

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE FOTOGRAMETRİK OLARAK ÜRETİLEN**  
**VERİLERİN KONUM DOĞRULUKLARININ ARAŞTIRILMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BURAK SAYGILI**

**AĞUSTOS 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE FOTOGRAMETRİK OLARAK ÜRETİLEN**  
**VERİLERİN KONUM DOĞRULUKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burak SAYGILI**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ**

**ZONGULDAK**

**Ağustos 2019**

**KABUL:**

Burak SAYGILI tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Olarak Üretilen Verilerin Konum Doğruluklarının Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.  
02/08/2019

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

**Üye** : Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇIN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ....../....../2019

  
Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Burak SAYGILI



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İNSANSIZ HAVA ARACI İLE FOTOGRAMETRİK OLARAK ÜRETİLEN VERİLERİN KONUM DOĞRULUKLARININ ARAŞTIRILMASI

**Burak SAYGILI**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ  
Ağustos 2019, 75 sayfa**

Biz mühendisler olarak, insanlık yararına gerçekleştirmekte olduğumuz mühendislik projeleri kapsamında, bize sunulan kaynakları ve zamanı daima en verimli şekilde kullanmalıyız. Bu temel mühendislik bilincine ilaveten, harita mühendisi olarak kendi disiplinimiz özelinde üzerimize düşen işe; ölçme işlerimizi olabildiğince hassas ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmek olmalıdır.

Anabilim dallarımızdan olan “Fotogrametri” alanında hem teknik hem de matematiksel anlamda bitmek bilmeyen gelişmeler neticesinde; eskiden karmaşık ve büyük fotoğraflama sistemleriyle donatılmış tek pervaneli bir planör ya da birkaç kişilik çift pervaneli uçaklarla oldukça pahalı olarak gerçekleştirilen çalışmalar, artık yerini bir sırt çantasına sığabilen, insansız olarak uçurulan, yüksek kalitede fotoğraflar çekebilen ve görece çok ucuz sistemlere bırakmaktadır. İnsansız hava aracı sistemleri; haritacılıktan tarıma, arkeolojiden arama kurtarmaya kadar birçok alanda hayatımıza girmiş bulunmaktadır.

## ÖZET (devam ediyor)

Sektörümüzde sıklıkla kullanılan, kolay ve görece ucuz bir şekilde elde edilebilen klasik jeodezik ölçme aletleri ile gerçekleştirilen ölçmeler, bize çoğu zaman pratik ve yüksek doğrulukta sonuçlar verse de; bazı durumlarda ölçülmesi çok zor, hatta bazen imkansız veya proje ilerleme hızına yetişilemeyecek durumlara yol açabilmektedir. Tezimiz kapsamında, jeodezik ölçme tekniklerinin yetersiz kalabildiği bu gibi durumlarla karşılaşılması durumunda İHA Fotogrametrisi bize bu noktaların ölçülmesinde nasıl bir kolaylık ve doğruluk sağlayabileceğini araştırdık.

**Anahtar Kelimeler:** Fotogrametri, İHA Fotogrametrisi, Fotogrametrik Değerlendirme, Ortomozaik Görüntü, Nokta Bulutu, Analiz

**Bilim Kodu:** 616.01.00

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **RESEARCHING OF POINT ACCURACY OF PHOTOGRAMMETRIC PRODUCED DATA BY UNMANNED AERIAL VEHICLE**

**Burak SAYGILI**

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

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan KARAKIŞ**

**August 2019, 75 pages**

As engineers; we must use the sources and time sufficiently which are presented to us, as part of engineering projects which are carried out for the benefit of humanity. In addition to this main criterion of the engineering; as geomatic engineer our assignment is to perform the measurements as fast and accurate as possible.

In consequence of developments in Photogrammetry which is the main department of geomatic engineering, a glider which use to be quiet complicated and furnished with huge photography system or studies which use to be practiced extremelly high priced by using double propelled plane, replace with relatively cheaper and tiny systems which are portable in a backpack have UAV, able to take high quality photos. Unmanned Aerial Vehicles are effectively used in very different departments such as; land surveying, agriculture, search and rescue, archeology, and so on.

## **ABSTRACT (continued)**

Although; measurements which are made by affordable geodetic measuring instruments give practical and high accuracy results, sometimes they can be too slow to catch up with the project. It can make impossible to work effectively. In this thesis it is searched that what kind of advantages could UAV Photogrammetry take in case of geodetic measurement techniques are insufficient.

**Keywords:** Photogrammetry, UAV Photogrammetry, Photogrammetric Evaluation, Orthomosaic Image, Point Cloud, Analysis

**Science Code:** 616.01.00





## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince ihtiyacım olan her türlü desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ'a ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL: .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 MOTİVASYON .....	1
1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ .....	2
1.3 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
BÖLÜM 2 FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ.....	5
2.1 FOTOGRAMETRİ.....	5
2.2 FOTOGRAMETRİNİN TÜRLERİ.....	16
2.3 FOTOGRAMETRİDE KULLANILAN KAMERALAR .....	17
2.4 İHA TANIMI VE TARİHÇESİ .....	19
2.5 İHA SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	31
2.5.1 Algılayıcılar .....	34
2.6 FOTOGRAMETRİNİN MATEMATİK TEMELLERİ.....	35
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1 ÇALIŞMA ALANI.....	39

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2 ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMAN VE YAZILIMLAR .....	41
3.2.1 DJI Phantom 3 Pro .....	42
3.2.2 Leica Flexline Ts02plus .....	43
3.2.3 Agisoft Photoscan Professional .....	44
3.3 YÖNTEM .....	45
BÖLÜM 4 UYGULAMA .....	51
4.1 İHA FOTOGRAMETRİSİ DEĞERLENDİRME ADIMLARI .....	51
4.2 NOKTA BAZLI KONUM DOĞRULUKLARININ İNCELENMESİ.....	60
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	75

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Elektromanyetik tayf.....	5
Şekil 2.2 1839 tarihli Paris şehir planı. ....	7
Şekil 2.3 Laussedat'ın fototeodoliti. ....	7
Şekil 2.4 Chevallier'nin fotoğrafik düzlem plan aleti. ....	8
Şekil 2.5 Meydenbaure'in kamerası. ....	9
Şekil 2.6 Deville tarafından kullanılan Kanada grid metodu. ....	10
Şekil 2.7 Pulfrich'in stereokomparatörü. ....	11
Şekil 2.8 Hugershoff'un autokartografı. ....	12
Şekil 2.9 Duane Brown'ın CRC-1 kamerası. ....	14
Şekil 2.10 Yersel fotogrametri uygulaması.....	16
Şekil 2.11 Hava fotogrametrisinde fotoğraf çekimi gösterimi. ....	17
Şekil 2.12 Leica M3 Analog fotoğraf makinesi. ....	18
Şekil 2.13 Sayısal Canon 5D Mark 3 fotoğraf makinesi.....	18
Şekil 2.14 Bayraktar TB2 askeri insansız hava aracı. ....	19
Şekil 2.15 Leonardo da Vinci'nin helikopter tasarımı. ....	20
Şekil 2.16 Model helikopter. ....	22
Şekil 2.17 Uçurtma kullanarak havadan fotoğraf çekimi.....	22
Şekil 2.18 Sıcak hava balonunun şişirilmesi (sol) ve gimble monte edilmiş radyo kontrollü Hasselblad kamera (sağ). ....	23
Şekil 2.19 Havadan fotoğraflama yapan bir zeplin. ....	25
Şekil 2.20 Geocopter GC-201 UAS-g.....	26
Şekil 2.21 Sabit kanatlı insansız hava aracı ....	27
Şekil 2.22 Oemnichen No.2. ....	28
Şekil 2.23 Bothezat'ın helikopteri.....	29
Şekil 2.24 Convertawings Model A. ....	30
Şekil 2.25 Curtiss-Wright VZ-7. ....	30
Şekil 2.26 İnsansız hava aracı gövdesi.....	32
Şekil 2.27 Elektrikli drone motoru. ....	32

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.28 Quaternium HYBRiX 2.0. ....	33
Şekil 2.29 Uçuş kontrol birimi elemanları. ....	33
Şekil 2.30 Yer kontrol istasyonu (sol) ve anteni (sağ). ....	34
Şekil 2.31 İHA’larda kullanılan bazı algılayıcılar. ....	35
Şekil 2.32 Fotoğraf ve nesne koordinat sistemleri arasındaki bağlantı.....	36
Şekil 3.1 Zonguldak ili. ....	39
Şekil 3.2 Zonguldak ili sınırları ve komşu iller.....	40
Şekil 3.3 BEÜ Farabi yerleşkesi içerisindeki çalışma alanlarımız.....	41
Şekil 3.4 DJI Phantom 3 Pro. ....	42
Şekil 3.5 Leica Flexline Ts02plus Total Station. ....	43
Şekil 3.6 Agisoft PhotoScan Professional yazılımı.....	44
Şekil 3.7 Çalışmamızda kullandığımız 8 numaralı GCP (YKN). ....	46
Şekil 3.8 Poligon üzerine kurduğumuz total station. ....	48
Şekil 3.9 Noktaların Autocad üzerinde incelenmesi. ....	48
Şekil 3.10 İHA ile elde ettiğimiz bir hava fotoğrafı.....	49
Şekil 3.11 Çalışmamıza ait iş akış diyagramı. ....	50
Şekil 4.1 Agisoft PhotoScan Professional fotoğraf ekleme menüsü.....	52
Şekil 4.2 Align Photos işlemi parametre penceresi.....	52
Şekil 4.3 Hava fotoğraflarının yöneltilmiş hali.....	53
Şekil 4.4 Menüden YKN’lerin eklenmesi (sol) ve YKN ekleme tablosu (sağ). ....	54
Şekil 4.5 Dense Cloud oluşturma menüsü (sol) ve Dense Cloud parametre penceresi (sağ). .	55
Şekil 4.6 Katı model oluşturma (sol) ve katı model parametre penceresi (sağ).....	56
Şekil 4.7 Çalışma alanımıza ait katı model. ....	56
Şekil 4.8 Doku oluşturma menüsü (sol) ve doku parametre penceresi (sağ). ....	57
Şekil 4.9 Kaplama modeli oluşturma (sol) ve kaplama modeli parametre penceresi (sağ). ....	58
Şekil 4.10 SYM oluşturma menüsü (sol) ve SYM oluşturma parametreleri (sağ). ....	59
Şekil 4.11 Ortomozaik oluşturma menüsü (sol) ve ortomozaik parametre penceresi (sağ).....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 DJI Phantom 3 Pro Teknik Özellikleri.....	42
Çizelge 3.2 Leica Flexline TS02plus Teknik Özellikleri.....	43
Çizelge 3.3 Hava fotoğraflarının veri özellikleri. ....	45
Çizelge 3.4 Çalışmada Kullanılan Yer Kontrol Noktalarının Kot ve Koordinatları.....	46
Çizelge 4.1 İlk uçuş sonucu yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları .....	60
Çizelge 4.2 İlk uçuş sonucu kontrol noktalarının karesel ortalama hataları. ....	61
Çizelge 4.3 İkinci uçuş sonucu yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları .....	63
Çizelge 4.4 İkinci uçuş sonucu kontrol noktalarının karesel ortalama hataları .....	64





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$x, y$	: Görüntü koordinatları
$x_0, y_0$	: İzdüşüm merkezinin görüntü koordinatları
$X, Y, Z$	: Nesne koordinatları
$X_0, Y_0, Z_0$	: İzdüşüm merkezinin nesne koordinatları
$c$	: Fotoğraf makinesi odak uzaklığı
$s$	: İz düşüm ölçeği
$R$	: Dönme matrisi
$^{\circ}$	: Derece
'	: Dakika
$\sim$	: Yaklaşık
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
”	: Saniye
$m_x$	: X yönünde karesel ortalama hata
$m_y$	: Y yönünde karesel ortalama hata
$m_z$	: Z yönünde karesel ortalama hata

### KISALTMALAR

3B	: 3 Boyutlu
ASA	: American Standards Association
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
CAD	: Computer-Aided Design
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CCD	: Charge-coupled Device
CSV	: Comma-Separated Values
CE	: Conformité Européenne

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

DEM	: Digital Elevation Model
DNG	: Digital Negative
DSLR	: Digital Single-lens Reflex
DXF	: Drawing Exchange Format
EPSG	: European Petroleum Survey Group
FCC	: Federal Communications Commission
FOV	: Field Of View
FPS	: Frame Per Second
GHz	: Gigahertz
GLONASS	: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GPC	: Ground Control Point
GPS	: Global Positioning System
GSI	: Geo Serial Interface
İHA	: İnsansız Hava Aracı
IMU	: Inertial Measurement Unit
IP55	: International Protection 55
ISM	: Industrial Scientific Medical Band
ISO	: International Organization For Standardization
JPEG	: Joint Photographic Experts Group
LandXML	: Land Extensible Markup Language
LiPo	: Lityum-Polimer
mAH	: Miliampere-hour
MBPS	: Megabits Per Second
MGON	: Milligon
MP	: Megapiksel
MS	: Millisecond
PPM	: Parts Per Million
RC	: Remote Control
RGB	: Red Green Blue

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

RTK	: Real-Time Kinematik
S/B	: Siyah/Beyaz
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TM	: Transverse Mercator
TUREF	: Turkish National Reference Frame
URL	: Uniform Resource Locator
USB	: Universal Serial Bus
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı





## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 MOTİVASYON

Ülkemizde fotogrametri, eskiden belli başlı devlet kurumları ve üniversiteler dışında pek kullanılan ve bilinen bir teknik değildi. Fotogrametride kullanılan sistemler ve elde edilen fotoğrafların değerlendirme aşaması; bugünkü geldiği noktaya nazaran çok daha zordu ve ayrıca algılama yapılan sistemi taşıyan hava aracı, bildiğimiz birkaç insan taşıyan küçük uçaklardı, yani çok daha masraflıydı. Analog dönem ile başlayan fotogrametri tekniğinin dünya çapında akademik ve teknik insanların çabaları sayesinde hızla gelişmesi sonucu bugün gelinen noktada, sayısal ve sonrasında analitik fotogrametri kullanımı yaygınlaşmış ve neticesinde teknik daha rahat anlaşılır bir hale gelmiştir. Buna paralel olarak; İnsansız hava araçlarının da zamanla gelişmesi, küçülmesi ve daha ulaşılabilir olması sebebiyle İHA fotogrametrisi mesleğimiz ve mesleğimiz ile bağlantılı diğer meslekler için oldukça popüler bir hale gelmiştir. Bu iki sistemde yaşanan gelişmeler haricinde; küresel konumlama sistemi, atalet ölçüm sistemi, ileri hareket dengelemesi, yakınlık sensörü, jiroskop, değişik bant aralıklarında kayıt yapabilen algılayıcılar gibi muhtelif teknolojik sistemlerde yaşanan icat ve gelişmeler İHA fotogrametrisinde etkili olarak kullanılmaya başlanmıştır (Karakış 2011).

Klasik jeodezik ölçme yöntemleri ise dünya genelinde harita işiyle uğraşan tüm insanların ulaşabileceği en kolay ve görece en ucuz yöntemdir. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçişinden sonra ilkel yöntemlerle başlayan haritacılık mesleği farklı teknik ve ekipmanların geliştirilmesi neticesinde oldukça hassas ve pratik bir hale gelmiştir. Ben dahil olmak üzere günümüzde binlerce harita mühendisi altyapı, üstyapı, yol, köprü, hava alanı, liman ve baraj gibi çeşitli mühendislik yapılarının imalat aşamalarında uygulaması gerekli aplikasyon ve sonrasında gerekli olan kontrol işlerinde total station kullanmaktadır. Bu mühendislik yapılarının imalatlarına başlamadan önce projeyi ilgilendiren alanın hali hazırı ve plankotesi; imalatların tamamlanmasının ardından ise gerekli rölöve, as-built veya sayısal işletme planı

gibi projelerin hazırlanması gerekmektedir. Bu projeler oluşturulurken belirli hassasiyet değerlerini sağlamak, hiçbir detayı atlamamak ve kısıtlı olan süre zarfında saha ölçümlerini tamamlayıp, daha sonra bilgisayar ortamında değerlendirme ve çizimlerin yapılması gerekmektedir. Bu işlemlerin tamamlanması küçük ölçekli projelerde görece kolay olsa da; orta ve özellikle büyük ölçekli projelerde oldukça fazla zaman almakta olup; bazı ulaşılamayan tehlikeli noktalar veya yerden ölçülemeyen detaylar yüzünden bu çalışmaların tamamlanması oldukça zor hale gelebilmektedir (Gençerk 2016).

## **1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ**

Orta ve büyük ölçekteki neredeyse her türlü mühendislik projesinin daimi teknik kadrolarının olmazsa olmazı bir harita mühendisidir. Mobilizasyon aşamasında proje alanının etrafının kapatılması için gerekli hattın, personel ve işçi konteynerlerinin, yemekhane ve diğer sosyal tesisler ile bunları birbirine bağlayacak yolların aplikasyonu ile başlayan serüven, hafriyat köşelerini applike etmek suretiyle devam edip, iş bitiminde son tesviyenin yapılması ve teslimat ile ilgili projelerin hazırlanmasına kadar sürer. Bu sebeple harita mühendisleri olarak gelişen teknolojiyi olabildiğince yakından takip etmeli, mesleğimizle alakalı yeni çıkan ekipman ve yazılımlar hakkında bilgi edinmeli, bu sayede teknik gelişimimize önem vermeli ve dinamik olmalıyız. Her yeni çıkan teknoloji bir öncekine nazaran daha kullanışlı, verimli ve genellikle daha hızlıdır. İHA fotogrametrisi tekniği de, doğru ve amacına uygun olarak kullanıldığı takdirde, klasik yöntemlere nazaran mesleğimizin en verimli ve hızlı tekniklerinden biridir. İşte bu gibi teknikler sayesinde çalıştığımız projelerde hız ve maliyet açısından çeşitli kazançlar sağlayabiliriz.

## **1.3 ÇALIŞMANIN AMACI**

Mühendislik projelerinde zaman ve maliyetin olabildiğince düşük tutulması her zaman elzem bir konu olmuştur. Klasik jeodezik yöntemlerin kullanıldığı bazı projelerin hazırlanmasında ise fazladan zaman ve maliyet gereksinimleri ortaya çıkabilmektedir. İHA fotogrametrisinin ise artık pratik, hızlı ve eskisi gibi çok pahalı bir teknik olmaması sebebi yukarıda belirttiğim bazı projelerin hazırlanmasında zaman ve maliyet kazandıracağı düşüncesi bize motivasyon kaynağı olmuştur ve bu tez kapsamında imalatı tamamlanmış ve total station ile ölçümleri yapılmış muhtelif yapılara ait detayların elde edilmesinde İHA fotogrametri tekniğinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmamızın ilk bölümünde bu çalışmayı gerçekleştirmeye

neden ihtiyaç duyduğumuz ve bizi bu çalışmaya motive eden bir takım sebeplerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde fotogrametri ve insansız hava araçlarının tarihsel gelişimi, türleri, genel yapısı ve kullanım alanları ile ilgili literatür bilgilerine ve fotogrametrinin matematik temelleri ve konum doğruluğu ile alakalı bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmayı gerçekleştirdiğimiz ilin çeşitli özelliklerinden ve çalışma kapsamında kullandığımız ekipmanların genel özelliklerinden ve bu ekipmanlar sayesinde elde ettiğimiz veriler hakkında gerekli bilgilerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmamızda nasıl bir işlem sırası izlediğimiz anlatılmıştır. Beşinci bölümde gerçekleştirdiğimiz uygulama ve bu uygulama sonucunda elde ettiğimiz değerlendirme verilerine ve analiz tablolarına yer verilmiştir. Son olarak altıncı bölümde ise çalışmamız sırasında karşılaştığımız sorunlar, vardığımız sonuçlar ve çözüm önerileri anlatılmıştır.





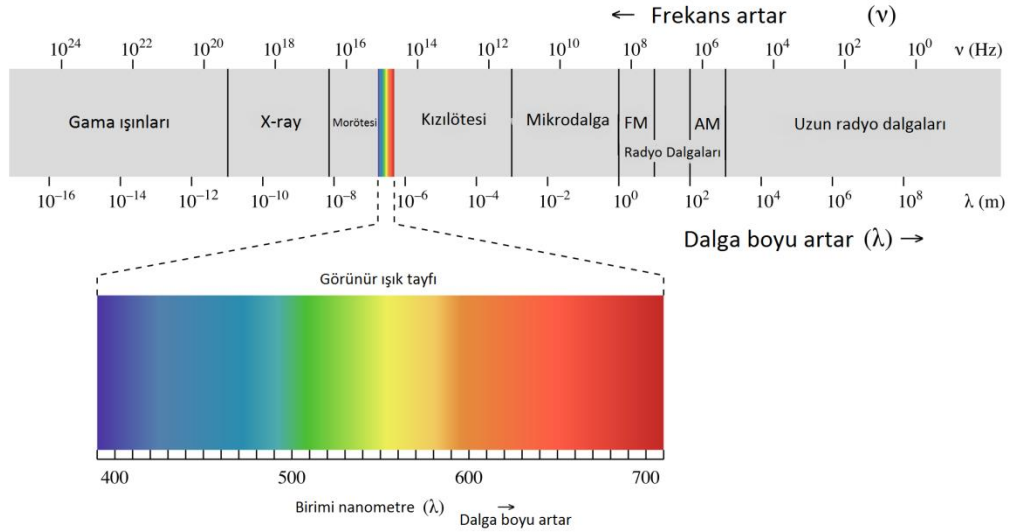


## BÖLÜM 2

### FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ

#### 2.1 FOTOGRAMETRİ

Canlı ve cansız bütün nesne ve yüzeyler, üzerlerine düşen Şekil 2.1’de gösterilen farklı frekanslardaki elektromanyetik enerjileri farklı oranlarda yansıtmaktadır. Yansıyan bu elektromanyetik enerjiler, çeşitli teknikler kullanılarak kayıt edilir, depolanır ve ölçülür. İşte bu tekniklerin tamamına birden “Fotogrametri” denilmektedir.



Şekil 2.1 Elektromanyetik tayf.

Fotogrametri birleşik kelimesi sırasıyla Antik Yunanca; photo (ışık), gramma (çizmek, yazmak, kazımak), metria (ölçmek) kelimelerinden oluşmaktadır (Keleş 2010).

Türkçe’ye belki şu şekilde çevirebiliriz: “Işığın çizdiklerini ölçmek”. Fotogrametri’nin ana girdisi olan fotoğraf’ın kısa tarihine biraz değindikten sonra, “Fotogrametri’nin Temelleri” ile devam edeceğim. Işıkla Çizmek yani “Photograph” tabiri tarihte ilk kez 1840 yılında İngiliz Sir John F. W. Herschel tarafından ortaya atılmış olsa da, fotoğrafın ortaya çıkışı çok daha eskiye dayanmaktadır (URL-1).

800'lü senelerde yaşamış olan bilim insanı ve bilinen ilk simya alimi, İnan Horasan'lı Câbir bin Hayyan, gümüş nitrat bileşiminin güneş ışığı altında karardığını tespit etmiştir. 10. yüzyılda Basra'lı bilim insanı İbn-i Heysem ışığın yansıması, kırılması ve optiğin temelleri üzerine çığır açan buluşlar yapmıştır (Birlik 2015). 1500'lerde ise dünyanın gelmiş geçmiş en büyük sanatçı ve dehası olarak kabul edilen bilim insanı İtalya, Floransa'lı Leonardo da Vinci ışıksız bir odada bulunan ufak bir deliğin, odanın dışarısındaki görüntüyü aksettirdiğini keşfetmiştir (Topdemir 2012). Nihayetinde bu teknoloji ve sanat dalında birçok bilim insanı ve sanatkar, önceki buluşların ve denemelerin ışığı altında çeşitli çalışmalar yapmış ve sistemi iyileştirmeye, geliştirmeye ve netleştirmeye çalışmıştır. “Gümüş ışıkla etkileştiğinde kararır” malumatını, “Karanlık Oda” ile birleştirip aynı anda deneyen İngiliz fotoğrafçı Thomas Wedgwood bazı teorik sonuçlara ulaşmıştır. Daha sonra Fransız mucit Joseph Nicéphore Niepce 1826 senesinde tarihe geçen o meşhur fotoğrafı “Pencereden Le Gras'a bakış”ı sekiz saatte çekmiştir (Ak 2009).

Fotoğraflar üzerinden harita çıkarabilme ve ölçüm alabilme ihtiyacı, fotogrametrinin doğmasına sebep olmuştur. Aslına bakar isek; haritacılık sektöründe şu anda kullanılmakta olan çoğu teknik gibi, bu da bazı askeri ihtiyaçların karşılanması isteğiyle meydana gelmiştir. Bu bilim dalının kökenine incek olursak; tarihte vuku bulmuş ve kayda geçmiş bazı hadiselerden bahsetmemiz ve fotogrametriyi değerlendirme yöntemine göre kronolojik gelişimini genel olarak 4 ana başlık altında toplamamız gerekir.

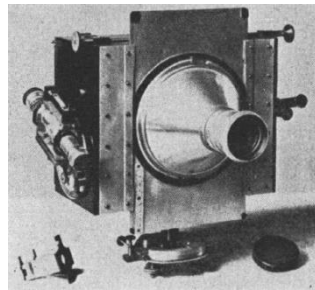
***Plançete Fotogrametrisi (1850-1900):*** 1790 senesinde Fransız kartograf Beautemps-Beaupré, Santa Cruz adasının planını çizmek için adaya ait bir manzara tablosundan yararlanmıştı. Daha sonraları bazı Fransız subaylar manzara tablolarından askeri amaçlı topoğrafya bilgileri çıkarmaya çalışmışlardı, fakat bu iş ölçek ve hassasiyet açısından sorunlara ve ciddi zaman kayıplarına neden oluyordu. Fotoğraf makinesinin daha yeni kullanılmaya başlandığı senelerde Fransız fizikçisi François Arago, bu makineler ile çekilmiş resimler üzerinden, herhangi bir binanın veya ölçülmesi kolay ya da mümkün olmayan bölgelerin ölçülendirilmesinin mümkün olabileceğini ve topoğraf memurlarının bu vesile ile arazi planlarını ve türlü ölçümleri seri bir şekilde yapabileceğini ifade etmişti. Fakat Arago'nun bu düşünceleri o senelerde gereken itibarı görmemiştir. 1859 senesinde Paris'te bulunan Ecole Polytechnique Eğitim ve Araştırma Kurumu'nda arazi dersleri veren Fransız istihkam subayı, bilim insanı ve aynı zamanda harita mühendisi ve daha sonraları “Fotogrametri'nin Babası” olarak anılacak olan Aime Laussedat; yaklaşık 20 sene önce Arago'nun fotoğraflar üzerinden

harita yapabilme düşüncesi ile Beautemps-Beaupré'nin çalışmalarını dikkate alarak yeni birtarz icat etmiş, bunu kurumdaki diğer akademisyenlere izah etmiş ve çokça beğeni toplayıp, takdir edilmiştir. Laussedat, bu icadını ilk kez 1861 senesinde Paris'te tatbik etmiştir. Ecole Polytechnique binasının çatısından ve Saint-Sulpice kilisesinden çektiği yersel fotoğrafları kullanarak, bir mahallenin kısmen planını çizmiştir. Bu plan, 1839 senesinde kartografya başmühendisi Ambroise Tardieu tarafından, klasik jeodezik ölçüm aletleri kullanılarak çizilmiş olan Şekil 2.2'de gösterilen Paris planı ile uyuşuyordu (Aygün 1938).



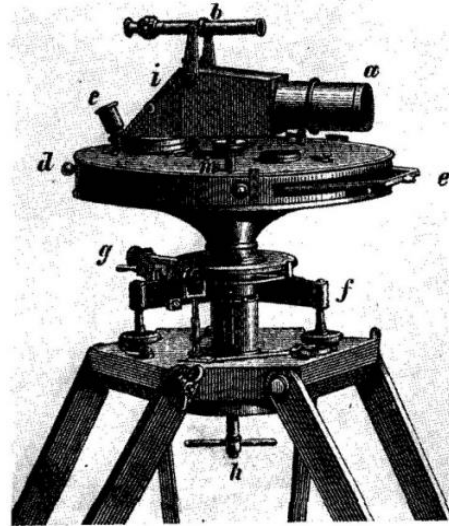
**Şekil 2.2** 1839 tarihli Paris şehir planı.

1862 senesinde Laussedat'ın haritalama amaçlı fotoğraf kullanım tekniği Madrid Bilim Akademisi tarafından resmi olarak kabul görmüştür. Laussedat, yeryüzüne ait fotoğrafları havadan alabilmek için balon kullanan ilk kişi olsa da, bu tekniği zorlukları nedeniyle pek fazla kullanmamıştır. 1867 senesinde Paris fuarında, kendi buluşu olan Şekil 2.3'teki "Fototeodolit"i sergilemiştir (URL-3).



**Şekil 2.3** Laussedat'ın fototeodoliti.

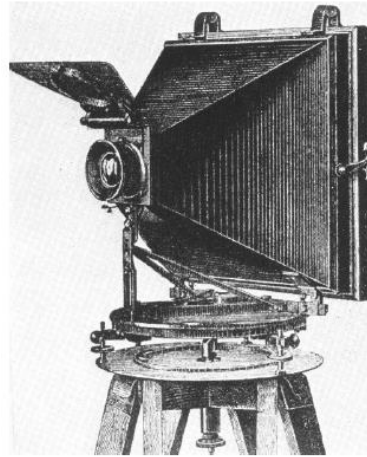
Plançete fotogrametrisi aslında, standart düzlemsel harita çizim tekniğinin bir uzantısı sayılır. Her bir poz alım noktasının konumu belirlenmiştir ve pozlanmış bu fotoğraflar, düzlem üzerinde farklı objelere doğru yönelmeleri yapılmak suretiyle haritaya aktarılmıştır. Fotoğraf makinelerinin biraz daha gelişmesi ile havadan pozlama imkanı daha da artmış ve askeri uygulamalarda kullanımına devam edilmiştir. Sıcak hava balonu sayesinde 80 metre irtifadan fotoğraflama yapan fotoğraf sanatçısı Gaspard Felix Tournachon'a dönemin Fransa İmparatoru Napolyon Bonapart tarafından 1859 senesinde Soferino savaşına hazırlık için keşif amaçlı hava fotoğrafları çekmesi emredilmiştir. 1870'te Prusya ordusu da benzer yöntemler kullanarak ordunun savaştaki stratejik anlamda etkinliğini arttırmaya çalışmıştır. Jeodezi ve optik mühendisi, aynı zamanda takometre'nin mucidi olan Paulo Ignazio Pietro Porro, üç asimetrik lensli sistem kullanarak görüntü alma kalitesini ciddi anlamda arttırmayı başarmıştır. 1858'e geldiğinde Porro panoramik fotoğraf makinesini geliştirmiş ve bunu nivo, teleskop ve bir pusula ile birleştirip entegre bir sistem meydana getirmiştir. 1865 senesinde ise bu mucit bir "Foto Gonyometre" tasarlayarak fotoğraflardaki lens distorsiyonunu azaltmayı başarmış ve fotogrametriye önemli bir katkı sağlamıştır. 1858'de Fransız Chevallier, Şekil 2.4'teki fotoğrafik düzlem plan aletini geliştirdi. Bu sistemde fotoğraf makinesi yatay düzlemde pozlama yapıyordu ve ışık ışınları, döndürülebilen bir gözlem tertibatına bağlı prizma kullanılarak doğru açılarda saptırılıyordu (Bilgi 2007).



Şekil 2.4 Chevallier'nin fotoğrafik düzlem plan aleti.

1884 senesinde ise Moessard, "Cylindrographe" adını verdiği, objektif merceğini yatay bir düzlemde döndüren ve bir silindire sarılmış film şeridini pozlandıran, bir görme cihazı ile donatılmış tertibatı geliştirdi ve bu tertibatı haritalama amacı ile de kullandı (Luhmann 2004).

1889 senesine ise fotoğraf filmleri açısından güzel bir gelişme daha yaşandı. Eastman Kodak firmasının sahibi George Eastman, bir film altlığı olarak esnek selüloid kullandı. Bu sayede fotoğrafçılığın popülerliği arttı ve daha sonra 1890 senesinde bu filmler rulo film için fotoğrafik eski filmlerin yerini aldı (Bilgi 2007). 1892’de Alman mucit Franz Stolze, üç boyutlu stereoskopik ölçümler için kullanılacak yüzen ölçü markasını keşfetti. Bu buluş, fotogrametri tarihi açısından teknik anlamdaki en önemli gelişmelerden bir tanesi olmuştur (Yastıklı 2009). 1893 Aralık ayında Amerikan ordusu topçu birliğinde astsubay olan Cornele B. Adams, sıcak hava balonu ile aynı yüzeye ait iki farklı noktadan çektiği fotoğraflar ile “Fotogrametri Yöntemi” patentini almaya hak kazandı. Adams ayrıca, balondan aldığı görüntüler için düzlem plan fotogrametrisi prensipleriyle uğraşırken radyal üçgenlemeyi de keşfetmiştir. 1893 senesine gelindiğinde “Fotogrametri” tabiri ilk kez Alman mühendis Dr. Albrecht Meydenbauer tarafından kullanıldı. Mimari ölçme ve rölöve işlerinde fotogrametrik teknikleri kullanan Meydenbauer, ayrıca Prusya Kraliyet Fotogrametrik Enstitüsü’nü kurmuş ve 1909 senesine kadar bizzat yöneticiliğini yapmıştır. Ayrıca fotogrametrik işlerde kullanıldığı fotoğraf makinesini yetersiz bulup 1867 senesinde kendi fotoğraf makinesini tasarlamış ve fotogrametrik haritalama tarihinde ilk kez 105 derece geniş açılı bir lens kullanmıştır. Bu makine ile Almanya’nın Freyburg kentinin haritasını çıkarmış ve ayrıca birçok farklı mimari çalışmada kullanmıştır. Meydenbaure’e göre iyi bir teknik ressam, pergeller yardımıyla 0.1 mm hassasiyete kadar fotogrametrik koordinat verileri elde edebilirdi. Şekil 2.5’te Meydenbauer’e ait bir kamera gösterilmektedir. Meydenbauer, metotlarında yüksek doğruluk elde etme başarısına erişmişti. Çünkü geniş format (40 cm x 40 cm) fotoğraf kullanırdı. Fotoğraf ile harita ölçekleri arasındaki çok iyi orantı kurardı ve bu oranı 2’den yukarı çıkarmazdı (URL-3).

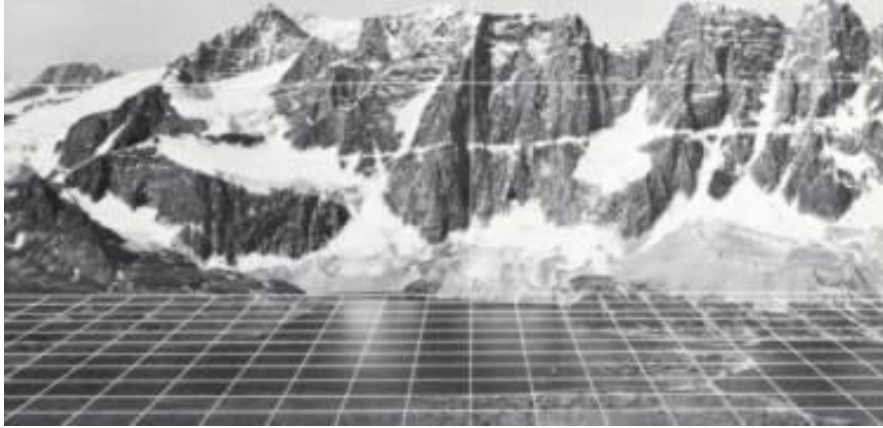


**Şekil 2.5** Meydenbaure’in kamerası.

**Analog Fotogrametri (1900 - 1960):** İki ana gelişme fotogrametriyi analog evresine taşımada etkili olmuştur. Bunlardan ilki stereoskopinin yaygınlaşması, ikincisi ise Orville and Wilbur Wright kardeşler tarafından uçağın icat edilmesidir.

Uçak, yersel kamera sistemlerine göre daha iyi bir platform sağlamaktaydı. Wilbur Wright tarihte ilk kez uçaktan fotoğraf çeken kişi olmuştur. Haritalama amaçlı, uçaktan ilk hava fotoğrafı ise İtalyan havacı Cesare Tardivo tarafından o zamanlar İtalyanların kontrolünde bulunan Libya'nın Bingazi şehrine ait 1:4000'lik mozaik oluşturma amaçlı çekilmiştir.

1896 senesinde Kanada Harita Generali Edouard Deville, "Stereo-Planigraf" olarak adlandırdığı ilk stereoskopik çizim aracını icat etmiştir. Bu araç sayesinde, ilk kez stereo bindirmeli fotoğrafları değerlendirmeyi denemişler. Fakat cihazın hantallığı ve karmaşıklığından ötürü fazla kullanmamışlardır. Buna rağmen Deville; Kanada'da bulunan Alaska'dan New Mexico'ya kadar uzanan ve dünyadaki en büyük sıradağlardan biri olan Rocky sıradağlarını haritalamayı başarmış ve Kanada'nın "Fotogrametri Babası" olarak anılmıştır. Deville, aynı sehpa üzerine kurulu bir kamera ve teodolit kullandı ve bu görüntüleri harita düzlemine aktarırken Şekil 2.6'da gösterilen Kanada Grid'i olarak anılan projektif ızgaralar yönteminden yararlandı (URL-3).

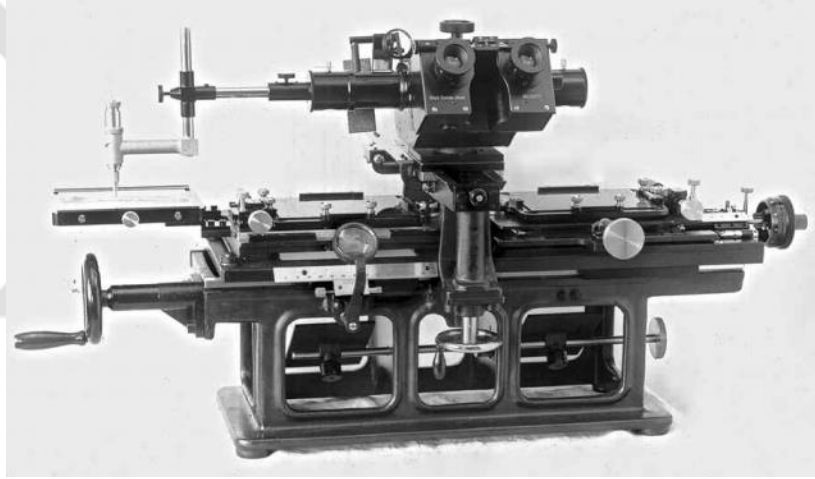


**Şekil 2.6** Deville tarafından kullanılan Kanada grid metodu.

1899 senesinde Münih Teknik Üniversitesi'nde profesör olan Alman matematikçi ve buzul bilimci aynı zamanda "Buzul Fotogrametrisinin Babası" olarak bilinen Sebastian Finsterwalder, çift resim fotogrametrisinin prensipleri ve karşılıklı-mutlak yöneltilmeler hakkında araştırma, tesbit ve açıklamalarda bulunmuştur. Uygun geometrik değerlendirme

için gelen ışınlar arasındaki vektörel bağıntıları tanımlamada en küçük kareler yönteminden faydalanmıştır.

1901 senesinde Alman fizikçi Dr. Carl Pulfrich ilk ölçekli x ve y koordinatları ile çalışan Şekil 2.7'deki "Stereokomparatör"ü icat etmiştir ve bu icadından ötürü "Stereofotogrametri'nin Babası" olarak da bilinmektedir. Benzer zamanlarda Güney Afrika'da fotogrametri ve stereograflar üzerinde çalışmalar yürütmekte olan jeodezi ve fotogrametri mühendisi Dr. Henry George Fourcade de, Pulfrich'inkine benzer bir stereokomparatör geliştirmiştir. Fourcade'in sisteminin farkı ise x ve y koordinatları yerine grid plakalardan yararlanmıştır. Birbirinden bağımsız bu gelişmeler neticesinde birçok kişi stereokomparatörleri Pulfrich-Fourcade adı ile anmaktadır (Gençerk 2016).

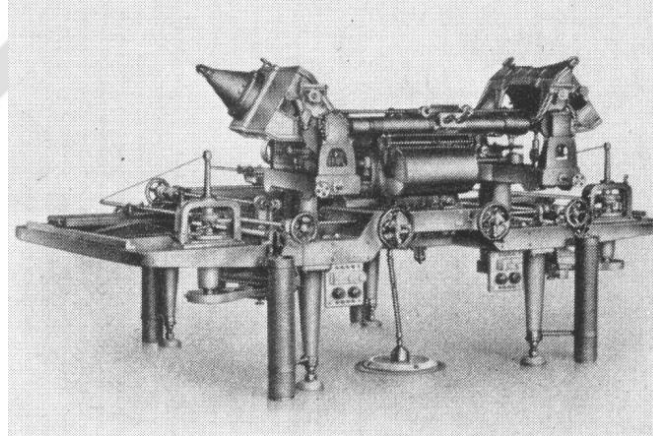


Şekil 2.7 Pulfrich'in stereokomparatörü.

1904 senesinde Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu, topoğrafik harita üretiminde fotogrametrik yöntemlerden yararlanmaya başladı. C. W. Wright ve F. E. Wright kardeşler Alaska'da jeodezik ölme işleri icra ederken balonlu su terazisi ve dahili ölçek entegre ettikleri, panoramik bir fotoğraf makinesi kullanmışlardır.

1908 senesine gelindiğinde Almanya'da Eduard von Orel ilk "Stereograf"ı geliştirmiştir. Bu kayda değer makine, çalışma prensibi dolayısıyla dağlık bölgelerin yersel fotogrametrik değerlendirilmesi anlamında büyük kolaylıklar sağlamıştır çünkü makine, operatörüne doğrudan münhanileri okuma olanağı tanıyordu. Aynı sene, Büyük Britanya'da Kraliyet Mühendisleri Ordusu subayı Frederick Vivian Thompson, yersel fotogrametrik görüntüler yardımıyla plan ve tesviye eğrileri çizebilen "Stereo-çizici" makinesini geliştirmiştir.

1921 senesinde Alman jeodezi ve fotogrametri mühendisi ilk analog-çizici makinesini geliştirmiş ve bu icadına “Hugershoff Autocartograph” adını vermiştir. Çok karmaşık bir sisteme sahip olan bu birleşik iki foto gonyometre ile çalışan bu mekanik çizici hem planimetrik hem de münhani haritaları çizebiliyordu. Yersel, hava, düşey hava, eğik ve yakınsak tüm fotoğraflarla çalışabilmesi sebebiyle evrensel bir makine olma niteliği taşıyordu. Ayrıca Hugershoff, görüntülerin bir ışık ile masanın altından yansıtıldığı bir projeksiyon-çizicisi de geliştirdi. Şekil 2.8’deki Autocartograph’ın büyük boyutlu olması sebebiyle daha portatif bir şeyler yapmaya çalışan Hugershoff, 1926 senesinde “Aerocartograph”ı geliştirmiştir. Yeni sistemde karmaşık mekanik parçalar yerine açıklık rotları kullanılmıştı ve operatörün sağ gözle sol, sol gözle sağ fotoğraflara bakabileceği optik yolu değiştirilebilen bir sistem geliştirmişti. Geliştirilen bu optik yol sayesinde fotogrametri operatörü rahatlıkla analog hava nirengisi yapabiliyordu. Profesör Hugershoff ayrıca bir stereo-komparatör de geliştirmiş ve daha sonraları Zeiss Works ile ortak çalışmalar yürütmüştür.



**Şekil 2.8** Hugershoff’un autokartografı.

Alman fotogrametri öncülerinden sayılan ve 1. Dünya Savaşı’nda Alman Ordusu’nun batı cephesinde fotogrametri manga lideri olarak askeri görevini icra eden Otto von Gruber, analitik fotogrametrinin temellerini oluşturan projektif denklemler ve onların türevleri üzerine çalışmalar yürütmüş ve çıkarımlarda bulunmuştur.

İsviçreli mucit ve aynı zamanda optik jeodezik ve fotogrametrik ölçme aletleri üreten Wild Heerbrugg (daha sonraları farklı firmalarla birleşip şu anki Leica firmasını meydana getireceklerdir) firmasının kurucularından biri olan Heinrich Wild; 1922 senesinde “Wild Autograph Wild A1” adını verdiği stereo-değerlendirme aletini üretmiştir. Yersel haritalama



işlemlerinde kullanılan bu analog alet, 1926 senesinde hava fotoğrafçılığına uygun olacak şekilde geliştirilmiştir (URL-3).

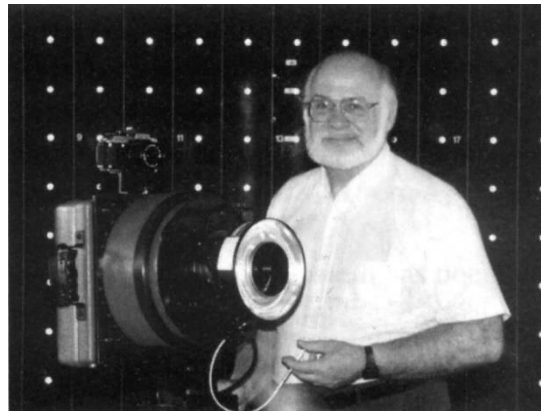
20. yüzyılın başlarında yukarıda belirtilen ve onların haricinde pek çok bilim adamı ve mühendis, stereo-çizim ve stereo-değerlendirme ve stereo-kartograf aletlerini fotogrametri endüstrisine kazandırmışlardır. Fotogrametrik amaçlı hava fotoğrafçılığında ve fotogrametrik kıymetlendirme süreçlerinde kullanılan optik ve analog makine ve aletlerin işlevlerinin ve doğruluklarının artırılması, aynı zamanda maliyetlerinin azaltılması yönünde çalışmalar ve geliştirmeler sürekli devam etmiştir.

***Analitik Fotogrametri (1960 - 1980):*** Modern analitik fotogrametrinin temelini oluşturan prensiplerin pek çoğu, daha evvelinde fotogrametri öncülerinin tartışma ve toplantılara konu olmuştur. Özellikle Church, Finsterwalder ve Von Gruber bu konuda ciddi çalışmalar yürütmüştür. Yine 1950'li senelerde Washington Deniz Fotoğrafçılığı Yorum Merkezi'nde çalışmakta olan Everett Merritt'in analitik fotogrametri üzerine çalışmalar yürütüp ve kamera kalibrasyonu, iç ve dış yöneltme elemanları, uzayda geriden kestirme, karşılıklı ve mutlak yöneltme gibi konular için bir takım analitik çözümler geliştirmiştir. Aynı senelerde bilgisayar endüstrisinde yaşanan ciddi gelişmeler sayesinde fotogrametri sektöründe de önemli gelişmeler cereyan etmeye başlamıştır (URL-3).

1953 senesinde Amerika Birleşik Devletleri, Aberdeen'de bulunan Balistik Araştırma Laboratuvarı'nda çalışmakta ve ayrıca uzay enstitüsünde araştırmalar yapmakta olan jeodezi ve fotogrametri profesörü Hellmut Heinrich Schmid, matris formüllerini kullanarak çok istasyonlu analitik fotogrametri prensiplerini geliştirmiştir. Schmid, en küçük karelerin kesin çözümü, herhangi bir sayıda fotoğrafın eş zamanlı çözümü ve hata yayılımı, fotogrametrik görüntülerin yüksek hassasiyetli değerlendirilmesi gibi konular üzerinde önemli araştırmalar yapmıştır.

Amerikalı astronom Dr. Paul Herget, vektör gösterimleri sayesinde analitik kontrol uzantılarına yeni bir yaklaşımda bulunmuştur. Çözümü; karşılıklı gelen ve görüntü ışınlarının yere düştükleri noktalar arasındaki dikey mesafeyi minimize etmektir. Karşılıklı yöneltmeleri tanımlamada kullandığı denklemler ise yer kontrol noktalarının hesaplanması için kullandıklarıyla aynıydı.

Amerika Birleşik Devletleri, Yale Üniversitesi, Matematik mezunu Duane Brown, Balistik Araştırma Laboratuvarı'nda çalışmakta olan Schmid'e katılmış ve burada uyduların yörüngesel yolunu belirlemek için balistik kameralar kullanarak jeodezi sektörüne dahil olmuştur. 1955 senesinde ise RCA Şirketi'ne geçerek balistik füze test projelerinde çalışmaya başlamış ve burada kamera kalibrasyon işlemleri açısından yeni yaklaşımlarda bulunmuş, ayrıca ışın demetlerinin dengelenmesi için bazı matematiksel formüller geliştirmiştir. Bu çok önemli bir gelişmeydi, çünkü kameranın dış yöneltme parametreleri ile birlikte iç yöneltme parametreleri ve sistematik radyal lens distorsiyonlarına anında çözümler getiriyordu. Daha önceleri dış yöneltme parametreleri bağımsız olarak elde edilir ve sonrasında yer kontrol noktalarının fotogrametrik kesişimleri belirlenirdi. Duane Brown'ın birinci dereceden bölümlenmiş regresyon üzerine yapmış olduğu bu çalışmalar jeodezi ve fotogrametri tabanlı birçok alana öncülük etmiştir. Fotogrametrik doğruluğu ve güvenilirliği arttıracak çalışmalarına devam eden Brown, özellikle kamera parametreleri ve kalibrasyonları ile yakından ilgilenmiştir. DBA şirketi adı altında yüksek doğrulukta, geniş formatlı ve yakın mesafeli fotogrametrik kameralar geliştirmiştir. Araştırma ve çalışmaları arasında merkezsiz kayıklık kusurlarının düzeltilmesi, asal nokta kalibrasyonu, film malzemesi olarak kullanılan cam plakalardaki deformasyonların fotogrametrik ürünlere negatif etkileri ve "Apollo Projesi" için ayın haritalandırılması bulunuyordu. Brown daha sonraları büyük merkezi bilgisayar sistemleri yardımıyla yapılmakta olan ışın demedi dengelemesinin, kişisel bilgisayarlarda da uygulanabilmesine olanak sunması için bilgisayar programcılara matematiksel konularda yardımcı olmuş ve neticesinde "Eşzamanlı Üçgenleme" ve "Geriden Kestirme" gibi yazılımları meydana getirmişlerdir. Daha sonraları cam plakalar yerine, arkasında retikül olan ultra düz bir levha ve sürekli olarak odaklanabilen bir lens bulunan Şekil 2.9'daki büyük formatlı yakın mesafe kamerası "CRC-1"i geliştirmiştir.



Şekil 2.9 Duane Brown'ın CRC-1 kamerası.

Tek bir fotoğraf üzerinde çalışılan, resim koordinatlarını hassas bir şekilde ölçmeye yarayan “AutoSet-1” mono komparatörünü operatörden bağımsız olarak tam otomatik ve daha hızlı ölçüm yapabilecek şekilde gelişmesini sağlamıştır.

Brown, fotogrametri alanına sayısız katkı ve yenilik sağlamış, fotogrametrik hassasiyet limitlerini kırmayı başarmış ve 1:1.000.000'dan daha iyi doğruluk elde eden ilk kişi olmuştur.

Geleneksel hava nirengisi için kalibrasyon parametreleri bilinen iyi bir metrik kamera gerekmektedir. Bu tip hassas çalışmalarda metrik olmayan kameralar kullanılmamaktadır.

1971 senesinde Houssam Mahmoud Karara ve Y.I. Abdel-Azis, eş doğrudanlık koşulu ve afin koordinat dönüşümü ışığı altında türetilmiş iki adet polinom denklemden oluşan “Doğrudan Çizgisel Dönüşüm” ü geliştirmişlerdir.

Finlandiyalı harita mühendisi ve mucit Vilho Helava, Kanada Ulusal Araştırma Konseyi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştığı yıllarda analitik bir çizici geliştirmiştir. Bu çizici öncülleri gibi optik mekanik olarak değil, servo kontrollü olarak çalışmaktaydı. Analitik çizicinin prototipini analog bir bilgisayar kullanarak yapmıştı. 1980'lere gelindiğinde ise daha küçük ebatlarda ve dijital bilgisayarlara entegre edilerek çalışan çizicilerden yüzlerce adet üretilmiş ve 20. yüzyılın sonlarına doğru neredeyse vazgeçilmez bir harita yapım tekniği haline gelmiştir (URL-3).

***Sayısal Fotogrametri (1980 - Günümüz):*** Başlangıç tarihine 1980 olarak yazsak da, bu yaklaşık bir tarih olacaktır aslında. Çünkü sayısal, yani dijital fotogrametrinin kökleri 1950'lere kadar uzanıyor. Fakat 1980'lere gelindiğinde küresel anlamda bilgisayar, depolama birimleri ve sayısal kamera teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ve ilişkili diğer sektörlerdeki büyümelerle oluşan rekabet ortamı dolayısıyla maliyet anlamında düşüşler ile birlikte sayısal fotogrametri çağının başladığını söyleyebiliriz.

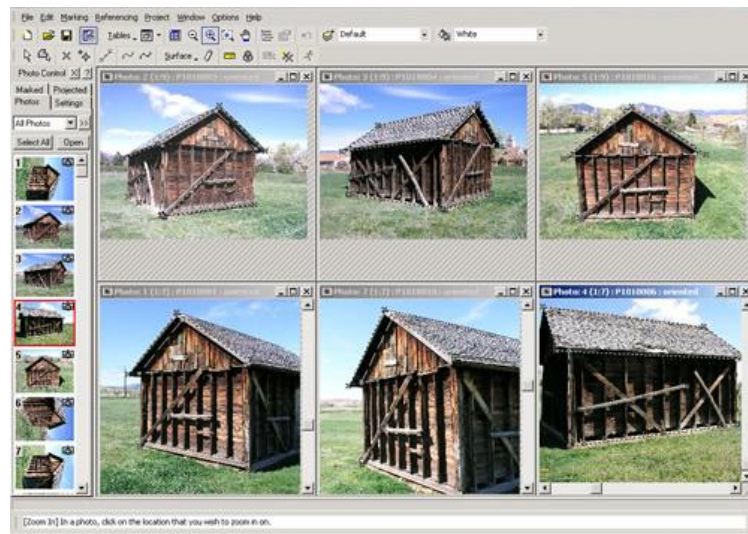
Sayısal fotogrametri; bilgisayar donanım ve yazılım teknolojileri, elektronik, geometrik optik, fotoğrafçılık, matematik ve analitik geometri gibi birkaç disiplinin birleşiminden oluşmaktadır (Aydar 2007).

Diğer fotogrametri tekniklerine göre daha hızlı ve hassas sonuçlar alınabilen bu teknikte, istenilen bir alana veyahut objeye ait görüntüler belirli kurallar ve parametrik değerler çerçevesinde analog ya da sayısal bir kamera ile fotoğraflanır. Analog makine ile çekildiyse önce hassas ve ölçeğine uygun bir şekilde tarayıcı sayesinde sayısal fotoğraf hali elde edilir. Fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarılır, gerekli yöneltme ve düzeltmeler yapılır, algoritmik hazır veya manuel bir takım filtrelerden geçirilerek istenilen ürüne göre işlenir, ölçülüp değerlendirildikten sonra depolanır (Gençerk 2016).

## 2.2 FOTOGRAMETRİNİN TÜRLERİ

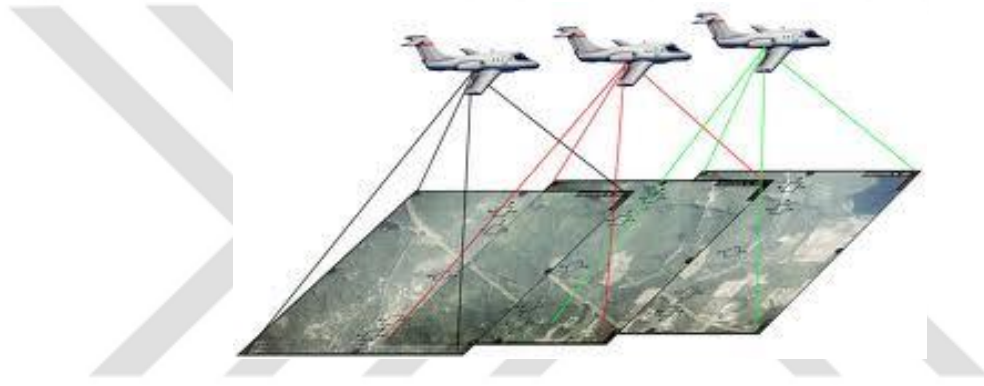
Fotoğraflar çekilirken, çalışmanın durumuna ve ölçülecek nesnenin kameraya göre olması gerektiği pozisyonuna göre fotogrametriyi iki bölüme ayırmak gerekir. Bunlardan kısaca bahsetmek gerekirse;

**Yersel Fotogrametri:** Genellikle arkeolojik, mimari restorasyon ve rekonstrüksiyon işlerinde rölöve amaçlı, tıbbın bazı dallarında, araç çarpıştırma testlerinde, endüstride üretilen malın kalite kontrolü ve daha birçok alanda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Yani bir alanın haritalanması amaçlı değil; bir nesneyi sayısallaştırıp, modellemek ve ölçmek amaçlı yapılmaktadır. Yersel fotogrametride fotoğraflanacak nesnelere hareketli ya da Şekil 2.10'da modellenen kulübe gibi hareketsiz olabilir. Nesnenin bu durumuna ve büyüklüğüne göre hareketli ya da hareketsiz kameraların yerleştirileceği noktalar ve kaç adet kamera yerleştirileceği belirlenmektedir (Ulvi 2008).



Şekil 2.10 Yersel fotogrametri uygulaması.

**Hava Fotogrametrisi:** Bir hava aracına monte edilmiş bir ya da daha fazla kamera tarafından istenilen alana ait havadan çekilmiş fotoğrafların bilgisayar ortamında işlenerek harita yapılmasıdır. Haritacılığın artık vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş bu teknik sayesinde ulaşılması zor veya tehlikeli alanların yanı sıra ölçülmesi çok zaman alacak veya masraflı olacak büyük alanların hızlı ve ucuz bir şekilde haritaları elde edilmektedir. Bu teknikte, Şekil 2.11’de gösterilen bir örnekteki gibi fotoğraflanacak alanın durumuna göre uçuş planı hazırlanır. Plana göre hava aracının hangi yükseklikte, yönde ve hızda uçacağı belirlenir. Bu uçuşa uygun olarak fotoğraf makinesinin hangi aralıkta fotoğraf çekmesi gerektiğine karar verilir. Hava fotogrametrisi sayesinde topoğrafik harita, kabartma, üç boyutlu şehir modeli, ortofoto, sayısal yükseklik ve arazi modelleri gibi ürünler elde edilir (Gençerk 2016).



**Şekil 2.11** Hava fotogrametrisinde fotoğraf çekimi gösterimi.

### **2.3 FOTOGRAMETRİDE KULLANILAN KAMERALAR**

Fotogrametride kullanılan kameralar, metrik ve metrik olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Ölçü kamerası ismiyle de bilinen metrik kameralarda merkezi iz düşüm tam anlamda sağlanmaktadır ve iç yöneltme elemanları bellidir. Bu elemanlar; asal noktanın koordinatları, iz düşüm merkezinin koordinatları ve kamera odak uzaklığıdır. Çok sayıda merceğe sahip bu kameralar neredeyse hatasız fotoğraflama yapabilmektedir. Fakat bu kameraların net alan bölgesinin yetersiz ve fiyatlarının çok yüksek oluşu nedeniyle, kullanıcılar genellikle metrik olmayan kameraları tercih etmektedirler. Metrik olmayan kameralarda ise iç yöneltme elemanlarının ve distorsiyon değerlerinin belirsizliği ve değişkenliği, merkez noktalarının tespiti gibi bazı zorlukları vardır. Bunlar bir takım donanımlarla veya bilgisayar ortamında çeşitli matematiksel modeller sayesinde aşılmaktadır. Metrik olmayan tipteki kameralar analog ve sayısal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

**Analog Kameralar:** Şekil 2.12’de bir örneği gösterilen bu kameralarda objektiften giren ışınlar bir film üzerine düşürülür. Makarasıyla birlikte rulo halinde makineye yerleştirilen film, makine fotoğraf çektikçe otomatik ya da manuel olarak sarılır. Diyafram, netleme ve enstantane gibi ayarlamaların genellikle objektif üzerinden elle ayarlandığı bu kameralarda, fotoğrafın ışıklılık (ASA ya da ISO) oranı ise filmin özelliğine bağlıdır. Film banyo işlemleri çok dikkat ve titizlik isteyen işlerdir. Aksi takdirde filmler fotoğraf kağıtlarına doğru şekilde basılamaz. Banyo sırasında filmler sırasıyla geliştirme, durdurma, saptama ve kurutma işlemlerine tabi tutularak istenilen türde kağıda basılmış görüntü elde edilir (Gençerk 2016).



**Şekil 2.12** Leica M3 Analog fotoğraf makinesi.

**Sayısal Kameralar:** Analog kameralardaki ışığın üzerine düştüğü film yerine Şekil 2.13’te bir örneği gösterilen bu kameralarda, CCD (Charge Coupled Device) sensörleri bulunur. Bu sensörler farklı ebatlarda olabilir. Fotoğraf çekme anında cisimlerden yansıyan elektromanyetik enerji, sensörde yer alan ışığa duyarlı hücrelere ulaşır ve bunlar şiddetine ve frekansına bağlı olarak bit haritası formunda kayıt edilir. Bu harita işlemcide işlendikten sonra bize piksellerden oluşan sayısal (dijital) bir görüntü verir. 8 bitlik S/B görüntülerde pikseller siyahtan beyaza 0 ila 255 arasında bir değer alırken 24 bitlik renkli görüntülerde bu aralık çok daha geniştir (Aydar 2007).



**Şekil 2.13** Sayısal Canon 5D Mark 3 fotoğraf makinesi.

Her iki kameranın da birbirine göre artıları mevcuttur. Örneğin analog kameralarda fotoğraf kalitesi çok daha yüksek ve renkler daha canlıdır; ayrıca geniş açılarda fotoğrafı yapabilirler. Sayısal kameralarda ise film masrafı ve banyo işlemleri yoktur; dolayısıyla görüntü taramaya da gerek kalmaz. Fotoğrafları silmek, aktarmak ve depolamak çok kolaydır. Çekilen fotoğraflara bir ekran sayesinde anında bakılabilir ve aynı anda farklı bantlarda görüntüleme yapılabilir.

## 2.4 İHA TANIMI VE TARİHÇESİ

Sivil ya da askeri (Şekil 2.14), belirli bir havai faaliyeti tatbik etmek üzere tasarlanmış ve üzerinde amacına yönelik muhtelif donanım ve yazılımlar bulundurabilen, dahili seyrüsefer sistemlerinden yararlanarak veya uzaktan kumanda ile etkin bir şekilde yönetilebilen elektrik ya da yakıt ile çalışan motoru sayesinde uçabilen hava araçlarına “İnsansız Hava Araçları” denmektedir. Pilotlar bu hava araçlarını, standart hava araçlarında olduğu gibi kokpitten değil; adından da anlaşılacağı üzere haricen komuta etmektedirler. Operatör tarafından araca iletilen komutlar, radyo kontrollü basit bir kumanda ile birkaç metreden yapılabileceği gibi haberleşme uyduları sayesinde binlerce kilometre öteden de yapılabilmektedir (Eisenbeiss 2009).



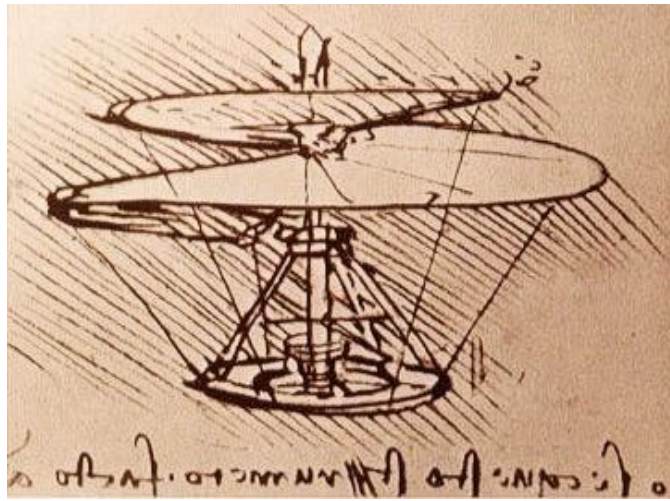
**Şekil 2.14** Bayraktar TB2 askeri insansız hava aracı.

Amaçlanan havai uygulamanın kapsamına göre amatör ya da profesyonel anlamda eğitim alması gereken bu pilotlara, İHA operatörü de denilmektedir. Tam ya da yarı otonom olarak tasarlanabilen bu araçlar, standart hava araçlarına kıyasla üretim ve yedek parça maliyeti bakımından daha ucuzdur. Bu araçlar, zorlu şartlarda veya tehlikeli bölgelerde kullanım rahatlığı, zaman açısından sağladığı tasarruf ve küçük ebatlarda oluşunun verdiği portatiflik

ve yüksek manevra kabiliyeti gibi özelliklerinden ötürü gün geçtikçe daha çok tercih edilmeye başlanmıştır (Özdemir 2017).

Küresel konum belirleme sistemlerini yüksek hassasiyette ve hızlı bir şekilde kullanabilmeleri için gerekli yazılım ve donanımlarla tasarlanan bu araçlar, istenilen anda istenilen koordinatlara istenilen hızda uçuş yapabilmektedir. Ayrıca normal hava araçlarında olduğu gibi bazı İHA'lar sahip oldukları kara kutu benzeri sistemler sayesinde herhangi bir sebepten ötürü düşme yaşamaları durumunda, düşüş detaylarını ve son konumlarını operatörüne iletmektedir.

Milat öncesi Çin icadı uçurtmadan, Rönesans Avrupası'na damga vurmuş mucit Leonardo Da Vinci'nin Şekil 2.15'teki helikopter tasarımına; Hezarfen Ahmet Çelebi'nin Galata Kulesi'nden atlarken kullandığı delta kanat benzeri araçtan, İngiliz Stringfellow ve Henson'ın buharlı hava aracına; Alman general Ferdinand'ın zeplininden, Amerikalı mucit mühendis Wright kardeşlerin uçağına ve bunların haricinde Neubronner'ın güvercinlerine, Tournachon'ın balonlara ve Alfred Maul'un roketlere bağladıkları kameralar ile havai fotoğraf çekme çabalarına bakacak olursak, insanoğlunun sürekli olarak havada kalabilmeyi, etrafını rahatça keşfetmeyi, düşmanlarını rahatça gözleyebilmeyi, istediği yeri ölçebilmeyi, ulaşılması güç yerlere kuşlar gibi özgürce uçarak gidebilmeyi hayal ettiğini görürüz. Bu havadan görüntü alma yöntemlerinin bazıları uzunca bir süre kullanılmaya devam etmiştir (Eisenbeiss 2009).



Şekil 2.15 Leonardo da Vinci'nin helikopter tasarımı.



1970 senesinde balonla çekilen fotoğrafların arkeolojik alanda kullanıldığı duyurulmuştur. 6 cm x 9 cm formatında film yüklü ve Schneider Kreutznach marka geniş açılı lens takılı Linhof ve Graflex XL makineleri ile fotoğraflamalar yapılmıştır. Yerden yaklaşık 50 metre yükseklikten fotoğraf çeken bu makineler, sıcak hava balonuna bağlı ve balonun yaklaşık 9 metre altında bulunan bir yalpa çemberine monte edilmişti. Yine o senelerde Zeiss Distagon marka ve odak uzaklığı 50 mm olan bir lensin takılı olduğu, radyo kontrolü aracılığı ile resim çekebilen Hasselblad 400 FL marka fotoğraf makinesi kullanıldı. Kullanılan bu sistemin ağırlığı 2.5 kilogramdan fazla idi ve yerden 600 metre kadar yükselebilip fotoğraf çekebiliyordu. Başarılı olarak gerçekleştirilen bu uygulamadan sonra, istenilen yükseklikten proje gereksinimlerine, kameranın menziline ve diğer sistem değişkenlerine bağlı olarak fotoğraf çekilebileceği anlaşılmıştı (Karakış 2011).

Kayda değer eski denemelerden bir diğeri ise 1979 senesinde Przybilla ve Wester-Ebbinghaus tarafından yapılmıştır. Bu denemede manuel olarak kontrol edilen sabit kanatlı İHA 150 m irtifaya ve 11 m/sn hıza ulaşabilmiştir. Gövde uzunluğu 3 metre, kanat açıklığı ise 2.6 metre olan bu İHA 3 kilograma kadar yük taşıyabilmekteydi. Görüntü izleyicide aracın boyutundan aracın yüksekliği belirlenirken, aracın yönlendirilmesinde ise Lindhof Technika marka navigasyon sistemi kullanılmıştı (Toprak 2014).

Karasal görüntülerin elde edilmesiyle birlikte arkeolojik alanların görüntüleri elde edilmeye ve gerekli restorasyon çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, manuel olarak kontrol edilen bu araç ile uygulama yapılabilmesi için uygulama yapılacak alan veya obje yakınlarında iniş ve kalkış yapabileceği küçük bir piste ihtiyaç vardı. Buna ilaveten aracın hızı ve motorunun meydana getirdiği titreşimler nedeniyle görüntülerde kayıklık ve bozukluklar meydana geliyor ve istenen sonuçlar alınamıyordu. Dolayısı ile fikir sahipleri titreşime daha az duyarlı model helikopterlerin kullanımının daha fazla yarar sağlayacağını önermişlerdir.

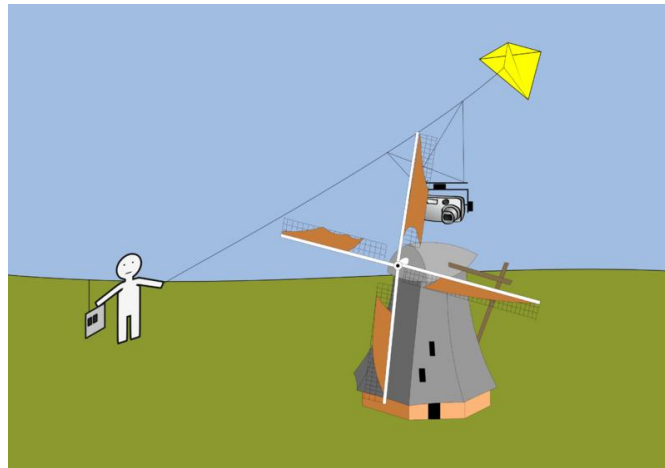
1980 senesinde, Wester-Ebbinghaus ilk kez fotogrametrik amaçlı döner kanatlı bir İHA kullanmıştır (Şekil 2.16). Bu döner kanatlı İHA, 3 kilograma kadar yük taşıyabiliyor, 10 metreden 100 metreye kadar istenilen irtifalara %90 oranlarında erişebiliyordu. Kamera ile fotoğraf çekimi esnasında motordan gelen titreşimler fotoğraflarda kayıklıklara sebep vermesin diye polistiren köpük kullanılarak başarılı bir şekilde giderilmiştir. Bu İHA'nın kullanılması için kalkış, uçuş ve inişleri kontrol edecek bir pilota ve telsiz bağlantısı

üzerinden aracın irtifasının kontrolü ile kamera kullanımı için bir seyrüseferciye ihtiyaç duyulmuştur (Eisenbeiss 2009).



**Şekil 2.16** Model helikopter.

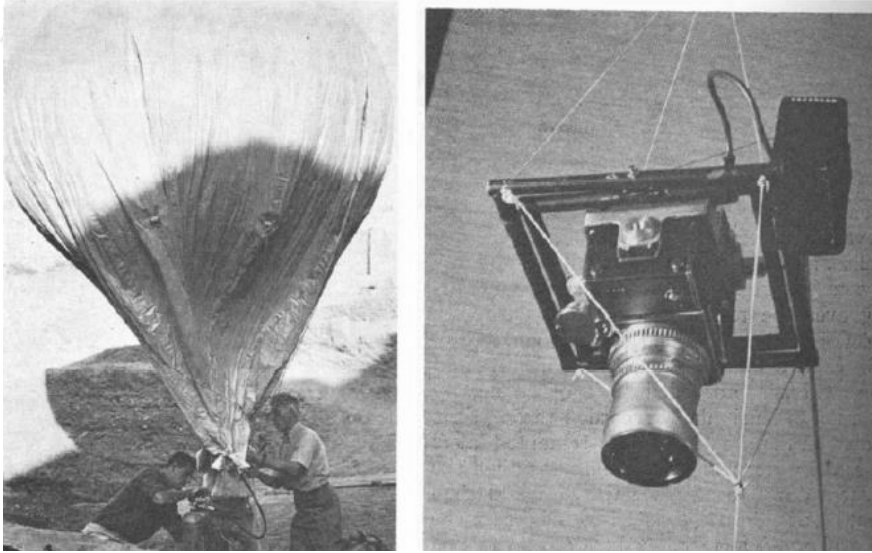
Klasik uçurtmalara nazaran daha büyük ebatlarda yapılmış uçurtmalar yardımıyla taşınan fotoğraf makineleri sayesinde de Şekil 2.17'deki çizimde gösterildiği gibi fotogrametrik alımlar yapılmaya çalışılmıştır. Bu basit sistem sayesinde sulak alan tespiti, bitki ve orman örtüsü tespiti, arazi ölçmeleri, mimari tasarımlar ve buzul jeomorfolojisi gibi alanlarda stereo görüntüler alınmak suretiyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Her ne kadar sınırlı kabiliyeti olan bir yöntem gibi gözükse de, hız ve pratiklik açısından oldukça verimli bir görüntüleme sistemidir (Bilgi 2007).



**Şekil 2.17** Uçurtma kullanarak havadan fotoğraf çekimi.

Uçmanın en kolay yöntemlerinden biri şüphesiz balonlardır. Balonların kubbe kısmı ısıya ve yırtılmaya dayanıklı, sağlam ve esnek bir kumaştan yapılır. Havalanması için içlerine havadan daha hafif olan hidrojen veya helyum gazları yakılarak püskürtülür. Balonlara asılı olan sepet kısmında ise sıcak hava pilotu, yolcular veya yük taşınır. Havalanması kolay olan sıcak hava balonlarını istenilen bir yöne yöneltmek mümkün değildir. Balonun inişi ise sıcak havanın yavaşça dışarı atılması ile sağlanır.

1983 senesinde, uygulamalı örnek gerçekleştirmek amacıyla yaklaşık on beş metreküplük Şekil 2.18’de gösterilen sıcak hava balonuna monte edilmiş Hasselblad 500 EL/M orta format kamera yardımıyla Viyana Teknik Üniversitesi Fotogrametri Enstitüsü tarafından 25 metre yükseklikten 6 adet görüntü alınmıştı. Alınan görüntüler arasındaki bindirmeler, sistemin manuel kontrol edilmesinden ötürü düzensiz çıkmıştı. Wild Aviolyt ACI/Aviotab TA2 isimli analitik çizim sistemi üzerinde 5 adet yer kontrol noktası baz alınarak, karesel ortalama hata yöntemi yardımıyla yönlendirilmeleri yapılmıştır. Bu örnek neticesinde orta format kamera ile donatılmış bir sıcak hava balonu kullanılarak, küçük bir alan içerisinde yüksek doğrulukta haritalama yapılacağı anlaşılmıştır (Eisenbeiss 2009).



**Şekil 2.18** Sıcak hava balonunun şişirilmesi (sol) ve gimble monte edilmiş radyo kontrollü Hasselblad kamera (sağ).

Daha sonraları İngiltere’de başka bir balon platformu inşa edilmiş ve buradan kalkan balonlar çeşitli tarihi yapıların havadan fotoğraflarını almıştır. Yine aynı senelerde Peru’da bulunan Nazca bölgesinde sıcak hava balonu ile görüntüler alınmış ve bazı deneyler yapılmışsa da sürekli esen rüzgarlar yüzünden başarılı olunamamıştır.

Balon fotogrametrisi kullanılarak 90'lı yıllarda yapılmak istenen başka bir çalışma ise trafik alanında olmuştur. Trafik sıklığına önleme, bakım çalışmalarını planlama ve yol düzenini oluşturmak için o trafikte seyreden araçların hızlarını, pozisyonlarını ve çeşitlerini belirlemek gerektiği düşünülerek bir balon platformu kurulup, trafik izleme düzeneği kurulmuştur. Yöntem kısmen başarılı olmuşsa da yol kaplamasının rengi ve dokusu araçların stereo eşleştirmelerini olumsuz anlamda etkilemiştir. Buna ek olarak o zamanki kameraların kalitesi ve platformun stabilitesi ve görüntüleme yaptığı pozisyonun da sonuçları etkileyebileceği düşünülmüştür. Yine o yıllarda bir balon üzerine monte edilmiş geniş açılı lens takılı 35 mm bir kamera kullanmak suretiyle Yunanistan'ın Atina şehrinde bir arkeolojik sit alanından 12 adet görüntü alınmıştır. Alınan bu görüntüler dijital stereo değerlendirme sistemi Intergraph Image Station SKK kullanılarak yönlendirmeleri yapılmış ve ayrıca sayısal yüzey modeli ile ortomozaik harita üretilmiştir. Üretilen ortomozaik çözünürlük-duyarlılık oranı iyi ayarlanmadığından görüntü çözünürlüğü 7.5 mm olmakla birlikte 5 cm hassasiyete sahip olmuştur. Bu çalışma neticesinde düşük maliyetli bir sistem yardımıyla orta veya küçük formatlı hava fotoğraflarından, yüzey modellerinin ve ortofotoların çıkarılmasının yeterince uygun olduğu görülmüştür.

Japonya, Keiko Üniversitesi ile İsviçre, Zürih Jeodezi ve Fotogrametri Enstitüsü 1999 senesinde birlikte bir balon fotogrametrisi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Uygulamanın amacı; Kamboçya'nın Angkor şehrindeki Bayon tapınağının 3 boyutlu modellenmesi ve bu sayede sayısal anlamda rekonstrüksiyonu elde etmek idi. Balon uçurulmuş ve görüntüler alınmış olsa da, sahadaki rüzgarlı havalar nedeniyle bir türlü gerekli bindirmeler için istenilen şekilde görüntüler alınamamış ve neticesinde veri kümeleri eksiksiz bir şekilde işlenememiştir (Eisenbeiss 2009).

Sıcak hava balonlarına benzer mantıkla çalışan bir diğer hava aracı ise hava gemisi, diğer ismiyle Zeplindir (Şekil 2.19). Sıcak hava balonlarında mümkün olmayan yatay yönlendirme işlemi, bu hava aracında havayı itmek için kullanılan motor ve hareket dümenleriyle sağlanmaktaydı. Kaza riskinin yüksek olması nedeniyle yaşanan insan kayıplarından ötürü uzun yıllar yük ve yolcu taşınan bu hava araçlarının üretimi 1950'li yıllarda durmuştur (URL-4).

Bunlardan biri; Karl-Ludwig Bussemeyer önderliğinde GEFA-Flug şirketinin tasarlayıp ürettiği hava gemisidir. Bu yöntemin en önemli yanları dış yönlendirme elemanlarının dar sınırlar içerisinde kaydedilmiş olmasıdır. Bu yöntem ile şu tetkiklerde bulunulmuştur:

Gridli odak ekranı kullanarak balonun tam konumlandırılması, kardan süspansiyonu, kameranın dikey eksen boyunca dönme kabiliyeti, ölçüm bandı ile yükseklik kontrolü. Mimari belgeler için kullanılan bu sistemde stereo görüntüler alabilmek için bir adet orta format kamera ya da iki adet DSLR makine kullanılabilirdi ve 150 m yüksekliklere kadar çıkabiliyordu (Eisenbeiss 2009).



**Şekil 2.19** Havadan fotoğraflama yapan bir zeplin.

Fotogrametrik çalışma yapılan başka bir hava aracı amacına yönelik olarak, standart bir helikopterin belli oranda küçültülerek üretilmiş halidir. Model helikopter diye de isimlendirilen bu hava araçlarında temel olarak motor, ana pervane, kuyruk sistemi, jiroskop sistemi, RC devresi ve gücü sağlayan akü ya da yakıt deposu bulunur. Genellikle farklı hareketler ve gaz gibi kontrolleri için 5 kanallı uzaktan kumanda ile yönetilen bu hava araçlarının yüksek manevra kabiliyetleri vardır. İstenilen konum, eğiklik ve dönüklük parametrelerine hızlıca gelebilirler.

Japonya, Miyatsuka Arkeoloji Enstitüsü müdürü Yoshito Miyatsuka uçurtma, sıcak hava balonu, hava gemisi, hafif uçak, radyo kontrollü model helikopter, teleferik gibi çeşitli hava tabanlı platformları incelemiştir. Miyatsuka bu sistemler içerisinde 1998 senesinde yapmış olduğu çalışmasına yönelik olarak Kodak marka 6 MP'lik bir kamera monte edilmiş model helikopteri uygun görmüştür. Helikopter 300 metre irtifaya kadar çıkabilmesine rağmen alınan görüntülerdeki çözünürlük sınırları Miyatsuka'nın arkeolojik uygulaması için yeterli olmamıştı. Bu nedenle Miyatsuka orta formatta bir kamera kullanılması gerektiğini önermişti. Selanik, Aristoteles Üniversitesi mezunu Harita Mühendisi Sofia Theodoridou, 2000 senesinde model helikopter ile bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında 5 kilograma kadar taşıma kapasitesi olan, 1.64 metre uzunluğunda ana motor pervane çapına sahip, dolu tank ile yerden 500 metre yüksekliklere varan irtifalarda yaklaşık 20 dakika uçuş gerçekleştirebilen

bir sisteme sahip insansız hava aracı kullanmıştır. Orta format bir kamera monte edilen bu araç bir operatör ve bir pilot tarafından kumanda edilmiştir. Kameraya bağlanan bir verici ile yerden monitörle izleme yapılabiliyordu. Titreşimleri engellemek için kamera tabanına kauçuk takozlar yerleştirilmişti ve ayrıca kamera döner kollu bir mekanizma sayesinde doksan derecelere kadar döndürülebiliyordu. Bu araç sayesinde tepeden görüntü alımının yanı sıra, bina cepheleri de fotoğraflanabiliyordu. Bu sistem daha sonraları arkeolojik kazı alanlarının haritalandırılmasında kullanılmıştır.

2002 senesinde İsveç'te yapılan geliştirme çalışmaları neticesinde, Şekil 2.20'deki gibi model helikoptere entegre edilen GPS ve IMU (küresel konumlandırma ve ataletsel seyrişer sistemleri) ile bu hava araçları üzerinde çeşitli testler yapılmış ve bu testler sonucunda pervanelerin, görüntü stabilizasyonu üzerindeki başlıca etkili parça olduğunu fark edilmiştir (Eisenbeiss 2009).



**Şekil 2.20** Geocopter GC-201 UAS-g.

Sabit kanatlı insansız hava araçlarına ise uçakların belli oranlarda küçültülerek üretilmiş hali diyebiliriz. Bu hava araçlarında genel olarak dış parçalar pervane, ana kanatlar, kuyruk kanatları ve tekerleklerdir. Ana motordan dönme hareketini alan pervane, yeteri kadar dönmeye başlayınca uçağı belli bir müddet yerde yürüttükten sonra havalandırır. Havalanan sabit kanatlı hava aracının kanatlarında oluşan basınç farkından kaynaklanan kaldırma kuvveti sayesinde uçak havada kalmayı başarır. Kanatlarda bulunan dümenler, uçağın dikey ve yatay hareketlerini yani; uçağın yükselip alçalmasını ve bir yöne dönüşünü gerçekleştirmeye yarar. Şekil 2.21'deki gibi sabit kanatlı İHA'ların iç parçaları ise genel olarak pervaneye dönme gücünü sağlayan ana motor, kanat-kuyruk-yükseliş dümen aksamalarına veya başka hareketli parçalara hareket ileten

servo motorlar, bu motorları besleyen güç kaynağı, jiroskop, radyo kontrol devresidir. Uçağın ve taşıdığı yükün ağırlığına bağlı olarak ana motor seçilir (Karakış 2011).



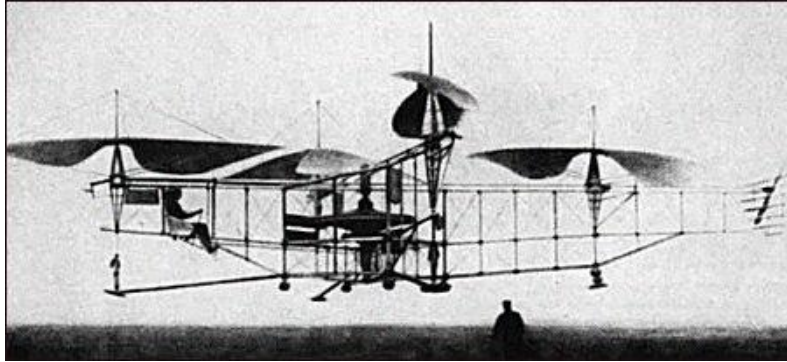
**Şekil 2.21** Sabit kanatlı insansız hava aracı (Karakış 2011).

Diğer bir hava aracı olan multikopterlerin ise geleneksel tek pervaneli helikopterlerden farklı olarak birden çok ve genellikle 3, 4, 6 ve 8 pervaneli çeşitleri bulunmaktadır. “Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı” diye de bilinen bu araçlar, geleneksel helikopterlere nazaran çok daha verimli, dayanıklı ve ucuzdurlar. Düşey olarak birçok yüzeyden rahatlıkla kalkış ve iniş gerçekleştirebilirler; yani özel bir piste ihtiyaç duymazlar. Uçuş esnasında pervanelerinin çıkardığı sestən ötürü İngilizce erkek arı manasına gelen “Drone” diye de sıklıkla anılan bu araçların genellikle dört adet pervaneli olarak tasarlanmasının sebebi ise, aracı kumanda eden operatörün araç üzerinde en verimli şekilde kontrol kurabilmesi ve aracın yatay düzlemde azami kararlılıkta dengede kalabilmesidir (Gençerk 2016).

Geleneksel helikopterlerdeki ana motor tarafından üretilen yüksek torku dengelemek için kuyruk motorlarının gücünü kullanmışlardı; fakat onlar da çok etkili olamamış ve bir miktar savrulmaya yol açmıştı. Ayrıca dikey kalkışlarda tutarlı değillerdi. 1900’lü senelerde bu sorunları çözmek amacıyla bir grup mühendis dört pervaneli bir hava aracı geliştirmek için kolları sıvadılar. Nihayetinde ilk tasarım 1907 senesinde Profesör Charles Richet’in yardımıyla Breguet kardeşlerden geldi. Gyroplane No.I ismini verdikleri dört pervaneli hava aracı diğer adıyla Quadrotor ya da Quadcopter araçlarını tanıttılar. Aracın şasesi çelik boruların kaynakla birleştirilmesi ile meydana getirilmişti. 500 kilogram boş ağırlığa sahip, dört pervaneli bu aracın tork etkisine karşı koymak için karşılıklı iki pervanesi aynı yönde,

diğer ikisi tersi yönde dönmekteydi. Dönme güçlerini ise Fransız malı Antoinette marka, içten yanmalı, sekiz silindirli, kırk altı beygir gücündeki bir motordan kayış tahriği ile almaktaydılar. İlk denemede pilot aracı yerden yaklaşık 1.5 metre kadar havalandırmıştı ve araç ancak çevredekilerin yardımıyla dengede kalabilmişti. İlk modelden sonra Gyroplane No.II olarak yeni bir model ürettirildiyse de ondan da verim alamamışlardı (URL-5).

1920 senesinde Fransız mühendis ve helikopter tasarımcısı Etienne Edmond Oehmichen, döner kanatlı hava araçları üzerinde çalışmalar yapmaya başlamıştı. Oehmichen'in altı farklı tasarımı vardı ve bunların içinden Oemnichien No.2 ismini verdiği tasarımı en çok ilgi çekeni olmuştu (Şekil 2.22). Oemnichien No.2'de 120 beygirlik bir ana motor vardı ve bu motordan gücünü alan 4 adet ana ve 8 adet küçük pervane bulunmaktaydı. Küçük pervanelerinin tasarımı nedeniyle manevra kabiliyeti o dönemki rakiplerine göre oldukça iyiydi. Bu küçük pervanelerden beş tanesi yatay düzlemde yani dört ana pervaneye paralel bir düzlemde bulunmaktaydı ve yatay pozisyon kararlılığını arttırmaya yarıyordu. Diğer iki adet küçük pervane hava aracını ileri götürmeye yararken geri kalan bir adet küçük pervane ise aracın uç kısmında yer alıyordu ve bir nevi dümen vazifesi görüyordu. Neredeyse binlerce test uçuşunun ardından ilk büyük uçuşunu 11 Kasım 1922'de yapmıştır. Ertesi sene birkaç dakika boyunca havada kalmayı, bir sonraki sene ise 360 metre ile en uzağa giden helikopter unvanını kazanmayı başarmıştır.



**Şekil 2.22** Oemnichien No.2.

1922 senesi Ekim ayında başka bir döner kanatlı hava aracı uçurulmaya çalışılmıştı. İsmi mucidi olan Rus asıllı Amerikan mühendis ve iş adamı George de Bothezat'tan alan Şekil 2.23'teki Bothezat Helikopter'i, deneysel bir çalışma amaçlı olarak Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Hava Kuvvetleri için inşa edilmişti. Brüt ağırlığı 1.633 kilogramdı, 20 metre uzunluk ve aynı genişlikte kadrosu, 9 metrelik kolları, 8.1 metrelik 4 adet pervanesi ve



bunlara ilaveten kol uçlarında manevra kabiliyetini arttırmaya yarayan küçük pervaneleri vardı. İlk denemelerde kullanılan Fransız malı 180 beygir gücündeki Le Rhône marka radyal pistonlu motoru, daha sonraları 220 beygirlik İngiliz Bentley üretimi olan bir motor ile değiştirilmişti. Ünlü mucit Thomas Edison tarafından da “İlk Başarılı Helikopter” olarak itham edilmişti. Fakat araç yeterince güçlü değildi ve özellikle ileri ve yanlara gitme anlamında havada istenilen düzeyde kontrolü çok zor sağlanıyordu. Mekanik anlamda karışık bir yapıya sahip olması, bazı güvenlik sorunlarına yol açması ve istenilen düzeyde başarı sağlayamaması nedeniyle, Amerikan Ordusu 1924 senesinde projeyi durdurma kararı almıştır.



**Şekil 2.23** Bothezat'ın helikopteri.

Seneler boyu multikopterler konusunda test, deney ve geliştirmeler devam etmişti. 1956 senesine gelindiğinde bir başka döner kanatlı hava aracı uçuş yapmıştı. Öncüllerinden ilham alınarak inşa edilen Convertawings Model A (Şekil 2.24) isimli hava aracının kollarının uç üst kısımlarında yer alan 5.92 metre çapında toplam dört adet pervanesi bulunmaktaydı. İki adet Amerikan Continental Motors marka 90 beygirlik motor bulunan yaklaşık 1 tonluk ağırlığa sahip bu hava aracında, ana pervaneler dışında manevra sağlayıcı başka bir pervane bulunmamaktaydı. Yönelim hareketlerini ana pervanelere verdiği güçleri değiştirerek sağlamaktaydı. Geliştirme ve testlerinin başarılı olmasına rağmen, askeri harcamaların kesilmesi neticesinde durdurulmuştur.



**Şekil 2.24** Convertawings Model A.

Yine o senelerde Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nin ikmal ihtiyaçları nedeniyle farklı bir insansız hava aracı daha üretilmişti. Yaklaşık 1945 senesine kadar Amerika'nın en büyük uçak üreticisi konumunda olan Curtiss-Wright Anonim Şirketi tarafından tasarlanıp üretilen hava aracının modeli VZ-7 idi (Şekil 2.25). Bu araç, insansız hava aracından ziyade uçabilen bir cip olarak tasarlanmıştı. 4.87 m yüksekliğe, 5.18 m uzunluğa, 2.83 m yüksekliğe sahip tek mürettebatlı bu uçan cipin brüt ağırlığı ise 952 kg idi. Güçlerini bir adet türbin motordan alan dört adet pervanesi vardı ve havadaki manevralarını pervanelerin hızlarını değiştirerek sağlamışlardı. 1958 senesinde ilk uçuşunu gerçekleştiren bu araç her ne kadar dengeli, rahat kullanım ve iniş-kalkış hareketleri sergilese de; ordunun istediği hız ve irtifa değerlerine ulaşamadığı için seri üretimine geçilememiş ve üretiminden vazgeçilmiştir (Erginer 2007).



**Şekil 2.25** Curtiss-Wright VZ-7.

Bu ilk denemelerden günümüze kadar uzanan süreç içerisinde birçok multikopter tasarlanmış, bazılarının seri üretimine geçilmiş, bazıları yok satmış, bazıları ise prototipten öteye geçememiş ya da başarısızlıklarından ötürü rafa kaldırılmıştır. Ayrıca bu süreçte multikopterler avuç içine sığacak kadar küçülmüş, gerek mekanik gerekse elektronik anlamda ciddi anlamda geliştirilerek, uçuş tutarlılıkları ve hızları aerodinamik anlamda neredeyse bir sinek kuşu kadar kararlı hale getirilmiştir.

İnsansız hava araçları askeri amaçların haricinde aşağıdaki uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır:

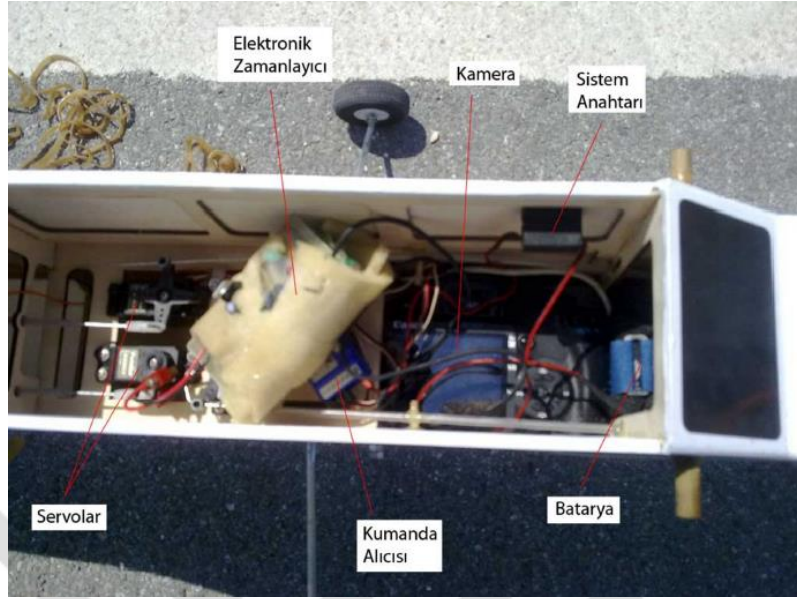
- Arama-kurtarma ve tehlikeli görevlerinde: Doğal afetlerin yönetimi, afetzedelerin ve dağcılık, rafting, wingsuit gibi ekstrem sporlarda ve erişilmesi güç bölgelerdeki insanların bulunup kurtarılmasında. Orman yangını, tehlikeli atık ve sızıntıların tespit edilmesi işlerinde (Ural 2018).
- Lojistik görevlerinde: Amazon ve Dominos Pizza gibi büyük şirketler bazı siparişlerini dronelar ile teslim etmeye başladı ve ülkemizde PTT böyle bir proje içerisinde olduğunu duyurdu (URL-6).
- Bilimsel araştırmalarda: Meteorolojik verilerin elde edilmesi, hava kirliliği tespiti, gezegen keşifleri vb.
- Uzaktan algılamada: Elektromanyetik tayfin birçok bandında görüntüleme ve kayıt etme, biyolojik ve kimyasal sensörlerle gerekli veya tehlikeli bölgelerde inceleme yapma vb.
- Havadan görüntüleme: Rölöve ölçmeleri, mimari rekonstrüksiyon çalışmaları, arkeolojik uygulamalar ve kültürel mirasın görüntülenip kayıt altına alınması, üç boyutlu modelleme, haritalama ve ortofoto üretimi gibi fotogrametrik işlemler (Gençerk 2016).

## **2.5 İHA SİSTEM BİLEŞENLERİ**

İnsansız hava araçlarının temel sistem bileşenleri şunlardır:

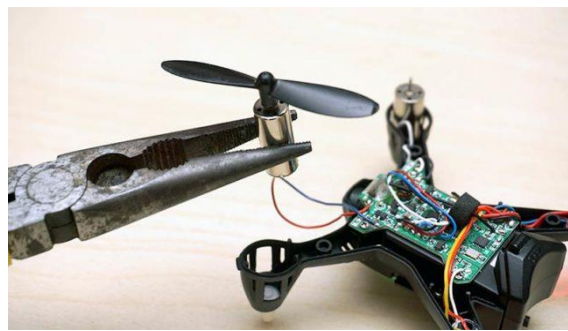
Aracın kendisi, yani gövdesi üretiliş gayesine göre neredeyse sayısız çeşitliliktedir. Gövdeler motoru, pervaneleri, işlemciyi, anteni, kamerayı, çeşitli modül ve sistemleri taşıyan bir

kasadır (Şekil 2.26). Bu sadece oyuncak olarak üretilmiş avuç içine sığacak türde ufak ya da yüzlerce kilogram yük taşıyabilecek büyüklükte de olabilir (Karakış 2011).



Şekil 2.26 İnsansız hava aracı gövdesi.

Hava aracından beklenen performans, uçuş süresi, taşıyabileceği ağırlık gibi değişkenlere bağlı olarak farklı tipte ana motorlar tercih edilebilir. İHA'larda genellikle Şekil 2.27'deki gibi fırçasız elektrik motorları kullanılırken, sabit kanatlı insansız hava araçlarında ise içten yanmalı küçük hacimli iki ya da dört zamanlı motorlar kullanılmaktadır. Ana motorun haricinde kuyruk dümeni, elevatör, iniş takımı vb. hareketli parçalara hareketini vermek amacıyla elektrikli servo motorlar kullanılmaktadır (URL-7).



Şekil 2.27 Elektrikli drone motoru.

İHA'larda kullanılacak motorun cinsine bağlı olarak yakıt deposu ve yakıt ya da elektrikli güç kaynağı olarak batarya kullanılır. Batarya olarak verimli oldukları için tekrar şarj edilebilir LiPo piller tercih edilmektedir. Pilden gelen enerji bir devre kartı kullanılarak; ihtiyaca göre

ana motor, servo motor, işlemci ve sensör gibi çeşitli bölümlere dağıtılır. Kullanılan güç sistemine göre değişiklik göstermekle birlikte İHA'lar genellikle 10-30 dakika havada uçuş yapabilirler. Fakat 4 saat 40 dakika ile rekor uçuş süresine imza atan Şekil 2.28'de gösterilen Quaternium HYBRiX 2.0 gibi istisnalar da mevcuttur (URL-8).



Şekil 2.28 Quaternium HYBRiX 2.0.

Bilgisayarlarda bulunan anakartla aynı mantıkta çalışan bu birim (Şekil 2.29); üzerinde işlemci, RC komutlarını kodlayıcı birim, sensörlere ait arayüz birimleri, ilave algılayıcılar ve USB için bağlantı noktalarının, pinlerin ve diğer gerekli devrelerin bulunduğu devreler bütünüdür (URL-7).



Şekil 2.29 Uçuş kontrol birimi elemanları.

İHA'lar otonom olarak, yapay zekalı veya belirli algoritmalara sahip bir yazılım tarafından veya Şekil 2.30'daki gibi bir istasyon sayesinde elle kontrol edilebilir. Bu tamamen ne tür bir İHA'nın ne tür bir görevde kullanılacağı ile alakalıdır. Ayrıca eğer hava aracından anlık veri

alınmak istenirse telemetri modemi ve video alıcısı gibi ekipmanlar da bu ünite içine dahil edilir (Gençerk 2016).



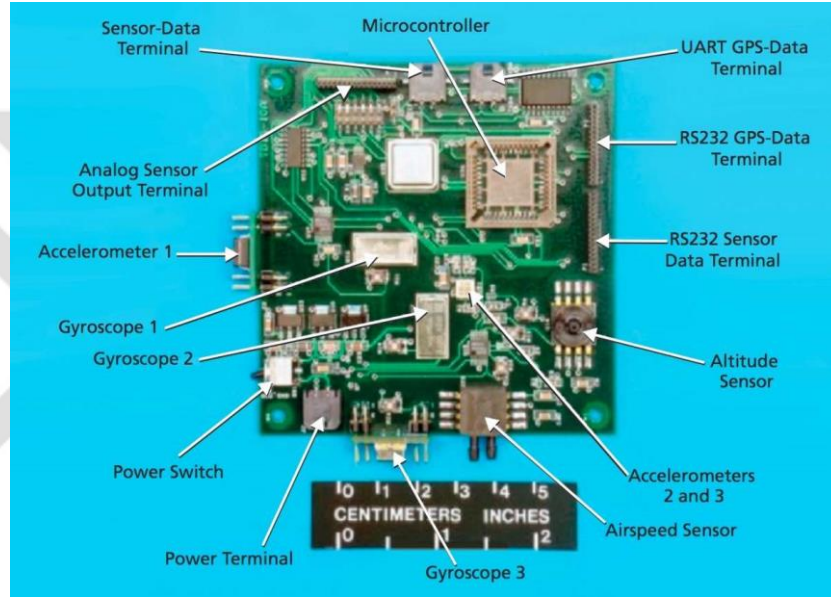
Şekil 2.30 Yer kontrol istasyonu (sol) ve anteni (sağ).

### 2.5.1 Algılayıcılar

İHA'nın kullanış amacına bağlı olarak gövdesine çeşitli algılayıcılar (Şekil 2.31) yerleştirilebilir. Sıklıkla kullanılan algılayıcılar şunlardır:

- GPS (Küresel Konumlama Sistemi): İHA'ya eklenecek bir GPS modülü ve anteni sayesinde, en az 4 uydudan alacağı verilerle İHA, üç eksende konumunu, hızını ve zamanını hassas olarak belirleyebilir. Buna ek olarak; yer kontrol birimi tarafından verilecek komutlarla İHA'nın istenilen noktaya/noktalara, istenilen hızda gitmesi veya oraya gidip durması sağlanabilir (Özdemir 2017).
- İvmeölçer: Akselerometre diye de bilinen bu cihaz sayesinde İHA'nın üç eksende hangi yönde, hangi kuvvete maruz kaldığını hesaplanır. Ayrıca İHA'nın zemine göre paralelliğini ayarlamaya yarar (URL-9).
- Basınç Ölçer: Barometre veya altimetre olarak da bilinen bu cihaz sayesinde İHA'nın anlık uçuş yüksekliği bilgisi elde edilir. Ayrıca İHA'nın sabit yükseklikte uçmasına yardımcı olur.
- IMU (Atalet Ölçer): İvmeölçerin jiroskop eklenmiş hali de denebilir. Bu sistem sayesinde İHA'nın hassas ivme, açısal kaçıklık, dönüklük, diklik, hızlanma-yavaşlama ve yerçekimi hassasiyeti gibi bilgileri elde edilir.

- Sayısal Pusula: Manyetik pusula yönüne göre İHA'nın hangi yönde hareket ettiğini ya da istenilen bir pusula yönüne doğru hareket ettirilmesine olanak sağlar.
- Yaklaşım (Proximity) Sensörü: Sonar, kızılötesi veya optik algılayıcı modelleri sıklıkla tercih edilen bu sensörler, İHA'nın uçuş sırasında herhangi bir engele çarpmasına önler. Yatay veya dikey uçuşlar için yerleştirilecek yaklaşım sensörleri sayesinde İHA'lar kazalardan korunur. Ayrıca bu sensörler sayesinde İHA'nın yerden yüksekliği de hassas şekilde elde edilir ve zemine yumuşak inişler yapması sağlanır (URL-7).



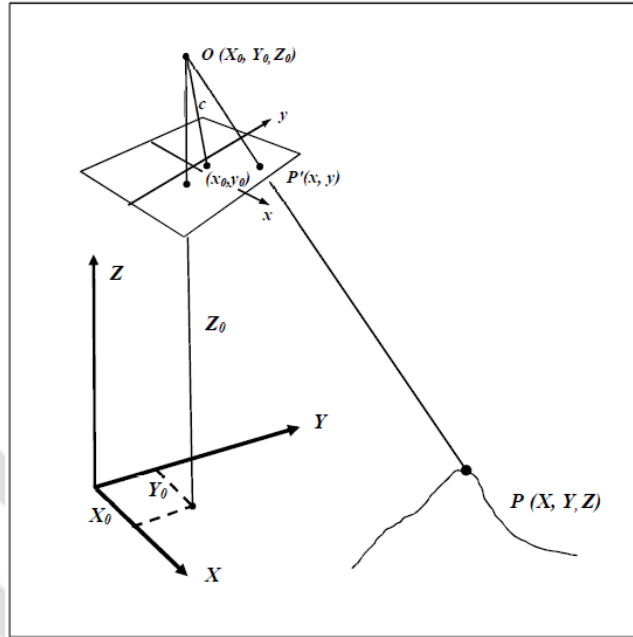
Şekil 2.31 İHA'larda kullanılan bazı algılayıcılar.

## 2.6 FOTOGRAMETRİNİN MATEMATİK TEMELLERİ

Fotogrametrik olarak değerlendirilmesi yapılmak istenen cisimlerin fotoğrafları çekildikten sonra söz konusu cisimlerin izdüşümlerinin oluşturduğu fotoğraflar üzerinden bir takım geometrik ve matematiksel bağlantılar yardımı ile hesaplamalar yapılmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda da fotoğraftaki bir noktaya ait X, Y planimetrik ve Z kot değerleri elde edilmektedir (Göktepe 1998).

Fotogrametrinin matematiksel kısmı; cismin içinde bulunduğu koordinat sistemine göre fiziki olarak var olan her bir noktasının matematiksel olarak ifade edilmesini kapsamaktadır. Bu her bir noktadan çıkan ışınların, kolinearite (eş doğrusallık) şartına göre fotoğraf makinesinin izdüşüm merkezi noktasından geçerek fotoğraf düzleminde beliren bir izdüşüm hali elde edilir.

Daha sonra bu iz düşüm görüntüsünü konumlandırarak anlam kazandırabilmek için fotoğraf makinesinin iç yöneltme ve dış yöneltme elemanları hesaplanır (Marangoz 2002).



Şekil 2.32 Fotoğraf ve nesne koordinat sistemleri arasındaki bağlantı (Karakış 2011).

Fotoğraf ve nesne koordinat sistemleri arasındaki bağlantının gösterildiği Şekil 2.32’de sağ altta tepe şeklinde belirtilen nesnedeki P noktasından çıkıp fotoğraf makinesine giren bir ışın düşünür isek;

- $x, y$ : fotoğraftaki P noktasının koordinatları
- $X, Y, Z$ : nesnedeki P noktasının koordinatları
- $X_0, Y_0, Z_0$ : iz düşüm merkezinin nesne koordinatları
- $x_0, y_0$ : iz düşüm merkezinin fotoğraf koordinatları
- $c$ : fotoğraf makinesi odak uzaklığı
- $s$ : iz düşüm ölçeği
- $R$ : dönme matrisini belirtmektedir.

Fotogrametri tekniğinin başlıca kullanılma amacı, yüzeylere veya nesnelere ait konum ve geometrik özelliklerin, o yüzey veya nesne ile herhangi bir fiziksel temas olmadan, onlara ait fotoğraflar üzerinden belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu bilgileri elde edebilmek içinse, fotoğraf ile ilgili yüzey veya nesnelere arasında matematiksel bir bağlantı kurmamız



gerekmektedir. Aşağıdaki dönüşüm matrisleri ile elde edilen bu bağıntılar, iz düşüm bağıntıları olarak tanımlanmaktadır (Karakış 2011).

Dönüşüm matrisi:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{s} \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Bu dönüşümün sonucunda fotoğraf koordinatları için aşağıdaki doğrusallık bağıntılarını elde etmiş oluruz:

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

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

Nesne koordinatları için ise aşağıdaki bağlantıyı elde edebiliriz:

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{R_{11}(x - x_0) + R_{21}(y - y_0)R_{31}c}{R_{13}(x - x_0) + R_{23}(y - y_0)R_{33}c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{R_{12}(x - x_0) + R_{22}(y - y_0)R_{32}c}{R_{13}(x - x_0) + R_{23}(y - y_0)R_{33}c}$$

Fotoğraf koordinatları yardımı ile X, Y pozisyon ve Z kot değerlerinin bulunabilmesi için aynı yüzey veya nesneye ait değişik iki açıdan alınmış minimum iki fotoğrafa ihtiyaç duyulur. Bu fotoğrafların olması halinde aşağıdaki bağıntılar sayesinde Z kot değeri hesaplanabilir:

1. fotoğraftan;

$$X = X_{01} + (Z - Z_{01})k_{x1}$$

$$Y = Y_{01} + (Z - Z_{01})k_{y1}$$

2. fotoğraftan;

$$X = X_{02} + (Z - Z_{02})k_{x2}$$

$$Y = Y_{02} + (Z - Z_{02})k_{y2}$$

Eşitlikleri elde edildikten sonra bu iki bağıntı yardımıyla;

$$Z = \frac{X_0 - Z_0 k_{x2} + Z_0 k_{x1} - X_0}{k_{x1} - k_{x2}}$$

Bu bağlantılarda bulunan  $x_0$ ,  $y_0$  ve  $c$  değerleri iç yönelme parametreleridir. Bu değerler kullanılan fotoğraf makinesinin kalibrasyon raporundan elde edilir.  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  ve  $R$  değerleri dış yönelme parametrelerine karşılık gelmektedir. Bu değerler ise küresel konumlama sistemi (GPS), atalet ölçüm ünitesi (IMU) veya yer kontrol noktaları (GCP) sayesinde belirlenebilmektedir.  $R$  değeri ise vektörler, dördeyler veya açılar ile üretilebilir (Karakış 2011).



## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 ÇALIŞMA ALANI

İHA ile fotogrametrik değerlendirme yaptığımız çalışma alanı, Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyısında bulunan, şehir merkezinde yer alan limanı ile deniz ticaretinde ve zengin kömür yataklarıyla önem arz eden Zonguldak ili (Şekil 3.1) sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil 3.1 Zonguldak ili.

Zonguldak ili, kömür madenlerinin Osmanlı Devleti zamanında 1841'lerde işletilmeye açılmasının ardından gelişmeye başlamış ve 1899 senesinde kaza, 1920 senesinde ise mutasarrıflık (sancak) olarak ilan edilmiştir. Kaza olduğu tarihlerden itibaren belediyeleşmeye başlayan il, zengin kömür madenleri bulundurması sebebiyle ister istemez plansız bir şekilde büyümeye başlamıştır. Daha sonraları ise ekonomik ve idari açılardan planlı ve projeli bir şekilde büyümeye devam etmiştir. 1 Nisan 1924 tarihinde ise Cumhuriyet'in ilanından sonra ilk "İl" ilan edilen yerleşim yeridir. Zonguldak'ta o tarihlerde müslim, gayri müslim ve çeşitli yabancılar yaşamaktaydı. Yerli ve yabancı muhtelif şirketlerde makinist, teknisyen, memur ve

mühendis gibi görevlerde çalışan yabancıların çoğunluğu İtalyan ve Fransız olmakla birlikte Alman, Romen, Rus ve Avusturyalılar da bulunmaktaydı (Genç 2010).

İlçeleri ve komşu illeri Şekil 3.2’de görülen Zonguldak ilinin nüfusu 2018 yılı valilik verilerine göre yüzde 39’u kırsal, geri kalan yüzde 61’lik kısmı ise şehirde olmak üzere toplam 599.698’dir. Nüfusun en yoğun olduğu ilçesi ise 175.605 kişi ile Ereğli’dir. İlçelere göre nüfus yoğunluğu sıralaması Merkez, Çaycuma, Devrek şeklinde devam eder. 2017’den 2018’e geçişte ise Zonguldak genel nüfusu binde 4.7’lik bir orana tekabül ederek 2.806 kişi artmıştır (URL-10). Yüzölçümü 3.342 km<sup>2</sup>’e olan Zonguldak ilinin, Türkiye İstatistik Kurumu 2019 yılı verilerine göre 8 ilçesi, 25 belediyesi ve bu belediyelere ait 176 mahalle, ayrıca toplamda 380 tane köyü bulunmaktadır (URL-11).



Şekil 3.2 Zonguldak ili sınırları ve komşu iller.

Karadeniz ikliminin görülüp, yağış miktarının bol olduğu Zonguldak’ta kuzey rüzgarları etkili olmaktadır. Yüzölçümünün yüzde 52’lik bir kısmı bol çeşitli ormanla kaplı olup, su bakımından zengin ve genel olarak engebeli bir coğrafi yapıya sahip olan şehrin büyük bölümünü akarsuların meydana getirdiği vadiler ve orta yükseklikteki dağlar oluşturmaktadır (URL-12).

Bu çalışma kapsamında Zonguldak merkez ilçesinde bulunan Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesi sınırları içerisinde Şekil 3.3’te gösterilen iki farklı uygulama alanı

belirledik. İlk uygulamamızı yerleşkenin basketbol sahaları ile spor salonu arasında, ikinci uygulamamızı ise rektörlük binası ve konukevi önünde gerçekleştirdik.



Şekil 3.3 BEÜ Farabi yerleşkesi içerisindeki çalışma alanlarımız.

### 3.2 ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMAN VE YAZILIMLAR

Çalışmamızda hava fotoğraflarının alımlarında İHA olarak DJI firmasının üretmiş olduğu Phantom 3 Pro modelini, jeodezik ölçümlerde ise Leica firmasının üretmiş olduğu Flexline TS02plus total station modelini kullandık. Bilgisayar ortamında ise fotogrametrik değerlendirme yapmak için Agisoft PhotoScan Professional yazılımını kullandık.

### 3.2.1 DJI Phantom 3 Pro



Şekil 3.4 DJI Phantom 3 Pro.

Dünyaca ünlü Çinli drone üreticisi DJI firmasının en iddialı İHA modellerinden birisi olan DJI Phantom 3 Pro (Şekil 3.4), kullandığı “LightBridge” teknolojisi sayesinde yaklaşık 2 km kadar hareket kabiliyetine sahip. Üzerinde bulunan 3 eksenli gimballi ve yüksek kaliteli kamerası sayesinde oldukça net ve istenilen açılarda yüksek detaylı fotoğraflar çekebilmektedir. Çizelge 3.1’de bu İHA’ya ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 DJI Phantom 3 Pro Teknik Özellikleri (URL-13).

Ağırlık	1.280 g
Çapraz Boyut	350 mm
Maksimum Yükselme Hızı	5 m/s
Minimum Alçalma Hızı	3 m/s
Maksimum Hız	16 m/s
Maksimum Eğim Açısı	35°
Maksimum Açısal Hız	150°/s
Maksimum İrtifa	6.000 m
Uçuş Süresi	~23'
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	0° - 40°C
Navigasyon	GPS/GLONASS
Kamera - Sensör	12.4 MP - 1/2.3" inç CMOS
Lens	FOV 94° 20 mm f/2.8
ISO Aralığı	100 - 1600 (Fotoğraf)
Elektronik Deklanşör Hızı	8 - 1/8000 s
Fotoğraf Çözünürlüğü	4000 x 3000 Piksel
Video Çözünürlüğü	4096 x 2160 Piksel
Maksimum Video Bit Hızı	60 Mbps
Fotoğraf	Jpeg, Dng (Raw)
Kumanda Çalışma Frekansı	2.400 - 2.483 GHz
Kumanda Çalışma Mesafesi	FCC: 5 km, CE: 3.5 km
Pil	6000 mAh LiPo 2S
Mobil Uygulama	DJI GO
Canlı Görünüm Çalışma Frekansı	2.4 GHz ISM
Canlı Görüntüleme Kalitesi	720P (30 fps)
Canlı Görüntü Gecikme Süresi	220 ms

### 3.2.2 Leica Flexline Ts02plus



Şekil 3.5 Leica Flexline Ts02plus Total Station.

Jeodezik ölçme işleri için sektörün öncülerinden kabul edilen İsveçli Leica Geosystems firmasının Flexline TS02plus (Şekil 3.5) modelini tercih ettik. Teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilen, oldukça kullanışlı ve hızlı bir ara yüze sahip bu model sayesinde, içinde gömülü halde gelen uygulaması ile standart ölçme işleri hem prizma hem de lazer modlarında rahatlıkla yapılabilir.

Çizelge 3.2 Leica Flexline TS02plus Teknik Özellikleri (URL-14).

Açı Ölçme Hassasiyeti	3" (1 mgon) / 5" (1.5 mgon) / 7" (2 mgon)
Açı Ölçme Metodu	Mutlak, sürekli, çapsal
Ekran Çözünürlüğü	0.1" (0.1 mgon)
Kompansatör Ayar Hassasiyeti	1" / 1.5" / 2"
Kompansatör Aralığı	0.07 gon
Sonsuz Ayar Vidası	Gecikmesiz ve yumuşak hareketle ayarlama
Mesafe Ölçme Uzaklığı	Prizma: 3.500 m / Lazer: 500 m
Mesafe Ölçme Hassasiyeti	Prizma: 1.5 mm+2 ppm / Lazer: 2 mm+2 ppm
Mesafe Ölçme Süresi	Normal: 2 s / Hassas+: 2.4 s
Lazer Nokta Büyüklüğü	30 m’de: 7x10 mm / 50 m’de: 8x20 mm
Şakul	Lazer nokta 5 seviye aydınlatılabilir
Şakul Merkezlenme Hassasiyeti	1.5 m’de 1.5 mm
Dahili Hafıza	24.000 sabit nokta / 13.500 ölçüm noktası
Arabirim	Seri (115.200’e kadar bilgi akış hızı)
Veri Formatları	GSI, DXF, LandXML, CSV, ASCII
Lens Büyütme / Çözme Değeri	30x / 3"
Görüş Alanı	1° 30’ (1.66 gon) 100 m’de 2.7 m
Odaklama Aralığı	1.7 m’den sonsuza
Kıl ağı	10 seviye aydınlatılabilir
Klavye	Basit Alfa-nümerik Klavye
Ekran	S/B, 160x288 piksel, 5 seviye aydınlatılabilir
İşletim Sistemi	Windows CE, 5.0 Core
Pil / Pil Kullanım Süresi / Şarj Süresi	Lithium-Ion / yaklaşık 20 saat / 2.3 saat
Ağırlık (batarya ve tribrah dahil)	5.1 kg
Çalışma Sıcaklığı	-20° C ile +50° C aralığı
Toz, Su / Nem dayanıklılığı	IP55 %95 / Yoğuşma yapmaz

### 3.2.3 Agisoft Photoscan Professional



**Şekil 3.6** Agisoft PhotoScan Professional yazılımı.

Çalışmamızda haritacılık, 3B modelleme ve CBS uygulamalarında yüksek doğruluklarda son ürün meydana getirmesi ve hızlı işlem kabiliyeti gibi sebeplerden ötürü sıklıkla kullanılan yazılımlardan biri olan Rus yazılım şirketi olan Agisoft LLC'nin üretmiş olduğu Agisoft PhotoScan Professional (Şekil 3.6) yazılımını tercih ettik. Dağınık veri işleme tekniği sayesinde 50.000'e kadar görüntüyü işleyebilen bu yazılım sayesinde klasik fotoğraf makineleriyle, çoklu kamera sistemleriyle, RGB, pankromatik, multispektral veya termal kameralarla alınmış görüntüler, istenilen yoğunlukta nokta bulutlarına, yüksek çözünürlüklü sayısal arazi/yükseklik modellerine, dokulu poligon modellerine veya ortomozaiklere çevrilebilmektedir. Elde edilen modellerden istenilmeyen gölge veya diğer doku kaplamaları kaldırılabilir, bitki örtüsü bilgisi elde edilebilir ve bu sayede tarımsal eylem planları rahatlıkla tasarlanabilir. Nokta bulutları isteğe göre yol, bina, araç gibi detaylar otomatik olarak değerlendirilip sınıflandırılabilir. Farklı zamanlarda aynı bölge üzerinden alınacak görüntülerin işlenmesi ile o bölgede gerçekleşen hacim değişimi, toprak erozyonu ve buzul izleme tespitlerine olanak sağlar. Arkeoloji uygulamalarında istenilen bir tarihi eserin modellenmesi, kazı alanı haritalandırılmasında, dağlık yerlerde veya sualtı gibi ulaşılması güç yerlerde bulunabilecek antik kalıntıların ve tarihi eserlerin tespitinde ve kültürel mirası korunma amaçlı çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilir. Yakın fotogrametrik çalışmalarda ise istenilen bina, nesne veya bir kısmı tahrip olmuş yapıların hassas bir şekilde modellenerek aslına uygun olarak tekrar inşasında ve tamiratında tercih edilebilir (URL-15).



### 3.3 YÖNTEM

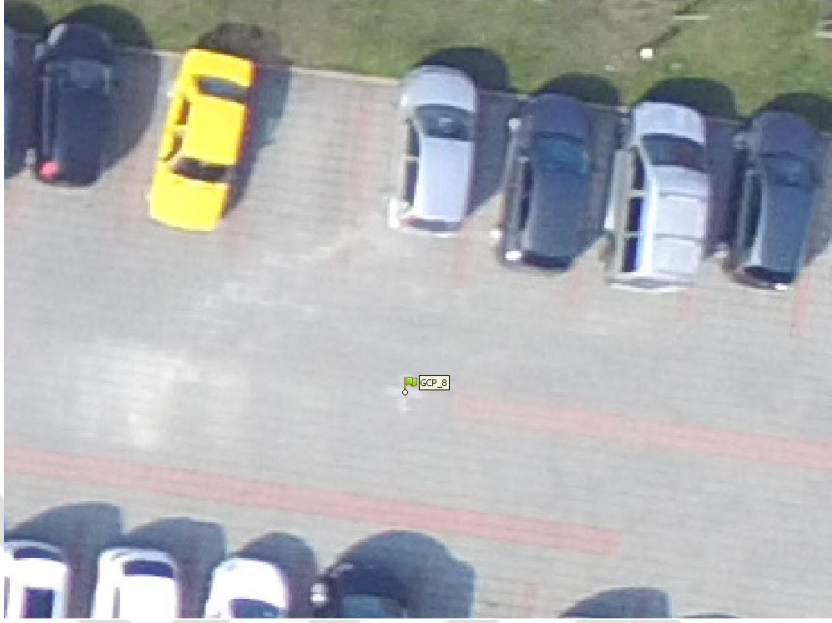
Çalışmamız kapsamında İHA ile iki farklı uçuş gerçekleştirdik. Farklı iki tarihte gerçekleştirdiğimiz bu uçuşlarda, farklı yükseklik ve bindirme oranlarıyla hava fotoğrafları alımları yaptık. 12MP, 4K boyutlarında görüntüler ile toplamda 9 adet YKN (yer kontrol noktası) kullanılmış olup, olup 6 cm yer örnekleme aralığında çalışma alanı kaplanmıştır. Hava fotoğraflarının çekim anına göre F durağı (diyafram açıklığı) ve poz süresi (perde hızı) değerleri değişse de ortalama veri özellikleri Çizelge 3.3'teki gibidir.

**Çizelge 3.3** Hava fotoğraflarının veri özellikleri.

Genişlik	4000 piksel
Yükseklik	3000 piksel
Yatay Çözünürlük	72 dpi
Dikey Çözünürlük	72 dpi
Bit Derinliği	24
Çözümleme Birimi	2
Renk Temsili	sRGB
Kamera Modeli	FC300X (DJI)
F Durağı	~ f/2.8
Poz süresi	~ 1/800 sn
ISO	100
Pozlandırma dengeleme	0 adım
Odak Uzunluğu	4 mm
En Fazla Açıklık	2
Ölçüm Modu	Nokta

YKN, fotogrametrik çalışmalarda kullanılmak üzere hava aracıyla çekilecek fotoğraflarda renk ve şekil bakımından rahatlıkla belirlenebilecek ve uzun süreler silinmeyecek şekilde arazide işaretlenip, koordinatları jeodezik veya GPS ölçmeleri ile hassas bir şekilde elde edilmiş noktalardır. Şekil 3.7'de gözüktüğü gibi YKN'ler yağlı boya gibi kolay çıkmayacak şekilde zemine işaretlenebileceği gibi eğer yeterli zaman veya ekipman yok ise arazide mevcut bulunan ve fotoğraflarda net şekilde gözükebilecek yol, köprü veya bir binaya ait kırık noktası da kullanılabilir. Bu kontrol noktaları fotogrametrik amaçla çekilmiş fotoğrafların rektifikasyon işlemi sırasında fotoğraf ile yer koordinat sistemi arasında bağlantı kurulmasını sağlamaktadır. Doğruluğu ve arazideki dağılımı üretilecek ürünün konum doğruluğunu etkileyeceğinden uçuş öncesinde tesis edilecek bu noktalar, uçuş planına ve

çekilecek hava fotoğraflarının ölçeğine uygun olarak araziye homojen olarak dağıtılmalıdır (Topan vd. 2007).



**Şekil 3.7** Çalışmamızda kullandığımız 8 numaralı GCP (YKN).

Uçuştan önce hava fotoğraflarında rahatlıkla gözükecek biçimde uygun geometride ve alan üzerindeki dağılımı homojen olacak şekilde yer kontrol noktalarını tesis edeceğimiz yerleri harita üzerinden belirleyip işaretlemelerini yaptık. Daha sonra Çizelge 3.4’de koordinat ve kot değerleri yer alan yer kontrol noktaları, gerçek zamanlı kinematik (RTK) GPS tekniği ile ortometrik çıkış yapılarak gerekli ölçme ve dengeleme işlemleri sonrasında hassas bir şekilde belirlenmiştir.

**Çizelge 3.4** Çalışmada Kullanılan Yer Kontrol Noktalarının Kot ve Koordinatları.

YKN No	Y (m)	X (m)	Z (m)
GCP.1	396289.813	4591187.422	97.12
GCP.2	396451.582	4591191.199	78.57
GCP.3	396628.701	4591145.068	70.52
GCP.4	396102.248	4591398.617	29.96
GCP.5	396465.080	4591349.874	63.85
GCP.6	396658.286	4591327.206	64.10
GCP.7	396504.140	4591734.928	45.34
GCP.8	396596.686	4591425.251	77.61
GCP.9	396797.793	4591734.597	42.87

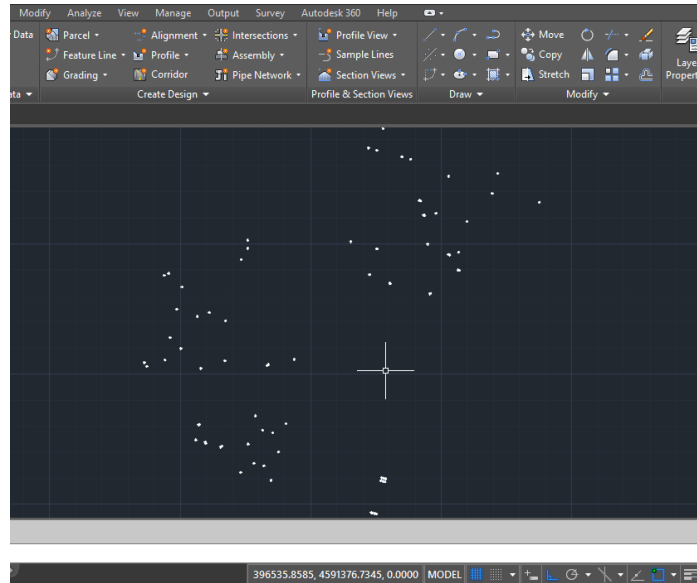
Fotogrametrik haritalama işlemlerinde İHA'yı havalandırmadan evvel kesinlikle aracın kategorisine göre, devlet tarafından belirtilmiş gerekli tüm yasal izin ve belgelerin alınması gerekmektedir. Uçuş işlemi resmi olarak izin kazandıktan sonra, araç uçurulmadan evvel kumanda, kamera ve sensör kalibrasyonu, batarya gibi önemli kısımları kontrol edilmelidir. İHA'mızın kamera, batarya, pervaneler, kalibrasyon ve kumanda gibi önemli bölümlerini kontrol edip havalandırdıktan sonra drone ile haritalama yazılımı olan Pix4Dcapture ile hazırladığımız uçuş planları dahilinde iki kez farklı yükseklik ve bindirme değerlerinde hava fotoğrafları alacak şekilde uçurduk. Çalışma alanlarımız Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde bulunduğu için, her iki uçuş planımızı da Farabi yerleşkesini tamamen kapsayacak şekilde hazırlandık. Çalışmamızda İHA olarak bölüm 3.2.1'de bahsettiğimiz DJI Phantom 3 Pro kullandık. Kullandığımız bu cihazın en iyi özelliklerinden bir tanesi üç eksenli hassas gimballi sayesinde fotoğraf makinesini nadir doğrultusunda hassas bir şekilde tutabilmesidir. Bulutsuz bir havada ve güneşliliğin çok olduğu 10:00 - 14:00 saatleri arasında gerçekleştirdiğimiz uçuşların ilkinde 120, ikincisinde ise 350'ye yakın hava fotoğrafı elde ettik. Uçuş sırasında İHA ve çektiği hava fotoğraflar sürekli olarak akıllı telefon üzerinden kontrol edildi.

Fotoğraflar elde edildikten sonra bilgisayar üzerinde incelenerek daha sonra karşılaştırma yapmak için en uygun jeodezik noktaları hangi detaylardan alabileceğimiz incelendi. İnceleme sonrasında yerleşke içerisinde iki farklı alanda total station ile jeodezik ölçümler gerçekleştirilip bina çatı köşeleri, bina dipleri, parke taşları gibi bazı detayları gibi noktalardan alımlar yaptık. Kontrol noktalarına ait bu ölçümlerde bölüm 3.2.2'de açıklaması yer alan ve reflektörsüz ölçüm yapabilen Leica Flexline Ts02plus total station kullandık. Ölçümler yapılmadan evvel cihaz, Şekil 3.8'deki gibi poligon noktasını üzerine lazer şakülü kullanılarak hassas bir şekilde konumlandırılmıştır. Daha sonra menüden bilinen istasyon kurulumu seçilip, durulan ve bakılan noktalara ait kot ve koordinat değerleri girilip, hedef poligon noktasına konumlandırılan prizmaya hassas bir şekilde yatay açı sıfırlanıp bağlantı kurulmuş ve diğer poligon noktalarından kontroller sağlanmıştır.



**Şekil 3.8** Poligon üzerine kurduğumuz total station.

Cihazın ana menüsünden ölçüm kısmına girilmiş ve cihaz reflektörsüz ölçüm (lazer) moduna alınmıştır. Sonrasında ise daha önce hava fotoğrafları üzerinden belirlemiş olduğumuz keskin ve belirgin detaylardan ve bunlar haricinde yedek olması amacıyla toplamda 90'a yakın nokta ölçülüp kayıt edilmiştir. Ölçümleri kayıt ettiğimiz dosya, data kablosu aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Aktarılan bu nokta dosyası, Şekil 3.9'da görüleceği üzere AutoCAD yazılımında açılıp incelenerek gerekli görülmeyen noktalar ayıklandıktan sonra Agisoft PhotoScan Professional yazılımında kullanılmak üzere .txt dosyası olarak dışarı aktarılmıştır.



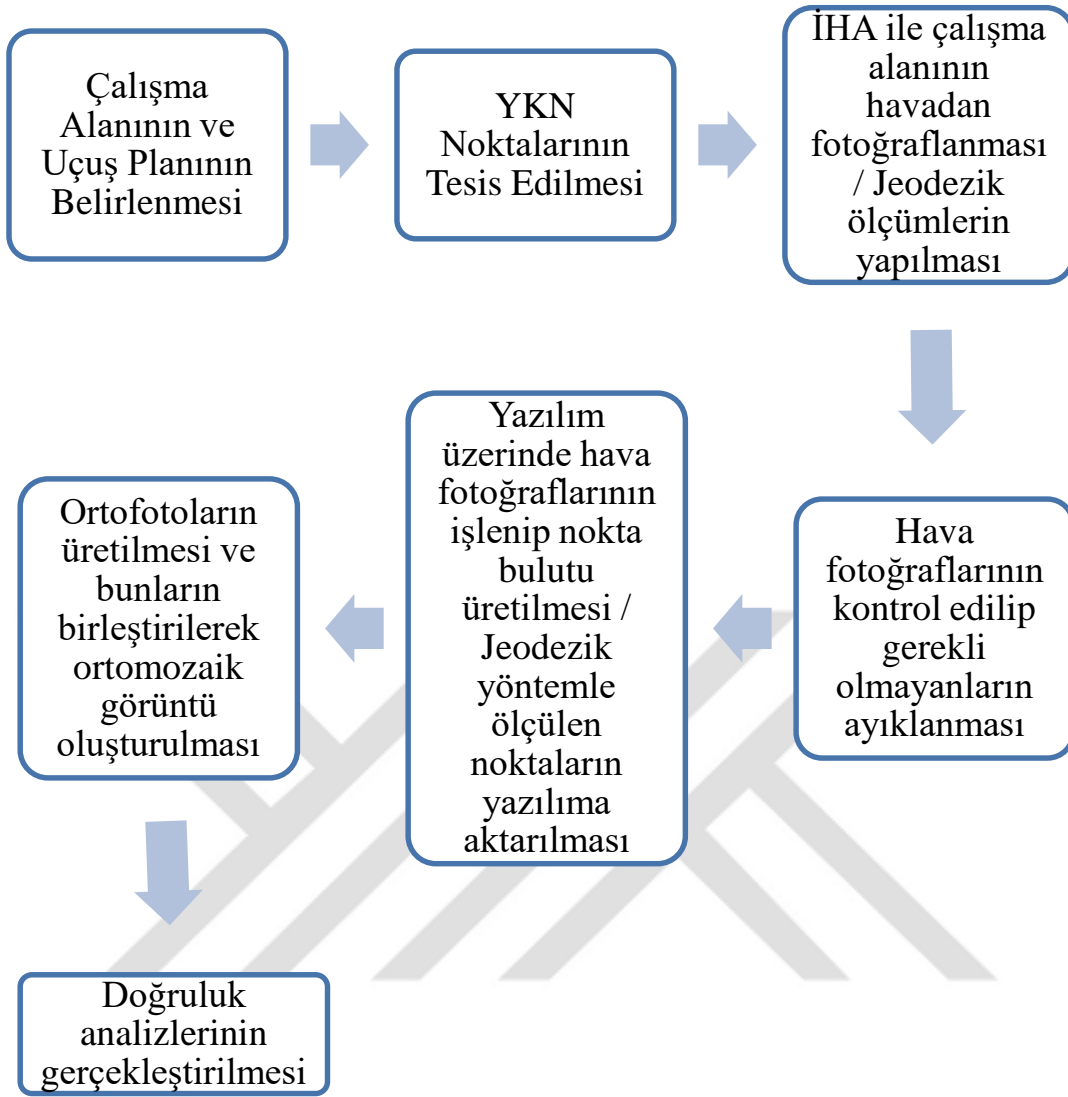
**Şekil 3.9** Noktaların Autocad üzerinde incelenmesi.

İHA, uçuşları sırasında her ne kadar uçuş planına ve istediğimiz fotoğraf çekim değerlerine sadık kalsa da, gereksiz çekilmiş, aşırı pozlanmış, görüntü yürümesi olmuş veya bulanık çıkmış fotoğrafları yazılımda işleme sürecini gereksiz yere uzatmaması ve doğruluğu etkilememesi amacıyla eledik. Hava fotoğraflarını, gerekli inceleme ve istenmeyenlerin elenmesi işlemleri sonrasında Agisoft PhotoScan Professional yazılıma aktardık. Aktardığımız fotoğraflardan biri Şekil 3.10’da gösterilmektedir.



**Şekil 3.10** İHA ile elde ettiğimiz bir hava fotoğrafı.

Yazılımda öncelikle hava fotoğraflarının yöneltme işlemini gerçekleştirdik. YKN’leri yazılıma aktarıp fotoğrafları daha hassas şekilde konumlandırdık. Bu işlemin ardından yoğun nokta bulutu, katı model ve ortomozaik gibi fotogrametrik ürünler elde ettik. Daha sonra kampüs içerisinde jeodezik yöntemle alımını yaptığımız detaylara ait kot ve koordinat verilerini yazılıma aktardık. Aktardığımız bu kontrol noktalarını hatasız kabul ederek doğruluk analizlerini gerçekleştirdik. Bu çalışmaya ait iş akış diyagramı aşağıdaki Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Çalışmamıza ait iş akış diyagramı.

## BÖLÜM 4

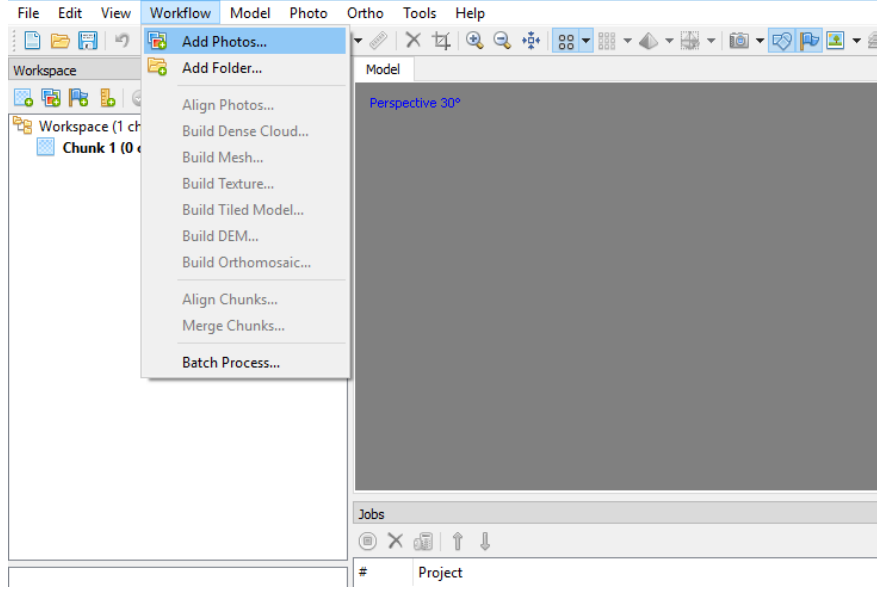
### UYGULAMA

#### 4.1 İHA FOTOGRAMETRİSİ DEĞERLENDİRME ADIMLARI

Çalışmamız kapsamında ihtiyaç duyduğumuz fotogrametrik ürünlerin elde edilmesi için gerekli veriler olan hava fotoğraflarını, teknik özelliklerinden Bölüm 3.2.1’de bahsettiğimiz İHA ile elde ettik. Verileri elde etmek için, Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi kampüsü sınırları içerisinde daha önce belirttiğimiz iki farklı bölgede iki farklı zamanda uçuşlar gerçekleştirdik. Uçuşlar sonrasında çalışmamız kapsamında aşağıdaki adımları sırasıyla izledik.

**Hava fotoğraflarının yazılıma aktarılması:** İHA ile fotogrametrik çalışmalar gerçekleştirirken geri dönüşü olmayan hatalara sebebiyet vermemek adına, verilerin elde edilme aşamasında İHA parametreleri ve fotoğrafların nasıl çekildiği sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Eisenbeiss 2009).

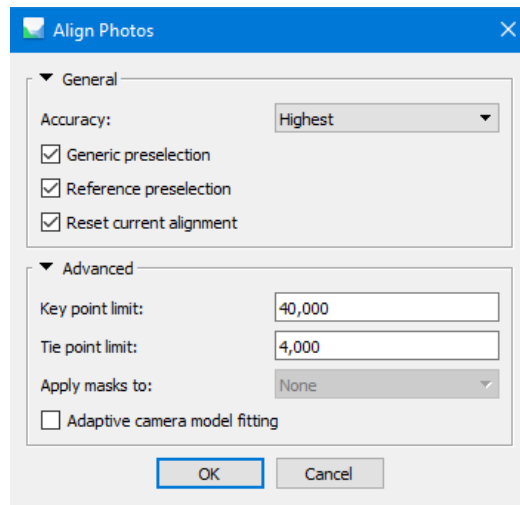
İHA ile elde ettiğimiz fotoğrafların alım aşamasında gerekli kontrolleri sağladık ve daha sonra bilgisayara aktardık. Piksellerde kayma oluşmuş, düzgün pozlanmamış/odaklanmamış veya gerekli olmayacak fotoğrafları tespit edip, projelerimizde işe yarayacakların arasından çıkardık. Neticede iki farklı alana ait iki farklı fotoğraf klasörü elde ettik. İlk önce birinci çalışma alanını örten fotoğrafları, detaylarından Bölüm 3.3.3’te bahsettiğimiz Agisoft PhotoScan Professional yazılımında sırasıyla üst menüden Workflow, Add Photos kısmına gelerek Chunk (yığın) bölümüne ekledik (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1** Agisoft PhotoScan Professional fotoğraf ekleme menüsü.

Fotoğrafları tek tek seçmek yerine, direkt olarak fotoğrafların içinde bulunduğu klasörü Workflow, Add Folder'a tıklayarak seçebiliriz. Bu şekilde de fotoğraflar yazılıma aktarılmış olurdu.

**Hava fotoğraflarının yönlendirilmesi:** Yazılıma aktarılan fotoğrafların öncelikle fotoğraf makinesinin anlık koordinat ve dönüklük değerlerine göre yönlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için Workflow, Align Photos kısmına tıkladık. Bu adımda gelen pencerede doğruluğu yüksek, Generic preselection ve Reference preselection seçeneklerini aktif, Key point limiti 40.000 ve Tie point limit değerini 0 yaptıktan sonra OK'a basarak işlemi başlattık (Şekil 4.2).

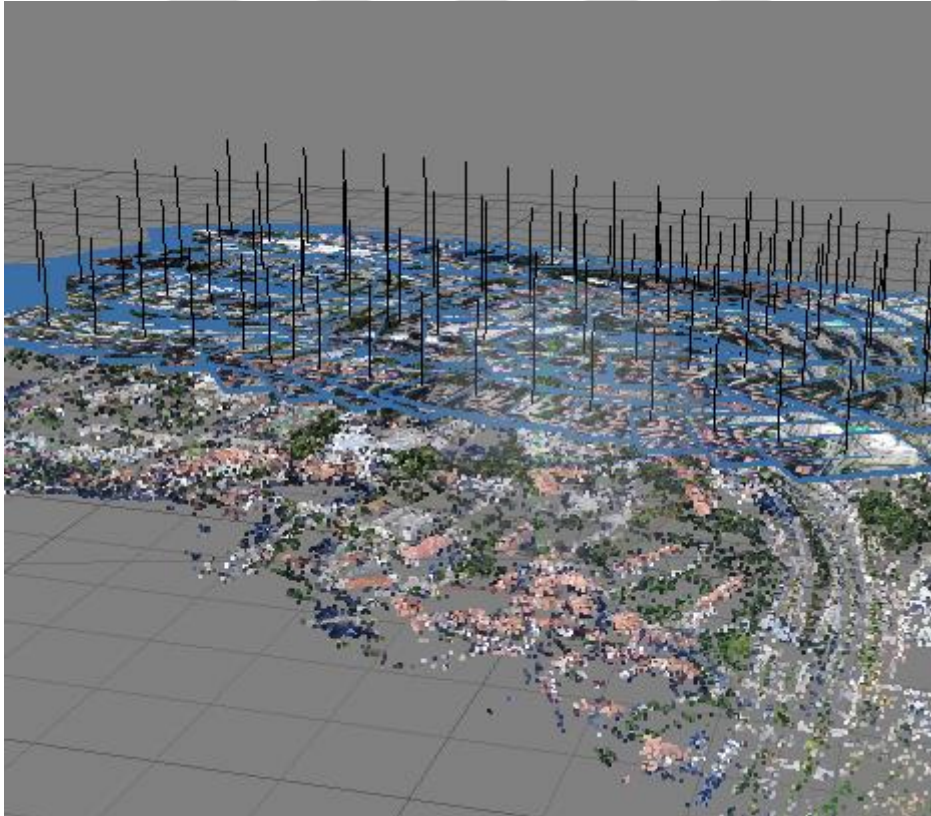


**Şekil 4.2** Align Photos işlemi parametre penceresi.



Bu işlem fotoğrafların kalitesine, ebatlarına ve sayısına bağlı olarak çok iyi bir işlemci ve yüksek ram değerlerine sahip bilgisayarlarda birkaç dakika sürebileceği gibi bazı bilgisayarlarda saatlerce sürebilir ve hatta bilgisayar kapasitesi bu veri işleme yoğunluğuna dayanamayıp yazılımı kapatabilir. Şekil 4.3'te görülen yöneltme işlemi yaklaşık 6 dakikada tamamlandı. Yöneltme işlemi ile fotoğrafların yüzeye olan mesafeleri ve fotoğraf makinesinin fotoğraflama yaparken bulunduğu pozisyonları yazılımın algoritması sayesinde hesaplanır ve fotoğraflar arasında ortak noktalar oluşturulur.

Bu yazılım enine ve boyuna bindirmeli olarak ardı ardına çekilmiş hava fotoğraflarındaki eş pikselleri bularak yoğun görüntü eşleştirme yöntemi uygular. Yazılımın kullandığı bu yöntem sayesinde eşleştirme uyguladığı piksellere key point (anahtar noktası) adı verilir. Key point kısmına sıfır yazılırsa maksimum sayıda ve düşük güvenilirlikte key point hesaplanmış olur. Tie points ise her bir pikseldeki bağlama noktalarının maksimum sayısını belirtir (Özemer ve Uzar 2016).

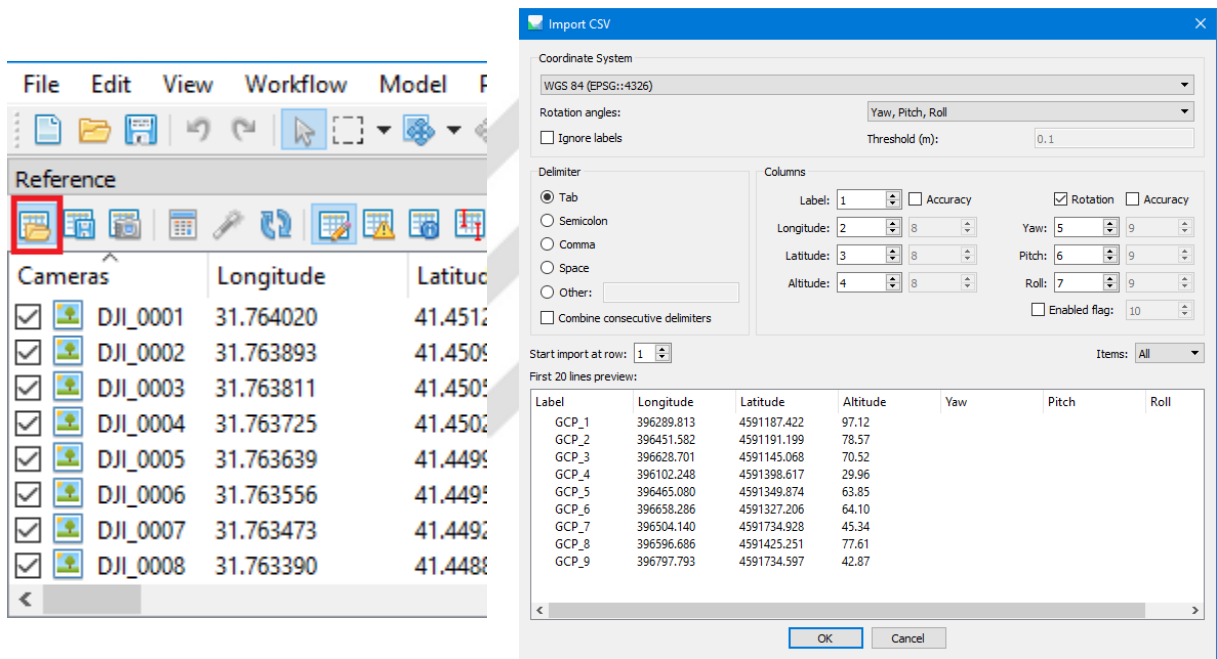


Şekil 4.3 Hava fotoğraflarının yöneltilmiş hali.

**Yer kontrol noktalarının tanımlanması:** Hava fotoğraflarının yöneltme işlemi bittikten sonra üst menüden YKN'lerin yazılıma tanıtılması aşamasına geçtik. Bu aşamada her bir yer

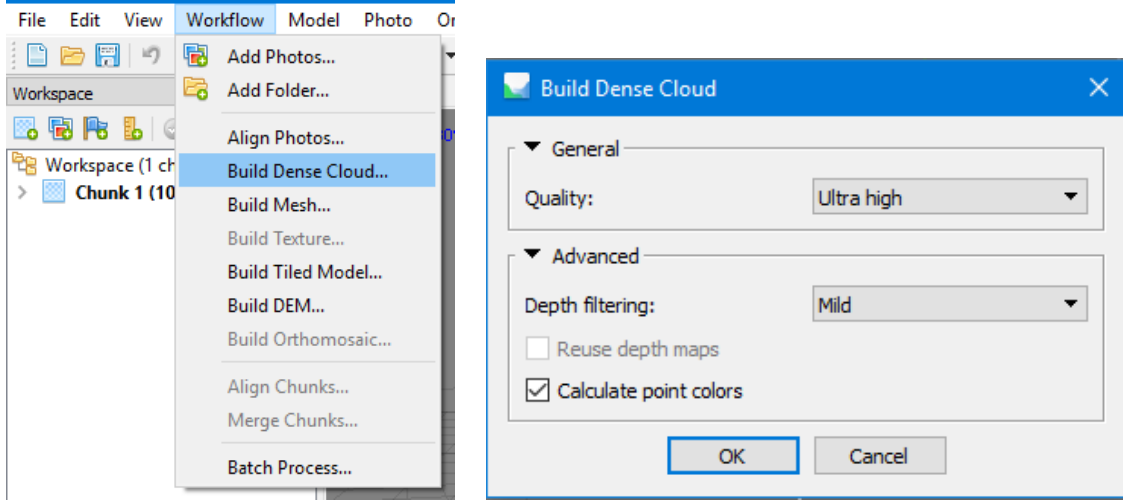
kontrol noktasının asgari iki fotoğraf üzerinde tanımlanma gerekmele birlikte ideal olanı üç ila sekiz fotoğrafta tanımlanmasıdır. Bu noktaların, bulanık veya fotoğrafın sınırlarına yakın kısımlardan seçilmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir (Avdan vd. 2014).

Yer kontrol noktalarımızın olduğu .txt dosyasını yazılımda Workspace penceresinin alt kısmında bulunan Reference'a (referans) tıkladıktan sonra gelen pencerede Şekil 4.4'te kırmızı kutucuk ile gösterilen Import tuşuna tıklayarak YKN koordinatlarının olduğu .txt dosyasını seçtik ve gelen pencerelerde sırasıyla OK ve Yes to All tuşlarına bastık. Daha sonra tüm fotoğraflarda tek tek YKN'ler kontrol edilip tam yerlerine konumlandırılmıştır.



Şekil 4.4 Menüden YKN'lerin eklenmesi (sol) ve YKN ekleme tablosu (sağ).

**Yoğun nokta bulutu üretilmesi:** YKN'ler tanımlandıktan sonra yoğun nokta bulutu üretmek için sırasıyla Workflow sekmesindeki Build Dense Cloud'a tıkladık. Gelen pencerede yüksek kalitede nokta bulutu üretmek için kaliteyi yüksek, derinlik filtrelemesini pasif, nokta renklerinin hesaplanmasını aktif olarak seçtikten sonra OK'a tıklayarak yoğun nokta bulutu üretim işlemini başlattık (Şekil 4.5).

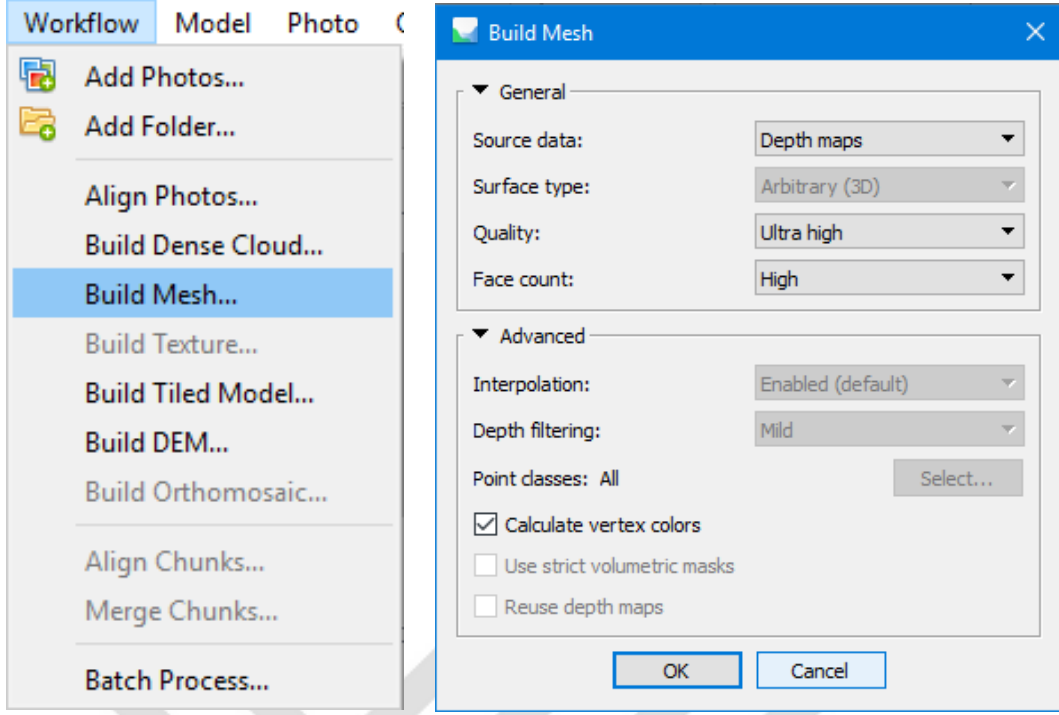


Şekil 4.5 Dense Cloud oluşturma menüsü (sol) ve Dense Cloud parametre penceresi (sağ).

Dense Cloud (Yoğun Nokta Bulutu) verisi, tanımlanmış olan koordinat sisteminde havadan fotoğraflanan tüm yüzey ve bu yüzey üzerinde bulunan nesnelere ait bütün noktaların koordinat ve fotoğraftan alınmış renk değerleri atanmasıyla oluşturulan fotogrametrik bir üründür (Özemir 2007).

**Katı model üretilmesi:** Agisoft PhotoScan Professional yazılımı bu modeli üretirken bir önceki aşamada üretilen yoğun nokta bulutu verilerine dayanarak, yüzeyi veya nesneyi temsil eden bir 3B poligon ağı yapılandırır. Daha az doğrulukta ve daha kalitesiz bir şekilde yoğun nokta bulutu yerine, standart nokta bulutu da kullanılabilir. Katı model üretildikten sonra ağın kırılması, bazı kısımların çıkartılması veya modeldeki açıkların kapatılması gibi düzeltmeler yapılabilir (URL-16).

Yoğun nokta bulutu elde edildikten sonra istemediğimiz veya gerekli görmediğimiz noktaları, sonraki ürünleri elde ederken herhangi bir yanlışla veya zaman kaybına sebebiyet vermemesi adına temizledik. Kontrol ve temizlik işleminden sonra katı model (mesh) oluşturma işlemine geçtik. Katı modeli oluşturmak için Şekil 4.6'da gösterildiği gibi üst menüden sırasıyla Workflow, Build Mesh kısmına tıkladık. Gelen pencerede parametreleri sırasıyla source data dense, interpolation enabled, quality ve face count high şeklinde seçtikten sonra sonra OK tuşuna basarak model üretimini başlattık.



Şekil 4.6 Katı model oluşturma (sol) ve katı model parametre penceresi (sağ).

Katı model üretilme aşamasında gerekli zaman yine kullanılan bilgisayarın ve istenilen katı modelin özelliklerine göre değişmektedir. Çalışmamız kapsamında ürettiğimiz katı model Şekil 4.7’de gösterilmektedir.

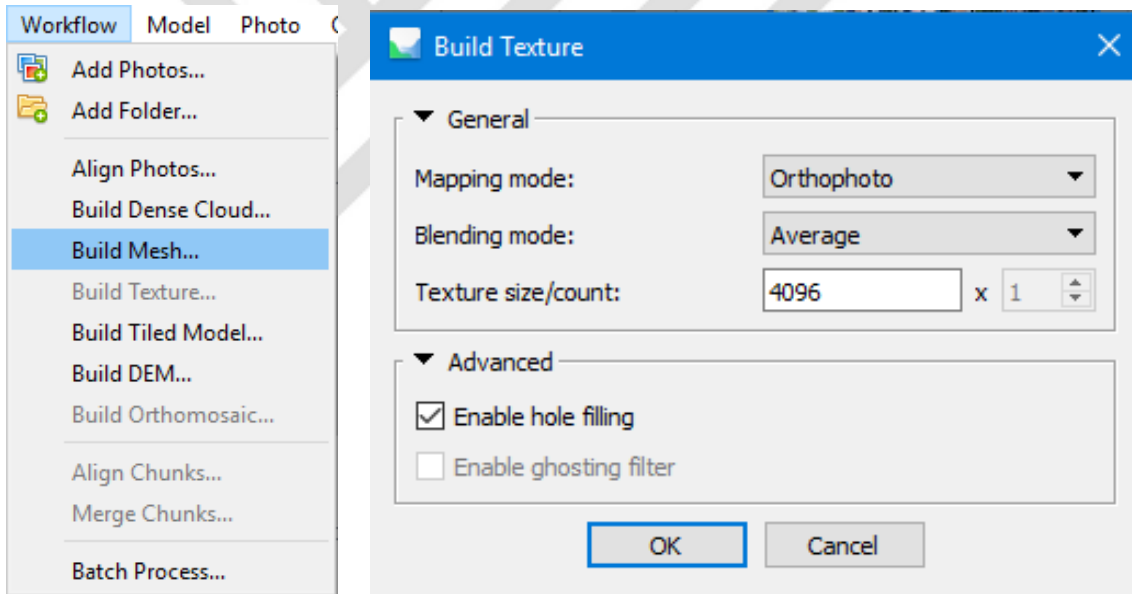


Şekil 4.7 Çalışma alanımıza ait katı model.

**Texture (doku kaplaması) üretimi:** Katı model üretimi işlemi tamamlandıktan sonra, yapılan çalışmanın amacına göre sonuç ürünlerin daha iyi bir görsel kalitede yapıya sahip olması ve dolayısıyla gerçekçiliğinin artırılması amacıyla doku kaplaması yapılmaktadır.

Doku kaplaması, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretmemiz için gerekli olan bir işlemdir. Bu işlem yapılırken yazılım hava fotoğraflarını, yoğun nokta bulutu ile üretilmiş katı model üzerine en iyi odaklanmış fotoğrafları belirleyerek, o fotoğraflara ait piksel iz düşümleri üzerinden algoritmik hesaplamalar yaparak kaplar (URL-16).

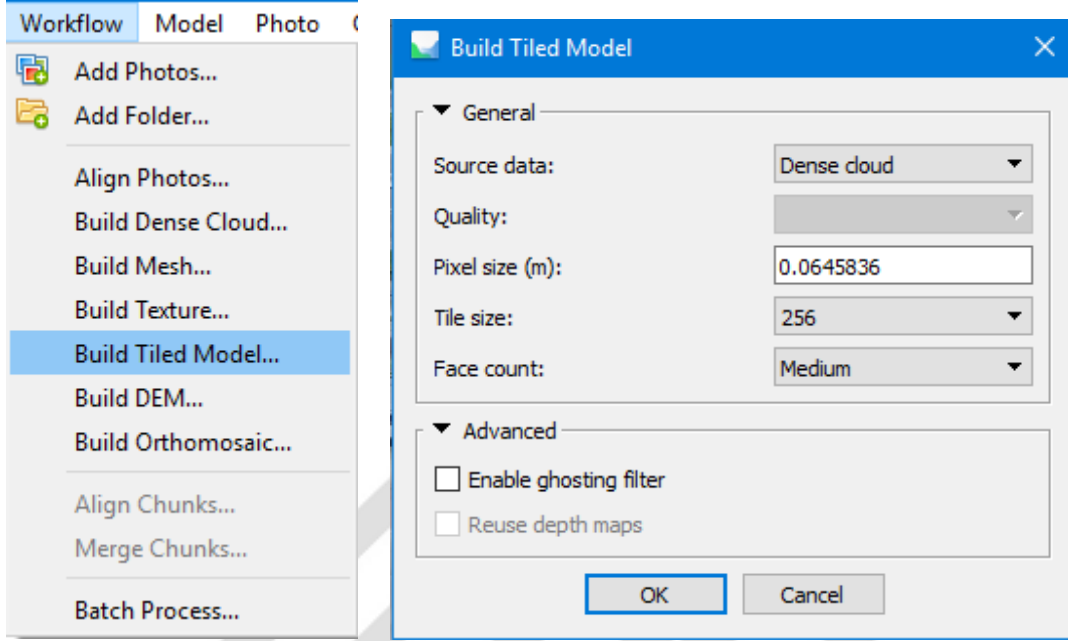
Şekil 4.8'deki gibi, Texture oluşturmak için üst menüdeki Workflow, Build Texture'a tıklarız. Ekrana gelen pencerede gerekli parametreler seçildikten sonra OK tuşuna basılır ve katı model, gerçeğine uygun şekilde kaplanmış olur.



Şekil 4.8 Doku oluşturma menüsü (sol) ve doku parametre penceresi (sağ).

**Tiled model üretimi:** Sıra düzenli kaplama modeli, şehir ölçeğinde çalışmalar için iyi bir çözümdür. Bu işlem sayesinde derinlik haritası, yoğun nokta bulutu ya da katı model verileri temel alınarak çok geniş alanlı 3B modeller yüksek çözünürlükte ve çok hassas bir şekilde görselleştirilmiş olur. Daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar elde etmek için yüksek ayarlarda kaplama yapılır fakat bu işlemin gerçekleştirilmesi için uzun süreler gerekebilir (URL-16).

Bu işlem için Workflow'a tıkladıktan sonra Build Tiled Model'e tıklanır. Gelen pencerede source data dense cloud, tile size 4096, face count high ve enable ghost filtering aktif olarak seçtikten sonra işlemi tamamlamak için OK'a basılır (Şekil 4.9).

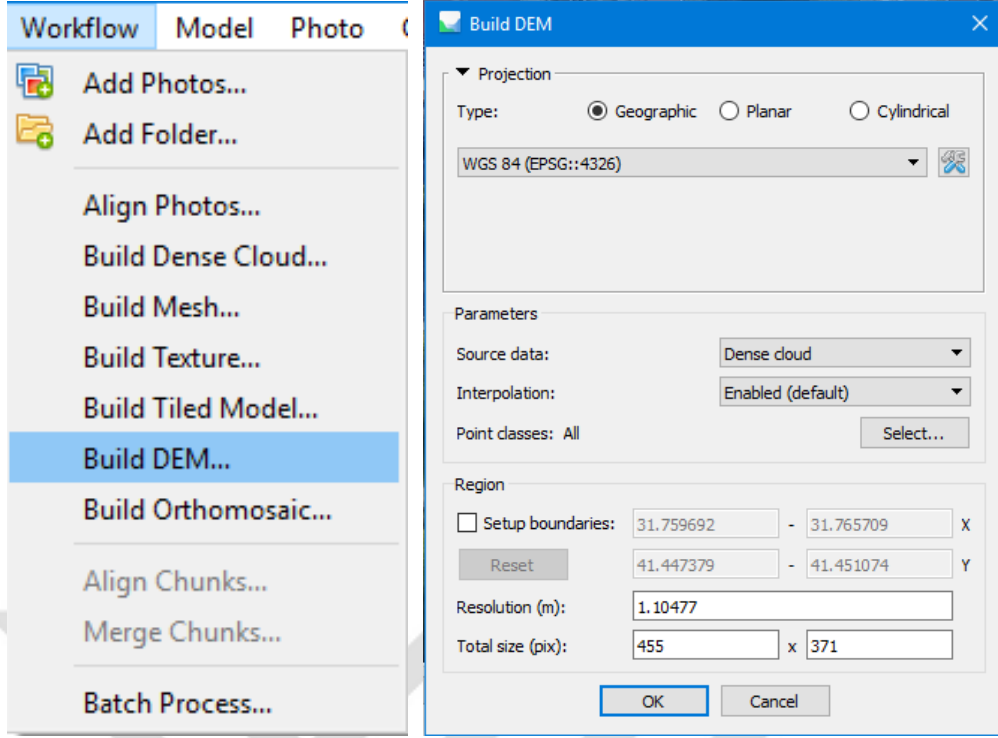


Şekil 4.9 Kaplama modeli oluşturma (sol) ve kaplama modeli parametre penceresi (sağ).

**DEM (sayısal yükseklik modeli) üretilmesi:** Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yeryüzünün ya da bir nesnenin tamamının ya da bir bölümünün pozisyon ve yükseklik değerlerine göre oluşturulan ve o yüzeyi detaylı bir şekilde gösteren üç boyutlu sayısal bir modeldir (Akgül vd. 2016).

Yazılım sayesinde DEM; nokta bulutu, yoğun nokta bulutu ya da katı model üzerinden raster olarak elde edilebilir. En doğru sonuçları ise yoğun nokta bulutundan hesaplama yaptığı takdirde vermektedir. Yazılım ayrıca üretilen SYM üzerinden nokta alma, mesafe, alan ve hacim ölçme işlemlerinin yanı sıra, kullanıcının tanımlayacağı bir sahne üzerinden kesitler almaya da olanak tanır (URL-16).

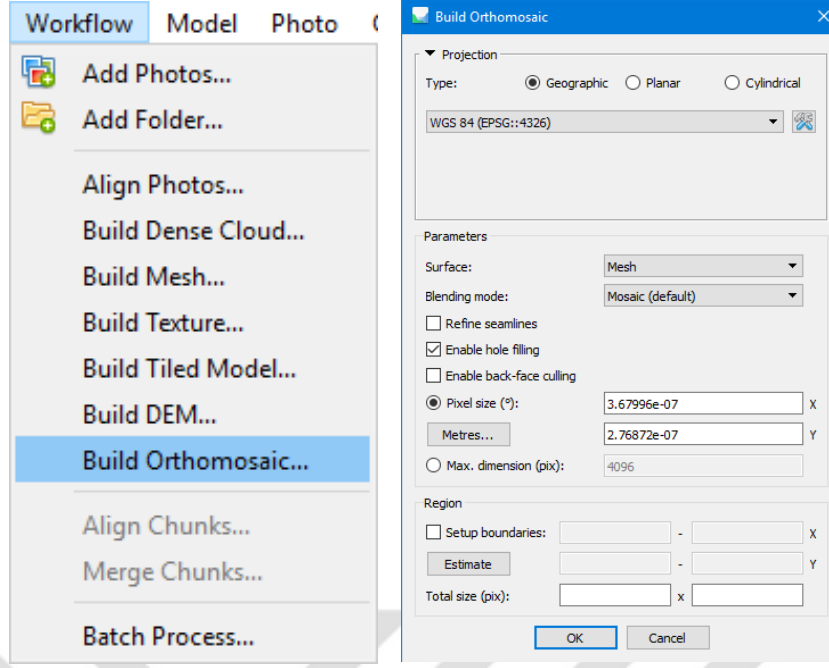
DEM oluşturmak için yazılımda Şekil 4.10'daki gibi üst menüden Workflow, sonra Build DEM kısmına tıklanır. Daha sonra gelen parametre penceresinde koordinat sistemi TUREF/TM33 (EPSG::5255) olarak tanımlanıp Source data kısmı Dense cloud ve interpolation kısmı Enabled olarak seçildikten sonra OK tuşuna basarak sayısal yükseklik modeli oluşturulur.



Şekil 4.10 SYM oluşturma menüsü (sol) ve SYM oluşturma parametreleri (sağ).

**Ortomozaik üretilmesi:** Ortofoto; fotoğraflardaki dönüklük, eğiklik ve fotoğraflanan yüzeydeki yükseklik farklarından kaynaklanan kaymaların bertaraf edilmesi suretiyle elde edilmiş ve haritalardaki gibi belirli bir ölçeğe sahip fotogrametrik bir üründür. Üzerinde harita kenar bilgileri, gridler (karelaj), eş yükselti eğrileri ve bazen mevki isimleri gibi muhtelif kartografik bilgiler bulunuyorsa o zaman ortofoto harita halini alır. Aynı ölçeğe sahip, yataylanmış birden fazla ortofotonun yan yana getirilmesiyle oluşturulan ürüne ise ortofoto mozaik ya da ortomozaik denilir (Nacar 2015).

Ortomozaik oluşturmak için yazılımda üst menüden Workflow'a tıkladıktan sonra Build Orthomosaic kısmına tıklanır. Daha sonra gelen pencerede istenilen ayarlar seçildikten sonra OK tuşuna basılarak ortomozaik üretimi gerçekleştirilir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Ortomozaik oluşturma menüsü (sol) ve ortomozaik parametre penceresi (sağ).

## 4.2 NOKTA BAZLI KONUM DOĞRULUKLARININ İNCELENMESİ

Gerçekleştirdiğimiz iki farklı uçuş neticesinde elde ettiğimiz hava fotoğraflarını yukarıda bahsetmiş olduğumuz yöntemlerle inceledik ve yazılımda değerlendirildik. Ortalama %60 boyuna, % 40 enine bindirme oranı ile yaptığımız ilk uçuşta, 0.652 km<sup>2</sup> alanı kaplayan ve yaklaşık 192 m yükseklikten çektiğimiz 107 hava fotoğrafının değerlendirilmesi sonucunda 7.24 cm YÖA ve Çizelge 4.1'deki sonuçları elde ettik.

Çizelge 4.1 İlk uçuş sonucu yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları.

Nokta No	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Toplam (cm)	Piksel
GCP.5	1.93983	-3.28091	-1.86503	4.2433	0.248
GCP.3	-0.358237	-0.738451	-0.177004	0.839628	0.249
GCP.2	-0.599143	2.7075	0.507035	2.81897	0.378
GCP.8	0.00591433	-0.839692	0.0991927	0.845551	0.162
GCP.9	-0.540607	0.461845	-0.258806	0.756661	0.219
GCP.7	-0.198806	1.08862	-0.00529419	1.10664	0.218
<b>Toplam</b>	<b>0.873885</b>	<b>1.85938</b>	<b>0.800376</b>	<b>2.20489</b>	<b>0.235</b>



Yer kontrol noktalarından dört numaralı noktayı çeşitli çöp örtüleriyle kapatıldığı için; diğerlerini ise resimlerde çok net çıkmaması sebebiyle hassas bir şekilde işaretleyemediğimiz ve blok dengelemeyi olumsuz anlamda etkilememesi için hesap dışı bıraktık. YKN'lere göre hesaplaması yapılarak değerlendirme sonucu olarak elde ettiğimiz Çizelge 4.1'deki karesel ortalama hatalarına baktığımız zaman hem yatayda hem de düşeyde en az hatanın GCP.8 numaralı yer kontrol noktasında olduğunu görüyoruz. Değerlendirme tablosundaki yer kontrol noktalarına ait karesel ortalama hatalarının yatayda mutlak değerce 0.006 cm ile 3.2 cm arasında, düşeyde ise mutlak değerce 0.005 cm ile 1.8 cm arasında değişmektedir. Hava fotoğraflarındaki kare şeklindeki bir pikselin arazide 7.24 cm x 7.24 cm olacak şekilde bir alan kapladığı bu uçuşta piksel bazında inceleme yapıldığı vakit 0.16 ile 0.37 arasında değişen bir karesel ortalama hata ile karşılaşmaktayız. Ayrıca tabloya genel olarak baktığımızda santimetre altı bir hassasiyet elde ettiğimiz görülmektedir. İlk uçuşumuz sonrasında değerlendirmeye aldığımız kontrol noktalarının karesel ortalama hataları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2 İlk uçuş sonucu kontrol noktalarının karesel ortalama hataları.**

Nokta No	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Toplam (cm)	Piksel
CT.1	-14.6336	9.44765	25.8588	31.1782	1.119
CT.2	-6.32645	-17.5438	4.11253	19.0976	0.936
CT.3	11.2032	-1.5538	-17.444	20.7899	0.687
CT.4	-4.32957	6.03646	-4.05621	8.46386	0.393
CT.5	2.88671	6.46687	-16.8927	18.3171	0.718
CT.6	-3.05567	-6.82547	-6.75737	10.079	1.112
CT.7	-2.85321	10.1294	-5.13702	11.7105	0.604
CT.8	3.9182	5.46771	-7.46785	10.0507	0.153
CT.9	-7.60287	1.54098	-6.24047	9.95599	0.299
CT.10	-3.23257	-4.66749	7.84946	9.68757	1.088
CT.11	2.49061	-0.993593	2.37916	3.5848	0.618
CT.12	-7.46269	-1.5649	-7.37311	10.6068	0.944
CT.13	-5.88764	-9.82946	7.59317	13.7455	0.436
CT.14	-5.49891	-6.33712	1.36075	8.49992	0.165
CT.15	-7.26263	-4.79239	12.5705	15.2882	0.509
CT.16	-11.029	-2.56829	4.21913	12.0845	0.493
CT.17	-4.3508	-7.98562	2.02042	9.31566	0.165
CT.18	6.96902	-24.9625	-3.43863	26.1441	0.214
CT.19	-10.8536	-9.90372	5.81225	15.8008	0.845
CT.20	-1.01098	2.45227	8.52911	8.93204	0.457
CT.21	3.92661	-3.80268	-14.2557	15.2677	0.550
CT.22	15.0343	4.92422	-10.1939	18.82	0.337
CT.23	-5.49393	14.0188	-21.8574	26.5416	0.577

**Çizelge 4.2** (devam ediyor)

<b>Nokta No</b>	<b>X (cm)</b>	<b>Y (cm)</b>	<b>Z (cm)</b>	<b>Toplam (cm)</b>	<b>Piksel</b>
CT.24	-2.92811	-9.4547	-10.5676	14.479	0.358
CT.25	8.15331	16.8251	-61.1453	63.9399	2.821
CT.26	3.86327	3.97096	4.4565	7.11012	0.715
CT.27	0.233967	-2.81819	-22.6369	22.8128	0.762
CT.28	-5.58926	-2.06289	-8.7106	10.5532	0.467
CT.29	-7.98467	-3.40943	-16.0899	18.2829	0.812
CT.30	4.33016	5.31882	-21.2601	22.339	0.329
CT.31	3.71088	4.7134	-17.2245	18.2392	0.162
CT.32	1.06838	-5.25477	-8.53309	10.0781	0.768
BN.ALT.2	2.58281	-3.82792	16.4567	17.0923	0.034
BN.ALT.3	3.64807	4.15497	-5.73206	7.96422	0.280
BN.ALT.5	3.11222	-3.18408	47.8127	48.0195	0.743
BN.ALT.6	-4.12983	0.942783	37.1177	37.3586	0.036
BN.ALT.7	5.99159	2.22391	-25.0655	25.8674	0.321
HVZ.1	3.6668	0.511208	-10.0168	10.6791	0.289
HVZ.2	3.57788	-1.47333	-8.57728	9.40966	0.197
HVZ.3	-0.100208	-1.12728	-5.06478	5.18968	0.233
HVZ.4	2.35705	-8.17105	-1.3532	8.6112	0.767
PARKE.1	-8.47583	-6.69666	-0.326321	10.807	0.848
PARKE.2	-11.3974	-16.8086	11.4154	23.2968	0.431
PARKE.3	-2.60368	2.26128	-9.80599	10.3947	0.363
PARKE.4	0.685037	-0.435641	-10.6884	10.7192	0.817
PARKE.5	3.01601	-3.80966	-0.0344231	4.85912	0.216
PARKE.6	4.19828	-0.758636	1.98277	4.70451	0.222
PARKE.7	0.674347	-5.28191	-8.23649	9.80781	0.678
PARKE.8	2.18896	-3.65865	-4.15544	5.95357	0.591
PARKE.9	-2.46019	-8.22824	-4.34502	9.62474	0.061
PARKE.10	-1.39356	3.4221	-9.23281	9.94472	0.428
PARKE.11	5.85648	-13.2285	-14.3355	20.3666	0.360
PARKE.12	-5.00494	-9.73714	-2.83347	11.3088	1.184
PARKE.13	-3.74923	-6.61943	-11.0948	13.4524	0.202
PARKE.14	-4.75243	-6.88748	-10.238	13.2227	0.059
SAHA.1	-1.96997	-6.55502	6.72016	9.59217	0.350
SAHA.2	-2.64852	-10.9717	-6.97899	13.2702	0.148
SAHA.3	4.31713	-8.43954	-22.6149	24.5214	0.250
SAHA.4	-1.84035	-3.61192	11.3288	12.0322	0.352
SAHA.5	2.59927	-0.988039	-3.83281	4.73528	0.195
SAHA.6	-2.40079	-2.87398	-0.293743	3.75631	0.460
SAHA.7	6.62186	-3.9241	3.4355	8.42913	0.129
SAHA.8	2.15548	-6.14964	3.50631	7.39989	0.066
SAHA.9	2.48058	-5.00887	3.44597	6.56634	0.229
SAHA.10	-1.6617	-7.29913	4.87438	8.93298	0.189
<b>Toplam</b>	<b>5.61301</b>	<b>7.54828</b>	<b>15.1111</b>	<b>17.7996</b>	<b>0.680</b>

İlk uçuş sonrası fotoğrafların yöneltilmesi YKN'lere göre düzeltilmesi işlemlerinin ardından jeodezik olarak total station ile sahada elde ettiğimiz çatı köşeleri, bina alt köşeleri, havuz köşeleri, parke taşlarındaki renk geçişleri olan kenarların köşelerinden ve muhtelif detaylardan aldığımız toplamda 65 adet noktayı yazılıma aktardık. Daha sonra bu kontrol noktalarının işaretlemelerini fotoğraflar üzerinde tek tek hassas bir şekilde gerçekleştirdik. Çizelge 4.2'de yazılımda değerlendirilmesi yapılan kontrol noktalarına ait karesel ortalama hatalarını incelediğimiz zaman çatı köşelerindeki hataların mutlak değerce yatayda 0.233 cm'den 24.963 cm'e kadar çıkmaktadır. Düşeydeki hatalara bakıldığında ise 1.36 cm ile 61.145 cm arasında değişmektedir. Düşeydeki 61.145 cm'lik büyük hata değerinden sonraki hata değerleri ise 25.858 cm, 22.636 cm şeklinde azalarak gitmektedir. Çatı köşelerinden aldığımız kontrol noktalarından değerlendirme sonucunda elde ettiğimiz toplam mutlak hata değerleri ise 3.584 cm ile 63.94 cm arasında değişmektedir. Piksel bazında baktığımız zaman ise en az 0.153 en fazla 2.821 değerlerini görmekteyiz. Bina alt köşelerinden aldığımız noktalardaki KOH'lar yatay eksenlerde mutlak değerce 0.943 cm ile 5.992 cm arasında; düşey ekseninde ise 5.732 cm ile 47.813 cm arasında değişmekte olup piksel hatası ise 0.034 ile 0.743 arasında değişmektedir. Bunlar haricinde zemindeki havuz köşesi, parke köşesi, basket sahası çizgilerinin köşeleri gibi kontrol noktaları üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda ise yatay eksenlerde mutlak değerce 0.1 cm ile 16.808 cm arasında; düşeyde ise 0.034 cm ile 22.614 cm arasında değişen hatalar elde ettik. Zemindeki bu noktalara ait piksel bazında hata değerleri ise 0.059 ile 1.184 arasında değişmektedir.

%80 boyuna ve % 60 enine bindirme oranı ile gerçekleştirdiğimiz ikinci uçuşumuzda ise toplamda 0.747 km<sup>2</sup> alanı kaplayan ve yaklaşık 160 m uçuş yükseklikten elde ettiğimiz 323 hava fotoğrafının değerlendirdik ve sonuç olarak 5.99 cm değerinde YÖA ve Çizelge 4.3'teki sonuçları elde ettik.

**Çizelge 4.3** İkinci uçuş sonucu yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları.

Nokta No	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Toplam (cm)	Piksel
GCP.5	-5.28376	-3.02684	2.78677	6.69671	0.340
GCP.3	4.56518	0.462432	-0.247165	4.59519	0.419
GCP.2	0.557935	1.5557	3.57975	3.94285	0.423
GCP.1	-1.20995	2.96656	-3.48624	4.73479	0.547
GCP.8	2.14902	-1.32818	-6.53974	7.01075	0.250
GCP.9	-1.18262	-0.27685	2.73596	2.99344	0.491
<b>Toplam</b>	<b>3.07004</b>	<b>1.93378</b>	<b>3.72042</b>	<b>5.19675</b>	<b>0.402</b>

İlk uçuşta olduğu gibi bu uçuş sonrasında da bazı yer kontrol noktalarını resimlerde belirgin olarak seçilememesi nedeniyle, hassas olarak işaretleyemediğimiz ve değerlendirmeyi olumsuz anlamda etkilememesi için hesaplama dahil etmedik. YKN'lere göre hesaplaması yapılarak değerlendirme sonucunda elde ettiğimiz Çizelge 4.3'teki karesel ortalama hatalara baktığımız zaman yatay eksenlerde en az hatanın arazide en düşük kotta bulunan GCP.9 numaralı yer kontrol noktasında, dikey eksenlerdeki en az hatanın ise GCP.3 numaralı yer kontrol noktasında olduğunu görüyoruz. Değerlendirme tablosunu incelediğimizde yer kontrol noktalarına ait karesel ortalama hataların yatayda mutlak değerce 0.028 cm ile 5.284 cm arasında, dikeyde ise mutlak değerce 0.247 cm ile 6.54 cm arasında değiştiğini görmekteyiz. İkinci uçuştaki hava fotoğraflarında ise kare şeklindeki bir piksel, arazide 5.99 cm x 5.99 cm büyüklüğünde bir alan örtmektedir. Karesel ortalama hatalarına piksel bazında bakıldığı zaman ise 0.25 ile 0.547 arasında değişen değerler görülmektedir. Tabloyu genel olarak incelediğimizde ise bu uçuşta santimetre altı hassasiyet elde edemediğimiz görülmektedir. Çizelge 4.4'te bu uçuş için değerlendirmesi yapılan kontrol noktalarına ait karesel ortalama hata değerleri gösterilmektedir.

**Çizelge 4.4** İkinci uçuş sonucu kontrol noktalarının karesel ortalama hataları.

Nokta No	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Toplam (cm)	Piksel
CT.1	-9.80497	6.73642	-28.3569	30.7511	1.378
CT.2	-1.10758	-3.75715	-25.6489	25.9462	0.798
CT.3	10.7213	-4.07106	-28.2472	30.4865	1.447
CT.4	-5.35971	1.93077	-23.7166	24.3912	0.607
CT.5	1.73365	0.0269149	-28.7671	28.8193	0.551
CT.6	-4.61935	-0.638794	-9.04848	10.1795	0.887
CT.7	-5.56151	-0.530686	-13.2723	14.4002	0.662
CT.8	0.861342	-1.62929	-16.0227	16.1284	0.672
CT.9	-3.27813	-1.83696	-19.4348	19.7948	0.640
CT.10	-10.7348	-1.11719	-30.2686	32.1352	0.623
CT.11	-6.99448	6.56959	-36.9357	38.1618	1.101
CT.12	-2.06841	-1.83971	-35.7349	35.842	0.394
CT.13	2.45733	-3.55441	-20.017	20.4781	0.588
CT.14	-8.61528	-1.1123	-27.1876	28.5416	0.657
CT.15	-6.98415	-4.3928	-16.0406	18.0381	0.494
CT.16	-2.40814	0.245987	1.73787	2.97991	1.016
CT.17	-11.0313	-6.00267	4.96241	13.5036	0.510
CT.18	0.1626	-14.9565	-1.41814	15.0245	0.207
CT.19	-8.31397	-6.50994	4.96925	11.6703	0.899
CT.20	-1.38424	-0.469533	-7.17071	7.31817	0.440
CT.21	-7.03158	1.25893	2.16648	7.46469	0.082
CT.22	4.8516	-2.35384	-3.84423	6.62244	1.031

**Çizelge 4.4** (devam ediyor)

<b>Nokta No</b>	<b>X (cm)</b>	<b>Y (cm)</b>	<b>Z (cm)</b>	<b>Toplam (cm)</b>	<b>Piksel</b>
CT.23	-11.4742	2.96399	-18.6452	22.0926	0.581
CT.24	-11.8634	-7.94502	-0.28832	14.281	0.936
CT.25	-10.4795	0.477534	-0.143442	10.4913	0.396
CT.26	-13.4454	5.22007	-5.80303	15.5468	1.398
CT.27	-14.9992	-10.1447	-3.19628	18.3877	0.905
CT.28	-11.3171	0.984243	-4.60556	12.2579	1.072
CT.29	-13.131	-4.3906	-4.74052	14.6347	0.593
CT.30	-6.34395	-2.46554	-21.2903	22.3518	0.847
CT.31	-5.75704	-2.35407	-7.79931	9.97569	0.386
CT.32	-6.83144	1.4252	-7.05413	9.92273	0.152
BN.ALT.2	-8.19742	-1.51808	-6.37411	10.4944	0.680
BN.ALT.3	3.94684	1.4323	-2.52633	4.90014	0.875
BN.ALT.4	-7.35803	4.2393	27.6868	28.9599	0.187
BN.ALT.5	-3.26337	-4.25036	0.551454	5.38696	0.412
BN.ALT.6	-11.7106	7.24852	33.0763	35.829	0.680
BN.ALT.7	-2.90287	-6.96732	13.6642	15.6103	0.139
HVZ.1	2.3288	-0.452519	-9.28429	9.58259	0.467
HVZ.2	-2.77151	5.66228	5.78379	8.5554	0.622
HVZ.3	-2.06155	-1.44385	-5.67724	6.21013	0.546
HVZ.4	-4.79306	-3.80271	-8.42462	10.4119	0.686
PARKE.1	-3.811	-0.904255	-8.42552	9.29143	0.833
PARKE.2	-0.951048	-2.62321	-5.7081	6.35359	0.684
PARKE.3	1.87614	3.71533	-3.59729	5.50128	1.052
PARKE.4	-3.98784	1.02765	1.24381	4.30186	1.308
PARKE.5	-3.38784	-1.48792	-10.0462	10.706	0.846
PARKE.6	-3.1392	0.0416098	-13.8114	14.1637	0.535
PARKE.7	-0.671574	-3.24755	-3.6004	4.89495	0.260
PARKE.8	-6.40904	-7.01702	-2.87199	9.92788	0.600
PARKE.9	-7.5754	-2.9526	3.16765	8.72574	0.340
PARKE.10	-9.0508	-0.610204	10.3469	13.7604	0.246
PARKE.11	-3.47919	0.300157	14.816	15.222	0.623
PARKE.12	-4.76454	-7.54121	3.76408	9.68189	0.148
PARKE.13	-1.60121	-3.7628	8.14594	9.11476	0.220
PARKE.14	-7.15798	-0.311307	-6.74052	9.83708	0.493
SAHA.1	-4.24261	-2.30355	9.5555	10.7058	0.740
SAHA.2	-1.42209	-4.90209	2.45377	5.66337	0.223
SAHA.3	-0.438675	-4.29061	4.42378	6.17831	0.240
SAHA.4	-4.06541	-5.29528	7.01482	9.68376	0.643
SAHA.5	1.46378	1.51153	2.99171	3.65755	0.208
SAHA.6	-2.8306	-2.47085	5.66835	6.80056	0.405
SAHA.7	2.13885	-2.01743	-5.78214	6.48674	0.233
SAHA.8	1.66312	0.808653	-5.87707	6.16116	0.906
SAHA.9	-1.49248	-4.40097	-2.71099	5.38011	0.266
SAHA.10	-4.04335	-6.94944	2.08058	8.30495	0.227
<b>Toplam</b>	<b>6.5334</b>	<b>4.30804</b>	<b>14.6263</b>	<b>16.5883</b>	<b>0.782</b>

İkinci uçuş sonrasında ise yine jeodezik olarak total station ile sahada okumalarını gerçekleştirdiğimiz çatı köşeleri, bina alt köşeleri, havuz köşeleri, parke taşlarındaki renk geçişleri olan kenarların köşelerinden ve muhtelif detaylardan aldığımız toplamda 66 adet noktayı yazılıma aktardık. Sonrasında ise sahadan aldığımız bu kontrol noktalarını fotoğraflar üzerinde tek tek hassas bir şekilde işaretledik. Bu kontrol noktalarına ait karesel ortalama hatalarını Çizelge 4.4 üzerinden incelediğimiz zaman çatı köşelerindeki hataların mutlak değerce yatayda 0.162 cm ile -14.999 cm arasında oynamaktadır. Düşey yöndeki hata değerleri ise mutlak değerce 0.288 cm ile 36.936 cm arasında değişmektedir. Çatı köşelerinden aldığımız kontrol noktalarını değerlendirme sonucunda elde ettiğimiz toplam hata değerleri ise 2.98 cm ile 38.162 cm arasında değişmektedir. Piksel hatalarına baktığımız zaman ise en az 0.082 en fazla 1.447 değerlerini görmekteyiz. Bina alt köşelerinden okuduğumuz noktalardaki hata değerleri yatayda mutlak değerce 0.943 cm ile 5.992 cm arasında; düşey ekseninde ise 1.432 cm ile 11.710 cm arasında değişmekte olup piksel hata değerleri ise 0.139 ile 0.875 arasında değişmektedir. Zemindeki havuz köşesi, parke köşesi, basket sahasındaki çizgilerin köşeleri gibi alımını yaptığımız kontrol noktaları üzerinden gerçekleştirdiğimiz değerlendirme sonucunda ise yatayda mutlak değerce 0.042 cm ile 9.050 cm; düşeyde ise 1.244 cm ile 14.816 cm arasında değişen hata değerleriyle karşılaşmaktayız. Bu noktalara ait piksel hata değerlerinin ise 0.148 ile 1.308 arasında değiştiğini görmekteyiz.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmamız kapsamında; taşınabilirliği, ulaşılabilirliği, stabilitesi, pratikliği ve entegre fotoğraf makinesi gibi oldukça faydalı kabiliyetlere sahip olan insansız hava araçları ile fotogrametri tekniği kullanarak üretilen verilerin, orta ve büyük ölçekteki mühendislik projelerinde kullanılabilirliği açısından konum doğruluklarını araştırdık.

Zonguldak ili, merkez ilçesinde yer alan Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi kampüsü ve yakın çevresinde farklı değerlerde yapılan iki farklı uçuşta alınmış hava fotoğraflarını değerlendirdik. Bunu yaparken öncelikle yer kontrol noktalarını çalışma alanımızda uçuş planımıza uygun şekilde dağıtarak işaretledik ve RTK GPS yöntemi ile bu noktaların koordinatlarını hassas bir şekilde elde ettik. Kullandığımız uçuş planı dahilinde İHA ile planladığımız noktalardan hava fotoğrafları elde ettik. Elde ettiğimiz bu fotoğrafları bilgisayar yazılımına aktardık. Ayrıca üniversitede iki farklı bölgede RTK GPS ile konumları hassas olarak belirlenmiş poligon ağından çıkış yaparak jeodezik ölçümler gerçekleştirerek çeşitli yapıların köşe ve detay noktalarından alımlar yaptık. Daha sonra jeodezik yöntemle elde ettiğimiz bu detay alımlarını mutlak doğru kabul ederek, fotogrametrik olarak değerlendirdiğimiz hava fotoğraflarından elde ettiğimiz noktalarla karşılaştırdık. Karşılaştırmamız neticesinde jeodezik olarak ölçülen X, Y planimetrik ve Z kot değerleri ile fotogrametrik olarak elde edilmiş X, Y ve Z değerleri arasındaki farklarla karesel ortalama hata hesaplamalarını gerçekleştirdik. Bu hesaplamalara göre; ilk uçuşta  $m_x = \pm 5.61$  cm,  $m_y = \pm 7.55$  cm,  $m_z = \pm 15.11$  cm ve ortalama konum doğruluğunu  $m_{xyz} = \pm 17.80$  cm olarak; ikinci uçuşta ise  $m_x = \pm 6.53$  cm,  $m_y = \pm 4.31$  cm, ve  $m_z = \pm 14.62$  cm ve ortalama konum doğruluğunu ise  $m_{xyz} = 16.59$  cm olarak bulduk. Her iki uçuşta da en yüksek hata değerlerine, ani yükseklik değişimlerinin söz konusu olduğu çatı köşelerinden aldığımız kontrol noktalarında rastladık. Karesel ortalama hatalarını genel olarak incelediğimiz zaman, 160 m yükseklikte gerçekleştirdiğimiz ikinci uçuşumuzdan elde ettiğimiz değerlerin, 192 m irtifadan

gerçekleştirdiğimiz birinci uçuştan elde ettiklerimize kıyasla daha düşük olduğunu görmekteyiz.

İkinci uçuşumuzdaki X ve Y yönündeki hatalar Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (2018)'nin 46. Maddesinde yatay ve düşeyde belirtilen  $\pm 7$  cm konum doğruluğundan az olsa da, ilk uçuşumuzun Y ve Z yönündeki hatalar  $\pm 7$  cm'den fazladır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre; eğer ikinci uçuşumuzun Z değeri de yönetmelikte belirtilen değerden az çıksa idi, işin niteliğine ve o işte istenilen ölçme hassasiyeti değerlerine göre değişebilmekle birlikte; as-built, plankote, sayısal işletme planı veya basit hacim hesaplamaları gibi işlerde kullanılabilirdi. Fakat orta ve büyük ölçekli mühendislik projelerinde temel betonu öncesi grobeton kotlarının, betonarme zeminlerde ince işler öncesi döşeme kotlarının, çelik işlerinde taban plakalarının konum ve kotlarının, dış cephe giydirme işleri öncesi detay alımları veya ulaşılması zor yerlerin hassas rölöve alımları gibi bazı ölçme ve kontrol işlerinde genellikle santimetre altı doğruluk istediğimiz için, elde ettiğimiz değerlerin kullanılamayacağı sonucuna vardık.

Bu çalışma kapsamında edindiğimiz tecrübe ve bilgiler ışığında eğer aşağıda öneri olarak belirttiğimiz işlemleri uygular isek daha iyi bir konum doğruluğu elde edebiliriz;

- Hava fotoğraflarının çekilmesi esnasında İHA'yı daha düşük bir seviyede tutarak hem rüzgar kaynaklı sarsıntuların önlenmesi hem de YÖA'nın azalması sağlanabilir.
- Her ne kadar dikkat etsek de uçuş, fotoğraflardaki nesne (bina, ağaç vb.) gölgelerini minimuma indirmek için uçuş yapılacak bölgeye göre güneşin tam dik olduğu daha verimli bir gün ve zaman aralığı belirlenebilir.
- Daha büyük sensör'e sahip bir fotoğraf makinesi kullanılırsa, sensörün algılayacağı ışık miktarı artar ve dolayısıyla fotoğraf çekimi esnasında perde hızı artar ve böylece fotoğraflardaki detaylar daha net çıkabilir.
- Titreşim engelleme özelliğine sahip, daha büyük fotoğraf boyutları ve daha yüksek megapiksel değerlerine sahip bir fotoğraf makinesi kullanılarak detayların belirginliği arttırılabilir.
- Yer kontrol noktaları daha sık olacak şekilde ve hava fotoğraflarında daha net çıkacak bir renk ve geometride tesis edilirse, yazılım üzerinde fotoğraflardaki tam yerleri daha sağlıklı bir şekilde işaretlenebilir.



- Büyük alanlarda değil de; proje bazlı küçük bir alan üzerinde olabildiğince düşük bir irtifadan, daha fazla enine ve boyuna bindirme oranlarına sahip hava fotoğrafları çekilirse daha iyi konum doğruluğu sonuçları elde edilebilir.
- Farklı fotogrametri yazılımları denenebilir.





## KAYNAKLAR

- Ak S** (2009) Fotoğrafın Kısa Tarihi Temel Fotoğraf Bilgileri ve Tanıtım Fotoğrafçılığı. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Grafik Tasarımı Anasanat Dalı, İstanbul, 99 s.
- Akgül M, Yurtseven H, Demir M, Akay A, Gülci S ve Öztürk T** (2016) İnsansız Hava Araçları ile Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1): 104-118.
- Avdan U, Şenkal E, Çömert R ve Tuncer S** (2014) İnsansız Hava Aracı ile Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi, *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul, Türkiye, 4.
- Aydar U** (2007) Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 58 s.
- Aygün A** (1938) Fotogrametrinin Tarihçesi. *Haritacılar Mecmuası*, 20: 83-95.
- Bilgi S** (2007) Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 96: 1-6.
- Birlik İ** (2015) Tıbbi görüntüleme yöntemleri ve fotoğraf ilişkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Fotoğraf Anasanat Dalı, İzmir, 5 s.
- Genç H** (2010) Cumhuriyet'in İlk Yıllarında Zonguldak'ta Nüfus, Ticaret ve Sanayi (1920-1932)\*. *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 6, 138-139.
- Gençerk E** (2016) İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması ile İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 101 s.
- Eisenbeiss H** (2009) UAV Photogrammetry. *PhD Thesis*, University of Technology Dresden, ETH Zurich, Switzerland, 203 pp.
- Erginer B** (2007). Quadrotor VTOL Aracının Modellenmesi ve Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 69 s.
- Karakış S** (2011) Küçük Alanlarda Model Uçaklarla Haritalama Amaçlı Veri Üretim Olanaklarının Araştırılması. *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 103 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Keleş S** (2010) Fotogrametrik Yöntemlerle Cephe Rölövesi Alımı: Şevket Bey Konağı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon, 115 s.
- Luhmann T** (2004) A Historical Review on Panorama Photogrammetry. *Panoramic Photogrammetry Workshop*, 19-22 February 2004, Dresden, Germany, 1-8.
- Nacar F** (2015) Türkiye'deki Kadastro Yenileme Çalışmalarında Ortofoto ve Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Doktora Tezi*, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 196 s.
- Özemir I** (2017) İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Veri Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 141 s.
- Özemir I ve Uzar M** (2016) İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 81-86.
- Topan H., Oruç M ve Koçak M G** (2007) Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2 - 6 Nisan 2007, Ankara, Türkiye, 2.
- Topdemir H G** (2012) Leonardo Da Vinci'nin Optik Çalışmaları. *Dört Öge*, 2: 37-50.
- Toprak A** (2014) Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları ile Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 164 s.
- Ulvi A** (2008) Antik Tiyatroların Fotogrametrik Rölöve Planlarının Çıkarılması Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya, 62 s.
- Ural H** (2018) Sürü Halinde Görev Yapan İnsansız Hava Araçları ve Teknolojileri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi*, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü, Ankara, 134 s.
- Yastıklı N** (2009) *Fotogrametrinin Temelleri Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, 41 s.
- URL-1**, <<http://www.birkarefotograf.com/fotografın-bulunusu/>>, Ziyaret tarihi: 03.01.2019.
- URL-2**, <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Foto%C4%9Fraf\\_makinesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Foto%C4%9Fraf_makinesi)>, Ziyaret tarihi: 05.01.2019.
- URL-3**, <[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: 12.01.2019.
- URL-4**, <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Zepplin>>, Ziyaret tarihi: 25.01.2019.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-5**, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Breguet-Richet\\_Gyroplane](https://en.wikipedia.org/wiki/Breguet-Richet_Gyroplane)>, Ziyaret tarihi: 13.02.2019.
- URL-6**, <<https://www.borsatek.com/ptt-dronla-kargo-tasiyacak-29627h.htm>>, Ziyaret tarihi: 17.02.2019.
- URL-7**, <<http://cokiha.metu.edu.tr/sistemtasarimi.doc>>, Ziyaret tarihi: 25.02.2019.
- URL-8**, <<https://www.futurenotes.org/hibrit-drone-hybrix-2-0/>>, Ziyaret tarihi: 03.03.2019.
- URL-9**, <<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0vme%C3%B6l%C3%A7er>>, Ziyaret tarihi: 06.03.2019.
- URL-10**, <<http://www.zonguldak.gov.tr/nufus>>, Ziyaret tarihi: 15.03.2019.
- URL-11**, <[https://www.wikizero.com/tr/Zonguldak%27%C4%B1n\\_il%C3%A7eleri](https://www.wikizero.com/tr/Zonguldak%27%C4%B1n_il%C3%A7eleri)>, Ziyaret tarihi: 17.03.2019.
- URL-12**, <<https://zonguldak.tarimorman.gov.tr/Menu/33/Cografı-Yapı>>, Ziyaret tarihi: 18.03.2019.
- URL-13**, <<https://www.dji.com/phantom-3-pro/info>>, Ziyaret tarihi: 20.03.2019.
- URL-14**, <<https://www.sccsurvey.co.uk/pdfs/Total-Stations/Leica-FlexLine-TS02plus-Overview.pdf>>, Ziyaret tarihi: 22.03.2019.
- URL-15**, <[http://www.asctec.de/downloads/public/press/Agisoft-PhotoScan\\_Presentation.pdf](http://www.asctec.de/downloads/public/press/Agisoft-PhotoScan_Presentation.pdf)>, Ziyaret tarihi: 22.03.2019.
- URL-16**, <[https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf)>, Ziyaret tarihi: 25.03.2019.
- URL-17**, <[https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/fea4ad2eb165358\\_ek.pdf](https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/fea4ad2eb165358_ek.pdf)>, Ziyaret tarihi: 10.04.2019.

