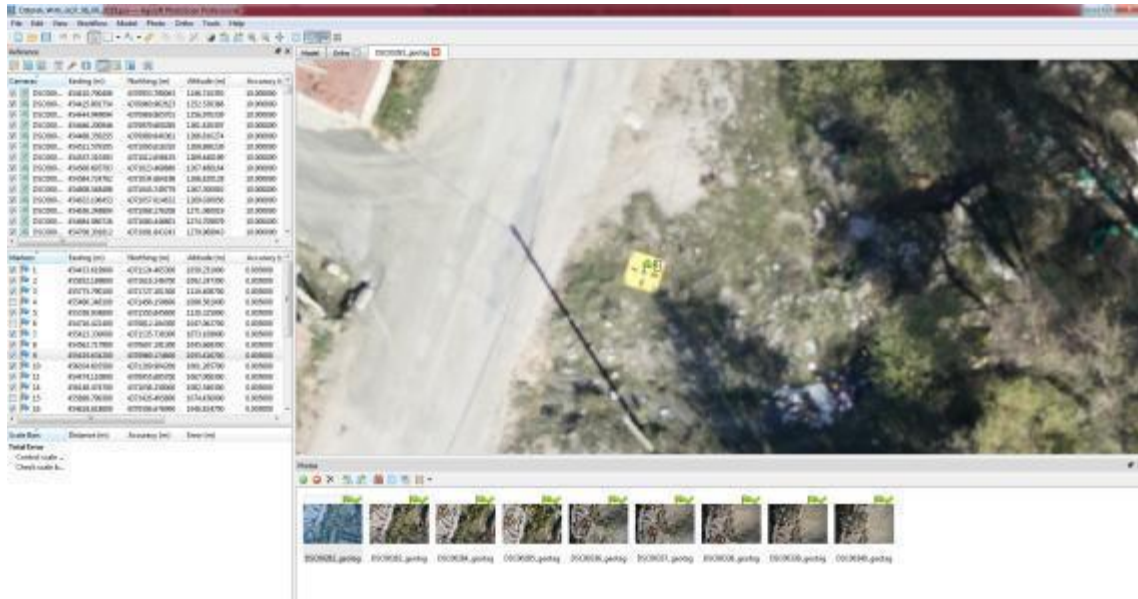
Jeodezik kordinatlandırma için arazide tesis edilen homojen dağılımlı 19 YKN kullanılmıştır. Dönüşümün doğruluğu ise, araziye tesis edilmiş olan 5 adet denetim noktasındaki koordinat farkları ile değerlendirilmiştir. Agisoft ve Pix4D yazılımlarında aynı yer kontrol ve denetim noktaları kullanılmıştır. YKN ve DN dağılımları Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



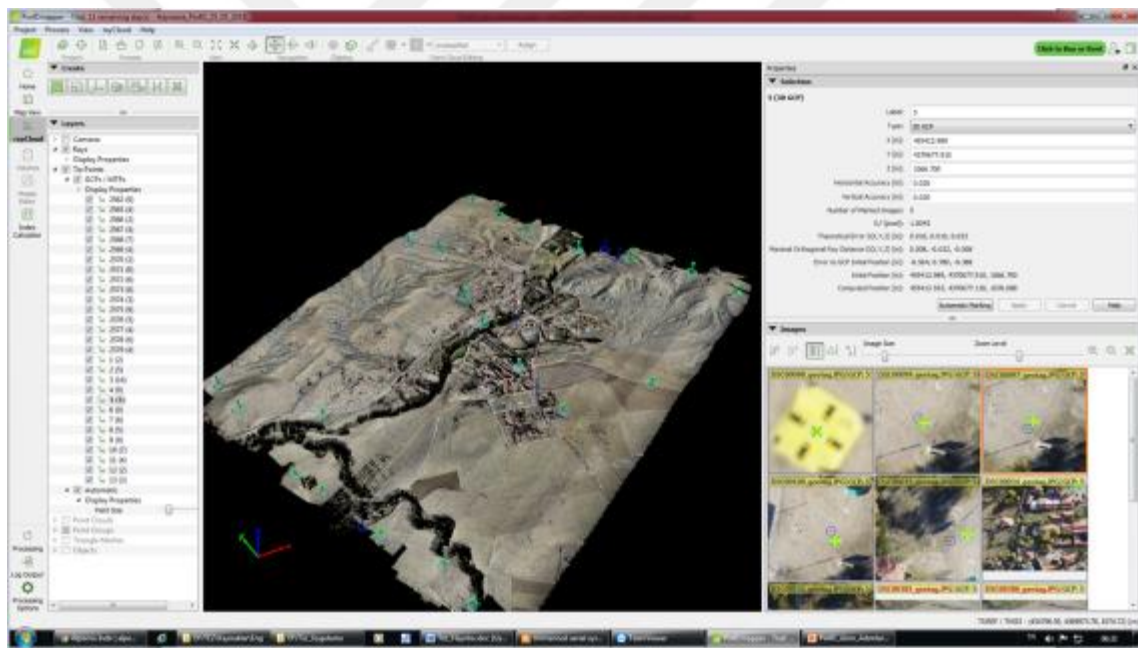
Şekil 4.6. YKN (kırmızı renkli) ve DN (sarı renkli) dağılımları.

Modelin yöneltmesinde kullanılan kontrol noktaları en az 2 fotoğrafta işaretlenerek kullanılmıştır. Agisoft'ta yapılan yer kontrol noktası ölçüm işlemi Şekil 4.7'de, Pix4D için aynı işlem Şekil 4.8' de gösterilmiştir.



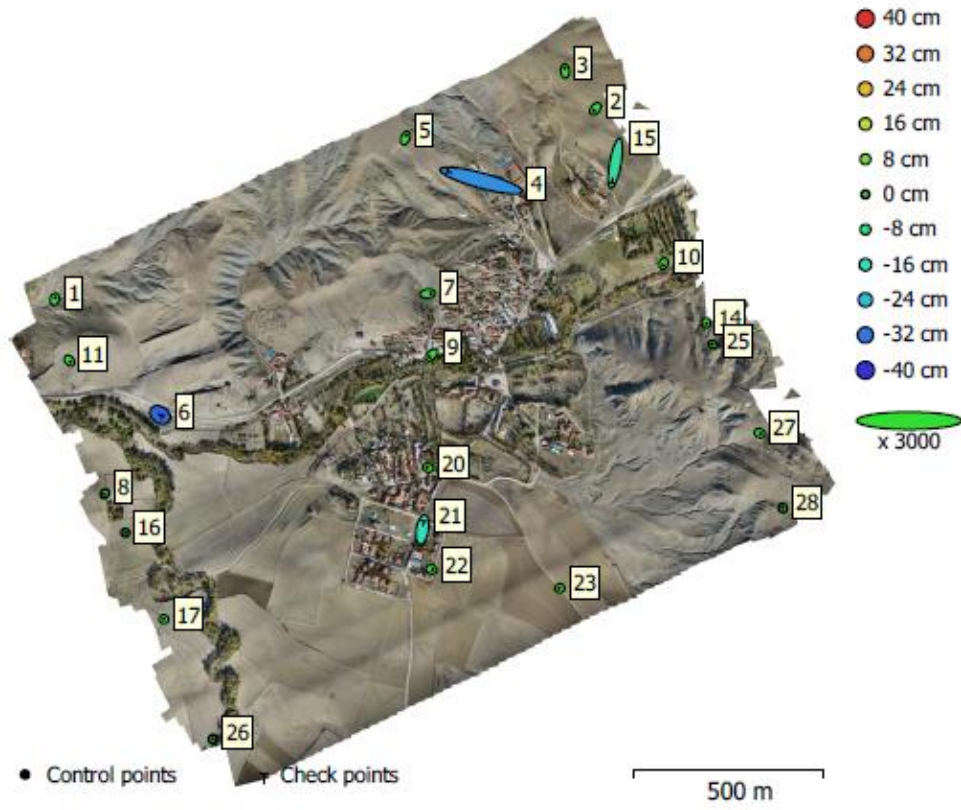


Şekil 4.7. Agisoft yazılımında YKN'nin görüntü üzerinde işaretlenmesi.



Şekil 4.8. Pix4D yazılımında YKN'nin görüntü üzerinde işaretlenmesi.

Agisoft ile yapılan değerlendirmede yer kontrol noktası konumları ve oluşan hatalar Şekil 4.9' da ve kontrol noktalarındaki farkların karesel ortalama hataları (m) ise Tablo 4.2' de verilmiştir.

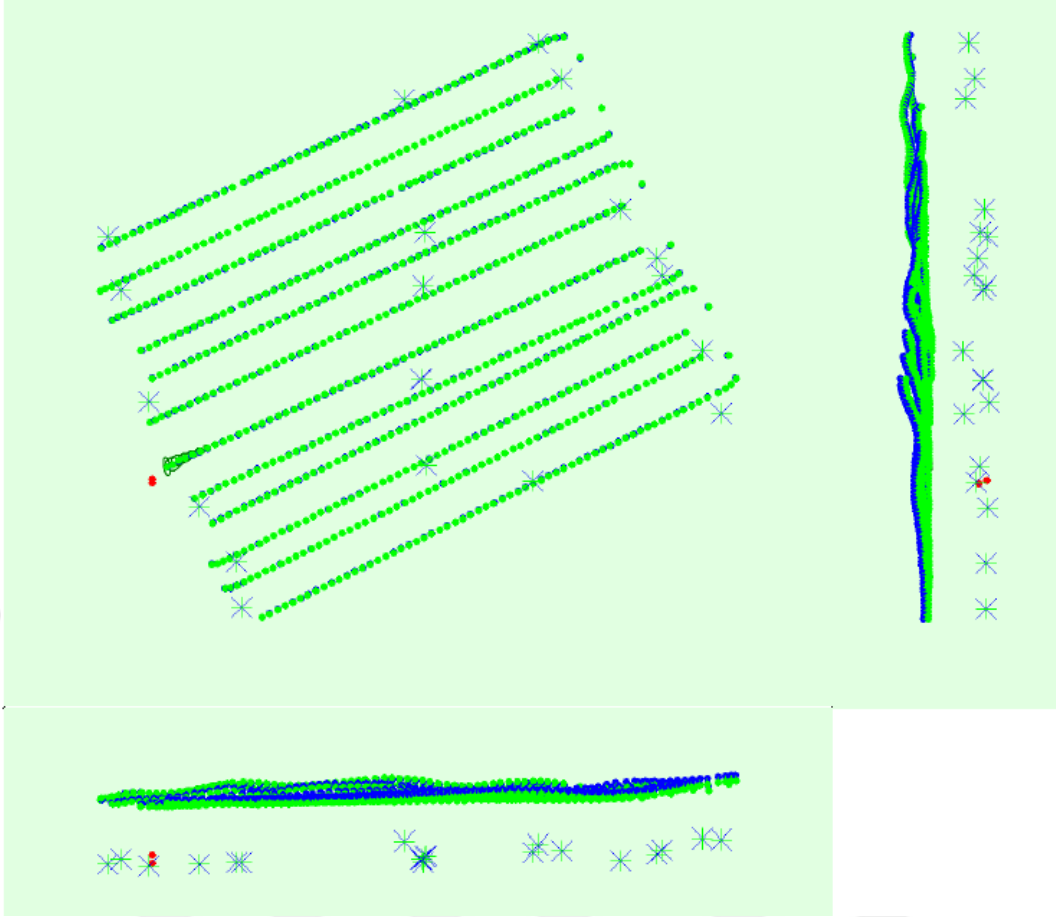


**Şekil 4.9.** Döner kanat İHA görüntülerini Agisoft ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN konumları ve oluşan hatalar (XY düzlemindeki hatalar elips büyüklükleri ile, yükseklik hatası ise renkli lejand ile ifade edilmiştir).

YKN Sayısı	$m_x$ (cm)	$m_y$ (cm)	$m_z$ (cm)	$m_{xy}$ (cm)	$m_p$ (cm)
19	0.20	0.22	0.44	0.29	0.53

**Tablo 4.2.** Döner kanat İHA görüntülerinin Agisoft ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN KOH değerleri.

Benzer şekilde aynı YKN ve DN'ler kullanılarak Pix4D yazılımı ile jeodezik koordinatlandırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.10 ve Tablo 4.3' de verilmiştir.



**Şekil 4.10.** Döner kanat İHA görüntülerini Pix4D ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN konumları ve oluşan hatalar.

YKN Sayısı	$m_x$ (cm)	$m_y$ (cm)	$m_z$ (cm)	$m_{xy}$ (cm)	$m_p$ (cm)
19	0.30	0.27	0.06	0.04	0.41

**Tablo 4.3.** Döner kanat İHA görüntülerinin Pix4D ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN KOH değerleri.

Agisoft ve Pix4D ile yapılan jeodezik koordinat dönüşümleri yer kontrol noktası olarak kullanılmayan ve arazide koordinatları ölçülen denetim noktalarındaki kalıntı farklarla değerlendirilmiştir (Tablo 4.4). Denetim noktalarındaki koordinat farkları aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$V_Y = Y_{\delta} - Y_h \quad (4.1)$$

$$V_X = X_{\delta} - X_h \quad (4.2)$$

$$V_Z = Z_{\delta} - Z_h \quad (4.3)$$

$$m_y = \bar{\mp} \sqrt{\frac{(V_Y V_Y)}{n}} \quad (4.4)$$

$$m_x = \bar{\tau} \sqrt{\frac{(V_x V_x)}{n}} \quad (4.5)$$

$$m_z = \bar{\tau} \sqrt{\frac{(V_z V_z)}{n}} \quad (4.6)$$

$$m_p = \bar{\tau} \sqrt{((V_Y V_Y) + (V_x V_x) + (V_z V_z))} \quad (4.7)$$

Bu bağıntılarda  $\bar{o}$  ve  $h$  alt indisleri sırasıyla ölçülen ve hesaplanan koordinatları ifade etmektedir. Nokta sayısı ise,  $n$ 'dir.

Nokta No	Agisoft Hata Değerleri			Pix4D Hata Değerleri		
	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
4	-0,0254	0,0601	0,307	-0,0154	0,0594	0,124
6	0,0283	0,0094	0,3387	-0,0257	-0,0016	0,1907
15	0,0418	0,0313	0,103	0,0078	0,0233	-0,054
19	-0,1818	0,0975	0,2823	-0,1738	0,1065	0,0873
21	0,0116	0,0052	0,1677	-0,0314	0,0272	-0,0433
<b>m<sub>0</sub></b>	<b>0,0853</b>	<b>0,0533</b>	<b>0,2559</b>	<b>0,0802</b>	<b>0,0568</b>	<b>0,1133</b>
<b>m<sub>p</sub> = 0.2749</b>			<b>m<sub>p</sub> = 0.1499</b>			

**Tablo 4.4.** Döner kanat İHA ölçülerinin dolaylı jeodezik koordinatlandırmasında denetim noktalarındaki koordinat farkları.

Döner kanat İHA tarafından elde edilen görüntülerin jeodezik koordinatlandırması iki farklı yazılım ile mukayese edilmiş olup X ve Y karesel ortalama hata değerleri her iki yazılımda da birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Yükseklik verisi karesel ortalama hatasının ise Pix4D için 11,33 cm, Agisoft yazılımı için ise 25.58 cm olarak hesaplanmıştır. Z değerindeki hata farkının ise hem platform hem de elde edilen görüntülerin yöneltmesi amaçlı platform üzerinde kullanılan faydalı yükün hassasiyeti ile doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. X ve Y konum hassasiyetlerinin ise yeterli sayıda kontrol noktası kullanılmasından dolayı birbirine çok yakın değerlerin elde edildiği ve kullanılan her iki yazılımında yeterli performans sunduğu değerlendirilmektedir.

#### 4.1.2.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma

Oluşturulan nokta bulutu modellerinin kontrol noktası kullanmadan doğrudan jeodezik koordinatlandırması yapılmıştır. Doğrudan jeodezik koordinatlandırmada uçuş

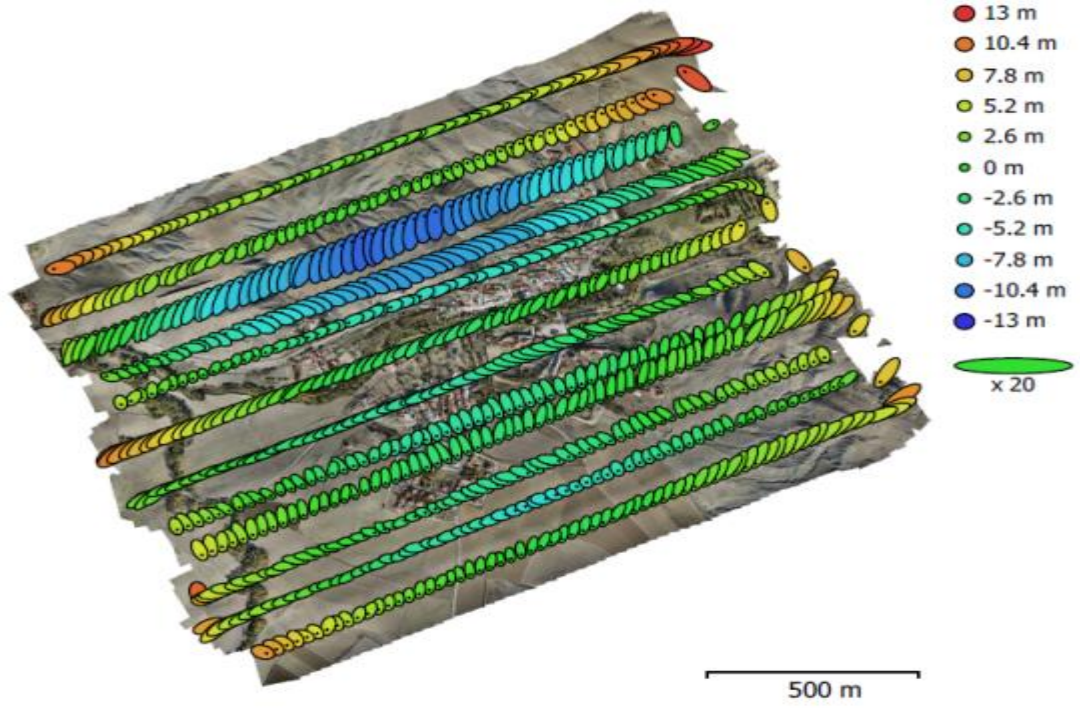


esnasındaki GPS ile ölçülen kamera konum bilgileri kullanılmıştır. Dönüşümün doğruluğu arazide tesis edilen ve koordinatları ölçülen 10 adet denetim noktasındaki (Şekil 4.11) kalıntı hatalar ile değerlendirilmiştir (Tablo 4.5). Ölçülen kamera konum bilgileri kullanılarak tüm sahanın görüntüleri ışın demetleri dengelemesi ile değerlendirilmiş ve kamera konumları hesaplanmıştır.

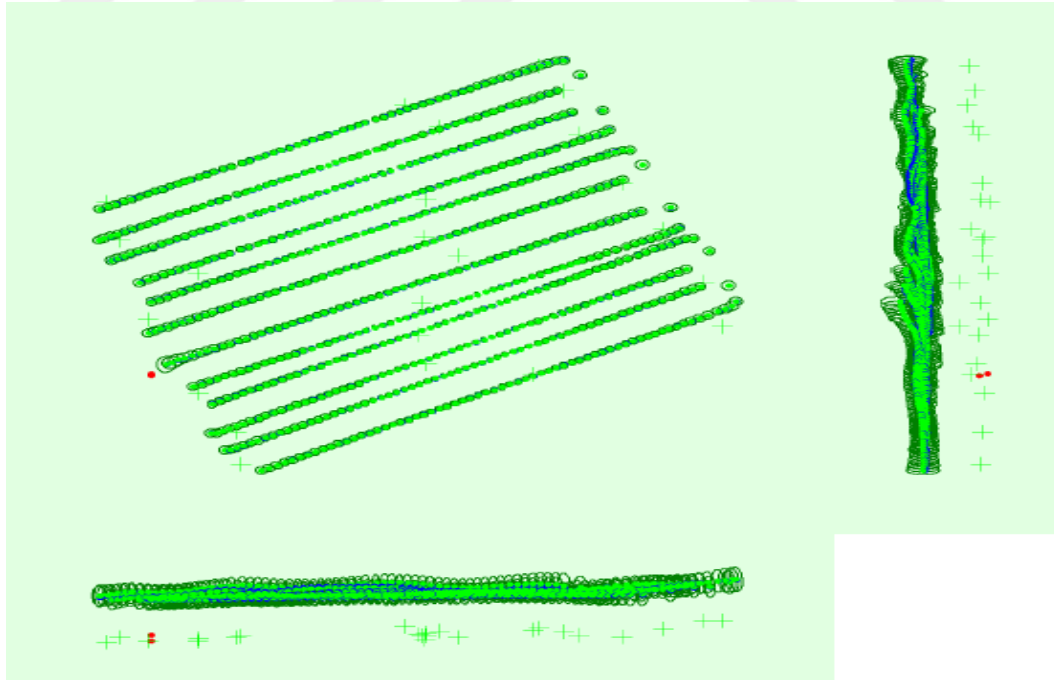


**Şekil 4.11.** Döner kanat İHA görüntülerinin doğrudan jezik koordinatlandırma doğruluğunu hesaplamak için kullanılan denetim noktaları (sarı ile işaretlenmiş).

Dengeleme sonunda kamera konumlarında oluşan hatalar Agisoft için Şekil 4.12'de, Pix4D için Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.12.** Döner kanat İHA görüntülerinin Agisoft ile doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında kamera konumları ve dengeleme sonunda hesaplanan hatalar (Kamera konumlarının XY düzlemindeki farkları elips büyüklükleri, yükseklik farkları ise renkli lejand ile ifade edilmiştir).



**Şekil 4.13.** Döner kanat İHA görüntülerinin Pix4D ile doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında kamera konumları ve dengeleme sonunda hesaplanan hatalar (Kamera konumlarında oluşan değişiklikler elips büyüklükleri ile gösterilmiştir. XY: üstten- ana şekil, XZ:önden-altta, YZ: yandan -sağda).

Nokta No	Agisoft Hata Değerleri			Pix4D Hata Değerleri		
	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
3	-2,1165	-2,4629	-5,5663	1,0575	-1,9329	-1,4913
4	-1,1444	-1,4839	1,08	1,0386	-1,5389	-1,045
8	3,7703	2,7929	-11,6737	2,0423	-0,4631	-6,0597
9	1,4456	-1,8168	-1,4693	1,8136	-1,4598	-6,0563
11	1,4507	2,8778	-6,2627	1,3427	-0,5612	-1,6887
20	2,0063	-1,6521	-6,2173	1,9372	-1,2681	-9,3003
15	-0,9522	-3,7817	-6,571	1,6998	-2,0267	-4,8310
18	4,1402	0,9682	-17,525	2,5412	-0,9788	-14,5800
22	2,8881	-1,4824	-9,7047	1,9271	-1,1754	-12,9087
25	1,4636	-3,9846	-17,4373	1,7696	-1,3796	-12,1733
<b>m<sub>0</sub></b>	<b>2,3823</b>	<b>2,5237</b>	<b>9,9850</b>	<b>1,7721</b>	<b>1,3683</b>	<b>8,4664</b>

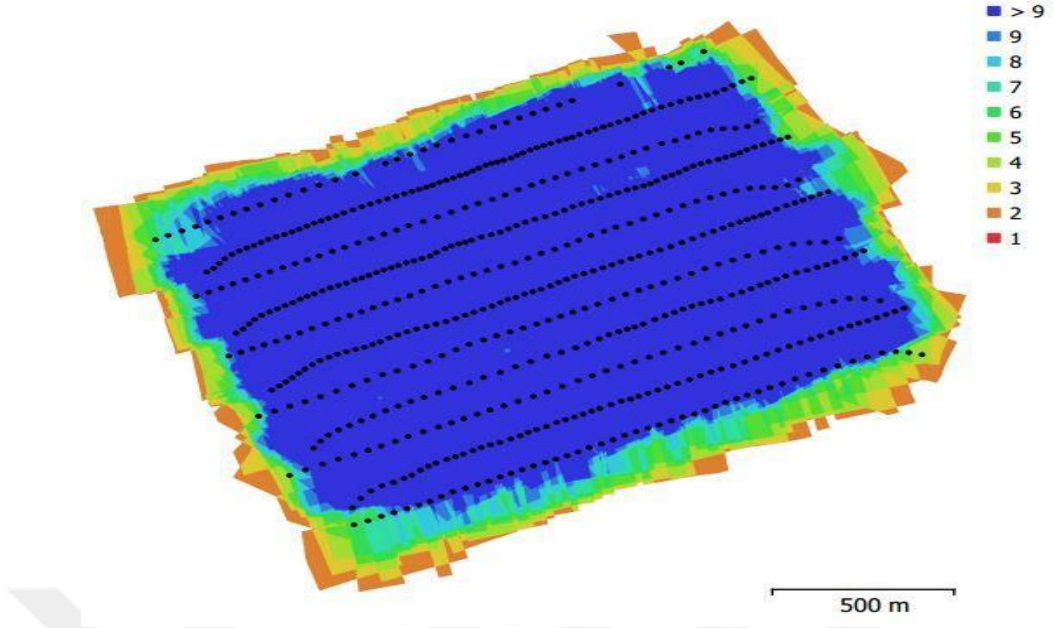
**Tablo 4.5.** Döner kanat İHA ölçülerinin doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında denetim noktalarındaki koordinat farkları

## 4.2. Sabit Kanat İHA Görüntülerinin Fotogrametrik Değerlendirmesi

### 4.2.1. Nokta bulutu oluşturma

Sabit kanat İHA tarafından elde edilen görüntüler Agisoft ve Pix4D yazılımlarının standart algoritmaları kullanılarak işlenmiştir. Seyrek nokta bulutu üretilerek ve her bir görüntü birbirine göre konumlandırılarak yönlendirilmesi yapılmaktadır. Daha sonra elde edilen görüntüler üzerinde ortak piksellerin eşlenmesi ile otomatik olarak yoğun nokta bulutu oluşturulmaktadır.

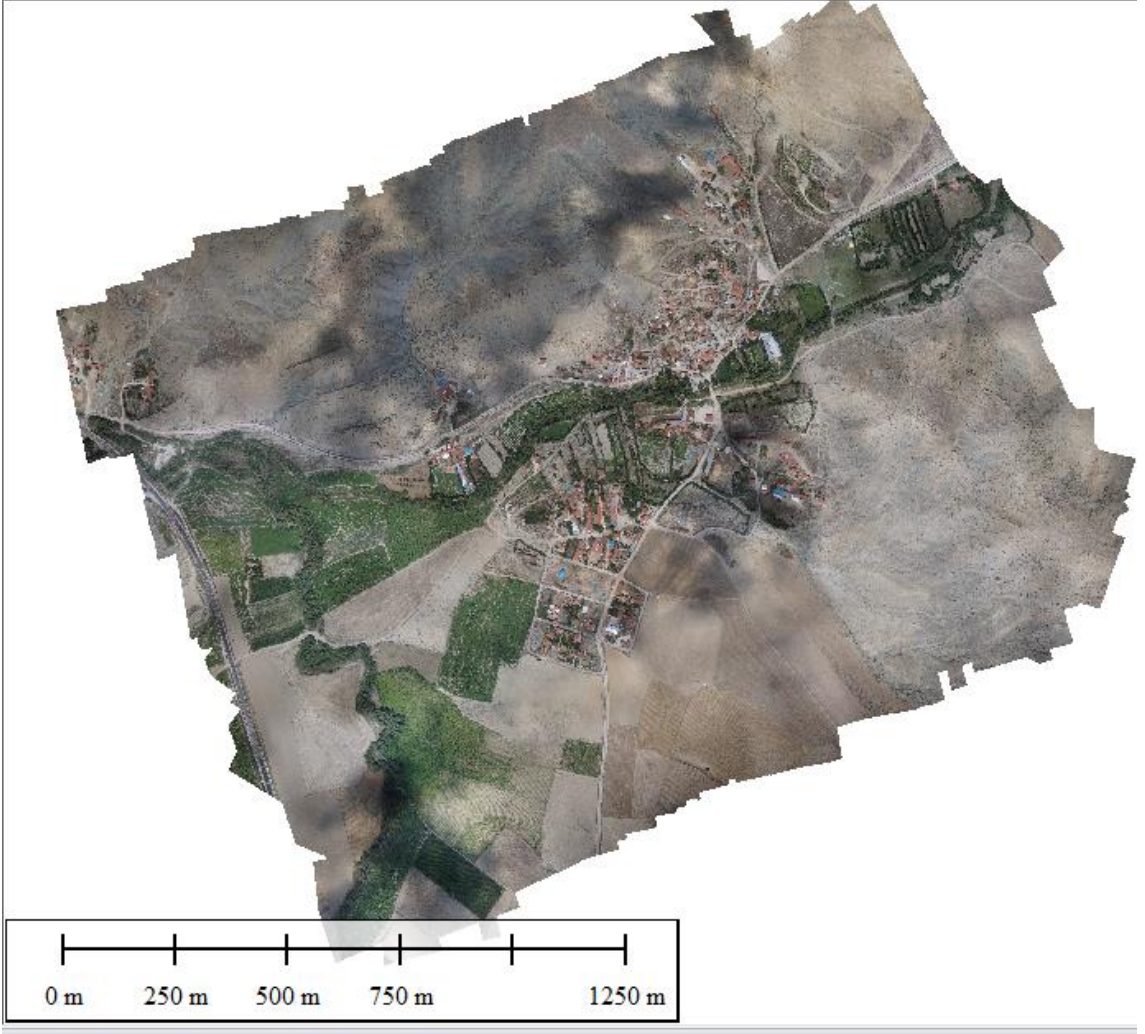
Sabit kanat İHA tarafından çalışma sahasına ilişkin 575 adet görüntü alımı yapılmıştır. Fotoğrafların uçuş kolonları ve bindirme durumlarına ait Agisoft yazılım örneği Şekil 4.14'de verilmiştir. Yoğun nokta bulutu üretimi amacıyla kamera kalibrasyon bilgilerine gereksinim duymadan fotoğrafların yönlendirilmesi İHA hava fotogrametrisi yazılımları tarafından yapılabilmektedir. Bu nedenle çalışmada fotoğrafların dengelemesi kamera kalibrasyon bilgileri kullanılmadan yapılmıştır.



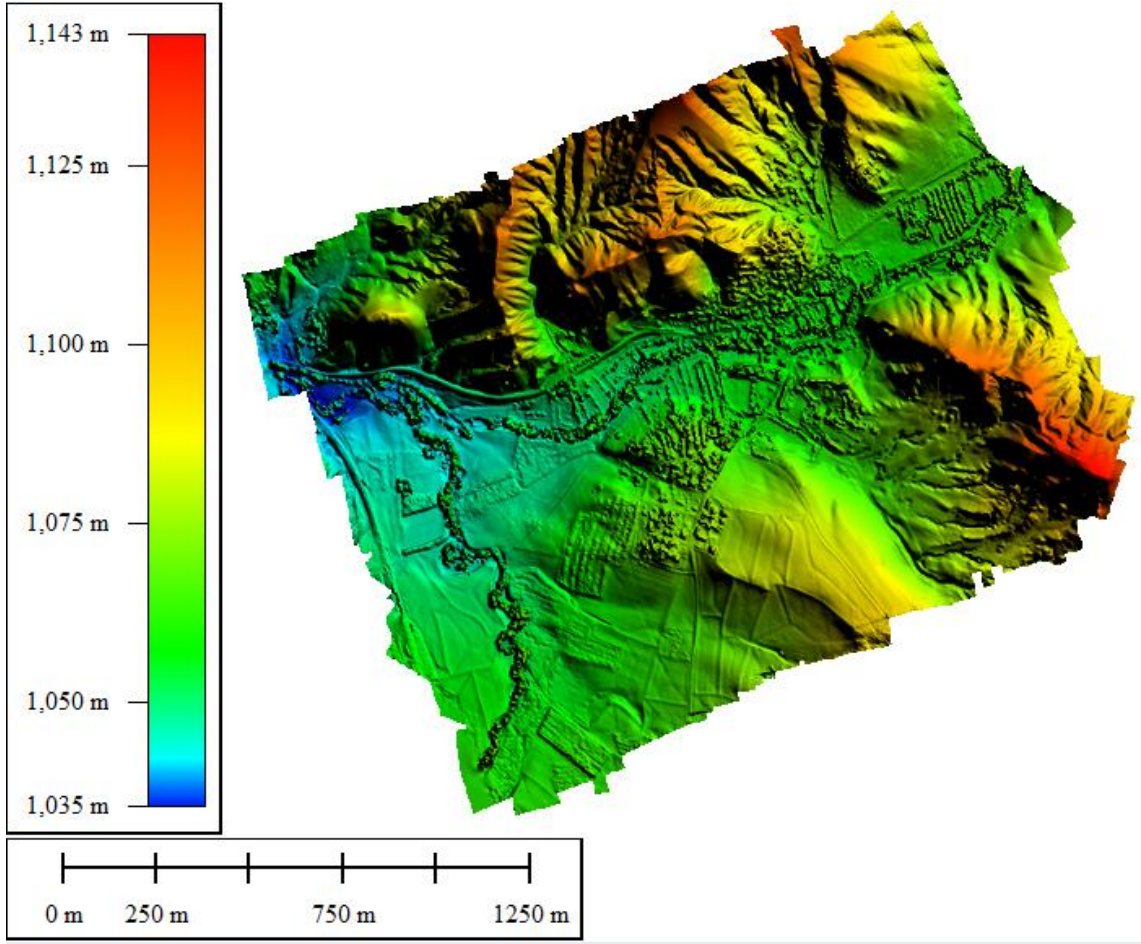
**Şekil 4.14.** Sabit kanat İHA kamera konumu ve bindirme durumları.

Agisoft yazılımı kullanılarak üretilen ortofoto Şekil 4.15' de, yükseklik verisi ise Şekil 4.16' da verilmiştir.





Şekil 4.15. Sabit kanat İHA görüntülerinden Agisoft yazılımı ile üretilen ortofoto.



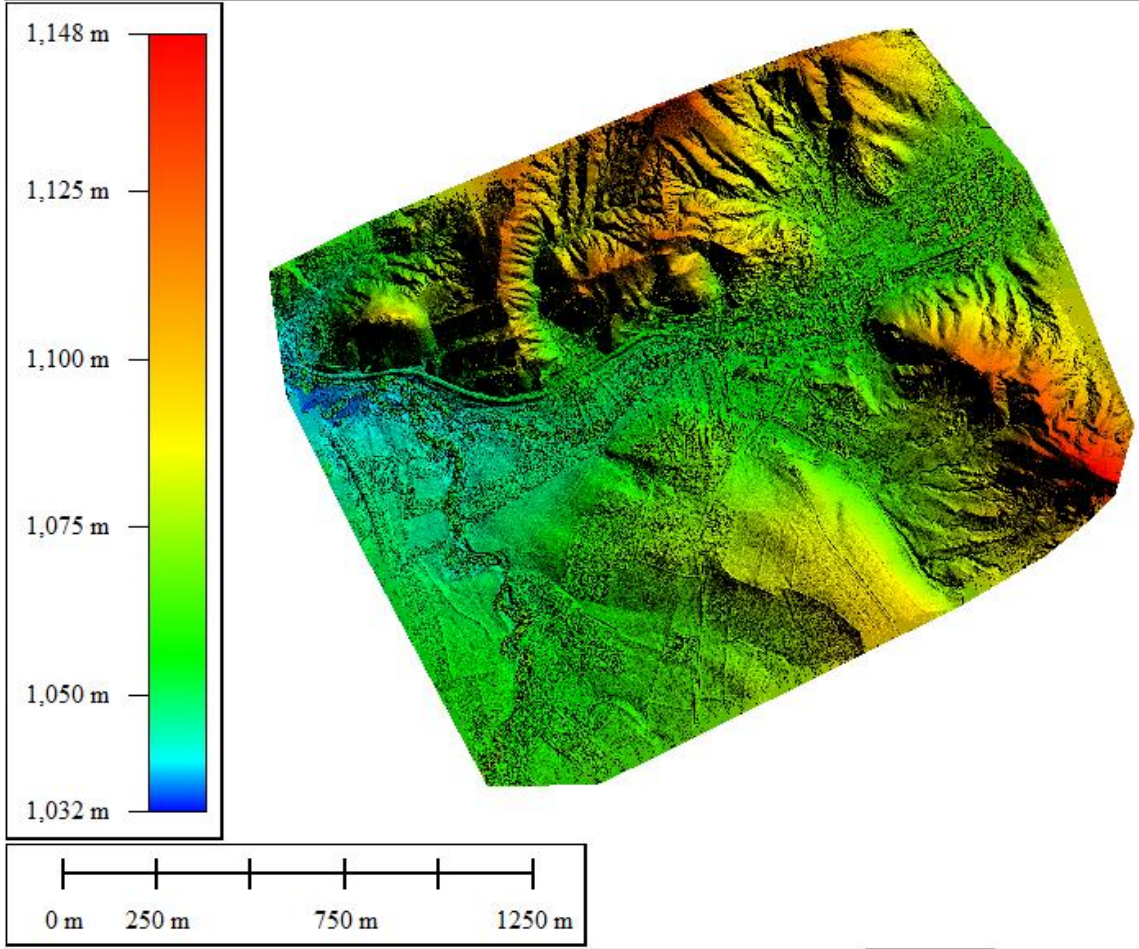
Şekil 4.16. Sabit kanat İHA görüntülerinden Agisoft yazılımı ile üretilen sayısal yükseklik verisi.

Sabit kanat İHA görüntüleri Pix4D yazılımı ile de değerlendirilerek yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Üretilen ortofoto Şekil 4.17' de, sayısal yüzey modeli Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Sabit kanat İHA görüntülerinden Pix4D yazılımı ile üretilen ortofoto.





**Şekil 4.18.** Sabit kanat İHA görüntülerinden Pix4D yazılımı ile üretilen sayısal yükseklik verisi.

Agisoft ve Pix4D ile YKN kullanılarak yapılan fotogrametrik değerlendirme ve yoğun nokta bulutu oluşturulmasına ait bilgiler Tablo 4.6'da verilmiştir.



	<b>Agisoft</b>	<b>Pix4D</b>
Fotoğraf Sayısı	575	575
Uçuş Yüksekliği (m.)	416	416
Kapladığı Alan	3.09 km <sup>2</sup>	3.024 km <sup>2</sup>
Yer Örnekleme Mesafesi (cm/piksel)	5.22	5.27
Bağ Noktası Sayısı	126515 (medium)	5144970 (standart)
Nokta Projeksiyonu Sayısı	1097959	17467224
Yoğun Nokta Sayısı	87423446 (medium)	85774301
Reprojection Error	0.941 piksel	0.143 piksel
Nokta Bulutu Oluşturma Süresi	10 saat 30 dk.	12 saat

**Tablo 4.6.** Sabit kanat İHA görüntülerinin Agisoft ve Pix4D yazılımları ile değerlendirmesine ilişkin bilgiler.

#### 4.2.2. Jeodezik koordinatlandırma

Oluşturulan yoğun nokta bulutunun jeodezik koordinatlandırması yer kontrol noktası kullanılarak ve uçuş esnasındaki kamera konum bilgileri kullanılarak yapılmıştır.

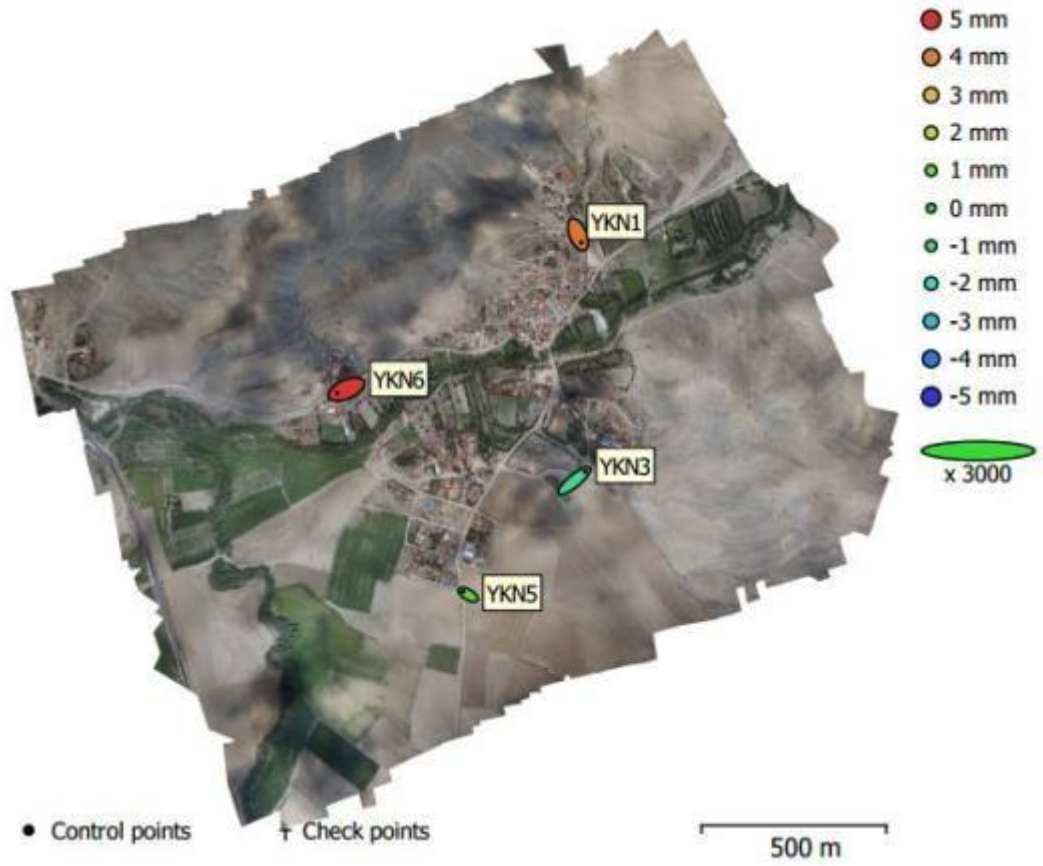
##### 4.2.2.1. Dolaylı jeodezik koordinatlandırma

Sabit kanat C-ASTRAL İHA kullanılarak 2018 tarihinde gerçekleştirilen uçuş ile çalışma sahasında 575 adet görüntü alınmıştır. Elde edilen görüntüler her iki yazılımda da işlenmiştir. C-ASTRAL İHA GNSS PPK kabiliyetine sahiptir. Araziye kurulan sabit istasyon tarafından elde edilen veriler ile İHA üzerinde bulunan GNSS PPK algılayıcısı tarafından kayıt edilen veriler uçuş sonrasında büro çalışması ile işlenmektedir. Bu sayede fotoğrafların alım anına ait konum bilgileri daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Dolayısıyla, çalışma sahasında daha az sayıda kontrol noktası kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Jeodezik koordinatlandırma için arazide 7 YKN tesis edilmiş olup bunların 3 tanesi DN olarak kullanılmıştır. Dönüşüm doğruluğu yer kontrol noktası olarak kullanılmayan ve sarı renk ile görselde işaretlenmiş olan 3 kontrol noktasındaki farklar ile değerlendirilmiştir. Her iki yazılımda da aynı kontrol ve denetim noktaları kullanılmış olup tesis edilen noktalar Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.19.** Sabit kanat İHA görüntülerinin dolaylı jedezik koordinatlandırılmasında kullanılan yer kontrol noktaları ve denetim noktaları (kontrol noktaları kırmızı, denetim noktaları sarı ile gösterilmiştir.)

Modelin yöneltmesinde kullanılan kontrol noktaları en az iki fotoğrafta işaretlenerek kullanılmıştır. Agisoft yazılımı ile yapılan değerlendirmede yer kontrol noktası konumları ve oluşan hatalar Şekil 4.20'de ve kullanılan yer kontrol noktalarındaki farkların KOH'sı Tablo 4.7' de verilmiştir.

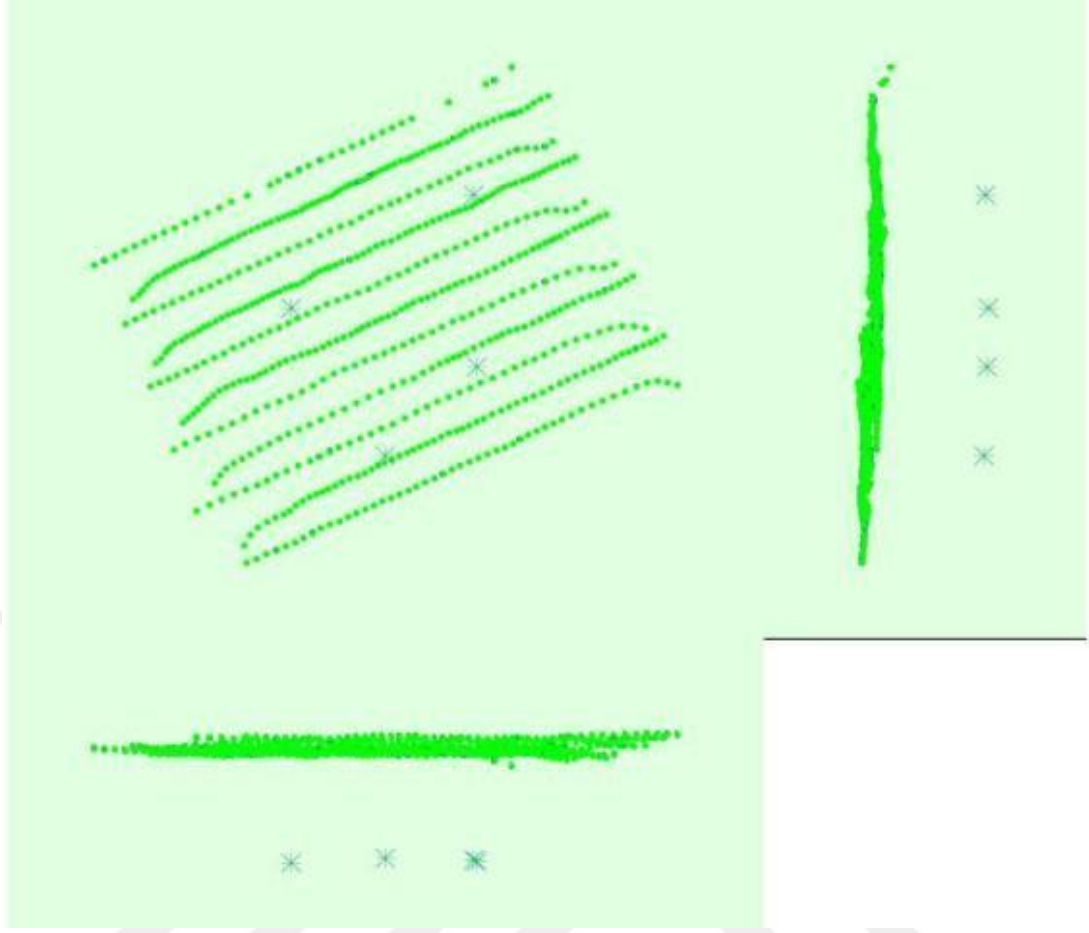


**Şekil 4.20.** Sabit kanat İHA görüntülerini Agisoft ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN konumları ve oluşan hatalar (XY düzlemindeki hatalar elips büyüklükleri ile, yükseklik hatası ise renkli lejand ile ifade edilmiştir).

YKN Sayısı	$m_x$ (cm)	$m_y$ (cm)	$m_z$ (cm)	$m_{xy}$ (cm)	$m_p$ (cm)
4	1.41	1.18	0.33	1.83	1.86

**Tablo 4.7.** Sabit kanat İHA görüntülerini Agisoft ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN KOH değerleri.

Pix4D yer kontrol noktası konumları ve hata hesapları Şekil 4.21'de ve kullanılan yer kontrol noktası için KOH değerleri Tablo 4.8' de verilmiştir.



**Şekil 4.21.** Sabit kanat İHA görüntülerini Pix4D ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN konumları ve oluşan hatalar.

YKN Sayısı	$m_x$ (cm)	$m_y$ (cm)	$m_z$ (cm)	$m_{xy}$ (cm)	$m_p$ (cm)
4	0.51	0.14	0.86	0.53	1.01

**Tablo 4.8.** Sabit kanat İHA görüntülerini Pix4D ile dolaylı jeodezik koordinatlandırmada YKN KOH değerleri.

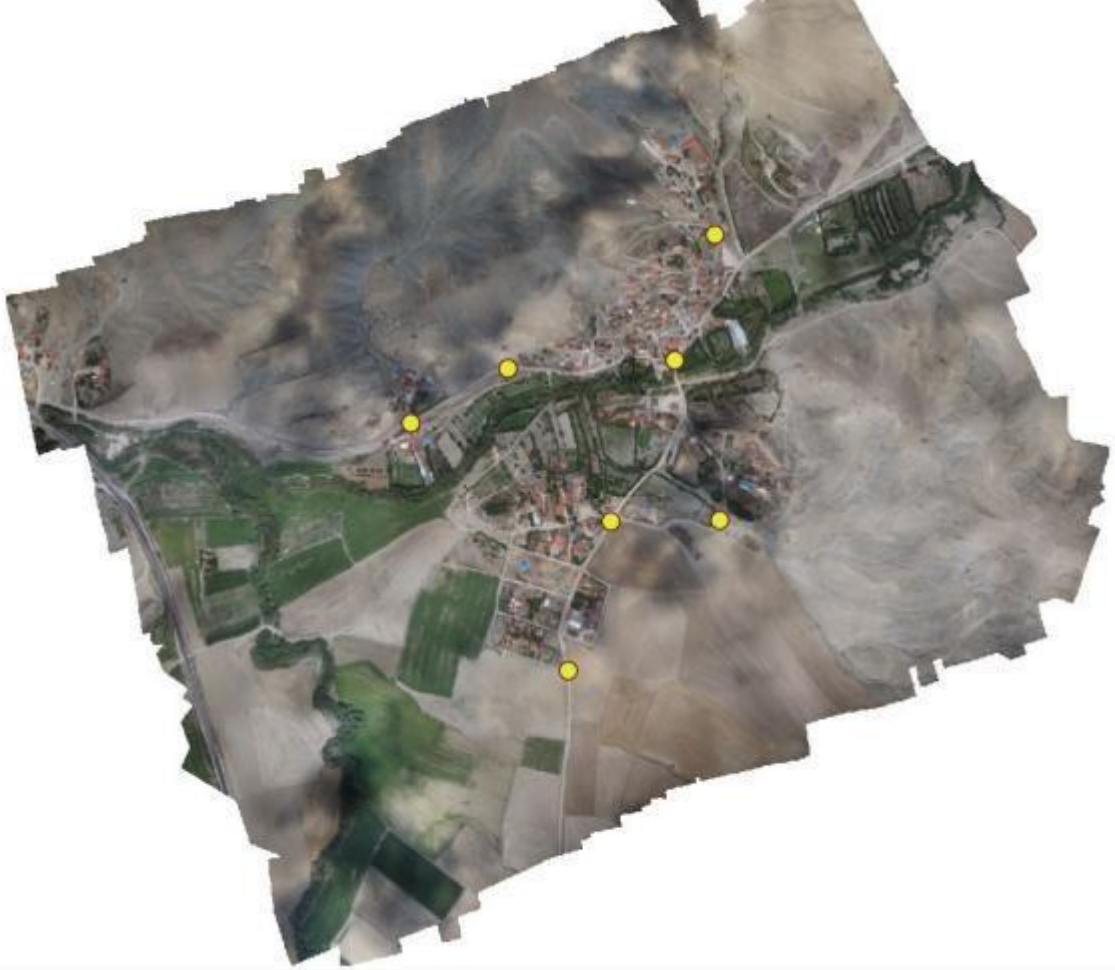
Kontrol noktaları kullanılarak yapılan jeodezik koordinat sistemine dönüşümde denetim noktalarındaki kalıntı hatalar Tablo 4.9'da verilmiştir.

Nokta No	Agisoft Hata Değerleri			Pix4D Hata Değerleri		
	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
2	0,046	0,023	-0,402	0,032	-0,051	-0,029
4	0,018	-0,013	-0,304	0,017	0,023	-0,032
7	0,072	-0,186	-0,408	-0,083	-0,093	-0,108
<b><math>m_0</math></b>	<b>0,0504</b>	<b>0,1084</b>	<b>0,3744</b>	<b>0,0523</b>	<b>0,0627</b>	<b>0,0672</b>

**Tablo 4.9.** Sabit kanat İHA ölçülerinin dolaylı jeodezik koordinatlandırmasında denetim noktalarındaki koordinat farkları.

#### 4.2.2.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma

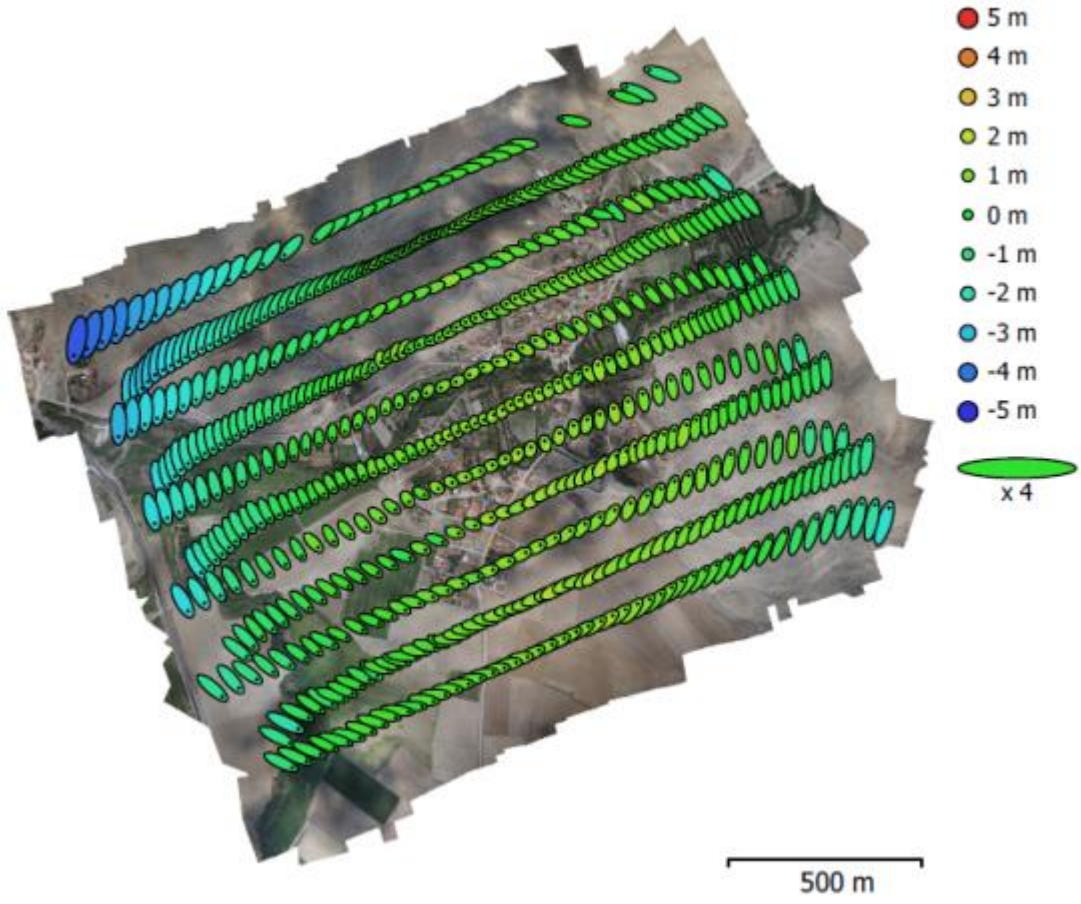
Kontrol noktası kullanılmadan nokta bulutu modellerinin doğrudan jeodezik koordinatlandırılması yapılmıştır. Bu amaçla uçuş esnasında GPS alıcısı tarafından elde edilen kamera konum bilgileri kullanılmıştır. Arazide tesis edilen ve koordinatları ölçülen denetim noktaları kullanılarak dönüşüm doğruluğu test edilmiştir. Denetim noktası olarak kullanılan 7 adet noktanın arazide dağılımı Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



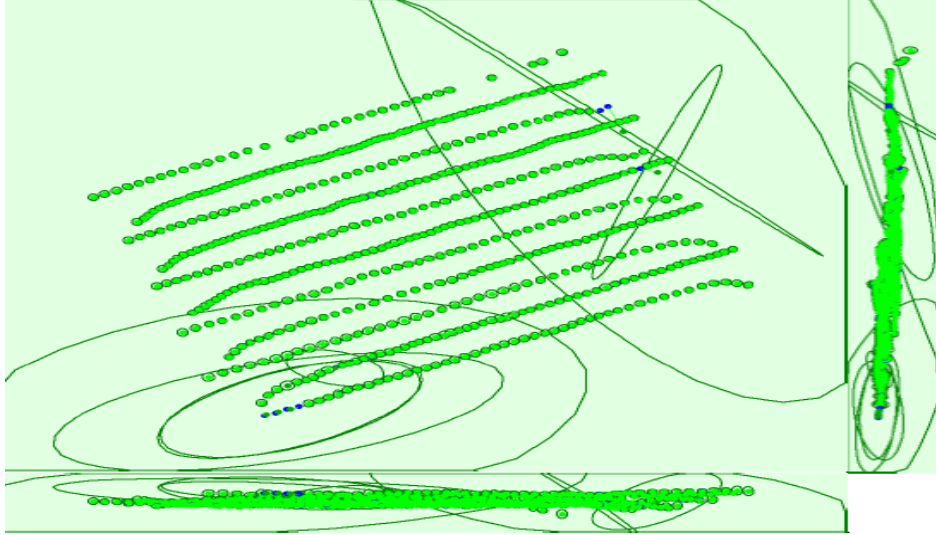
Şekil 4.22. Sabit kanat İHA görüntülerinin doğrudan jeodezik koordinatlandırma doğruluğunu hesaplamak için kullanılan denetim noktaları (sarı ile işaretlenmiş).

Ölçülen kamera konum bilgileri kullanılarak çalışma sahasına ait görüntülerin ışın demetleri dengelemesi sonrasında kamera konumları hesaplanmıştır. Dengeleme sonrasında kamera konumlarında oluşan hatalar Agisoft için Şekil 4.23'de, Pix4D için Şekil 4.24'de verilmiştir.





Şekil 4.23. Sabit kanat İHA görüntülerinin Agisoft ile doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında kamera konumları ve dengeleme sonunda hesaplanan hatalar (Kamera konumlarının XY düzlemindeki farkları elips büyüklükleri, yükseklik farkları ise renkli lejand ile ifade edilmiştir).



**Şekil 4.24.** Sabit kanat İHA görüntülerinin Pix4D ile doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında kamera konumları ve dengeleme sonunda hesaplanan hatalar (Kamera konumlarında oluşan değişiklikler elips büyüklükleri ile gösterilmiştir. XY: üstten- ana şekil, XZ:önden-altta, YZ: yandan -sağda).

Her iki yazılım tarafından uçuş GPS verileri kullanılarak doğrudan jeodezik koordinatlandırma yöntemi ile işlenen görüntülerin ışın demetleri dengelemesi sonrasında kontrol noktalarında hesaplanan kalıntı hatalar Tablo 4.10'da verilmiştir.

Nokta No	Agisoft Hata Değerleri			Pix4D Hata Değerleri		
	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
1	-4,562	8,838	0,7929	-0,154	0,404	0,922
2	-3,784	3,613	0,209	-0,238	0,424	1,063
3	-6,795	-2,504	0,322	-0,369	0,528	1,276
4	-2,283	-3,248	0,144	-0,267	0,549	0,905
5	-1,518	-9,438	0,682	-0,371	0,561	1,007
6	6,472	-0,414	1,262	-0,189	0,535	1,137
7	2,964	2,071	0,553	-0,307	0,473	0,796
<b>m<sub>0</sub></b>	<b>4,4640</b>	<b>5,3655</b>	<b>0,6719</b>	<b>0,2817</b>	<b>0,4997</b>	<b>1,0259</b>

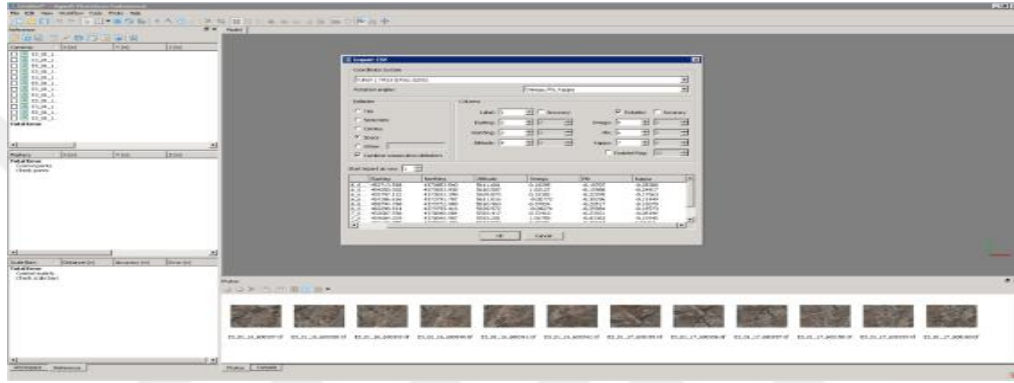
**Tablo 4.10.** Sabit kanat İHA ölçülerinin doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında denetim noktalarındaki koordinat farkları.

### 4.3. Hava Fotoğraflarının Fotogrametrik Değerlendirmesi

#### 4.3.1. Nokta bulutu oluşturma

Elde edilen hava fotoğrafları kullanılarak Agisoft yazılımında fotogrametrik sonuç ürünler elde edilmiştir.

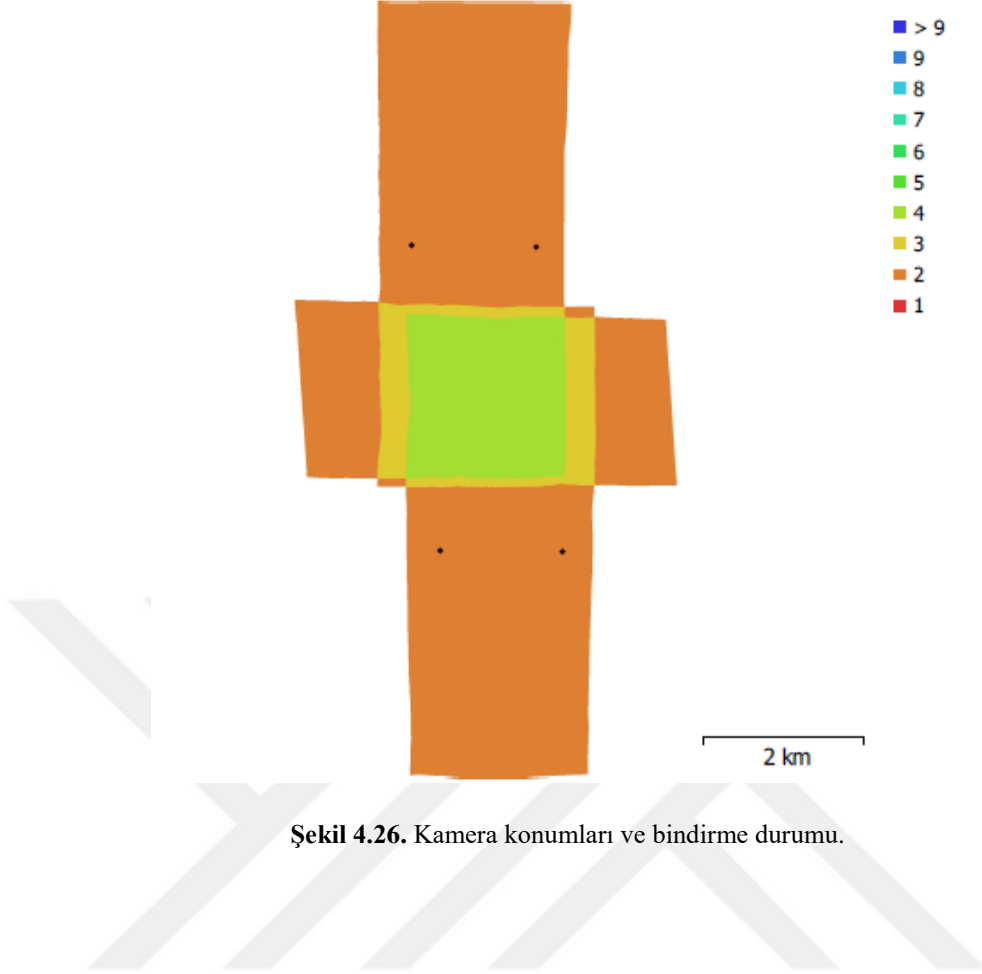
Yöneltme parametreleri hesaplanan fotoğraflardan yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Hava fotoğrafları ile birlikte temin edilen kalibrasyon raporuna ait kamera parametreleri programa girilerek ortofoto ve sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Kamera parametrelerinin girilmesi Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Kamera parametrelerinin girilmesi

Kamera konumları ve bindirme durumları Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Elde edilen ortofoto Şekil 4.27'de, sayısal yüzey modeli ise Şekil 4.28'de verilmiştir. Agisoft ile yapılan değerlendirmeye ilişkin bilgiler Tablo 4.11'de sunulmuştur.

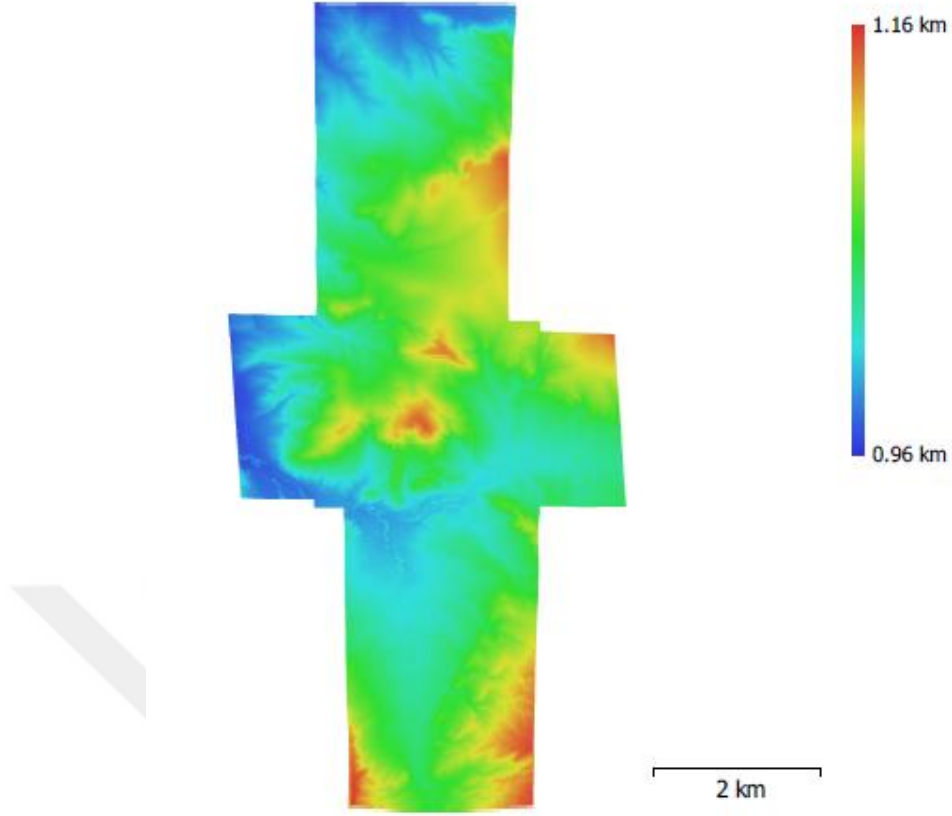




Şekil 4.26. Kamera konumları ve bindirme durumu.



Şekil 4.27. Ortofoto



Şekil 4.28. Sayısal yükseklik modeli

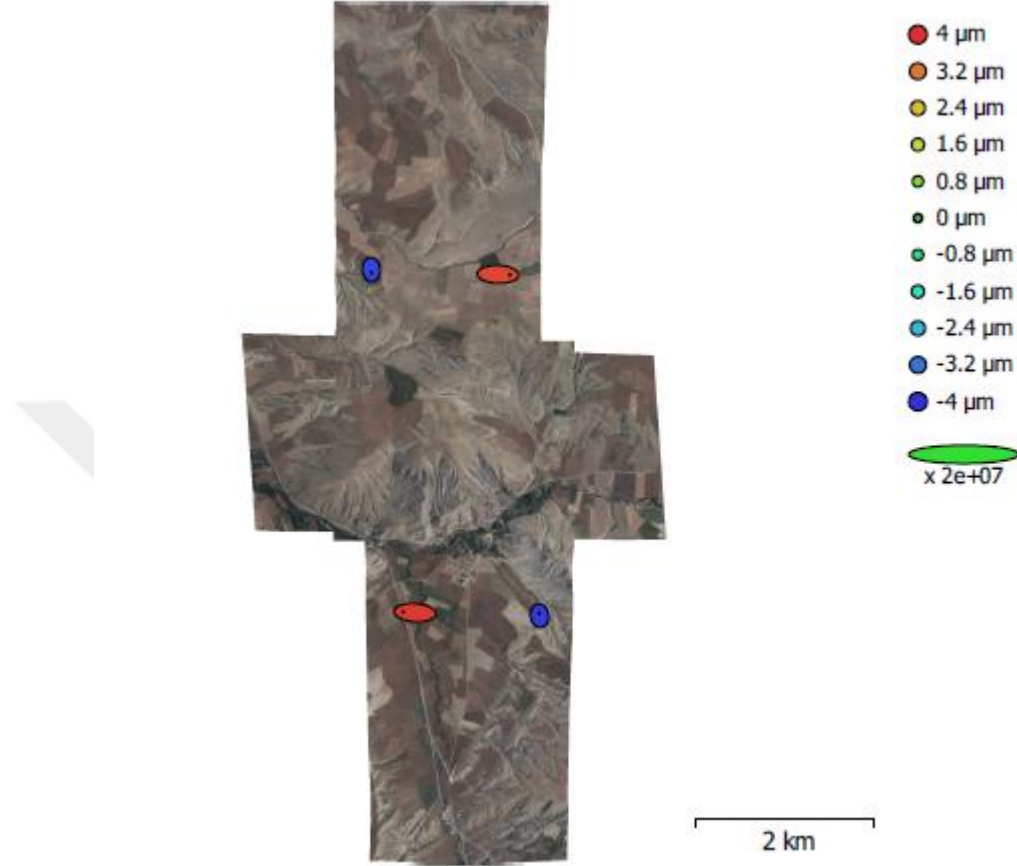
Fotoğraf Sayısı	4
Uçuş Yüksekliği	4.87 km
Kapladığı Alan	27.1 km <sup>2</sup>
Yer Örneklem Mesafesi (cm/piksel)	29.6
Bağ Noktası Sayısı	5964
Nokta Projeksiyonu Sayısı	12218
Yoğun Nokta Sayısı	81491977
Reprojection Error	0.103 piksel
Nokta Bulutu Oluşturma Süresi	2 saat 32 dk.

Tablo: 4.11. Hava fotogrametrisi görüntülerinin Agisoft ile değerlendirmesine ilişkin bilgiler.

#### 4.3.2. Doğrudan jeodezik koordinatlandırma

Hava fotogrametrisi yöntemi ile elde edilen hava fotoğrafları Agisoft yazılımında doğrudan jeodezik koordinatlandırma yöntemi ile koordinatlandırılmıştır. Dolayısıyla fotoğraflardan elde edilen nokta bulutu doğrudan jeodezik yöntem ile koordinatlandırılmıştır. Kullanılan kamera parametreleri uçuşa ait kalibrasyon

raporundan alınmış ve yazılımda kamera bilgileri olarak girilmiştir. Uçuş sahasına ait 4 adet fotoğraf ışın demeti dengelemesi ile dengelenerek kamera konumları ve ortalama hataları hesaplanmıştır (Şekil 4.29).



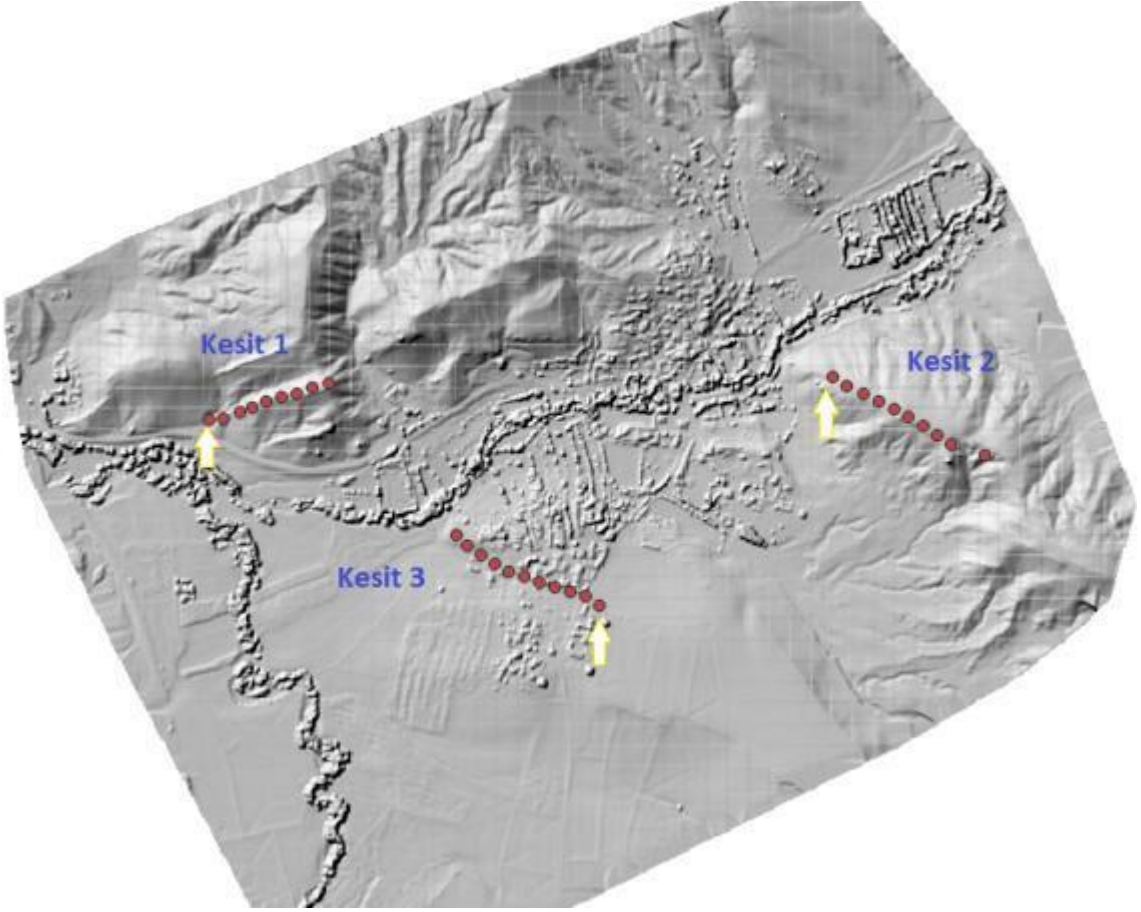
Şekil 4.29. Hava fotogrametrisi görüntülerinin Agisoft ile doğrudan jeodezik koordinatlandırmasında kamera konumları ve dengeleme sonunda hesaplanan hatalar.

#### 4.4. Kesit Alınarak Yükseklik Değerlerinin Karşılaştırılması

Döner ve sabit kanat İHA platformları tarafından elde edilen görüntülerin yer örneklem mesafesi sırasıyla yaklaşık 2.4 cm ile 5.2 cm olarak elde edilmesi nedeniyle 3 farklı platform tarafından elde edilen verilerin sayısal yüzey modellerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu amaçla arazinin düz ve dağlık kesimlerinde olmak üzere 3 farklı güzergahta kesit alımı yapılmıştır (Şekil 4.30). Kesit noktalarının ölçüsü TUSAGA aktif ağı kullanılarak GPS ile yapılmıştır (Tablo 4.12). Yapılan bu ölçümler referans arazi değeri olarak kabul edilmiş ve üç farklı platformdan elde edilen sayısal yüzey modelinin aynı noktalar için çıkarılan kesitleri ile karşılaştırılmıştır. Kesit-1 için düşük kotlu arazi yapısından başlayıp yükselen kota sahip arazi yapısına geçen bir güzergah seçilmiştir.

Kesit-2 yüksek kotlu ve dalgalı bir arazi yapısında, Kesit-3 ise kot farkının görece düz ve düzenli azalarak devam ettiği bir güzergahta seçilmiştir.



Şekil 4.30. Kesit güzergahları ve ölçülen noktalar (Ok ile gösterilen noktalar güzergah başlangıcıdır).

Kesit No	Nokta No	Y(m)	X(m)	Z (m)
Kesit 1	1	454635,872	4370906,244	1048,308
	2	454664,607	4370910,264	1055,596
	3	454696,530	4370922,497	1058,661
	4	454724,005	4370931,623	1066,522
	5	454752,414	4370942,314	1076,315
	6	454782,182	4370951,966	1083,048
	7	454813,890	4370959,605	1089,220
	8	454845,355	4370971,979	1095,347
	9	454878,621	4370980,016	1098,926
Kesit 2	1	455905,695	4370992,358	1089,554
	2	455934,710	4370975,268	1096,418
	3	455968,418	4370960,079	1103,451
	4	455998,821	4370944,835	1108,119
	5	456031,365	4370928,753	1114,100
	6	456060,036	4370911,476	1119,845
	7	456088,874	4370893,104	1121,040
	8	456117,883	4370875,367	1121,863
	9	456146,778	4370855,508	1122,470
	10	456214,971	4370835,726	1122,006
Kesit 3	1	455430,302	4370527,477	1073,296
	2	455402,211	4370545,132	1071,790
	3	455370,782	4370555,574	1070,586
	4	455339,588	4370565,557	1069,035
	5	455308,153	4370575,329	1066,613
	6	455276,175	4370585,578	1063,194
	7	455245,017	4370595,703	1061,372
	8	455215,724	4370611,223	1058,514
	9	455188,608	4370629,370	1057,038
	10	455160,804	4370650,588	1057,456
	11	455138,661	4370671,820	1056,586

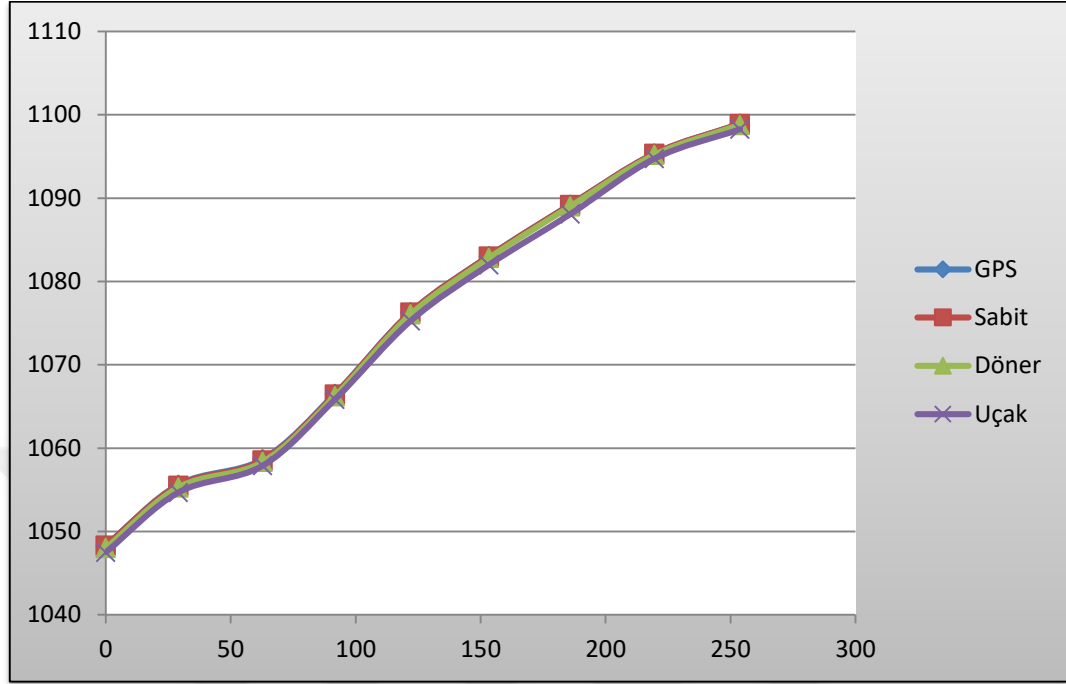
**Tablo 4.12.** Kesit noktalarına ait GPS ölçüleri.

Pix4D yazılımında YKN kullanılarak üretilen ve daha yüksek doğruluk değerlerine sahip olan İHA verileri sayısal yüzey modellerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Her bir nokta için QGIS yazılımı kullanılarak piksel değerine kadar yaklaşım ve noktanın yükseklik bilgisi aynı anda üç modelden okunmuştur. Yani arazide alımı yapılan noktaların İHA-döner kanat, İHA-sabit kanat ve hava fotogrametrisi ile elde edilen yükseklik modeli ölçüleri elde edilmiştir. Üç farklı platformdan elde edilen yükseklik değerleri arazide ölçülen ve referans veri olarak kabul edilen ölçü değerleri ile karşılaştırılarak yükseklik farkları hesaplanmıştır (Tablo 4.13).

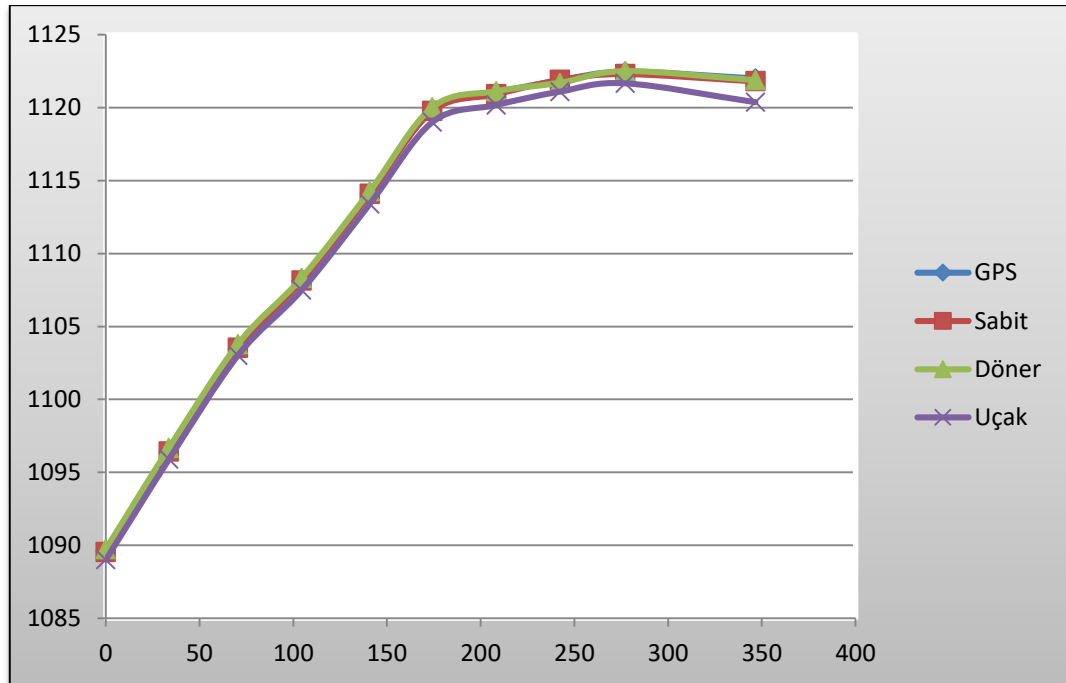
Kesit No	Başlangıç Mesafe (m)	Nokta No	GPS	Sabit Kanat İHA		Döner Kanat İHA		Uçak	
			Z <sub>GPS</sub> (m)	Z <sub>S</sub> (m)	$\Delta Z$ (m) Z <sub>GPS</sub> -Z <sub>S</sub>	Z <sub>D</sub> (m)	$\Delta Z$ (m) Z <sub>GPS</sub> -Z <sub>D</sub>	Z <sub>U</sub> (m)	$\Delta Z$ (m) Z <sub>GPS</sub> -Z <sub>U</sub>
1	0	1	1048,308	1048,312	-0,004	1048,021	0,287	1047,506	0,802
	29,02	2	1055,596	1055,503	0,093	1055,296	0,300	1054,678	0,918
	62,8	3	1058,661	1058,534	0,127	1058,353	0,308	1057,899	0,762
	91,71	4	1066,522	1066,435	0,087	1066,25	0,272	1065,86	0,662
	121,99	5	1076,315	1076,276	0,039	1076,059	0,256	1075,283	1,032
	153,29	6	1083,048	1083,009	0,039	1082,82	0,228	1082,002	1,046
	185,85	7	1089,22	1089,176	0,044	1089,022	0,198	1088,087	1,133
	219,54	8	1095,347	1095,321	0,026	1095,186	0,161	1094,744	0,603
	253,75	9	1098,926	1098,893	0,033	1098,796	0,130	1098,268	0,658
				<b>m<sub>z</sub>=0.066</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.245</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.866</b>	
2	0	1	1089,554	1089,542	0,012	1089,738	-0,184	1089,02	0,534
	33,67	2	1096,418	1096,428	-0,01	1096,666	-0,248	1095,896	0,522
	70,54	3	1103,451	1103,532	-0,081	1103,792	-0,341	1103,024	0,427
	104,54	4	1108,119	1108,141	-0,022	1108,338	-0,219	1107,5	0,619
	140,84	5	1114,100	1114,103	-0,003	1114,268	-0,168	1113,403	0,697
	174,25	6	1119,845	1119,784	0,061	1120,0231	-0,1781	1119,007	0,838
	208,34	7	1121,04	1120,927	0,113	1121,121	-0,081	1120,182	0,858
	242,3	8	1121,863	1121,909	-0,046	1121,699	0,164	1121,1	0,763
	277,21	9	1122,47	1122,313	0,157	1122,499	-0,029	1121,668	0,802
	346,67	10	1122,006	1121,815	0,191	1121,883	0,123	1120,375	1,631
			<b>m<sub>z</sub>=0.093</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.192</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.833</b>		
3	0	1	1073,296	1073,347	-0,051	1073,153	0,143	1072,557	0,739
	33,17	2	1071,79	1071,602	0,188	1071,689	0,101	1070,903	0,887
	65,82	3	1070,586	1070,519	0,067	1070,544	0,042	1069,479	1,107
	98,39	4	1069,035	1068,941	0,094	1069,036	-0,001	1068,105	0,93
	131,19	5	1066,613	1066,632	-0,019	1066,686	-0,073	1066,398	0,215
	164,71	6	1063,194	1063,324	-0,13	1063,292	-0,098	1062,559	0,635
	197,44	7	1061,372	1061,318	0,054	1061,389	-0,017	1060,618	0,754
	230,34	8	1058,514	1058,299	0,215	1058,561	-0,047	1057,399	1,115
	262,29	9	1057,038	1056,771	0,267	1057,06	-0,022	1055,85	1,188
	296,29	10	1057,456	1057,453	0,003	1057,395	0,061	1056,561	0,895
325,40	11	1056,586	1056,619	-0,033	1056,419	0,167	1056,15	0,436	
			<b>m<sub>z</sub>=0.131</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.086</b>		<b>m<sub>z</sub>=0.857</b>		

Tablo 4.13. Kesit ölçüleri ve referans ölçüden farklar.

Her kesit güzergahının farklı platformlardan elde edilen değerleri ile oluşturulan grafikler Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir.

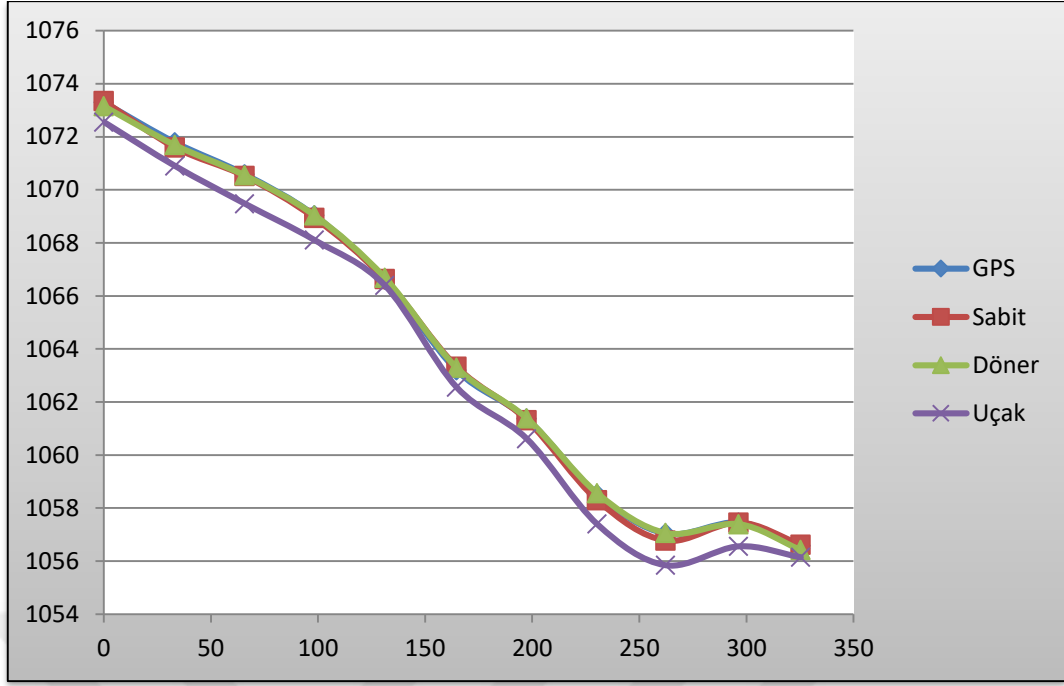


Şekil 4.31. Kesit-1 noktalarına ait yükseklik değerleri grafiği (Yatay eksen başlangıca olan mesafeleri, dikey eksen nokta yüksekliklerini gösterir ). [m]



Şekil 4.32. Kesit-2 noktalarına ait yükseklik değerleri grafiği (Yatay eksen başlangıca olan mesafeleri, dikey eksen nokta yüksekliklerini gösterir ). [m]





Şekil 4.33. Kesit-3 noktalarına ait yükseklik değerleri grafiği (Yatay eksen başlangıca olan mesafeleri, dikey eksen nokta yüksekliklerini gösterir ). [m]

## 5. TARTIŞMA

### 5.1. Yazılım Sonuçlarının Karşılaştırması

Yazılımların işlem süresi değerlendirildiğinde Agisoft tarafından yürütülen İHA fotogrametrik işlem adımlarının Pix4D'ye göre belirgin bir şekilde daha kısa sürede tamamlandığı görülmüştür.

Her iki yazılımın başlangıç ayarları kullanıldığında; Pix4D reprojection hata değeri Agisoft'ta göre daha düşüktür. Agisoft tarafından bağlama noktası sayısı Pix4D'ye göre daha az sayıda oluşturulmuştur. Agisoft yazılımında daha az sayıda bağlama noktası kullanılmasına rağmen, yoğun nokta bulutu Pix4D'ye göre daha fazla sayıda üretilmiştir. Nokta projeksiyonu sayısı Pix4D tarafından daha fazla sayıda üretilmiştir.

Fotogrametrik işlem adımları sonrasında yazılımlar tarafından proje raporu üretilmektedir. Bu anlamda Agisoft raporunda kullanılan görsellerin daha anlaşılır, Pix4D tarafından üretilen raporun ise daha detaylı bilgi verdiği görülmüştür.

### 5.2. Jeodezik Dönüşüm Sonuçlarının Yorumlanması

Yapılan uygulamada sabit ve döner kanat İHA platformlarından elde edilen görüntüler doğrudan ve dolaylı jeodezik koordinatlandırma yöntemi ile iki farklı yazılım tarafından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir.

Yazılım	YKN	İHA Tipi	$m_x(m)$	$m_y(m)$	$m_z(m)$	$m_p(m)$
Agisoft	YKN'Lİ	Sabit Kanat	0,0504	0,1084	0,3743	0,3930
		Döner Kanat	0,0852	0,05331	0,2558	0,2749
	YKN'SİZ	Sabit Kanat	4,4639	5,3654	0,6719	7,0119
		Döner Kanat	2,3823	2,5237	9,9850	10,5709
Pix4D	YKN'Lİ	Sabit Kanat	0,0522	0,0626	0,0671	0,1056
		Döner Kanat	0,0801	0,0568	0,1132	0,1499
	YKN'SİZ	Sabit Kanat	0,2816	0,4996	1,0259	1,1754
		Döner Kanat	1,7721	1,3683	8,4664	8,7574

**Tablo 5.1.** Doğrudan ve dolaylı jeodezik koordinatlandırma sonucu denetim noktalarındaki hatalar.

En iyi konumsal doğruluk YKN kullanılarak Pix4D yazılımında ve sabit kanatlı İHA ile elde edilmiştir. Bu durumun sabit kanatlı İHA'nın GNSS PPK kabiliyetine sahip olması ve uçuş planlaması dahil olmak üzere her bir işlem adımının yazılım tarafından planlanmış olması nedeniyle olduğu değerlendirilmektedir.

YKN kullanılarak yapılan değerlendirmede, döner kanat İHA verileri her iki yazılımda santimetre mertebesinde konum doğruluğunu sağlamakta, fakat Pix4D konum doğruluğu Agisoftta göre yaklaşık iki kat daha iyi sonuç vermiştir. X ve Y karesel ortalama hatalarının her iki yazılımda da yakın sonuçlar verdiği bununla birlikte Z karesel ortalama hatasının Pix4D ile daha hassas bir şekilde belirlendiği tespit edilmiştir.

Sabit kanat İHA verileri YKN kullanılarak yapılan değerlendirmesinde, her iki yazılımda santimetre mertebesinde konum doğruluğu sağlamaktadır. Bununla birlikte, Pix4D yazılımında yaklaşık 3 kat daha iyi konum doğruluğu elde edilmiştir. Sabit kanat tarafından elde edilen verilerin karşılaştırılmasında X ve Y karesel ortalama hatalarının her iki yazılımda da birbirlerine yakın sonuçlar verdiği bununla birlikte Z karesel ortalama hatasının Pix4D yazılımı ile daha hassas bir şekilde belirlendiği görülmüştür.

YKN kullanılmadan yapılan jeodezik dönüşümde döner kanat İHA verileri ile elde edilen sonuç ürünler mukayese edildiğinde her iki yazılımda birbirine yakın değerler sağladığı görülmüştür.

YKN kullanılmadan yapılan jeodezik dönüşümde sabit kanat İHA verileri ile elde edilen sonuçların Pix4D yazılımında yaklaşık 7 kat daha iyi konum doğruluğu sağladığı görülmüştür. Söz konusu durumun uçuş planlamasından itibaren bütün arazi ve büro çalışmalarının Pix4D yazılım araçları kullanılarak gerçekleştirildiği dolayısıyla bütün işlem adımlarının tek bir yazılım tarafından yürütülmesi nedeniyle elde edilen parametrelerin daha sağlıklı bir şekilde işlenmesi sebebiyle söz konusu farkın ortaya çıktığı değerlendirilmektedir.

YKN kullanılmadan yapılan doğrudan jeodezik koordinatlandırmada, döner kanat İHA için XY yönünde karesel ortalama hatanın 1-2 m civarında meydana geldiği, bununla birlikte Z yönündeki karesel ortalama hata ise 8 m civarında gerçekleşmiştir. Bu sonuçların ise konumsal hatayı arttırdığı tespit edilmiştir. Döner kanat İHA üzerinde kullanılan ve otopilot için gerekli verileri sağlayan GPS alıcısının hassasiyetinin yeterli olmaması nedeniyle özellikle Z değerinde meydana gelen farkın konumsal hatayı arttırdığı değerlendirilmektedir.

Bu nedenle özellikle hassasiyet isteyen haritacılık amaçlı çalışmalarda YKN'sız kullanımın uygun olmadığı fakat YKN kullanılması durumunda ise GNSS PPK'lı sistem sonuçlarına yakın fotogrametrik verilerin üretilebileceği değerlendirilmiştir.

Görüntülerin dolaylı jeodezik koordinatlandırılması için, çalışma sahasından yeterli sayıda homojen olarak dağılmış YKN'nın kullanılması durumunda fotogrametrik

sonuç ürünlerin konum hassasiyetinin arttırılabileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte GNSS PPK yöntemi ile elde edilen görüntülerin çok daha az sayıda YKN ile jeodezik dönüşümlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Doğrudan jeodezik koordinatlandırmada her iki yazılımda da çalışma alanının ortasında kamera konumlarına ait hata değerleri düşük, kenarlarda ve özellikle köşe noktalarındaki kamera konumlarında dengeleme sonunda elde edilen hata değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Her iki yazılımla yapılan doğrudan jeodezik koordinatlandırmada da bu durum gözlemlenmiştir. Ancak Pix4D yazılımı sabit kanat görüntülerinin doğrudan jeodezik koordinatlarla dengelenmesinde ölçme sahasının güneybatı köşesinde 5 kamera, doğu tarafında 3 kameraya ait hata elipsleri büyük değerlerde çıkmıştır. Fakat, bu hatanın modelin tamamına olumsuz etkisi olmadığı elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır.

### **5.3. Hava Fotogrametrisi ile İHA Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Klasik hava fotogrametrisi yöntemiyle 1/5000 ölçeğinde fotogrametrik sonuç ürünlerin üretilmesi maksadıyla insanlı bir uçak tarafından hava fotoğraflarının alımı yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen hava fotoğrafları küçük ölçekli ve 30 cm'lik YÖM değerine sahiptir. Çalışma sahasında kullanılan İHA'lar tarafından elde edilen görüntülerle ise 5 cm ve altında YÖM elde edilmiştir.

Çalışma sahası gerçekte 1 adet hava fotoğrafı ile kapsanabilirken aynı alan döner kanat İHA tarafından 748, sabit kanat İHA tarafından ise 575 adet yüksek çözünürlüklü görüntü ile kapsanmıştır.

Hava fotogrametrisi kapsamında geniş alanlara ait veriler küçük ölçekli ve daha büyük YÖM sahip olarak elde edilmektedir. Aynı zamanda üretilen yoğun nokta sayısı alanın büyüklüğü nedeniyle artmaktadır. Bununla birlikte İHA fotogrametrisi ile küçük alanlara ait veriler büyük ölçekli ve küçük YÖM ile elde edilmektedir.

İHA ve insanlı uçak ile yapılacak alımlar değerlendirildiğinde çalışma sahasının büyüklüğü önemli bir etken olmaktadır. Bu nedenle İHA'lar tarafından görüntü alımı yapılabilecek büyüklüklerdeki her alanda İHA'ların maliyet etkin bir çözüm olduğu görülmektedir. İHA ve uçak platformu arasında fotogrametrik çalışmalar baz alınarak yapılan genel karşılaştırma Tablo 5.2'de verilmiştir.

<b>Kriter</b>	<b>İHA Fotogrametresi</b>	<b>Hava Fotogrametrisi</b>
Maliyet	Düşük	Yüksek
Süre	Kısa sürede elde edilebilir ve daha az hazırlık gerektirir	Planlama ve ön hazırlıklar daha uzun süre gerektirir
Çözünürlük	Yüksek çözünürlük elde edilebilir	Uçuş irtifası nedeniyle daha düşük çözünürlük sağlar
Doğruluk	Çözünürlük avantajı sebebi ile yüksek doğruluk elde edilebilir	Görüntü çözünürlüğü ile doğru orantılı doğruluk sağlar
Ulaşılabilir olma	Kolaylıkla erişilebilir.	Kurumsal bir yapı gerektirir
Fotoğraf sayısı	Kapsanan alanda yüksek fotoğraf sayısı	Kapsanan alanda daha az fotoğraf sayısı
Görüntülerin tekrar alınma sıklığı	Kısa	Uzun
Meteoroloji	Uçuş yapılabilen her hava koşulunda görüntü alınabilir	Bulut alt tavan kısıtına bağlı olarak görüntü elde edilebilir

**Tablo 5.2.** İHA ve hava fotogrametrisinin genel karşılaştırması.

#### 5.4. Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması

Çalışma sahasında klasik fotogrametrik yöntem ile elde edilen verilerin İHA fotogrametrik ürünleri ile karşılaştırılması için arazide bir güzergah boyunca nokta yükseklikleri ölçülmüştür. Söz konusu noktalarda arazi değeri referans alınarak platformlara ait yükseklik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan kesit çalışmasında platformlara ait yükseklik değerlerinin karesel ortalama hataları Tablo 4.14'de hesaplanmış ve özet olarak Tablo 5.3'de verilmiştir.

<b>Kesit No</b>	<b>Sabit Kanat <math>m_z</math> (m)</b>	<b>Döner Kanat <math>m_z</math> (m)</b>	<b>Uçak <math>m_z</math> (m)</b>
1	0.066	0,245	0.866
2	0.093	0.192	0.833
3	0.131	0.086	0.857

**Tablo 5.3.** Sayısal yükseklik modellerinden çıkarılan kesitlerin arazi ölçüleri ile karşılaştırılması ile elde edilen karesel ortalama hatalar.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BHHYY)'ne göre yer örnekleme aralığı 1/1000 ölçekli ortofoto haritalar için 10 cm'nin; SYM için 10 m'nin altında olması gerekmektedir.

Klasik yöntemle 1/5000'lik üretim standartlarında görüntü alımı yapılan hava fotoğraflarından üretilen sayısal yüzey modelinin İHA verilerine göre daha düşük Z değeri hassasiyetine sahip olduğu yapılan kesit alımı ile tespit edilmiştir.

Çalışma alanı için yapılan doğruluk analizi sonucunda, üretilen sayısal yükseklik modelleri ile referans arasındaki fark santimetre düzeyinde olması nedeniyle İHA'lar tarafından üretilen sayısal yükseklik verisinin BHHYY'ne göre kullanılabilceği görülmüştür. İHA'lar tarafından elde edilen veriler ile üretilen sayısal yüzey modelinin doğrulukları hava fotogrametrisinden daha iyi seviyede gerçekleşmiştir. Bununla birlikte sabit kanat İHA ile döner kanat İHA platformlarına ait görüntülerden dolayı jeodezik koordinatlandırma ile üretilen sayısal yüzey modelleri birbirine yakın doğrulukta sonuçlar vermiştir. 1/5000 ölçeğinde harita üretim maksadıyla klasik hava fotogrametrisi kapsamında elde edilen görüntülerle ise daha düşük yükseklik doğruluğu sağlanmıştır.

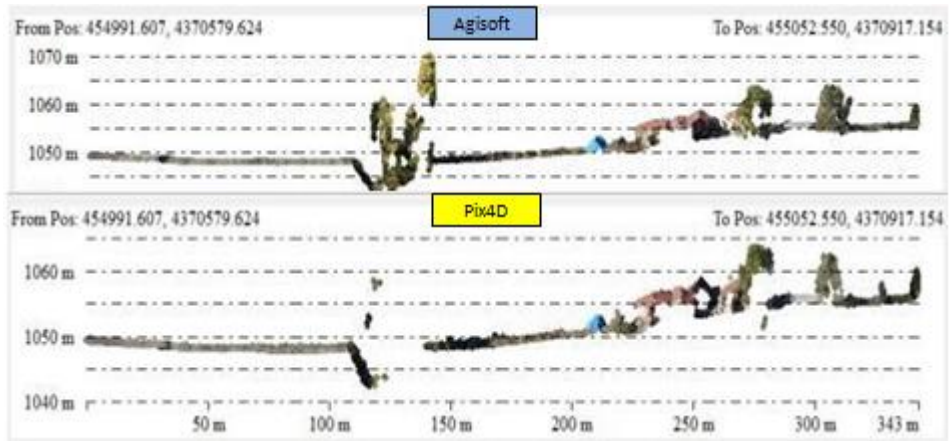
Bu nedenle küçük alanlar için yapılacak çalışmalarda uygun jeodezik koordinatlandırma yöntemi ve İHA platformunun kullanılması ile klasik fotogrametrik ürün doğruluklarının elde edilebileceği görülmüştür.

Yapılan çalışmada ayrıca; döner kanat İHA'ya ait Agisoft ve Pix4D yazılımlarında üretilen yoğun nokta bulutu kullanılarak belirlenen güzergahlarda düşey kesit verisi mukayesesi yapılmıştır. Bu maksatla çalışma sahasında üç farklı hat belirlenmiş ve nokta bulutu kullanılarak model üzerinden hat kesitleri çıkarılmıştır. Çalışma sahasına ait ortofoto üzerinde Hat Kesiti-1 güzergahı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Hat Kesit-1 güzergahının ortofoto üzerinde gösterimi (sarı çigi).

Belirlenen güzergah boyunca her iki yazılıma ait yoğun nokta bulutundan elde edilen düşey profil gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir.

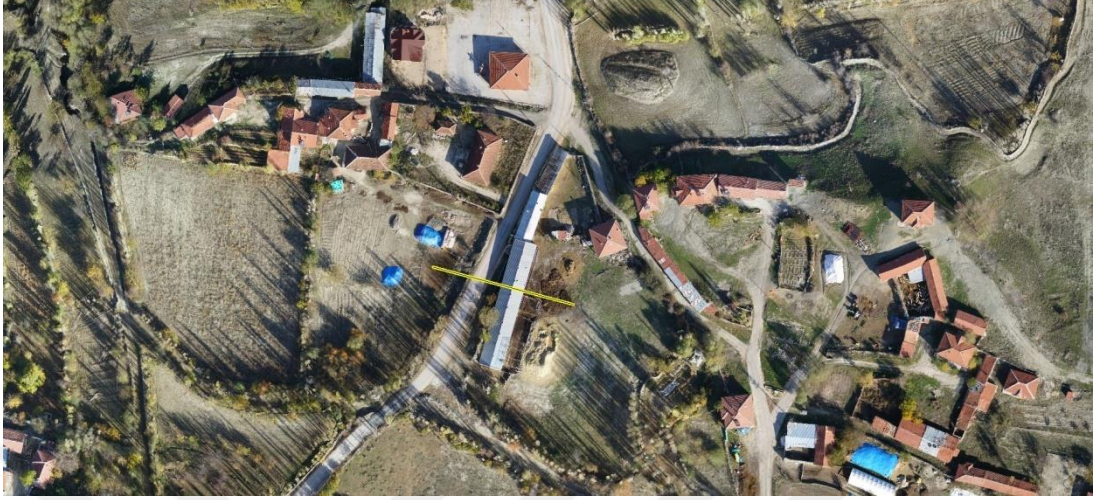


Şekil 5.2. Hat Kesiti-1 güzergahı boyunca nokta bulutu kullanılarak elde edilen düşey profil gösterimi.

Görüntüler üzerinde bulunan ağaçlık alanın düşey profilinin Agisoft yazılımı tarafından üretilen yoğun nokta bulutu ile daha iyi temsil edildiği görülmüştür.

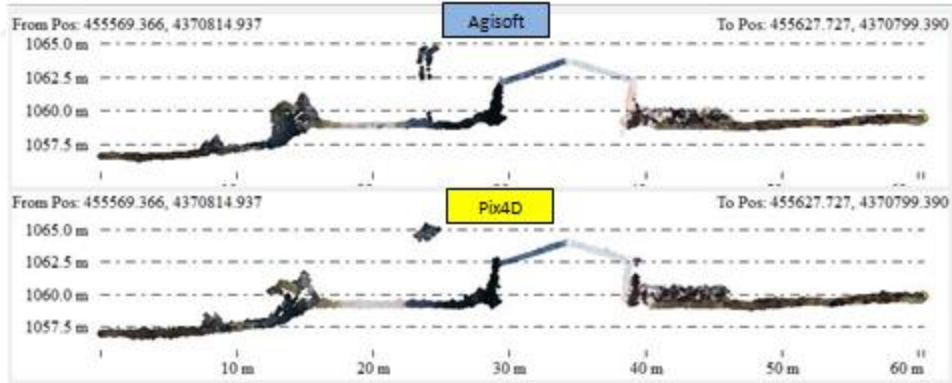


Hat Kesiti-2, bina ve yol güzergahlarını dik kesen bir hat olarak seçilmiş ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Hat Kesiti-2 güzergahının ortofoto üzerinde gösterimi (sarı çığı).

Belirlenen hat boyunca yoğun nokta bulutu kullanılarak her iki yazılımda elde edilen düşey profil gösterimi Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Hat Kesiti-2 güzergahı boyunca nokta bulutu kullanılarak elde edilen düşey profil gösterimi.

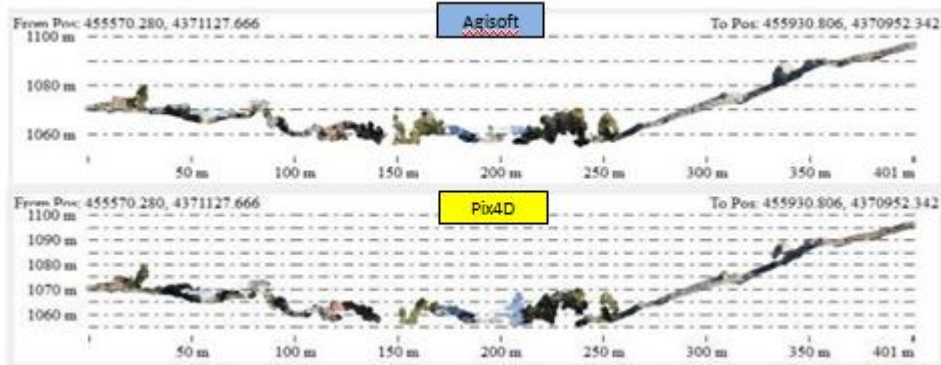
Her iki yazılım tarafından yoğun nokta bulutu kullanılarak üretilen bina düşey profilinin benzer olduğu fakat yol kenarında bulunan ağaçlık alanın Agisoft yazılımı ile daha iyi temsil edildiği görülmüştür.

Hat Kesiti-3 için uzun bir hat belirlenmiş olup, bina, ağaç ve eğimin değiştiği topoğrafik yapı test edilmek istenmiştir (Şekil 5.5). Tespit edilen hat boyunca yoğun nokta bulutu kullanılarak her iki yazılım tarafından üretilen yoğun nokta bulutuna ait düşey profil gösterimi Şekil 5.6'da verilmiştir.





Şekil 5.5. Hat Kesiti-3 güzergahının ortofoto üzerinde gösterimi (sarı çigi).



Şekil 5.6. Hat Kesiti-3 güzergahı boyunca nokta bulutu kullanılarak elde edilen düşey profil gösterimi.

Her iki yazılım tarafından yoğun nokta bulutu kullanılarak üretilen düşey profil karşılaştırıldığında Agisoft tarafından özellikle ağaçlık alanların daha iyi temsil edildiği görülmüştür. Güzergahın başlangıç ve bitişlerine ait yüksekliklerin farklı olmadığı tespit edilmiştir.

Alınan üç farklı kesit değerlendirildiğinde her iki yazılım tarafından birbirine yaklaşık bir performans ile yoğun nokta bulutu üretildiği görülmüştür.

## 6. SONUÇ

İHA'lar tarafından üretilen sonuç ürünler klasik fotogrametrik ürünler ile karşılaştırıldığında, İHA kullanımının maliyet, tekrar edilebilme sıklığı, meteorolojik kısıtlar ve YÖM gibi avantajları olduğu görülmektedir. Bununla birlikte platformlar tarafından taşınabilecek amaca uygun algılayıcılar ile çalışma alanından ilave bilginin toplanması açısından da kullanışlı olduğu değerlendirilmektedir. Bu kapsamda hızlı, maliyet etkin ve yüksek konum doğruluğuna sahip fotogrametrik sonuç ürünlerin farklı İHA platformları kullanılarak elde edilebilirliği belirlenen bir çalışma alanında uygulanmıştır.

Çalışma sahasında uygun dağılmış YKN kullanımı durumunda sabit ve döner kanatlı İHA platformlarının her ikisi ile de, yani platform tipinden bağımsız olarak fotogrametrik ürünlerin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Dolaylı jeodezik koordinatlandırma üzerinden ölçme işlemlerinin yapılacağı altlıkların hassas bir şekilde üretilmesi için ihtiyaç duyulan bir yöntemdir. Bu yöntem ile İHA'lardan elde edilen görüntülerin jeodezik dönüşümleri YKN kullanılarak yapılır ve ölçme işlemleri için gereken konum hassasiyeti sağlanır. Doğrudan jeodezik koordinatlandırmada ise, platform üzerinde bulunan GPS sensörleri tarafından kaydedilen veriler jeodezik koordinatlandırma maksadıyla kullanılır. Bu nedenle haritacılık gibi konumsal hassasiyet isteyen çalışmalarda doğrudan kullanımı uygun değildir.

İHA üzerinde kullanılan yardımcı sensörlerin doğrudan jeodezik koordinatlandırma için fotogrametrik sonuç ürünlerin doğruluğuna etki ettiği görülmüştür. GNSS PPK faydalı yüküne sahip bir platform ile YKN kullanılmadan desimetre mertebesinde koordinat doğruluğu elde edilebileceği ve yüksek konumsal hassasiyete ihtiyaç duymayan çalışma sahaları için hızlı ve ekonomik bir çözüm olabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, doğrudan jeodezik koordinatlandırma ile elde edilen fotogrametrik ürünlerin yüksek konum hassasiyeti isteyen çalışmalar için uygun olmadığı görülmüştür.

Her iki yazılım ile YKN kullanılarak yapılan dolaylı jeodezik koordinat dönüşümü ile sağlanan koordinat doğruluğunun santimetre seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle İHA fotogrametrisi kapsamında SfM algoritması kullanan yazılımlar ile yeterli konum doğruluğuna ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır.

İHA fotogrametrisi ile elde edilen sonuçların klasik hava fotogrametrisi sonuçları ile mukayesesi sonunda küçük alanlarda hava fotogrametrisi kullanmak yerine İHA'ların kullanımının maliyet etkin olacağı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, İHA'ların fotogrametrik amaçlı kullanımının artarak devam edeceği ve özellikle yakın gelecekte İHA fotogrametrisi ile yapılan çalışmaların yersel ölçmenin konum hassasiyetine ulaşabileceği değerlendirilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Acar, H. ve Karşlı, F., 2012, Nokta belirleme algoritmaları ile otomatik görüntü eşleştirme ve 3B konum tespiti, *IV Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri sempozyumu, UZAL-CBS 2012*, Zonguldak.
- Agisoft, 2018, Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4 [online], [https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_4\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf) [Ziyaret Tarihi: 18 Ekim 2018].
- Akay, S. S., Özcan, O., Şanlı, F. B., Bayram, B., Görüm, T., 2019, İHA görüntülerinden üretilen verilerin doğruluk değerlendirmesi, *10. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, TUFUAB 2019*, Aksaray, 106-110.
- Aktaş, H., Çınar, C. M., Birdal, C. A., Türk, T., 2016, İnsansız hava araçları (İHA) ile elde edilen verilerin değerlendirilmesinde yaygın kullanılan yazılımların karşılaştırılması, *6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-CBS-2016)*, Adana, 305-309.
- Akgül, M., Yurtseven H., Demir, M., Akay, E.A., Gülci S., Öztürk T., 2016, İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını*, 66 (1), 104-118.
- Alidoost, F. ve Arefi, H., 2017, Comparison of UAS-based photogrammetry software for 3D point cloud generation: a survey over a historical site, *4th International GeoAdvances Workshop*, Safranbolu, 55-61.
- Altuntaş, C., 2011, Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının fotogrametrik verilerle birlikte değerlendirilmesi üzerine bir çalışma, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi FBE.*, Konya.
- Altuntaş, C., 2013, Keypoint based automatic image orientation and skew investigation on tie points, *Kybernetes*, 42 (3), 506-520.
- Altuntaş, C., 2019, Fotogrametrik görüntülerin otomatik eşleştirilmesi ve seyrek nokta bulutu oluşturma, *X. TUFUAB Teknik Sempozyumu 2019*, Aksaray, 30-38.
- Avdan, U., Şenkal, E., Cömert, R., Tuncer, S., 2014, İnsansız hava aracı ile oluşturulan verilerin doğruluk analizi, *UZAL CBS 2014*, İstanbul.
- Ayyıldız E., Özmüş L., Açar, F. Ç., Tuna, H., Özer, E., Erkek, B., Bakıcı, S., 2015, İHA ve uçak platformlarından elde edilen görüntülerin ortofoto üretiminde karşılaştırılması, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Bay, H., Tuytelaars, T., Gool, L. V., 2006, SURF: Speeded up robust features, *European Conference on Computer Vision*, LNCS Vol. 3951, 404-417.
- Blyenburgh, P., 2012, Light RPAS: The European Approach [online], Lima, Peru, <https://tr.scribd.com/document/365507471/06-Van-Blyenburgh-L-RPAS-Euro-Approach-120414-V1-b> [Ziyaret Tarihi: 18 Aralık 2018].
- Boy, O. ve Saraloğlu, S. S., 2016, Yer kontrol noktaları kullanılmadan İHA'lar ile hangi doğruluk seviyesinde haritalama yapılabilir [online], <http://www.uasturk.com/wp-content/uploads/2016/08/YKN-Kullan%C4%B1lmadan-PPK-ile-%C3%96l%C3%A7%C3%BCm.pdf> [Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2019].
- Burch, R., 2008, History of photogrammetry, Report Center Photogrammetry Training, Ferris State Universty. [online], [http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History\\_of\\_Photogrammetry.pdf](http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf): [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2019].
- Colomina, I. ve Molina, P., 2014, Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.

- Cramer M., Bovet, S., Gültlinger M., Honkavaara E., McGill, A., Rijdsjk, M., Tabor, M., Tournadre, M., 2013, On the use of RPAS in national mapping- the eurosdr point of view, *Remotes sensing and spatial information sciences*, Volume XL-1, W2.
- Demiray, A.O., 2001, Fotogrametrik veri elde etme sistemlerinin kalibrasyon yöntemleri, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 31.
- Derenyi, E. E., 1996, Photogrammetry the concepts, *Geodesy and Geomatics Engineering UNB*, Canada, 130-36.
- Dermainis, A., 2019, Historical evolution of photogrammetry [online], <https://docplayer.net/56058161-Photogrammetry-a-dermanis.html>: [Ziyaret Tarihi 12 Ocak 2019].
- Devine, V., 2016, Cypher Unmanned air vehicle, [online], <https://www.sikorskyarchives.com/CYPHER.php> [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Dios, M., Merino, L., Ollero, A., Ribeiro, L., Viegas X., 2007, Multi-UAV Experiments: Application to ForestFires. Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles, *STAR 37*, 207–228.
- Eisenbeiss, H., 2009, UAV Photogrammetry, Doctor of Sciences, *ETH ZÜRICH*, Zurich, 36-39.
- Eisenbeiss, H., 2011, The potential of unmanned aerial vehicles for mapping, *Photogrammetric Week'11*, Berlin, 135-145.
- Ergün, B., 2019, Gebze teknik üniversitesi sayısal fotogrametri [online], [http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106\\_2010\\_2\\_521\\_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf](http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf) [Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2019].
- Gürbüz, H., 2006, Genel Fotogrametri I, *TMMOB harita ve kadaastro mühendisleri odası*, Ankara, 1-324.
- Hartman, W., Tilch, S., Eisenbeiss, H., Schindler, K., 2012, Determination of the UAVposition by automatic processing of thermal images, *XXII ISPRS Congress*, Melbourne, 111–116.
- ICAO, 2017, Remotely piloted aircraft system (RPAS) concept of operations for international IFR operations [online], <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/ICAO%20RPAS%20Concept%20of%20Operations.pdf> [Ziyaret Tarihi 25 Mart 2019].
- Kılıç, F., 2015, Fotogrametri ders notları [online], <https://docplayer.biz.tr/109168771-Fotogrametri-ders-notlari.html>: [Ziyaret Tarihi:18 Ocak 2019].
- Konecny, G., 2003, Geoinformation remote sensing, photogrammetry and geographic information systems, *Taylor and Franncis*, Londra, 126-157.
- Levush, R., 2016, Regulation of drone [online], [https://fas.org/irp/congress/2016\\_rpt/lloc-drones.pdf](https://fas.org/irp/congress/2016_rpt/lloc-drones.pdf) [Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2018].
- Lowe, D., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. ve Harley, I., 2007, Close range photogrammetry : Principles, techniques and applicatios, *Wiley Whittles*, Caithness, 116-227.
- Maltos, J., 2019, The history of drones, [online], [http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/211\\_fall\\_2018/J-Rod\\_Maltos/history\\_3rd.html](http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/211_fall_2018/J-Rod_Maltos/history_3rd.html) [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Özbalımcu, M., 2019, Fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme yöntemleri [online], <https://www.harita.gov.tr/images/dergi/makaleler/6bbbb2a10edb63.pdf> [Ziyaret Taihi:20 Ocak 2019].

- Özcan, O., 2017, İnsansız Hava Aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi, *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 1-7.
- Özdemir, I., Uzar, M., 2016, İHA ile fotogrametrik veri üretimi, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-CBS 2016)*, Adana, 245-253.
- Özkan, H., 2016, İnsansız hava araçlarının/Dronelerin Türk sivil havacılık hukukuna göre statüsü, unsurları ve ceza hukuku boyutuyla güncel sorunlar, *TBB Dergisi*, 125, 340-350.
- Pajares, G., 2015, Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs), *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281-329.
- Pix4D, 2017, Pix4D mapper 4.1 user manual [online], <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf> [Ziyaret Tarihi: 5 Kasım 2018].
- Rehak, M., Mabillard, R., Skaloud J., 2013, A micro UAV with the capability of direct georeferencing, *Remote sensing and spatial information sciences*, Volume XL-1/W2, 317-323.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi D., 2011, UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling current status and future perspectives, *ISPRS Zurich 2011 Workshop*, Zurich, 25-31.
- Schenk, T., 2005, Introduction to photogrammetry, *The Ohio State University*, Columbus, 12-15.
- SHGM, 2016, İnsansız hava aracı sistemleri talimatı, SHGM, Ankara, 4-5, [online] [http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/SHT-IHA\\_WEB.pdf](http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/SHT-IHA_WEB.pdf) [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2018].
- Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D., Gini, R., 2014, Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images, *Earth Science Informatics*, 7 (2), 97-107.
- TKGM, 2018, İHA kullanım esasları [online], <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/iha-kullanim-esaslari> [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2019].
- Torun, A., 2017, İnsansız Hava aracı (İHA) sektörü ve İHA fotogrametrisinin ölçme bağlamında konumlandırılması, *TTTOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Tucci, G., Parisi, E. I., Castelli, G., Errico, A., Corongiu, M., Sona, G., Viviani, E., Bresci, E., Preti F., 2019, Multi-sensor UAV application for thermal analysis on a dry-stone terraced vineyard in rural Tuscany landscape, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8,87, 1-21.
- URL-1: <https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software>.
- URL-2: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/best-lidar-sensors-for-drones-great-uses-for-lidar-sensors/>
- URL-3: <https://www.c-astral.com/en/unmanned-systems/bramor-ppx#0>
- URL-4: <https://www.google.com/search?safe=active&rlz=1C1NNVCenAF491AF493&q=Beechcraft+B200+Super+King+Air+tipi+ve+D-IWAW&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwjx1Kjj-KPjAhUB-aQKHc4FCdEQsAR6BAgGEAE&biw=1350&bih=599#imgrc=U4k6dD8mgvrVIM>
- URL-5: <https://www.somag-ag.de/applications/mount-applications/>

- USArmy, 2010, UAS army road map for uas 2010-2035, UAS army uas center, Alabama, 12-14, [online] <https://www.rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap%202010%202035.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2019].
- UAS Road Map, 2005, Unmanned aircraft systems road map 2005-2030, DOD report, [online], [https://fas.org/irp/program/collect/uav\\_roadmap2005.pdf](https://fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf): [Ziyaret Tarihi 14 Şubat 2019].
- Uysal, M., Toprak, A. S., Polat, N., 2015, İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi, *TUFUAB VIII.Teknik Sempozyumu*, Konya, 275-279.
- Uysal, M., Yılmaz, M., Tiryakioğlu, İ, ve Polat, N., 2017, İnsansız hava araçlarının afet yönetiminde kullanımı, *4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir, 44-47.
- Yaşayan, A., Uysal M., Varlık A., Avdan, U., Erdoğan, S., 2011, Fotogrametri, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 46-116.
- Zhang, C., Walters, D., Kovacs, J.M., 2014, Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' requests– a case study in northeastern Ontario, Canada, *PLoS ONE* 9(11).

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Oktay ÇETİN  
**Uyuşu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Adana/1977  
**Telefon** : 0542 427 28 31  
**Faks** :  
**e-mail** : oktay\_cetn@yahoo.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fethiye Lisesi/Fethiye/Muğla	1994
Üniversite	: Yıldız Teknik Üniversitesi/Beşiktaş/İstanbul	1999
Yüksek Lisans	: -	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2001	Hv.K.K.lığı	Subay

### UZMANLIK ALANI

Uzaktan Algılama  
 Görüntü Kıymetlendirme

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR