

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**ÜÇ BOYUTL ARAZİ MODELLEMESİNDE YER KONTROL
NOKTALI VE NOKTASIZ ÜRETİMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mohammad Noman NASERY

Danışman

Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammad Noman NASERY tarafından, Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ danışmanlığında hazırlanan “Üç Boyutlu Arazi Modellemesinde Yer Kontrol Noktalı ve Noktasız Üretimlerin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 14.7.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan (Danışman)	Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	Harita Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	Harita Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ		<input checked="" type="checkbox"/>
	Giresun Üniversitesi		Kabul
	Harita Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

07/06/2021

Mohammad Noman NASERY

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Üç Boyutlu Arazi Modellemesinde Yer Kontrol Noktalı ve Noktasız Üretimlerin Karşılaştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 07/06/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 15

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

İmza

07/06 /2021

Erdem Emin MARAŞ

ÖZET

ÜÇ BOYUTLU ARAZİ MODELLEMESİNDE YER KONTROL NOKTALI VE NOKTASIZ ÜRETİMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mohammad Noman NASERY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2021

Danışman: Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ

Fotogrametri günümüzde oblik (eğik) ve nadir (dik) olarak çekilen 2B (2 Boyutlu) resimler yardımıyla üç boyutlu obje veya arazi modellerini üretmekte ve büyük kullanım alanına sahip olmaktadır. Bu bilim dalı mühendislik, arkeoloji, madencilik, endüstri, taşınmaz değerlendirme gibi farklı mesleki alanlarında geleneksel yöntemlerin yerine geçmiş bulunmaktadır. Son zamanlarda 3B fotogrametrik modellerin CBS verileri ile entegre edilerek, 2B kadastro bilgisine üçüncü boyutu kazandırmış ve böylelikle kadastrada üçüncü boyutun eksikliğinden dolayı yaşanan tüm sorunlara son verilmiştir.

Günümüzde eğik fotogrametrik yöntemlerle üretilen 3B modelleri farklı mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Model üzerinde yapılan ölçüm ve analizlerin sonuçlarının hassasiyeti modelin hassasiyetine bağlıdır. Bu modellerin daha hassas ve konum olarak daha doğru üretilmeleri için YKN (Yer Kontrol Noktalarının) kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bazen ulaşılamayan çalışma alanlarında veya GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite System) aletlerinin çekmediği yerlerde veya da finansman gücünün yetmediği durumlarda yer kontrol noktalarının ölçümleri mümkün olmayıp yer kontrol noktaları olmadan model üretmek zorunda kalınabilir. Yer kontrol noktaları olmadan oluşturulan modeller de bazı mühendislik çalışmalarında kullanılabilir mi?

Bu çalışmanın amacı yer kontrol noktaları olmadan üretilen üç boyutlu fotogrametrik modellerinin doğruluğunun ve mühendislik çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç için bir arazinin modeli bir defa YKN olmadan ve bir defa da YKN'li olarak üretilmiştir ve bunların hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada ise YKN'li olarak üretilen model üzerinde belirli bölgelerin uzunlukları alanları ve hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra YKN'siz olarak üretilen model üzerinde aynı bölgelerin uzunlukları, alanları ve hacimleri hesaplanmış ve bu iki modelden elde edilen veriler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma Sivas ili, Gürün ilçesinin Şuğul vadisinde gerçekleştirilmiştir. Uzunluk hesaplamasında karşılaştırılan sonuçlardan maksimum %0.36 ve minimum %0.04 bağıl hata elde edilmiştir. Alan ölçümleri için maksimum %0,71 ve minimum %0.04 olarak hesaplanmıştır. Hacim ölçümlerinde ise maksimum %2,66 ve minimum %0.77 bağıl hata hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Oblik Fotogrametri, Yer Kontrol Noktaları, Üç Boyutlu Model, Enine Bindirme, Boyuna Bindirme.

ABSTRACT

COMPARISON OF THREE DIMENSIONAL TERRAIN MODELS PRODUCED WITH AND WITHOUT GROUND CONTROL POINTS

Mohammad Noman NASERY

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Geomatics Engineering

Master, Haziran/2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erdem Emin MARAŞ

Photogrammetry is a versatile tool for aerial surveys and is rapidly becoming the tool of election to generate 3D (3 dimensional) realistic models from 2D (2 dimensional) photos based on combination of vertical and inclined imagery for different engineering projects. Nowadays This discipline has replaced traditional methods in terms of time, cost and applicability within different professional fields such as engineering, archeology, mining, industry, real estate. Recently, by integrating 3D photogrammetric models with GIS data, the 2D cadastral information has obtained the third dimension and thus all the problems experienced in the cadastre due to the lack of third dimension is eliminated. Full comprehension of 3D modelling via oblique photogrammetry still needs different researches in many different application fields.

Nowadays, various analyzes and calculations are performed on 3D photogrammetric in different engineering fields. As a matter of fact, GCPs (Ground Control Points) are one of mandatory factors for generating an accurate photogrammetric model, but what if GCPs cannot be marked due to location inaccessibility, lack of GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite System) signal, insufficient project budget, areas with landslide risks or some other hazardous field situations. Should a photogrammetric model without GCP still be deemed as accurate for some engineering applications or not?

This study was aimed to investigate the performance and sensitivity of a 3D photogrammetric model generated without GCPs. To see if the models with no GCPs show the accuracy in some engineering applications. The two area were initially modeled with GCPs and later without GCPs. After modeling the areas with and without GCPs, different territories with different slope and geometric shapes were selected. Various measurement in terms of length, area and volume carried out over the selected territories within both model (generated with and without GCPs) of each 2 studies. The datasets obtained as results of measurements were compared to each other and the measurements carried out over the models produced with GCPs were accepted as true values.

In case of length measurement a maximum relative error of 0.36% and a minimum relative error of 0.04% is obtained. In case of area a maximum relative error of 0.71% and a minimum relative error of 0.04% is obtained. In the case of volume a maximum relative error of 2.66% and a minimum relative error of 0.77% is obtained.

A comprehensive assessment is done and discussed in details.

Keywords: Oblique Photogrammetry, Ground Control Points, Three Dimensional Model, Side Overlap, Front Overlap.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ'a teşekkürü borç bilirim.

Beni bugünlere getirmek için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme, babama ve yanımda olan abilerim ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen değerli abim Dr.Mohammad Manzoor Nasery'ye teşekkür ederim.

Mohammad Noman NASERY

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	İİ
ÖZET.....	İİİ
ABSTRACT.....	İV
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	Vİİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	İX
TABLolar DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAKLARI.....	4
2.1. Fotogrametrinin Tanımı.....	4
2.1.1. Görüntü Alma	6
2.1.2. Değerlendirme	7
2.1.3. Kaydetme	7
2.2. Fotogrametrinin Görevi ve Kapsamı.....	7
2.2.1. Neden Fotogrametri	8
2.3. Fotogrametrinin Tarihçesi	9
2.4. Literatür Araştırması	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. İnsansız Hava Araçları ile Fotogrametri	17
3.1.1. Hava Fotogrametrisi	17
3.1.2. Dijital (Sayısal) Fotogrametri	17
3.1.3. İnsansız Hava Araçları (İHA).....	18
3.1.4. Üç Boyutlu Fotogrametrik Modellerin Kullanım Alanları.....	21
3.1.5. Üç Boyutlu Fotogrametrik Modellemede Veri Üretimi	24
3.2. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemlerinin Kısa Bir Tarihçesi.....	30
3.2.1. Geometrik Prensipler	31
3.2.2. Tek Resim Değerlendirilmesi	36
3.2.3. Çift Resim Değerlendirilmesi	37
3.2.4. Fotogrametrik Değerlendirmede Yöneltilme İşlemleri.....	38
4. UYGULAMA	40
4.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Donanımlar	40
4.1.1. Yer Kontrol Noktalarının Tesisi ve Ölçümü	42

4.1.2. 3Boyutlu Modelin Hazırlanma ve Fotogrametrik Değerlendirme Aşamaları	44
4.1.3. Resimlerin Yazılıma Tanımlanması	44
4.2. Sayısal Yükseklik Modeli ve Ortofotonun Üretimi	53
4.3. Ölçme ve Değerlendirme.....	54
4.3.1. YKN’li Modelin Doğruluk Analizi için Ölçüm.....	55
4.3.2. İlk Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	56
4.3.3. Uzunluk Ölçümü.....	58
4.3.4. Alan Ölçümleri	61
4.4. Karşılaştırma Analizi.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKÇA	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Cx, Cy	: Ana Noktanın Merkezi (x, y)
F	: Kamera Odak Uzaklığı (x, y)
K	: Lens Merkezinin Distorsiyonu (Radial Distorsiyon)
P	: Lens Uyuşmazlığı (Tanjant Distorsiyon)
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CMOS	: Complimentary Metal Oxide Semiconductor
CORS	: Continously Operating Reference Stations
DEM	: Digital Elevation Model
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Geographic Position System
GZK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İMU	: Inertial Measurement Unit
LIDAR	: Light Detection and Ranging
SAM	: Sayısal Arazi modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
UTM	: Universal Transverse Mercator
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı
BIM	: Building Information Modeling
CAD	: Computer Aided Design

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hava fotogrametrisi (Baiocchi vd., 2020).....	5
Şekil 2.2. Gaspard felix tournachon (Nadar, Tournachon ve Repensek, 1978).....	10
Şekil 2.3. Havadan paris (Üstüntaş ve Bacaksız, 2010).....	10
Şekil 2.4. Fotogrametride kullanılan uçurtma Tipi	11
Şekil 2.5. Fransa labruguiere (Hiking, 2021)	11
Şekil 3.1. Analog ve sayısal resim	18
Şekil 3.2. Sol: Gergin balon dolumu; Sağ: radyo kontrollü hasselblad El 500 kamera (Whittelsey, 1970).....	20
Şekil 3.3. Model uçak firması hegi (Wester-Ebbinghaus, 1980).....	20
Şekil 3.4. Schlüter (Bell 222) model helikopter (Wester-Ebbinghaus, 1980)	21
Şekil 3.5. Üç boyutlu model üzerinde yapılan ölçümler (Özmüş vd., 2016).....	22
Şekil 3.6. Resim, model ve şeritlerin blok oluşturması.....	24
Şekil 3.7. Veri üretim aşamaları (Gruen, 2012).....	25
Şekil 3.8. Yer kontrol noktalarının boyutları	26
Şekil 3.9. Fotogrametrik nirengi uygulamasının grafik gösterimi	28
Şekil 3.10. Resim kolonları.....	30
Şekil 3.11. Obje ve odak uzaklığı ilişkisi.....	32
Şekil 3.12. Temsili farklı lens açıları kıyaslaması	32
Şekil 3.13. Odak uzaklığı, projeksiyon merkezi, dönme açıları	34
Şekil 3.14. Odak uzaklığı f , yerden yükseklik (hg) ve fotoğraf ölçeği (f/hg) arasındaki ilişki.....	35
Şekil 3.15. Kamera konumu paralel (üst görsel), kamera konumu yakınsak (alt görsel)	36
Şekil 3.16. Üç boyutlu benzerlik dönüşüm bağıntısı	39
Şekil 4.1. Sivas, Gürün, Şuğul vadisi çalışma alanı 1 için tanımlanan çalışma sınırının Google Earth üzerinde gösterimi	40
Şekil 4.2. Kullanılan donanımlardan Phantom 4 PRO.....	40
Şekil 4.3. Phantom 4 PRO tipi insansız hava aracı kamerası	41
Şekil 4.4. Çekilen resimlerin bir pikselindeki ışın yansıma ve absorbe edilme durumu	41
Şekil 4.5. Çalışma alanının Google Earth üzerindeki görünümü.....	42
Şekil 4.6. RTK (CHC X91 GNSS) Sabit ve gezici cihazları ve yer kontrol noktalarının arazideki işaretlemeleri	43
Şekil 4.7. 4 Pervaneli DJI Phantom4 PRO model insansız hava aracı	44
Şekil 4.8. Görüntü eşleştirmesi sonucu oluşan bağlama noktaları (Tie points).....	45
Şekil 4.9. Görüntü eşleştirmenin iyileştirme ayarları ve sıra ile optimizasyon işlemlerin gerçekleştirilmesi.	45
Şekil 4.10. Optimizasyon ayarları.....	46
Şekil 4.11. Dengelemede iterasyon sayısını gösteren pencere (İterasyon sayısı x ile gösterilmektedir)	46
Şekil 4.12. Projections ve Error(pix)'in görünümü.....	47
Şekil 4.13. Belirsizliklerin düzeltilmesi	47
Şekil 4.14. Projeksiyon hassasiyeti düzeltilmesi.....	48
Şekil 4.15. Optimizasyon işlemi	48
Şekil 4.16. Projeksiyon hataları düzeltilmesi.....	48
Şekil 4.17. Yer kontrol noktalarının resimler üzerinde işaretlenmesi.....	49
Şekil 4.18. YKN'lerin modelde görünümü.....	49
Şekil 4.19. Yoğun nokta bulutu üretim aşaması	50

Şekil 4.20. 31,123,499 nokta içeren nokta bulutu.....	51
Şekil 4.21. Nokta bulutundan üretilen poligon ağ (mesh) modeli	51
Şekil 4.22. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin genel perspektif görünüşü	52
Şekil 4.23. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin yan görünüşü.	52
Şekil 4.24. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin eş yükselti eğrileri geçirilmiş hali.....	53
Şekil 4.25. Arazinin sayısal yükseklik modeli.....	53
Şekil 4.26. Ortofoto (ortomozaik).....	54
Şekil 4.27. Yersel yöntemle ölçülen 2 bölgenin model üzerindeki görünümü	55
Şekil 4.28. Modeller üzerinde ölçülmesi planlanan bölgelerin arazide işaretlenmesi	58
Şekil 4.29. Modeller üzerinde 1,2,3 ve 4 nolu düz alanların uzunluk ölçümü.....	58
Şekil 4.30. Modeller üzerinde 1,2,3 ve nolu eğimli alanların uzunluk ölçümü	59
Şekil 4.31. YKN'li modelde 1 nolu kayalık alanda uzunluk ölçümü	60
Şekil 4.32. YKN'li modelde 1 nolu düz alanda alan ölçümü.....	61
Şekil 4.33. Kayalık bölgelerde alan ölçümleri.....	62
Şekil 4.34. YKN'li modelde 1 nolu kayalık bölgede alan ölçümü	63
Şekil 4.35. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki uzunluk ölçümlerinin grafiksel görünümü	65
Şekil 4.36. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki alan ölçümlerinin grafiksel görünümü	66
Şekil 4.37. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki alan ölçümlerinin grafiksel görünümü	67

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Agisoft/Metashape ile Verilen Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Katsayıları ve Korelasyon Değerleri.....	42
Tablo 4.2. Ölçülen Yer Kontrol Noktalarının 3 Derecelik Dilimde GRS80 Elipsoidi Üzerinde İTRF96 Datumundaki Koordinatları	43
Tablo 4.3 Yazılım Tarafından Yer Kontrol Noktaları İçin Hesaplanan Hata Miktarları	50
Tablo 4.4. Yersel Yöntemle Ölçülen 1 Nolu Bölgenin Köşe Koordinatları, Çevre Uzunluğu ve Alan Miktarı	55
Tablo 4.5. Yersel Yöntemle Ölçülen 2 Nolu Bölgenin Köşe Koordinatları, Çevre Uzunluğu ve Alan Miktarı	55
Tablo 4.6. YKN'li Model Üzerinde ve Yersel Yöntemle Hesaplanan Çevre Uzunluğu ve Alan Ölçümü ve Aralarındaki Bağlı Hata	57
Tablo 4.7. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Uzunluk Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması.....	60
Tablo 4.8. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Alan Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması	62
Tablo 4.9. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Hacim Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması	64

1. GİRİŞ

Fotogrametri bilimi teknolojinin gelişimine paralel olarak günümüze kadar Planimetrik (plançete) fotogrametri, analog ve analitik fotogrametri aşamalarından geçmiştir. Günümüzde bu bilim dalı Dijital Fotogrametri aşamasına girerek daha da kullanışlı hale gelmiştir.

Fotogrametri yıllardır, mimari röleve çalışmalarında, tarihi eserlerin belgelenmesinde ve arkeolojik ölçümler gibi farklı disiplinlerde kullanılmış ve kullanılmaya da devam eden bir bilim dalıdır. Dijital tekniklerin ilerlemesi ile birlikte fotogrametri, farklı mühendislik dallarında gerek zamandan tasarruf konusunda gerekse maliyet konusunda daha verimli ve etkili rol oynamaktadır (Ulvi, 2008).

Fotogrametrik uygulamalarda ilk icadından son zamanlara kadar sadece düşey algılayıcıya sahip kameralar kullanılmaktaydı. Son zamanlarda teknolojinin ilerlemesi ile bu alanda düşey ve eğik algılayıcıya sahip kameralar kullanılmaya başladı ve bununla birlikte fotogrametri artık disiplinler arası bir bilim dalına dönüştü. Bu gelişmelerle birlikte az bir zaman zarfında ve düşük bir maliyetle yeryüzü hakkında eskiye oranla daha fazla ve daha nitelikli bilgi temin edilmektedir.

Fotogrametri tekniği hava fotoğrafları veya uydu görüntüleri ile kısa sürede arazinin genel özellikleri ve yapısı hakkında bize bilgi veren bilim dalıdır. Bundan dolayı fotogrametri çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Bazı kullanım alanları ise şöyle özetlenebilir; ulaşılması zor olan yerlerin haritasını oluşturmak, fotogrametrik haritaların bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak hali hazırharita üretimi, eğik hava görüntüleri kullanılarak arazinin üç boyutlu modeli, SYM (sayısal yükseklik modeli), SAM (sayısal arazi modeli) üretimi, üç boyutlu şehir modellerinin oluşturulması gibi gerekli alanlarda kullanılmaktadır (Yalcin ve Selcuk, 2015).

Madencilik, yol ve inşaat gibi mühendislik faaliyetlerinde çok kullanışlı olan kübaj hesap normal şartlarda eş yükselti eğrili haritalarla, en kesitlerle, prizmalarla veya yüzey nivelman teknikleri ile gerçekleşiyor ve bu yöntemler uzun zaman ve yüksek maliyetler gerektirmektedir. Artık kübaj hesabı dijital fotogrametri yöntemleri ile üretilen SAM (Sayısal Arazi Modeli) ile rahatlıkla, zaman ve maliyetten tasarruf edilerek gerçekleştirilmektedir (Özmen, Yakar, Çakır ve Atav, 2009).

Eskiden fotogrametri ile sadece nesnelere izlenebiliyordu ama artık gelişen teknoloji ile “multi digital oblique” kameralar ile nesnelere ayırt edilebiliyor ve kişiler bile tanınabiliyor (Pepe ve Prezioso, 2016).

Günümüzde oblik fotogrametri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Farklı mesleklerde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu uygulama alanlarını genel olarak 5 ana kategoride sınıflandırabiliriz:

- Kent ve altyapı planlaması
- Kritik altyapı tesislerinin korunması
- Kadastro yapım ve yönetimi
- Askeri ve güvenlik operasyonlarının yönetimi
- Vergi değerlendirmesi

Oblik fotogrametrinin ürettiği hassas mesafe, yükseklik ve alan verileri, vergi değerlendirmesinde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte oblik resimlerle üretilen üç boyutlu şehir modelleri, şehir plancıları ve diğer ilgililerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde üretilebilir (Özmüş, Soylu, Ayyıldız, Erkek ve Bakıcı, 2016).

Son zamanlarda üç boyutlu fotogrametrik modellerin CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) verileri ile entegre edilerek adeta bir devrim yaşanmıştır. Özellikle üç boyutlu kadastro konusunda, artık fotogrametri mülkiyet bilgisine üçüncü boyutu kazandırmış ve böylelikle fotogrametri sayesinde kadastroda üçüncü boyutun eksikliğinden dolayı yaşanan bütün sorunlara son verilmiştir. Bununla da kalmayıp artık dijital fotogrametri ile akıllı şehirlere doğru gidilmektedir. Yani mimari, CBS ve fotogrametrik verilerin entegre edilmesi şehirde mevcut olan bütün objeler üç boyutlu fotogrametrik modelde sanal ortamda oluşturulmuş ve birçok çalışmada etkin olarak kullanılmıştır. Örneğin bir şehir planlama projesi tasarlanırken önce sanal ortamda birkaç farklı çeşit plan tasarlanır. Tasarım şehrin üç boyutlu modeli üzerinde uygulanır ve karşılaştırılır, tasarlanan planlardan en uygun olanı uygulanır. Böylelikle oluşabilecek sorunların ve aksamaların da önüne geçilmiş olur (Döner ve Bıyık, 2009).

Yukarıdaki açıklamalara göre artık günümüzde fotogrametri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bilindiği gibi fotogrametrik modellerden hassas veri elde etmek için YKN'lere ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat GPS/GNSS sinyalinin çekmediği yerlerde, proje bütçesinin yetmediği durumlarda veya arazi şartlarından dolayı, bazı yerlerde YKN kullanılması mümkün olmayabilir.

Bu çalışmada YKN'siz olarak üretilen üç boyutlu arazi modellerin bazı mühendislik alanlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç için bir uygulama alanı seçilerek ve modellenmiştir. Uygulama alanı ilk olarak YKN'li daha sonra YKN'siz olarak modellenmiş ve bu modeller üzerinde belirli bölgelerin uzunluğu,

alanı ve hacmi ölçülmüş ve elde edilen bu veriler karşılaştırılarak, mühendislik çalışmaları ve diğer çalışmalarda YKN'siz olarak üretilen modellerin kullanılabilirliği irdelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAKLARI

2.1. Fotogrametrinin Tanımı

Bir objenin örneğin bir evin uzunluğunu, genişliğini ve yüksekliğini ölçmek istersek bu bilgileri doğrudan evi ölçerek elde edebiliriz. Şimdi evin olmadığını veya yıkıldığını varsayalım bu durumda doğrudan ölçüm gerçekleştiremeyiz. Eğer elimizde bu evin bazı eski resimleri mevcut ise ve resimlerin ölçeğini belirleyebilirsek, o zaman istenilen bilgileri (evin uzunluğu, genişliği ve yüksekliği) resimlerden de elde edebiliriz (Erdoğan, 2005).

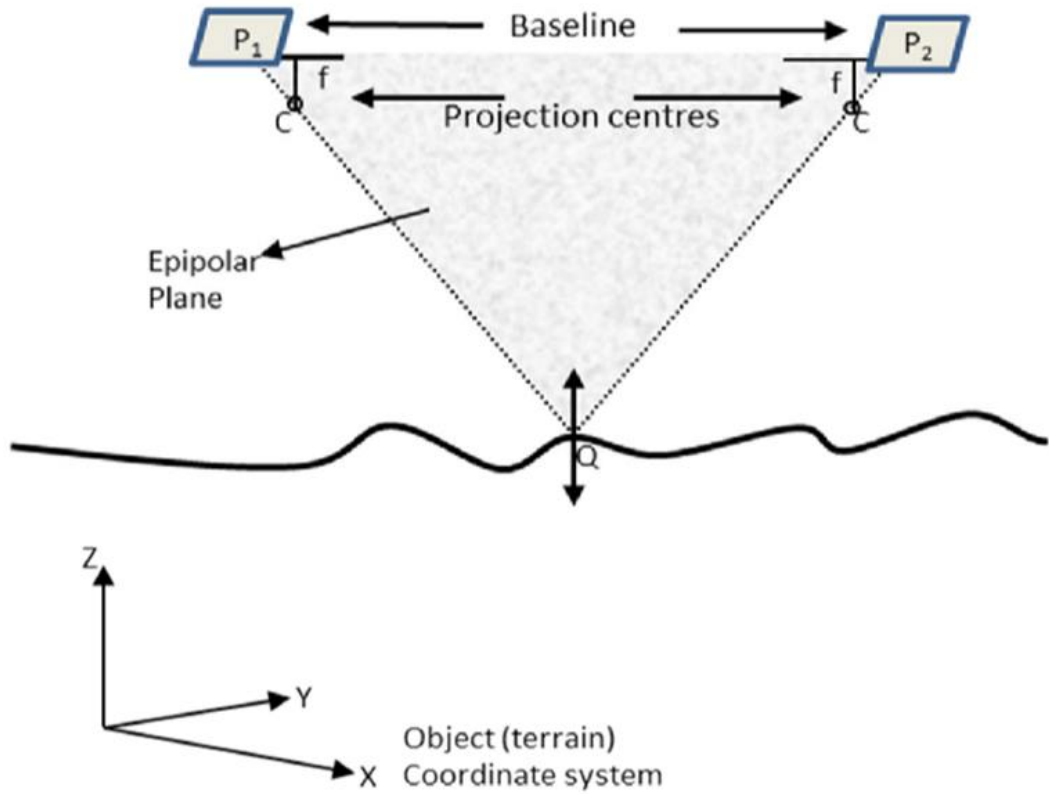
Resimler yardımıyla objeler hakkında farklı bilgi türlerini elde etmek mümkündür. Örneğin bir fotoğrafı yorumlayarak; evin eskimiş olduğunu, duvarların açık sarı renkli olduğunu yani nitel özelliklerini ve fotoğrafı ölçerek evin temelinin 8x6 metre olması gibi nicel özelliklerini elde edebiliriz. Veya tarihi bilgilerimizden yola çıkarak evde “Art nouveau” sanatı kullanılmış buradan hareketle de evin yapımının 20.yüzyılın başında gerçekleşmiş olabileceği gibi çıkarımlarda bulunabiliriz (Linder, 2009).

Fotogrametri, yukarıda bahsedilen bilgilerin ikinci çeşidi olan kantitatif (nicel veri) ile ilgili bilgiler vermek için yöntemler üretmektedir. Kendi teriminin de ifade ettiği gibi, Fotogrametri “Resimler ile ölçüm bilimi” olarak tanımlanabilir. Fotogrametri jeodezinin bir parçası olup Uzaktan Algılama alanına girer. Eğer fotoğraflar üzerinde uzunluk, alan vb. ölçümler yapmak istersek bunun temel yolu fotoğrafın herhangi bir noktasının nesne koordinatını elde edip geometrik verileri hesaplayarak harita oluşturmaktır (Doğanalp, 2003).

Bilindiği üzere tek bir fotoğraftan (iki boyutlu plan) sadece iki boyutlu koordinat elde edebiliriz. Eğer üç boyutlu koordinatı elde etmek istiyorsak o zaman üçüncü boyutun koordinatını hesaplayabilmek için insanın görme özelliğinden faydalanmalı. Biz nesnelere konumsal olarak görebiliyoruz ve bu özellik sayesinde bir nesne ile bizim aramızdaki mesafeyi tahmin edebiliyoruz. Peki, bu sistem nasıl çalışıyor? Bilindiği gibi, insan beyni her zaman sol ve sağ gözün az da olsa farklı konumlarından dolayı iki farklı görüntü elde eder ve gözün merkezi perspektif özelliğiyle bunu tek bir görüntüye çevirir. Fotogrametri biliminde bu olaya stereoskopik prensip denir ve üç boyutlu bilgileri elde etmek için kullanılır. Eğer elimizde bir nesnenin farklı konumlardan çekilen iki veya daha fazla resmi varsa, çok basit olarak iki fotoğrafta mevcut olan herhangi bir noktanın üç boyutlu koordinatını hesaplayabiliriz. O zaman

fotogrametrinin temel işlevinin en az iki fotoğraf mevcut olmak kaydıyla objenin herhangi bir noktasının üç boyutlu nesne koordinatını hesaplamak olduğunu söyleyebiliriz (Przybilla ve Wester-Ebbinghaus, 1979).

Yukarıdaki dediklerimize örnek olarak Şekil 2.1.'de hava fotogrametrisi durumu verilmektedir. Burada; F = odak uzaklığı, P = obje noktası, P' = sol resimde P noktası, P'' = sağ resimde P noktası ve C = projeksiyon merkezini temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Hava fotogrametrisi (Baiocchi vd., 2020)

Arazi yüzeyinde bulunan her nokta (obje noktası) en az iki resimde mevcut olmalıdır. Resmin çekildiği zamandaki tüm geometrik parametreleri biliyor veya hesaplayabiliyorsak, o zaman ışın denklemlerini $[P' > P]$ ve $[P > P'']$ hesaplayarak bunların kesişiminden P noktasının üç boyutlu koordinatını hesaplayabiliriz. Bahsedildiği gibi bu fotogrametrinin temel görevidir. Eğer buna (P' 'nin üç boyutlu koordinatına) ulaştıysak, artık harita üretmek için noktaları, çizgileri, alanları rahatlıkla sayısalılaştırıp; uzaklık, alan, hacim ve eğim gibi bilgileri hesaplayabiliriz (Yunus vd., 2019).

Fotogrametri dar kapsamlı tanımı ile fiziki objelerin görüntülerinden ölçüler olarak ve bunlara yorumlar yaparak, bu objeler hakkında güvenilir bilgi elde etme

tekniğidir (Unger, Reich ve Heipke, 2014).

Bu tanımdan ve daha önce bahsettiğimiz fotogrametri bilgilerinden hareketle fotogrametri şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Görüntü alma = Bilgi Toplam
- Güvenilir Bilgi Elde Etme = Bilgi İşleme (Değerlendirme)
- Bilgileri Doğru Kaydetme = Kaydetme (Arşivleme).

2.1.1. Görüntü Alma

Görüntü elde etme konusunda; görüntü alıcıları, alıcı konumları, kullandıkları enerji çeşitleri ve elde edilen görüntü çeşitleri gibi değişik özellikler bulunmaktadır. Bu farklılıklar aşağıdaki gibidir (G. Grenzdörffer, Guretzki ve Friedlander, 2008):

a) Görüntü alıcıları

- Kameralar (Resim çekme makinesi)
- Kartografik kameralar
- Panoramik kameralar (Sürekli çekim yapan kameralar)
- Çok bantlı kameralar (multi band camera)
- Özel amaçlı kameralar (sualtı gibi çalışmalar için)
- Elektromanyetik enerji tarayıcıları (sensörler)

b) Alıcıların konumu

- Yerden
- Yeryüzünden
- Yeryüzü dışından (ay veya gezegen üzerinden)
- Havadan
- Uçaktan
- Helikopterden
- Uydudan

c) Kullanılan enerji (spektrumun kullanılan kesimleri)

- Görünen ışınlar
- Kızılötesi ışınlar
- X ışınları
- Mikrodalgalar

d) Elde edilen görüntünün türü

- Fotografik görüntü
- Siyah – beyaz
- Renkli

- Yalancı renkli (false colour)
- Radar görüntüleri
- Elektromanyetik enerji tarayıcıları ile elde edilen görüntüler

2.1.2. Değerlendirme

Değerlendirme işlemi, görüntüler üzerinden ölçü alımı gerçekleştirilerek ve yorumlar yapılarak, daha sonra analog, analitik veya dijital yöntemlerle değerlendirme yapılması işlemidir (Tahar ve Ahmad, 2013).

2.1.3. Kaydetme

Değerlendirme aşamasında elde edilen veriler ve bilgiler, amaca uygun olarak aşağıdaki şekillerde arşivlenerek kullanılır:

- Sayısal değerler,
- Çizgisel gösterimler (çizgisel haritalar, vektörel gösterim),
- Fotografik görüntüler (foto haritalar) (Raster gösterim).

Yukarıdaki açıklamadan sonra, fotogrametri, günümüz teknolojisi, kullanılan aletler ve araçlar, uygulanan yöntemler dikkate alınarak geniş kapsamlı olarak şu ifadeyle tanımlanabilir: Kameralar ya da sensörler yardımıyla, havadan veya uydudan elde edilen görüntüleri kullanarak, analog, analitik ya da dijital yöntemlerle güvenilir ölçüler alıp yorumlar yaparak, fiziksel objelerin şekil, konum ve boyutu ile çevrenin farklı özelliklerini belirlemeye yarayan bilim dalıdır (Sapirstein ve Murray, 2017).

2.2. Fotogrametrinin Görevi ve Kapsamı

Fotogrametrinin görevi, görüntüler yardımıyla geometrik, fiziki ve semantik bilgilerin elde edilmesi, uygun yöntemle değerlendirilmesi ve kaydedilmesidir. Bu işlem adımlarında aşağıdaki özellikler bulunmaktadır:

- Görüntü alımı aşamasında, obje hakkındaki tüm bilgiler, orijinal şekil ve renkleri, ölçekli boyut ve konumları eş zamanlı olarak toplanmış olur.
- Görüntü alımı işlemi, (bazı durumlarda gerekli aydınlatma dışında) obje üzerinde herhangi bir iz bırakmaz.
- Objeler hakkında fiziki ve geometrik bilgiler elde edilmesi için gerekli ölçü alma ve yorumlama işlemleri semantik bilgilerle kolaylaştırılmaktadır.
- Görüntü alımı mümkün olan bütün gaz, sıvı ve katı cisimler fotogrametrik olarak incelenip değerlendirilebilir.
- Objelerin boyutu (küçük veya büyük olması), hareket halinde veya duruyor olması, ulaşılması zor olması, görüntü alımı işlemini engellemediği için bu durumda bulunan objeler de fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilebilir.

- Fotogrametrik değerlendirmede dördüncü boyut olan zamanın da çok ehemmiyeti vardır. Baraj, köprü, silo vb. gibi büyük yapıların deformasyonu veya motor parçalarının farklı hızlar altındaki durumunun belirlenmesi, akan suların dalga hareketlerinin incelenmesi gibi kısa zaman aralığına bağlı değişimler ve oluşumlar fotogrametrik yöntemlerle basitçe incelenebilir ve değerlendirilebilir (Gürbüz, 2006).

2.2.1. Neden Fotogrametri

Hayatta ve bilimde birçok zaman koordinat, uzaklık, alan ve hacim hesaplamak zorunda kalıyoruz. Normal olarak cetvel gibi aletler kullanırız. Bu durumda fotogrametrinin bir alternatif çözüm olduğunu veya bazı durumlarda tek çözüm yolunun fotogrametri olduğunu tartışalım.

Çoğu zaman ölçüm metodu objelerin özelliklerine ve durumuna bağlıdır. Bazen objenin kendisi yok olmuş ve geride birkaç fotoğraf kalmış olabilir. Veya buna benzer durumlar mesela objeye ulaşmak zor olabilir. Örneğin objenin çok uzakta veya yeterli altyapısı olmayan bir ülkede olduğunu düşünelim, bu durumda objeyi haritalandırmak için objenin resimleri kullanılabilir.

Resimlerden ölçü almak demek obje ile fiziksel olarak temas kurmaksızın ölçü almak demektir, böylelikle eğer objemiz sıvı, kum veya bulut gibi pürüzsüz ise bu durumda aranan çözüm fotogrametridir.

Aynı şekilde hızlı hareket eden tüm objeler fotogrametri ile ölçülmektedir. Örneğin koşan veya uçan hayvanlar veya deniz dalgaları gibi. Fabrikalarda deformasyon süreci hakkında bilgi elde etmek için yüksek hızlı ve simülasyonlu kameralar kullanılır (Araba çarpışma testi gibi) (Bösemann, 2011).

Günümüzde bazı örneklerde lazer tarayıcı aletleri fotogrametri için bir alternatif haline gelmiştir. Hava konusunda fotogrametrinin alternatifi olan lazer taraması engebeli (arazi modeli) hakkında bilgi toplamak için kullanılır ve aynı zamanda yakın mesafe fotogrametride de bu teknikler geniş kullanım alanına sahiptir. Özellikle üç boyutlu noktanın (nokta bulutu) çok büyük miktarını almamız gerekiyorsa bu teknolojidenden faydalanırız. Bazen obje düşük dokuya sahipse (fotogrametrik eşleştirmenin yetersiz kaldığı durum) bu durumda lazer kullanmak doğru bir çözümdür. Fakat aynı zamanda lazer tarama metodu çok zaman tüketir ve fotogrametrik yöntemlere göre çok daha maliyetlidir ve ayrıca lazer taraması yüksek hızda hareket eden objeler için kullanılamaz (Kraus, 2007).

2.3. Fotogrametrinin Tarihçesi

1839 yılında, Daguerre ve Niepce tarafından fotoğrafın icadı ile fotogrametrinin tarihsel süreci başlamıştır. İlk fotogrametrik araçlar ve yöntemler 1849 yılında Fransız Binbaşı Aimé Laussedat tarafından gerçekleştirilerek, yersel fotogrametride kullanılmıştır. Laussedat geliştirdiği bu tekniğe “iconometry” adını vermiştir. Yunancada bu kelime “görüntü ölçme tekniği ve bilimi” anlamını ifade etmektedir. Aimé Laussedat fotogrametrinin kurucusu olarak bilinmektedir. Fransız Binbaşı Aimé Laussedat 1859 yılında Paris bilim akademisinin bir komisyonuna cisim koordinatlarının iki resimden uzay önden kestirme yöntemi ile nasıl bulunacağını göstermiştir (Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya, 2020).

Bu olayla eş zamanlı olarak Almanya’da A. Meydenbauer yapıların ve binaların ölçümü işleminde fotogrametrinin nasıl kullanılacağını açıklayarak, ilk başarılı denemelerini de gerçekleştirmiştir (Brückl, Brunner ve Kraus, 2006).

C. bulfrich tarafından 1901 senesinde “stereo Fotogrametri” bulunmuş ve ardından “stereo autograph” aleti E. Von Oreis tarafından bulunmuştur. Bu buluşlar düzleme iz düşürülen objelerin sürekli değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Bu çalışma ilkesinin yersel çekilmiş resimlerinin yanı sıra hava resimlerine de uygulanması T. Scheimpflug, M. Gasser, U. Nistri, R. Hegershof’un ön çalışmaları ve 1923 senesinde W. Bauersfeld’in “stereo planigraph”ı bulması ile gerçekleşmiştir (Hong ve Chen, 2004).

İlk olarak hava resimlerinden ortofotoların üretimi 1955 yılında Amerikalı R. K. Bean tarafından gerçekleştirilmiştir (Brückl vd., 2006).

Fotogrametri çalışmaları için gerekli olan temel alet ve araçların gelişimi ile daha fazla bilgiye ulaşmak hedeflenmiştir. Bu sebeple resim çekimlerinde balonlar ve uçurtmalardan faydalanılmıştır. Bu bağlamda yapılan ilk çalışma 1855 yılında Gaspard Felix Tournachon adlı Fransız fotoğrafçı tarafından yerden 78 metre yükseklikte balonla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.2).

Ancak çekilen bu fotoğrafın yeniden oluşturulmak için yeterli kaliteye sahip olmaması nedeniyle daha sonra 1868 yılında Paris şehrinin havadan fotoğrafı çekilmiştir (Şekil 2.3) (Kreutel, Difonzo, English ve Gruner, 1977). Fransa Labrugiere’in havadan fotoğrafı ise Şekil 2.4’te verilmiştir. Fotogrametride kullanılan uçurtma tipi ise Şekil 2.5’te verilmiştir.

Fotogrametrik çalışmaların tarihi sürecinde balonlardan sonra ise uçurtmalar kullanılmıştır. O günlerde birbirine bağlı çok sayıda uçurtma ile olabildiğince hafif

fotoğraf makineleri kullanılarak çekimler yapılmıştır (Kreutel vd., 1977).



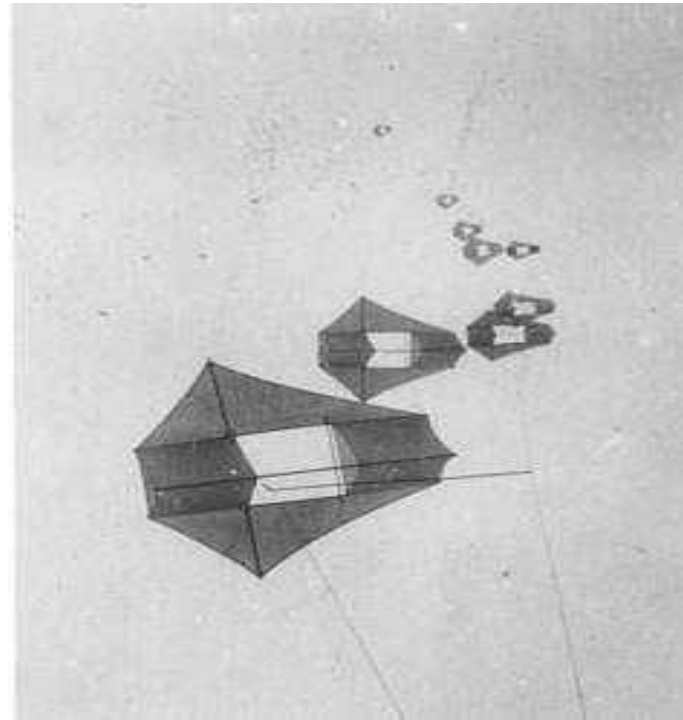
Şekil 2.2. Gaspard Felix Tournachon (Nadar, Tournachon ve Repensek, 1978)



Şekil 2.3. Havadan Paris (Üstüntaş ve Bacaksız, 2010)



Şekil 2.4. Fransa labrugiere (Hiking, 2021)



Şekil 2.5. Fotogramtride kullanılan uçurtma tipi

Topografik amaçlı hava resimlerin çekimi ve bu resimlerden ölçü alma işlemi Th. Scheimpflug tarafından düzenli ve sistematik hale getirilmiş ve üretilen bilgiler bazı çalışmalarda gerekli bilgileri verebilecek nitelik kazanmıştır (Gürbüz, 2006).

1915 yılında Almanya'da ilk resim çekme makinesi Messter firması tarafından üretilmiştir. Bu yüzyılın başında üç boyutlu görünüşe dayalı ölçüm tekniği ile bilgisayar destekli değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan matematik ve

analitik temeller S. Finsterwalder tarafından belirlenmiştir (Gürbüz, 2006).

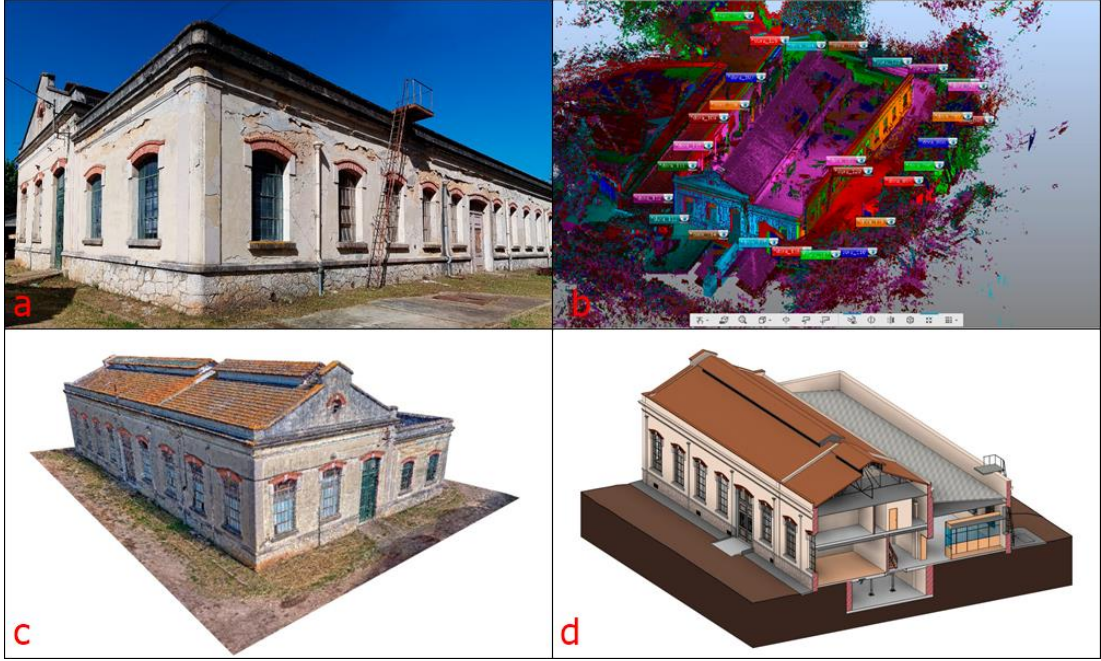
1950 yılında, ilk başlarda sayısal zorluklar nedeniyle ele alınamayan analitik yöntemler, Teknolojinin ilerlemesi sonucunda ve özellikle bilgisayarın gelişimi ile ele alınmaya başlanmıştır. H. Schmid fotogrametrik problemleri kolinearite koşuluna göre çözmüştür. Analitik yöntemler tekrar ve yeniden ele alınarak, farklı stereo ve monokomparatörler üretilmiş ve bu verilerin işlenmesi için farklı demet dengelemesi programları geliştirilmiştir (Finsterwalder, Hofmann, Aytaç, Örmeci ve Altan, 1983).

1980'li yıllarda grafik işlemlerin bilgisayar yardımıyla gerçekleşmesine olanak sağlayan donanımların geliştirilmesi sayısal fotogrametrinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Sayısal fotogrametride, resimlerin hassas tarayıcılarla sayısallaştırılması ya da sayısal kameralar, CCD (Charge-coupled device) algılayıcılar gibi aletlerle doğrudan sayısal olarak elde edilen veriler, bilgisayar ortamına sayısal olarak yüklenmektedir (Gürbüz, 2006).

Elektronik ortamda veri işleme tekniklerinin ortaya çıkması ile fotogrametride büyük değişimler meydana gelmiştir. Optik-mekanik aletler yerine artık ağırlıklı olarak işlemciler kullanılmaya başlanmıştır. Bu ilerlemeler geçen yüzyılın 50'li yıllarında ilk analitik değerlendirme aletinin bulunması ile zirveye ulaşmıştır. Hava triyagülasyonu ise fotogrametri'yi sabit noktalardan büyük ölçüde kurtarmıştır (Kraus, 2011).

Son zamanlarda analitik fotogrametrinin yerini hemen hemen tamamen dijital fotogrametri almıştır ve ileriye yönelik gelişmeler ise büyük ölçüde lazer tarama ile ilgili olacaktır (Kasser ve Egels, 2002). Günümüzde mimari belgeleme ve restorasyon çalışmalarında ise büyük ölçüde fotogrametri ve lazer tarama kullanılmaktadır. Mevcut tarihi yapılar fotogrametri veya lazer tarama teknikleri taranarak bu verilerden daha sonra BIM (Building Information Modeling) veya (Yapı Bilgi Modellemesi) teknikleri ile yapılar tekrar modellenerek hazır proje haline getirilirler. Bu teknik günümüzde uluslararası literatürde Scan to BIM olarak adlandırılmaktadır. Scan to BIM çalışma adımları (Şekil 2.6)'da verilmektedir (Rocha, Mateus, Fernández ve Ferreira, 2020).

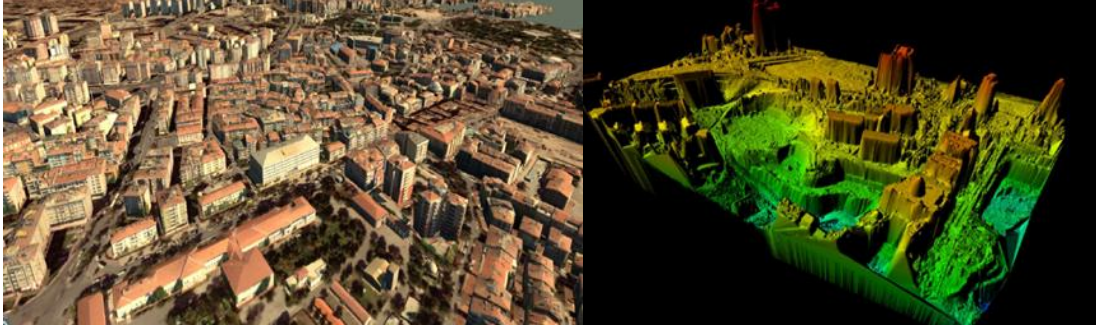


Şekil 2.6. a) Binanın mevcut hali b) lazer tarama ile binanın iç kısımlarının taranması c) fotogrametri ile binanın dış kısımlarının modellenmesi d) Lazer tarama ve fotogrametri verilerinden faydalanarak binanın CAD ortamlarında yeniden modellenmesi (Rocha vd., 2020)

Bu tez çalışmanın amaçlarından biri de Scan to BIM çalışmaları gibi global koordinat sisteminde hassasiyet gerektirmeyen ve yalnız projenin tekrar hazırlanması için bina boyutlarının hassas olarak ölçülebilmesini amaçlayan çalışmalarında YKN'siz olarak üretilen modellerin kullanılabilir olup olmamasının incelenmesidir.

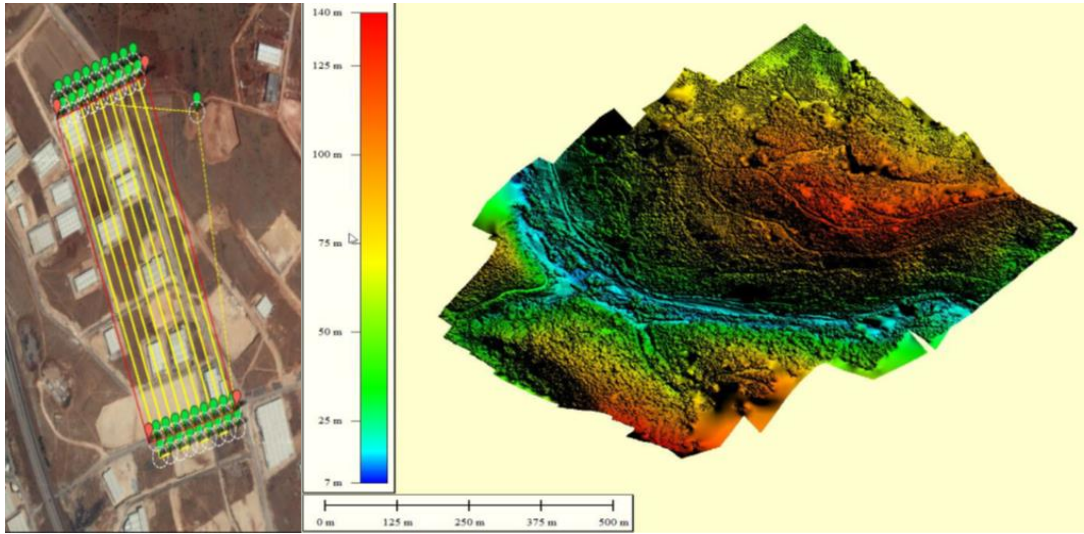
2.4. Literatür Araştırması

(Ayyıldız,2017) Yılında yaptığı çalışmada; fotogrametri yöntemiyle oluşturulan üç boyutlu şehir modellerinin kadastral verilerle ilişkilendirilmesi ve bu modellerin mevcut kadastral bilgilerinin tespit ve temsilinde kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Oluşturulan şehir modellerinin kadastrada kullanılabilmesi için yapılması gereken ilave çalışmaları belirlemiş ve örnek uygulama ile analiz edip sonuçlandırmıştır. Örnek çalışma ise farklı yapılaşma koşuluna sahip olan yapıların bulunduğu kadastral parsellerde uygulanmış ve yapılaşma koşuluna göre sonuçlar tespit edilip yorumlanmıştır. Bunun yanı sıra fotogrametrinin yeni prensibi olan eğik hava kameralardan elde edilen görüntüler ile üretilebilecek ürünleri, kullanım alanlarını ve ürün çeşitliliğini araştırıp ortaya koymuştur (Şekil 2.7) (Ayyıldız, 2017).



Şekil 2.7. 3D Şehir modeli (Ayyıldız, 2017)

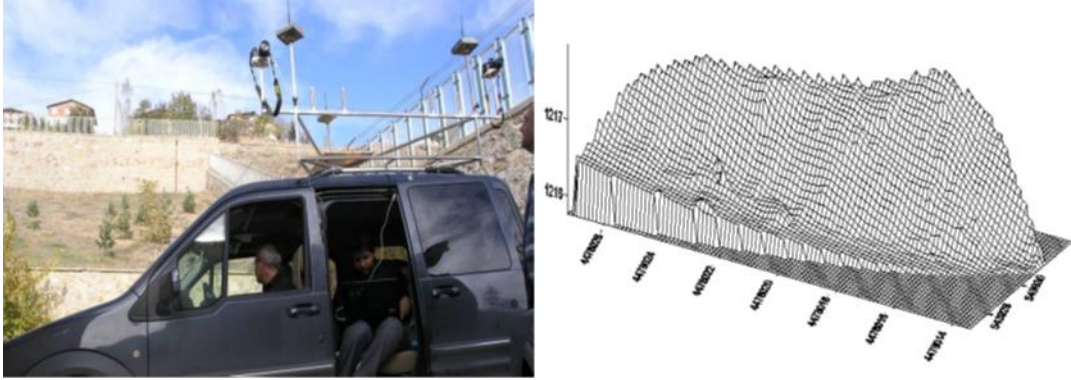
(Özemir ve Uzar 2017) yılında yaptığı çalışmasında İHA (insansız hava aracı) ile fotogrametrik veri üretimini araştırmıştır. Örnek uygulamada bu yöntemle elde edilen hava fotoğraflarından sayısal yüzey modeli, 5.7 cm YÖA (Yer Örnekleme Aralığına) sahip ortofoto ve üç boyutlu model elde etmiştir. Bu yöntemle elde edilen bilgilerin analiz ve değerlendirmesini yapmış. Elde edilen fotogrametrik model ve ortofotoların doğruluk analizi için jeodezik yöntemlerle elde edilen YKN'leri ortofoto üzerinde de ölçmüş ve aradaki farkı bularak üretilen ortofotonun doğruluğunu elde etmiştir. Bunun yanı sıra maliyet analizini de gerçekleştirmiştir (Şekil 2.8) (Özemir ve Uzar, 2016).



Şekil 2.8. Uçuş planı ve sayısal yüzey model görünümü (Özemir ve Uzar, 2017)

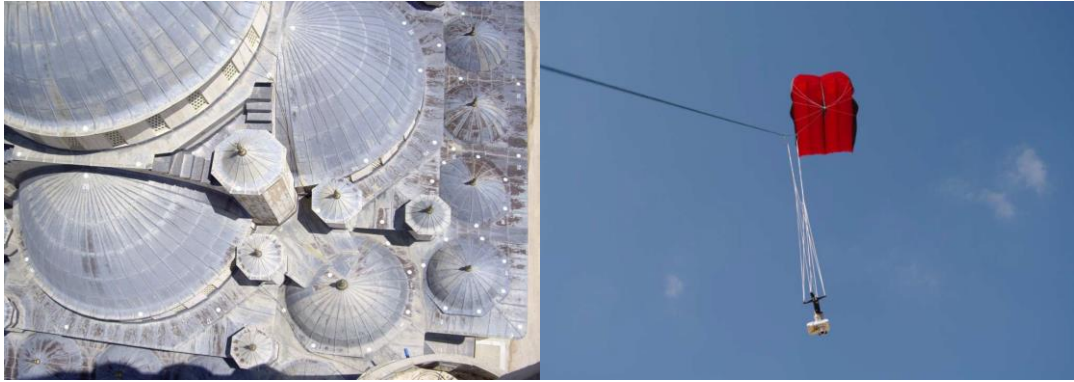
(Asri, Çorumluoğlu ve Güner, 2012) yılındaki çalışmasında, Hareketli Platformlarla Hacim Hesabını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada maliyeti oldukça düşük olan GPS destekli hareketli yersel fotogrametrik ölçme sisteminden görüntüleri ve gerekli parametreleri elde etmiş, bu bilgileri kullanarak otomatik görüntü eşleme teknikleri ile yüzey modeli çıkartmıştır. Bu yüzey modellerinin hacimsel analizlerde kullanılabilirliğini analiz edip yorumlamış ve bunun yanı sıra bu yöntemin maliyet

analizini de gerçekleştirmiştir (Şekil 2.9) (Asri, Çorumluoğlu ve Güner, 2012).



Şekil 2.9. Araç üzerinde bir alım istasyonu ve 3B yüzey modeli (Asri vd., 2012)

(Bacaksız, 2010) yılındaki çalışmasında Küresel Yüzeyle Objelerin Resim Çekim ve Değerlendirme Teknikleri konusunu ele almıştır. Çalışma alanı olarak Selçuk Üniversitesi kampüs camisinin kubbesini seçmiştir. Kubbe üzerinde 120 adet yer kontrol noktası tesis edilerek, çekim bir uçurtma sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Fotogrametrik model Topcon Image Master yazılım ile hazırlanıp sonuç olarak uçurtma ile çekilen görüntülerden oluşturulan bu model mimari röleve için uygun görülmüştür ve Şekil 2.10’da verilmiştir (Bacaksız, 2010).



Şekil 2.10. Kontrol noktalarının dağılımı ve uçurtma sistemi (Bacaksız, 2010)

(Ali, Yakar, Toprak ve Mutluoğlu, 2014) Yılında yaptığı bir çalışmada fotogrametrik tekniklerin insansız hava araçları ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu bağlamda üç farklı yerde farklı mühendislik çalışmalarında İHA tekniğini kullanmıştır. Sonuçlarını irdeleyerek kullanılabilirliğini ortaya koymuş ve geleneksel mühendislik yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Birinci olarak Afyonkarahisar ilinde yapılan çalışmada fotogrametrik yöntemlerle halihazır haritası üretilmiştir. Daha sonra halihazır haritası üretiminde GNSS tekniği ile ölçülen yer kontrol noktalarının koordinatları ile aynı yer kontrol noktalarının fotogrametrik yöntemlerle üretilen halihazır haritası üzerinden ölçülen koordinatları alınmış ve

karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak İHA fotogrametrik teknikleri ile elde edilen halihazır haritada x, y, z koordinatlarındaki ortalama konum hatasını $\pm 9,81$ cm olarak bulmuştur. İki haritada ölçülen yer kontrol noktalarının koordinatları arasındaki farkı ortalama konum hatasının altında bulmuş ve bunun da kabul edilebilir bir durum olduğunu savunmuştur (Ali, Yakar, Toprak ve Mutluoglu, 2014). Şekil 2.11’de ortofoto ile üretilen halihazır harita verilmiştir.



Şekil 2.11. Ortofoto ve ondan üretilen halihazır haritası (Ali, Yakar, Toprak ve Mutluoglu, 2014)

(Kiracı ve Toz 2018) Yılında GZK (Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS Yöntemi ile Fotogrametrik Uygulamalar ve Doğruluk Araştırılması adlı çalışmasında, GPS ve IMU (İnertial Measurement Unite) hata kaynakları ile ilgili bilgi vererek yer kontrol noktaları olmadan gerçek zamanlı kinematik GPS yöntemi ile (yerde kurulan sabit bir GPS istasyonu ile uçaktaki GPS’in entegrasyonu) dış yöneltmenin konum hassasiyetini araştırmıştır. Yapılan çalışmada hata artma yasasını kullanarak 10 cm, 20 cm, 30 cm YÖA’ya sahip stereo görüntülere uygulamış ve her parametrenin etkisini hesaplayarak yorumlamıştır. Konum hassasiyeti hesabı için MATLAB yazılımı kullanılmış ve bir arayüz hazırlanarak hem stereo görüntü çiftleri hem de tek görüntü yöneltmesi için konum hassasiyetini belirlemek için kullanılmıştır (Kiracı ve Toz, 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde insansız hava araçları ile fotogrametri konusu detaylı olarak anlatılmış ve fotogrametrik değerlendirme yöntemlerinin kısa bir tarihçesinden başlıklar altında bahsedilmiştir.

3.1. İnsansız Hava Araçları ile Fotogrametri

İnsansız hava araçları ile fotogrametri konusunda; hava fotogrametrisi ve dijital (sayısal) fotogrametri konularından bahsedilmiş, insansız hava araçları kavramı detaylandırılmış ve üç boyutlu fotogrametrik modellerin kullanım alanları incelenmiştir.

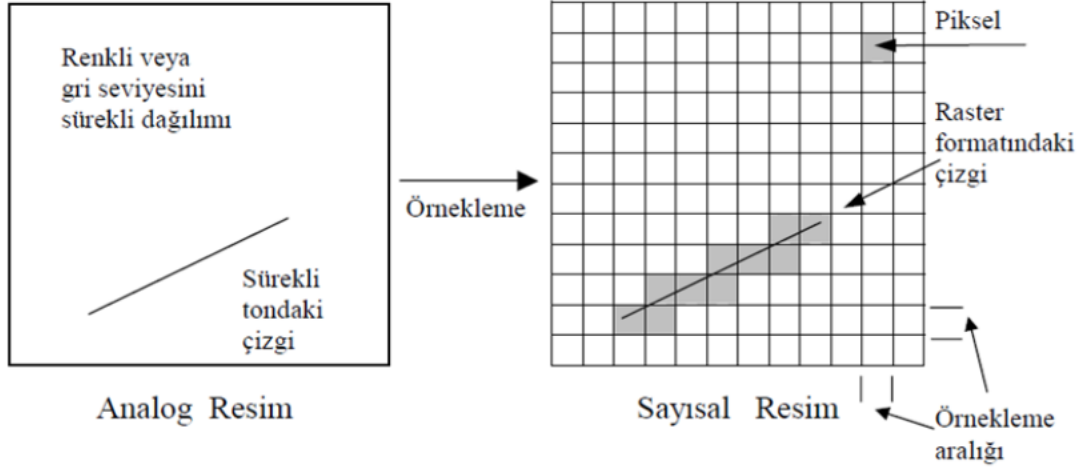
3.1.1. Hava Fotogrametrisi

Başlangıçta fotogrametrik çekimler yersel yöntemlerle yapıldığı için fotogrametri sınırlı bir kullanım alanına sahipti. İleri zamanda resim çekme noktasının havaya taşınması ile çoğu engelin önüne geçildi ve fotogrametrinin kapsam alanı daha da artmış oldu. Böylelikle farklı mesleklerin farklı işlerinde kullanılmaya başladı. Geçmişten bu yana hava resimleri çekiminde balon, uçurtma, helikopter ve uçak gibi platformlar kullanılırken, son zamanlarda insansız hava araçları hemen hemen bunların tamamının yerini almıştır (Bemis vd., 2014).

Hava fotogrametrisinin uygulama aşamalarını sırası ile anlatacak olursak öncelikle hava resmi çekilecek çalışma alanının uçuş planı, üretilmesi istenen haritanın ölçeğine göre olmalıdır. Bu plan ile uçuşun yönü, konumu ve doğrultusu, şeritlerin sayısı, resimlerin bindirme oranları, poz aralığı ve süresi, rüzgâr etkisi dikkate alınarak uçağın rotası, hızı ve kamera tipi belirlenir. Fotogrametrik çalışmaların hassasiyetinin yüksek olması için kullanılan yer kontrol noktaları, resimlerde görülür bir şekilde tasarlanır ve yerleştirilir. Bu noktalar geleneksel jeodezik yöntemlerle ölçülür ve fotogrametrik veri üretim sürecinde kullanılır. Yukarıda sıralanan bütün bu işlemlerle üretilen hava fotoğrafları, işlenerek hedeflenen bölgenin, yüksek hassasiyette yeniden oluşturulması sağlanacaktır (Avşar, 2006).

3.1.2. Dijital (Sayısal) Fotogrametri

Dijital görüntü, piksel olarak bilinen, sayısal değerlerin 2 boyutlu görüntüsünün temsil edilmiş halidir. Dijital görüntünün satır ve sütununda bulunan her piksel bir sayı içerir. Ve görüntünün en küçük birimi pikseldir. Dijital görüntüler dijital kameralar, tarayıcılar, koordinat ölçme cihazları, hava radarları vb. gibi farklı aygıtlar ve teknikler ile oluşturulur (Sidek ve Ahmad, 2008).



Şekil 3.1. Analog ve sayısal resim

Analog resimden sayısal resime geçiş fotogrametride yeni bir yöntem olan dijital fotogrametri yönteminin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Analog ve sayısal resim Şekil 3.1’de verilmiştir. Dijital fotogrametri, sayısal şekilde kaydedilen görüntülerin, bilgisayar ortamında işlenmesini ve değerlendirme yönteminin tam veya yarı otomatik olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Yüksek çözünürlüklü raster görüntülerinin, bilgisayar ortamında farklı renkler elde edilmesi ve görüntü üzerinde istenilen şekilde iyileştirmenin gerçekleştirilebilmesi dijital fotogrametri alanını daha çekici hale getirmiştir (Maraş, Aktuğ, Maraş ve Yıldız, 2010).

3.1.3. İnsansız Hava Araçları (İHA)

3.1.3.1. İHA Tanımı ve Tarihçesi

İnsansız hava aracı (İHA) bir uçuş planına bağlı ve otomatik olarak uçan veya uzaktan kontrol sistemi ile manuel olarak uçurulan pilotsuz bir ölçüm aracı olarak tanımlanır. İHA platformu dijital kamera ve GPS/INS (Global Positioning System/İnertial Navigation System) entegrasyonundan oluşan bir veri toplama istasyonudur. Günümüzde İHA platformları, fotogrametrik veri üretimi için farklı mesleklerde gözetleme, denetleme ve analiz yapmaya imkân veren bir veri kaynağıdır (Özemir ve Uzar, 2016).

İnsansız hava araçları; içinde aracı kullanan (pilot) veya yolcusu olmayan, kullanım amacına yönelik uygun alet (video çekim makinesi, fotoğraf makinesi, lazer tarama, GNSS cihazı, vb.) taşıyan, uzaktan kontrol edilebilen veya otomatik olarak işlevini gerçekleştiren uçak çeşitleridir. İHA’lar hobi ve ticari olarak sivil amaçlı, askeri amaçlı ve bilimsel amaçlı olarak dünyada yaygın ve aktif bir şekilde

kullanılmaktadır (Kahveci ve Can, 2017).

Askeri amaçlar için kullanılan İHA'ların tarihçesi 1970 yılına kadar geriye girmektedir, İHA'ların silahlı modellerinin yanı sıra büyük ölçüde gözetleme hedef takibi ve hedef tespiti gibi amaçlar için kullanılmaya gelmiştir. İHA'ların askeri amaçların yanı sıra sınır kontrolü, çevre ve yapılaşma kontrolü, kaçakçılık gibi pek çok sivil amaçlar için de kullanılmaktadır (Hartmann ve Giles, 2016).

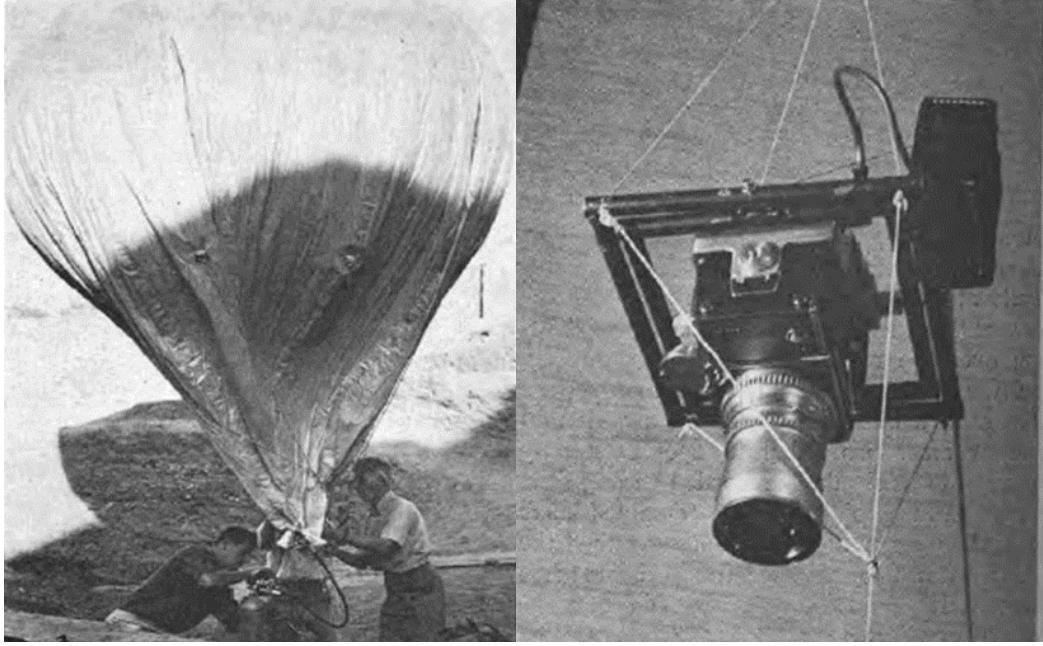
İHA'ların görevleri hakkında başarılı bir tanımlama ise savunma sanayi müsteşarlığı tarafından yapılmıştır, bu tanımlamada temel olarak keşif/Gözetleme, Taarruz, Hedef benzetimi, Elektronik Harp ve Spesifik/Özel görevler olmak üzere 7 alanda aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

1. Büyüklük, irtifa, uçuş süresi ve faydalı yük kapasitesine göre: Micro-Mini-Küçük-Taktik-Operatif-Stratejik
2. Faydalı yük türüne göre: Silahlı İHA'lar – Silahsız İHA'lar
3. Yakıt türüne göre: İçten yanmalı motorlu – Elektrik motorlu İHA'lar
4. Uçuş yöntemine göre: Sabit Kanatlı – Döner Kanatlı
5. Komuta biçimine göre: Otomatik pilotlu – Uzaktan komutalı
6. Kullanım amacına göre: Sahte/Hedef – Keşif Gözetleme – Atak/Saldırı – Lojistik destek
7. Kalkış ve iniş yöntemine göre: Rampadan kalkan/fırlatılan – Pistten kalkan – Uçaktan bırakılan – elle fırlatılan – gövde üzerine iniş yapan - paraşütle iniş yapan (Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, 2012).

3.1.3.2. İnsansız Hava Araçlarının Fotogrametride Kullanımı

İlk hava resimleri Paris'te bir balon ile 1858 yılında Gaspard Tournachon tarafından çekilmiştir. Sonraki ilerlemelerle insanlı balonlar geliştirilmiş ve ardından uçurtmalar, roketler gibi diğer hava araçları geliştirilerek dünya savaşı sırasında farklı amaçlarla kullanılmıştır (Newhall, 1969).

Whittlesey, 1967 yılında arkeolojik belgeleme amaçlı bir çalışmada balon kullanmış (Şekil 3.2), ve görüntü alımı için bir radyo kontrollü kamera kullanmıştır (Whittlesey, 1970).



Şekil 3.2. Sol: Gergin balon dolumu; Sağ: radyo kontrollü Hasselblad EI 500 kamera (Whittelsey, 1970)

1979 yılında fotogrametrik amaçla kullanılan İHA'nın ilk denemesi Przybilla ve Wester Ebbinghaus tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). İlk denemede manuel kontrollü İHA kullanılmış ve 150m uçuş yüksekliği ile uygulama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Model uçak firması hegi (Wester-Ebbinghaus, 1980)

1980 yılında döner kanatlı İHA'ların fotogrametrik amaçlı kullanımının ilk denemesi Wester-Ebbinghaus tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan İHA Schlüter (Bell 222) marka, döner kanatlı model helikopter oldu (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Schlüter (Bell 222) model helikopter (Wester-Ebbinghaus, 1980)

Teknolojik gelişmelerle paralel olarak fotogrametride yeni bir terim olan İHA fotogrametrisi, uzaktan kontrollü otomatik veya yarı otomatik araçlar ile ölçüm yapan bir fotogrametrik ölçüm platformunu tanımlamaktadır. Bu platformlar sadece bir resim kamerası veya video kamerasının entegre edilmesi ile sınırlı değil aynı zamanda, hava Lidar sistemleri, kızılötesi veya ısı kamera sistemleri ve bunların birleşiminden meydana gelen ölçüm sistemleri ile donatılmaktadır (Wang, Cho ve Gai, 2013).

3.1.4. Üç Boyutlu Fotogrametrik Modellerin Kullanım Alanları

Fotogrametrik çalışmaların ana hedeflerinden bir tanesi doğal ve yapay objeleri en iyi şekilde temsil edecek yoğun nokta bulutu ve üç boyutlu model vb. elde etmektir.

Günümüzde ise üretimi yaygınlaşan üç boyutlu şehir modellerinin elde edilmesinde kullanılan eğik görüntülerin ve üç boyutlu şehir modellerinin kullanım alanları genel olarak aşağıdaki gibi gruplanabilir:

- Kadastro için üç boyutlu Veri Altlığı
- Gayrimenkul Değerleme Sektörü
- Emlak Sektörü
- Kentsel ve altyapı planlaması
- Turizm Sektörü
- 3D Oyun Sektörü
- Askeri ve güvenlik operasyonlarının yönetimi
- Kritik altyapı tesislerinin korunması
- Enerji Sektörü

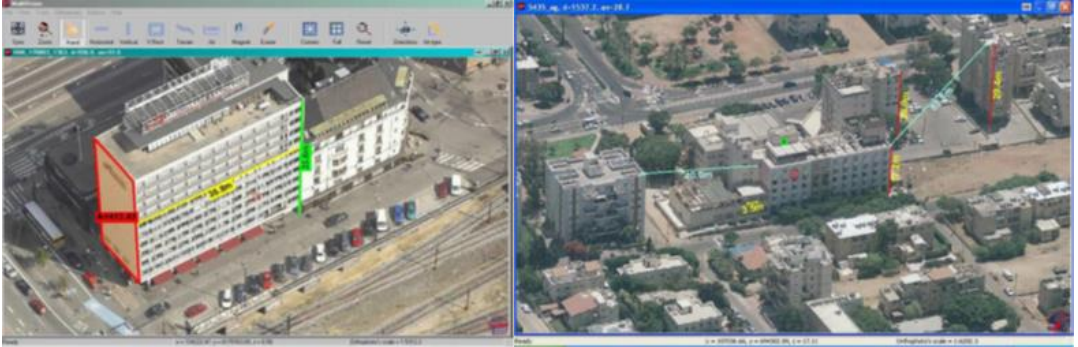
Bu çalışmalar geleneksel yöntemlerle de mümkün, fakat fotogrametri bunlara hassasiyet, doğruluk, dikkat ve estetik gibi katkılarda bulunmuş ve bu mesleklerdeki

uygulamaları daha da kolaylaştırmıştır (Da Silva, 2012)

3.1.4.1. Kadastro Çalışmaları İçin Üç Boyutlu Veri Altlığı Olarak kullanımı

Günümüzde arazi ile ilgili hak ve kısıtlamalardaki karmaşıklığın çözümü için mevcut iki boyutlu kadastro yeterli olmamaktadır. Bu karmaşa en çok kentsel alanlarda mevcut olan bindirmeli ve kesişmeli yapılardan meydana gelmektedir. Asıl problem ise bu bindirmeli ve kesişmeli yapıların, iki boyutlu bir şekilde bilgilerin tutulduğu kadastro sisteminde, yüzeye nasıl iz düşürüleceğidir ve tam burada üç Boyutlu kadastroğunun gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Geleneksel iki boyutlu kadastro haritalarının gelecekte ihtiyaçların karşılayamayacağı artık herkesçe biliniyor, üç boyutlu hak, kısıtlama ve sorumluluklar artık kayıt altına alınmalıdır. Bahsedilen ihtiyaçlar eğik görüntüler yardımıyla elde edilen üç boyutlu sayısal şehir modeli ve bu modele dayanan üç boyutlu kadastro ile giderilebilmektedir (Şekil 3.5) (Özmüş vd., 2016).



Şekil 3.5. Üç boyutlu model üzerinde yapılan ölçümler (Özmüş vd., 2016)

3.1.4.2. Gayrimenkul Değerleme Altlığı Olarak Kullanımı

Üç boyutlu fotogrametrik modeller gayrimenkul değerlendirme alanında önemli bir veri altlığı olarak rol oynamaktadır. Yamaçlık alanlarda dikilir ve ekilir alanlardan elde edilecek olan hasat verimliliğinin ve yapılaşmış alanlarda ise ısınma ve aydınlanmanın gösteriminde önemli bir rol oynamaktadır. Üç boyutlu modelleme sonucunda üretilen SYM kullanılarak yapıların ve gayrimenkul değerlemesinde önemli bir faktör olan bakı bilgisi elde edilebilir. Bunun yanı sıra eğik resimlerden elde edilen üç boyutlu model yardımıyla yapının dış görünüşü, peyzaj alanı ve çevresi hakkında daha detaylı ve sağlıklı bilgi edinilebilir. Üç boyutlu fotogrametrik modellerden elde edilen bu bilgiler yardımıyla gayrimenkullerin değer tespiti daha hızlı, daha doğru ve daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilir (Özmüş vd., 2016).

3.1.4.3. Emlak Sektöründe Kullanımı

Gayrimenkul sektörünün internet ortamında işlemesi, sağladığı kolaylıkların yanı sıra birçok, internetten edinilen bilgilerin kısıtlı olduğundan dolayı birçok yanılgıya ve yanlış yönlendirmelere sebebiyet vermektedir. Günümüzde internet üzerinde yapı hakkında oda sayısı, yaşı, kat sayısı, bulunduğu konumu vb. bilgilerin yanı sıra sunulan uydu görüntüleri müşteriye sadece o yapıyı yakından görüp görmeme kararını vermesinde yardımcı olacaktır. Bu bilgiler bazen bu karar için bile yeterli olmamaktadır, çünkü uydu görüntüleri yapının çevresi, fiziki durumu hakkında yeterli ve gerçek zamanlı bilgi vermemektedir. Eğik resimlerden elde edilen üç boyutlu modelleri ile emlakçılar yapının bulunduğu mevkii, güneş alma veya almama durumunu, görüş açısını ve yapının 360 derece görünümünü sahaya gitmeden görüntüleyebilirler ve müşteri de sahaya gitmeden gayrimenkulü satın alabilir, bu sayede hem müşteri memnuniyeti artacak hem de emlak sektörüne uluslararası müşteriler kazanılacaktır (Özmüş vd., 2016).

3.1.4.4. Kentsel Alanlarda Yapılacak Projelere Altlık Olarak Kullanımı

Sürekli artan nüfus için mevcut olan yapılar yetersiz kalmaktadır. Yeni projelerin gelişimini ve gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Yapılacak olan projenin bölgedeki ihtiyaçlarını tam anlamı ile karşılaması, uzun vadede kullanılabilir olması, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemesi ve yeni sorunlara sebebiyet vermemesi için proje fizibilite çalışmasının yapılması gereklidir. Fizibilite çalışması ise projede kullanılacak verilerin niteliğini ve yapımından sonra karşılaşılabilecek durumların ve sorunların önceden tespitini sağlamaktadır. Kullanılan veriler projenin gerçekleşmesi için yeterli olsa da proje uygulandıktan sonra meydana gelecek olan sorunları öngörmekte yetersiz kalmaktadır. Proje uygulandıktan sonraki sorunları görebilmenin en iyi yolu projenin mevcut durumun üç boyutlu arazi modelini çıkarıp proje modelinin bu arazi modeli üzerine oturtulmasıdır.

Yerleşim alanları için, üç boyutlu arazi modelini, yapılacak olan proje modeli ile entegre edip farklı farklı planların uygulanması ve karşılaştırılması sonucunda proje için optimum bir plan seçilebilir. Bu planların simülasyonlarının kurulması ile projenin başarısı ve sürdürülebilirliği test edilebilir ve sonuçlara göre gerekli tedbirler alınabilir.

Diğer kullanım alanları ise aşağıdaki gibidir (Yucel ve Turan, 2016):

- Gayrimenkul Sigortası,
- Askeri ve Güvenlik Operasyonları,
- Kentsel Dönüşüm,

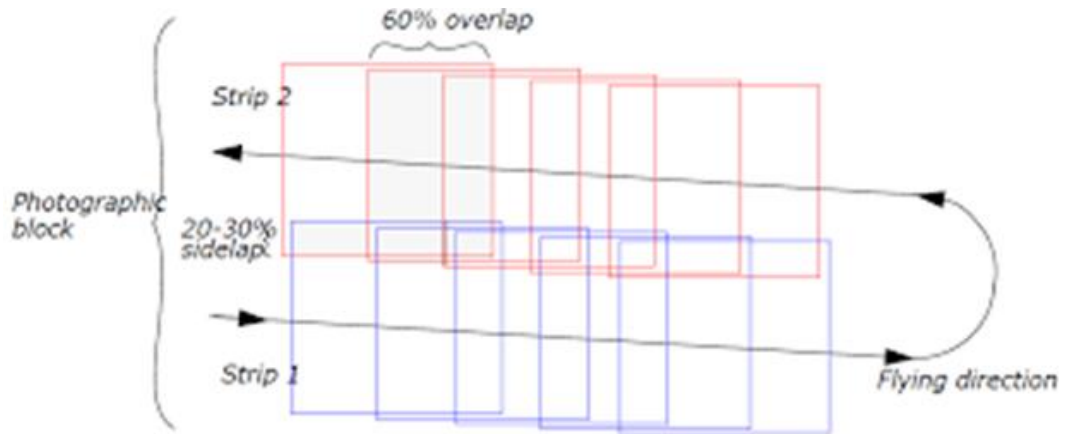
- Afet Yönetimi,
- Enerji Sektörü,
- Turizm Sektörü,
- 3B Oyun Sektörü.

3.1.5. Üç Boyutlu Fotogrametrik Modellemede Veri Üretimi

3.1.5.1. Bazı Tanımlar

Veri üretim aşamalarından bahsetmeden önce bazı standart fotogrametri terimlerini bilmemiz gerek (Hallert, 1960).

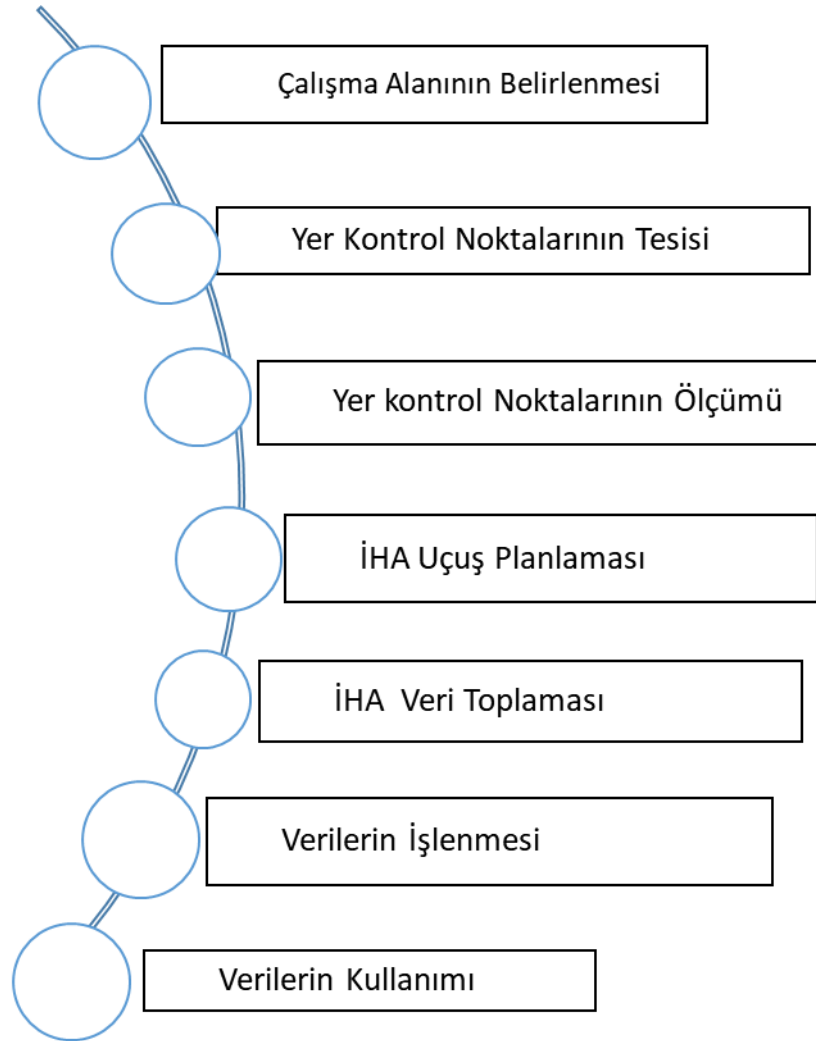
- Resim: film üzerindeki orijinal resim
 - Görüntü: dijital olarak sunulan görüntü- taranmış film veya direk dijital kamera ile çekilen görüntü
 - Model (stereo model, resim çifti): aynı şerit içinde bulunan iki komşu görüntü
 - Şerit: bir uçuş çizgisinde bulunan art arda çekilmiş bindirmeli fotoğrafların tümüdür.
 - Blok: bütün şeritlerin tüm fotoğrafları (Şekil 3.6)
 - Taban: iki komşu resmin projeksiyon merkezleri arasındaki mesafe.
- Bahsedilen tanımlar aşağıdaki resim yardımıyla daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 3.6. Resim, model ve şeritlerin blok oluşturması

3.1.5.2. Veri Üretim Aşamaları

Veri üretim aşamaları Şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.7. Veri üretim aşamaları (Gruen, 2012)

3.1.5.3. Yer Kontrol noktalarının Tesisi ve Ölçümü

Fotogrametride gerek tek resim gerekse çift resim (Stereo) değerlendirmede, mutlak yöneltmenin belirlenmesi için kontrol noktaları kullanılacaktır. Fakat bu tanım 30 yıl önceki fotogrametrik nirenginin amacına yönelik bir tanımdır. Bir modelin kıymetlendirmesini gerçekleştirmek için iç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltmenin gerçekleştirilmesi gerek. Mutlak yöneltmenin gerçekleştirilmesi için modelde (X, Y) koordinatı biline ne az 2 nokta ve yükseklik Z koordinatı bilinen ve aynı doğrultuda olmayan en az 3 noktanın mevcut olması gerekmektedir (Bahadur ve Nohutcu, 2020).

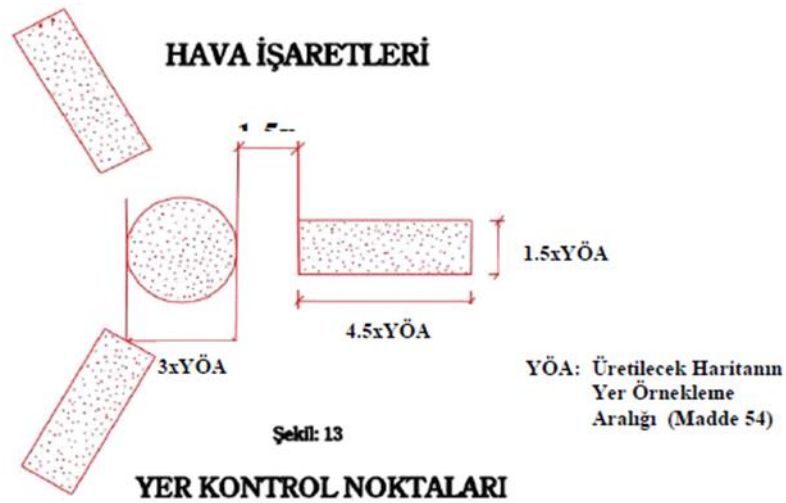
Bu YKN'lerin hassasiyetini kontrol etmek amaçlı tesis edilen denetleme noktaları (Check Points) de tesis edilmelidir. Denetleme noktaları YKN'lerin mutlak

konumunu belirlemek amaçlı tesis ediliyor ve dengeleme aşamasında kullanılıyor (Support, 2020).

Çalışma alanındaki tüm YKN ve denetleme noktaları, gerektiği zaman taşınmazların ve orman sınır kırık noktaları, hava resimleri çekiminden önce, resimlerde görünecek ve ölçü yapılabilecek düzeyde işaretlenir.

YKN ve denetleme noktaları işaretleri en az 60°'lik görüş açısına sahip olmalı ve bu görüş alanında ağaç bina vs. gibi herhangi bir engel bulunmamalı. Yeterli görüş açısı olmayan durumlarda ise YKN ve denetleme noktaları, çatı ve benzeri yüksek yerlere de tesis edilebilir. Bu durumda tesis edilen işaretler, yakınındaki noktalara jeodezik yöntemlerle bu noktalar ile aynı doğruluk derecesine sahip olacak şekilde bağlanır ve koordinatları hesaplanır (Martínez-Carricondo vd., 2018).

İşaretleme, kontrol noktalarının üzerinin ve yakın çevresinin boyanması veya geçici plaklar yerleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu işaretlerin tesisi; resim üzerinde bir kenarı veya çapı 3 x "YÖA" olan daire veya kare şeklinde yapılır. İşaretlerin daha iyi bir şekilde görülmesi için dış çevreleri farklı renklerle boyanması ve uygun uzunlukta üç veya dört kolun işaretlenmesi iyi bir yaklaşım olabilir. Bu yer işaretleri beyaz veya bulunduğu çevreye zıt renkte olmalıdır. Bu yer işaretlerinin boyut ve şekilleri şekil 3.8'deki gibi olmalıdır.



Şekil 3.8. Yer kontrol noktalarının boyutları

3.1.5.4. Fotogrametrik Nirengi

Yukarıda da bahsedildiği gibi bir modelin mutlak yöneltmesinin gerçekleştirilmesi için modelde (X, Y) koordinatı bilinen en az 2 nokta ve yükseklik Z koordinatı bilinen ve aynı doğrultuda olmayan en az 3 noktanın mevcut olması gerek. Fakat günümüzde bu nokta sıklığı yeterli değildir. Büyük ölçekli harita yapımı için bu yer kontrol noktalarının sayısının sıklaştırılması (artırılması) gerek. Diğer taraftan da

arazi çalışmaları harita yapımında maliyet bakımından en önemli kısmını oluşturmaktadır. Özellikle YKN'lerin tesisi ölçümü ve hesabı, çok fazla zaman ve maliyet gerektiren bir çalışmadır, bu durum fotogrametrinin ana görev ve prensibiyle çelişmektedir. Çünkü temel olarak fotogrametri, maliyeti yüksek olan arazi çalışmalarını azaltmayı hedeflemektedir. Bu YKN sıklaştırılmasının düşük maliyetli olarak yapılması için fotogrametride farklı metotlar mevcuttur, bunlardan en önemlisi ise Fotogrametrik Nirengi yöntemidir (Martínez-Carricondo vd., 2018).

Fotogrametrik Nirengi, yerden veya havadan alınan görüntüleri kullanarak fotogrametrik nokta belirleme tekniğidir. Veya başka bir ifade ile fotogrametrik araçlar yardımıyla noktaların (X, Y, Z) koordinatlarının belirlenmesi işlemine Fotogrametrik Nirengi denir (Gini vd., 2013).

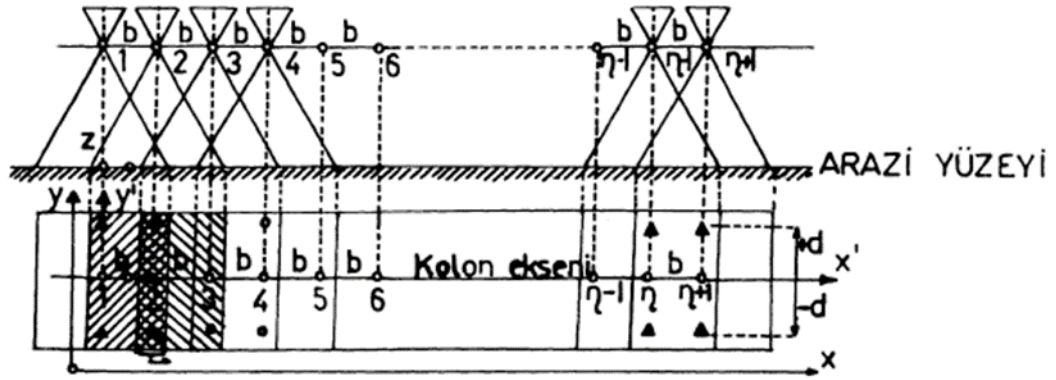
Temel amacı ise, koordinatları bilinen YKN'lar yardımıyla, en az iki resimde bulunan noktaların arazi koordinatlarını, resim veya model üzerinde yapılan ölçüm sonucunda elde etmektir.

Bu yöntemin uygulanabilmesi için, resim çekimi gerçekleşen, çalışma alanında jeodezik yöntemlerle koordinatları belirlenmiş olan noktalara ihtiyaç vardır. Bu noktalara nirengi noktaları veya YKN denilir. Noktanın sadece yükseklik değeri (Z) biliniyorsa, bu noktaya Yükseklik (Kot) kontrol noktası veya dikey kontrol noktası denilir, yalnızca konum koordinatları biliniyorsa (X,Y) o zaman Yatay (Konum) kontrol noktası denilir, her üçü (X, Y, Z) bilindiği durumda ise bu noktalara Full kontrol noktası denilmektedir. Fotogrametrik yöntemlerle koordinatları belirlenen noktalara Havai Nirengi noktaları, Küçük Kontrol Noktası veya Fotogrametrik Nirengi Noktası denilmektedir (Scott, Spear, Dalessandro ve Marathe, 2007).

Bu üretilen yeni noktalar çoğunlukla modelleri birbirine bağlayan Model Bağlama Noktaları veya kolonları bağlayan Kolon Bağlama Noktaları (Tie Point) şeklindeki noktalardır. Artık teknolojinin gelişimi ile paralel olarak GPS kullanımı ile Kinematik GPS destekli fotogrametri metodu geliştirilerek, bu YKN sayısı çalışma sahasının dört köşesinde olmak üzere, dört adet noktaya düşürülmüştür. Çalışma alanının daha büyük olması durumunda, çalışma bölgesi alt kısımlara (Bölgelere) ayrılmalı ve yeni bloklar oluşturulmalı ve her blok için dört adet nirengi noktası atılmalıdır.

Özetle Fotogrametrik Nirengi, modeller veya resimler üzerinde gerçekleştirilen farklı ölçümlerle, fotogrametrik çalışmalar için yetersiz sayıda bulunan YKN'lerinin sıklaştırılması için kullanılan bir yöntemdir (Babiker ve Akhadir, 2016).

Fotogrametrik nirengi uygulamasının grafik gösterimi Şekil 3.9'da verilmiştir.



- ▲ : Kontrol (Nirengi) Noktaları
○ : Bağlama (Fotogrametrik Nirengi) noktaları

Şekil 3.9. Fotogrametrik nirengi uygulamasının grafik gösterimi

Günümüzde fotogrametrik nirengi oldukça yaygın bir kullanıma sahip olmaktadır. Günümüzde fotogrametrik nirengi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu uygulama alanları;

Büyük, orta ve küçük ölçekli harita yapımında, koordinatları (X, Y, Z) bilinen nokta üretiminde kullanılır. Kadastro ölçümünde, mülkiyete konu olan taşınmazların, sınır koordinatlarının belirlenmesi için kullanılır. Mühendislik uygulamalarında, yol çalışmalarına ilişkin uygulamalarda kullanılır. Az da olsa jeodezik ağların sıklaştırılmasında kullanılmaktadır.

3.1.5.5. Uçuş Planlaması

Fotogrametrik amaç ile gerçekleştirilen uçuşlar daha önce hazırlanmış uçuş planlarına göre gerçekleştirilir ve ilgili haritalar ile ilişkilendirilir. Uçuş planları 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinde ve/veya sayısal ortamda düzenlenir. Bu planlarda uçuş doğrultuları, uçuş yükseklikleri ve fotoğraf alım noktaları işaretlenir.

Uçuş planı BÖHKBÜY'de (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği) "uçuş planı Madde 55- uçuş planında, yapılacak haritaların sınırları, uçuş kolonları, uçuş yönü ve uçuş yükseklikleri gösterilmeli. Sayısal ortamda hazırlanan uçuş planlarında ise resim çekim noktalarının yaklaşık X, Y, Z koordinatları belirlenir" ifadesi yer almaktadır (BÖHKBÜY, 2018).

Çekim planlanması ya çalışma alanının küçük veya orta ölçekli haritası üzerinde, ya eski zamanlarda çekilmiş olan küçük ölçekli resimler yardımıyla ya da bilgisayar üzerinde sanal ortamda farklı programlar kullanılarak sayısal biçimde hazırlanır.

Harita genel komutanlığının planlama işleri tamamen bilgisayar ortamında, planlama yazılımları kullanılarak yürütülmektedir. Bu planlama programındaki faaliyetler çizim tabanlı programlardan yararlanarak çok hassas ve sistematik bir şekilde yürütülür. Bahsedilen programda kaydedilen uçuş planı, uçakta bulunan kamera ve GPS/IMU sistemi ile beraber çalışan sisteme yüklendiğinde, plan hem resim operatörün hem de pilotun önündeki ekrana yansıtılacaktır. Bu şekilde hava aracı istenilen kolon üzerine uçurulabilmektedir.

Öncelikle haritası yapılacak çalışma alanı belirlenir. Çalışma alanı basılı haritalar veya eski resimler üzerinde işaretlenebileceği gibi sayısal ortamda da mevcut raster haritalar veya koordinatlı görüntüler üzerinde belirlenebilir. Sayısal ortamda çizilen ve belirlenen çalışma alanı uçuş planlaması programında altlık olarak kullanılabilir (Bozzini, Conedera ve Krebs, 2012).

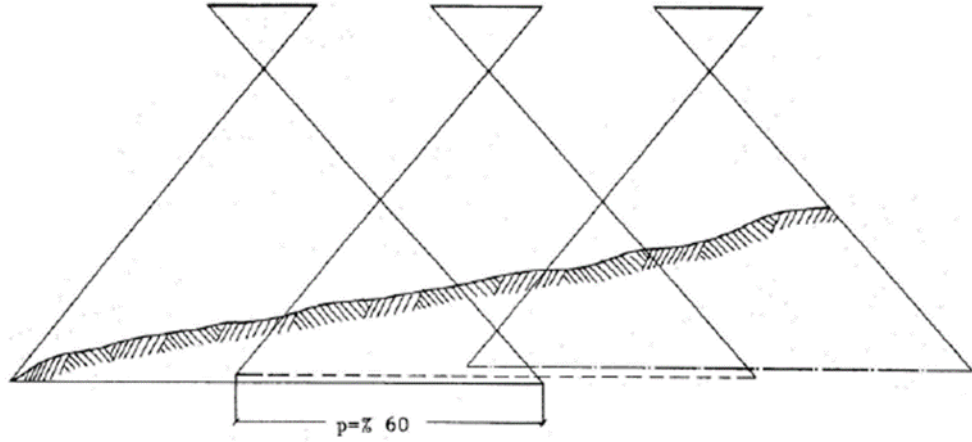
Uçuş zamanı belirlenir. Uçuş esnasında bölgenin hava koşulları ve güneş açısı hem verileri hem de sonuçları etkileyen önemli faktörlerdendir. Uçuş zamanından amaç hem yıl içindeki mevsimsel zaman hem gün içindeki çekim ve uçuş saatleridir. Uçuş normal olarak havanın sisli olmadığı ve güneş ışığının çalışma alanına dik olarak geldiği (10.00-14.00) saatleri arasında tercih edilir. Farklı saatlerde gerçekleştirilen uçuşlarda ise güneş ışığının eğik gelmesi nedeni ile resimlerde gölge oranı çok fazla olup bu gölge sonuç görüntüde ve modelde, görüntü bozukluklarına yol açacaktır. Türkiye’de resim çekimleri Nisan ayının başında Ekim ayı sonuna kadar gerçekleştirilebilmektedir (Ayyıldız, 2020).

Uçuş yüksekliği belirlenir. Çalışma sırasında kullanacağımız kameralar uçuş yüksekliğini belirlemede en önemli faktörlerdendir. Günümüzde fotogrametride en çok kullanılan kamera tipleri 150 mm ve 300 mm’lik odak uzaklığı olan kameralardır. Kamera odak uzaklığı ile uçuş yüksekliği ters orantılıdır, yani kamera odak uzaklığı küçüldükçe uçuş daha fazla yükseklikten yapılır. Dolayısıyla yüksekte yapılan uçuşlarda hassasiyet düşerken alçaktan gerçekleştirilen uçuşlarda ise hassasiyet artmaktadır. Bu sebeple küçük (hassas) çalışmalarda ve düz yerlerde yapılacak çalışmalarda odak uzaklığı küçük olan kameralar seçilmeli. Yükseklik farkı çok fazla olan çalışma bölgeleri için ise odak uzaklığı büyük olan kameralar seçilmelidir (Udin ve Ahmad, 2014).

Uçuş yönü belirlenir. Uçuş yönü de diğer hususlar gibi fotogrametrik çalışmalarda önemli bir husustur. Bu husus belirlenirken aşağıdakilere dikkat edilmelidir:

- Çalışma alanının en az kolon sayısı ile kapatılmasına,
 - Bir paftanın en uygun konumda ve en az sayıda model ile kapatılmasına,
 - Çalışma alanında bulunan vadiler, tepeler ve varsa dağlara paralel uçulmasına,
- bunun nedeni de model içinde fazla yükseklik farkı olmasını önlemektir.

Göllerde, akarsular ve deniz kıyısına paralel uçuşlar tercih edilmeli. Deniz kenarındaki çekimlerin yarım ve eksik çıkmasını önlemek için, deniz ve göl kenarındaki çekimler yapıldıktan sonra bir kolon da sahil boyunca resim çekilmelidir. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Resim kolonları

3.2. Fotogrametrik Değerlendirme Yöntemlerinin Kısa Bir Tarihi

Genel olarak fotogrametrik değerlendirmede kullanılan ekipman tekniği ve ortaya çıkan iş akışında üç aşamadan bahsedilebilir. Bir aşamadan diğerine geçiş 20 sene veya daha fazla zaman almıştır. Bahsedildiği gibi eğer bir obje noktasının üç boyutlu koordinatını elde etmek istiyorsak, bu noktaya ait ışınları araziden odak noktasına ve odak noktasından da geçirilerek iz düşüm düzlemi üzerinde yeniden oluşturmamız gerek bu prosedüre de yöneltme denilir (Doyle, 1964).

Fotogrametrinin ilk yıllarında bu işlem sadece optik-mekanik yöntemle gerçekleşirdi. Büyük, karmaşık ve pahalı enstrümanları almak için çok büyük tecrübe ve mesleki fotogrametrik operatörlere ihtiyaç vardı. Sadece resimlerin yöneltmesi değil aynı zamanda ölçüm, haritalama ve birçok diğer işlemler mekanik olarak gerçekleştirilirdi. Daha sonra bu aşama Analog Fotogrametri olarak adlandırıldı (Kottler, Rosenthal ve Falconer, 1976).

Bilgisayarların ortaya çıkmasıyla, yöneltmenin analog olarak değil algoritmik olarak düzenlenmesi formüller aracılığıyla ve bu formüllerin bilgisayarlar aracılığıyla hesaplanan parametreler (katsayılar) ile hesaplanması ve bilgisayarlarda kaydedilmesi

hedeflenmekteydi. Ekipmanlar ciddi anlamda küçüldü, fiyatları da düştü ve kolay ulaşılabilir oldular. Donanımın koordinatlarını kaydetmek için lineer ve dönme darbe sayaçlarıyla donatıldı ve fotoğrafların doğrudan bilgisayar tarafından konumlandırma yeteneğini sağlamak için servo motorlarla donatıldı. Yine de iş gerçek (analog) görüntülerle gerçekleşirdi ve analitik çizici denilen yüksek mekanik ve optik hassasiyete sahip donanım parçalarına ihtiyaç vardı, bu yüzden bu aşama Analitik fotogrametri olarak adlandırıldı (Zongjian, 2008).

Hepimizin bildiği gibi son yıllarda bilgisayarların gücü önemli derecede gelişti, dolayısıyla dijital fotoğrafları kullanarak işi direkt olarak bilgisayara yaptırma düşüncesi ortaya çıktı, çünkü artık sıradan bir bilgisayarın bile yüksek çözünürlüğe sahip dijital fotoğrafları kaydetmeye gücü yetiyor. Bu aşama günümüzün (Dijital fotogrametri) denilen aşamadır. Toplam dijital iş akışının zincirinde tek analog kısım geleneksel kameralarla çekilmiş ve filmlerde kaydedilmiş resimlerdir ve bu da en yakın zamanda son bulacaktır.

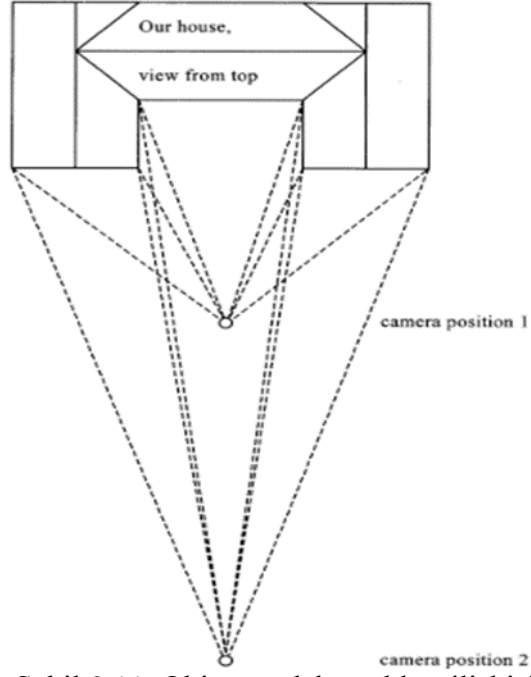
Film veya kâğıt üzerinde mevcut fotoğraflar için, yüksek hassasiyete sahip özel bir ek tarayıcıya ihtiyacımız vardır. Dünyada yüzlerce klasik hava kameraları kullanılmasına rağmen, kullanım ömrü on yıllarca süren dijital kameraları hâlâ çok pahalı ve diğer taraftan dijital bir iş akışının daha hızlı ve avantajlı olduğunu kabul etmeliyiz. Bu da esasen maliyeti önemli ölçüde azaltan bir gerçektir (GJ Grenzdörffer, Engel ve Teichert, 2008).

3.2.1. Geometrik Prensipler

3.2.1.1. Kamera Konumu ve Odak Uzaklığı

Kamera uzaklığı (yüksek uçuşta), obje ve odak uzaklığı arasındaki ilişkiyi bir yersel örnekle açıklamak istiyoruz.

Bizim hedefimiz tüm görüntü alanını kapsamak üzere bir evin resmini çekmektir. Bunu yapmak için elimizde birçok olasılık mevcuttur. Resmi büyük bir lens açısıyla yakın mesafeden çekebiliriz (Şekil 3.11'de kameranın 1.konumu gibi), veya küçük bir lens açısıyla uzak bir mesafeden resmi çekebiliriz Şeki 3.11'ide kameranın 2.konumu gibi veya bu iki konumun içinde veya dışında herhangi bir konumdan resmi çekebiliriz, peki her iki çekimin sonucu aynı olur mu? Şekil 3.12 aradaki farkı gösteriyor.



Şekil 3.11. Obje ve odak uzaklığı ilişkisi

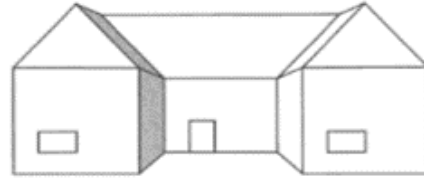


Photo taken from camera position 1

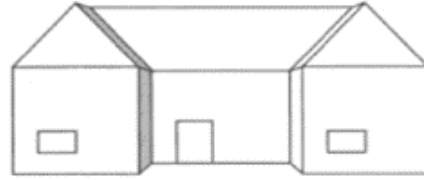


Photo taken from camera position 2

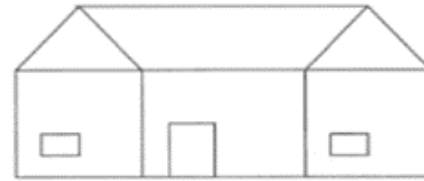


Photo taken from a position infinitely far away

Şekil 3.12. Temsili farklı lens açıları kıyaslaması

Şekil 3.12 de görüldüğü gibi farklı mesafeden ve farklı lens açıları ile çekilen resimler aynı sonucu farklı perspektiflerde göstermekte. Resimler evi aynı boyutta fakat perspektiften dolayı farklı bir şekilde temsil ediyor.

Özetle; Kamera – obje arasındaki mesafe ne kadar küçülürse ve lens açısı ne kadar büyürse merkezi perspektiften dolayı deplasman (yer değiştirme) o derece büyük

olur. Kamera – obje arasındaki mesafe ne kadar büyürse ve lens açısı ne kadar küçülürse, sapma o derece küçük olur.

Olası teorik bir durumda, eğer kamera objeden olabildiğince uzak olsa ve açı da olabildiğince küçük olsa (“süper telefoto”), projeksiyon ışınları yaklaşık paralel olmuş olur ve sapma yaklaşık sıfır olur. Bu durum ise yeryüzünden yüzlerce kilometre uzaktaki yörüngelerinde bulunan uydular yardımıyla çekilen fotoğraflara benzer. Neredeyse paralel projeksiyon ışınlarına sahiptir ama dünya eğriliğinden gelen etkiler de üzerinde bulunmaktadır (Abraham ve van Dokkum, 2014).

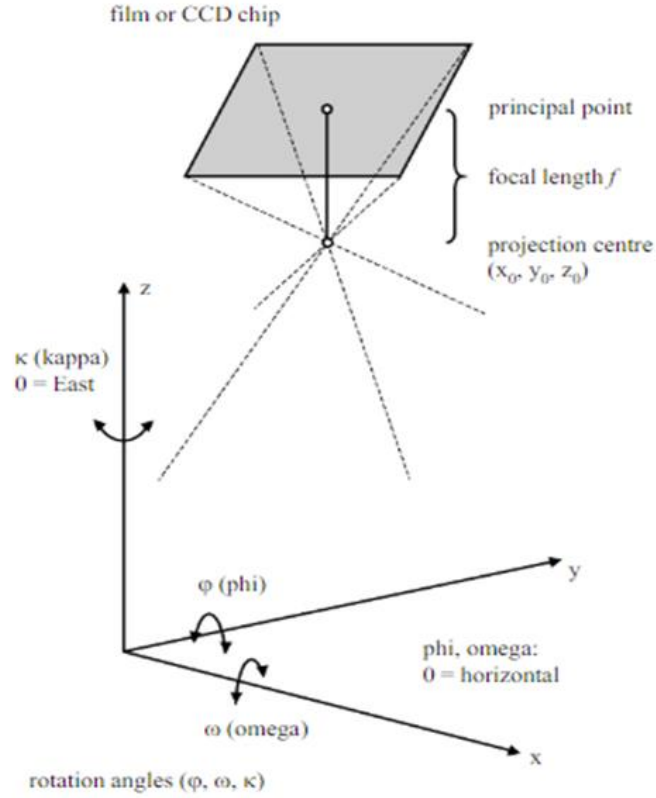
Başka bir durum ise 180 derece açılış açısına sahip balıkgözü lensleri ile çekilen resimlerdir bazen buna tam gökyüzü sistemi de denir.

Sonuç olarak: eğer tek bir hava görüntüsünü belirli bir harita projeksiyonuna dönüştürmek istiyorsak bunun en ideal yolu, sapmayı küçültmek için resmi olabildiğince yüksekten çekmektir. Uydu görüntülerinde de benzer bir durum söz konusudur ve diğer yandan radyal simetrik sapma’yı resim çiftlerini stereoskopik olarak görüntülemek ve ölçmek için önkoşuldur, dolayısıyla uygulamada kullanılacak hava veya yersel fotoğrafların çoğunun geniş açılı kamera ile çekilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi ise sapmaya bağlı olarak nispeten yüksek (engebeli) göstermektir (Dosil, Pardo, Fdez-Vidal, García-Díaz ve Leborán, 2013).

3.2.1.2. Resim Yönelmesi

Daha önce belirtildiği gibi, bizim ilk yapacağımız iş her bir resmin yönelmesini düzeltmektir, bunun anlamı ise obje (arazi) koordinat sisteminde kullanacağımız resimlerin kesin konumunu bilmek zorundayız.

Şimdi şöyle düşünelim: eğer biz projeksiyon merkezinin koordinatını üç dönme açılarını (X, Y, Z) ekseninde ve kamera odak uzaklığını biliyor isek o zaman resmin konumu tamamen bellidir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Odak uzaklığı, projeksiyon merkezi, dönme açıları

Bundan dolayı bizim ilk hedefimiz bu 6 dış yönelme elemanları ($x_0, y_0, z_0, \phi, \omega, \kappa$) bulmaktır.

Hava resimleri konusunda, ϕ (fi) ve ω (Omega) değerleri sıfıra yakın olurlar ve bu durum için kullandığımız terim nadir resim terimidir. Ama pratikte hava aracının küçük hareketlerinden ve rüzgârdan dolayı böyle bir şey mümkün değildir. Şu kuralı unutmamalıyız ki “Gerçek hayatta hiçbir şey kesin değildir” κ (kapa) değeri arazi koordinat sisteminin x-ekseninden dolayı doğu=sıfır’ dır. Saatin tersi yönünde grad olarak gittiğimizde “kuzey=100”, “Batı=200”, “Güney=300” gradtır. Şunu da unutmayalım ki sadece tam yatay bir hava aracıyla çekilmiş kesin nadir fotoğraflarının tek bir ölçeği olabilir, başka bir deyişle ϕ , ve ω değerlerinin sıfır olmaması veya arazinin şekli (örneğin engebesi) fotoğraflarda ölçek değişimine yol açmaktadır (Kraus, 2011).

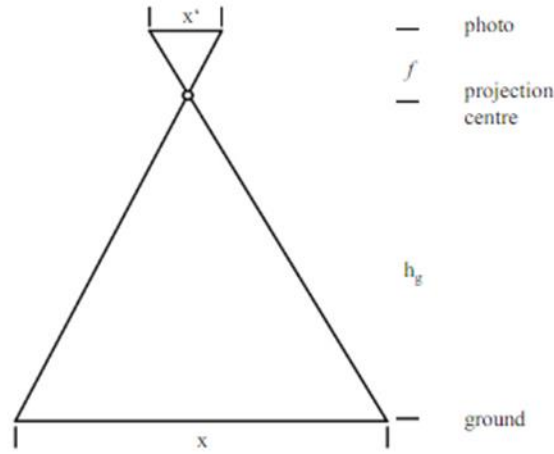
Eğer Mb resmin asıl ölçeği ise veya mb asıl ölçek sayısı ise, hg projeksiyon merkezinin yerden yüksekliği ve f odak uzaklığı ise aşağıdaki formülü kullanabiliriz.

$$mb = hg / f \quad \text{veya} \quad Mb = 1 / mb = f / hg$$

Şimdi karşılaşılabilecek olduğumuz farklı koordinat sistemlerine bir göz atalım. İlk olarak kameranın kendine ait iki boyutlu bir koordinat sistemi var, Bu geleneksel olabildiği gibi dijital da olabilir (resim koordinat sistemi). İkinci olarak film veya kağıt

materyali kullandığımız zaman iki boyutlu piksel koordinat sistemine sahip bir tarayıcıya ihtiyacımız var, ki bu da fotoğrafı aktaran analitik çizicinin koordinat sistemine eşdeğer koordinat sistemidir ve son olarak sonuçlarımızı üç boyutlu obje (arazi) koordinat sisteminde örneğin normal bir dikdörtgen sistemi, Gauss Kruger veya UTM'nin ilgili elipsoide bağlanılarak yüksekliği göstermesi gibi göstermeliyiz (örnek olarak Almanya'da Gauss Kruger sistemi Bessel elipsoidine ve UTM ise Hayford elipsoidine bağlanılmış) (Lapaine ve Tutić, 2001).

Biraz sonra da göreceğimiz gibi, üç dönme açısının değerleri onların hesap sırasına bağlıdır, sık kullanılan sıralama türü ise (ϕ, ϕ', K) veya (ϕ, ϕ, K) şeklindedir. Çoğu yazılım paketleri bu sıralamalar arasında açı değerlerinin dönüşüm seçeneğine sahiptir.



Şekil 3.14. Odak uzaklığı f , yerden yükseklik (h_g) ve fotoğraf ölçeği (f/h_g) arasındaki ilişki

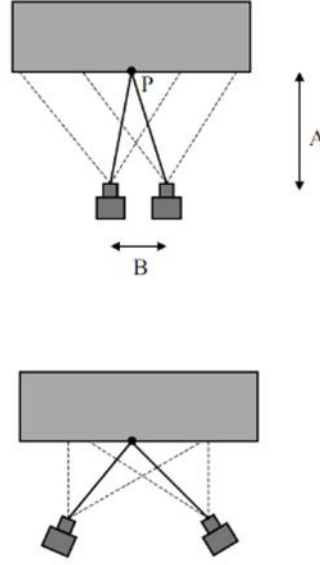
3.2.1.3. Bağlı Kamera Konumu

Objeler (arazi) üç boyutlu koordinatını elde etmek için, daha önce de bahsedildiği gibi farklı açılardan çekilmiş en az iki tane fotoğrafın elimizde olması gerekmektedir. Bu ise bağlı kamera konumuyla ilgili hangi kurallara uymamız gerekiyor sorusuna yol açar (Remondino, Barazzetti, Nex, Scaioni ve Sarazzi, 2011).

Şekil 3.15'e baktığımızda $P(x, y, z)$ noktası $[p' \rightarrow p]$ ve $[p'' \rightarrow p]$ ışınlarının kesişiminden elde edilir. Sonucun doğruluğunun iki ışın arasındaki açının doğruluğuna bağlı olduğunu rahatlıkla anlayabiliriz. Bu açı ne kadar küçük olursa hassasiyetimiz de o derece düşük olacaktır.

Resim noktalarının (p' ve p'') her ölçümünün büyük veya küçük hata içerdiğini varsayalım hâlbuki açı küçük olduğu zaman çok küçük hataların bile özellikle Z' 'de çok büyük hatalara yol açacağını biliyoruz ve fotogrametride geniş açılı kameraların

tercih edilmesinin temel sebebi budur (Hastedt, Ekkel ve Luhmann, 2016).



Şekil 3.15. Kamera konumu paralel (üst görsel), kamera konumu yakınsak (alt görsel)

A obje ve kameralar arasındaki mesafe olsun ve B ise iki kamera arasındaki uzaklık olsun (veya iki kamera konumu arasındaki uzaklık olsun, tek kamera kullanılan durumlar için) o zaman iki projeksiyon ışınları arasındaki açı (sürekli çizgi) A/B oranına eşittir ve hava fotogrametrisinde buna yükseklik taban oranı denilmektedir ve B (aynı zamanda taban olarak bilinen) mesafesini arttırarak hesaplanan koordinatların $P(x, y, z)$ hassasiyetini arttırabiliriz. Bindirme alanının (stereo model) çok küçük olduğu durumlarda yakınsak (insan gözünün şaşı bakışı, durumu) kamera konumunu kullanabiliriz. Bu yöntemin dezavantajı ise resimde daha fazla perspektif distorsiyonun meydana gelmesidir. Unutmayalım ki paralel durum stereo görüntülemesi ve otomatik yüzey rekonstrüksiyonu için iyi bir seçenektir. Yakınsak durum ise özellikle Z’de daha fazla hassasiyet gerektirir (Kraus, 2011).

3.2.2. Tek Resim Değerlendirilmesi

Merkezi iz düşüm ilkelerinden de bilindiği gibi üç boyutlu bir uzay 2 boyutlu düzlem iz düşüm yani tek bir resimden elde edilemez. Fakat projektif bağıntılar yardımıyla tek bir resim kullanılarak düzlem nesne yeniden oluşturulabilir. Değerlendirme sürecinin tek tek resimlerden yapılmasına düşeye çevirme veya rödresman denir (Rock, Ries ve Udelhoven, 2011).

Hava fotogrametrisinde objenin düzlem olması, çalışma alanının düzlem olması anlamına gelmektedir. Yer yüzünde tam düzlem şeklindeki arazileri bulmak mümkün

değilse de düzleme çok yakın yüzeyler bulunabilir. Bu tür yüzeylerde, tek bir hava resmi kullanılarak, arazinin X, Y koordinatları yani planimetrik konumu elde edilebilir. Bu yöntemle değerlendirmenin yapılabilmesi için de kullanılan hava resminin dış yöneltme elemanlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu elemanlar genellikle bilinmez, dolayısıyla resimde uygun dağılıma sahip üç veya dört adet yer kontrol noktası kullanılır. Sonuç olarak düz ve düze yakın alanlar rödresman ile değerlendirilebilir buna da tek resim değerlendirme denilir (Toprak, 2014).

Tek fotoğraf değerlendirilmesi günümüze kadar aşağıdaki yöntemler kullanılarak gelmiştir:

- Grafik yöntem /kâğıt şerit yöntemi,
- Optik rödresman,
- Optik-fotoğrafik rödresman,
- Sayısal (analitik) yöntem.

Günümüzde ise analitik yöntemle tek resim değerlendirilmesi gerçekleşmektedir, fakat kullanılan herhangi bir yöntemde, aşağıdaki iki koşul mutlaka sağlanmalıdır:

- Arazinin düz olması,
- Fotoğrafın uygun noktalarında en az 3 adet kontrol noktası veya fotoğrafın her dört köşesinde birer kontrol noktasının yerleştirilmesi gerekmektedir (Chiang, Tsai ve Chu, 2012).

3.2.3. Çift Resim Değerlendirilmesi

Tek bir resimden yükseklik bilgileri yeterli hassasiyette elde edilemez, üçüncü boyut ancak aynı alana ait farklı konumlardan çekilen resimlerle elde edilebilir. Resim çiftleri yardımıyla metrik bilgilerin elde edilmesine çift resim değerlendirme veya stereo değerlendirme denir.

Günümüze kadar uygulanan stereo değerlendirme yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- Analog,
- Analitik,
- Sayısal (Dijital) stereo değerlendirme yöntemleri (Poozesh, Sarrafi, Mao, Avitabile ve Niezrecki, 2017).

Günümüzde kullanımı olmayan analog ve analitik stereo değerlendirmede analog resimler kullanılırdı.

Söz konusu resimler harita çizmek veya mevcut haritaları güncelleştirmek için kullanılırdı.

Analog stereo değerlendirme aletlerinde, çizim işlemleri aletlerin içinde bulunan sistem yardımıyla gerçekleştirir. Diğer stereo değerlendirme aletlerinde ise çizim farklı ve ayrı sistemlerle yapılmaktadır (Kottler vd., 1976).

Günümüzde kullanılan sayısal (Dijital) stereo değerlendirme sisteminde ise analog değerlendirme sisteminin aksine sayısal (Dijital) resimler kullanılır.

Değerlendirme hangi yöntemle yapılırsa yapılsın, söz konusu işleme geçmeden önce yöneltme işleminin yapılması gerekmektedir. Resimlerin çekim anındaki konumlarının yeniden elde edilmesi işlemine, resimlerin yöneltmesi denir.

Fotogrametride ölçüm ve diğer işlemler için stereo değerlendirme kullanılacaksa, her şeyden önce aşağıda belirtilen fotogrametrik modelin zorunlulukları yerine getirilmeli (Kraus, 2011):

- Resim asal noktası ve kamera odak uzaklığının resim koordinat sisteminde tanımlanması,
- Projeksiyon merkezinin arazi koordinat sisteminde tanımlanması,
- Resim çekim anındaki dönüklüklerin tanımlanması,
- Arazi koordinat sistemi ile bağlantıyı sağlamak için kontrol noktaların tanımlanması (stereo için en az 3 nokta).

3.2.4. Fotogrametrik Değerlendirmede Yöneltme İşlemleri

Fotogrametride kullanılan bütün yöntemlerde yöneltme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yöneltme resmin çekim anındaki konumunun yeniden elde edilmesi işlemidir. Söz konusu işlem iç ve dış yöneltme olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Dış yöneltme ise karşılıklı ve mutlak olmak üzere iki adımda gerçekleşir.

Genel olarak yöneltme işlemi iki adımdan oluşmaktadır:

1. İç yöneltme
2. Dış yöneltme

Dış yöneltme aynı zamanda kendi bünyesinde:

- a) karşılıklı yöneltme,
- b) Mutlak yöneltme olarak ayrılmaktadır.

3.2.4.1. İç Yöneltme

İç yöneltme işlemi, çekimi yapan kameranın özelliklerinin değerlendirme aletine getirilmesi işlemi olarak ifade edilir. Sayısal kameralarda ise bu işlem kalibrasyon raporunda bulunan kamera bilgilerinin sisteme tanımlanması ile gerçekleştirilir. Başka bir deyişle kamera parametrelerinin belirlenmesi işlemine iç yöneltme işlemi denir ve

iç yöneltme elemanları ise aşağıdaki gibidir (Aktaş, Çınar, Birdal ve Türk, 2016; Yaşayan, Uysal, Varlık ve Avdan, 2011) :

- kameranın odak uzaklığı
- asal noktanın koordinatları (x,y)
- projeksiyon merkezi.

3.2.4.2. Dış Yöneltme

Dış yöneltme resim alım anındaki kameranın konum ve açılal dönüklüğünün belirlenmesi işlemidir, karşılıklı ve mutlak yöneltme işlemlerinin aynı anda çözülmesi işlemi olarak da bilinir (Yaşayan, Uysal, Varlık ve Avdan, 2011).

3.2.4.3. Karşılıklı Yöneltme

Karşılıklı yöneltmede resim çiftleri birbirine göre çekildikleri anın konumuna getirilerek, resimlerdeki eğiklik ve dönüklük giderilir. Bu yöneltme ile objenin ya da arazinin 3B modeli elde edilir. Fakat bu model objeye veya araziye paralel ve ölçekli değildir (Ziba ve Yılmaz, 2019).

Karşılıklı yöneltme her iki resimden elde edilen ışın destelerinin birbirine göre konumlarını ve duruşlarını ayarlar ve her iki resimdeki eşlenik noktalardan gelen ışınların birbiri ile kesişmesini sağlar. Karşılıklı yöneltme ile bir uzay modeli üretilebilir. Karşılıklı yöneltme işlemi sonunda beş bağımsız dış yöneltme elemanı (κ_1 , κ_2 , ϕ_1 , ϕ_2 , ω_2) elde edilir (Paar ve Kontrus, 2006).

3.2.4.4. Mutlak Yöneltme

Karşılıklı yöneltme yardımıyla üretilen uzay modelinin, uzaydaki konumu, ölçeği ve yöneltmesi belirsizdir. Bu modelin arazi koordinat sisteminde objeye ait koordinat değerlerini, ötelenerek ve döndürerek model koordinat sisteminin çalışacağı şekle getirilmeli. Bu da üç boyutlu benzerlik dönüşümüdür. İki koordinat sistemi arasında üç dönüklük (ϕ ω κ), üç öteleme (X_0 Y_0 Z_0) ve bir ölçek (λ) söz konusudur. Üç boyutlu benzerlik dönüşüm bağıntıları Şekil 3.16'da verilmiştir (Yaşayan vd., 2011).

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

Şekil 3.16. Üç boyutlu benzerlik dönüşüm bağıntısı

4. UYGULAMA

4.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Donanımlar

İHA ile üç boyutlu fotogrametrik model üretimi Sivas ili, Gürün ilçesinin Şuğul vadisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Sivas, Gürün, Şuğul vadisi çalışma alanı 1 için tanımlanan çalışma sınırının Google Earth üzerinde gösterimi

Çalışma alanı 1, kayalık bir bölgede bulunmaktadır. Çalışma alanı 1’ de veri toplama platformu olarak döner kanatlı 4 pervaneli DJI Phantom 4 Pro tipi İHA kullanılmıştır (Şekil 4.2). Phantom 4 Pro tipi İHA’nın kamerası Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2. Kullanılan donanımlardan Phantom 4 PRO

4 pervaneli DJI Phantom 4 PRO insansız hava aracı, 20MP Mega Piksel Çözünürlükte 4K fotoğraf çekebilen, 11.6 stop Dinamik aralığa sahip 1”inç CMOS sensora sahiptir, 11.6 Stop gibi geniş dinamik aralığa sahip olması çekim sırasında patlayan görüntü sorununu ortadan kaldırmakta ve aynı zamanda araç hareket halindeyken “Jöle etkisi” olarak bilinen hafif titreme etkisini de resimlerde son derece azaltmaktadır. Kamera lensinin Diyafram açıklığı ise manuel olarak ayarlanabilir

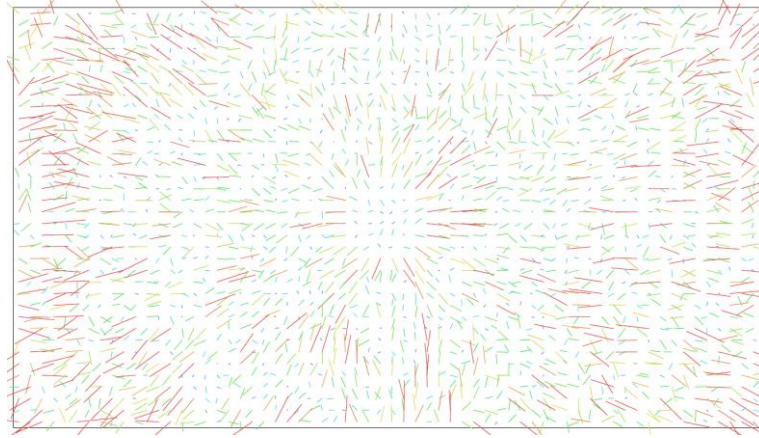
özelliğe sahiptir.

Yukarıda bahsedilen özellikler fotogrametri açısından ışın, aberasyon ve distorsiyon hatalarına karşı önlemler olup ve aynı zamanda Yer Kontrol Noktalarının ve arazideki bütün objelerin görülmesini sağlamakta ve böylece daha sağlıklı ve güvenilir veri elde etmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.3. Phantom 4 PRO tipi insansız hava aracı kamerası

Fotogrametrik çekim sırasında çekilen resmin bir pikseldeki ışın yansıma ve absorbe durumu ve kullanılan kameraya ait kalibrasyon parametrelerinin katsayıları ve korelasyon değerleri Şekil 4.4 ve Tablo 4.1'de verilmektedir.



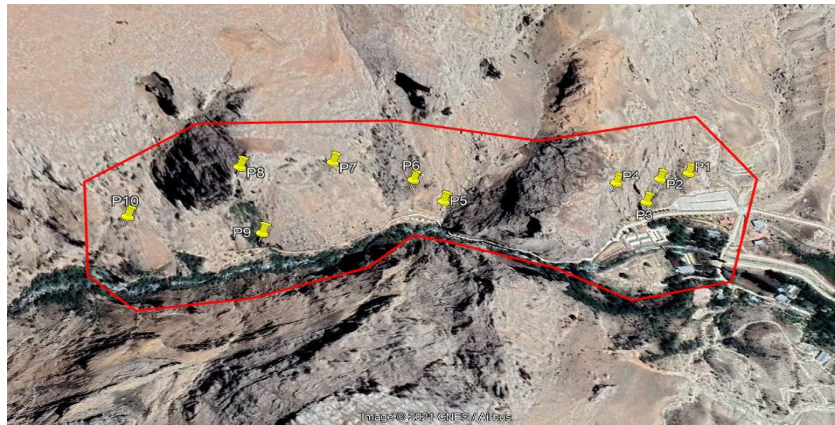
Şekil 4.4. Çekilen resimlerin bir pikselindeki ışın yansıma ve absorbe edilme durumu

Tablo 4.1. Agisoft/Metashape ile Verilen Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Katsayıları ve Korelasyon Değerleri

FC6310(8.8mm)												
Type	Resolution		Focal length				Pixel Size					
Frame	5472*3078		8.8mm				2.53*2.53µm					
	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3656.51	0.04	1.00	0.00	0.20	-0.28	0.04	-0.21	0.25	0.23	0.00	-0.19
Cx	-4.57	0.08		1.00	0.01	-0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.94	-0.01
Cy	18.41	0.06			1.00	-0.21	0.00	-0.03	0.02	-0.02	0.00	0.85
B1	-7.25	0.02				1.00	0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.01	0.06
B2	0.36	0.02					1.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	0.01
K1	0.01	0.01						1.00	-0.97	0.91	0.00	-0.04
K2	-0.01	0.01							1.00	-0.97	0.91	0.02
K3	0.02	0.01								1.00	0.00	-0.02
P1	-0.01	0.01									1.00	-0.01
P2	-0.01	0.01										1.00

4.1.1. Yer Kontrol Noktalarının Tesisi ve Ölçümü

YKN'lere uygun yer seçmek için öncelikle çalışma alanı Şekil 4.5'te görüldüğü gibi Google Earth uygulaması üzerinden incelenmiş ve YKN'lere, hem dağılım açısından hem de resimlerde görünür olmaları açısından uygun yerler seçilmiştir. Yer kontrol noktaları tesisi edilirken yer kontrol noktalarının homojen dağılımında tesisi için çevrimiçi haritalar ve sanal küre kullanılarak yaklaşık yerleri tespit edilmiştir. Resimlerde yer kontrol noktalarının görüntülenmesini engelleyecek bina, ağaç vb doğal ve yapay nesnelere yakın olmamasına dikkat edilmiştir. Yer kontrol noktaları çalışma alanının tamamını kaplayacak şekilde dağıtılmıştır. YKN noktaları işaretleri en az 60°'lik görüş açısına sahip olacak şekilde tesisi edilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışma alanının Google Earth üzerindeki görünümü

Yukarıdaki ilkelere uygun bir şekilde çalışma alanına 9 adet YKN tesis edilmiş ve bir sabit ve bir gezici olmak üzere RTK sistemi ile ölçülmüşlerdir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. RTK (CHC X91 GNSS) sabit ve gezici cihazları ve yer kontrol noktalarının arazideki işaretlemeleri

İlk önce RTK sabit istasyonu için CORS ile bir poligon noktası tesis edilmiş olup GPS bu nokta üzerine kurulmuştur. Ardından gezici GPS/GNSS ile yer kontrol noktaları (Tablo 4.2) ve gerekli diğer alımlar gerçekleştirilmiştir.

YKN'lerin tesisi bittikten sonra, bu çalışmada mutlak değer olarak kabul edeceğimiz YKN'li modelin doğruluğunun kontrol edilmesi için arazide belirli bölgelerin uzunluğu ve alanı da ölçülmüştür. Daha sonra uçuşa başlanmıştır. Uçuş DJI Phantom 4Pro model insansız hava aracı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7). Uçuş sonucunda arazinin 200 adet oblik ve 116 adet nadir resmi olmak üzere toplam 320 adet resim çekilmiştir.

Tablo 4.2. Ölçülen Yer Kontrol Noktalarının 3 Derecelik Dilimde GRS80 Elipsoidi Üzerinde İTRF96 Datumundaki Koordinatları

Point No	Y (m)	X (m)	H (m)
P.1	607223.539	4292394.086	1401.258
P.2	607217.702	4292407.654	1409.344
P.3	607141.923	4292390.866	1394.211
P.4	607094.008	4292376.559	1391.703
P.5	606994.953	4292671.055	1446.086
P.6	606986.964	4292597.873	1407.067
P.7	606845.780	4292703.114	1445.776
P.8	606793.686	4292683.833	1415.525
P.9	606664.304	4292784.330	1447.985



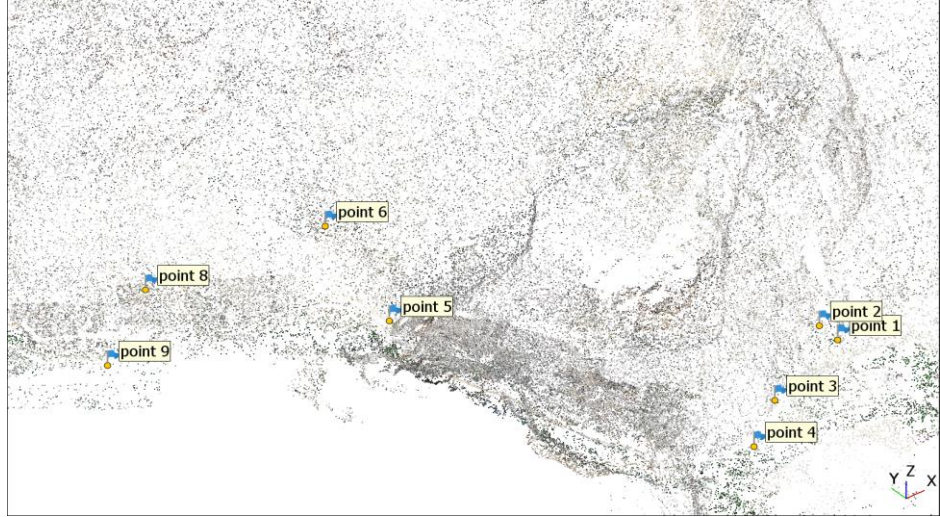
Şekil 4.7. 4 Pervaneli DJI Phantom4 PRO model insansız hava aracı

Fotogrametrik değerlendirme için Agisoft Metashape 1.5.2 model paket programı kullanılmıştır.

4.1.2. 3Boyutlu Modelin Hazırlanma ve Fotogrametrik Değerlendirme Aşamaları

4.1.3. Resimlerin Yazılıma Tanımlanması

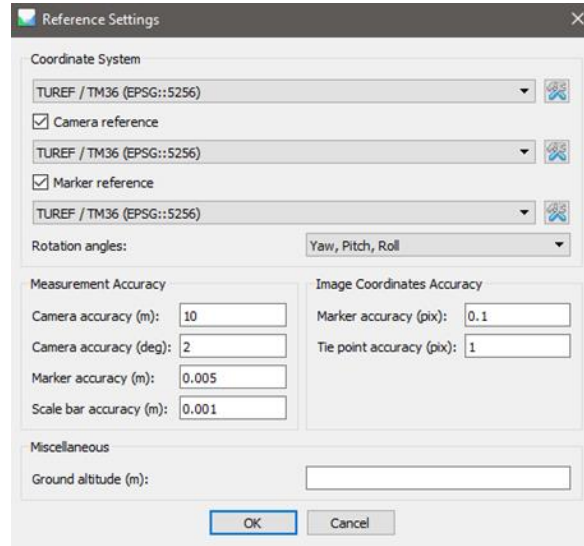
Öncelikle resimler yazılımı yüklenmiş ve ardından koordinat sistemi yersel ölçümün yapıldığı sisteme dönüştürülmüştür (İTRF96 36-3). Daha sonra görüntü eşleştirmesi gerçekleştirilmiştir. Görüntü eşleştirme hususunda her resim yazılım tarafından 40000 noktaya ayrılarak en iyi 4000 noktası seçilmiştir ve bu görüntü eşleştirmesinden Şekil 4.8’de olduğu gibi 225,865 adet bağlama noktaları (Tie Points) elde edilmiştir.



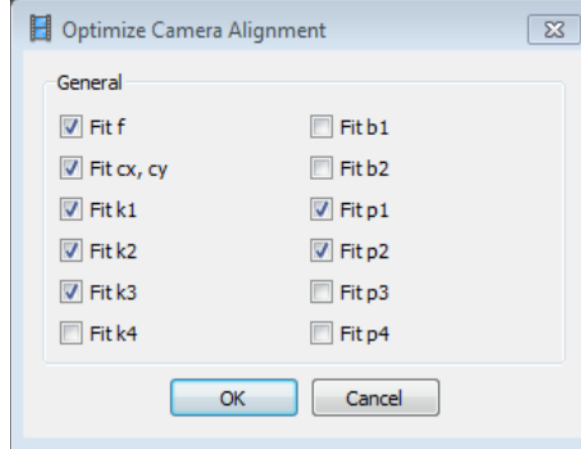
Şekil 4.8. Görüntü eşleştirmesi sonucu oluşan bağlama noktaları (Tie points)

4.1.3.1. Görüntü Eşleştirmelerin Dengelenmesi

Optimizasyon işlemi küçük kareler yöntemiyle demet dengelemesi işlemini gerçekleştirerek kamera iç ve dış yönelmesini hesaplar ve kamera lens distorsiyonlarını düzeltmektedir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da bu işlemler gösterilmiştir. (Padró, Muñoz, Planas ve Pons, 2019).



Şekil 4.9. Görüntü eşleştirmenin iyileştirme ayarları ve sıra ile optimizasyon işlemlerin gerçekleştirilmesi.



Şekil 4.10. Optimizasyon ayarları

Optimizasyon işleminde kullanılan parametreler aşağıda açıklanmıştır.

F:	Kamera Odak Uzaklığı (x, y)
Cx, Cy:	Ana Noktanın Merkezi (x, y)
K:	Lens Merkezinin Distorsiyonu (Radial Distorsiyon)
P Değerleri:	Lens Uyşmazlığı (Tanjant Distorsiyon)
b Değerleri:	Kare Olmayan Pikselleri Telafi Etmek için

ve alt kısımda dengelemede kullanılan iterasyon sayısı x işareti ile bir pencerede verilmiştir ve 50 adet iterasyon gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11).

```

2019-05-05 12:36:47 OptimizeCameras: f, cx, cy, k1-k3, p1, p2, adaptive fitting = 0
2019-05-05 12:36:47 Optimizing camera locations...
2019-05-05 12:36:48 adjusting: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx 0.480689 -> 0.476829
2019-05-05 12:38:58 coordinates applied in 0 sec
2019-05-05 12:38:58 Finished processing in 130.689 sec (exit code 1)
>>> |

```

Şekil 4.11. Dengelemede iterasyon sayısını gösteren pencere (İterasyon sayısı x ile gösterilmektedir)

Sağ taraftaki kolonlarda projections ve Error (pix)'e baktığımızda da değerlerinde iyileştirmeler görüyoruz, Projections'de (her resimde nokta sayısı)'nın 100'ün altına düşmemesi ve Error (pix)'de 0.3 değeri yakalamak hedeflenmektedir (Şekil 4.12) (Padró vd., 2019).

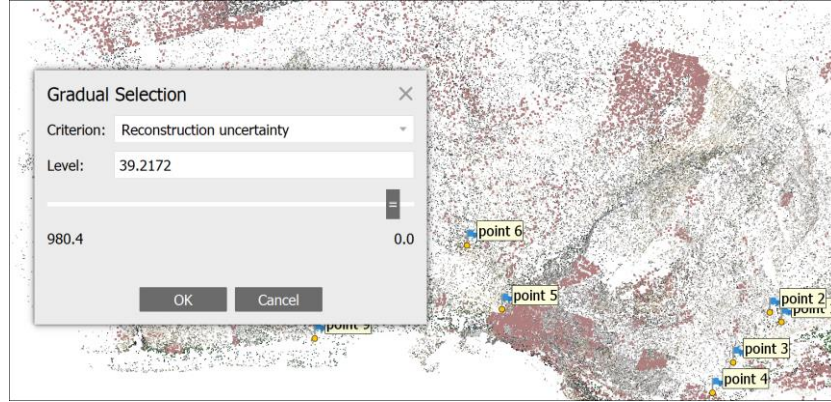
Cameras	Projections	Error (pix)	Error (m)
<input checked="" type="checkbox"/> DSC03393_geotag.JPG	24807	0.883	12.498443
<input checked="" type="checkbox"/> DSC03396_geotag.JPG	17528	0.861	11.492616
<input checked="" type="checkbox"/> DSC03392_geotag.JPG	26642	0.846	13.411317
<input checked="" type="checkbox"/> DSC03394_geotag.JPG	25653	0.838	11.268666
<input checked="" type="checkbox"/> DSC03395_geotag.JPG	24191	0.827	11.983657

Şekil 4.12. Projections ve Error(pix)'in görünümü

Dengelemedeki hataların azaltılması için yazılımda Gradual Selection seçeneğinden yararlanılır ve bu işlem 3 aşamada aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

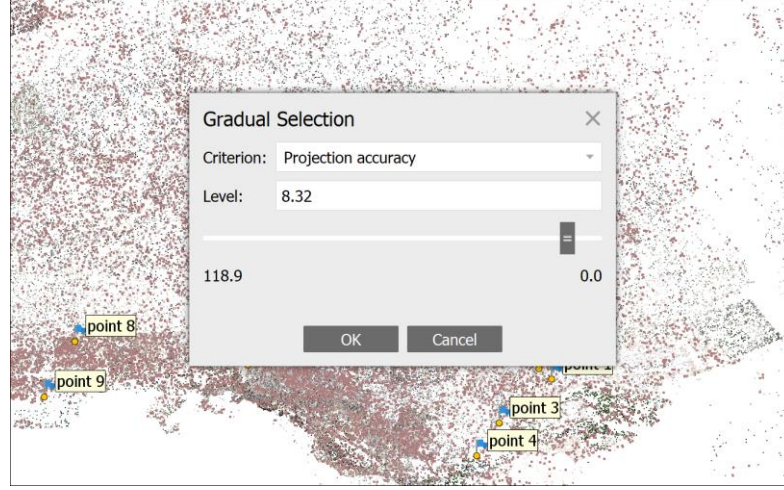
- Belirsizliklerin düzeltilmesi - Zayıf geometriye sahip noktaların silinmesi
- Projeksiyon hassasiyeti - Eşleştirme sürecindeki piksel hatalarından dolayı meydana gelen kötü noktaların silinmesi
- Projeksiyon hataları - Piksel artık hatalarından meydana gelen kötü noktalarının silinmesi

Öncelikle belirsizliklerin düzeltilmesi işlemini gerçekleştiriyoruz, bu seçenikle zayıf geometriye sahip noktaları sileceğiz Gradual Selection sekmesinden Reconstruction Uncertainty seçeneğine tıklarız ve hedef 10'a ulaşmaktır fakat çok fazla nokta seçilecekse o zaman 50'ye kadar gelinmesi yeterlidir (Şekil 4.13).



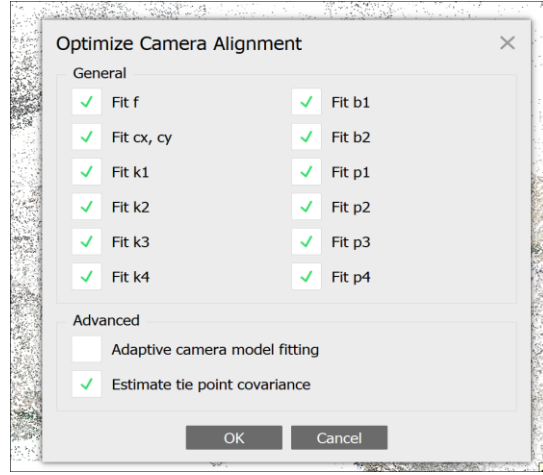
Şekil 4.13. Belirsizliklerin düzeltilmesi

Bu işlemden sonra optimizasyon işlemi tekrarlanır. Daha sonra projeksiyon hassasiyeti iyileştirilecektir. Dolayısıyla Gradual Selection sekmesinden Reprojection Accuracy seçilir (Şekil 4.14).



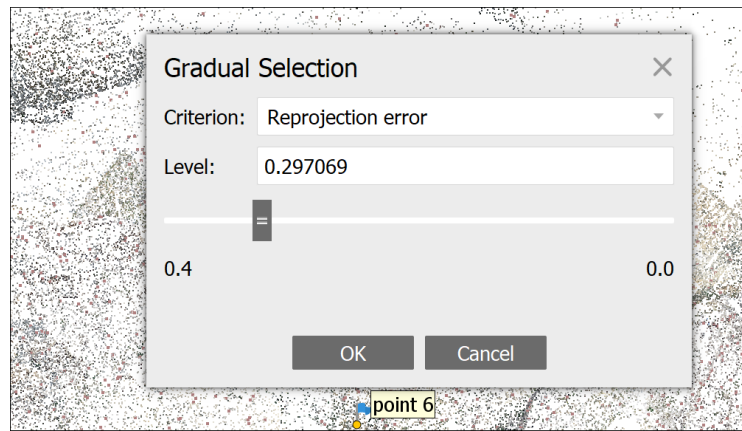
Şekil 4.14. Projeksiyon hassasiyeti düzeltilmesi

Tekrar optimizasyon işlemi çalıştırılır ve bütün parametreler seçilir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Optimizasyon işlemi

Ardından projeksiyon hatalarında düzeltme getirmek için yine Gradual Selection sekmesine tıklarız buradaki hedef ise 0.3 hassasiyetine ulaşmaktır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Projeksiyon hataları düzeltilmesi

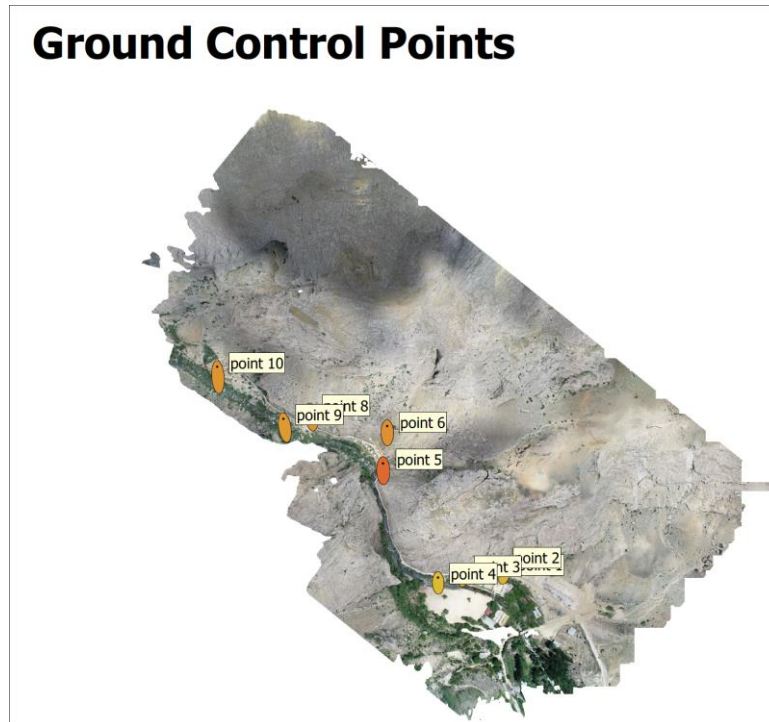
4.1.3.2. YKN'lerin Yazılıma Tanımlanması

Dengeleme ve düzeltme işlemleri yapıldıktan sonra, YKN'ler yazılıma tanımlanır. Sıra ile resimlerde yerleri bulunarak Şekil 4.17'de gösterildiği gibi işaretlenir.



Şekil 4.17. Yer kontrol noktalarının resimler üzerinde işaretlenmesi

Bütün YKN'ler resimlerde yerlerine konulmuştur, eksik görünen veya görünmeyen resimlerde ise YKN pasif hale getirilmiştir. YKN'lerin konumları yazılım tarafından verilen raporda görüntülenmiş (Şekil 4.18) ve hataları hesaplanmıştır (Tablo 4.3)



Şekil 4.18. YKN'lerin modelde görünümü

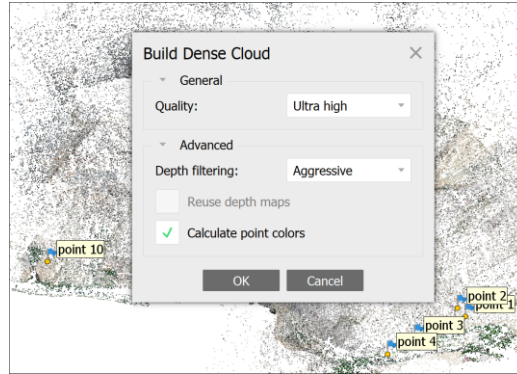
Tablo 4.3. Yazılım Tarafından Yer Kontrol Noktaları İçin Hesaplanan Hata Miktarları

Label	X Error(cm)	Y Error (cm)	H Error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 1	1.273	1.163	-2.676	3.184	0.320 (17)
point 2	-0.265	-1.345	1.950	2.384	0.299 (21)
point 3	-2.428	1.455	2.572	3.825	0.333 (15)
point 4	1.162	-1.346	-1.782	2.518	0.198 (22)
point 5	0.637	0.363	1.899	2.036	0.117 (5)
point 6	-0.113	-0.228	-1.186	1.213	0.201 (17)
point 7	-0.694	-0.402	0.301	0.858	0.087 (5)
point 8	0.479	-0.046	-0.851	0.977	0.067 (6)
point 9	0.017	0.190	0.491	0.527	0.063 (7)
Total	1.058	0.912	1.727	2.221	0.246

Görüldüğü gibi X’de 1.06 cm, Y’de 0.91 cm ve H’de ise 1.7cm hata mevcuttur.

4.1.3.3. Nokta Bulutu Üretimi

YKN’ler yerleştirildikten sonra yoğun nokta bulutu üretilmiştir, arazi dağlık ve engebeli olduğu için Aggressive seçeneği seçilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Yoğun nokta bulutu üretim aşaması

Uzun zaman aralığından sonra nokta bulutu hazırlanmış ve sonuç olarak 31,123,499 adet nokta üretilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. 31,123,499 nokta içeren nokta bulutu

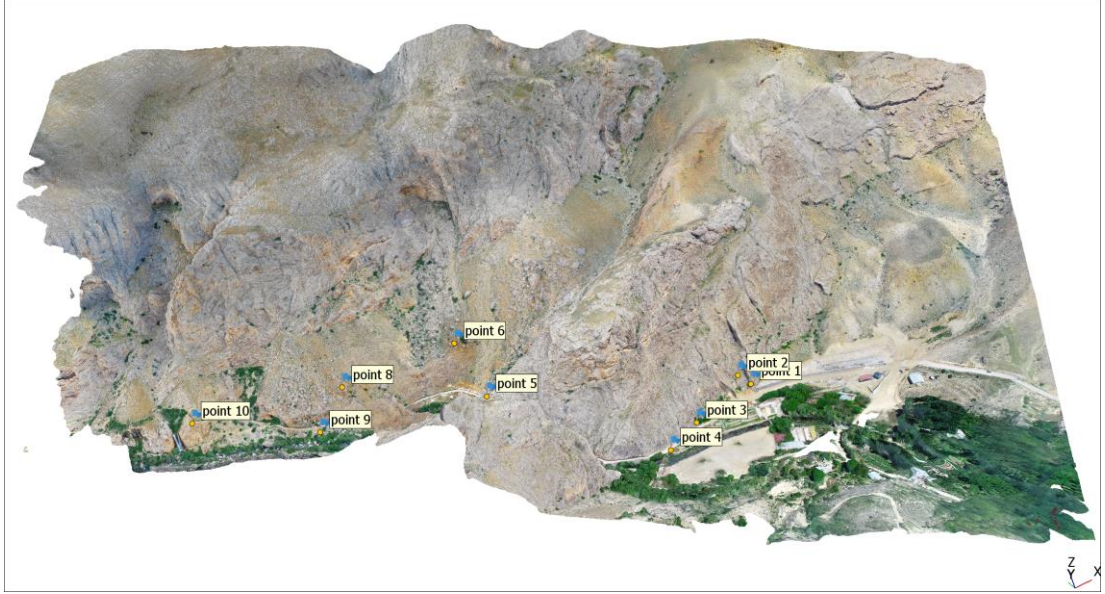
4.1.3.4. Modelin Üretimi

Bu aşamada nokta bulutundan poligon ağı (mesh) modeli üretilmiştir (Şekil 4.21).

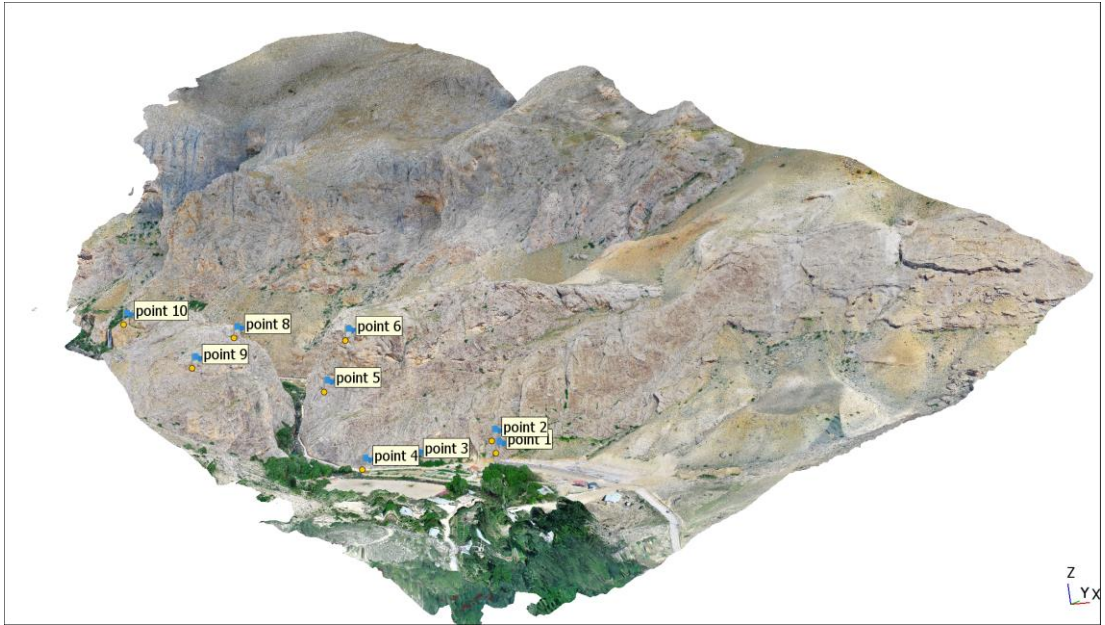


Şekil 4.21. Nokta bulutundan üretilen poligon ağı (mesh) modeli

Poligon ağı üretildikten sonra nokta bulutuna dayalı olarak Texture kaplanmış üç boyutlu model üretilmiştir (Şekil 4.22, Şekil 4.23).

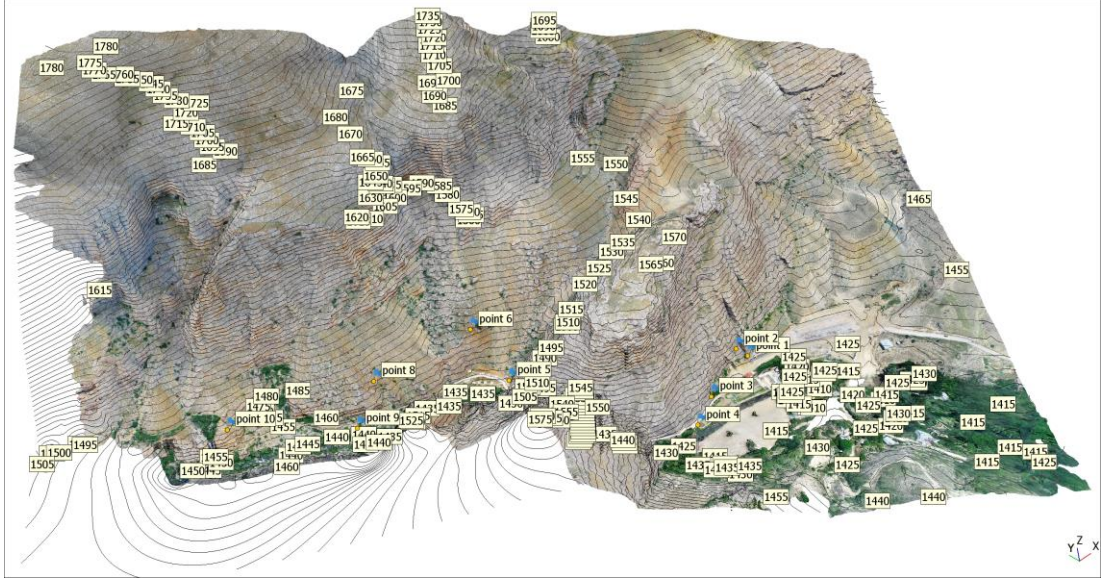


Şekil 4.22. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin genel perspektif görünüşü



Şekil 4.23. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin yan görünüşü.

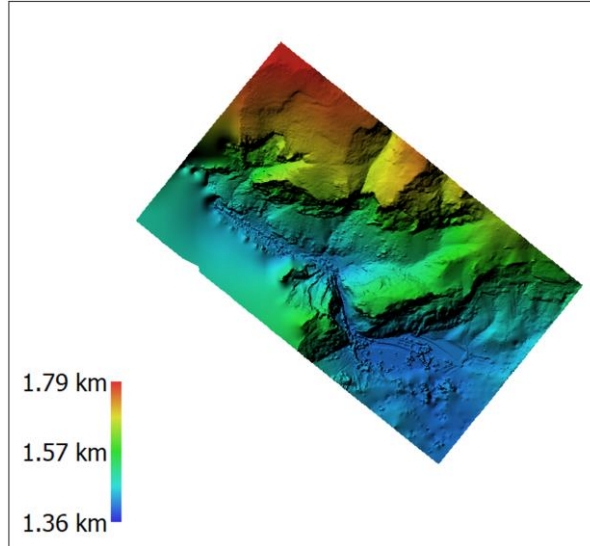
Üç boyutlu model hazırlandıktan sonra, yazılım ile bütün modele eşyüksekti eğriler geçirilmiştir (Şekil 4.24)



Şekil 4.24. Texture kaplanmış üç boyutlu arazi modelinin eş yükselti eğrileri geçirilmiş hali

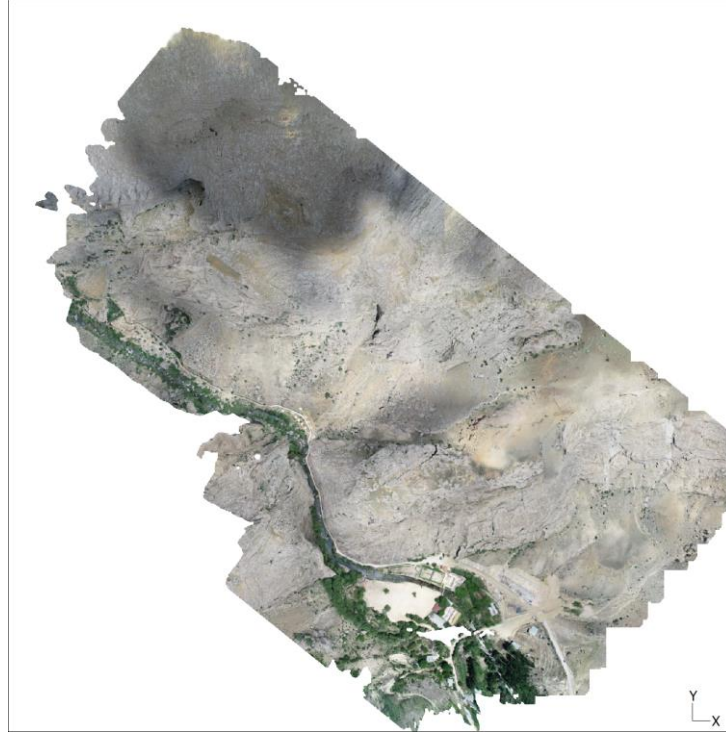
4.2. Sayısal Yükseklik Modeli ve Ortofotonun Üretimi

Agisoft Metashape yazılımı ile üretilen nokta bulutu iki farklı aşamada kullanılmıştır. Birinci olarak sayısal yükseklik modelinin ortofoto harita üretiminde kullanılmasıdır. Sözü edilen bu durum Şekil 4.25 çalışma kapsamında üretilmiş olan sayısal yükseklik modelini ve Şekil 4.26 ise bölgeye ait ortofoto örneğini göstermektedir.



Şekil 4.25. Arazinin sayısal yükseklik modeli

Ardından arazinin iki boyutlu ortofoto (ortomozaic) modeli üretilmiştir.



Şekil 4.26. Ortofoto (ortomozaik)

Yukarıdaki adımlar YKN'siz modelin üretimi için tekrar uygulanmış fakat bu seferde YKN'ler kullanılmadan model oluşturulmuştur. Son olarak biri YKN'li ve diğeri YKN'siz olmak üzere çalışma alanının iki modeli elde edilmiştir.

4.3. Ölçme ve Değerlendirme

Bu çalışmada YKN'siz olarak üretilen üç boyutlu fotogrametrik modellerin bazı mühendislik çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir. Bu amaç için Uzunluk, alan ve hacim ölçümü olmak üzere 3 kriter belirlenmiştir. İlk önce belirli bölgelerin uzunlukları, alanları ve hacimleri YKN'li olarak üretilen model üzerinde hesaplanmıştır. Ardından aynı bölgelerin uzunlukları, alanları ve hacimleri YKN'siz olarak üretilen model üzerinde hesaplanmıştır. En son bu sonuçlar karşılaştırılarak tartışılmıştır. Bu çalışmada YKN'li olarak üretilen modelden elde edeceğimiz sonuçlar mutlaka değer olarak kabul edilmiştir. Fakat bu karşılaştırma yapılmadan evvel YKN'li olarak üretilen modelin doğruluğunun test edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla ilk önce YKN'li modelin doğruluğu belirlenmiştir. Bu amaç için belirli bölgelerin uzunlukları ve alanları yersel yöntemle ölçülmüş ve daha sonra aynı bölgelerin uzunlukları ve alanları YKN'li model üzerinde hesaplanarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.3.1. YKN'li Modelin Doğruluk Analizi için Ölçüm

YKN'lerin ölçümü sırasında kare şeklindeki 2 farklı yerin çevre uzunluğu ve alanı (Şekil 4.27) yersel yöntemle ölçülmüştür. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de 1 nolu ve 2 nolu bölgelerin köşe koordinatları, çevre uzunlukları ve alanları verilmektedir.



Şekil 4.27. Yersel yöntemle ölçülen 2 bölgenin model üzerindeki görünümü

Tablo 4.4. Yersel Yöntemle Ölçülen 1 Nolu Bölgenin Köşe Koordinatları, Çevre Uzunluğu ve Alan Miktarı

Nokta No	Y (m)	X (m)	H (m)	Çevre uzunluğu (m)	Alan (m ²)
A1	606959.916	4292628.703	1406.106	13.83	11.781
A2	606962.714	4292626.129	1405.986		
A3	606957.913	4292626.713	1406.091		
A4	606960.395	4292623.737	1405.975		

Tablo 4.5 - Yersel Yöntemle Ölçülen 2 Nolu Bölgenin Köşe Koordinatları, Çevre Uzunluğu ve Alan Miktarı

Nokta No	Y (m)	X (m)	H (m)	Çevre Uzunluğu (m)	Alan(m ²)
A7	606965.663	4292622.686	1405.805	14.77	13.601
A8	606963.043	4292620.411	1405.842		
A9	606985.407	4292617.469	1405.753		
A10	606968.222	4292619.694	1405.792		

4.3.2. İlk Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Yukarıda da bahsedildiği gibi ilk ölçme ve değerlendirme bu çalışmada mutlak değer olarak kabul edeceğimiz YKN'li olarak üretilen modelin doğruluğunun belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Kareye benzeyen 2 bölgenin çevre uzunluğu ve alanı önce yersel yöntemle hesaplanmış ve daha sonra aynı bölgelerin uzunlukları ve alanları YKN'li olarak üretilen model üzerinde hesaplanmış ve en son sonuçları karşılaştırılmıştır.

1 nolu bölgenin çevre uzunluğu yersel yöntemle (13.830 m) olarak hesaplanmıştır. Aynı bölgenin YKN'li model üzerinde çevre uzunluğu ise (13.817 m) olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçları karşılaştırdığımızda aralarında (0.013 m) veya (1.3 cm)'lik fark hesaplanmaktadır.

Benzer şekilde 1 nolu bölgenin alanı yersel yöntemle (11.781 m²) olarak hesaplanmaktadır. Aynı bölgenin alanı YKN'li model üzerinde (11.829 m²) olarak hesaplanmaktadır.

Bu sonuçlar karşılaştırıldığında aralarındaki fark (0.048 m²) olarak hesaplanmaktadır.

2 nolu bölgenin çevre uzunluğu yersel yöntemle (14.770 m) olarak hesaplanmıştır. Aynı bölgenin çevre uzunluğu YKN'li model üzerinde (14.765 m) olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçları karşılaştırdığımızda aralarında (0.005 m) veya (0.5 cm) fark hesaplanmaktadır.

2 nolu bölgenin alanı yersel yöntemlerle (13.601 m²) olarak hesaplanmıştır. Aynı bölgenin alanı YKN'li model üzerinde ise (13.594 m²) olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçları karşılaştırdığımızda her iki ölçümün aralarında (0.007 m²)'lik bir hata ortaya çıkmaktadır.

Yukarıdaki hesaplamalara ve karşılaştırmalara bakıldığında 1 nolu bölgede YKN'li model üzerinde yapılan uzunluk ölçümü %0.09 bağıl hata içermektedir.

1 nolu bölgenin alan ölçümü YKN'li model üzerinde %0.41 bağıl hata göstermektedir.

2 nolu bölgede YKN'li model üzerinde yapılan uzunluk ölçümü %0.03 bağıl hata içermektedir.

2 nolu bölgenin alan ölçümü YKN'li model üzerinde %0.05 bağıl hata göstermektedir.

Yukarıdaki bağıl hata hesaplamalarına bakıldığında YKN'li model üzerinde uzunluk ölçümünde maksimum bağıl hata %0.09 ve alan ölçümünde ise %0.41 bir bağıl hata göstermektedir. Bahsedilen hatalar çok küçük hatalar olup YKN'li modelin doğruluğunu ispatlamaktadırlar Tablo 4.6.

YKN'li modelin hassas olduğu kanaatine varıldıktan sonra artık YKN'li modeli üzerinde yapılan ölçümleri kesin değer olarak kabul edebilir ve YKN'siz model üzerinde yapılan ölçümleri bununla karşılaştırabiliriz.

Tablo 4.6. YKN'li Model Üzerinde ve Yersel Yöntemle Hesaplanan Çevre Uzunluğu ve Alan Ölçümü ve Aralarındaki Bağıl Hata

Ölçüm türü	Bölge	YKN'li	Yersel (Kesin değer)	Bağıl Hata %
Çevre Uzunluğu (m)	1	13.817	13.830	0.09
	2	14.765	14.770	0.03
Alan (m)	1	11.829	11.781	0.41
	2	13.594	13.601	0.05

Yukarıda gerçekleştirilen YKN'li ve YKN'siz ölçümlerin denetlenmesi için yersel ölçümler gerçek değer olarak kabul edilmiş ve YKN'li modelin yersel ile hemen hemen aynı hassasiyete sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Bundan sonra gerçekleşecek olan ölçümlerde ise YKN'li model üzerinde yapılan ölçümler gerçek değer olarak kabul edilir ve YKN'siz model üzerinde gerçekleşecek olan ölçümler de onunla karşılaştırılır çünkü çalışma alanının dağlık, kayalık vb. yerlerinde yersel ölçüm yapma şansımız yoktur.

Uygulamada yapılacak olan ölçümler uzunluk, alan ve hacim ölçümleri başlıkları altında incelenecektir.

Her iki model üzerinde yapılan ölçümlerin aynı bölgeler üzerinde gerçekleşebilmeleri için ölçülecek bölgelerin başına ve sonuna işaretler konulmuştur (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Modeller üzerinde ölçülmesi planlanan bölgelerin arazide işaretlenmesi

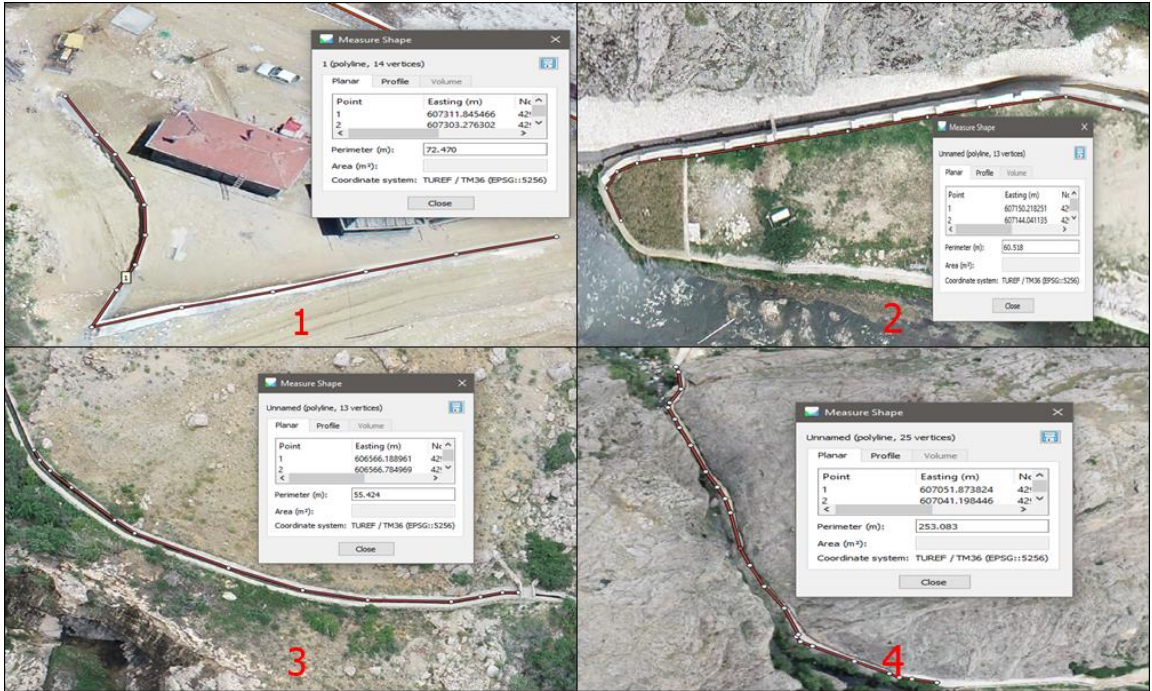
4.3.3. Uzunluk Ölçümü

Uzunluk ölçümü YKN'li ve YKN'siz model üzerinde 3 başlık altında incelenmiştir

1. Düz alanlarda uzunluk ölçümü
2. Eğimli alanlarda uzunluk ölçümü
3. Kayalık alanlarda uzunluk ölçümü

4.3.3.1. Düz Alanlarda Uzunluk Ölçümleri

YKN'li ve YKN'siz modellerde 4 farklı geometriye sahip düz alanların ölçümü alınmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Modeller üzerinde 1,2,3 ve 4 nolu düz alanların uzunluk ölçümü

YKN'li modelde 1 nolu bölgenin uzunluğu 72.418 m ve YKN'siz modelde ise 72.470 m olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 2 nolu bölgenin uzunluğu 60.518 m ve YKN'siz modelde ise 60.558 m olarak ölçülmüştür.

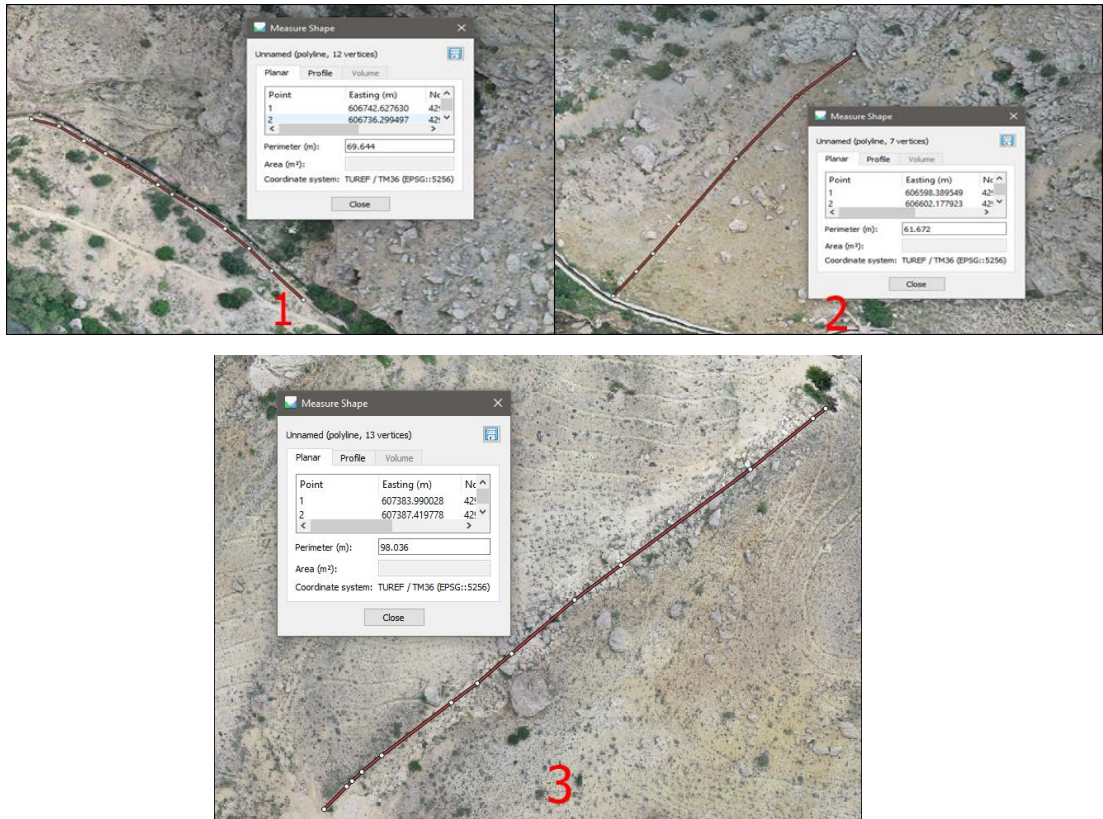
YKN'li modelde 3 nolu bölgenin uzunluğu 55.466 m ve YKN'siz modelde ise 55.424 m olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 3 nolu bölgenin uzunluğu 253.182 m ve YKN'siz modelde ise 253.083 m olarak ölçülmüştür.

Düz arazilerde YKN'siz modelin uzunluk ölçümlerinde 0.0697m karesel ortalama hatası ve %0.07 maksimum ve %0.04 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

4.3.3.2. Eğimli Alanlarda Uzunluk Ölçümü

Eğimli alanlarda YKN'li ve YKN'siz modellerin uzunluk ölçümü hassasiyetini karşılaştırmak üzere 3 farklı eğimli alanlarda uzunluk ölçüleri alınmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Modeller üzerinde 1,2,3 ve nolu eğimli alanların uzunluk ölçümü

YKN'li modelde 1 nolu eğimli bölgenin uzunluğu 69.644m ve YKN'siz modelde ise 69.746 m olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 2 nolu eğimli bölgenin uzunluğu 61.672m ve YKN'siz modelde ise 61.541 m olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 3 nolu eğimli bölgenin uzunluğu 98.036m ve YKN'siz modelde ise 98.230 m olarak ölçülmüştür.

Eğimli arazilerde YKN'siz modelin uzunluk ölçümlerinde 0.1806 m karesel ortalama hatası ve %0.21 maksimum ve %0.15 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

4.3.3.3. Kayalık Alanlarda Uzunluk Ölçümü

Kayalık alanlarda YKN'li ve YKN'siz modellerin uzunluk ölçümü hassasiyetini karşılaştırmak üzere 2 farklı alanda uzunluk ölçüleri alınmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. YKN'li modelde 1 nolu kayalık alanda uzunluk ölçümü

YKN'li modelde 1 nolu kayalık bölgenin uzunluk ölçümü 238.598 m ve YKN'siz modelde ise 238.346 m olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 2 nolu kayalık bölgenin uzunluğu 47.994 m ve YKN'siz modelde ise 47.821m olarak ölçülmüştür.

Kayalık arazilerde YKN'siz modelin uzunluk ölçümlerinde 0.3057 m karesel ortalama hatası ve %0.36 maksimum ve %0.12 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

Uzunluk ölçümlerinin YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki sonuçları ve buna bağlı olarak hata hesaplamaları Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Uzunluk Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması

Ölçüm Türü	Arazi Türü	Bölgeler	YKN'li	YKN'siz	Bağıl Hata ±%	K.O.H (m)
Uzunluk Ölçümü (m)	Düz Arazi	1	72,418	72,470	0.07	0.0697
		2	60,518	60,558	0.07	
		3	55,446	55,424	0.04	
		4	253,182	253,083	0.04	
	Eğimli Arazi	1	69,644	69,746	0.15	0.1806
		2	61,672	61,541	0.21	
		3	98,036	98,230	0.20	
	Kayalık Arazi	1	238,598	238,346	0.12	0.3057
		2	47,994	47,821	0.36	

4.3.1. Alan Ölçümleri

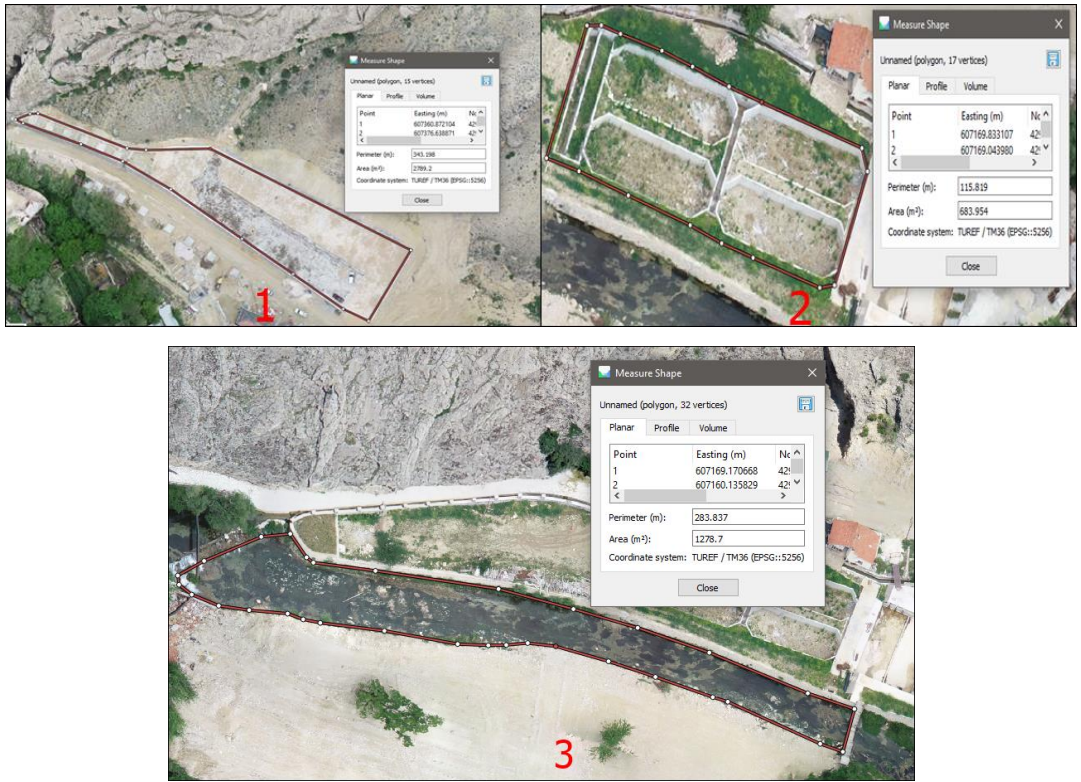
Alan ölçümünde YKN'li ve YKN'siz olarak üretilen modellerdeki hassasiyeti karşılaştırmak üzere farklı geometriye sahip bölgelerde alan ölçümleri gerçekleştirilerek hassasiyetleri karşılaştırılmıştır.

Alan ölçümler aşağıdaki bölgelerde gerçekleştirilmiştir.

1. Düz bölgelerde alan ölçümü
2. Kayalık bölgelerde alan ölçümü

4.3.1.1. Düz Bölgelerde Alan Ölçümleri

YKN'li ve YKN'siz modellerin düz arazi bölgelerindeki alan ölçümünde hassasiyetini karşılaştırmak üzere 3 farklı yerde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. YKN'li modelde 1 nolu düz alanda alan ölçümü

YKN'li modelde 1 nolu düz bölgenin alanı 2789.2 m² ve YKN'siz modelde ise 2788.1 m² olarak ölçülmüştür.

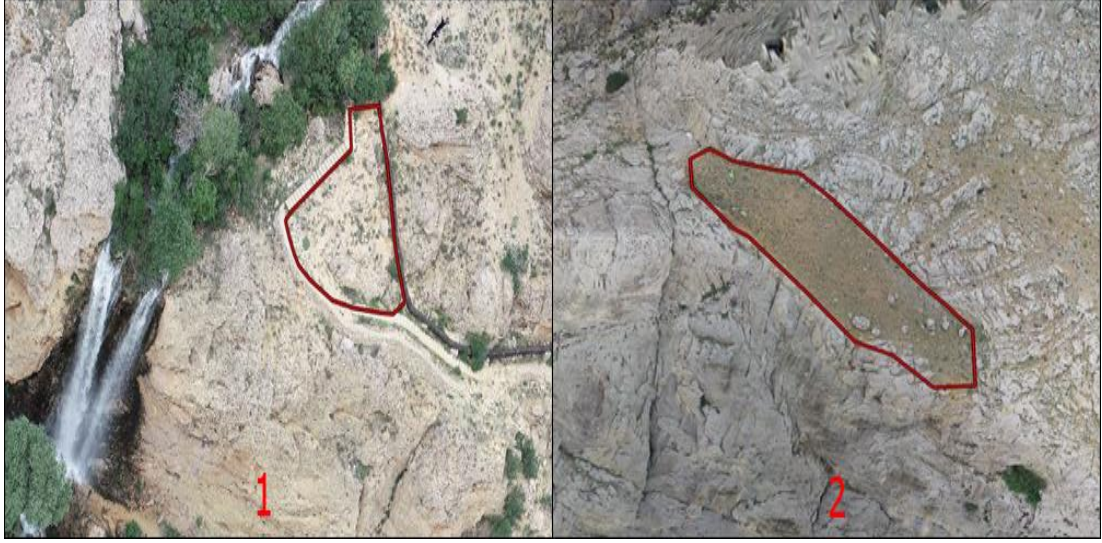
YKN'li modelde 2 nolu düz bölgenin alanı 682.526 m² ve YKN'siz modelde ise 683.954 m² olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 3 nolu düz bölgenin alanı 1277.40 m² ve YKN'siz modelde ise 1278.70 m² olarak ölçülmüştür.

Düz arazilerde YKN'siz modelin alan ölçümlerinde 1.571 m² karesel ortalama hatası ve %0.21 maksimum ve %0.04 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

4.3.1.2. Kayalık Bölgelerde Alan Ölçümü

Alan ölçümlerinin karşılaştırılması için YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde 2 farklı kayalık bölgelerde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Kayalık bölgelerde alan ölçümleri

YKN'li modelde 1 nolu kayalık bölgenin alanı 854.864 m^2 ve YKN'siz modelde ise 853.288 m^2 olarak ölçülmüştür.

YKN'li modelde 2 nolu kayalık bölgenin alanı 114.619 m^2 ve YKN'siz modelde ise 113.810 m^2 olarak ölçülmüştür.

Kayalık arazilerde YKN'siz modelin alan ölçümlerinde 1.772 m^2 karesel ortalama hatası ve %0.71 maksimum ve %0.18 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

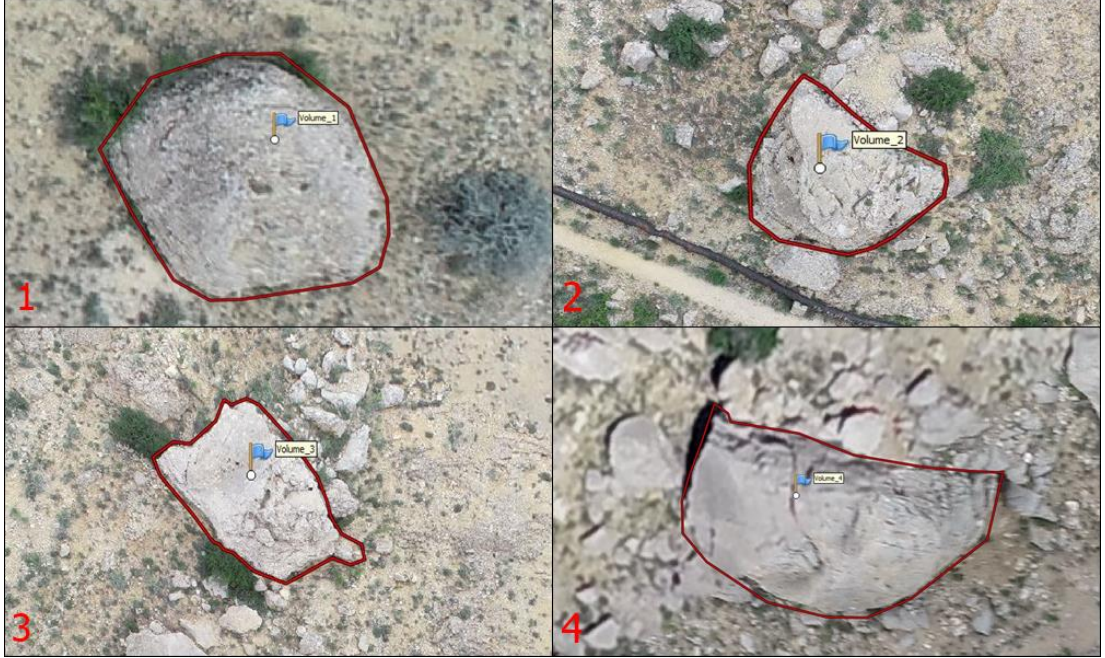
YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki alan ölçümleri ve bunlara bağlı olarak hata hesaplamaları Tablo 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Alan Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması

Ölçüm Türü	Arazi Türü	Bölgeler	YKN'li m^2	YKN'siz m^2	Bağıl Hata $\pm\%$	K.O.H m^2
Alan Ölçümü (m^2)	Düz Arazi	1	2789.2	2788.1	0.04	1.571
		2	682,526	683,954	0.21	
		3	1277.40	1278.70	0.10	
	Kayalık Arazi	1	854,864	853,288	0.18	1.772
		2	114,619	113,810	0.71	

4.3.1.3. Hacim Ölçümü

YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde 4 farklı kaya bloklarının hacimleri hesaplanmıştır (Şekil 4.34). Bu hesaplama sonuçları daha sonra birbiri ile karşılaştırılarak hata miktarları hesaplanarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.34. YKN'li modelde 1,2,3,4 nolu kaya bloklarının hacim ölçümü

YKN'li modelde 1 nolu kaya bloğunun hacmi 24.119 m^3 ve YKN'siz modelde ise 23.478 m^3 olarak hesaplanmaktadır.

YKN'li modelde 2 nolu kaya bloğunun hacmi 101.393 m^3 ve YKN'siz modelde ise 104.088 m^3 olarak hesaplanmaktadır.

YKN'li modelde 3 nolu kaya bloğunun hacmi 52.881 m^3 ve YKN'siz modelde ise 54.043 m^3 olarak hesaplanmaktadır.

YKN'li modelde 4 nolu kaya bloğunun hacmi 409.243 m^3 ve YKN'siz modelde ise 406.101 m^3 olarak hesaplanmaktadır.

YKN'siz modelin hacim ölçümlerinde 2.511 m^3 karesel ortalama hatası ve %2.66 maksimum ve %0.77 minimum bağıl hata hesaplanmıştır.

Hacim hesaplamasının ölçüm sonuçları Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9. YKN'li ve YKN'siz Modeller Üzerindeki Hacim Ölçümleri ve Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Hataların Hesaplanması

Ölçüm Türü	Ölçüm No	YKN'li (m ³)	YKN'siz (m ³)	Bağlı Hata ±%	K.O.H (m ³)
Hacim Ölçümü	1	24.119	23.478	2.66	2.511
	2	101.393	104.088	2.65	
	3	52.881	54.043	2.21	
	4	409.243	406.101	0.77	

4.4. Karşılaştırma Analizi

Bu çalışmada ilk olarak iki farklı yöntemle oluşturulan üç boyutlu arazi modelleri incelenmiştir. Oluşturulan modellerde uzunluk, alan ve hacim ölçümleri karşılaştırılarak YKN'nin etkisi ve YKN kullanılmadan bu üç boyutlu modellerinin geçerliliği ve kullanılabilirliği yorumlanmıştır. İlk olarak YKN'li olarak üretilen modelin hassasiyetini incelemek üzere sınırlı sayıda yersel ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu ölçümler referans kabul edilerek aynı ölçümler YKN'li model üzerinde gerçekleştirilmiş ve hassasiyeti yorumlanmıştır.

Bu karşılaştırmanın sonucu olarak YKN'li olarak üretilen modelin hassasiyeti yersel ölçümlere çok yakın bulunmuş ve YKN'li modelin hassasiyeti doğrulanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak bu çalışmada YKN'siz modelin hassasiyetinin incelenmesi için YKN'li model üzerinde hesaplanan ölçüler kesin değer olarak kabul edilmişlerdir. Bunun sebebi de çalışma alanının dağlık bir arazi olması ve GPS'in çalışma alanının her kısmında çekmiyor olması olup, dolayısıyla YKN'li modelin hassasiyeti yersel ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulanmış ve geri kalan ölçümler için YKN'li olarak üretilen model üzerinden alınan ölçümler kesin değer olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra topoğrafyası düz, eğimli ve kayalık olan bölgelerde YKN'siz olarak üretilen modellerin geçerliliğini ve kullanılabilirliği incelenmek üzere YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, yukarıda da bahsedildiği gibi YKN'li modelden elde edilen sonuçlar gerçek değer olarak kabul edilmişlerdir.

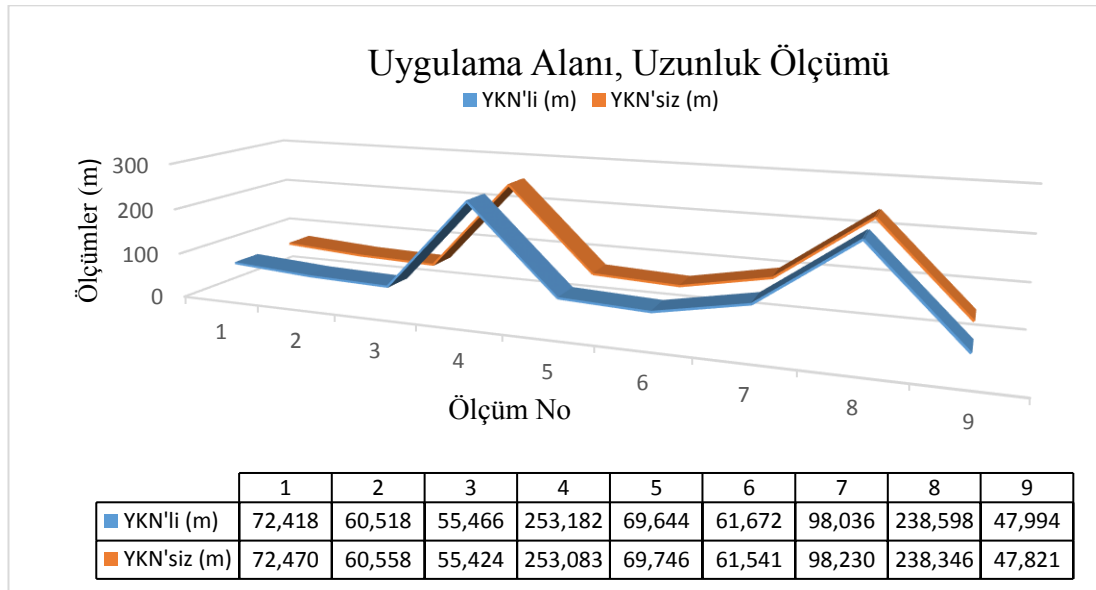
Uzunluk ölçümleri gerçekleştirilirken farklı modelin farklı yerlerde hassasiyetin kontrolü için farklı geometriye sahip yerlerde ve düz, eğimli ve kayalık gibi farklı arazi çeşitlerine sahip bölgelerde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak düz alanlarda uzunluk ölçümü gerçekleştirilmiştir. Uzunluk ölçümü dört farklı bölgede YKN'li ve YKN'siz modellerde gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk olarak düz alanlarda dört farklı yerin ölçüsü her iki model üzerinden alınmış ve karşılaştırılmış, bahsedildiği gibi YKN'li modelden alınan ölçüm kesin değer olarak kabul edilmiştir. YKN'siz model üzerinde yapılan ölçüm ile kesin değer olan (YKN'li modelden alınan değer) ile karşılaştırıldığında bu dört ölçümün karesel ortalama hatası 0.0697 m olarak hesaplanmıştır. Bu ölçümlerde maksimum %0.07 ve minimum %0.04 bağıl hata hesaplanmıştır.

İkinci olarak YKN'siz model üzerinde eğimli alanlarda yapılan uzunluk ölçümünün hassasiyetini belirlemek üzere, her iki modelde üç farklı alanda uzunluk ölçümü alınmış ve karşılaştırılmıştır, sonuç olarak karesel ortalama hatası 0.1806 m olarak hesaplanmıştır. Eğimli alanlardaki uzunluk ölçümlerinde maksimum %0.21 ve minimum %0.15 bağıl hata hesaplanmıştır.

Üçüncü olarak YKN'siz model üzerinde kayalık alanlarda yapılan uzunluk ölçümünün hassasiyetini belirlenmek üzere, her iki modelde iki farklı yerde uzunluk ölçümü alınmış ve karşılaştırılmıştır, sonuç olarak karesel ortalama hatası 0.3057 m olarak hesaplanmıştır. Kayalık alanlardaki uzunluk ölçümlerinde maksimum %0.36 ve minimum ise %0.12 bağıl hata hesaplanmıştır.

YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde farklı bölgelerde yapılan uzunluk ölçümleri Şekil 4.35'te grafiksel olarak ifade edilmiştir.



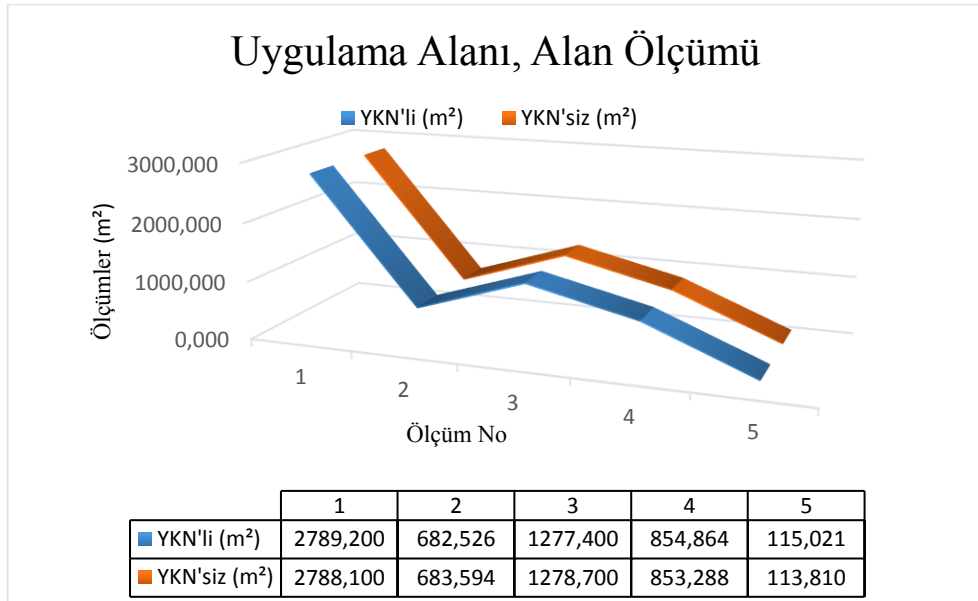
Şekil 4.35. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki uzunluk ölçümlerinin grafiksel görünümü

Alan ölçümü hassasiyetini YKN'siz modelde belirlenmek üzere düz ve kayalık arazi tiplerinde ölçümler yapılmış yukarıda da bahsedildiği gibi YKN'li model üzerinden alınan ölçümler kesin değer olarak kabul edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

İlk olarak düz ve eğimi olmayan arazi tipinde YKN'siz model üzerinden alınan alan ölçüsünün hassasiyetini incelemek üzere düz arazilerde 3 farklı yerde alan ölçümü hesaplanmış ve karşılaştırılmış. YKN'siz model üzerinden alınan alan ölçümleri YKN'li model üzerinden alınan alan ölçümleriyle karşılaştırılarak karesel ortalama hatası 1.571 m² olarak hesaplanmış. Bu karşılaştırmanın sonucunda maksimum %0,21 ve %0,04 olarak hesaplanmıştır.

İkinci olarak kayalık arazi tipine sahip bölgelerde YKN'siz olarak üretilen modelin alan ölçümü bakımından hassasiyetini incelemek üzere, iki farklı yerin ölçümü alınmış ve karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak karesel ortalama hatası 1.772 m² olarak hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda maksimum %0,71 ve %0,18 olarak hesaplanmıştır.

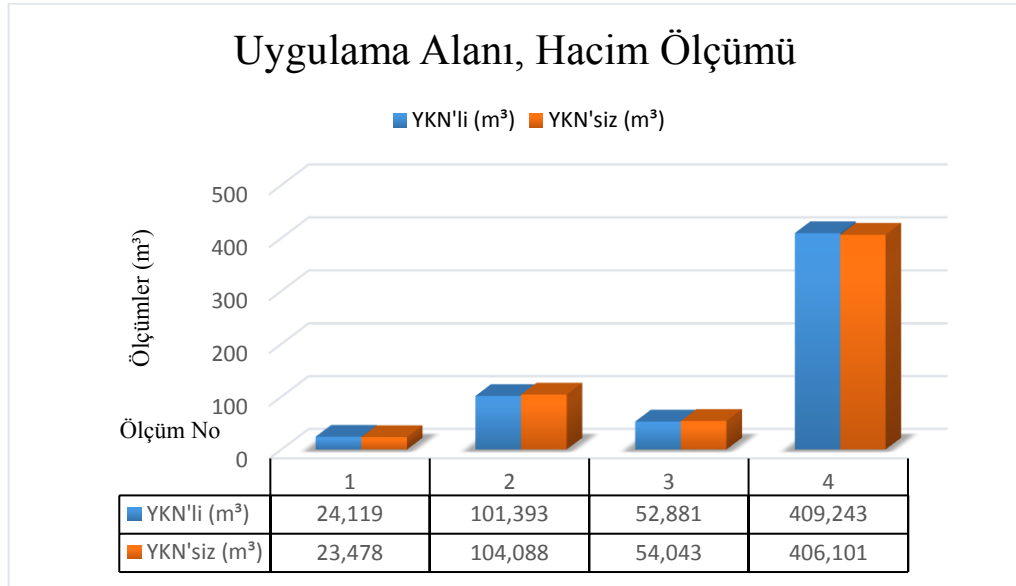
YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde farklı bölgelerde yapılan alan ölçümleri Şekil 4.36'da grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.36. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki alan ölçümlerinin grafiksel görünümü

YKN'siz model üzerinden hacim ölçümlerinin hassasiyetini belirlemek üzere dört kaya bloklarının hacimleri YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda YKN'siz model üzerinde gerçekleşen hacim ölçümlerinde 2.511 m³ karesel ortalama hatası hesaplanmıştır. Söz konusu

ölçümler için %2.66 maksimum ve %0.77 minimum bağıl hata hesaplanmıştır. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerinde gerçekleşen hacim ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.37'de verilmektedir.



Şekil 4.37. YKN'li ve YKN'siz modeller üzerindeki alan ölçümlerinin grafiksel görünümü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İHA teknolojisinin ilerlemesi ile fotogrametri alanında büyük gelişmeler söz konusudur. Yüksek maliyetli uçaklar ile alınan görüntülerin yerine günümüzde insansız hava araçları ile alınan görüntüler mühendislik çalışmalarında kullanılmaya oldukça elverişlidir.

Bu çalışmada YKN'siz modelin bazı mühendislik çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç için bir çalışma alanı belirlenmiştir. Söz konusu çalışma alanının üç boyutlu fotogrametrik modeli hem YKN'li ve hem YKN'siz olarak üretilmiştir. YKN'siz modelde uzunluk, alan ve hacim ölçümlerinin hassasiyeti incelenmiştir. Bu çalışmada YKN'li model üzerinden alınan ölçümler kesin değerler olarak kabul edilmişlerdir. İlk önce YKN'li modelin doğruluğu yersel yöntemle alınan bazı ölçümlerle karşılaştırılarak test edilmiştir. YKN'li modelden alınan sonuçlar yersel yöntemlerle alınan ölçüm sonuçlarına çok yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar ise YKN'li modelin yeterli hassasiyete sahip olacağını ispat etmiştir. Bu sonuçlarla yola çıkarak bu çalışmada YKN'li modelden elde edilen sonuçlar kesin değer olarak kabul edilmiştir. YKN'siz modelden alınan ölçüm değerleri YKN'li modelde aynı bölgelerin ölçümü ile karşılaştırılmıştır.

Bu ölçümlerin farklı arazi özelliğine sahip olan bölgelerdeki hassasiyeti incelenmek üzere, ölçümler modelin farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Uzunluk ölçümü düz, eğimli ve kayalık olmak üzere 3 farklı bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Alan ölçümleri ise düz ve eğimli olmak üzere iki farklı bölgede gerçekleştirilmiştir. Hacim hesabı ise belirli kaya bloklarının hacimleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak YKN'siz modelde uzunluk ölçümlerinin hassasiyeti test edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında YKN'siz modelden alınan uzunluk ölçümleri, kesin değerlere (YKN'li modelden alınan değerlere) çok yakın olmaktadır. Modeldeki düz arazi özelliğine sahip olan yerlerdeki uzunluk ölçümleri en hassas sonuçları vermektedir. Ardından eğimli ve kayalık alanlarda gerçekleşen uzunluk ölçümleri hassasiyet bakımından ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadırlar. Sonuçlara bakıldığında YKN'siz olarak üretilen üç boyutlu arazi modelin uzunluk ölçümlerinde kullanılabilir hassasiyete sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlarla yola çıkarak YKN'siz olarak üretilen fotogrametrik modellerin, modellenen alan içerisinde hassas bir uzunluk ölçme aracı olarak tanımlanabilir.

İkinci olarak modeller üzerinde alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir. YKN'siz modelden elde edilen sonuçları, kesin değer olan YKN'li modelin sonuçlarına çok yakın olmaktadır. Düz arazilerde gerçekleşen alan ölçüm sonuçları eğimli alanlara göre daha hassas olmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında YKN'siz olarak üretilen modelin alan ölçümlerinde kullanılabilmesi için yeterli hassasiyete sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Üçüncü olarak hacim hesaplaması gerçekleştirilmiştir. YKN'siz model üzerinde 4 adet kaya bloklarının hacmi hesaplanmıştır. Çalışmada hesaplanan hacim değerleri YKN'li model üzerinden hesaplanan aynı kaya bloklarının hacim değerlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında YKN'siz olarak üretilen üç boyutlu fotogrametrik model, hacim ölçümü için yeterli hassasiyete sahip olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abraham, R. G. ve van Dokkum, P. G. J. P. o. t. A. S. o. t. P. (2014). Ultra–low surface brightness imaging with the dragonfly telephoto array. *126(935)*, 55.
- Akyürek, S., Yılmaz, M. ve Taşkıran, M. (2012). İnsansız hava araçları. *BİLGESAM, Rapor(53)*.
- Ali, U., Yakar, M., Toprak, A. S. ve Mutluoglu, O. (2014). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics Computers*3(1), 32-36.
- Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö. ve Güner, S. (2012). Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sisteminin Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Electronic Journal of Map Technologies*, 4(3), 1-6.
- Avşar, E. Ö. (2006). *Tarihi köprülerin digital fotogrametri tekniği yardımıyla modellenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayyıldız, E. (2017). *Fotogrametri yöntemiyle oluşturulan üç boyutlu şehir modellerinin kadastral verilerle ilişkilendirilmesi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayyıldız, E. (2020). İnsansız Hava Araçlarının Kadastro Çalışmalarında Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(1), 29-32.
- Babiker, M. ve Akhadir, S. K. Y. (2016). The Effect of Densification and Distribution of Control Points in the Accuracy of Geometric Correction.
- Bacaksız, P. (2010). *Fotogrametride küresel yüzeyli objelerin resim çekim ve değerlendirme teknikleri üzerine deneysel bir uygulama*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bahadır, B. ve Nohutcu, M. (2020). MULTI-GNSS PPP: An Alternative Positioning Technique for Establishing Ground Control Points. *International Journal of Environment Geoinformatics*, 7(1), 88-92.
- Baiocchi, V., Dominici, D., Elaiopoulos, M., Massimi, V., Mormile, M. ve Rosciano, E. (2020). *UAV flight plan software: first implementation of UP23d*. Paper presented at the Proceedings of 2013 EARSeL Symposium Towards Horizon.
- Bemis, S. P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M. R., Akciz, S., Thiele, S. T. ve Bangash, H. A. (2014). Ground-Based and UAV-Based Photogrammetry: A Multi-Scale, High-Resolution Mapping Tool For Structural Geology and Paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178.
- Bozzini, C., Conedera, M. ve Krebs, P. (2012). A new monoplottting tool to extract georeferenced vector data and orthorectified raster data from oblique non-metric photographs. *International Journal of Heritage in the Digital era*, 1(3), 499-518.
- BÖHNBÜY. (2018). Madde 55.
- Bösemann, W. (2011). *Industrial photogrammetry: challenges and opportunities*. Paper presented at the Videometrics, Range Imaging, and Applications XI.
- Brückl, E., Brunner, F. K. ve Kraus, K. (2006). Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineering Geology*, 88(3-4), 149-159.
- Chiang, K.-W., Tsai, M.-L. ve Chu, C.-H. (2012). The development of an UAV borne direct georeferenced photogrammetric platform for ground control point free applications. *Sensors*, 12(7), 9161-9180.
- Da Silva, D. C. (2012). *Special Applications of Photogrammetry: BoD–Books on Demand*.

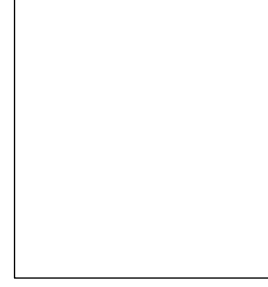
- Doğanalp, S. (2003). *Kalman Filtreleme Yöntemiyle Deformasyon Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri ...
- Dosil, R., Pardo, X. M., Fdez-Vidal, X. R., García-Díaz, A. ve Leborán, V. (2013). A new radial symmetry measure applied to photogrammetry. *Pattern Analysis Applications*16(4), 637-646.
- Doyle, F. (1964). The historical development of analytical photogrammetry. *Photogrammetric Engineering*, 30(2), 259-265.
- Döner, F. ve Bıyık, C. (2009). Üç Boyutlu Nesnelerin Konumsal Veritabanında Yönetimi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*(100), 27-33.
- Erdoğan, C. (2005). TARİHİ ÇEŞMELERİN DİĞİTAL FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE RÖLÖVELERİNİN HAZIRLANMASI.
- Finsterwalder, R., Hofmann, W., Aytaç, M., Örmeci, C. ve Altan, O. (1983). *Fotogrametri*: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Gini, R., Pagliari, D., Passoni, D., Pinto, L., Sona, G. ve Dosso, P. J. I. A. P. R. S. S. I. S. (2013). UAV photogrammetry: Block triangulation comparisons. *I, W2*.
- Grenzdörffer, G., Engel, A. ve Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences* 31(B3), 1207-1214.
- Grenzdörffer, G., Guretzki, M. ve Friedlander, I. (2008). Photogrammetric image acquisition and image analysis of oblique imagery. *The Photogrammetric Record*, 23(124), 372-386.
- Gruen, A. (2012). Development and status of image matching in photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 27(137), 36-57.
- Gürbüz, H. (2006). Genel Fotogrametri 1. *Birlik Matbaacılık, Ankara*, 11, 213.
- Hallert, B. (1960). Photogrammetry, basic principles and general survey.
- Hartmann, K. ve Giles, K. (2016). *UAV exploitation: A new domain for cyber power*. Paper presented at the 2016 8th International Conference on Cyber Conflict (CyCon).
- Hastedt, H., Ekkel, T. ve Luhmann, T. (2016). EVALUATION OF THE QUALITY OF ACTION CAMERAS WITH WIDE-ANGLE LENSES IN UAV PHOTOGRAMMETRY. *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 41.
- Hiking. (2021).
- Hong, L. ve Chen, G. (2004). *Segment-based stereo matching using graph cuts*. Paper presented at the Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004.
- Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu.
- Kasser, M. ve Egels, Y. (2002). *Digital photogrammetry* (Vol. 11): Taylor & Francis London.
- Kıracı, A. C. ve Toz, G. (2018). Stereo Görüntü Yöneltilmesinde Duyarlılık Analizi. *Harita Dergisi*(159).
- Kottler, M., Rosenthal, A. ve Falconer, D. (1976). Analog vs. digital photogrammetry for optic cup analysis. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 15(8), 651-654.
- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: geometry from images and laser scans*: de Gruyter.
- Kraus, K. (2011). *Photogrammetry*: de Gruyter.

- Kreutel, R., Difonzo, D., English, W. ve Gruner, R. (1977). Antenna technology for frequency reuse satellite communications. *Proceedings of the IEEE*, 65(3), 370-378.
- Lapaine, M. ve Tutić, D. (2001). *Relationships between the old Gauss-Krüger projection and UTM projection for Croatia*. Paper presented at the Reports of the Symposium of the IAG Subcommision for Europe (EUREF), Dubrovnik.
- Linder, W. (2009). *Digital photogrammetry* (Vol. 1): Springer.
- Maraş, H. H., Aktuğ, B., Maraş, E. E. ve Yildiz, F. (2010). Topological error correction of GIS vector data. *International Journal of Physical Sciences*, 5(5), 476-483.
- Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.-J., García-Ferrer, A. ve Pérez-Porras, F.-J. (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation*, 72, 1-10.
- Nadar, F., Tournachon, G. F. ve Repensek, T. (1978). My life as a photographer. *October*, 5, 7-28.
- Newhall, B. (1969). *Airborne camera: The World From The Air and Outer Space*: Hasting House.
- Özemer, I. ve Uzar, M. (2016). İHA İle Fotogrametrik Veri Üretimi. VI. UZAL-CBS Sempozyumu, 5-7.
- Özmen, A., Yakar, Y., Çakır, B. ve Atav, Ü. (2009). Computation of The Oscillator Strength and Absorption Coefficients for The Intersubband Transitions of the Spherical Quantum Dot. *Optics Communications*, 282(19), 3999-4004.
- Özmüş, L., Soylu, M., Ayyıldız, E., Erkek, B. ve Bakıcı, S. (2016). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğündeki Fotogrametrik Gelişmeler.
- Paar, G. ve Kontrus, H. (2006). Three-dimensional tunnel reconstruction using photogrammetry and lasers scanning. *Proceedings of the 3rd Nordost*, 9.
- Padró, J.-C., Muñoz, F.-J., Planas, J. ve Pons, X. (2019). Comparison of Four UAV Georeferencing Methods for Environmental Monitoring Purposes Focusing on The Combined Use with Airborne and Satellite Remote Sensing Platforms. *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation* 75, 130-140.
- Pepe, M. ve Prezioso, G. (2016). *Two Approaches for Dense DSM Generation from Aerial Digital Oblique Camera System*. Paper presented at the GISTAM.
- Poozesh, P., Sarrafi, A., Mao, Z., Avitabile, P. ve Niezrecki, C. (2017). Feasibility of extracting operating shapes using phase-based motion magnification technique and stereo-photogrammetry. *Journal of Sound Vibration* 407, 350-366.
- Przybilla, H. ve Wester-Ebbinghaus, W. (1979). Aerial photos by means of radio-controlled aircraft. *Bildmessung Und Luftbildwesen*, 47(5), 137-142.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. ve Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 38(1), C22.
- Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J. ve Ferreira, V. (2020). A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. 3(1), 47-67.
- Rock, G., Ries, J. ve Udelhoven, T. (2011). *Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM)*. Paper presented at the Proceedings of the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.

- Sapirstein, P. ve Murray, S. (2017). Establishing best practices for photogrammetric recording during archaeological fieldwork. *Journal of Field Archaeology*, 42(4), 337-350.
- Scott, M. L., Spear, M. F., Dalessandro, L. ve Marathe, V. J. (2007). *Delaunay triangulation with transactions and barriers*. Paper presented at the 2007 IEEE 10th International Symposium on Workload Characterization.
- Sidek, F. K. ve Ahmad, A. (2008). Development of mapping procedures using digital imagery derived from unmanned aerial vehicle system. *PWTC, Kuala Lumpur, Malaysia* Support, P. D. (2020). PIX4D Support.
- Tahar, K. N. ve Ahmad, A. (2013). An evaluation on fixed wing and multi-rotor UAV images using photogrammetric image processing. *International Journal of Computer Information Engineering*, 7(1), 48-52.
- Toprak, A. S. (2014). *Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları ile Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Udin, W. ve Ahmad, A. (2014). *Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude using unmanned aerial vehicle*. Paper presented at the IOP conference series: earth and environmental science.
- Ulvi, A. (2008). *Antik Tiyatroların Fotogrametrik Rölöve Planlarının Çıkarılması Üzerine Deneysel Bir Çalışma*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. ve Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin üç boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Unger, J., Reich, M. ve Heipke, C. (2014). UAV-based photogrammetry: monitoring of a building zone. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences-ISPRS Archives* 40(5), 601-606.
- Üstüntaş, T. ve Bacaksız, P. (2010). Fotogrametride Küresel Yüzeyle Objelerin Resim Çekim Ve Değerlendirmesi Üzerine Deneysel Bir Uygulama, 5. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, ZKÜ Merkez Kampusu Zonguldak*.
- Wang, C., Cho, Y. K. ve Gai, M. (2013). As-is 3D thermal modeling for existing building envelopes using a hybrid LIDAR system. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(6), 645-656.
- Wester-Ebbinghaus, W. (1980). Aerial Photography by Radio Controlled Model Helicopter. *The Photogrammetric Record*, 10(55), 85-92.
- Whittelsey, S. (1970). Massachusetts Labor Legislation: An Historical and Critical Study. 1901. *Reprint, New York: Kraus Reprint*.
- Yalcin, G. ve Selcuk, O. (2015). 3D City Modelling with Oblique Photogrammetry Method. *Procedia Technology*, 19, 424-431.
- Yaşayan, A., Uysal, M., Varlık, A. ve Avdan, U. (2011). Fotogrametri. *TC Anadolu Üniversitesi Yayın*(2295).
- Yucel, M. A. ve Turan, R. Y. (2016). Areal change detection and 3D modeling of mine lakes using high-resolution unmanned aerial vehicle images. *Arabian Journal for Science Engineering*, 41(12), 4867-4878.
- Yunus, K., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Şeyma, A., Ulukavak, M. ve Polat, N. (2019). Hacim Hesaplarında İHA Kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 7-10.
- Ziba, H. E. ve Yılmaz, H. M. (2019). Karayolu projeleri için İHA ile şeritvari harita üretimi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 23-32.

Zongjian, L. (2008). UAV for Mapping—Low Altitude Photogrammetric Survey. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing, Beijing, China*37, 1183-1186.

ÖZ GEÇMİŞ



Mohammad Noman Nasery. Hakim Naser Khusraw Balkhi Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği Fakülteleri'nden 2018 yılında mezun oldu. 2021 yılında OMÜ Harita Mühendisliği, Fotogrametri anabilim dalında Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Finlandya'da mühendis olarak görev yapan Nasery, iyi derecede İngilizce/ Fince bilmektedir. (26.07.2021).

İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1842-0543>

Yayınlanmış Çalışmalar:

Inversigating the Length, Area and Volume Measurement Accuracy in UAV-Based Oblique Photogrammetry Models Produced With and Without Ground Control Points. (*Research Square*) (www.researchsquare.com)

Üç Boyutlu Yer Kontrol Noktalı ve Noktasız Fotogrametrik Modellerde Kenar ve Alan Ölçümlerinin Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi (*18.Türkiye Harita Bilimsel ve teknik Kurultayı*)

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. YTB Başarı Bursu 2015-2016
2. Erasmus 2016-2017