



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN KAYIT EDİLEN SAYISAL
HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN ORTOFOTOLARDA
DOĞRULUK ARAŞTIRMASI**

DOKTORA TEZİ

Aydan YAMAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

AKSARAY, 2018



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN KAYIT EDİLEN SAYISAL
HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN ORTOFOTOLARDA
DOĞRULUK ARAŞTIRMASI**

DOKTORA TEZİ

Aydan YAMAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

AKSARAY, 2018

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162352301 numaralı Doktora öğrencisi, "Aydan YAMAN", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN KAYIT EDİLEN SAYISAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN ORTOFOTOLARDA DOĞRULUK ARAŞTIRMASI" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ	
	Aksaray Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Ferruh YILDIZ	
	Selçuk Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK	
	Aksaray Üniversitesi	

Teslim Tarihi: 04.06.2018

Savunma Tarihi:03.07.2018

ÖNSÖZ

Hava görüntülerindeki eğiklik ve dönüklük etkilerinin giderilmesi sonucu elde edilen, harita gibi her yerinde sabit bir ölçeğe sahip olan ve aynı zamanda fotoğraf niteliği taşıyan ürünlere ortofoto denilmektedir. Ortofotolar, kartografik haritaları yorumlamakta ve anlamakta güçlük çeken kullanıcılar için, görsel iletişim ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bununla beraber harita mühendisliği alanında ve birçok disiplinde ortofotoların geometrik doğruluğu da oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada ortofoto üretim sürecinden, dijital hava kameralarından ve bu süreçte kullanılan hava kamerasından, sayısal ortofotolar için ulusal ve uluslararası doğruluk standartlarından bahsedilmiştir.

Çalışmada, Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesine ait üç farklı yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntüleri temin edilmiş ve bu görüntüler kullanılarak üç farklı ortofoto mozaik görüntü üretilmiştir. Daha sonra her üç yer örnekleme aralığı için hesaplamalar yapılmış ve bulunan değerler ile ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde verilen olması gereken değerler karşılaştırılarak farklı uçuş yüksekliklerinin ortofoto mozaik görüntülerin doğruluğunu nasıl etkilediği araştırılmıştır.

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmanın tamamını; akademik kurallara ve bilimsel araştırma etik değerlerine bağlı kalarak gerçekleştirdim ve sundum. Bu kurallar ve ilkelere aykırı hiç bir yol ve yardıma başvurmadan bizzat kendim hazırladım. Yararlandığım eserlerin kaynaklar dizininde gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Tezimle ilgili yaptığım beyana aykırı bir durumda ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı şimdiden kabul ederim.

Aydan YAMAN

TEŞEKKÜR

“FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN KAYIT EDİLEN SAYISAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN ORTOFOTOLARDA DOĞRULUK ARAŞTIRMASI” konulu doktora tez çalışmam boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen başta değerli danışman hocam Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ olmak üzere değerli hocalarım Prof. Dr. Ferruh YILDIZ ve Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda kullandığım verileri elde etmemi sağlayan Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Yüksek Mühendisi İbrahim CANKURT’ a çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca her zaman yanımda olan sevgili eşim Alper YAMAN ve sevgili oğullarım Batuhan ve Metehan’ a çok teşekkür ederim.

Her zaman bana destek olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Aydan YAMAN
AKSARAY, 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	i
DOĞRULUK BEYANI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ	12
3.1. Fotogrametrinin Değerlendirme Yöntemine Göre Sınıflandırılması	14
3.1.1 Grafik (plançete) fotogrametri	15
3.1.2. Analog fotogrametri	15
3.1.3. Analitik fotogrametri.....	16
3.1.4. Dijital (sayısal) fotogrametri	17
4. HAVA KAMERALARI.....	19
4.1. Analog Hava Kameraları.....	19
4.2. Dijital Hava Kameraları	22
4.2.1 Dijital hava kameraları türleri	23
4.3 Uygulamada Kullanılan Dijital Hava Kamerası “Intergraph DMC”	25
5. ORTOFOTO HARİTA ÜRETİM SÜRECİ.....	29
5.1. Analog ve Analitik Ortofoto Üretimi	30
5.2 Dijital Ortofoto Üretimi	35
5.3 Ortorektifikasyon İşlemi	39
5.4 Demet Dengelemesi	40
5.5 Sayısal Ortofotoların Doğruluğu ve Kalitesine Etki Eden Faktörler	41
5.5.1 Yer kontrol noktalarının rolü	42
5.5.2 Sayısal yükseklik modelinin rolü	42
5.6 Sayısal Ortofotonun Çizgisel Haritalara Göre Avantajları	44
5.7 Sayısal Ortofotonun Doğruluk Kriterleri	47
5.8 Sayısal Ortofotoların Kullanım Alanları	52
6. MALZEME VE YÖNTEM.....	53
6.1 Materyal	53
6.1.1 Çalışma bölgesi ve uçuş planlaması.....	53
6.1.2 Çalışma bölgesine ait dijital hava görüntüleri.....	57
6.1.3 Kamera kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleri	60
6.1.4 Dış yöneltme parametreleri	62
6.1.5 Yer kontrol noktaları	62

6.1.6 Erdas LPS yazılımı	64
6.2. Yöntem	64
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	87
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	107



DOKTORA TEZİ

FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN KAYIT EDİLEN SAYISAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN ORTOFOTOLARDA DOĞRULUK ARAŞTIRMASI

Aydan YAMAN

Aksaray Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

ÖZET

Dijital ortofotolar, renkli veya siyah beyaz hava görüntülerinin kullanılarak ölçek doğruluğunun her yerde sağlanması ile hazırlanan, haritanın doğruluğu ve çekilen hava görüntüsünün okunabilirliği üstünlüğünü birleştiren sayısal bir üründür. Sayısal ortofotolar klasik yöntemlere göre daha esnek, ucuz ve yüksek kalitede çıktılar vermektedir. Günümüzde güncel haritalara olan gereksinim her alanda artmakta ve klasik yöntemlere alternatif olarak standart bir haritanın doğruluk ve hassasiyet kriterlerini taşıyan ortofotolar, birçok uygulama alanında tercih edilmektedir. Haritacılık ile ilgili uygulamalarda kullanılan ortofotolardaki geometrik doğruluk oldukça büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesinin 2011 yılında çekilmiş 7cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığına sahip dijital hava görüntüleri kullanılarak, harita gibi sabit bir ölçeğe sahip olan üç farklı ortofoto mozaik üretilerek doğruluklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ortofoto mozaik görüntüler “Erdas LPS” yazılımında üretilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası standartlarda önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her üç ortofoto mozaik için elde edilen konum doğruluklarının birinci sınıf çalışmalar için kullanıma uygun olduğu ve bu sayısal ortofotoların altlık olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dijital Hava Görüntüsü, Doğruluk, Ortofoto, Yer Örnekleme Aralığı

Temmuz, 2018; 107 sayfa

PhD. THESIS

**THE INVESTIGATION ACCURACY OF ORTHOPHOTOS GENERATED
FROM DIGITAL AIR IMAGES RECORDED FROM DIFFERENT HEIGHTS**

Aydan YAMAN

Aksaray University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics

Supervisor: Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

ABSTRACT

Digital orthophoto maps are numerical products that combine the accuracy of maps and readability of aerial photographs. They are prepared using colored or black and white digital aerial photographs and they have a fixed scale like maps. Digital orthophotos offer more flexible, cost-effective, and higher-quality outputs than classical methods. Today, the need for up-to-date maps is increasing in almost every field, and as an alternative to classical methods, orthophoto maps meeting the criteria of accuracy and precision of a standardized map are mostly preferred in a wide range of applications. However, the geometrical accuracy of orthophoto maps used in geomatics applications is of even greater importance. This study compared the orthophoto maps, that have a fixed scale like maps, obtained from digital aerial photographs at a ground sample distance of 7, 15 and 25 cm in 2011 in the campus area of Aksaray University, in terms of their positional accuracy. Orthophoto mosaic images were created using “Erdas LPS” software. The accuracy results obtained were compared with the values recommended in national and international standards. As a result, the positional accuracy of orthophotos for all three ground sample distances was suitable for use as reference and as a base in all application areas, for those requiring very high accuracy.

Keywords: Digital Air Image, Accuracy, Orthophoto, Ground Sample Distance.

July, 2018; 107 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Ortofoto örneği	2
Şekil 3.1: Fotogrametrinin gelişim evreleri.	14
Şekil 3.2: Optik değerlendirme aleti “Zeiss Multiplex Projector, 1933”	15
Şekil 3.3: Mekanik değerlendirme aleti “Stereoautograph Wild A8”	16
Şekil 3.4: Analitik değerlendirme aleti “Zeiss Planicomp P33”	17
Şekil 4.1: Çerçeve görüntüleme sistemine sahip dijital hava kameralarının görüntü alım şekli.	24
Şekil 4.2: Line scan dijital hava kameralarının araziyi tarama şekli	25
Şekil 4.3: Intergraph DMC sayısal hava kamerası ve kamera konileri.	26
Şekil 4.4: Intergraph DMC sayısal hava kamerasının mercek sistemi	26
Şekil 4.5: Bağımsız kamera konileri ve merkezi izdüşüm ile görüntü alımı	27
Şekil 4.6: TDI- görüntü sürüklenmesini önleyici sistem.	28
Şekil 5.1: “Matra 693” isimli ortofoto aletinin çalışma prensibi.	31
Şekil 5.2: “Matra 693” ortofoto aletinin görüntüleme düzeni.	32
Şekil 5.3: Çizgisel elemanlarla diferansiyel dönüşüm.	33
Şekil 5.4: Çizgisel elemanlarla diferansiyel görüntü transferinin sayısal kontrolü. ..	34
Şekil 5.5: Sayısal arazi modeli	37
Şekil 5.6: Sayısal ortofoto üretimi iş akış şeması	38
Şekil 5.7: Diferansiyel rektifikasyon konseptinin bir gösterimi.	39
Şekil 5.8: Sayısal yükseklik modeli.	43
Şekil 5.9: Yer örnekleme aralığı (YÖA, Ground sample distance: GSD).	45
Şekil 6.1: Çalışma alanı: Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesi.	53
Şekil 6.2: 7 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması	55
Şekil 6.3: 15 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması	56

Şekil 6.4: 25 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması .	57
Şekil 6.5: Her üç yer örnekleme aralığı için yapılan uçuşlar	58
Şekil 6.6: 7 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri.	59
Şekil 6.7: 15 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri. ...	59
Şekil 6.8: 25 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri. ...	60
Şekil 6.9: Intergraph DMC dijital kamerasının kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleri.	61
Şekil 6.10: 7 cm yer örnekleme aralığında çekilen resimler için dış yöneltme parametreleri.	62
Şekil 6.11: Yer kontrol noktalarının çalışma bölgesindeki dağılımı.	63
Şekil 6.12: Erdas LPS yazılımında imagine photogrammetry penceresinin görünümü.	66
Şekil 6.13: Başlangıçta referans koordinat sisteminin yazılıma tanıtılması.	67
Şekil 6.14: Kullanılan dijital hava kamerasının özelliklerinin yazılıma tanıtılması..	67
Şekil 6.15: Hava görüntülerinin ekranda gri olarak görünümü.	68
Şekil 6.16: Yer kontrol noktaları koordinatlarının yazılıma kaydedilmesi.	69
Şekil 6.17: Yer kontrol noktalarının resimler üzerindeki dağılımı.	69
Şekil 6.18: Yer kontrol noktalarının hava görüntüleri üzerinde işaretlenmesi.	70
Şekil 6.19: Üretilen bağlama noktalarının resimler üzerindeki dağılımı.	70
Şekil 6.20: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).	71
Şekil 6.21: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).	72
Şekil 6.22: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.	72
Şekil 6.23: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 106 adet ortofoto (1).	73
Şekil 6.24: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 106 adet ortofoto (2).	73
Şekil 6.25: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.	74
Şekil 6.26: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).	75
Şekil 6.27: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).	75
Şekil 6.28: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.	76
Şekil 6.29: Ortofotoların üretiminde kullanılan “bilineer enterpolasyon” yöntemi. .	76

Şekil 6.30: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 38 adet ortofoto.	77
Şekil 6.31: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.....	77
Şekil 6.32: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).....	78
Şekil 6.33: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).....	79
Şekil 6.34: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.	79
Şekil 6.35: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 40 adet ortofoto (1).....	80
Şekil 6.36: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 40 adet ortofoto (2).....	80
Şekil 6.37: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.....	81
Şekil 6.38: Çalışma bölgesinde belirlenen 30 adet detay noktasının GPS ile ölçülen koordinatları.	82
Şekil 6.39: Detay noktalarının kampüs bölgesi geneline dağılımı.	83
Şekil 6.40: A bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.	84
Şekil 6.41: B bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.	85
Şekil 6.42: C bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.	85
Şekil 6.43: D bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.	86
Şekil 7.1: 24 adet denetleme noktası ve yer kontrol noktalarının dağılımı.	89
Şekil 7.2: Arazide koordinatları ölçülen belirgin olmayan 30 adet detay noktası.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Kamera türleri ve açıklık açıları.....	21
Çizelge 5.1: Sayısal ortofotolar için öngörülen yatay doğruluk standartları.....	50
Çizelge 5.2: Sayısal ortofoto üretiminde konum (x,y) doğrulukları ile harita ölçekleri arasındaki ilişki.....	51
Çizelge 6.1: Çalışma bölgesine ait uçuş parametreleri.....	65
Çizelge 7.1: 7cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.....	95
Çizelge 7.2: 15cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.....	96
Çizelge 7.3: 25cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.....	97
Çizelge 7.4: Her üç yer örnekleme aralığı için bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.....	98
Çizelge 7.4 (devam): Her üç yer örnekleme aralığı için bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.....	99

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
km	Kilometre
m	Metre
mm	Milimetre
m_p	Konum hatası
ω	Enine eğiklik açısı
φ	Boyuna eğiklik açısı
κ	Dönüklük açısı
X₀, Y₀, Z₀	İzdüşüm merkezinin üç koordinatı
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

ASPRS	Amerika Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCD	Charge Coupled Device (Yüklenme İliştirilmiş Cihaz)
DMC	Digital Mapping Camera (Dijital Görüntüleme Kamerası)
DTM	Digital Terrain Model (Sayısal Arazi Modeli)
ED50	European Datum 1950 (Avrupa Datumu 1950)
EuroSDR	Avrupa Mekansal Veri Araştırmaları
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GSD	Ground Sample Distance (Yer Örnekleme Aralığı)
IMU	Inertial Measurement Unit (İnersiyal Ölçme Ünitesi)
INS	Inertial Navigation System (İnersiyal Navigasyon Sistemi)
ITRF96	Uluslararası Yersel Referans Ağı 1996
KOH	Karesel Ortalama Hata
LPS	Leica Photogrammetry Suite (Leica Fotogrametrik yazılımı)
OEEPE	Avrupa Deneysel Fotogrametri Araştırma Birliği
RTK	Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı

1. GİRİŞ

Fotogrametri, yersel kameralarla yerden alınan resimler veya daha yaygın kullanılan şekliyle uçağa yerleştirilen kameralarla havadan çekilen resimler üzerinden yapılan ölçümlerle uygulanan bir harita üretim tekniği veya bilim dalıdır.

Fotogrametri, görüntülerin işlenmesine dayanır ve ortaya çıkan temel ürünler sayısal arazi modelleri, sayısal yükseklik modelleri, ortogörüntüler, tematik uygulamalar, üç boyutlu görüntüler, animasyonlar vb. ürünlerdir (Baltsavias, 1999). Söz konusu verilerin ve güncel haritaların üretimi ve revizyonunda en fazla kullanılan kaynaklar hava görüntüleri ve uydu görüntüleridir (Özbalmumcu, 2007; Kraus, 1997).

Klasik analog veya dijital hava kameraları ile çekilen hava görüntüleri ve uydularda mevcut tarayıcı ve algılayıcı sistemlerle alınan uydu görüntüleri, çekildiği andaki mevcut araziye ilişkin gerçek bilgileri içerir. Hava ve uydu görüntüleri ilk çekildikleri anda çeşitli hatalara sahip olmalarından dolayı sabit bir ölçeğe sahip değildir ve bu nedenle, ham görüntü verilerinden uzunluk, açı, koordinat ve alan değerlerine ilişkin metrik bilgilerin alınması, üzerinde ölçümler yapılması ve bir harita gibi kullanılması olanaklı değildir. Çeşitli nedenlerden dolayı uçaklar ve uydu sistemlerinden tam düşey görüntüler (hava ve uydu görüntüleri) alınamamakta, alınan görüntüler arazi koordinat sisteminin eksenleri (X, Y, Z) ile belli oranda eğiklik ve dönüklüklere sahip olmaktadır. Bunun dışında, arazinin tam düz olmaması, çeşitli yükseklik farklarına sahip olması ve yatay düzleme tam paralel olmaması gibi nedenlerle, çekilen hava ve uydu görüntülerinin her noktasında ölçek değişmekte ve elde edilen ham görüntü verileri bir harita gibi doğrudan kullanılamamaktadır (Özbalmumcu, 2007; Kraus, 1997).

Hava görüntülerindeki eğiklik ve dönüklüklerden oluşan hataların giderilmesi, ayrıca arazideki yükseklik farklarından ileri gelen nokta kaymalarının da en aza indirilmesi ile elde edilen ve harita gibi sabit bir ölçeği olan, üzerinden koordinat, uzunluk gibi değerler okunabilen topoğrafik görüntüye ortofoto denilmektedir. Şekil 1.1’de ortofoto örneği görülmektedir.



Şekil 1.1: Ortofoto örneği (URL-1).

Başka bir deyişle sayısal ortofotolar renkli veya siyah-beyaz hava görüntülerinin, ölçek doğruluğunun her yerde sağlanması ile hazırlanan, haritanın doğruluğu ve hava görüntüsünün okunabilirliği üstünlüğünü birleştiren sayısal bir üründür (Akdeniz, 2004).

Sayısal ortofotolar, klasik yöntemlere göre daha esnek, ucuz ve yüksek kaliteli çıktılar vermektedir. Analog teknikte olduğu gibi görüntünün kalitesinde bir azalma olmamaktadır. Analog yöntemde, özellikle renkli görüntülerde karşılaşılan, çözülme kayıpları, doğruluk ve mozaik oluşturmadaki zorluklar sayısal ortofotolarda ortadan kalkmaktadır ve bunlar ayrıca sayısal ortamda, hızlı ve kolayca kullanıma sunulabilmektedir (Akdeniz, 2004; Gerhard, 1991).

Ayrıca sayısal ortofotolar, kullanıcılara yüksek hassasiyet, zengin bilgi kaynağı, iyi bir önsezi ve gözlemleme, kullanışlı veri edinimi ve en önemlisi de iyi bir veri altyapısı sağlamaktadır. Özellikle son birkaç yıldır bilgisayar teknolojisi ve fotogrametri bilimindeki gelişmelerle birlikte hava ve uydu görüntüleri gibi kaynaklarda giderek zenginleşmekte ve görüntü kalitesi de açıkça iyileşmektedir (Yang vd., 2016).

Üzerinde harita kenar bilgileri, gridler, eşyükseklik eğrileri, yer isimleri gibi bilgilerin bulunduğu ortofotolara ortofoto harita, birçok ortofotonun birleştirilmesi ile oluşan tek altlık üzerindeki görüntüye de ortofoto mozaik denilmektedir. Eldeki görüntülerin

sayısal olması, bu görüntülerin en uygun şekilde birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ortofotolar, kartografik haritaları yorumlamakta ve anlamakta güçlük çeken kullanıcılar için, görsel iletişim ve kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilen bir harita türüdür (Akdeniz, 2004; Gerhard, 1991).

Hava görüntülerinden elde edilen çizgisel veya sayısal bir vektör harita, kullanıcıya sınırlı bilgi sunduğu için çoğu zaman tek başına yetersiz kalabilmekte, çoğu meslekteki uygulayıcılar (arkeologlar, toprak bilimciler, ziraatçılar, jeologlar, şehir planlamacıları, çevre bilimcileri gibi) kendileri için önemli olan bazı detayları bir topoğrafik vektör haritada zaman zaman bulamamaktadır. Hava görüntüsünün içeriğini eksiksiz ve doğru bir biçimde gösteren bir ortofotolar, pek çok kullanıcı için daha iyi bir çözüm sunabilmektedir (Özbalımcı, 2007; Kraus, 1997).

Ortofotolar, kolayca ekranda görüntülenebilir, sayısal ve koordinatlı olduğu için rahatlıkla sayısal harita ile de birleştirilerek daha zengin bir bilgi kaynağı sağlar. Ortofotoların, vektörel haritalara nispeten daha ucuz ve daha kolay ve daha güncel bir üretim olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. Ayrıca maliyeti düşürerek performansı artırmanın yanı sıra, ortofotolar özellikle sayısal haritaların güncellenmesinde, otomatik harita yapımında ve yeni veri tabanlarının oluşturulmasında çok geniş imkanlar sunmaktadır (Tufan, 2011; Baltsavias, 1999).

Günümüzde güncel haritalara olan gereksinim her alanda artmakta ve klasik yöntemlere alternatif olarak standart bir haritanın doğruluk ve hassasiyet kriterlerini taşıyan ortofotolar, birçok uygulama alanında tercih edilmektedir.

Yapılacak çalışmanın amacı da eldeki farklı yer örnekleme aralığına sahip sayısal hava görüntülerindeki mevcut geometrik hataların ortadan kaldırılarak üzerinde araziye ait uzunluk, açı, alan gibi değerlerin doğrudan ölçülebildiği, harita gibi her yerinde sabit bir ölçeği olan ortofoto mozaik görüntüler elde ederek, doğruluklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, yapılan çalışmada “Erdas LPS” yazılımı kullanılarak ortofoto mozaik görüntüler elde edilmiş ve üretilen haritalar birbirleri ile ve detay noktaları da arazide GNSS ile ölçülen noktalarla karşılaştırılarak konum doğrulukları araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Akdeniz (2004), “Kriz yönetiminde sayısal ortofoto haritaların sağlayabileceği olanaklar” isimli çalışmada sayısal ortofotoların acil durumlarda sağlayabileceği olanakları araştırmış ve bu konuda 1999 Gölçük depremi sonrası bölgenin harita genel komutanlığı tarafından yapılan sayısal ortofotolarını incelemiştir. Bunun için ortofoto üretim aşamaları olan, çalışma bölgesine nirengi noktası tesisi, hava görüntülerinin çekilmesi, sayısal arazi modeli oluşturulması işlem adımlarını gerçekleştirmiştir ve daha sonra bu ortofotoları birleştirilerek ortofoto mozaik görüntü oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu görüntüler hızlı bir şekilde ilgili kurumlara dağıtılmıştır. Bu çalışmada afetin hemen ardından ilk 30 saat içinde sayısal ortofotoların üretilerek çalışmaların kısa sürede etkin bir şekilde yapılacağı vurgulanmıştır.

Arslanbek (2009), “ Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması” isimli tez çalışmada, farklı sayıda yer kontrol noktası kullanarak blok dengeleme yapmış, farklı veri türleri kullanarak farklı çözünürlüklerde sayısal yükseklik modelleri üretmiş ve üretilen sayısal yükseklik modellerinin ve aynı zamanda blok dengelemeye giren yer kontrol noktası sayısının ortofoto doğruluğuna etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, ortofoto üretiminde kullanılacak olan optimum yer kontrol noktası sayısını ve optimum sayısal yükseklik modeli kaynağını belirlemeyi amaçlamıştır. İlk olarak çalışma bölgesine ait sayısal hava görüntülerinden blok dengeleme yapmış ve dengelemeye 4, 5, 8 ve 9 adet yer kontrol noktasını dahil etmiş ve dört farklı görüntü elde etmiştir. Bu görüntülerden ise ortofoto üretiminde 5 farklı sayısal yükseklik modeli kullanmıştır. Blok dengelemeye farklı sayılarda yer kontrol noktasını dahil ettiğinde elde edilen her bir ortofotonun karesel ortalama hatasını hesaplamıştır. Sonuç olarak, dengelemeye dahil edilen yer kontrol noktası sayısının ortofoto ve sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu çok düşük miktarda etkilediğini görmüştür. Yine üretilen sayısal yükseklik modellerinin çözünürlüğünün düştükçe ortofotonun doğruluğunu olumsuz etkilediğini, elde edilen sayısal yükseklik modellerinin karesel ortalama hatalarının yaklaşık 0.3m-0.5m civarında olduğunu, ilgili sayısal yükseklik modellerinden üretilen ortofoto doğruluğunun 0.25m-0.60m civarı olduğunu görmüştür.

Dolayısıyla ortofoto doğruluğunun iyi bir sayısal yükseklik modeli kullanılırsa bir pikselin altında olabileceğini değerlendirmiştir.

Daramola vd., (2017), “Assessing the geometric accuracy of UAV-based orthophotos” isimli çalışmalarında insansız hava aracı ile elde edilen dijital hava görüntülerinin geometrik doğruluğunu test etmek amacıyla Lagos Üniversitesi Akoka kampüsünü çalışma alanı olarak seçmişler ve UX5 hava kamerası ile 100 metre uçuş yüksekliğinde, 3.2 cm yer örnekleme aralığında çalışma bölgesinin 669 adet hava fotoğraflarını çekmişlerdir. Daha sonra çalışma bölgesinin ArcMap yazılımında sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretimini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra seçilen 10 adet denetleme noktasının GPS ile elde edilen koordinatları ile ArcMap yazılımında üretilen ortofoto mozaik görüntüsü üzerinden elde edilen koordinatlarının farkları alınarak karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta yatay doğruluk 3.207 m, düşey doğruluk ise 0.884 m olarak bulunmuştur. Yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları da ayrıca hesaplanmış ve yatay doğruluk 0.292 m, düşey doğruluk ise 0.231 m olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar mekânsal veri doğruluğu için ulusal standartlar ile karşılaştırılmış ve bulunan değerler ulusal standartlarda olması gereken değerlerin altında bulunmuştur. Dolayısıyla çalışmada elde edilen ürünlerin çeşitli mühendislik ve haritalama çalışmalarında rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür.

Jacobsen (2011), “Geometric property of large format digital camera DMC II 140” isimli çalışmasında DMC II 140 dijital hava kamerasının doğruluğunu analiz etmek için 71 adet kontrol noktasıyla 5.7 cm, 9.5 cm ve 20.2 cm olmak üzere üç farklı yer örnekleme aralığında test uçuşları gerçekleştirmiştir. Sistemik görüntü hatalarına bakıldığında 5.7 cm GSD için karesel ortalama hata 0.3 μ m, 9.5 cm GSD için karesel ortalama hata 0.2 μ m ve 20.2 cm GSD için karesel ortalama hata ise 0.6 μ m bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında sistematik görüntü hatalarının uçuş yüksekliğine bağlı olarak değişmediği görülmüştür. Genel olarak sistematik görüntü hatalarının karesel ortalama hatası oldukça düşüktür ve bu değer 0.2 μ m- 0.6 μ m (0.03-0.08 piksel)’e karşılık gelmektedir. Sonuç olarak karesel ortalama hata değeri 5.7 cm GSD blok için 0.14 μ m (0.020 piksel), 9.5 cm GSD blok için 0.17 μ m (0.024 piksel) ve 20.2 cm GSD blok için 0.25 μ m (0.035 piksel) olarak bulunmuştur.

Karasaka vd., (2017), “Geometric analysis of digital aerial images” isimli çalışmalarında DMC-II 250-d ve Vexcel Ultracam X dijital hava kameralarının

geometrik doğruluklarını araştırmak amacıyla Bursa İli'nde 10 cm ve 30 cm yer örnekleme aralıklarında uçuş gerçekleştirmişler ve görüntülerin değerlendirilmesinde “Match-At” yazılımını kullanmışlardır. 30 cm yer örnekleme aralığındaki hava görüntüleri Vexcel Ultracam X dijital hava kamerası ile, 10 cm yer örnekleme aralığındaki hava görüntüleri ise DMC-II dijital hava kamerası ile çekilmiştir. 30 cm GSD için 30 adet yer kontrol noktası ve 15 adet denetleme noktası kullanılmış olup, 10 cm GSD için ise 18 adet yer kontrol noktası 5 adet de denetleme noktası kullanılmıştır. Her blokta yer kontrol noktaları ve denetleme noktaları için dengeleme işlemi sonucunda karesel ortalama hataları hesaplanmış ve 30 cm yer örnekleme aralığındaki blok için yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları yatayda ve düşey yönde 1.0 pikselin altında, denetleme noktalarının ise karesel ortalama hataları yatayda 1.0 pikselin altında, düşey yönde ise 1.2 pikselin altında bulunmuştur. 10 cm GSD için ise yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatası yatayda ve düşeyde 1.0 pikselin altında, denetleme noktalarının karesel ortalama hataları ise yatayda ve düşeyde yine 1.0 pikselin altında bulunmuştur. Çıkan sonuçlar ASPRS standartları ve Türkiye’deki ulusal standartlar için uygun bulunmuştur. Sonuçta 30 cm yer örnekleme aralığındaki dijital hava görüntüleri kullanılarak 1/5000 ölçeğinde dijital topoğrafik haritaların üretilebileceği, 10 cm yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak da 1/1000 ölçekli dijital topoğrafik haritaların üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Madani vd.,(2004), “DMC practical experience and accuracy assessment” isimli çalışmasında DMC hava kamerasının geometrik doğruluğunu araştırmıştır. Genelde, bağlama noktalarının demet dengelemesinden sonra koordinat doğruluğunun normalde 1 veya 2 μm ($1/6 - 1/12$ piksel)’e karşılık gelmesi beklenmektedir. Çalışmada örnek olarak 1/13000 ölçeğinde ve 1500 m uçuş yüksekliğinde Z/I Imaging hava kamerası ile alınan hava görüntüleri verilmiştir. Bu durumda 12 μm piksel boyutu yaklaşık 13 cm yer örnekleme aralığına karşılık gelmektedir. Bağlama noktalarının koordinatları otomatik olarak ISAT yazılımında hesaplanmış, yer kontrol noktalarından bazılarının görüntü koordinatları ve denetleme noktaları manuel olarak ölçülmüştür. Demet dengelemesinden sonra denetleme noktalarının obje koordinatları hesaplanmıştır. Görüntü koordinatlarının standart sapması 1.7 μm veya 0.14 piksel bulunmuştur. Bilinen değerlerle karşılaştırıldığında standart sapma yatayda 0.036m ve düşeyde ise 0.06 m bulunmuştur. Denetleme noktalarının doğruluğu ise yaklaşık

olarak yatayda 0.065 m, düşeyde ise 0.010 metredir. Kameranın geometrisi incelendiğinde sonuçların çok yüksek doğrulukta taleplere cevap verebileceği, 0.3m eşyükselti aralığına kadar topoğrafik haritaların üretimine imkan sağlayacağı ve hatta ASPRS standartlarında Sınıf I çalışmalarda kullanılabileceği görülmektedir.

Popescu vd., (2016), “ The resultant positional accuracy for the orthophotos obtained with unmanned aerial vehicles (UAVs)” isimli çalışmasında ASPRS standartlarına göre konum doğruluğunun araştırılmasında hata kaynakları ve bu hatalara sebep olan temel etkenleri araştırmayı amaçlamışlardır. İnsansız hava aracı ile elde edilen ortofotolarda konum doğruluğunu etkileyen bazı önemli unsurları ASPRS’ de verilen temel standartlarla karşılaştırarak araştırmışlardır. Bu bağlamda çalışmada kullanılan insansız hava aracının sabit kanatlı ya da döner kanatlı olması, kullanılan hava kamerasının metrik olması veya olmaması, yer kontrol noktalarının etkisi araştırılmıştır. Daha sonra ortofoto piksel değerleri ve bunlarla ilgili karesel ortalama hataları sınıflandırarak geniş veya orta formatta metrik kameralar kullanılması durumunda bunların ne tür çalışmalara altlık olabileceğini araştırmışlardır.

Spreckels vd.,(2005), “Photogrammetric stereoplotting capabilities of Vexcel UltraCamD digital aerial imagery” isimli çalışmasında Vexcel UltraCamD dijital hava kamerası ile Almanya’ da bir kömür madeninin hava görüntülerini çekmişlerdir. Çalışmada 45 adet yer kontrol noktası kullanılmış ve koordinatları GPS ile ölçülmüştür. 1/5000 ölçeğinde ve 10 cm yer örnekleme aralığında doğu-batı uçuşları, 8 cm yer örnekleme aralığında ise çapraz uçuşlar gerçekleştirilmiştir. 10 cm GSD için 130 adet hava görüntüsü, 8 cm GSD için ise 77 adet hava görüntüsü elde edilmiştir. Daha sonra “Leica LPS” yazılımında blok dengeleme yapılmış ve yer kontrol noktaları için karesel ortalama hatalar x yönünde 2.15 cm, y yönünde ise 3.31 cm bulunmuştur. Daha sonra çalışma bölgesinin dijital yükseklik modeli ve ortofoto mozaik görüntüsü üretilmiştir.

Şahin (2007),” Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması” isimli çalışmasında sayısal yükseklik modellerinden daha iyi bir sonuç elde etmek için farklı yöntemler deneyerek iki ayrı test alanında karşılaştırmalar yapmıştır. Hava görüntülerinden ve Ikonos uydu görüntülerinden, eş yükseklik eğrilerinden çeşitli metodlar kullanılarak farklı aralıklarla iki test bölgesi için üretilmiş sayısal yükseklik modeli verilerini kullanmıştır. Çalışmanın amacı, ortorektifikasyon işlemi sırasında sayısal yükseklik

modelinin doğruluğunun ortofoto konumsal doğruluğuna etkisini bulmaktır. Ortofoto doğruluğunu test etmek için referans veri olarak birinci test alanında stereo modellerden okunan koordinat değerleri, ikinci test alanında arazide takeometrik olarak ölçülen üç boyutlu nokta koordinatları kullanılmıştır. Aynı noktalar, farklı sayısal yükseklik modelleri yardımıyla üretilen ortofotolar üzerinde de okunarak farkları alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta üretilen ortofotolar ve stereo modelin karşılaştırılmasından elde edilen hatalar incelendiğinde; 2 m aralıklarla üretilmiş eş yükseklik eğrilerinden üretilen sayısal yükseklik modelleri, 10 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinden üretilen sayısal yükseklik modellerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tsarovski (2015), “Accuracy Evaluation and Quality Control of Digital Orthomaps-Sheets” isimli çalışmada sayısal arazi modeli temel alınarak ortofotoların doğruluğu ve kalitesini araştırmayı amaçlamıştır. Bu kapsamda dijital hava kamerası DMC ile çalışma bölgesine ait 700 adet hava görüntüsü çekilmiştir. Ortalama uçuş yüksekliği 3600 metre olup ölçek 1/30000 alınmıştır. Daha sonra “ERDAS Imagine” yazılımında fotogrametrik triangülasyon, DTM üretimi ve ortofoto üretimi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hava görüntüleri arasındaki bağlantının iyi sağlanması amacıyla her bir stereo görüntü arasında 50 adet bağlantı noktası kullanılmıştır. Daha sonra bloktaki her bir görüntü için yer kontrol noktalarının görüntü koordinatları hesaplanmıştır. Noktaların GNSS yöntemi ile statik modda ölçülen arazi koordinatları ile fotogrametrik görüntü üzerinden ölçülen koordinatları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. 144 adet yer kontrol noktasının 25 adedi dikey yönde ve 24 adedi de denetleme noktası olarak ölçülmüştür. Daha sonra bloktaki her bir görüntü için görüntü koordinatları hesaplanmış ve 564 nokta için karesel ortalama hata değeri x yönünde 0.199 piksel, y yönünde ise 0.175 piksel olarak bulunmuştur. Projedeki tüm gözlemler için toplam karesel ortalama hata 0.20 piksel olarak bulunmuştur. Ayrıca yer kontrol noktalarının x,y ve z yönündeki karesel ortalama hataları sırasıyla 0.042 m, 0.037m ve 0.014 m olarak bulunmuştur. Ayrıca denetleme noktalarının karesel ortalama hataları x,y ve z yönünde sırasıyla 0.121m, 0.131 m ve 0.366 m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan yola çıkılarak denetleme noktalarının planimetrik doğruluğu hesaplanmış ve 0.178 m olarak bulunmuştur. Lineer doğruluğu ise 0.786 m bulunmuştur. Daha sonra DTM, ortofoto ve ortofoto mozaik üretimi gerçekleştirilmiştir. Ortofoto harita üzerinde belirgin olarak görünen 20 adet denetleme noktası seçilmiştir ve bu denetleme noktalarının arazi koordinatları GNSS ile belirlenmiştir. Yapılan

hesaplamalar sonucunda yatay yöndeki karesel ortalama hata 0.319 m olarak bulunmuştur. Sonuçta elde edilen doğruluk 1/2500 ölçeğinde birinci sınıf topoğrafik çalışmalar için önerilen değerlere uygun bulunmuştur. Ayrıca üretilen dijital ortofoto haritanın geometrik doğruluğu 0.55 m olup, bu ortofoto haritaların 1/2000 ve daha küçük ölçekli çalışmalarda kullanılabileceği görülmüştür.

Tufan (2011) “Ortofoto harita üretimi ve coğrafi bilgi sistemlerinde veri kaynağı olarak kullanımının araştırılması” isimli çalışmasında, Ankara-Bala bölgesini incelemiş ve bu bölgenin hava görüntülerinden faydalanarak iki farklı koordinat sisteminde (ED50 ve ITRF96) 1/1000 ölçekli ortofoto harita üretimini gerçekleştirmiştir. Daha sonra bu ortofoto haritaları belediye ve kadastro müdürlüğünden aldığı sayısal vektör haritalarla kıyaslamış ve ortofoto haritaların coğrafi bilgi sistemlerinde temel altlık olarak kullanılabileceğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda koordinat sistemi uyumsuzluğundan dolayı vektör veri ve ortofoto haritalar arasında uyumsuzluklar görülmüştür.

Vega vd., (2017), “Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle” isimli çalışmasında insansız hava aracı ile elde edilen ortofotoların doğrulukları üzerinde yer kontrol noktalarının sayısının etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla 17.64 hektarlık bir alanda, 120 metre uçuş yüksekliğinde 160 adet dijital hava görüntüsü çekmişlerdir. Görüntü alımında sekiz rotorlu insansız hava aracı ve Nikon D-3100 dijital hava kamerası kullanılmıştır ve 3.291 cm yer örnekleme aralığında uçuş gerçekleşmiştir. Daha sonra 9 farklı yer kontrol noktası farklı şekillerde kombine edilerek “Agisoft PhotoScan” yazılımında ortofoto üretilmiştir. Kombine edilen her farklı proje için doğu (x), kuzey (y), yatay (xy) ve yükseklik (z) değerleri için doğruluk araştırması yapılmıştır. Sonuçta yatay ve düşeydeki doğruluğun yer kontrol sayısı arttıkça doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. 1990 ASPRS harita standartlarına bakıldığında 15 adet yer kontrol noktası ve 120 metre uçuş yüksekliği için, mühendislik projelerinde 1/150 ölçeğinde ve 15 cm kontur aralığında haritaların kullanılabileceği görülmüştür. Wang vd. (2008), “Generation of orthophotos using pictometry’s digital images” isimli çalışmalarında DMC ve ADS 40 gibi geniş formatlı dijital hava kameralarının yanı sıra “Pictometry” gibi orta formatlı dijital kamera/sistem kullanarak test alanlarında dijital ortofoto görüntüler üretmişler ve sonuçlarını incelemişlerdir. Çalışma alanına yaklaşık yüz adet kontrol noktası tesis etmiş olup 15 cm yer örnekleme aralığındaki “Genesee” adını verdikleri projelerinde bunlardan 73 tanesini

triangölasyon için kontrol noktası olarak kullanmışlar ve 24 tanesini ise denetleme noktası (check point) olarak kullanmışlardır. Yine “ Buffalo” isimli 15 cm yer örnekleme aralığına sahip projelerinde 4 adet yer kontrol noktası bloğun köşelerinde olmak üzere 44 adet denetleme noktası ise ortofotonun kalitesini belirlemek için kullanılmıştır. “ Orange Country” isimli 10 cm yer örnekleme aralığına sahip projelerinde ise 5 adet kontrol noktası, 5 adette denetleme noktası kullanmışlardır. Öncelikle ortofotolar daha sonra ise ortofoto mozaik görüntü oluşturulmuştur. Kontrol noktalarına bağlı olarak üretilen ortofoto mozaik görüntünün kalitesi araştırılmıştır. Bulunan sonuçlarda karesel ortalama hatalar her biri için görüntünün yer örnekleme aralığına eşit veya küçük çıkmış ve sonuçlara bakıldığında “Orange Country” isimli proje yüksek doğruluklu sayısal yükseklik modeli ve daha büyük görüntü ölçeği nedeniyle en iyi sonucu vermiştir. Ancak ortofoto mozaik görüntülerin her biri için x ve y yönünde sonuçların hemen hemen yakın olduğu görülmüştür. Bu durum, orta formatlı Pictometri’ nin görüntü hareketi etkisinin göz ardı edilebileceğini göstermiştir. Dolayısıyla orta formatlı Pictometry ile yüksek kalitede ortofotoların üretilebileceği görülmüştür. Ortofotolardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretilen ortofoto mozaik görüntülerin ASPRS’ de verilen birinci sınıf çalışmalar için kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

Yılmaz vd., (2013),”İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi” isimli çalışmasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü’ nü pilot bölge olarak seçmiş ve Gatewing X-100 insansız hava aracına kamera takarak pilot bölgenin fotoğraflarını çekmiş ve ortofoto haritasını üretmiştir. Üretilen bu ortofoto haritanın geometrik doğruluğunun belirlenmesi amacıyla yeryüzünde koordinatları RTK GPS yöntemiyle ölçülen noktaları kullanmışlardır. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda bu yöntemle elde edilen ortofoto haritanın yataydaki konum doğruluğunun yaklaşık olarak 7-8 cm civarında olduğunu belirlemişlerdir.

Yıldız (2015), “ Mekansal projelerde sayısal ortofoto ürünlerinin coğrafi bilgi sistemlerine altlık olarak kullanılması” isimli tez çalışmasında, sayısal ortofoto ürünlerinin coğrafi bilgi sistemlerine altlık olarak kullanılması için gerekli yer örnekleme aralıklarının hangi CBS ürününe altlık olabileceğini araştırmış ve bu kapsamda seçilen test alanında 10 cm, 30cm ve 50 cm yer örnekleme aralığına karşılık gelen ortofoto üretimleri yapılmış, bu üretimlerin geometrik doğrulukları belirlenmiş ve radyometrik değişimlerin incelenmesi yapılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda 1/1000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak kullanılacağı uygulamalarda 10 cm

yer örnekleme aralıklı üretimlerin, 1/2000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak kullanılacağı uygulamalarda 20 cm yer örnekleme aralıklı üretimlerin, 1/5000 - 1/10000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak kullanılacağı uygulamalarda ise 50 cm yer örnekleme aralıklı üretimlerin kullanılabileceği ve beklenen geometrik ve radyometrik doğrulukların sağlandığı görülmüştür. Ayrıca çalışmasında denetleme noktalarının sayısal arazi modeli verilerinden hesaplanan koordinatları ile gerçek arazi koordinatları arasındaki farklardan yola çıkarak sayısal arazi modelinin doğruluğunu EuroSDR (önceki adı ile OEEPE) adlı yönergede uygun görülen değerler ile karşılaştırmış ve bulduğu sonuçların bu değerlerden düşük çıktığını görmüştür.

Yapılan çalışmada da çalışma bölgesine ait farklı yüksekliklerden çekilen üç farklı yer örnekleme aralığında dijital hava görüntüleri kullanılarak “Erdas LPS” yazılımında üç farklı ortofoto mozaik görüntü elde edilmiş ve ulusal ve uluslararası standartlarda uygun görülen değerler referans alınarak farklı uçuş yüksekliklerinin ortofoto mozaik görüntülerin doğruluğunu nasıl etkilediği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde benzer yer örnekleme aralıkları için bulunan sonuçlarda anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

3. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ

Fotogrametri, cismin fotoğraflarından yararlanarak uzaydaki şeklini, boyutlarını ve konumunu belirlemeyi amaçlayan bilim dalıdır. Fotogrametrik ölçümlerin sonuçları şu şekilde sıralanabilir;

- Rakamlar; örneğin nesnelerin üç boyutlu koordinat sistemindeki koordinatları,
- Çizimler; planimetrik ayrıntılar ve eş yükseklik eğrileri ile birlikte nesnelerin grafik olarak temsil edildiği plan ve haritalar,
- Görüntüler; ortofotolar ve bunlardan üretilmiş haritalar ve dijital görüntüler (Kraus ve Waldhausl, 1993).

Fotogrametri kelime olarak, ışık anlamına gelen “photos”, çizili ya da yazılı bir şey anlamına gelen “gramma” ve ölçmek anlamına gelen “meton” kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Bu isime dayanılarak fotogrametrinin fotoğrafın bulunuşu ile ortaya çıktığı düşünülse de, fotogrametrinin temelini oluşturan merkezi izdüşüm ve perspektif ile ilgili kavramlar İtalyan Leonardo Da Vinci (1452-1519) ve Alman Dürer (1471- 1582) tarafından birbirinden bağımsız olarak ilk kez ele alınmıştır (Arslanbek, 2009; Finsterwalder, 1983).

1600’lerde Alman astronom Johannes Kepler (1571-1630) üç boyutlu görüşü tam olarak tanımlamıştır. Perspektifin bulunması ve resim sanatında kullanılması ile geometri, uzayın düzleme tanımlanması ile ilgili kurallar ve matematik modeller geliştirilmiştir. İsviçreli M. A. Kappeler ilk olarak düzlem perspektiften ve üç boyutlu cisimlerin yeniden oluşturulmasını topoğrafik amaçlar için kullanmıştır.

1837 yılında Louis J.M. Daguerre “daguerrotypes” adını verdiği fotoğrafları sundu ve bundan sonra 1838 yılında İngiltere’de Arago and Niepce “Heliographic süreç” adını verdikleri fotogrametrinin ilk pratik uygulama sürecini başlatmışlardır (Ghosh, 1981).

1851 yılında Fransız Binbaşı A. Laussedat ilk yersel ölçme kameralarını yapmış ve bu kameraları “ Metrographie” adını verdiği plançete ile arazi alımına benzeyen bir topoğrafik alım yönteminde kullanmıştır.

Bu yönteme “ Plan ete Fotogrametrisi” denilmektedir. Bu dönemde fotogrametrinin geometrik ve analitik esasları genişletilmiş olup aynı tarihte Almanya’ da mimar A. Meydenbauer, Laussedat’ tan bağımsız olarak bina  l melerindeki problemler üzerinde çalışmıştır.

1883 yılında Hauck, projektif geometri ile fotogrametri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu gelişme analitik fotogrametrideki ilerlemelerin temeli olarak düşünülebilir. 1901 yılında ise F. Stolze, Eduard Von Orel’in ilk prototip stereoautograph aletine ilaveten stereokomparat r  geliştirmiştir (Ghosh,1981).

1899-1937 yılları arasında Sebastian Finsterwalder analitik fotogrametrinin güçlü temellerini anlatan bir dizi yayın yapmıştır. Astrolojik gözlemlerle birlikte fotogrametri uygulamaları ve triyangu lasyon ile ilgili geleceğe dair tahminlerde bulunmuştur (Ghosh, 1981).

Th. Scheimpflug, Viyana’ da topoğrafik amaçlı hava fotoğrafı çekimi ve bunlar yardımıyla  l me yapma işlemini sistematik bir düzene oturtmuştur. Hava fotoğraflarının doğrudan doğruya benzerliği nedeniyle 1897 yılında Th. Scheimpflug, yaklaşık yatay arazinin tek fotoğraflarının ölçeğe uygun plana geçirilmesi çalışmalarını gerçekleştirmiştir.

1915 yılında Messter Almanya’ da ilk resim çekme makinesini imal etmiştir. Bu yüzyılın başında üç boyutlu görüşe dayanarak  l me yapma tekniği ile özellikle S. Finsterwalder tarafından bilgisayar destekli değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan analitik ve matematik esaslar belirlenmiştir.

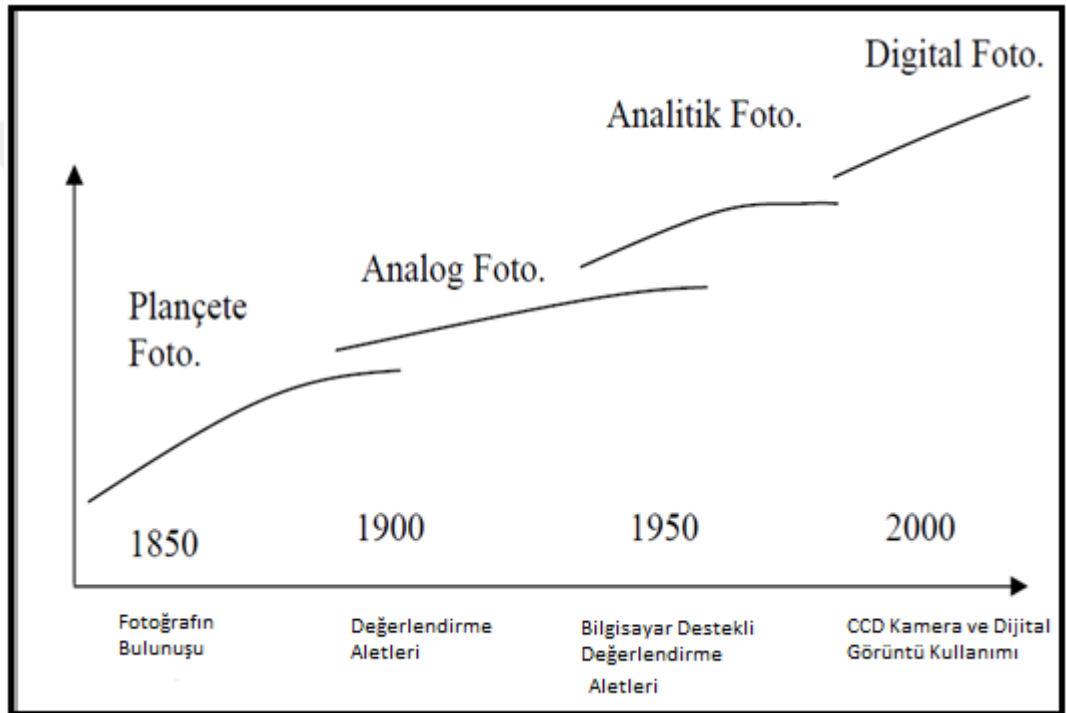
 lk defa stereo fotogrametride, yalnız  l me resmi ile gerçekleştirilebilen bir  l me ve değerlendirme şekli ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde insan gözünün aynı cisme ait iki düzlem perspektifi uzayda stereoskopik olarak görmesinden faydalanılmıştır. Bu  zellik, Almanya’ da C. Pulfrich tarafından çizilen, Jena tarafından üretilen stereo-komparatörün ve E. Von Orel’ in Autograph’ ı  l me tekniğinde kullanması ile fotogrametriye yeni bir boyut kazandırmıştır.

1950’li yılların başında başlangıçta sayısal güçlükler nedeniyle ele alınamayan analitik yöntemler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda ele alınmış ve H. Schmid fotogrametrideki temel problemleri kolinearite koşuluna dayandırarak çözmüştür. Analitik yöntemlerin yeniden ele alınması sonucunda çeşitli stereo ve

monokomparatörler üretilmiş ve bu verileri işleyen çeşitli demet dengelemesi programları geliştirilmiştir (Arslanbek, 2009; Finsterwalder, 1983).

1980' li yıllarda bilgisayarda grafik işlemlerin yapılmasına imkan tanıyan yazılım ve donanımların geliştirilmesi fotogrametri alanında da etkisini göstermiş ve dijital fotogrametri doğmuştur.

Fotogrametri, temellerinin atıldığı günden bugüne tarihsel gelişim olarak bakıldığında, teknolojiye meydana gelen gelişmelere paralel bir şekilde gelişim göstermiştir. Bu gelişim evreleri Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1: Fotogrametrinin gelişim evreleri.

Bu gelişmeler aşamasında ilginç olan gelişme süreleridir. Genel olarak ele alındığında fotoğrafın bulunmasından yaklaşık bir yüzyıl sonra analog fotogrametriye, analog fotogrametriden yaklaşık yarım yüzyıl sonra analitik fotogrametriye geçilirken, analitik fotogrametriden dijital fotogrametriye ise yirmi yıl içinde geçilmiştir (Gruen, 1998).

3.1 Fotogrametrinin Değerlendirme Yöntemine Göre Sınıflandırılması

Fotogrametri, değerlendirme yöntemine göre, grafik (plançete) fotogrametri, analog fotogrametri, analitik fotogrametri ve dijital (sayısal) fotogrametri olarak sınıflandırılmaktadır.

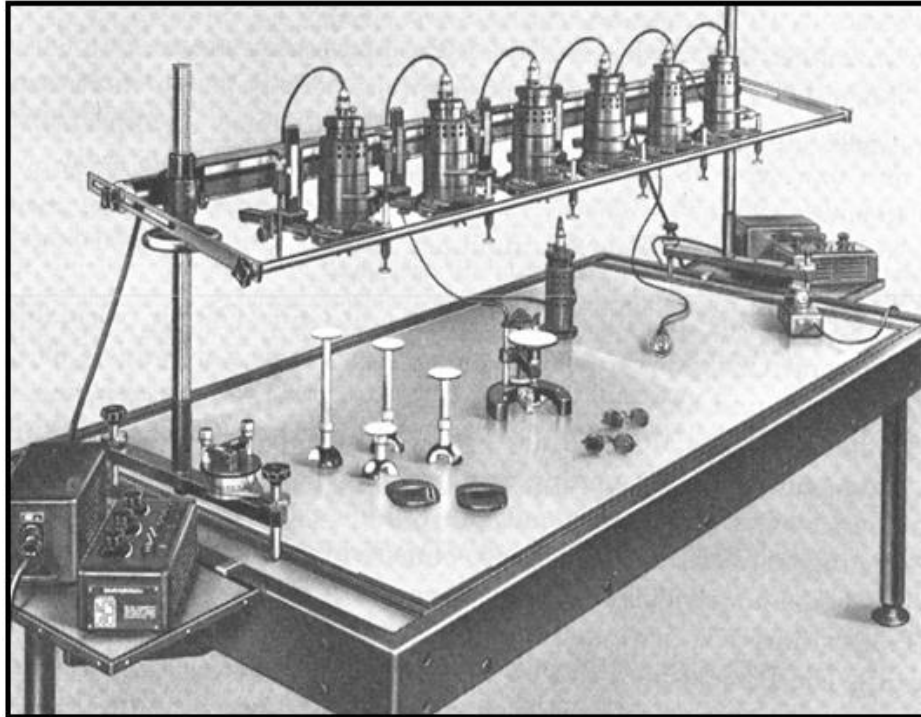
Fotogramtride “analitik” kelimesi “hesaplama” kelimesiyle eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Çünkü burada çözümler analog fotogramtriden ayrı olarak matematiksel yöntemlerle elde edilir. Analog fotogramtride ise çözümler analog şekilde kıyaslanarak veya optik-mekanik olarak elde edilmektedir (Ghosh, 1981).

3.1.1 Grafik (plançete) fotogrametri

Grafik fotogrametri, mutlak düşeyde belli temel geometrik prensiplerle resim elde edilmesine dayanmaktadır. Fotoğraflar üzerinden açı (doğrultu) ve uzunluk ölçmeleri ile projektif ve perspektif geometri kavramlarını kullanarak çizgisel harita üretimi için geliştirilmiştir (Yıldız, 2010). Kamera ve teodolitlerin birleştiği fototeodolitlerin kullanıldığı bu değerlendirme yöntemi, mimari fotogrametri çalışmalarında kullanılmıştır.

3.1.2 Analog fotogrametri

Analog resimlerin elde edilmesi ile başlayıp optik mekanik işlemler ile çizgisel sonuçlar elde edilmesini sağlayan fotogrametrinin türüdür. Burada, resmin çekim anının optik mekanik aletler ile yeniden oluşturulmasına dayanan ve cismin üç boyutlu modelinin tekrar elde edilmesini sağlayan sistemler kullanılır. Şekil 3.2’ de optik değerlendirme aleti olan “Zeiss Multiplex Projector, 1933” görülmektedir.



Şekil 3.2: Optik değerlendirme aleti “Zeiss Multiplex Projector, 1933” (Yıldız, 2010).

Şekil 3.3’ de ise analog fotogrametride kullanılan ve mekanik değerlendirme aleti olan “Stereoautograph Wild A8” görülmektedir.



Şekil 3.3: Mekanik değerlendirme aleti “ Stereoautograph Wild A8” (Burnside, 1993).

3.1.3 Analitik fotogrametri

Analitik fotogrametri, yine analog resimlerin elde edilmesi ile başlar ve yöneltme elemanları yapılan ölçmeler ile dengeleme sonucunda hesaplanır. Kullanılan optik aletler bir işlemci ile desteklenmektedir ve bu şekilde ölçmelerin bilgisayar ortamında saklanması ve hesaplarının yapılması sağlanmaktadır. Dengeleme işlemi ilk başlarda bağımsız model ile yapılırken daha sonra ışın demetleri ile dengeleme metodu kullanılmıştır. Ayrıca değerlendirme işlemi bilgisayarlarda yapıldığından sonuçlar koordinat bilgisi olarak saklanabilmekte ve elde edilen sonuçların bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerine aktarılması ve görsel efektlerle desteklenmesi mümkün olmuştur.

Analitik fotogrametri de fotoğraf ve obje uzayında yapılan ölçmeler, analitik geometri kavramları (doğrusallık ve eşdüzlemsellik) üzerine tesis edilen matematik model en küçük kareler yöntemi ile çözülmekte ve bilinmeyen parametreler hesap yoluyla elde edilmektedir (Yıldız, 2010).

Analitik fotogrametri ile yarı otomatik yöneltmeler, DEM, analitik hava triyângülasyonu, vektörel değerlendirme teknikleri ve çizim ile CBS mantığında veri katmanları kavramı uygulama imkanı bulmuştur. Bu dönemde, yüksek doğruluklu ve güvenilir haritalar elde edilmeye başlanmıştır (Yıldız, 2010).

Analitik fotogrametri döneminde kullanılan değerlendirme aleti “Zeiss Planicomp P3” Şekil 3.4’ de görölmektedir.



Şekil 3.4: Analitik değerlendirme aleti “Zeiss Planicomp P33” (URL-2).

3.1.4 Dijital (sayısal) fotogrametri

Dijital fotogrametri, cisimlere ait stereoskopik görüntü ortamından üç boyutlu bilgi sağlayan, doğrudan dijital görüntülerle çalışan fotogrametri bilimidir. Girdi olarak sayısal görüntüleri kullanan, sorgulamalı veya yarı otomatik yöntemlerle tüm fotogrametrik görevleri yerine getirebilen yazılım ve donanımlardan oluşmaktadır. Görüntüler, bilgisayarlarda işlenmekte ve depolanmaktadır. Sayısal görüntüler, metrik kameralarla çekilmiş olan analog resimlerin (hardcopy) tarayıcılarla sayısallaştırılması ile ya da doğrudan dijital hava kameraları ile elde edilmektedir. Fotografik emülsiyon ve optik kamera kombinasyonunun gelişmesi, yüksek çözünürlük ve düşük distorsiyonlu resimlerin elde edilmesini sağlamıştır.

Dijital fotogrametride dijital forma dönüştürülmüş stereo görüntülerin tamamen grafik işlemcili bilgisayarlar ile bilgisayar ortamında tüm yöneltme ve değerlendirme

işlemlerini kapsamaktadır. Özellikle raster görüntülerin yüksek çözünürlükte ve çok sayıda renklerin bilgisayarda elde edilmesi sayesinde, dijital fotogrametri, hızla gelişme göstermektedir. Bunların yanı sıra günümüzde bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, güçlü bellek ve hızlı işlemcilerin yapılması sayesinde dijital fotogrametriye olan ilgi artmaktadır. Dijital fotogrametri dijital görüntülerle çalışır ve dijital görüntü kullanmanın avantajlarından bazıları şunlardır:

- Görüntüler direkt olarak bilgisayarlarda görüntülenebilir ve ölçülebilir,
- Ölçüm sistemleri sabittir ve kalibrasyona gerek yoktur,
- Görüntüde iyileştirme yapılabilir ve
- Dijital görüntü işleme teknikleri fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlerinin otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadır (Yıldız, 2010).

4. HAVA KAMERALARI

Günümüzde hava görüntülerinin elde edebilmek için film bazlı analog kameralardan dijital hava kameralarına hızlı bir geçiş yapılmıştır. Analog kameralardan farklı olarak dijital hava kameraları geniş formatlı kameralar (örneğin Intergraph DMC), orta formatlı kameralar (örneğin Intergraph RMK D) ve küçük formatlı kameralar olarak üç gruba ayrılmaktadır (Neumann, 2005).

Dijital hava kameraları, ölçü kameraları da denilen metrik kameralardır. Hava kameralarının objektifleri çok sayıda mercek sisteminden oluşur ve burada izdüşüm merkezinden geçen ışın sapmadan bir doğru boyunca fotoğraf düzlemine ulaşmaktadır. Klasik hava kameralarında kamera distorsiyon hatası 5 mikrondan daha küçüktür.

4.1 Analog Hava Kameraları

Analog hava kameralarında genellikle fotoğraf düzlemi üzerinde bir film bulunmaktadır. Analog kameralar, kamera altlığı, kamera konisi ve magazin bölümlerinden oluşmaktadır. Kameranın uçağa oturduğu kısma kamera askı düzeni denmektedir ve bu düzen uçağın titreşimlerini gidermektedir. Kamera konisi bölümünde objektif, odak düzlemi, diyafram, obtrator ve filtre bulunur. Odak düzleminde fotoğraf kenar bilgileri bulunmaktadır. Magazin bölümü ise filmin bulunduğu kısımdır. Bu bölümde vakum sistemi ile filmin düzleştirilmesi, obtrator açılarak pozlanması, pozlanan filmin sarılması gibi işlemler sırasıyla yapılmaktadır. Hava filmleri, bindirme düzenleyicisi ile birlikte bir hava kamerasının gövdesinin üzerindeki rulo halindeki filmin bulunduğu kasettir (Yaşayan vd., 2011; Kraus, 2007).

Analog hava kameralarının önemli bir özelliği, hızlı ve otomatik olarak arka arkaya fotoğraf çekebilmesidir.

Ayrıca poz süresinin de kısa olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için hava kameralarında merkezsel obtratorlar kullanılmaktadır. Bu obtratorlar, ışığın geçip geçmemesini sağlayarak bir tür perde görevi yaparlar ve sürekli olarak dönen çevrelerinde boşluklar bulunan plaklardan oluşmaktadır. Dönme sırasında belirli aralıklarda bu boşluklar karşı karşıya gelir ve objektifin önünde ışığın geçmesini

sağlayan bir boşluk meydana getirir (Yaşayan vd., 2011). Filmin tam düzlem durumuna getirilmesi ise arkasında bulunan bir düzlem plakaya basınçla film bastırılarak ya da arkasındaki havanın emilerek yine plakaya basılması ile sağlanmaktadır (Yaşayan vd., 2011; Kraus, 2007).

Uçuş esnasında istenen boyuna bindirme oranı, uçuş yüksekliğine ve hızına bağlı olarak özel bindirme düzenleyici tarafından sağlanır. Hava kamerası düzeneğinde bindirme düzenleyicisi ile birlikte bir de intervalometre adı verilen bir alet bulunmaktadır. Bu alet de bir kameradır ve esas kamera ile bağlantılı olarak çalışmaktadır. Bu kameranın fotoğraf düzleminde bir buzlu cam bulunmaktadır. Ekran görevi yapan bu camın üzerinde ise uçağın üzerinde uçtuğu arazi izlenebilmektedir. Bu kameranın içinde bulunan ve istenilen hızda sürekli döndürülebilen merdiven biçiminde bir nesne vardır ve bu nesnenin görüntüsü de aynı ekran üzerine izdüşürülmüştür. Merdiven biçimindeki nesnenin dönüş hızı ayarlanabilmektedir ve bu hız, ekranda izlenen arazinin akış hızına uydurulabilmektedir. Böylelikle, bu yapay nesne de arazideki bir nesne gibi algılanır ve bu sayede arazinin ekranda akan hızı ölçülebilir ya da bir fotoğraf kenarı boyu yol alındığında bu düzenleyiciden bir sinyal alınabilir. Örneğin, fotoğrafın bir kenarının yarısı kadar yol alındığında düzenleyiciden esas kameraya gönderilecek bir sinyalle fotoğraflar çekilirse, %50 oranında boyuna bindirme sağlanmaktadır. Aynı şekilde, fotoğrafın bir kenarının onda biri, onda ikisi, onda üçü gibi aralıklarla fotoğraf çekimi yapılabilir. Bu aralıklar ise sırayla %90, %80, %70 boyuna bindirmelere karşılık gelmektedir. Bu şekilde bu özel kameradan esas kameraya istenilen bindirme oranı sağlanacak şekilde obtratrörler ayrılabilir (Yaşayan vd., 2011; Kraus, 2007).

Kameralar uçağa bir askı düzeni ile yerleştirilir ve bu düzen mümkün olduğunca uçağın titreşimlerini en aza indirerek kameraya iletmektedir. Fotoğraf düzleminin yataylığını sağlamak için ayrıca ayak vidaları ve düzeçler bulunmaktadır.

Hava kameraları fotoğrafın boyutları ve asal uzaklık arasındaki orana göre sınıflandırılmaktadır. Bu oranla ilgili olan kamera açıklığının büyük olması kameranın daha geniş açılı olması anlamına gelir. Çizelge 4.1' de kamera türleri ve açıklık açıları gösterilmektedir (Yaşayan vd., 2011; Kraus, 2007).

Çizelge 4.1: Kamera türleri ve açıklık açıları (Yaşayan vd., 2011).

Asal uzaklık (mm)	Fotoğraf boyutları (cm)	Görüş açısı	Kamera türleri
610	23×23	< 50°	Dar açılı
305	23×23	56°-60°	Normal açılı
210	23×23	70°-75°	Orta açılı
115	18×18	85°-90°	Geniş açılı
152	23×23		
80-90	23×23	110°-130°	Çok geniş açılı

Tüm geniş formatlı analog hava kameralarında standart 9"x 9" veya 230 mm×230 mm boyutlarında kare sensör mevcuttur. Uçuş planlaması hesabı bu kare sensörün boyutuna bağlıdır. En yaygın odak uzaklıkları 150 mm (geniş açılı kamera) ve 300 mm (normal açılı kamera)'dir. Kare sensör nedeniyle, gözlemlenen arazi uçuş yönünde veya uçuş yönüne çapraz yönde aynıdır. Film kamerasının optik sistemi oldukça yüksek çözünürlüğe sahiptir. İyi bir kamera 100 çizgi çifti/mm optik çözünürlüğe sahiptir (Neumann, 2005).

Kameralar ekonomik açıdan karşılaştırılırsa, kamera açısı büyüdükçe görüntünün arazide kaplayacağı alan büyücek ve proje alanı daha az sayıda görüntü ile kapatılabilecektir. Bu durumda geniş ve çok geniş açılı kamera kullanılarak ekonomi sağlanabilmektedir.

Ayrıca baz/yükseklik oranı ya da stereoskopik ölçmelerin doğruluğu bakımından kameralar karşılaştırılırsa geniş ve çok geniş açılı kameralarla yükseklik doğruluğu daha iyi sağlanabilmektedir.

Geniş ve çok geniş açılı kameralarda çekilen görüntüde çıkmayan ölü alanlar fazladır. Bu nedenle, tek tek görüntülerin değerlendirilmesi söz konusu ise normal açılı ya da dar açılı kameralar tercih edilebilir (Yaşayan vd., 2011; Kraus, 2007).

Analog kameralarda fotoğraf ölçeği (4.1) formülüne göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Fotoğraf ölçeği} = \text{Uçuş yüksekliği} / \text{Odak uzaklığı} \quad (4.1)$$

Çoğu zaman analog görüntüler tarayıcılarda taratılmaktadır. En yaygın tarama çözünürlüğü 12.5 mikron ile 21 mikron arasındadır. Analog filmin sayısallaştırılması ile her piksel için bir yer örnekleme aralığı (GSD) değeri ortaya çıkmaktadır. Taranan hava görüntüsü için GSD değeri (4.2) formülüne göre hesaplanmaktadır (Neumann, 2005).

$$\text{GSD} = \text{Fotoğraf ölçeği} \times \text{Tarama çözünürlüğü} \quad (4.2)$$

4.2 Dijital Hava Kameraları

Sayısal görüntüler, ya klasik hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcıları ile taranarak sayısal hale getirilmesi ile ya da doğrudan dijital hava kameralarının kullanımı ile elde edilmektedir.

Sayısal hava kameralarının yüksek performanslı ve kullanışlı olabilmeleri için iyi bir lens ve odak plakasına, geniş görüş açısına, etkili bir resim alımı için yüksek seviyeli çözünürlüğe, yüksek geometrik doğruluğa, yüksek radyometrik çözünürlüğe ve renkli ve çok bantlı alım imkanına sahip olması gerekmektedir (Yıldız, 2011).

Sayısal hava kameralarının kullanımı ile film kullanımı ve buna bağlı olarak fotolaboratuvar ve hassas fotoğraf tarama işlemlerine gerek kalmamıştır ve bu sayede zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlanmıştır. Resim çekim anında eş zamanlı olarak pankromatik, renkli ve kızılötesi görüntüler elde edilmektedir ve bu sayede geniş bir ürün yelpazesine sahip olunmaktadır. Radyometrik çözünürlüğün hava filmlerindeki gibi 8 bit yerine 8-12 bit olarak elde edilmesi görüntünün kalitesini artırmıştır. Sayısal kameraların geometrik doğrulukları filmlerden elde edilen sayısal görüntülere göre çok daha yüksektir. Ayrıca sayısal kameralar ile görüntülerin kolayca elde edilmesi ve görüntü yöneltme parametrelerinin doğrudan elde edilmesine yardımcı olan ataletsel ölçüm ünitesi (Inertial measurement unit - IMU) sisteminin kullanılması ile yapılan işlemler büyük oranda kolaylaşmıştır (Yıldız, 2011; Gruber, 2007).

Dijital hava kameraları için CCD kameranın piksel boyutu oldukça önemlidir. Üretime bağlı olarak bu kameraların piksel boyutları 7 mikron ile 12 mikron arasında değişmektedir. Her dijital kamera için hem odak uzaklığı hem de piksel boyutu kameranın kullanım alanını belirlemektedir. Düşük piksel çözünürlüğüne sahip dijital

kameralar, fazla piksel çözünürlüğüne sahip dijital kameralardan daha yüksek çözünürlükte görüntü elde edemezler. Görüntünün çözünürlüğü, hem uçuş yüksekliğine hem de kullanılan kameranın odak uzaklığı ve piksel değerine bağlıdır. (Neumann, 2008).

Dijital hava kameralarında analog kameralarda olduğu gibi herhangi bir sabit algılayıcı boyutu bulunmamaktadır. Bu kameraların çoğu, düzenli bir görüntü formatına sahiptir. Bu kameralarda algılayıcı boyutu piksellerle ifade edilir (örneğin Intergraph DMC hava kamerası için 13824 x 7680 piksel). 62 mm'den 120 mm'ye kadar çeşitli odak uzaklık değerleri mevcuttur. Bu kameralarda düzenli algılayıcı formatı sayesinde analog kameralardan farklı olarak izlenen arazi uçuş yönü doğrultusunda ve çapraz uçuşlarda farklı algılanır. GSD değeri dijital kameralar için (4.3) formülüne göre hesaplanmaktadır (Neumann, 2005).

$$GSD = \text{Ortalama uçuş yüksekliği} / (\text{odak uzaklığı} \times \text{CCD piksel boyutu}) \quad (4.3)$$

Sayısal kameralar genel olarak çerçeve görüntüleme sistemi ve tarayıcı sistemlerden oluşmaktadır. Çerçeve görüntüleme sistemleri perspektif geometriye sahiptir ve tüm pikseller aynı anda görüntüleme yapmaktadır. Tarayıcı sistemler ise uçuş yönüne dik bir hat boyunca ve arazi boyunca belli bir açı ile tarama yapar ve her iki sistemden de yüksek radyometrik çözünürlüklü görüntüler elde edilir (Yıldız, 2011).

4.2.1 Dijital hava kameraları türleri

Dijital hava kameraları temel olarak görüntüleme geometrisi, algılayıcı sayısı (kamera konisi sayısı veya CCD sayısı) ve görüntü kaydetme teknikleri açısından farklılık göstermektedir.

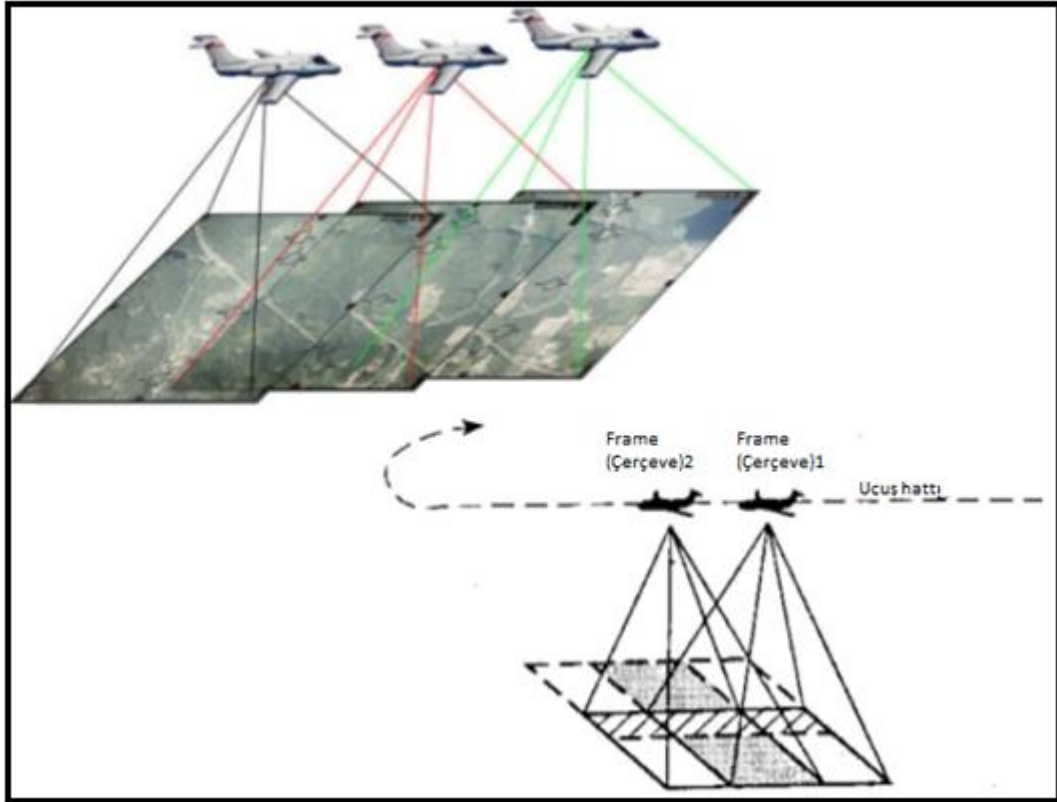
Görüntüleme geometrisi açısından dijital hava kameraları;

- Frame-Based (çerçeve bazlı) kameralar (Örnek olarak, Intergraph DMC, Vexcel Ultracam D, X, X_p) ve
- Line Scan (Push Brum) kameralar olarak ikiye ayrılmaktadır (Yıldız, 2010).

Frame-based (çerçeve bazlı) dijital hava kameraları aynı zaman diliminde, tüm görüntü çerçevesinin pozlandığı algılama sistemlerine çerçeve görüntüleme sistemleri denilmektedir. Bu tür sistemlerin en ayırt edici özelliği, tüm görüntülerin perspektif geometriye sahip olması ve analiz işlemlerinde geleneksel fotogrametrik ölçme tekniklerinin kullanılmasıdır.

Çerçeve yapıda olan CCD algılayıcıların satır tarayıcı sistemlere göre kararlı bir geometrik yapıya sahip olmaları nedeniyle daha avantajlı durumdadırlar. Analitik fotogrametriden dijital fotogrametriye geçiş esnasında, teknolojik gelişmenin en mantıklı sonucu, film bazlı fotoğrafların taranması yerine direkt olarak sayısal kamera kullanarak klasik hava kameraları ile benzer iç yöneltilme, kaplama alanı ve çözünürlüğe sahip görüntü elde etme isteği olmuştur. Çerçeve CCD algılayıcıların en önemli avantajları; tüm pikseller aynı anda görüntüleme yaptığı için anlık platform hareketleri görüntü geometrisinin fotoğrafik çerçeve kameralar ile aynı olması, görüntü sürüklenmesini önleyici sistem, kare piksel yapısı, alışılmış merkezi izdüşüm kurallarına uygun görüntü kaydı ve mevcut yazılımların kullanılabilmesidir (Durğut, 2010; Hinz 1999).

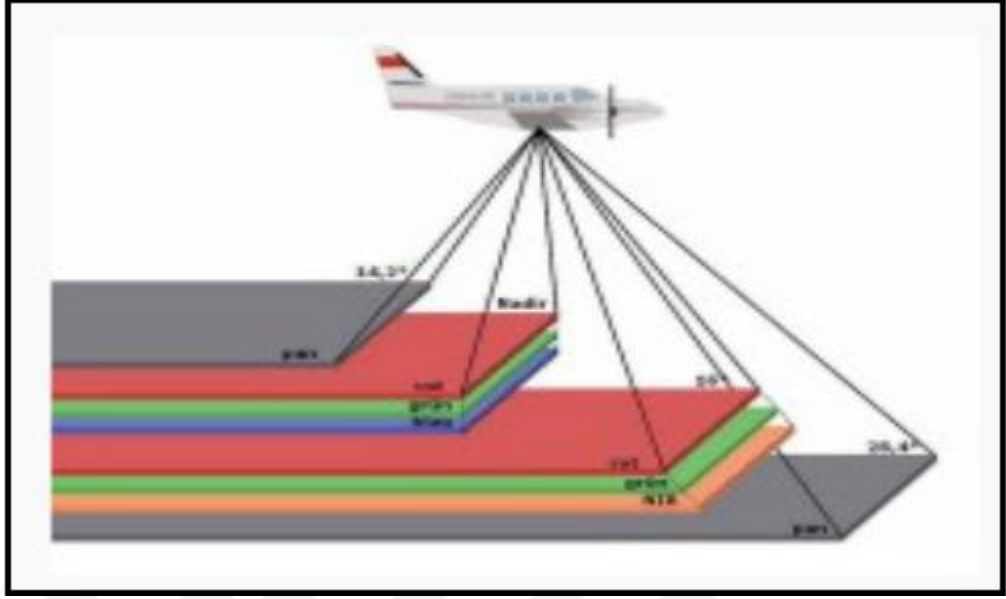
Bu dijital hava kameraları daha çok vektör harita üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 4.1’ de çerçeve bazlı kameraların görüntü alım şekli görülmektedir.



Şekil 4.1: Çerçeve görüntüleme sistemine sahip dijital hava kameralarının görüntü alım şekli.

Line scan (push broom) dijital hava kameraları ise görüntü alma yerine, araziye satır satır taramak suretiyle geliştirilmiş kameralardır. Her hat (line) doğrudan sensör oryantasyonuna (Inertial Measurement Unit (IMU) + GPS) ihtiyaç duyar. Line scan

dijital hava kamerasının araziyi tarama şekli Şekil 4.2’ de gösterilmektedir (Yıldız, 2010).

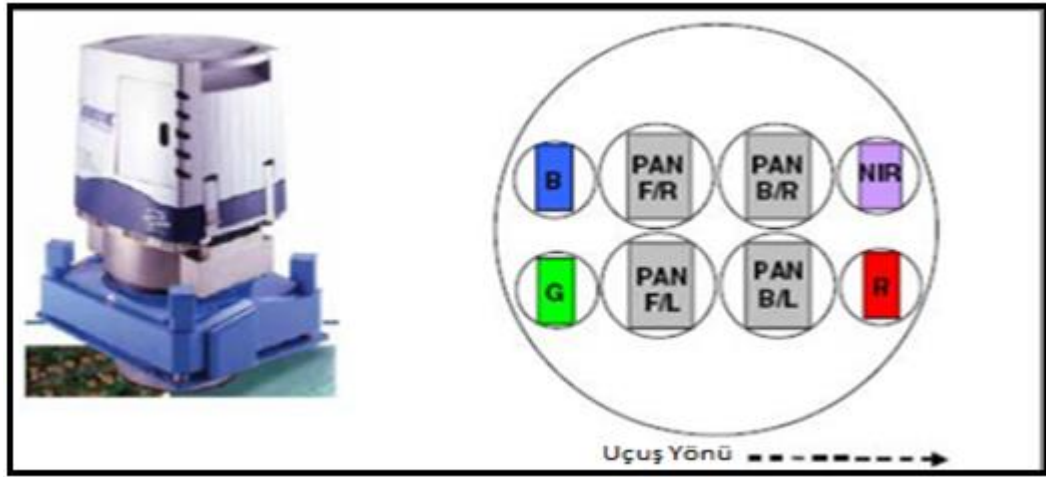


Şekil 4.2: Line scan dijital hava kameralarının araziyi tarama şekli (Kheiri, 2006).

Line scan kameralar, fotogrametrik anlayışa (stereo üç boyutlu görüntüleme) uygun değildir. Bu sistemde, stereo görüntüler daha sonra sanal ortamda oluşturulmaktadır. Bu kameralar daha çok hızlı orto-görüntülerin üretilmesinde kullanılmaktadır (Yıldız, 2010; Gruber, 2007).

4.3 Uygulamada Kullanılan Dijital Hava Kamerası “Intergraph DMC”

Tez çalışması kapsamında dijital hava görüntülerinin elde edilmesinde çerçeve görüntüleme sistemine sahip olan “Intergraph Digital Mapping Camera (DMC)” sayısal hava kamerası kullanılmıştır. Intergraph DMC sayısal hava kamerası, sekiz adet kamera konisinin yerleşimi ve dört adet eğik görüntüden büyük formatlı pankromatik görüntü oluşturma prensibi Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3: Intergraph DMC sayısal hava kamerası ve kamera konileri.

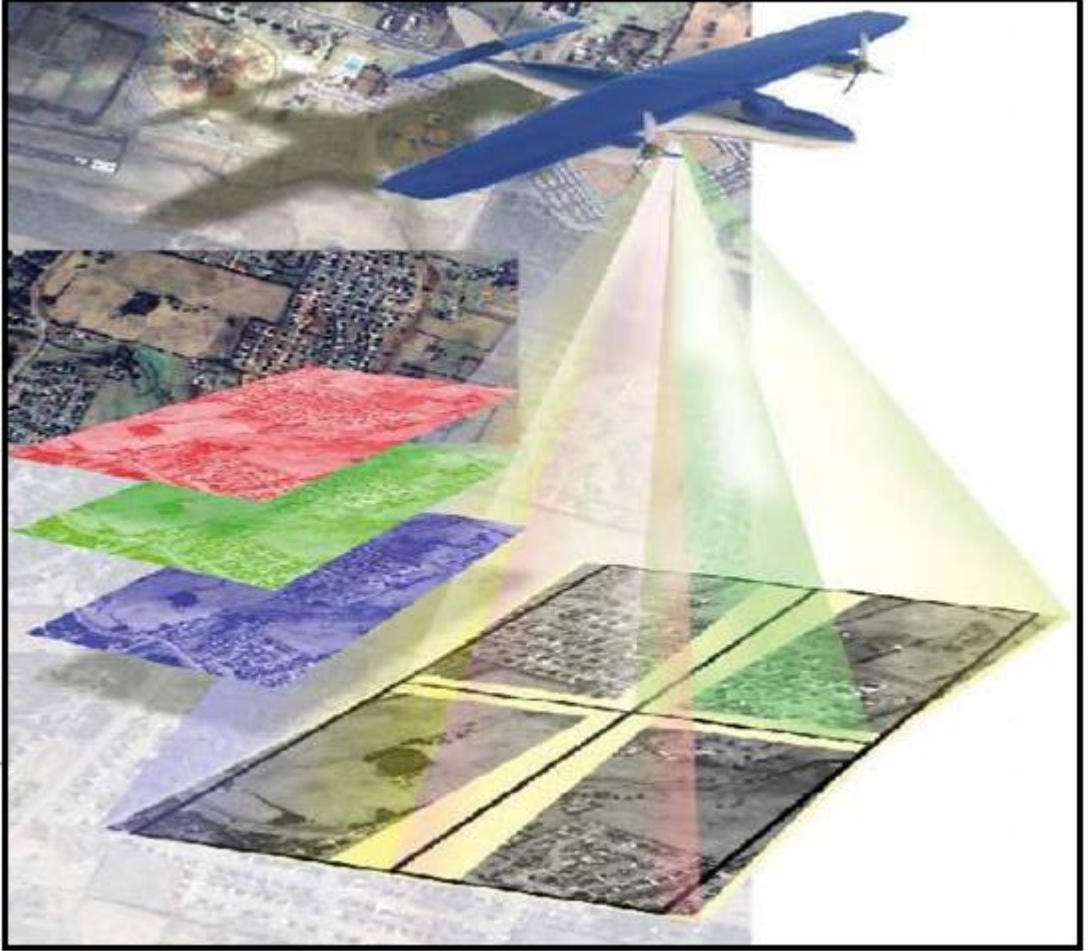
DMC kamerasındaki sekiz ayrı kamera modülü bağımsız üniteler olup merkezi izdüşüm ile kayıt yapmaktadırlar. Sonuç görüntü, sekiz ayrı kamera için ayrı mercek sistemleri kullanılmaya başlanmasından itibaren, büyük çaplı mercek sistemlerine göre daha hassas optik performans değerlerine ulaşmıştır. Yüksek çözünürlüklü pankromatik kanal, maksimum odak uzaklığı ve f/4 açıklığında, dört adet 7k*4k'lık geniş çerçeve çipi ile yüksek performanslı mercek sistemi ile 120 ıp/mm'lik bir optik çözünürlük sağlamaktadır (Yıldız, 2011; Tang vd., 2000). Intergraph DMC kamerasının mercek sistemi Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4: Intergraph DMC sayısal hava kamerasının mercek sistemi (URL-3).

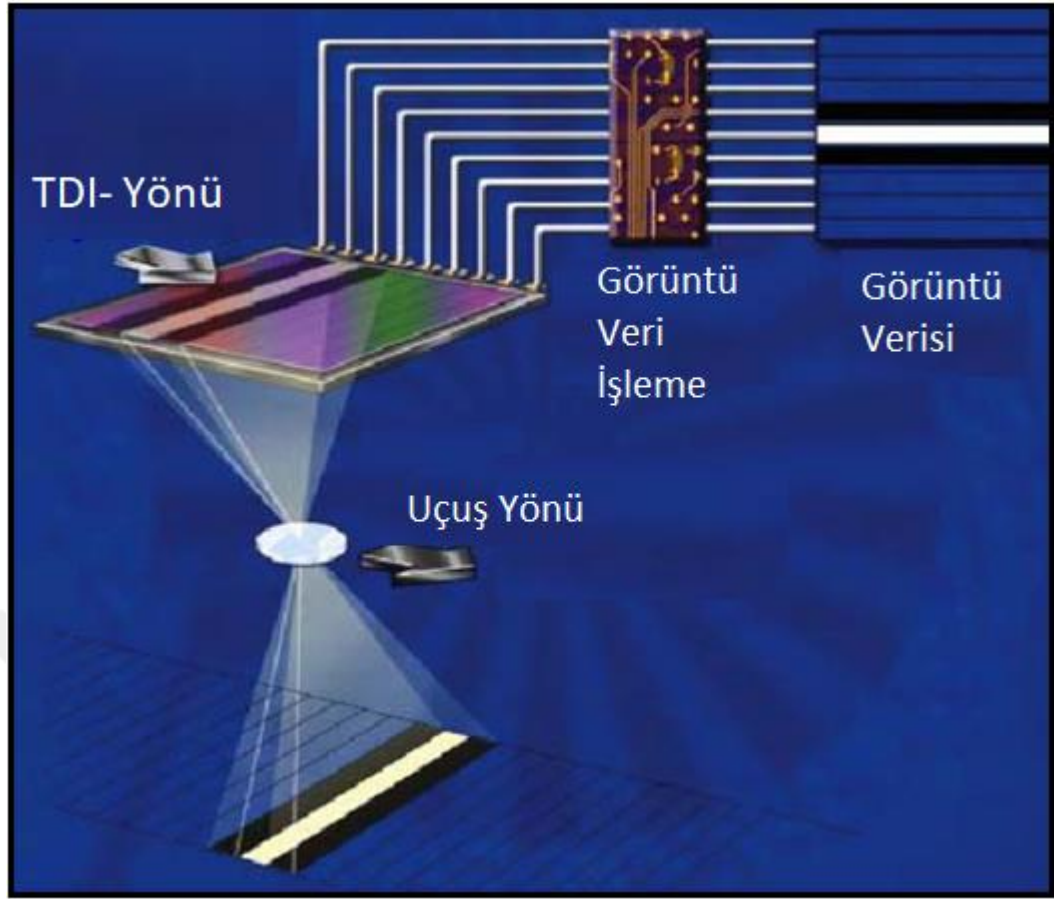
Aynı anda kayıt yapan dört adet bağımsız kameradan elde edilen görüntülerin birleştirilmesi ile sonuç görüntü elde edilmektedir. Kameranın dizaynı, homojen,

kesintisiz ve 7680 piksel uçuş doğrultusunda, 13824 piksel uçuş doğrultusuna dik olarak yer çözünürlüğüne sahip bütün bir görüntünün elde edilmesini sağlar (Yıldız, 2011; Gruber, 2007). Şekil 4.5’de bağımsız kamera konileri ve merkezi izdüşüm ile görüntü alımı görülmektedir.



Şekil 4.5: Bağımsız kamera konileri ve merkezi izdüşüm ile görüntü alımı (Yıldız, 2011).

DMC kameralarında aynı anda aynı optik yolu kullanarak, bütün görüntü noktalarını pozlamayı sağlayacak şekilde kamera mercek merkezlerine elektromekanik bir obtüratör yerleştirilerek distorsiyonsuz bir görüntü elde edilmektedir. Ayrıca, büyük ölçekli harita yapım işlerine de imkan sağlamak için görüntü sürüklenmesini önleyecek elektronik bir sistem vardır. Bu sistem hem uzun pozlama zamanı sağlamaktadır hem de görüntü sürüklenmesinden kaynaklanan bulanık görüntü oluşumunu elimine etmektedir (Yıldız, 2011; Tang vd., 2000). Şekil 4.6’da TDI-görüntü sürüklenmesini önleyici sistem görülmektedir.



Şekil 4.6: TDI- görüntü sürüklenmesini önleyici sistem (Pacey ve Fricker, 2005).

5. ORTOFOTO HARİTA ÜRETİM SÜRECİ

Ortofoto düşüncesi 1920' li yıllara dayanmaktadır. 1927' de R. Ferber Fransa' da, 1929' da ise Lacman Almanya' da birer prototip alet yapmışlar ve ilk uygulama 1953' de Bean' in ABD de yaptığı alet ile başlamıştır (Şahin, 2013; Akdeniz, 2004).

Türkiye'de ise ortofoto üretimine ilk olarak Harita Genel Komutanlığı' nda başlanmıştır. 1925 yılında resmen kuruluşunu takiben, gerek yersel, gerekse hava fotogrametrisi yöntemi ile elde edilen fotoğrafların banyo işlemlerinde siyah-beyaz teknoloji uzun süre kullanılmıştır. Kontak baskı büyütme ve küçültme işlemlerinde de yine aynı teknoloji kullanılmıştır. 1982 yılı sonrasında rulo hava filmlerinin banyosunda otomatik sistemler devreye sokulmuştur. Aynı yıllarda analitik ortofoto üretimine geçilmiş ve ortofoto filmlerin banyosu için bazı yarı otomatik sistemler satın alınmış ancak pahalı oldukları için çok kısa bir süre kullanılabilmektedir. 1996 yılından itibaren ise kontak baskı ve sonrası laboratuvar işlemlerinde otomasyona geçilmiştir. 1998 yılında renkli kızılötesi otomatik banyo, kart ve dia pozitif baskı sistemleri üretim yöntemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Renkli fotoğraflar daha çok yerleşim merkezlerini kapsayan ortofoto üretimlerinde, renkli kızılötesi fotoğraflar ise ormanlık alanların görüntülenmesinde kullanılmıştır (Şahin, 2013).

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucunda analog ortofoto üretimindeki sıkıntılar ortadan kalkmıştır. Analog ortofotoda proje planlanırken %90 yan bindirmeli resim alınacak şekilde planlama yapılır ve her pafta bir resim ile kapatılırdı. Ancak, dijital sistemlerde işlenen görüntülerin sayısal olması bunların en iyi şekilde birleştirilmesini sağlamaktadır (Şahin, 2013; Yılmaz, 2002).

Sayısal ortofoto üretiminin temeli, kamera koordinat sistemindeki görüntü koordinat matrisinin, yer koordinat sistemindeki görüntü koordinat matrisine dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır. Sayısal ortofoto üretimi, yer kontrol sisteminin XY düzlemindeki görüntü matrisinin tanımlanmasıyla başlar, bu elemanların merkezlerinin kamera koordinat sistemine dönüşümü ile devam eder. Bu dönüşüm için XY gridindeki noktaların Z koordinatlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

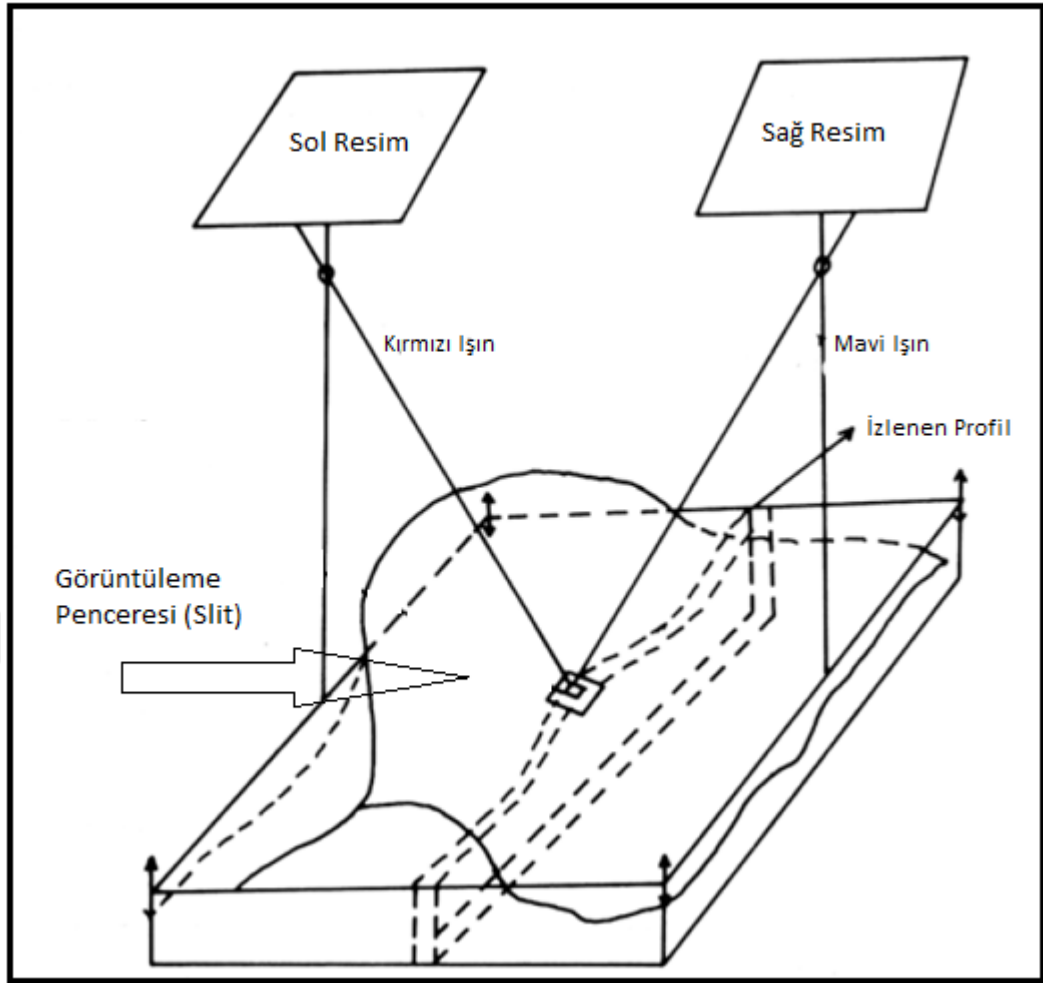
Bu veriler analitik değerlendirme aletlerinde ölçölmüş yakın grid noktaları ağından elde edilebilir. Sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri bir XY koordinat ağındaki her noktanın Z koordinatının elde edilmesini sağlamaktadır (Şahin, 2013; Yılmaz, 2002).

Geleneksel dijital ortofoto üretiminde görüntü verisi genel olarak hava görüntülerinden elde edilmektedir. Bunun yanı sıra uydu verilerinden veya diğer kaynaklardan da elde edilebilir. Daha sonra görüntü verisi her bir resim elementi veya pikseli göz önüne alınarak ve fotogrametrik eşitliklerden yararlanılarak çerçeve çerçeve işlenir. Yerdeki bilinen koordinatlar (yer kontrol noktaları) veya kamera pozisyonunun doğrudan belirlenmesi, hesaplamaların yapıldığı koordinat referans çerçevesini belirlemek için kullanılır. Sonraki ortofoto üretim sürecinde bu işlem tekrarlanır (Knopp, 2004).

Ortofoto mozaiklerini elde etmek ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil etmek için ortofotolar blok halinde birleştirilmelidir. Tüm ortofotolar belirli bir projeksiyonda olduklarından geometrik olarak herhangi bir problem ile karşılaşmamaktadır. Ancak, birleştirilen ortofotoların parlaklık değerleri farklı olduğunda ortaya çıkan problem, analitik yöntemde uygun bir uçuş planı ile giderilebilirken, dijital fotogrametride böyle bir sınırlama yoktur (Şahin, 2013;Yılmaz,2002).

5.1 Analog ve Analitik Ortofoto Üretimi

Analog ve analitik yöntemle ortofoto sürecinde analog görüntüler kullanılmaktadır. Metrik fotoğraflardaki deformasyonlar, resmin çok küçük parçalar halinde yataylanması ile giderilebilmektedir. Analog yöntem ile ortofoto üretiminde Şekil 5.1’de görölen “Matra 693” aletinin çalışma prensibi incelenebilir.



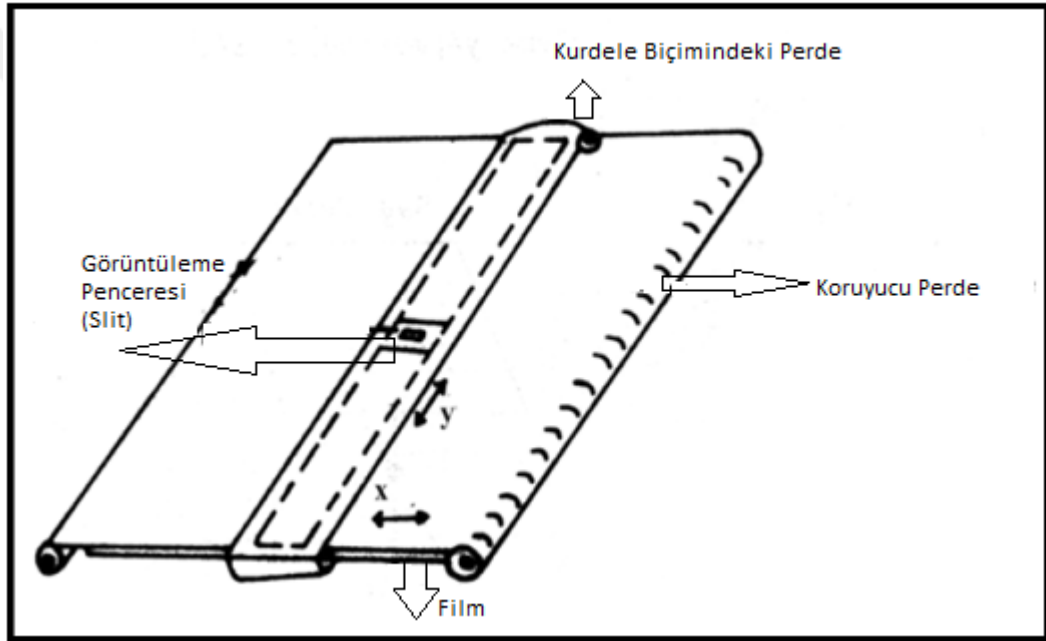
Şekil 5.1: “Matra 693” isimli ortofoto aletinin çalışma prensibi.

Alette sol resim kırmızı filtre ile sağ resim ise mavi filtre ile aydınlatılmaktadır. Operatör, bu renklere uyumlu bir gözlükle modeli stereoskopik olarak gözlemleyebilmektedir. Model alanı üzerinde filmi ışıktan koruyabilmek için bir film taşıyıcısı bulunmaktadır. Bu taşıyıcı üzerinde ise görüntüleme penceresi (slit pencere) adı verilen ve “Y” yönünde hareket edebilen bir perde daha bulunmaktadır. Slit pencere analog aletlerdeki ölçü markasına karşılık gelmektedir.

Alette stereo model elde edilmektedir ve bu modelin mutlak yöneltmesi yapılmaktadır. Operatör, gözlükle modeli izlerken “X” yönünde hareket eden görüntüleme penceresini ölçü markası gibi araziye teğet tutmaya çalışır ve filmin bulunduğu taşıyıcıyı aşağı yukarı hareket ettirmektedir. Bir profil bu şekilde tamamlandıktan sonra büyük perde otomatik olarak “X” yönünde hareket eder ve bu şekilde profillemeye devam edilir.

Film taşıyıcısı üzerinde bulunan film eğer ortokromatik bir film ise, kırmızı ışıktan etkilenmeyecektir ve sadece diğer fotoğraftan gelen mavi ışık ile pozlama yapılacaktır. Böyle bir durumda, hem modeli gözlenebilmesi hem de pozlamanın yapılabilmesi için ortofoto sisteminin sadece kırmızı ışıkla aydınlatılmış karanlık bir odada bulunması gerekmektedir.

Burada, ortofoto elde edilirken aynı zamanda görüntüleme penceresini araziye paralel tutmak için bir ölçek düzeltmesi gerekmektedir. Ayrıca modelden, ortofoto için bir büyültme yapılmayıp, ortofoto ile model ölçeği aynı ölçekte olmaktadır (Arslanbek, 2009; Kraus, 1993). Şekil 5.2’ de “Matra 693” isimli ortofoto aletinin görüntüleme düzeni görülmektedir.



Şekil 5.2: “Matra 693” ortofoto aletinin görüntüleme düzeni.

Modern diferansiyel rektifikasyonun teorisi, fotoğrafların deformasyonu teorisine dayanmaktadır. Burada, köşe noktalarının koordinatları ζ ve η olan deforme olmuş bir fotoğrafın kare gridli yeni bir fotoğrafa dönüştürülmesi istenmektedir. Burada amaç, rastgele bir dörtgenin fotoğrafik içeriğini bir kareye çevirmektir. Yapılan işlemin grid kenarlarında doğrusal olduğu düşünülürse, bir raster dört kenarının fotoğrafik dönüşümü matematiksel olarak denklem 5.1 ve 5.2’de verilen şekilde tanımlanabilir (Kraus, 1993);

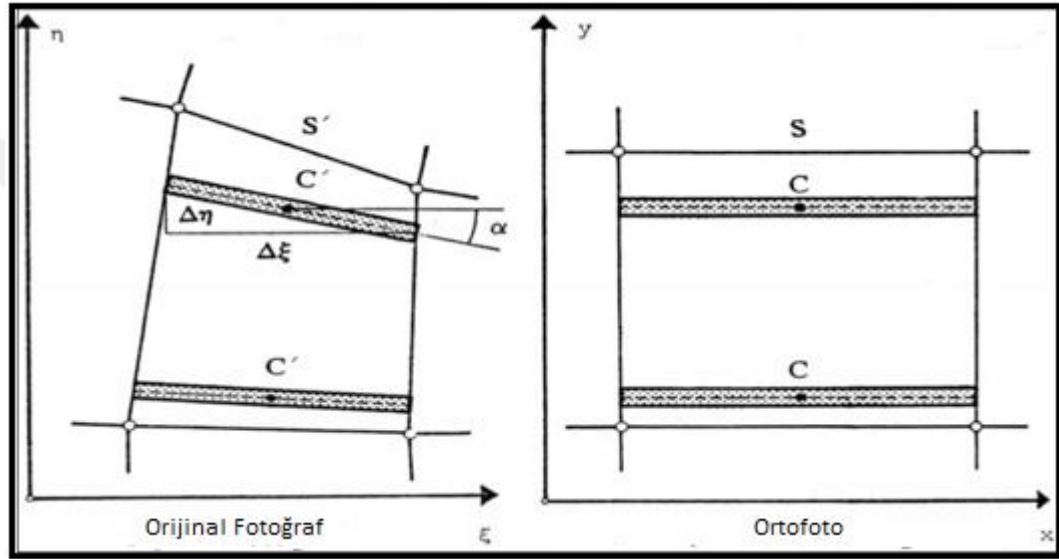
$$\zeta = a_{01} + a_{11}x + a_{21}y + a_{31}xy \quad (5.1)$$

$$\eta = a_{02} + a_{12}x + a_{22}y + a_{32}xy \quad (5.2)$$

Bu bilineer dönüşüm aletsel olarak çeşitli şekillerde tanımlanabilir. Çok dar bir “S” uzunluğunun kesiti, kare gridin genişliği, ortofotonun “XY” düzlemi üzerinde “Y” yönünde hareket ettirilirken, $\zeta\eta$ düzleminin bir elemanı, XY düzlemine izdüşürülmektedir. Fotoğrafın çizgi elemanlarla dönüşümü;

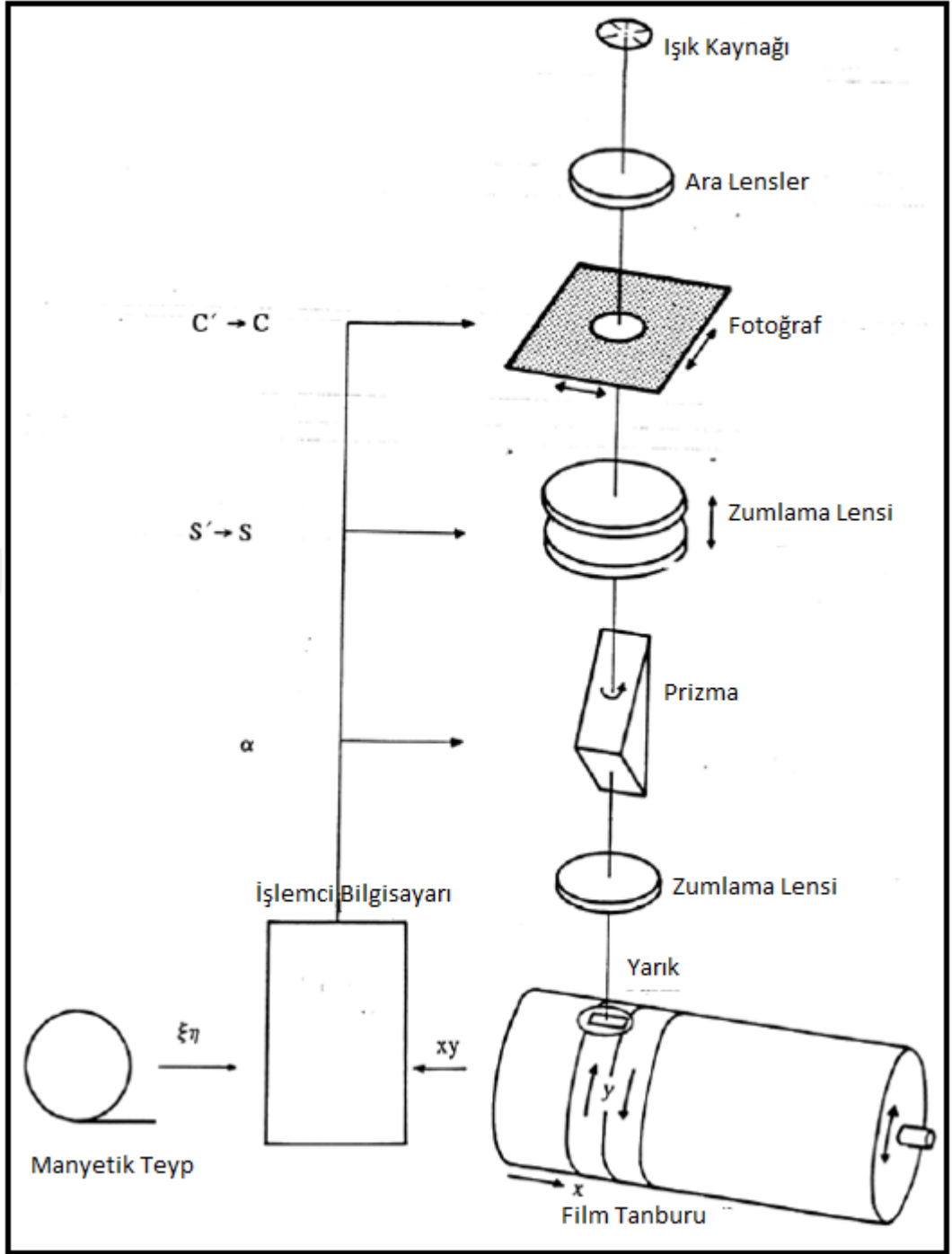
- Merkez noktanın iki ötelenmesi ($c' \rightarrow c$),
- α açısı boyunca döndürme,
- Ölçeğin değiştirilmesi ($s' \rightarrow s$) ile gerçekleştirilir.

Fotoğrafın çizgisel elemanlarla diferansiyel dönüşümü Şekil 5.3’de gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Çizgisel elemanlarla diferansiyel dönüşüm (Arslanbek, 2009).

Çizgisel elemanlarla diferansiyel görüntü transferinin sayısal kontrolü ise Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4: Çizgisel elemanlarla diferansiyel görüntü transferinin sayısal kontrolü.

Kontrol bilgisi grid köşelerinin $\xi\eta$ ve xy koordinatlarından hesaplanabilir. “ y ” yönünde her profil boyunca doğrusal olarak enterpole edilmiş sabit sayıdaki noktaları, komşu profildeki noktalara birleştiren doğrular ortofotodaki doğrusal elemanları temsil eder ve onların enterpole edilmiş uç noktalarından fotoğrafta karşılık gelen doğru elemanların uç noktalarının $\xi\eta$ koordinatları hesaplanır.

Nesne yüzeyinin bir XY gridinin Z koordinatları ile tanımlandığı varsayılırsa, ortofoto üretmek için, nesne yüzeyinin XY düzlemine dik izdüşümü, nesne grid noktalarının XYZ koordinatları fotoğraf düzlemine merkezi izdüşümle dönüştürülerek sağlanabilir. Sonuçta elde edilen ζ koordinatları deforme olmuş gridi tanımlar ve diferansiyel rektifikasyon sonucunda deforme olmuş gridin kare gride dönüştürüldüğü ortofoto elde edilir (Arslanbek, 2009; Kraus, 1993).

5.2 Dijital Ortofoto Üretimi

Ortofoto haritası üretilecek bölgeye ait hava görüntüleri veya uydu görüntüleri, kullanılan kameranın kalibrasyon bilgileri ve iç yöneltme elemanları, her bir görüntüye ait dış yöneltme elemanları ve rektifiye edilecek olan nesnelerin yüksekliklerinin belirlenebilmesi için bölgeye ait sayısal yükseklik modeli dijital ortofoto üretimi için kullanılan girdi verileridir (Yastıklı, 2009).

Sayısal ortofoto üretiminin temeli, kamera koordinat sistemindeki görüntü koordinatlarının, yer koordinat sistemindeki görüntü koordinatlarına dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Sayısal ortofoto üretiminde, yer kontrol sisteminin XY düzlemindeki görüntü matrisi tanımlanır ve bu elemanların merkezleri kamera koordinat sistemine dönüştürülür. Bu dönüşüm için XY gridindeki noktaların Z koordinatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, analitik değerlendirme aletlerinde ölçülmüş olan yakın grid noktaları ağından elde edilebilir. Sayısal yükseklik modeli verileri bir XY koordinat ağındaki her noktanın Z koordinatını sağlar (Şahin, 2013; Yılmaz, 2002).

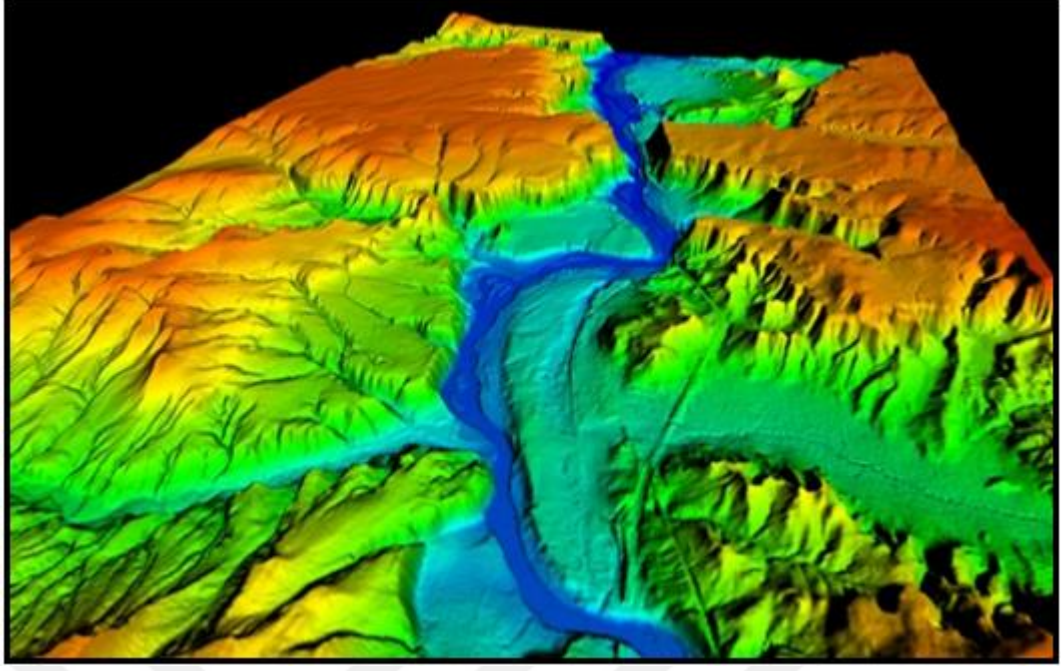
Dijital ortofoto üretimi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin öncelikle sayısal hava görüntüleri ve uydu görüntülerinin her ikisi de rektifiye edilebilir. Bu metodlar polinomal, projektif ve diferansiyel rektifikasyonlar olabilir. Bunlardan ilk ikisi kamera oryantasyonu ve geometrisi olmadan ortofoto ile görüntü arasındaki analitik dönüşümü tanımlamaktadır. Bunlar yaklaşık çözümlerdir. Bir başka metot ise görüntü işleme esnasında model ve gerçek obje ya da arazi arasındaki bağıntıyı sağlayan doğrusallık koşulu ve rölyef yer değiştirmenin düzeltilmesidir. Kamera sistemindeki distorsiyonları elimine edebilmek için ek parametreler kullanılmaktadır. Bu durum, doğrudan görüntülerin video kameralarla çekildiği zamanlarda gereklidir (Novak, 1992).

Dijital ortofoto harita üretim süreci şu aşamalardan oluşmaktadır;

Ortofoto harita üretim sürecinde öncelikle ortofoto haritası üretilecek olan alan belirlenmektedir. Daha sonra bu alanda havadan alınan görüntülerinin görüntü koordinatlarını arazi koordinatlarına paralel ve uyumlu hale getirebilmek için ve görüntülere zeminle uyumlu anlamlı koordinatların kazandırılabilmesi için görüntü alımından önce arazide jeodezik çalışmalar gerçekleştirilir (Tufan, 2011). Bu kapsamda arazide yer kontrol noktaları işaretlenir, koordinatları ölçülür ve uçuş işlemleri gerçekleştirilir. Uçuş işlemi esnasında hava aracında bulunan GPS ile kameranın konumu belirlenirken, IMU sistemi ile de dönüklükler belirlenmektedir. Görüntü alma işlemleri sonrası ortofoto üretiminin temel aşaması olan hava görüntülerini arazi koordinatlarıyla ilişkilendirebilmek için blok dengeleme (havai nirengi) yapılmaktadır (Tufan, 2011, Jacobsen, 2000).

Fotogrametrik nirenginin temel amacı, bilinen yer kontrol noktalarından faydalanarak en az iki resimde tanımlanabilen noktaların arazi koordinatlarının, resimler veya modeller üzerinde yapılan koordinat ölçümlerinden hesaplanmasıdır. Dengeleme yöntemi olarak ışın demetleri ile blok dengeleme metodu kullanılmaktadır. Işın demetleri ile blok dengeleme metodunda bir stereo resim çiftinde her bir resme ait ışın demetleri sayısal olarak yöneltir ve bu ışın demetlerinin ilgili noktalarda kesiştirilmesi sağlanır. Bu yöntemde, iki resme ait 12 adet dış yöneltme elemanı ve yeni noktaların (kolon ve model bağlama noktaları) koordinatları bilinen kontrol noktalarından yararlanılarak hesaplanır (Tufan, 2011; Jacobsen,2000).

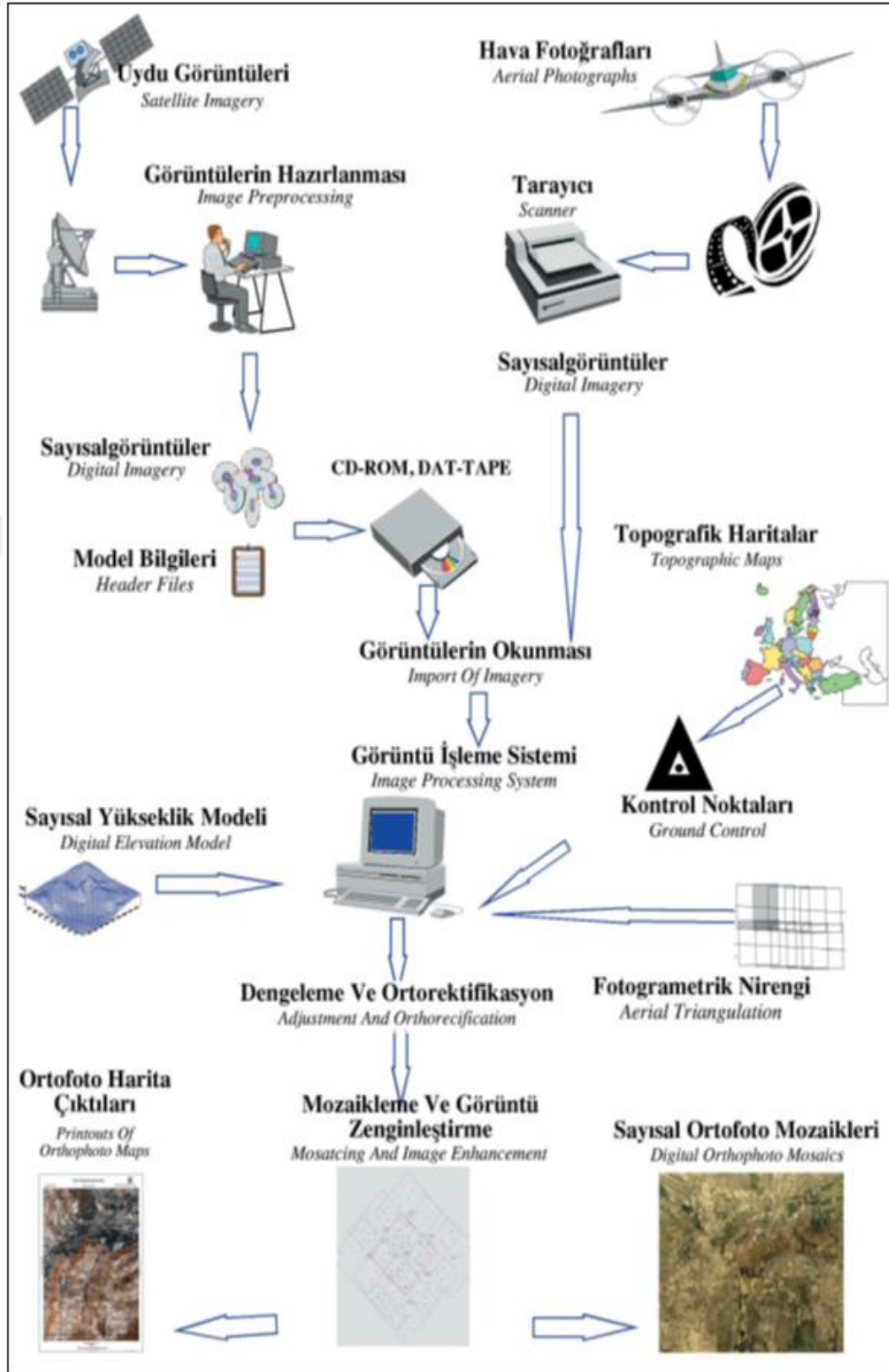
Blok dengeleme işleminden sonra sayısal arazi modeli oluşturulmaktadır. Sayısal arazi modeli, arazi yüzeyinin belirgin topoğrafik özelliklerinin düzensiz olarak dağılmış noktalar ve arazinin su ayırımı ve su toplama çizgilerinin arazinin gerçek şeklinin daha iyi bir biçimde sayısal olarak sunulmuş biçimidir (Tufan, 2011; Jacobsen, 2000). Şekil 5.5’de sayısal arazi modeli örneği görülmektedir.



Şekil 5.5: Sayısal arazi modeli (URL-4).

Sayısal arazi modeli üretimi işleminden sonra ortorektifikasyon yapılmaktadır. Çekilen hava görüntüleri arazinin topoğrafyası, dünyanın eğikliği, kameranın görüntü alma anındaki konumu gibi birçok nedenden dolayı geometrik bozulmaya uğramaktadır. Bu hataları ortadan kaldırarak ham görüntüden doğru ortofoto üretme işlemine ortorektifikasyon denmektedir.

Ortorektifikasyon işleminden sonra da üretilen ortofotoların birleştirilmesi ile ortofoto mozaik elde edilmektedir. Sayısal ortofoto üretimi iş akış şeması Şekil 5.6'da görülmektedir.

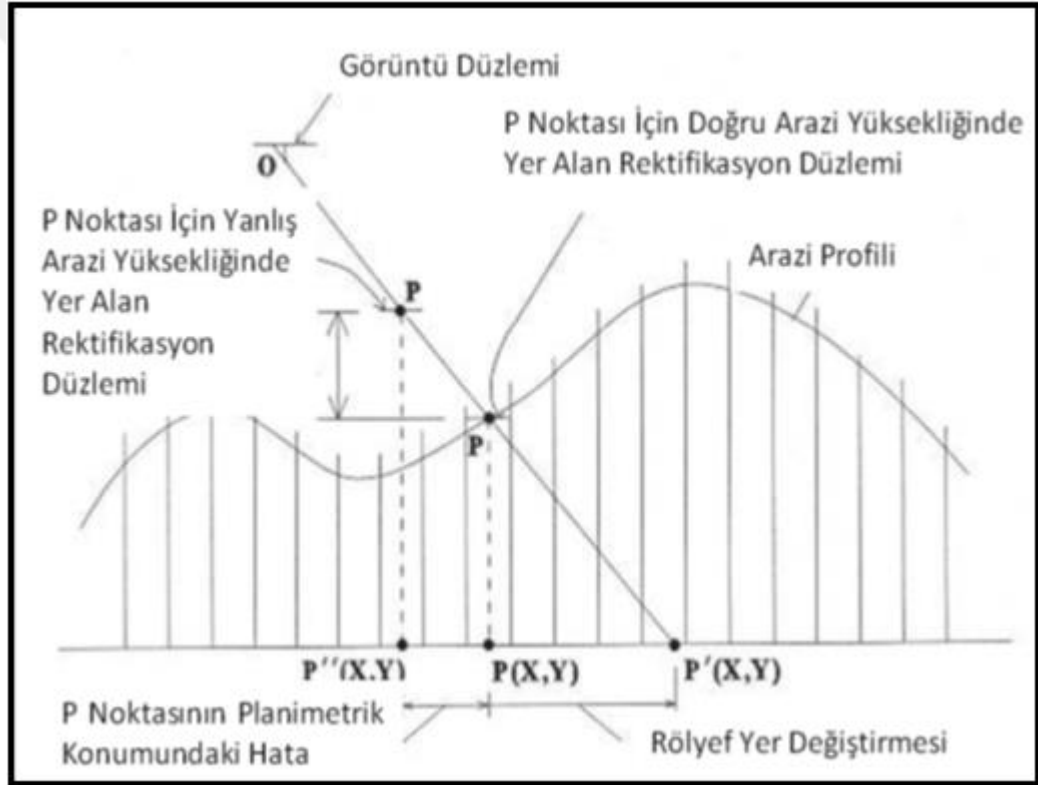


Şekil 5.6: Sayısal ortofoto üretimi iş akış şeması (Akdeniz, 2004).

Ortofoto mozaiklerini elde etmek ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil edebilmek için ortofotolar blok halinde birleştirilmelidir. Tüm ortofotolar belirli bir projeksiyonda olduklarından geometrik olarak herhangi bir problem ile karşılaşmamaktadır. Fakat birleştirilen ortofotoların parlaklık değerlerinin farklı olması problemi, analitik yöntemde uygun bir uçuş planı ile giderilebilirken, dijital fotogrametride böyle bir sınırlama yoktur (Şahin, 2013; Yılmaz, 2002).

5.3 Ortorektifikasyon İşlemi

Ortorektifikasyon, fotoğraf veya görüntü içerisinde çeşitli nedenlerden dolayı ortaya çıkan mevcut geometrik hataların ortadan kaldırılması işlemidir. Bu işlem sonucunda, üzerinde arazinin coğrafi konumunun, uzunlukların, açıların ve alanların doğrudan ölçülebildiği planimetrik olarak doğru olan bir ortofoto elde edilmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Diferansiyel rektifikasyon konseptinin bir gösterimi (Erden, 2006).

Şekil 5.7’de gösterilen yöntem çoğunlukla diferansiyel rektifikasyon olarak adlandırılan işlemdir. Şekilde görülen “P” noktası rölyef yer değiştirmesi sonucunda harita düzleminde “P’” konumunda görüntülenir. “P” noktasını içeren rektifikasyon parçasının sınırları içindeki araziye ait ortalama yüksekliğe bir rektifikasyon düzlemi yerleştirilir ve ortogonal projeksiyon gerçekleştirilir.

Dijital fotogrametri gibi sayısal bir ortamda, bu işlem için sayısal görüntüler kullanılır. Bu sayısal görüntüler, bir rektifikasyon düzlemine piksel piksel diferansiyel olarak dönüştürülür ve böylece sayısal olarak bir harita düzlemine, dönüklük ve rölyef yer değiştirmeleri giderilmiş olarak izdüşürülmüş olurlar. Şekil 5.7' de gösterilen arazi profili, sayısal bir görüntüdeki bir tarama satırı olarak düşünülebilir. Eğer ortofotoyla, ham görüntü piksellerinin kapsadığı alan birebir eşlenirse, bu durumda bir rektifikasyon düzleminin görüntü pikseline karşılık geldiği görülür. Görüntüdeki noktaların arazi koordinatları, rektifikasyon parçaları olarak adlandırılan bir rektifikasyon düzlemi, bir arazi profili boyunca düzenli aralıklarla yerleştirilerek belirlenir. Rektifikasyon düzlemi, her bir parça için arazinin ortalama yüksekliğine yerleştirilir ve parça içindeki görüntü verisi bu düzleme yataylanmış olur (Şahin, 2013; Erdoğan, 2000).

5.4 Demet Dengelemesi

Demet dengelemesi yöntemi çok yönlü ve yüksek doğruluklu bir çözüm tekniğidir. Bu yöntem, ışın demetlerinin ortak bir noktada kesiştirilmesi esasına dayanmaktadır.

Bu yöntemde stereo resim çiftindeki iki ayrı resme ait ışın demetleri sayısal olarak yöneltir ve her iki resme ait 12 adet dış yöneltme elemanı ve yeni noktaların (kolon ve bağlama noktaları) koordinatları, bilinen kontrol noktası koordinatları yardımıyla hesaplanır.

Dengelemenin matematik modeli doğrusallık (kolinearite) koşuluna dayanmaktadır. Doğrusallık koşulu, bir arazi noktasının, izdüşüm merkezinin ve resim noktasının nesne uzayındaki karşılığının aynı ışın demeti üzerinde olması esasına dayanmaktadır.

Dengelemenin matematik modeli olan doğrusallık koşulu denklemleri denklem 5.3 ve 5.4'de gösterilmektedir;

$$x_a = x_p - c \frac{r_{11} (x_a - x_0) + r_{21} (y_a - y_0) + r_{31} (z_a - z_0)}{r_{13} (x_a - x_0) + r_{23} (y_a - y_0) + r_{33} (z_a - z_0)} \quad (5.3)$$

$$y_a = y_p - c \frac{r_{12} (x_a - x_0) + r_{22} (y_a - y_0) + r_{32} (z_a - z_0)}{r_{13} (x_a - x_0) + r_{23} (y_a - y_0) + r_{33} (z_a - z_0)} \quad (5.4)$$

şeklindedir. Burada;

x_a, y_a : resim koordinatları,

X_a, Y_a, Z_a : yer koordinatları,

“r” katsayıları: görüntü koordinat sistemi ile arazi koordinat sistemi arasındaki dönüklük matrisinin elemanları ve

x_p, y_p, c : iç yöneltme parametreleri olarak tanımlanmaktadır.

Dengelemenin doğruluğu, kontrol noktalarının doğruluğuna, dağılımına ve sayısına bağlıdır. Kontrol noktalarının ve resim sayılarının arttırılması ile dengelemenin serbestlik derecesi arttırılabilir (Temiz, 2011).

Işın demetleri yöntemi ile resimler bir miktar kaydırılır (X_0, Y_0, Z_0) ve bir miktar döndürülür (ω, ϕ, κ).

5.5 Sayısal Ortofotoların Doğruluğu ve Kalitesine Etki Eden Faktörler

Sayısal ortofotoların doğruluğunu etkileyen en önemli faktörler; girdi ve çıktı görüntülerin ölçeği, iç ve dış yöneltme doğruluğu, matematik modelin doğruluğuna ve görüntü eşleştirme doğruluğunun yanı sıra (Ayhan vd., 2007);

- Kullanılan kameranın kalitesi ve odak uzaklığı,
- Fotoğraftan sonuç ürün ölçeğine büyütme,
- Diapozitiflerin yoğunluk oranı veya tarayıcı pikselindeki bitlerin kalitesi,
- Tarayıcının işlenmemiş ham veri tarama kalitesi ve geometrik doğruluğu,
- Mikron veya fotoğraf ölçeğindeki dpi ile ifade edilen tarama örneklerinin kalitesi,
- Yer kontrol noktalarının işaretleme ve koordinat doğruluğu,
- Diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri,
- Arazi birimlerinde ifade edilen sonuç piksellerin boyutu,
- Diferansiyel düşeye çevirmeden sonra otomatik radyometrik düzeltme,
- Kontrol noktalarının seçimi,
- Kamera odak uzaklığına bağlı olan arazi veya binadaki varyans, (Yılmaz, 2002).
- Ayrıca kamera kalibrasyon parametrelerinin niteliği,
- Görüntü çekiminde seçilen örtü oranı,
- Hava triyangülasyonu işleminin kalitesi,
- Kullanılan yazılımın işlem yapma kabiliyeti,
- Ortogörüntü üretiminde kullanılan sayısal yükseklik modeline bağlıdır (Popescu vd., 2016).

Sayısal ortofotolarda doğruluk, önemli bir faktördür. Sayısal ortofotolar bilinen bir doğrulukla üretildikleri oranda değerlendirilmektedir. Genellikle, sayısal ortofotolardaki

karşılıklı doğruluk tamamen görüntünün ölçeğine, mutlak doğruluk ise büyük oranda yer kontrol noktalarının kalitesine, düşeye çevirmede kullanılacak sayısal yükseklik modelinin doğruluğuna ve fotoğraf ölçeğine bağlıdır (Şahin, 2013).

5.5.1 Yer kontrol noktalarının rolü

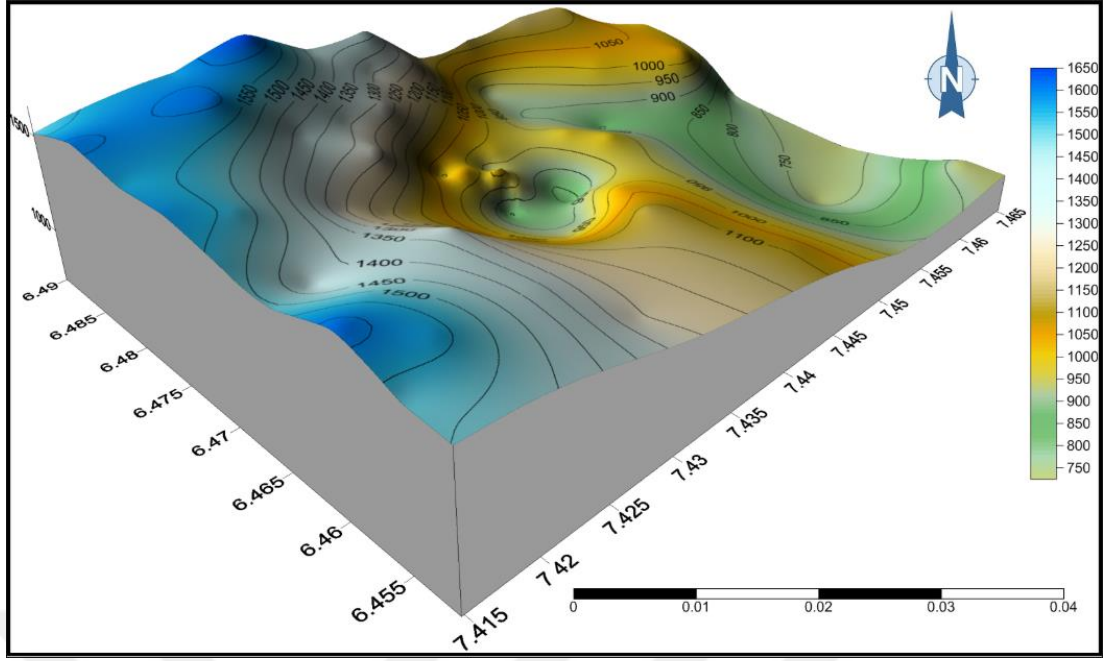
Yer kontrol noktaları görüntünün alım anındaki algılayıcının konumunun yöneltmesini hesaplamakta kullanılır. Hesaplama uzay geriden kestirmesi veya ışın demetleri dengelemesi gibi standart fotogrametrik algoritmalar kullanılır. Algılayıcı sistemin konumu altı parametre ile ifade edilir: X , Y , Z , ω , ϕ , κ . Bu parametreler sayısal görüntünün her bir pikselinin yer yüzeyindeki tam karşılığını bulmada kullanılır.

Diğer bir önemli konu da; yer kontrol noktalarının görüntüdeki dağılımı ve dengeleme yapmak için gerekli ilave YKN sayısıdır. Ortofoto için gerekli YKN, ortofoto piksel konumlarındaki hatayı azaltmak için genellikle yer ölçmeleriyle elde edilir. Ortofoto üretimi nesne uzayı ve görüntü uzayı arasındaki bağıntıyı belirlemede uzay geriden kestirmesi yöntemini kullanır. Bundan dolayı, yer kontrol noktalarının doğruluğu ortofoto doğruluğunu etkiler. Ortofotonun mutlak doğruluğu da yer kontrol noktalarının kalitesine bağlıdır (Şahin, 2013; Erdoğan, 2000).

5.5.2 Sayısal yükseklik modelinin rolü

Sayısal yükseklik modeli, sayısal formattaki bir alan içerisindeki çeşitli noktaların yüksekliklerini tanımlar. Sayısal yükseklik modeli üretmek için gerekli olan veriler yer ölçmeleri, topoğrafik haritaların sayısallaştırılması, geleneksel hava fotogrametrisi, dijital fotogrametri (uzaktan algılama görüntü verileri ile), dijital kamera monte edilmiş insansız hava araçları, uydu SAR verileri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (Gupta, 2017).

Sayısal yükseklik modeli, sayısal arazi modeli üzerinde orman, bina bitki örtüsü gibi detayları içermez, çıplak yeryüzü topoğrafyasını yansıtır. Şekil 5.8’de sayısal yükseklik modeli görülmektedir.



Şekil 5.8: Sayısal yükseklik modeli (URL-5).

Sayısal yükseklik modeli üretimi fotogrametride önemli bir işlemdir ve sayısal yükseklik modeli tek başına bir ürün olduğu kadar ortofoto gibi ürünlerin oluşturulmasında da önemli rol oynamaktadır. Dijital fotogrametri sayısal yükseklik modellerinin otomatik olarak toplanması için iyi bir yöntemdir. Sayısal yükseklik modelleri dijital anlamdaki nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlarlar (Erdoğan, 2007).

Genelde, sayısal yükseklik modelindeki konum bilgileri herhangi bir dik koordinat sisteminde tanımlı x ve y koordinatlarıyla, yüzey ya da arazi karakteristiği ise yükseklikle (h veya z) ifade edilir. Başka bir yaklaşımda, arazi yüzey karakteristiği yine h ya da z olmak üzere, konum bilgileri coğrafi enlem (ϕ) ve boylam (λ) ile temsil edilmektedir. Sayısal yükseklik modeli, istenilen amaç ve doğruluğa uygun olarak, yüzey üzerinde uygun sayı ve sıklıkta, koordinatları bilinen noktalar yardımıyla yüzeyin matematiksel ve sayısal olarak tanımlanmasıdır (Toz, 1989).

Sayısal yükseklik modeli, ortorektifikasyon işleminde arazinin yol açtığı yer değiştirmelerini ortadan kaldırarak görüntüyü ortogonal bir projeksiyona dönüştürür. Burada, her bir elemanı yüksekliklerden oluşan SYM matrisi, seçilen ortofoto matrisiyle karşılaştırılır. Herhangi bir yer örnekleme uzaklığı, verilen bir ortofoto için seçilir. Daha sonra yer örnekleme aralığı, boş bir ortofoto matrisinde belirli bir alanı düzgün bir grid ağına bölmede kullanılır. Gerçekte burada bahsedilen, sayısal

ortofotonun özelliğidir. Pikseller boş bir ortofoto matrisine sayısal yükseklik modelinin her bir grid elemanından bir gri değeri atanarak izdüşürülür.

Sayısal yükseklik modelinin doğruluğu, ortofotodaki planimetrik doğruluğu etkilediği için sayısal ortorektifikasyon işleminde önemli bir rol oynar. SYM'lerin doğruluğu, kaynak veri ölçeği, çözünürlük ve kalite, SYM grid aralığı ve işlem algoritmaları gibi bir takım faktörlere bağlıdır (Şahin, 2013; Erdoğan, 2000).

Bir ortofotonun doğruluğu temel olarak, SYM'nin doğruluğunun fonksiyonuna ve sonuç enterpolasyon hatalarına bağlıdır. Eğer her ortofoto pikseli için bir SYM noktası varsa hiçbir enterpolasyon gerekmez ve enterpolasyon hataları yer almaz. Bu miktarlarda SYM toplamak gerçekçi değildir. Gerçekte SYM için daha büyük aralıklar kullanılır (Şahin 2013, Erdoğan 2000).

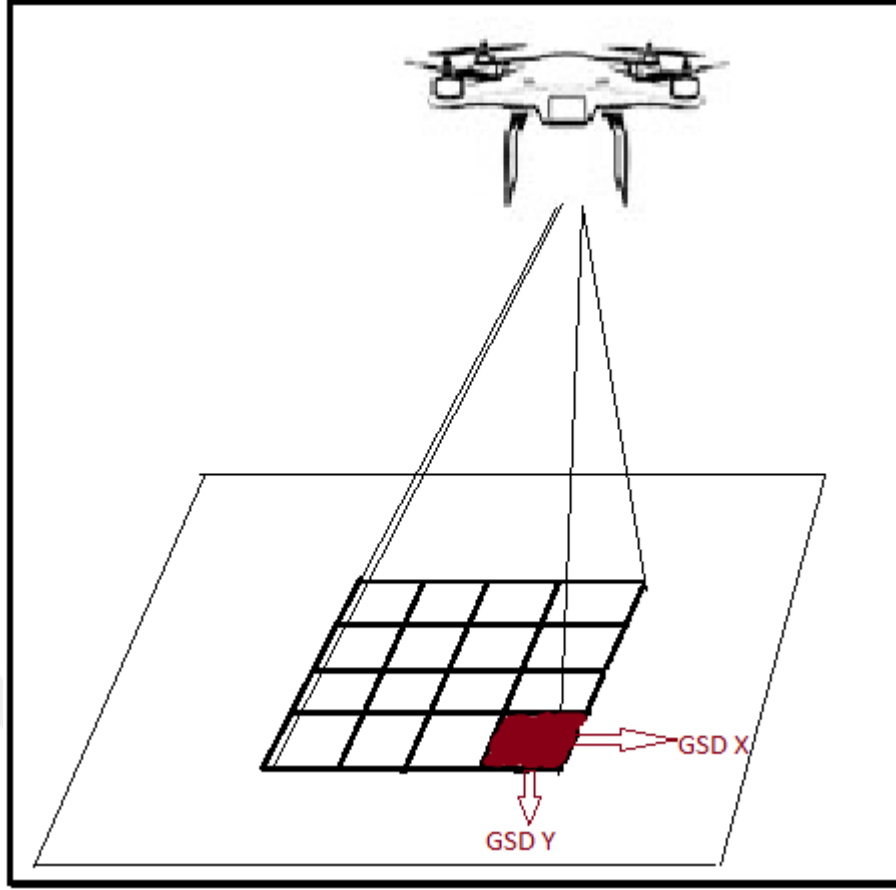
Sayısal yükseklik modeli, dijital ortofotonun çok önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Sayısal yükseklik modelinin uygunluğu;

- Ortofotonun üretileceği ölçeğin özelliklerine,
- Haritalanacak yüzeyin pürüzlülüğüne,
- Hava kamerasının odak uzaklığına ve
- Büyütme gücüne bağlıdır (Eker, 2000).

Sayısal yükseklik modelindeki noktalar arazi yüzeyinin durumunu en iyi yansıtacak şekilde sık ya da seyrek olarak üç boyutlu noktalar halinde toplanmaktadır. Nokta toplama sırasında arazide çok fazla eğim varsa daha sık veri toplanırken arazi daha düz ise seyrek noktalarda veriler toplanmalıdır. Böylece hem arazi daha iyi temsil edilir hem de sayısal yükseklik modeli ve ortofotonun doğruluğu artmış olmaktadır.

5.6 Sayısal Ortofotonun Çizgisel Haritalara Göre Avantajları

Ortofoto üretiminde ölçek ve doğruluğu belirleyen en önemli parametre yer örnekleme aralığı (YÖA)'dır (Şekil 5.9). Günümüzde büyük ölçekli ortofoto üretim çalışmalarında yer örnekleme aralığı, 1/1000 ölçekli üretimlerde 8 cm- 10 cm, 1/2000 ölçekli çalışmalarda 15 cm- 18 cm, 1/5000 ölçekli çalışmalarda da 25 cm- 30 cm arasında seçilmektedir (Yıldız vd., 2015).



Şekil 5.9: Yer örnekleme aralığı (YÖA, Ground sample distance: GSD).

Sayısal ortofotoların avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek doğruluk ve veri zenginliği,
- Daha kısa sürede üretim, düşük maliyet, yüksek verimlilik,
- Üretimde ve türevi ürünlerde esneklik,
- Sayısal görüntü üzerinden bilgisayar teknolojileri ile daha fazla veri ve daha çok bilgi çıkarımı,
- Radyometrik manipülasyonlar (görüntü kalitesi, mozaikleme, renk düzenleme, dinamik aralık ayarının değiştirilmesi vs.),
- Vektör verileri ile raster verilerin entegrasyonu sağlanmaktadır (Yıldız vd., 2015; Hoffmann, 2008).
- Yeryüzü üzerindeki tüm objeler ortofoto üzerinde de bulunduğundan kullanıcıya eksiksiz bilgi sunar.
- Çok sayıda taranmış ham veri depolanabilir ve hızlıca transfer edilebilir.

- Çok yakın noktalardan oluşan bir ağ ile yeryüzü temsil edildiği için geometrik doğruluk daha yüksektir.
- Sayısal ortofotolar kolaylıkla yorumlanabilir ve ucuz ve yüksek kalitede çıktılar alınabilir.
- Vektör bilgiler ek bir çalışma yapılmadan bilgisayarda eş zamanlı olarak görüntülenebilir (Demirel, 1998).
- Sayısal ortofotolar görünüş itibarıyla iki boyutlu veriler olmasına rağmen, gerçekte üç boyutlu veri kaynaklarıdır. Bilgisayar ortamında, ortofotolar üzerinden herhangi bir noktanın veya detayın üç boyutlu koordinatları ölçülebilen, yine bilgisayar ortamındaki sayısal vektör haritalarda ise yalnızca seçilmiş nokta, çizgi ve alan gibi detayların sorgulanması ve üç boyutlu koordinatlarının alınabilmesi olanaklıdır (Yaşayan, 1997).
- Sayısal ortofoto üretiminde sayısal görüntünün bir bütün halinde yataylanması temel esastır. Sayısal vektör harita üretiminde ise stereo model alanı dikkatli bir şekilde görüntülenerek detayların yorumlanması ve ölçeğin gerektirdiği tüm nokta, çizgi ve alan detayların birbirinden bağımsız olarak tek tek kıymetlendirilmesi gerekmektedir (Özbalmumcu, 2007; Kraus, 1997).
- Vektör haritalarda kartografik çizim hatalarından kaçınılamazken, ortofotolarda ise sayısal veriler üzerinde çok fazla kartografik çizim ve düzeltme işlemi yapılamamaktadır.
- Vektör haritalarda topoğrafik yeryüzündeki detaylarda sadece ölçeğin gerektirdiği cins ve büyüklükteki elemanlar gösterilirken, ortofotolarda, arazi gerçek şekliyle, ölçekli ve fotoğrafik görünümü ile gösterilmektedir.
- Ortofotoların üretiminde sayısal vektör haritalara göre maliyet, ekonomi, personel, alet ve maliyet açısından 2-9 kat oranında tasarruf sağlanmaktadır ve vektör haritalara eşdeğer oranda doğruluk sağlanmaktadır.
- Ortofoto mozaiklerini elde etmek ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil edebilmek için çok sayıda ortofoto birleştirilebilmektedir.
- Arazi üzerindeki istenen veya istenmeyen tüm detaylar ve arazi örtüsü olduğu gibi görüntülenebilmektedir.
- Ortofotoların üzerinde her türlü üç boyutlu ölçümler (uzunluk, alan, koordinat, açı, yükseklik farkı gibi) ve çeşitli mühendislik uygulamaları (kesit çıkarma, perspektif görüntü alınması vb.) yapılabilmektedir.

- Ortofotolar coğrafi veri tabanı ve coğrafi bilgi sistemi oluşturulmasında gerekli vektör verilerin toplanmasında en fazla kullanılan veri kaynaklarından biridir (Özbalmumcu, 2007).

5.7 Sayısal Ortofotonun Doğruluk Kriterleri

Yürürlükteki BÖHHBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği)' nin 51- 73 maddelerinde sayısal fotogrametrik ve ortofoto harita üretimleri için üretim standartları belirlenmiştir. Bu maddelerden bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- Hava görüntüleri yüksek nitelikli analog veya aynı nitelikte sayısal (dijital) hava kameraları ile çekilir. Bu görüntülerin çekiminde GPS desteği benimsenmiştir.
- Proje alanındaki tüm TUTGA, C1 ve C2 derece noktaları kontrol noktası olarak alınır. Kinematik GPS yöntemi kullanıldığında blok köşelerinde ve çapraz kolonların baş ve sonunda kontrol noktaları tesis edilir. Kinematik GPS yönteminin uygulanmaması durumunda, bu noktalara ek olarak, blok çevresinde sayısal görüntü çekim bazının iki katını, blok içinde de bazın dört katını geçmeyecek şekilde yeni kontrol noktaları oluşturulur.
- Hava fotoğraflarının çekiminde; 1/5000 ölçekli harita yapımında odak uzaklığı yaklaşık 15 cm ve fotoğraf boyutları 23 cm × 23 cm olan geniş açılı kameralar, diğer büyük ölçekli fotoğraf çekiminde ise odak uzaklığı yaklaşık 30 cm ve fotoğraf boyutları 23 cm × 23 cm olan normal açılı kameralar kullanılır. 1/5000 ölçekli ortofoto harita üretiminde normal açılı kameralar da kullanılabilir.
- Kamera mercek sisteminin ışımsal distorsiyonu fotoğrafın hiçbir yerinde 10 mikrometreyi geçmemeli, mercek ayırma gücünün ağırlıklı ortalaması da 50 çizgi çifti/mm veya daha fazla olmalıdır.
- Hava fotoğrafı alımı anında GPS-IMU (Inertial Measurement Unit) ve benzeri uydu ölçüm tekniklerine dayalı yöntemler kullanılarak, resim dış yöneltme parametrelerinin doğrudan belirlenmesi durumunda, fotogrametrik nirengi ölçüm ve hesap yöntemleri kullanılmaksızın oluşturulacak modelde, denetleme noktalarında yapılacak ölçümlerin konum ve yükseklik doğruluğu resim ölçeğinde 30 mikrometreyi geçmemelidir.
- İç yöneltmede en az dört çerçeve işaretinin ölçüsü yapılır. Piksel koordinatlarından fotoğraf koordinat sistemine dönüşüm, afin dönüşümü yöntemi ile çerçeve

işaretlerinin kalibrasyon raporunda verilen koordinatlar kullanılarak yapılır. Dönüşümün ortalama hatası 7 mikrometreyi, hiçbir noktadaki artık hata 10 mikrometreyi geçmemelidir. Karşılıklı yöneltme en az 8 nokta ile gerçekleştirilir. Yöneltme sonunda bulunacak hata hiçbir noktada 8 mikrometreyi, bu hataların ortalaması da 5 mikrometreyi geçmemelidir.

- Fotogrametrik nirengi ölçüleri bloklar halinde dengelenerek fotoğrafların dış yöneltme elemanları bulunur. Blok dengeleme ışın demetleri yöntemine göre yapılır. Blok dengelemede sonuçları iyileştirici ek parametreler de kullanılabilir.
- Blok dengeleme sonunda elde edilecek koordinat ortalama hataları 8 mikrometreyi geçmemelidir. Bağımsız model yöntemine göre yapılacak blok dengeleme sonucunda da, konum ortalama hatası 10 mikrometreyi, yükseklik ortalama hatası ise 15 mikrometreyi geçmemelidir.
- Siyah-beyaz ve renkli ortofoto üretimi için normal veya geniş açılı hava kameraları kullanılır. Fotoğraftan ortofotoya büyütme oranı beşten fazla olmamalıdır. Ortofoto üretiminde kullanılacak görüntünün piksel boyutları 25 mikrometre veya daha küçük olmalıdır.
- İki veya daha fazla ortofotonun birleştirilmesi durumunda ortak alanda radyometrik düzeltme yapılır (BÖHHBÜY, 2005).

30 Nisan 2018 tarihinde yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği' nin 54. maddesinde yer örnekleme aralıkları için; üretilecek harita ve ortofoto ölçeğine bağlı olarak ölçeğin 1/5000 olması durumunda yer örnekleme aralığının 30 cm' den, 1/2000 olması durumunda 20 cm' den, 1/1000 olması durumunda 10 cm' den, 1/500 olması durumunda ise yer örnekleme aralığının 5 cm' den fazla olamayacağı belirtilmektedir.

Yine blok dengeleme sonucunda denetleme noktalarının karesel ortalama hataları üretilecek harita veya ortofoto ölçeği için aynı yönetmeliğin 54. maddesinde belirtilen yer örnekleme aralığı cinsinden; X ve Y koordinatlarında $\pm 0.75 \times YÖA$ (dahil)' dan ve Z koordinatında $\pm 1 \times YÖA$ (dahil)' dan küçük olmalıdır. Denetleme noktalarında maksimum farklar; X ve Y koordinatlarında $\pm 1.5 \times YÖA$ (dahil)' dan ve Z koordinatında $\pm 2 \times YÖA$ (dahil)' dan küçük olmalıdır denilmektedir.

Avrupa Birliği ülkelerinde ise sayısal arazi modelinin doğruluğu denetleme noktalarından hareketle elde edilmektedir. EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayımlanan “ Assessment of the Quality of Digital Terrain

Models” adlı yönergede sayısal arazi modeli için doğruluk (5.5) formülüne göre belirlenmektedir (Kapnias vd., 2008);

$$\sigma_{x,y} = 0.75 \times Y\ddot{O}A \quad \sigma_z = 0.53 \times Y\ddot{O}A \quad (5.5)$$

Denetleme noktalarının sayısal arazi modeli verilerinden hesaplanan koordinatları ile gerçek arazi koordinatları arasındaki farklardan hesaplanan $\sigma_{x,y}$ ve σ_z değerlerinin formül 5.1’ den bulunan değerlerden fazla olmaması istenilmektedir (Wolf, 1974).

EuroSDR (önceki adıyla OEEPE), Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı Konseyi tarafından kabul edilen bir öneri uyarınca 1953 yılında Paris’ te OEEPE olarak uluslararası anlaşma uyarınca kurulmuş bir kuruluştur. 1953 yılında kurulan OEEPE (Avrupa Deneysel Fotogrametri Araştırma Birliği, Organisation Europeenne d'Etudes Photogrammetriques Experimentales)’ ye Türkiye 1990 yılında resmen üye olmuş ve temsil yetkisi Harita Genel Komutanlığı’ na verilmiştir. 2003 yılı Haziran ayında imzalanan yeni bir anlaşma ile OEEPE organizasyonunun adı bazı teknolojik gelişmelerle birlikte EuroSDR olarak değiştirilmiştir.

ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tarafından yürürlüğe konulan “Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, March, 2014” adlı yönergede ise sayısal ortofoto görüntülerin konum (x, y) ve yükseklik (z) doğrulukları bu verilerin elde edilmesindeki yöntem ve doğruluk değerlerine göre sınıflandırılarak verilmektedir (Yıldız, 2015; ASPRS, 2014).

Çok yüksek doğruluk isteyen mühendislik ölçme tabanlı hizmetler Sınıf-I, yüksek doğruluklu harita yapım çalışmaları (büyük ölçekli harita üretimi) Sınıf-II, daha düşük doğrulukta harita yapım çalışmaları da Sınıf-III olarak gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre sayısal ortofoto için öngörülen yatay doğruluk standartları Çizelge 5.1’ de verilmektedir (Yıldız, 2015; ASPRS, 2014).

Çizelge 5.1: Sayısal ortofotolar için öngörülen yatay doğruluk standartları (ASPRS,2014).

Yatay Doğruluk Veri Üretim Sınıfı	Fotogrametrik Nirengi K.O.H. (x), K.O.H. (y)	Ortofoto Görüntü Doğruluğu	Yer Kontrol Noktalarının K.O.H. (x), K.O.H. (y), K.O.H. (z)
Sınıf-I	Piksel $\times$ 1.0	Piksel $\times$ 2.0	Piksel $\times$ 0.5
Sınıf-II	Piksel $\times$ 2.0	Piksel $\times$ 4.0	Piksel $\times$ 1.0
Sınıf-III	Piksel $\times$ 3.0	Piksel $\times$ 6.0	Piksel $\times$ 1.5
...	...	...	...
Sınıf-N	Piksel $\times$ N	Piksel $\times$ 2N	Piksel $\times$ 0.5N

Çizelgeye göre 10 cm doğrulukla ortofoto üretebilmek için, fotogrametrik nirengi dengeleme sonunda elde edilen nokta doğruluklarının 5 cm veya daha küçük, fotogrametrik nirengi için araziye tesis edilen yer kontrol noktalarının jeodezik doğruluklarının da 2.5 cm veya daha küçük olması gerekmektedir (Yıldız, 2015; ASPRS, 2014).

Benzer şekilde ASPRS tarafından sayısal ortofoto üretiminde, konum (x,y) doğrulukları ile harita ölçekleri arasında da Çizelge 5.2’ de verilen korelasyonlar hesaplanabilir.

Çizelge 5.2: Sayısal ortofoto üretiminde konum (x,y) doğrulukları ile harita ölçekleri arasındaki ilişki.

Yatay Doğruluk Veri Üretim Sınıfı	Fotogrametrik Nirengi K.O.H. (x), K.O.H. (y) (cm)	Yer Kontrol Noktalarının K.O.H. (x), K.O.H. (y), K.O.H. (z) (cm)
Sınıf-I	$0.0125 \times \text{harita ölçeği}$	$0.00625 \times \text{harita ölçeği}$
Sınıf-II	$0.0250 \times \text{harita ölçeği}$	$0.01250 \times \text{harita ölçeği}$
Sınıf-III	$0.0375 \times \text{harita ölçeği}$	$0.01875 \times \text{harita ölçeği}$
...	...	...
Sınıf-N	$N \times 0.0125 \times \text{harita ölçeği}$	$N \times 0.00625 \times \text{harita ölçeği}$

Çizelge 5.2' ye göre; Sınıf-I hizmetlerde, 1/1000 ölçekli çalışmalar için jeodezik yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatalarının $\pm 6.25 \text{ cm}$ ' den küçük olması, bu noktalar yardımıyla yapılan fotogrametrik nirengi ölçme ve dengelemeleri sonunda elde edilecek karesel ortalama hataların da $\pm 12.5 \text{ cm}$ ' den küçük olması önerilmektedir (Yıldız, 2015; ASPRS, 2014).

Ayrıca büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında uluslararası standartlara göre fotogrametrik bloklar için fotogrametrik nirengi dengelemesi sırasında öncül (a-priori) standart sapmaların (default data set);

Yer kontrol noktaları için;

$$\sigma_{x,y} = 0.03 \text{ m} \quad \sigma_z = 0.05 \text{ m}$$

Otomatik ölçülen bağlama noktaları için;

$$\sigma_1 = 0.002 \text{ mm}$$

Manuel olarak ölçülen bağlama ve yer kontrol noktaları için;

$$\sigma_1 = 0.002 \text{ mm}$$

Doğrudan yer referanslandırma sistemi;

GNSS değerleri için; $\sigma_{x,y,z} = 0.10$ m

INS değerleri için; $\sigma_{\omega, \phi, \kappa} = 0^{\circ}.010$ kriterlerine uygun olması önerilmektedir (Yıldız, 2015).

5.8 Sayısal Ortofotoların Kullanım Alanları

Sayısal ortofotolar, üretimi hızlı ve maliyeti düşük olması açısından ve araziye ait tüm detayları verebilmesi, kolayca okunabilmesi açısından çoğu meslek grubu tarafından tercih edilmekte ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- Kentsel planlama ve uygulama çalışmalarında,
- Tarımsal faaliyetlerin planlanmasında,
- Ormancılıkta ve orman kadastro çalışmalarında,
- Doğal afet müdahale ve hasar tespit çalışmalarında,
- İvedilik gerektiren haritacılık çalışmalarında,
- Erozyon tespit ve nleme çalışmalarında,
- Baraj, sulama ve drenaj çalışmalarında,
- Kadastro çalışmalarında,
- Üç boyutlu kent ve arazi modellemesinde,
- Haritaların güncelleştirilmesinde (Akdeniz, 2004),
- şehir bölge planlama, jeoloji ve jeofizik çalışmaları, yol projeleri, arazi yorumlaması ve uygun güzergah tespitinde,
- Herhangi bir proje ile ilgili yaklaşık maliyet hesabı, bir proje kapsamında büyük çaplı yatırımlar yapılmadan önce n etüt ve test projelerinin yapılmasında,
- nceki yıllarda üretilmiş çeşitli ölçeklerdeki sayısal vektör haritaların hızlı bir şekilde güncellenmesini sağlayan harita revizyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (zbalmumcu 2007, Yılmaz 1998).

6. MALZEME VE YÖNTEM

6.1 Materyal

Ortorektifikasyon işlemi için çalışma bölgesine ait dijital hava görüntüleri veya uydu görüntüleri, kamera kalibrasyon bilgileri ve dolayısıyla iç yöneltme parametreleri, her bir görüntüye ait dış yöneltme elemanları ve çalışma bölgesine uygun şekilde dağılmış ve yeterli sayıda yer kontrol noktaları ve koordinatları gerekmektedir.

6.1.1 Çalışma bölgesi ve uçuş planlaması

Çalışma bölgesi olan Aksaray Üniversitesi kampüs alanı ve çevresi (Şekil 6.1) , yaklaşık 380 21' 49'' K – 380 19' 09'' K enlemleri ve 330 58' 29'' D – 340 02' 00'' D boylamları arasında olup 26 km²' lik bir alandır (Cankurt, 2016).



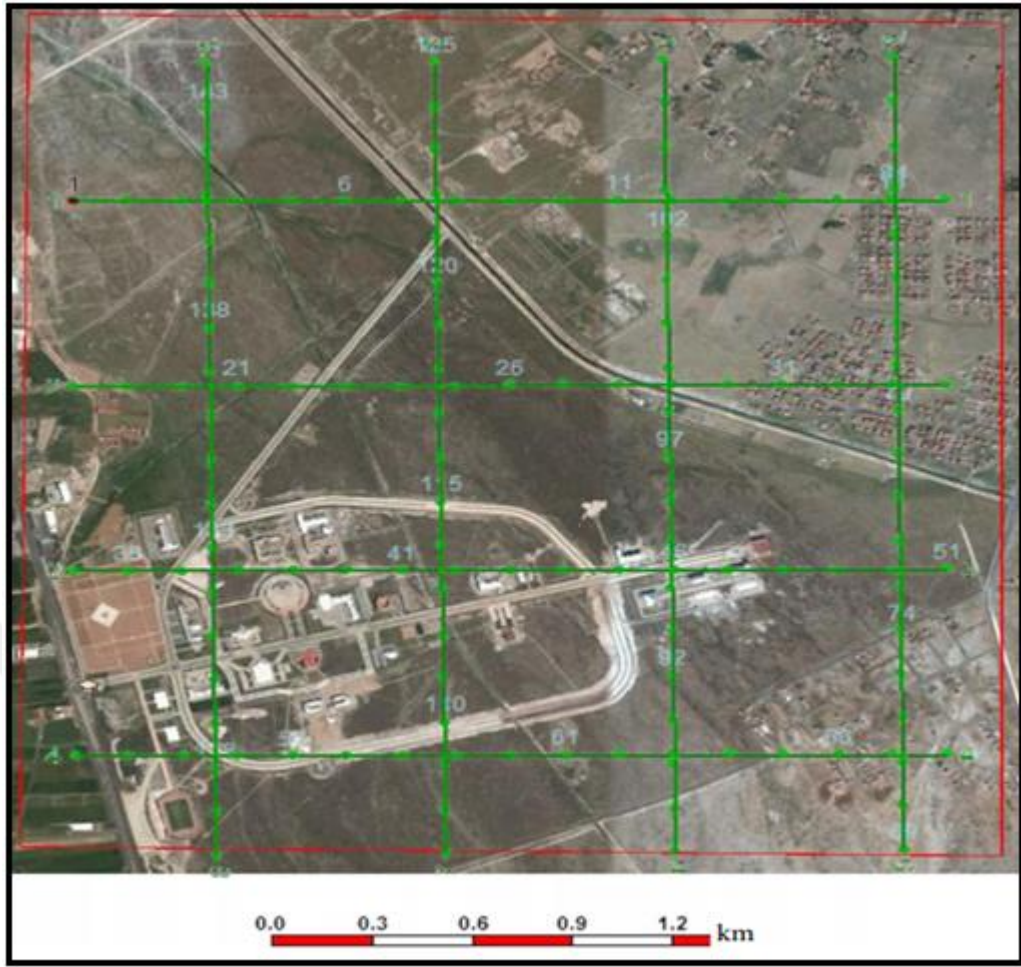
Şekil 6.1: Çalışma alanı: Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesi.

Uygulamada, analog hava fotoğraflarının ölçeği, tarama yoğunluğu gibi harita ölçeğini etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak aşağıdaki GSD değerleri kullanılmıştır.

- 1/1000 Harita Üretim Ölçeği için 7 cm GSD (Uçuş Yüksekliği.; Zemin Yüksekliği +700m),
- 1/2000 Harita Üretim Ölçeği için 15 cm GSD (Uçuş Yüksekliği.; Zemin Yüksekliği +1500m),
- 1/5000 Harita Üretim Ölçeği için 25 cm GSD (Uçuş Yüksekliği.; Zemin Yüksekliği +2500m).

7, 15 ve 25 cm GSD çözünürlüğünde hava görüntüsü üretecek şekilde uçuş planlaması yapılmış ve uçuş kolonları, uçuş yükseklikleri gibi değerler belirlenmiştir (Cankurt, 2016).

7 cm yer örnekleme aralığı için yapılan uçuş planlamasında 1:5833 resim ölçeğinde, %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 677 m kolon genişliğinde; 4 adeti Doğu-Batı, 4 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 8 adet uçuş kolonu belirlenerek projelendirilmiş ve uçuş sonrası çalışma bölgesine ait 106 adet sayısal hava görüntüsü elde edilmiştir. 7 cm GSD için yapılan uçuş planlaması Şekil 6.2’de görülmektedir.



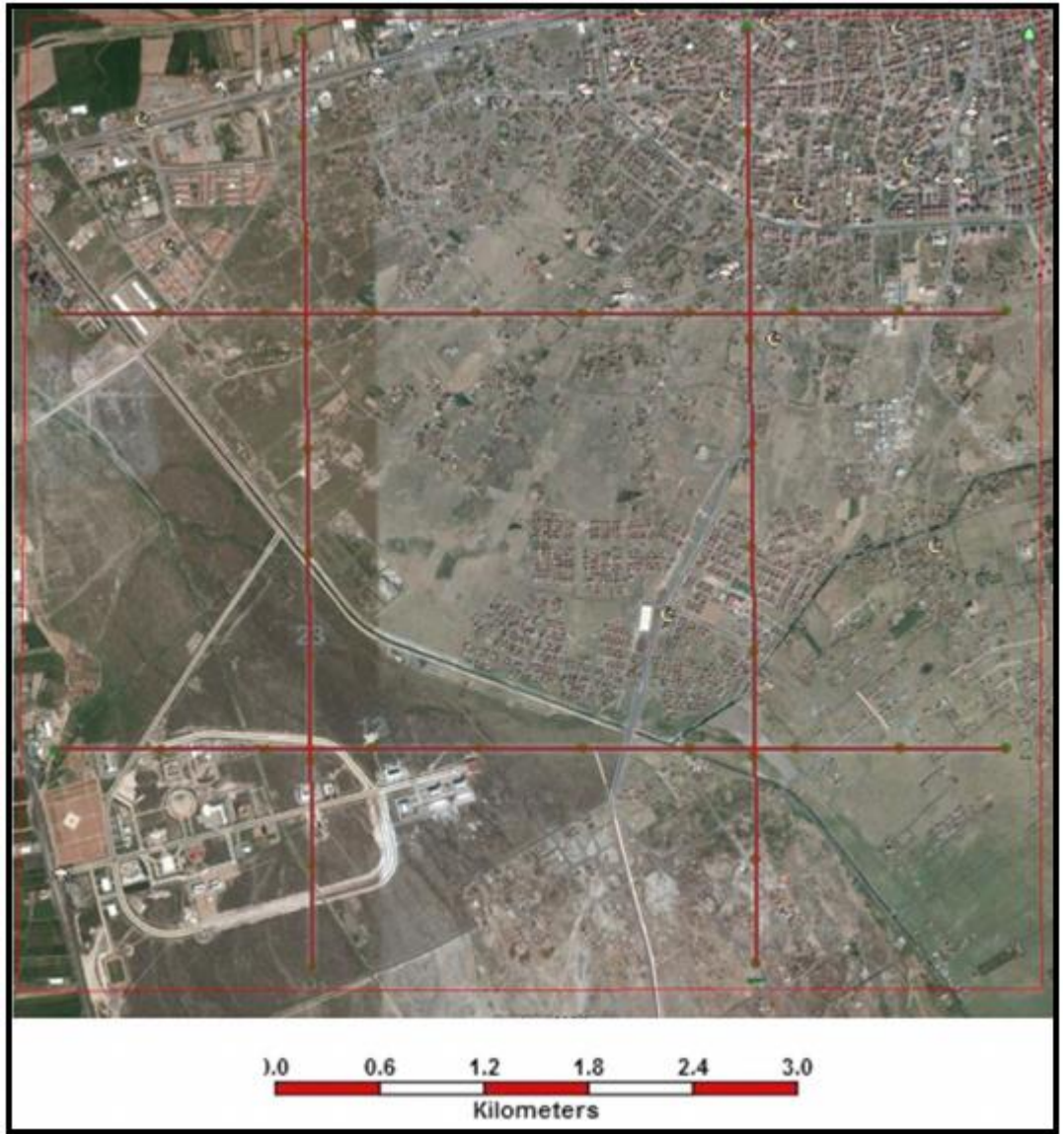
Şekil 6.2: 7 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması (Cankurt, 2016).

15 cm yer örnekleme aralığı için yapılan uçuş planlamasında, 1:12500 resim ölçeğinde, %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 1451 m kolon genişliğinde; 2 adeti Doğu-Batı, 2 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 4 adet uçuş kolonu belirlenerek uçuş gerçekleştirilmiş ve çalışma bölgesine ait 38 adet hava görüntüsü elde edilmiştir. 15 cm GSD için yapılan uçuş planlaması Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3: 15 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması (Cankurt, 2016).

25 cm yer örnekleme aralığı için yapılan uçuş planlamasında, 1:21667 resim ölçeğinde %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 2516 m kolon genişliğinde; 2 adeti Doğu-Batı, 2 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 4 adet uçuş kolonu belirlenerek uçuş gerçekleştirilmiş ve çalışma bölgesine ait 40 adet hava görüntüsü elde edilmiştir. 25 cm GSD için yapılan uçuş planlaması Şekil 6.4’de görülmektedir.



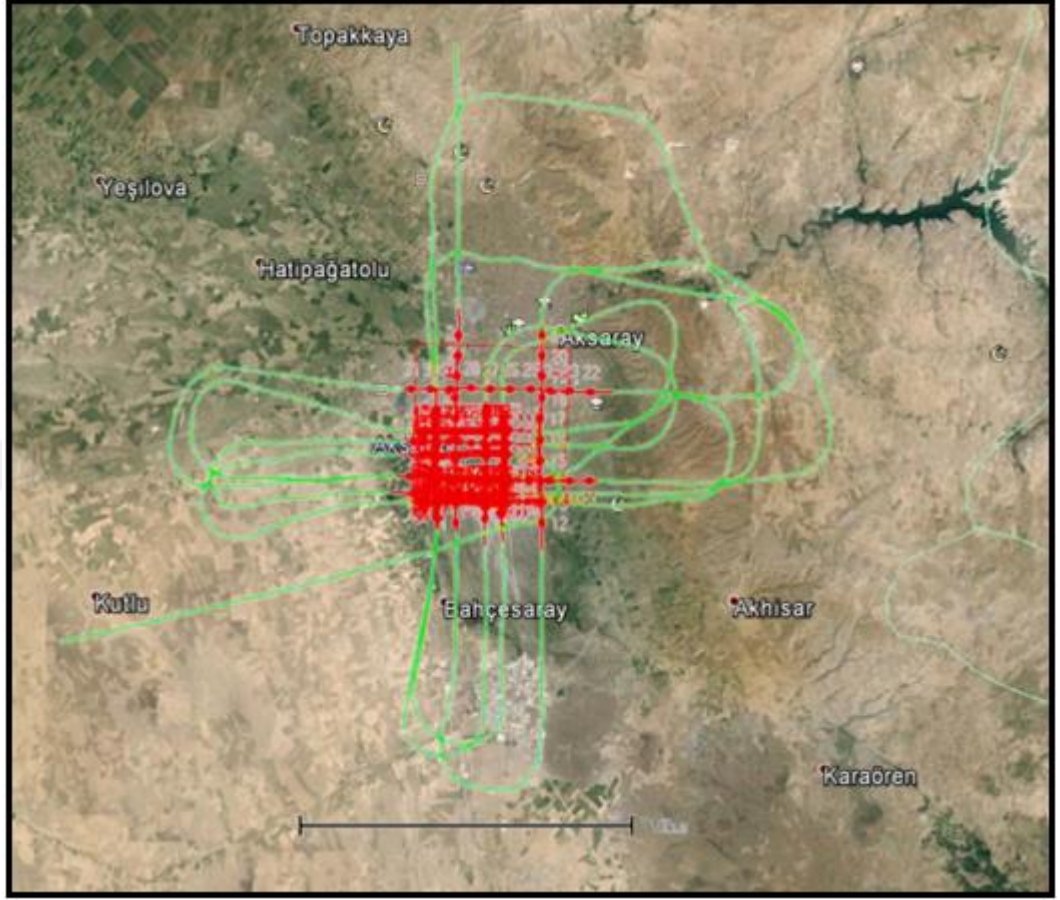
Şekil 6.4: 25 cm yer örnekleme aralığı için uçuş planlaması (Cankurt, 2016).

6.1.2 Çalışma bölgesine ait dijital hava görüntüleri

Çalışma kapsamında Aksaray Üniversitesi kampüsünün 2011 yılında 7 cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş dijital hava görüntülerinden yararlanarak ortofoto mozaik görüntüsünün oluşturulması ve konum doğruluklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Hava görüntüleri elde edilirken ilk önce yerden 2500 m yükseklikte 25 cm GSD için planlanan dört adet uçuş kolonunda test ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra uçuş yüksekliği 1500 metreye düşürülmüş ve 15 cm GSD için planlanan dört adet uçuş kolonunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Son olarak, uçuş yüksekliği 7 cm GSD için planlanan yüksekliğe (Yer + 700m)' ye düşürülerek 8 adet uçuş kolonunda uçuşlar

gerçekleştirilmiştir (Cankurt, 2016). Uçuşların gerçekleştirilmesi Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5: Her üç yer örnekleme aralığı için yapılan uçuşlar (Cankurt, 2016).

Çalışma bölgesine ait 7 cm yer örnekleme aralığında 106 adet hava görüntüsü çekilmiş olup bunlardan bazıları Şekil 6.6’ da, 15 cm yer örnekleme aralığında 38 adet hava görüntüsü çekilmiş olup bunlardan bazıları Şekil 6.7’ de ve 25 cm yer örnekleme aralığında ise 40 adet dijital hava görüntüsü çekilmiş olup bunlardan bazıları da Şekil 6.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.6: 7 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri



Şekil 6.7: 15 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri



Şekil 6.8: 25 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş bazı dijital hava görüntüleri

6.1.3 Kamera kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleri

Ortofoto mozaik üretim aşamasında gerekli olan bir diğer veri ise hava görüntülerinin çekiminde kullanılan dijital hava kamerasının kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleridir.

Fotogrametrik kameraların teknik özelliklerini ve kameraya ait iç yöneltme elemanları, kameranın çözünürlük değerleri (objektifin ayırma gücü), distorsiyon bilgileri gibi parametreleri içeren ve kamerayı üreten firma tarafından kullanıcıya sunulan raporlara kamera kalibrasyon raporu denmektedir.

Kamera kalibrasyon raporlarında verilen asal noktanın konumu ve asal uzaklık değerleri iç yöneltme parametreleridir. İç yöneltme parametreleri ile görüntü noktasından geçen izdüşüm ışını doğru bir şekilde konumlandırılabilir.

Şekil 6.9’da çalışmada kullanılan dijital hava kamerası Intergraph DMC’ nin kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleri görülmektedir.



Calibration Protocol
DMC01 - 0057



Calibration Certificate

Digital Mapping Camera (DMC)

DMC Serial Number: **DMC01-0057**

CBU Serial Number: **01000005**

For

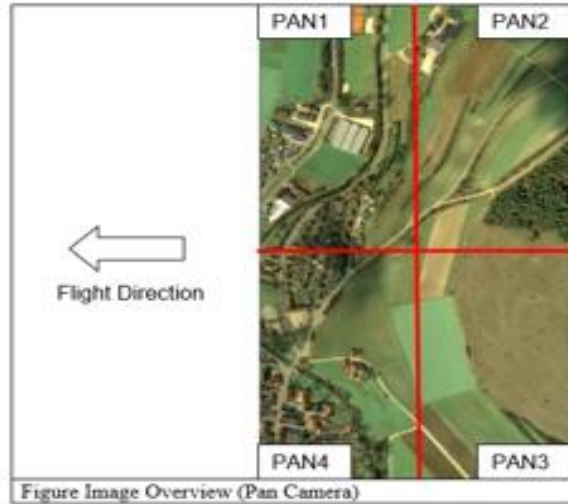
Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı-Tapu Kadastro
Genel Müdürlüğü

Yukarı Dikmen Mah. 648. Cad. 53/ E
Çankaya / ANKARA

Turkey



Calibration Protocol
DMC01 - 0057



Camera Parameter for Virtual Image (High Resolution)

Virtual Focal Length [m]	0.12
Virtual Sensor Size [Pixel]	13824 x 7680
Virtual Pixel Size [μm]	12
Virtual Principle Point [mm]	X = 0.0 Y = 0.0
Distortion Parameter	Distortion Free

Şekil 6.9: Intergraph DMC dijital kamerasının kalibrasyon raporu ve iç yöneltme parametreleri.

6.1.4 Dış yöneltme parametreleri

Dış yöneltme, cisim koordinat sistemine göre resim dönüklüklerinin ve izdüşüm merkezinin belirlenmesidir.

Bir fotoğraf için altı adet dış yöneltme elemanı mevcuttur. Bunlar; izdüşüm merkezinin üç koordinatı (X_0 , Y_0 , Z_0) ve fotoğraf koordinat sisteminin uzay koordinat sistemine göre üç dönüklüğü (ω , ϕ , κ)'dür.

Çalışmada dış yöneltme parametreleri uçuş esnasında doğrudan GPS/IMU ile elde edilmiştir. 7cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilen hava görüntüleri için dış yöneltme parametreleri elde mevcuttur. Şekil 6.10'da 7 cm YÖA'nda çekilen hava görüntüleri için dış yöneltme parametreleri verilmiştir.

Strip	Photo	TimeStamp	Easting	Northing	Height	Omega	Phi	Kappa	R0hor	R0hor	R0vert	R0omega	R0phi	R0kappa
000	0001	114022.2247	883869.043	4244701.207	1714.419	0.7270	-4.4433	-89.8147	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0002	114024.4548	883846.442	4244540.129	1712.231	0.8865	-2.4208	-90.7407	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0003	114026.6850	883843.838	4244378.049	1718.211	0.8921	-3.8449	-91.1847	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0004	114028.8972	883857.444	4244217.071	1721.578	0.7689	-4.0337	-92.2852	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0005	114031.1094	883849.180	4244054.052	1725.424	0.5483	-3.9039	-93.4347	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0006	114033.3216	883836.801	4243894.453	1729.116	0.5557	-3.4443	-94.1058	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0007	114035.5317	883824.329	4243733.499	1730.939	0.3793	-2.5424	-94.1424	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0008	114037.7218	883815.131	4243571.594	1731.680	1.1023	0.1293	-93.0940	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0009	114039.9100	883810.918	4243410.502	1734.792	0.8286	1.8160	-91.3901	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0010	114042.0982	883811.209	4243250.444	1735.930	0.3902	3.2821	-89.8471	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0011	114044.3223	883815.773	4243089.524	1735.716	-0.1043	3.8125	-88.2909	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0012	114046.5425	883823.457	4242927.789	1734.492	-0.3123	2.7380	-87.0224	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0013	114048.7847	883835.245	4242764.424	1738.453	-0.7174	4.2404	-85.4354	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0014	114051.0388	883855.789	4242603.149	1743.002	-0.7404	4.0415	-84.2755	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0015	114053.2990	883866.872	4242443.390	1748.101	-0.1132	2.4021	-84.4296	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0016	114055.5472	883880.788	4242281.025	1754.553	0.3277	0.6971	-83.3423	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0017	114057.7933	883891.245	4242120.332	1760.911	0.3493	-1.9543	-84.4514	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0018	114060.0115	883895.738	4241958.730	1767.246	0.6851	-1.8914	-87.3585	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0019	114062.2137	883897.931	4241798.404	1764.931	0.6723	-2.3906	-89.2670	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0020	114064.4320	883899.418	4241638.494	1754.764	-0.7024	1.9021	-90.4025	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0021	114066.6452	883909.047	4241477.555	1754.747	-0.7594	2.0224	-89.3555	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0022	114068.8724	883917.491	4241316.404	1752.418	-0.6372	2.4730	-88.3177	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0023	114070.9725	883927.093	4241155.475	1751.451	-0.4683	1.9047	-87.3522	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0024	114072.9827	883938.232	4240994.526	1752.640	-0.0695	1.4587	-87.1300	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0025	114074.9929	883949.323	4240834.429	1752.513	0.0087	0.7847	-87.8284	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0026	114076.9331	883959.279	4240673.214	1751.815	-0.0170	0.4743	-87.8940	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0027	114078.9573	883970.008	4240514.534	1752.043	0.0584	0.9930	-87.4294	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0028	114080.9815	883980.937	4240351.7474	1751.593	0.0105	0.3142	-87.3188	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0029	114082.9977	883991.452	4240189.080	1751.248	-0.1049	-0.4107	-87.3783	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0030	114084.9379	883996.801	4240024.490	1750.711	-0.1535	-1.9330	-89.6882	0.042	0.042	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0031	114086.9460	883996.273	4239860.996	1752.439	-0.2530	-1.8917	-90.0538	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0032	114088.9542	883991.105	4239703.411	1750.448	-0.3478	-1.9812	-90.3323	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0033	114090.9544	883981.042	4239544.485	1740.971	-0.1470	-1.4922	-91.0519	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0034	114092.9546	883970.343	4239385.581	1749.684	-0.0409	-1.4388	-91.4307	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0035	114094.9548	883959.234	4239226.447	1750.908	0.2460	-1.1586	-91.4827	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034
000	0036	114096.9550	883948.242	4239067.742	1755.134	0.3380	-1.0588	-91.3049	0.043	0.043	0.046	0.0031	0.0031	0.0034

Şekil 6.10: 7 cm yer örnekleme aralığında çekilen resimler için dış yöneltme parametreleri.

6.1.5 Yer kontrol noktaları

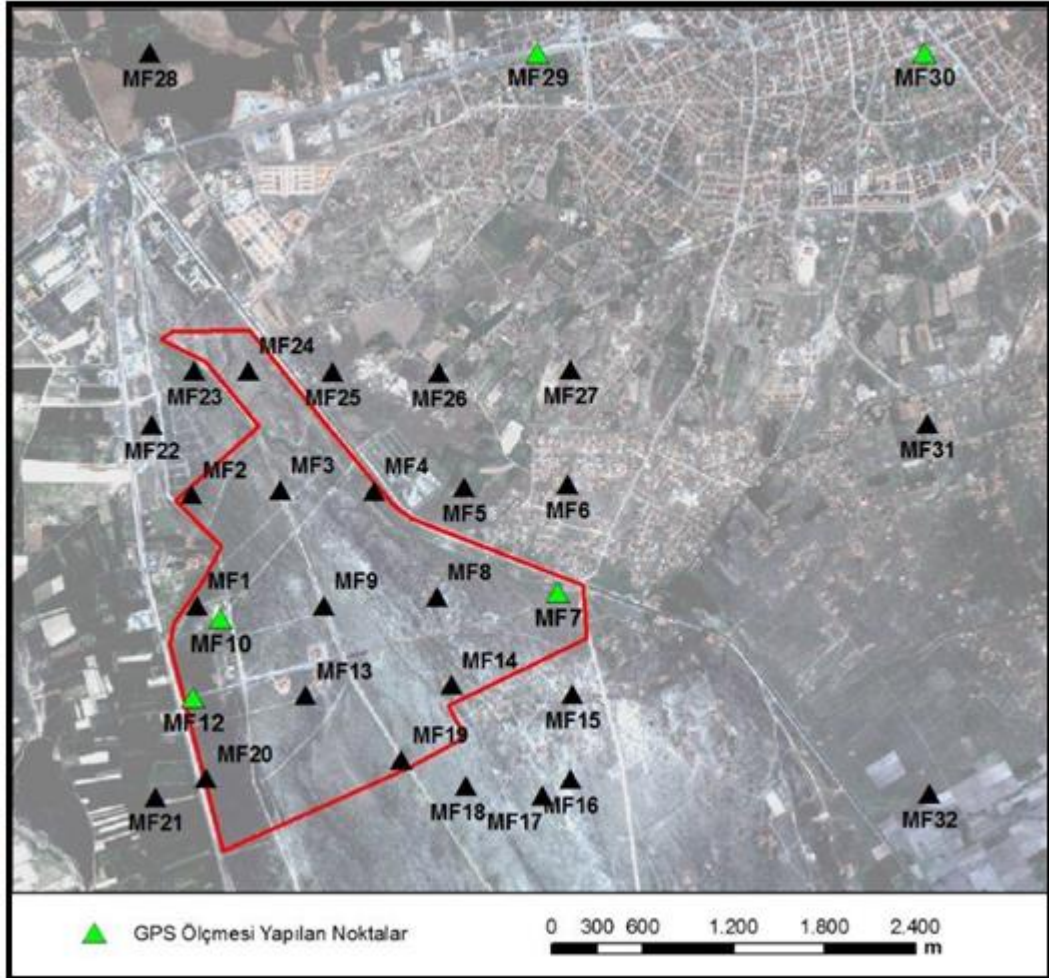
Yer kontrol noktaları, uçuş yapılacak çalışma bölgesinde havadan çekilecek dijital görüntülerden görünebilecek şekilde yere tesis edilen noktalardır. Bu noktalar uçuş öncesi tesis edilir ve gerçek koordinatları hassas GNSS alıcıları ile veya yersel ölçülerle ölçülmek suretiyle belirlenmektedir.

Yer kontrol noktaları fotogrametri ve uzaktan algılamada görüntülerin rektifikasyonunda görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki

ilişkiyi kurduğundan dolayı yer kontrol noktalarının doğruluğu ve dağılımı ortofotonun konum doğruluğunu doğrudan etkilemektedir.

Kontrol noktaları, hava görüntüleri çekilmeden önce araziye tesis edilmektedir. Hava görüntülerinin çekiminde dijital hava kamerası kullanılması durumunda GPS (Global Positioning System) ve IMU (Inertial Measurement Unit) birlikte kullanılır ve rektifikasyon işleminde gerekli olan dış yöneltme parametreleri bu şekilde doğrudan elde edilebilmektedir. Yine de, sistematik GPS hatalarının giderilebilmesi için yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Topan vd. 2007, Yastıklı 2005).

Yapılan çalışmada 32 adet yer kontrol noktası çalışma bölgesine tesis edilmiş ve koordinatlarının belirlenmesi amacıyla kinematik GNSS ölçmeleri sırasında sabit alınan referans noktalarında dört adet Topcon GR3 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Gezici kinematik ölçmeleri ise hava görüntülerinin alındığı hava aracında bulunan Novatell marka OEM V2 model GNSS alıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol noktalarının çalışma bölgesine dağılımı Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11: Yer kontrol noktalarının çalışma bölgesindeki dağılımı.

6.1.6 Erdas LPS yazılımı

Erdas LPS yazılımı, genellikle görüntü işleme ve analizi için kullanılan raster tabanlı bir görüntü işleme sistemidir. Yazılımda 50 milyon piksele kadar olan görüntüler sıkıştırılabilirler. Yazılım, farklı fotogrametrik uygulamalar için Imagine Radar Mapping Suite, Imagine Radar Interpreter, Imagine OrthoRadar, Imagine Stereo SAR DEM, Imagine IFSAR DEM, Imagine OrthoBASE, Imagine OrthoMAX, Imagine VirtualGIS, Imagine Vector, Imagine NITF, Imagine Developer Toolkit, Imagine Subpixel Classifier, ERDAS Map Sheet, ERDAS Stereo Analyst gibi farklı modüllere sahiptir ve tek çalışma alanında eş zamanlı birçok işlem yürütülerek işler daha hızlı bir şekilde tamamlanabilmektedir (Şahin, 2013).

Erdas LPS yazılında ortofotolar “LPS (Leica Photogrammetry Suite)” modülünde, ortofoto mozaikler ise “MosaicPro” modülü kullanılarak üretilmektedir.

6.2. Yöntem

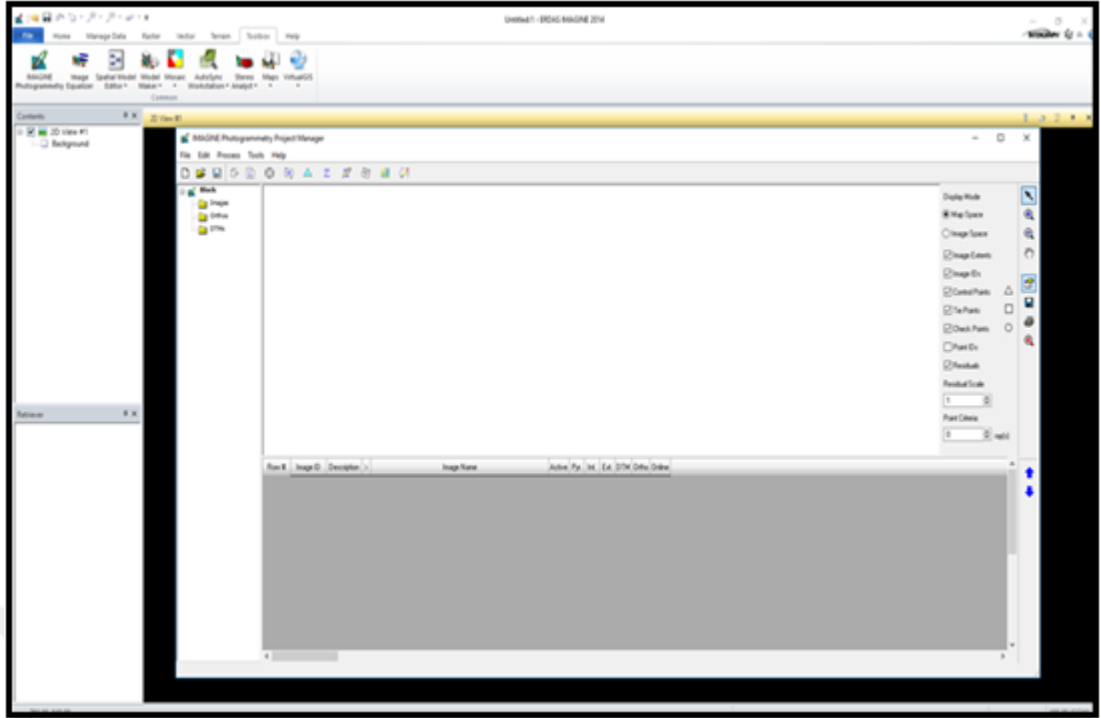
Yapılan çalışmada Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesinin 2011 yılında çekilmiş olan dijital hava görüntüleri kullanılmıştır ve buna ait uçuş parametreleri Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Çalışma bölgesine ait uçuş parametreleri.

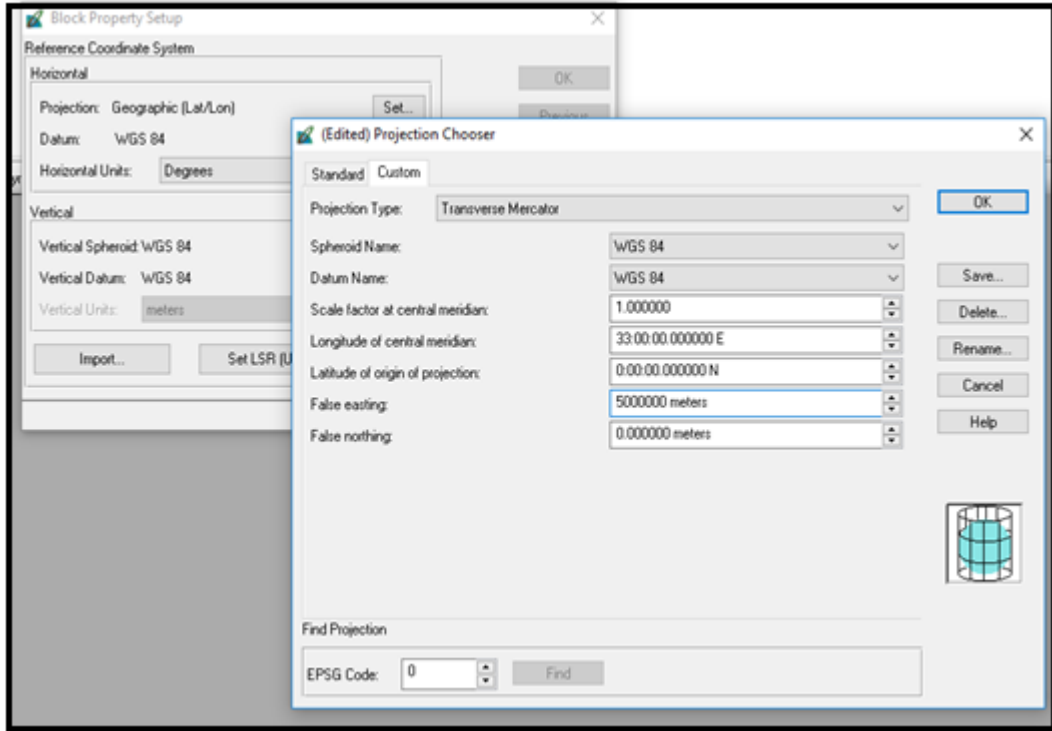
	7 cm YÖA	15 cm YÖA	25 cm YÖA
Sayısal Kamera	Z/I DMC 01-0057	Z/I DMC 01-0057	Z/I DMC 01-0057
Kamera Odak Uzaklığı	120 mm	120mm	120mm
Görüntü Çerçeve Boyutları (Piksel)	13824 × 7680	13824 × 7680	13824 × 7680
Piksel Büyüklüğü	12 µm	12 µm	12 µm
Boyuna/Enine Örtü Oranları	%70 / %30	%70 / %30	%70 / %30
Kolon Sayısı	8	4	4
Sayısal Hava Görüntüsü Sayısı	106	38	40
Yer Kontrol Noktası Sayısı	32	32	32
Denetleme (Check) Noktası Sayısı	24	24	24
Uçuş Yüksekliği	700 m	1500 m	2500 m
Yaklaşık Görüntü Ölçeği	1/5833	1/12500	1/21667
GNSS Sistemi	Novatell	Novatell	Novatell

Yapılan çalışmada öncelikle 2011 yılına ait 7cm, 15cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş dijital hava görüntüleri kullanılarak “Erdas LPS (2013)” yazılımında üç ayrı ortofoto mozaik üretimi amaçlanmıştır.

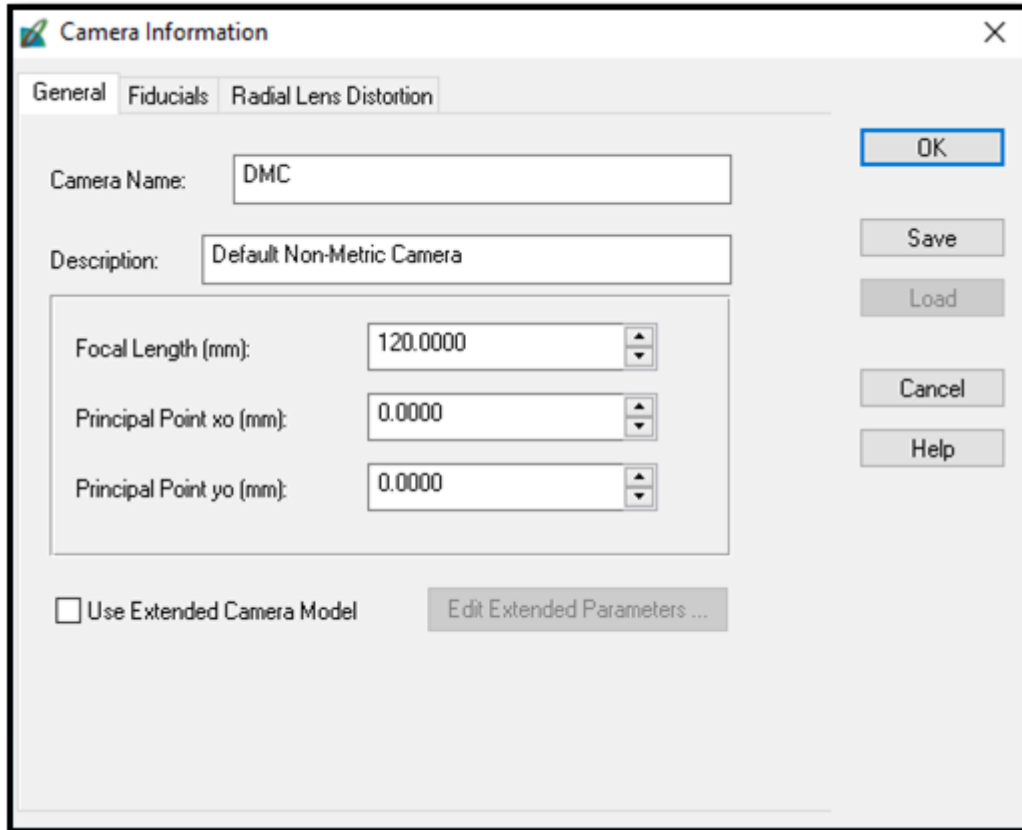
Öncelikle yazılımda “Imagine Photogrammetry” penceresi açılarak yeni bir blok oluşturulur. Şekil 6.12’ de görüldüğü gibi “Erdas LPS” yazılımında işlemler “Imagine Photogrammetry” penceresinde yapılmaktadır.



Şekil 6.12: Erdas LPS yazılımında imajine photogrammetry penceresinin görünümü. Daha sonra yazılımda referans koordinat sistemi tanımlanmaktadır. Burada, projeksiyon türü, datum ismi, ölçek faktörü gibi değerler yazıldıktan sonra (Şekil 6.13) çalışmada kullanılan dijital hava kamerasına ait odak uzaklığı ve asal noktanın konumu parametreleri kamera kalibrasyon raporundan alınarak Şekil 6.14’de görüldüğü gibi yazılıma tanıtılmaktadır.



Şekil 6.13: Başlangıçta referans koordinat sisteminin yazılıma tanıtılması.



Şekil 6.14: Kullanılan dijital hava kamerasının özelliklerinin yazılıma tanıtılması.

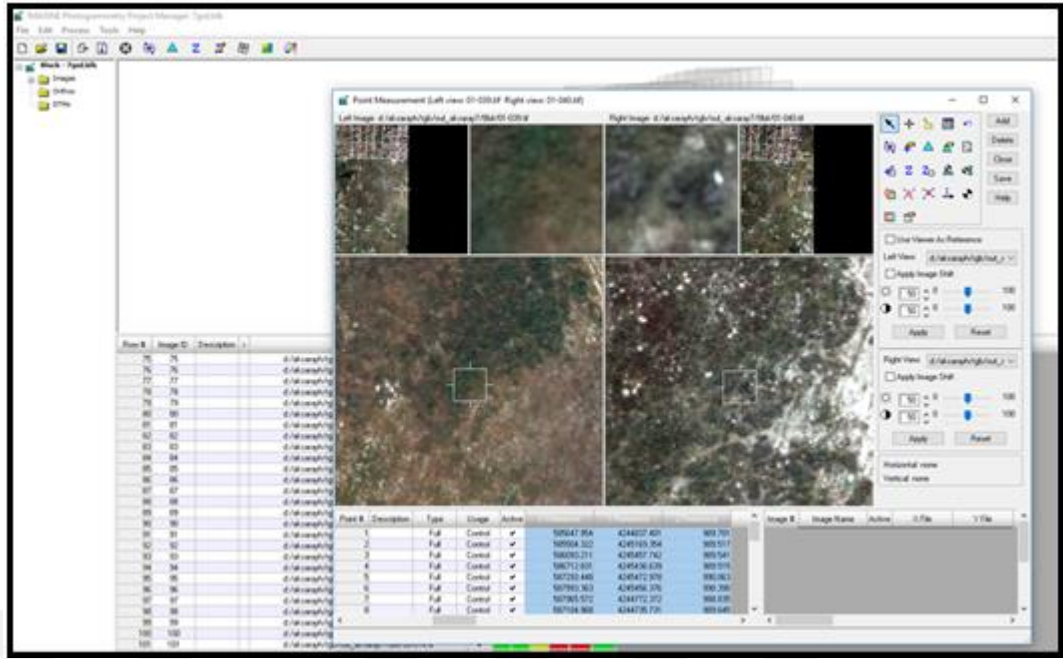
Gerekli parametreler yazılımda tanımlandıktan sonra dijital hava görüntüleri eklenir ve görüntü piramiti sütunu (pyr.) yeşil olmaktadır. Daha sonra kamera kalibrasyon raporundan alınan piksel büyüklüğü değerleri de yazılıma eklenerek iç yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Böylece iç yönlendirme (interior) sütunu da yeşil olmaktadır.

İç yönlendirme işlemi gerçekleştirildikten sonra dış yönlendirme işlemi yapılmaktadır. Bu aşamada altı adet dış yönlendirme parametresi olan izdüşüm merkezinin konumu (X_0 , Y_0 , Z_0) ve üç dönüklük açısı (omega ω , phi ϕ ve kappa κ) değerleride yazılıma kaydedilir. Dış yönlendirme parametreleri tanımlandıktan sonra Şekil 6.15’ de görüldüğü gibi çekilen resimler ekrana gri renkte gelmektedir.



Şekil 6.15: Hava görüntülerinin ekranda gri olarak görünümü.

Aynı şekilde araziye tesis edilen yer kontrol noktalarının koordinat değerleri de yazılıma kaydedilir (Şekil 6.16) ve daha sonra bağlama noktaları (tie point) üretilmektedir.



Şekil 6.16: Yer kontrol noktaları koordinatlarının yazılıma kaydedilmesi.

Yer kontrol noktalarının koordinatları kaydedildikten sonra resimler üzerinde nokta dağılımları Şekil 6.17’ deki gibi görülmektedir.



Şekil 6.17: Yer kontrol noktalarının resimler üzerindeki dağılımı.

Daha sonra tüm yer kontrol noktaları Şekil 6.18’ de görüldüğü gibi her noktanın içinde bulunduğu dijital görüntüler tek tek açılarak resimler üzerinde hassas bir şekilde işaretlenmektedir.

devam edilmektedir. Bu işlemler de gerçekleştirildikten sonra yazılımda sayısal arazi modeli (DTM), ve ortofoto (ortho) sütunları da yeşil olmakta ve işlemlerin tamamlandığını göstermektedir.

Üç farklı yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak, bu işlemler sırayla yapıldı ve her biri için ortofoto mozaik görüntü elde edildi.

7cm yer örnekleme aralığında çekilen 106 adet dijital hava görüntüsü kullanılarak yapılan çalışmadan elde edilen dengeleme raporu (1) Şekil 6.20' de, dengeleme raporu (2) Şekil 6.21'de, üretilen sayısal arazi modeli Şekil 6.22'de, üretilen 106 adet ortofoto Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de ve üretilen ortofoto mozaik görüntü ise Şekil 6.25'de gösterilmiştir.

```
THE OUTPUT OF BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT WITH ROBUST BLUNDER CHECKING

the no. of iteration =1      the standard error =159.7020
the maximal correction of the object points = 454.07355

the no. of iteration =2      the standard error =184.6132
the maximal correction of the object points = 59.26495

the no. of iteration =3      the standard error =184.4513
the maximal correction of the object points = 182.25583

the no. of iteration =1      the standard error = 33.3601
the maximal correction of the object points = 335.34776

the no. of iteration =2      the standard error = 4.3462
the maximal correction of the object points = 871.21117

the no. of iteration =3      the standard error = 0.6909
the maximal correction of the object points = 815.11506

the no. of iteration =4      the standard error = 0.2899
the maximal correction of the object points = 32.15195

the no. of iteration =5      the standard error = 0.2213
the maximal correction of the object points = 10.16606

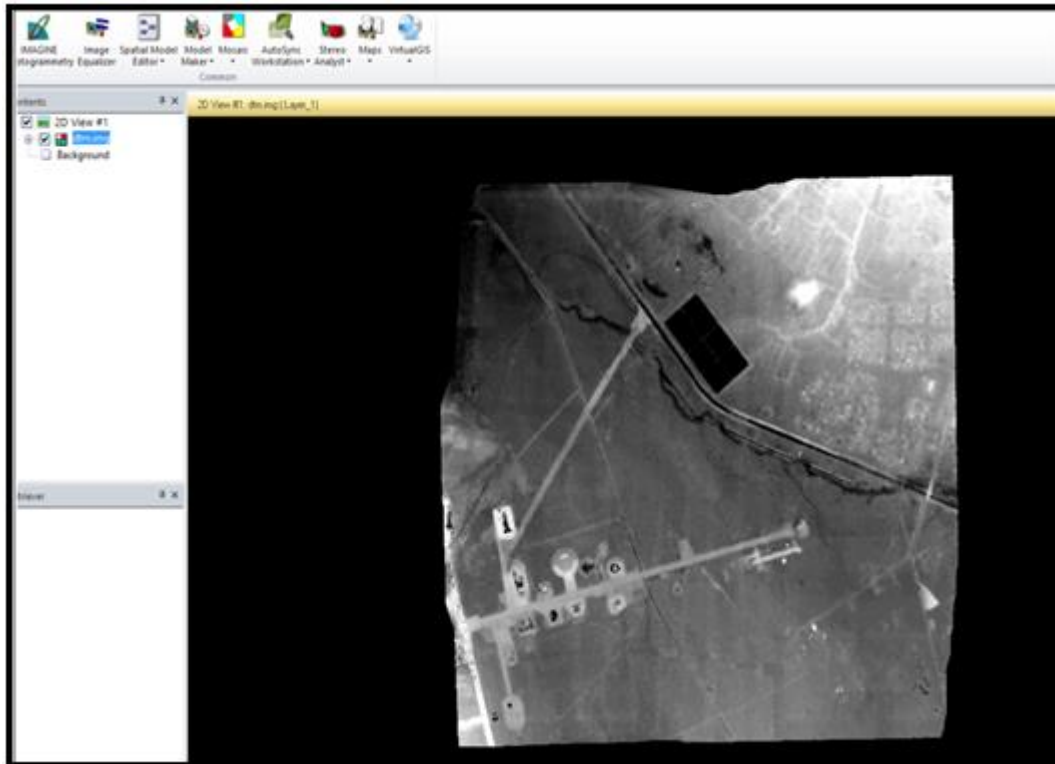
the no. of iteration =6      the standard error = 0.2074
the maximal correction of the object points = 8.09503

the no. of iteration =7      the standard error = 0.2044
the maximal correction of the object points = 1.23035
```

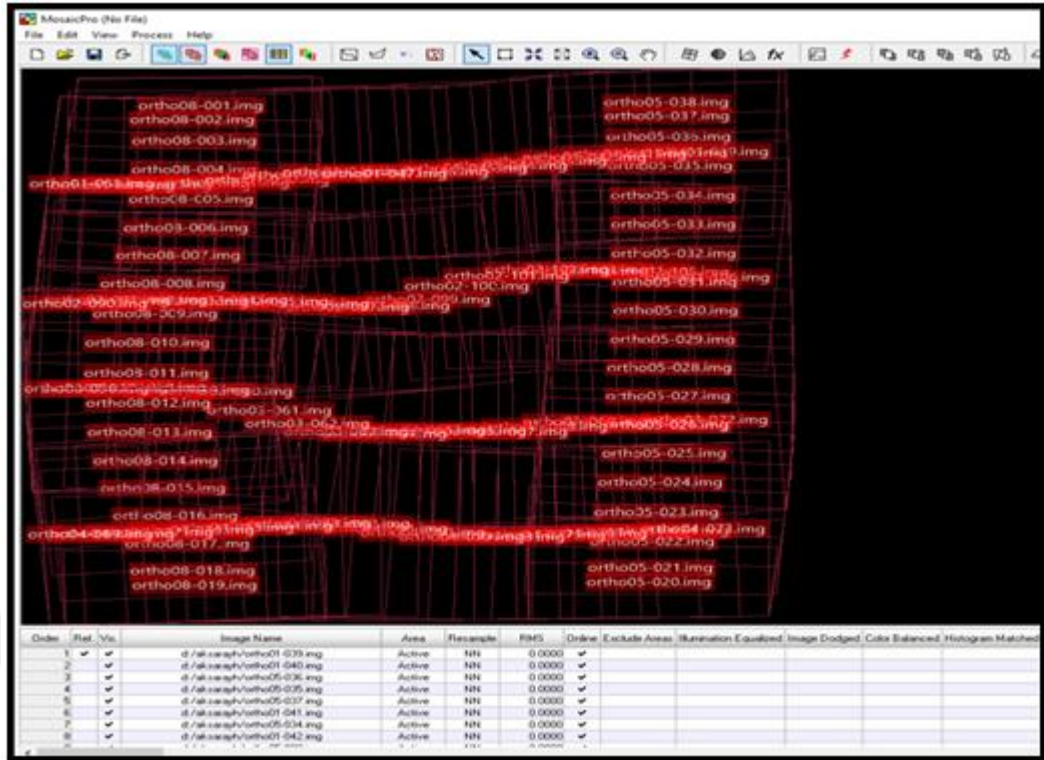
Şekil 6.20: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).

7cm report		Point	Image	Vx	Vy	
		1233	99	32.3591	0.0600	x wrong
		1233	98	16.5963	0.0344	x wrong
		1233	96	-15.8163	-0.0655	x wrong
		Point 1233 is excluded in the further adjustment!				
		Point	Image	Vx	Vy	
		1240	100	2.1869	0.0673	x wrong
		1240	98	-2.7700	-0.0191	x wrong
		1240	97	-5.2625	-0.0061	x wrong
		Point 1240 is excluded in the further adjustment!				
THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT						
the no. of iteration =1 the standard error = 0.2082						
the maximal correction of the object points = 0.34338						
the no. of iteration =2 the standard error = 0.2082						
the maximal correction of the object points = 0.00010						
The exterior orientation parameters						
image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
69	587904.8467	4243525.8164	1754.7668	-0.6877	1.9771	90.3922
106	585932.3045	4243495.5015	1754.8843	0.6771	-2.4534	-89.2716
70	587904.4668	4243685.3161	1754.7486	-0.7490	2.0966	89.9439
105	585930.1922	4243655.9595	1757.2180	0.6901	-1.9556	-87.9618
52	588057.9057	4243890.1112	1711.7721	0.1126	0.2273	-178.0664
53	587898.5873	4243884.4633	1719.0796	-0.2524	0.0161	-178.1677
71	587907.1154	4243846.9830	1752.6344	-0.6278	2.5465	88.8062
54	587737.3540	4243879.7095	1726.3643	-0.6999	0.1662	-178.2847
55	587575.7801	4243875.6969	1730.8219	-1.0078	0.6428	-178.8079
56	587415.8891	4243873.7365	1735.8001	-1.9698	1.1587	-179.3338
57	587254.3582	4243876.3627	1740.1482	-2.9891	1.4649	178.9916
58	587092.7757	4243882.7141	1742.4943	-3.2274	1.6462	177.8085
59	586930.1417	4243890.3086	1743.5789	-1.6212	1.3895	177.5226
60	586768.2784	4243895.0263	1742.0827	0.5281	0.8100	178.4540
61	586607.0428	4243895.1705	1738.8837	2.0769	0.3142	-179.8682
62	586444.4586	4243891.5835	1736.2456	2.3316	-0.1560	-178.4066

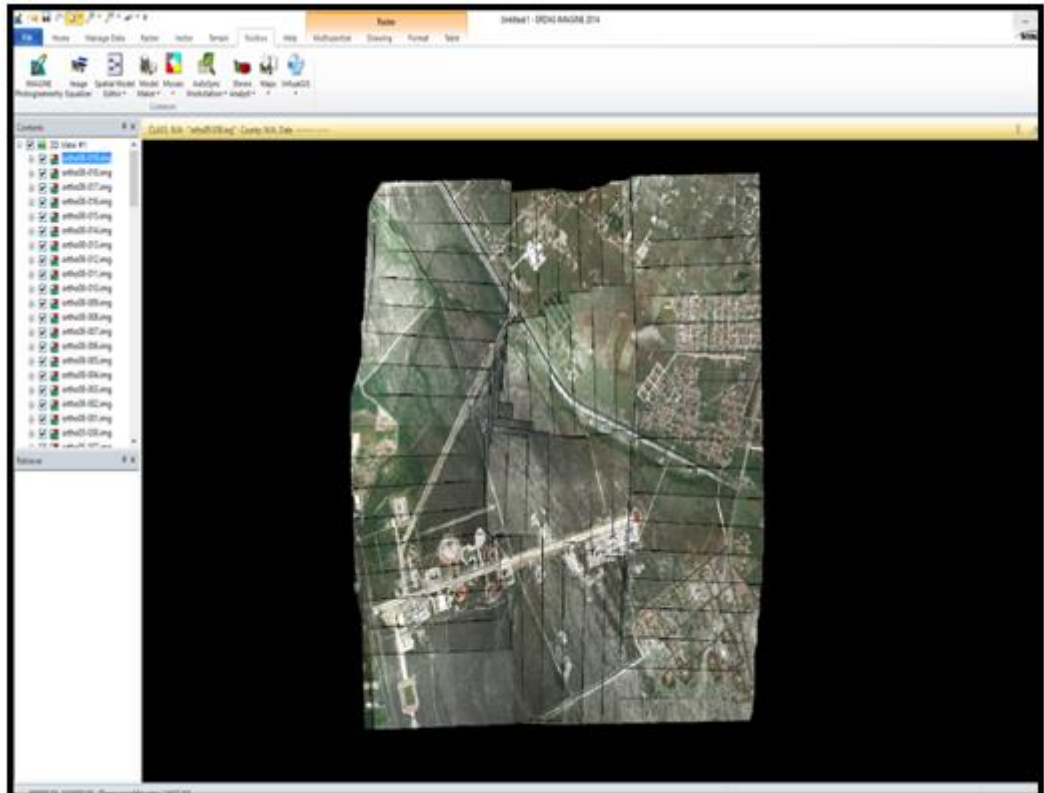
Şekil 6.21: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).



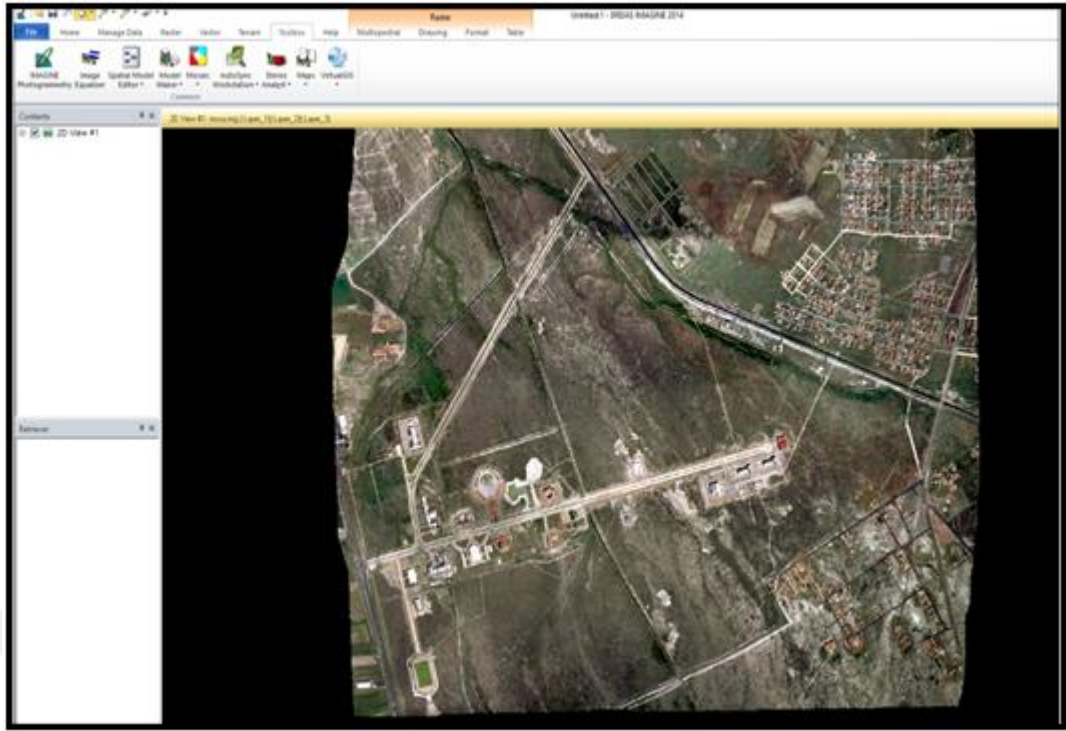
Şekil 6.22: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.



Şekil 6.23: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 106 adet ortofoto (1).



Şekil 6.24: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 106 adet ortofoto (2).



Şekil 6.25: 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.

15 cm yer örnekleme aralığında çekilen 38 adet dijital hava görüntüsü kullanılarak elde edilen dengeleme raporu (1) Şekil 6.26’da, dengeleme raporu (2) Şekil 6.27’de, üretilen sayısal arazi modeli Şekil 6.28’de gösterilmiştir. Ortofotoların üretiminde bilineer enterpolasyon yöntemi kullanılmış olup (Şekil 6.29), üretilen 38 adet ortofoto Şekil 6.30’ da ve ortofoto mozaik görüntü ise Şekil 6.31’de gösterilmiştir.

THE OUTPUT OF BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT WITH ROBUST BLUNDER CHECKING

```

the no. of iteration =1    the standard error = 16.6767
the maximal correction of the object points = 58.56410

the no. of iteration =2    the standard error = 16.6537
the maximal correction of the object points = 39.04218

the no. of iteration =1    the standard error = 0.7372
the maximal correction of the object points = 361.72829

the no. of iteration =2    the standard error = 0.1966
the maximal correction of the object points = 251.21114

the no. of iteration =3    the standard error = 0.1423
the maximal correction of the object points = 40.29858

the no. of iteration =4    the standard error = 0.1279
the maximal correction of the object points = 10.35208

the no. of iteration =5    the standard error = 0.1214
the maximal correction of the object points = 3.81215

the no. of iteration =6    the standard error = 0.1179
the maximal correction of the object points = 0.49234

the no. of iteration =7    the standard error = 0.1162
the maximal correction of the object points = 519.41319

```

Şekil 6.26: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).

```

Point Image Vx Vy
574 31 -0.0139 0.8773 y wrong

Point Image Vx Vy
585 31 -0.0162 -0.5799 y wrong

```

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

```

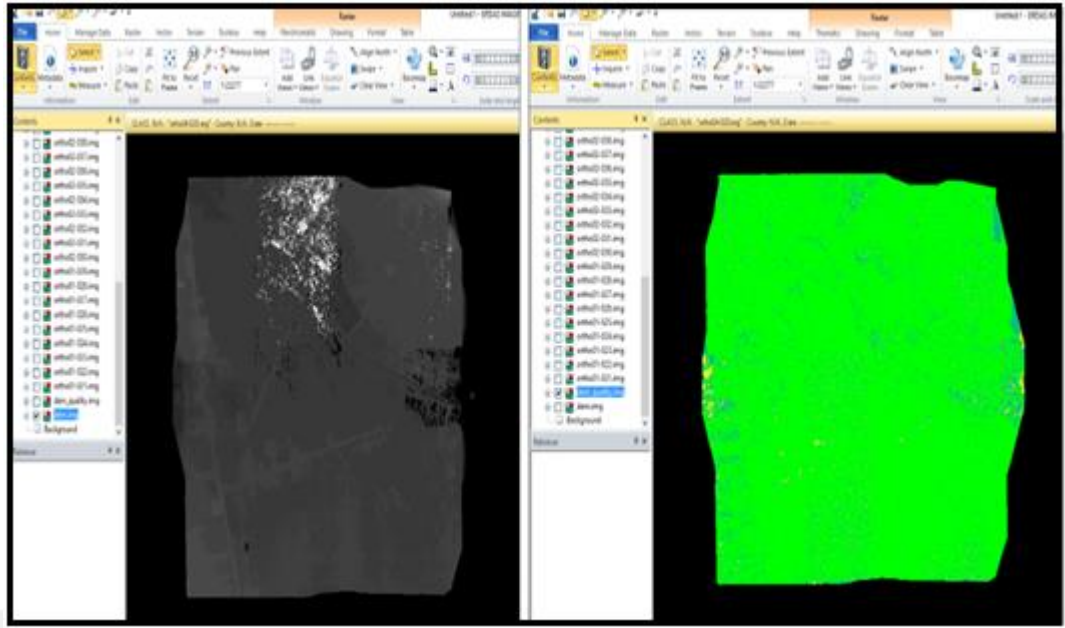
the no. of iteration =1    the standard error = 0.1100
the maximal correction of the object points = 0.38850

the no. of iteration =2    the standard error = 0.1100
the maximal correction of the object points = 0.00010

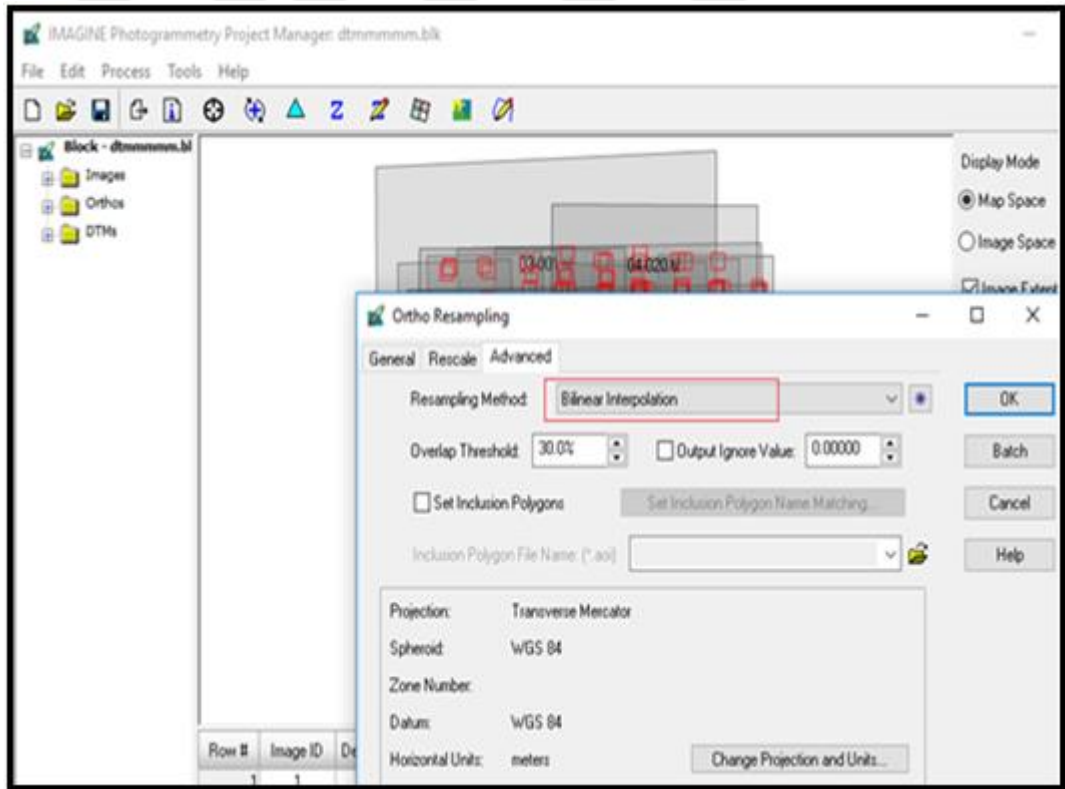
```

The exterior orientation parameters						
image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
29	587401.8733	4243413.9249	2585.3570	0.9865	-0.9786	91.0713
28	585981.4541	4243401.5376	2559.4794	-0.4728	-2.3994	-91.1789
30	587393.7224	4243760.8098	2588.1577	0.6516	-0.0083	91.1244
27	585983.2485	4243746.6985	2560.4701	-0.4430	-0.8385	-88.6682
18	588003.3466	4244109.0899	2561.6716	-0.4910	-0.5537	-1.9645
17	587660.6676	4244122.8210	2555.9819	0.6941	-0.4257	-2.1301

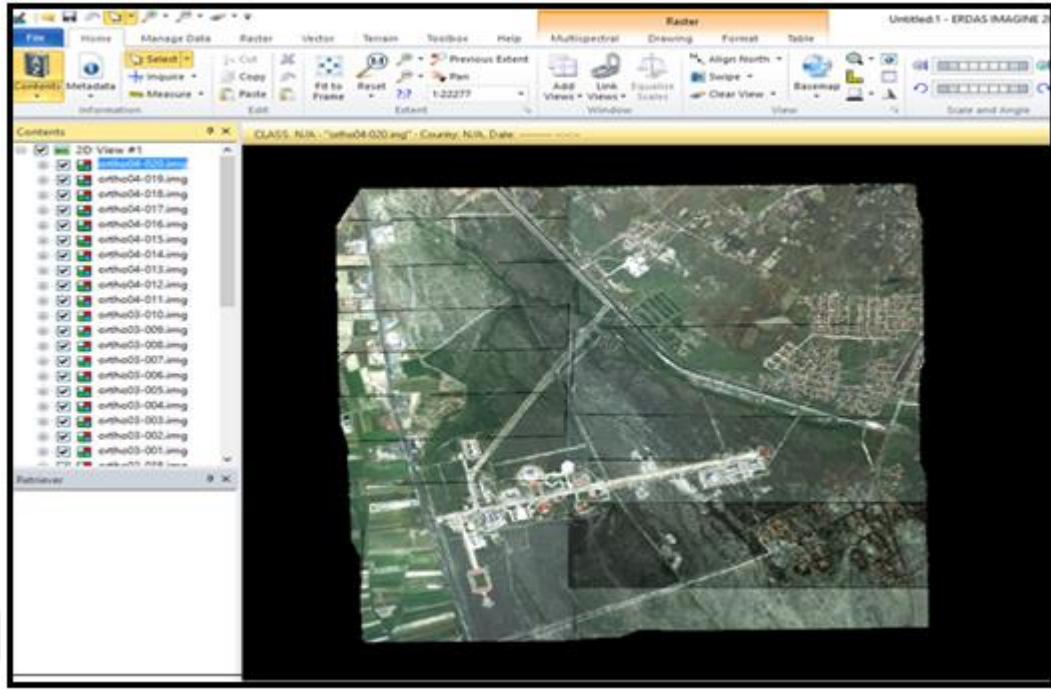
Şekil 6.27: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).



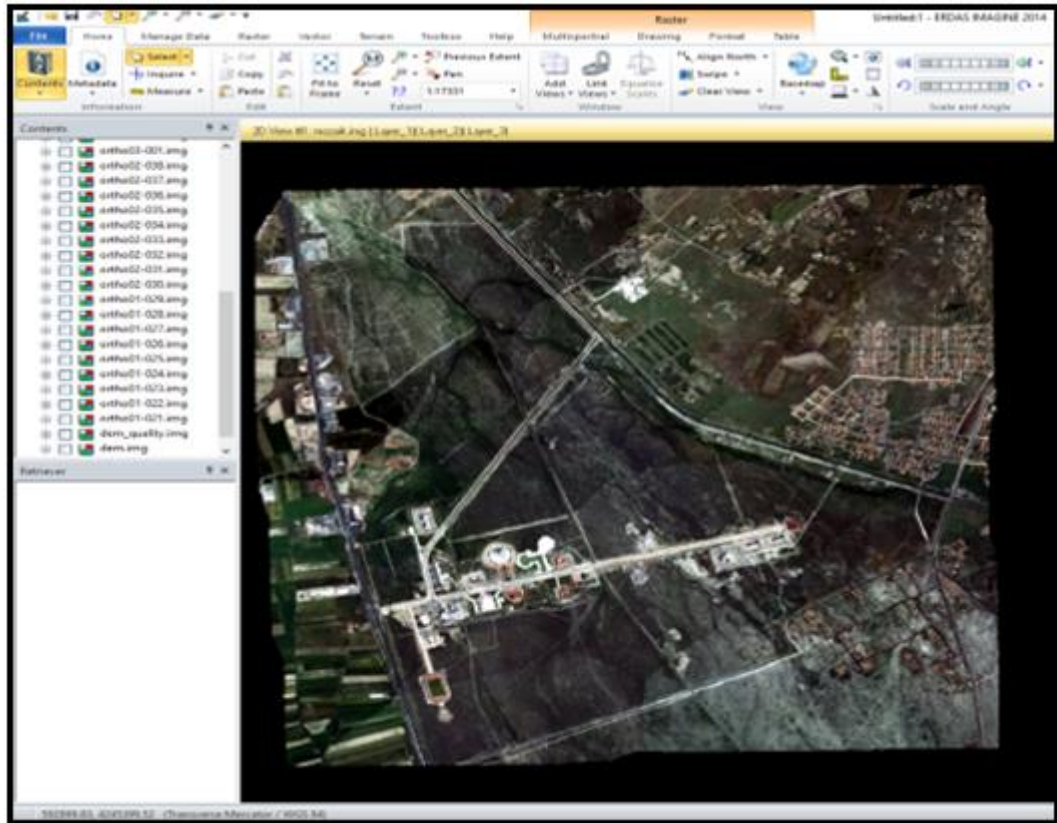
Şekil 6.28: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.



Şekil 6.29: Ortofotoların üretiminde kullanılan “bilineer enterpolasyon” yöntemi.



Şekil 6.30: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 38 adet ortofoto.



Şekil 6.31: 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.

25 cm yer örnekleme aralığında çekilen 40 adet dijital hava görüntüsü kullanılarak elde edilen dengeleme raporu (1) Şekil 6.32’de, dengeleme raporu (2) Şekil 6.33’de,

üretileen sayısal arazi modeli Şekil 6.34’de, üretileen 40 adet ortofoto Şekil 6.35 ve Şekil 6.36’da ve ortofoto mozaik görüntü ise Şekil 6.37’de gösterilmiştir. Üretileen her bir ortofoto mozaik görüntü (.img) uzantısı ile kaydedilmiştir.

```

THE OUTPUT OF BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT WITH ROBUST BLUNDER CHECKIN

the no. of iteration =1      the standard error = 1.1418
the maximal correction of the object points = 11.00360

the no. of iteration =2      the standard error = 1.1432
the maximal correction of the object points = 0.02582

the no. of iteration =1      the standard error = 0.3787
the maximal correction of the object points = 4.89602

the no. of iteration =2      the standard error = 0.2254
the maximal correction of the object points = 8.59833

the no. of iteration =3      the standard error = 0.1895
the maximal correction of the object points = 2.71192

the no. of iteration =4      the standard error = 0.1734
the maximal correction of the object points = 0.27890

the no. of iteration =5      the standard error = 0.1628
the maximal correction of the object points = 0.33038

the no. of iteration =6      the standard error = 0.1556
the maximal correction of the object points = 0.45863

the no. of iteration =7      the standard error = 0.1499
the maximal correction of the object points = 0.40949

the no. of iteration =8      the standard error = 0.1453
the maximal correction of the object points = 3.15771

the no. of iteration =9      the standard error = 0.1420
the maximal correction of the object points = 0.81043

the no. of iteration =10     the standard error = 0.1402
the maximal correction of the object points = 0.11003

The residuals of blunder points
Point  Image  Vx  Vy  x wrong  y wrong
2      10     0.6724  1.3500  x wrong  y wrong
2      13     0.2172 -0.7933  y wrong

```

Şekil 6.32: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (1).

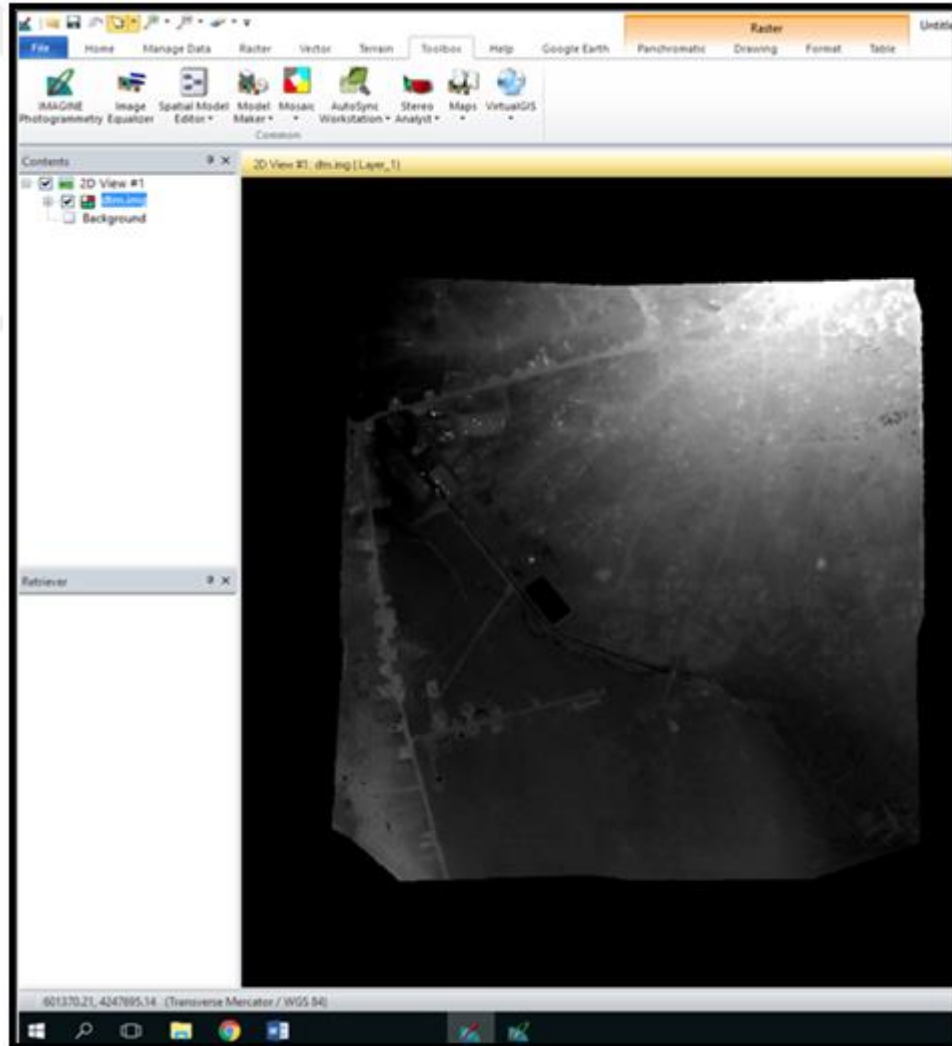
THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0.1311
the maximal correction of the object points = 0.01914

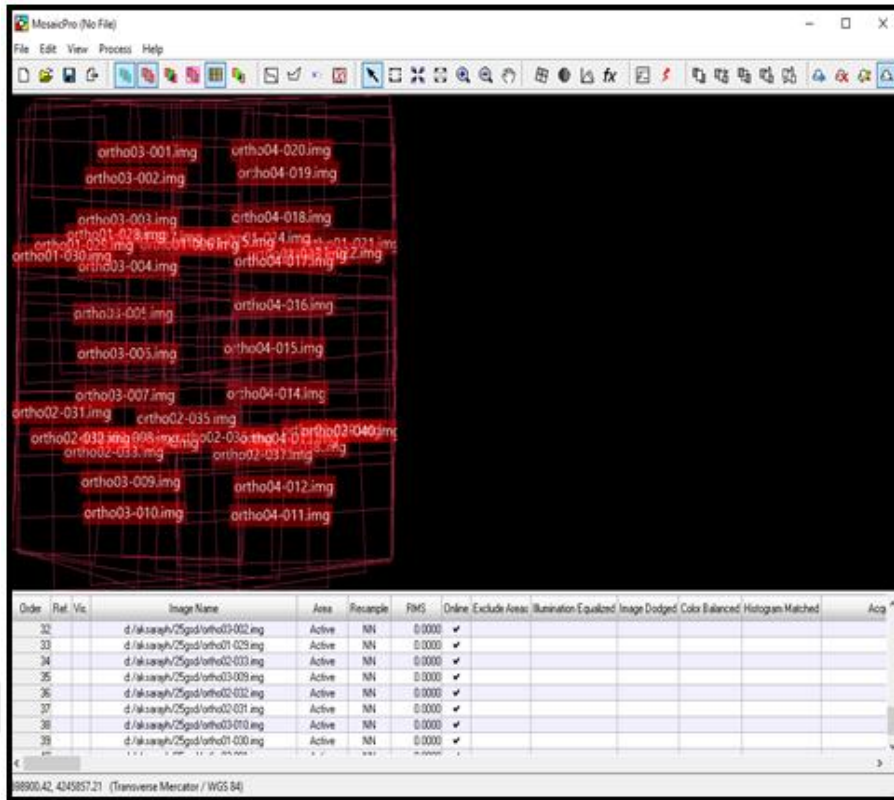
the no. of iteration =2 the standard error = 0.1311
the maximal correction of the object points = 0.00000

The exterior orientation parameters						
image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
1	590514.4028	4247089.9313	3638.6598	0.6364	0.1411	-179.1473
2	589914.3978	4247086.9980	3636.6795	-1.2321	0.1002	179.5139
3	589314.7665	4247108.5168	3637.2047	-1.5980	0.2810	177.1657
4	588715.4679	4247130.3494	3640.9814	1.1049	0.2485	178.6875
5	588115.5414	4247128.1213	3643.5247	0.3371	0.1360	-179.7933
6	587516.8527	4247133.5678	3642.4407	-0.2975	-0.2337	179.3098

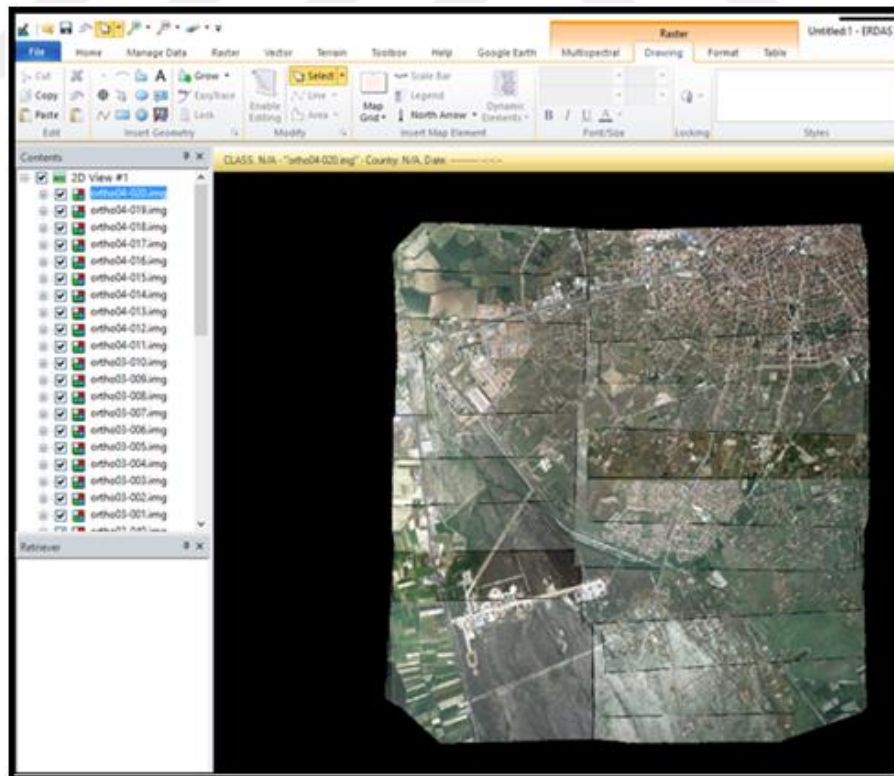
Şekil 6.33: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak yapılan dengeleme işleminin raporu (2).



Şekil 6.34: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modeli.



Şekil 6.35: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 40 adet ortofoto (1).



Şekil 6.36: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen 40 adet ortofoto (2).



Şekil 6.37: 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen ortofoto mozaik görüntü.

Üç farklı yer örnekleme aralığındaki dijital hava görüntülerinden ortofotomozaik görüntüler üretildikten sonra araziye çıkılarak kampüs bölgesine dağılmış belirgin 30 adet detay noktasının koordinatları GNSS ile ölçülerek koordinatları Şekil 6.38’ deki gibi kaydedilmiştir.

NOKTA NO	Y	X
1	587435.62	4244583.21
2	587446.71	4244538.07
3	587453.84	4244529.36
4	587485.68	4244537.21
5	586483.91	4244276.08
6	586492.34	4244243.59
7	586474.48	4244238.89
8	586466.11	4244271.38
9	586455.66	4244230.83
10	586436.31	4244225.80
11	586426.31	4244264.54
12	586445.61	4244269.46
13	585937.42	4244106.20
14	585953.90	4244045.10
15	586000.84	4244057.69
16	585871.08	4244130.22
17	585939.39	4244148.02
18	585959.86	4244153.48
19	586028.83	4244171.29
20	586032.05	4244117.26
21	586039.96	4244083.82
22	586061.75	4244141.84
23	586065.89	4244127.43
24	586014.06	4244053.64
25	585896.31	4244111.97
26	585983.11	4244159.10
27	585700.07	4244645.59
28	585646.72	4244669.86
29	585662.51	4244524.76
30	587397.45	4244522.77

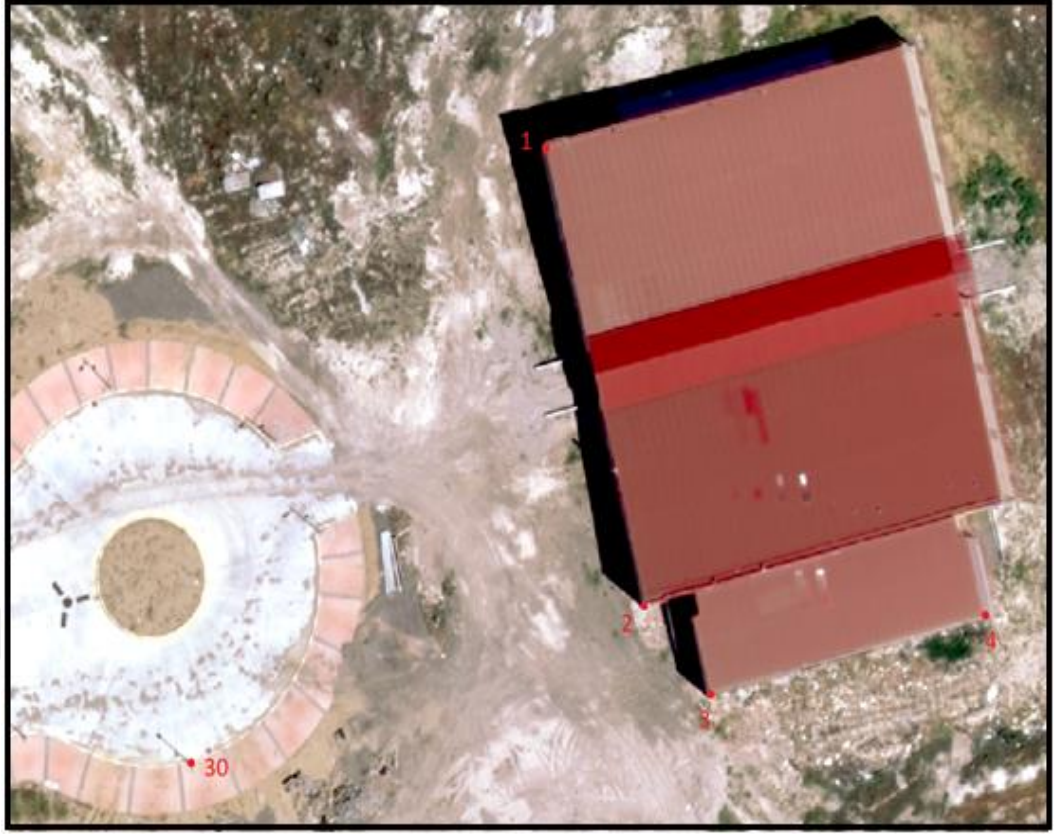
Şekil 6.38: Çalışma bölgesinde belirlenen 30 adet detay noktasının GPS ile ölçülen koordinatları.

Detay noktaların kampüs bölgesine genel dağılımı Şekil 6.39’ da A, B, C ve D bölgelerine ayrılarak gösterilmektedir.



Şekil 6.39: Detay noktalarının kampüs bölgesi geneline dağılımı.

A bölgesine içerisine giren 1,2,3,4 ve 30 numaralı detay noktaları Şekil 6.40’ da gösterilmiştir.



Şekil 6.40: A bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.

B bölgesi içerisine giren 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı detay noktaları Şekil 6.41’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.41: B bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.

C bölgesi içerisine giren 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 ve 26 numaralı detay noktalarının dağılımı Şekil 6.42’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.42: C bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.

D bölgesi içerisine giren 27, 28 ve 29 numaralı detay noktalarının dağılımı Şekil 6.43’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.43: D bölgesi içerisinde seçilen detay noktaları.

30 adet detay noktasının koordinatları arazide GPS ile ölçüldükten sonra her bir ortofoto mozaik üzerinden okunan koordinatları ile karşılaştırılmış ve konum doğrulukları hesaplanmıştır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Arslanbek (2009), “ Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması” isimli çalışmasında 43 cm yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntülerini kullanarak 2, 5 ve 10 m aralıklarla sayısal yükseklik modelleri üretmiş ve doğruluğunu test etmiştir. Sonuçta sayısal yükseklik modellerinin karesel ortalama hatalarını 0.3m-0.5m civarında bulmuştur. Ortofotoların doğruluğunu ise 0.25m-0.60m bulmuştur. Bu değerler sayısal yükseklik modelleri için 0.7 piksel- 1.16 piksele, ortofotoların doğruluğu ise 0.6 piksel-1.4 piksele karşılık gelmektedir.

Daramola vd., (2017), “Assessing the geometric accuracy of UAV-based orthophotos” isimli çalışmalarında insansız hava aracı ile elde edilen dijital hava görüntülerinin geometrik doğruluğunu test etmişler, 3.2 cm yer örnekleme aralığında çalışma bölgesinin hava fotoğraflarını çekerek ArcMap yazılımında sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretimini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra seçilen 10 adet denetleme noktasının karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta yatay doğruluk 3.207 m, düşey doğruluk ise 0.884 m olarak bulunmuştur. Yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları da ayrıca hesaplanmış ve yatay doğruluk 0.292 m, düşey doğruluk ise 0.231 m olarak bulunmuştur. Bulunan değerler denetleme noktaları için yatayda 100.2 piksel, düşeyde ise 27.6 pikseldir. Yer kontrol noktaları için ise yatayda 9.1 piksel, düşeyde ise 7.2 pikseldir.

Jacobsen (2011), “Geometric property of large format digital camera DMC II 140” isimli çalışmasında DMC II 140 dijital hava kamerasının doğruluğunu analiz etmek için 71 adet kontrol noktasıyla 5.7 cm, 9.5 cm ve 20.2 cm olmak üzere üç farklı yer örnekleme aralığında test uçuşları gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak karesel ortalama hata değeri 5.7 cm GSD blok için 0.14 μ m (0.020 piksel), 9.5 cm GSD blok için 0.17 μ m (0.024 piksel) ve 20.2 cm GSD blok için 0.25 μ m (0.035 piksel) olarak bulunmuştur.

Karasaka vd., (2017), “Geometric analysis of digital aerial images” isimli çalışmalarında DMC-II 250-d ve Vexcel Ultracam X dijital hava kameralarının geometrik doğruluklarını araştırmak amacıyla 10 cm ve 30 cm yer örnekleme aralıklarında uçuş gerçekleştirmişler ve görüntülerin değerlendirilmesinde “Match-At” yazılımını kullanmışlardır. 30 cm yer örnekleme aralığındaki hava görüntüleri Vexcel Ultracam X dijital hava kamerası ile, 10 cm yer örnekleme aralığındaki hava görüntüleri ise DMC-II dijital hava kamerası ile çekilmiştir. Her blokta yer kontrol noktaları ve denetleme noktaları için dengeleme işlemi sonucunda karesel ortalama hataları hesaplanmış ve 30 cm yer örnekleme aralığındaki blok için yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları yatayda ve düşey yönde 1.0 pikselin altında, denetleme noktalarının ise karesel ortalama hataları yatayda 1.0 pikselin altında, düşey yönde ise 1.2 pikselin altında bulunmuştur. 10 cm GSD için ise yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatası yatayda ve düşeyde 1.0 pikselin altında, denetleme noktalarının karesel ortalama hataları ise yatayda ve düşeyde yine 1.0 pikselin altında bulunmuştur.

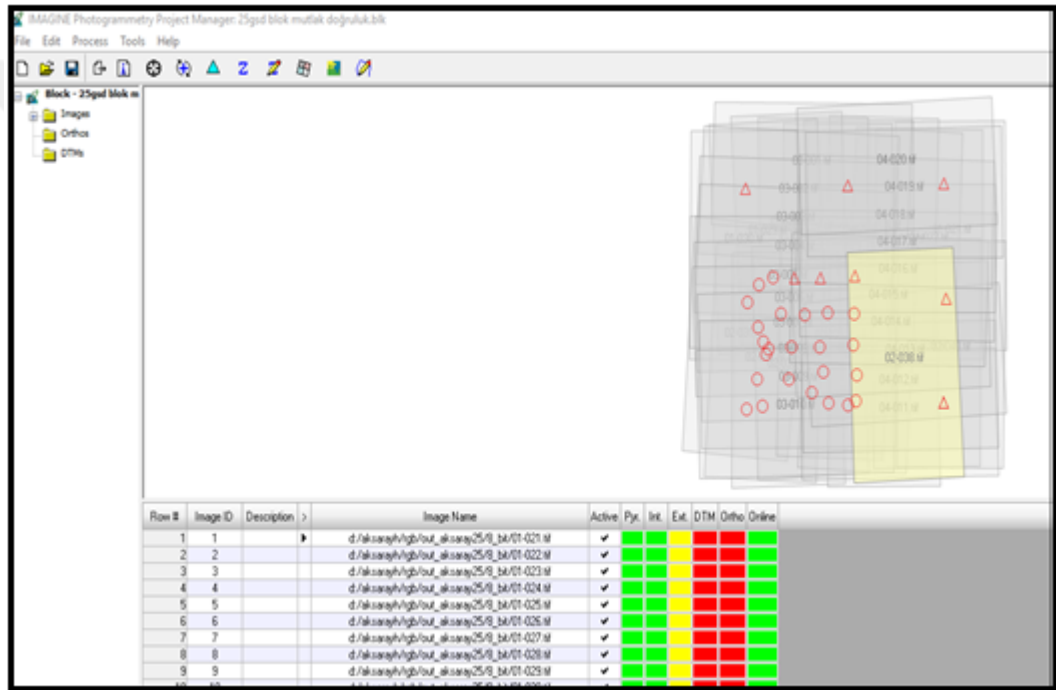
Madani vd.,(2004), “DMC practical experience and accuracy assessment” isimli çalışmasında DMC hava kamerasının geometrik doğruluğunu araştırmıştır. Çalışmada örnek olarak 1/13000 ölçeğinde ve 1500 m uçuş yüksekliğinde Z/I Imaging hava kamerası ile alınan hava görüntüleri verilmiştir. Bu durumda 12 µm piksel boyutu yaklaşık 13 cm yer örnekleme aralığına karşılık gelmektedir. Denetleme noktalarının doğruluğu yaklaşık olarak yatayda 0.065 m, düşeyde ise 0.010 metredir yani yatayda 0.5 piksel, düşeyde ise 0.08 piksel olarak bulunmuştur.

Spreckels vd.,(2005), “Photogrammetric stereoplottling capabilities of Vexcel UltraCamD digital aerial imagery” isimli çalışmasında Vexcel UltraCamD dijital hava kamerasının doğruluğunu test etmiş, 10 cm yer örnekleme aralığında doğu-batı uçuşları, 8 cm yer örnekleme aralığında ise çapraz uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra “Leica LPS” yazılımında blok dengeleme yapılmış ve yer kontrol noktaları için karesel ortalama hatalar x yönünde 2.15 cm, y yönünde ise 3.31 cm bulunmuştur. Bu sonuçlar x yönünde 0.2 piksel, y yönünde 0.3 piksele karşılık gelmektedir.

Tsarovski (2015), “Accuracy Evaluation and Quality Control of Digital Orthomaps-Sheets” isimli çalışmasında sayısal arazi modeli temel alınarak ortofotoların doğruluğu ve kalitesini araştırmıştır. Bu amaçla bloktaki her bir görüntü için görüntü koordinatları hesaplanmış ve 564 nokta için karesel ortalama hata değeri x yönünde

0.199 piksel, y yönünde ise 0.175 piksel olarak bulunmuştur. Projedeki tüm gözlemler için toplam karesel ortalama hata 0.20 piksel olarak bulunmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında öncelikle blok dengelemenin mutlak (dış) doğruluğunu test etmek için fotogrametrik bloklar içerisinde 32 adet yer kontrol noktası içinden model alanına giren 24 adeti denetleme noktası (check point) olarak seçildi ve 7cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntüleri kullanılarak üretilen her bir ortofoto mozaik için blok mutlak doğruluklarına bakıldı. Bir blokta kullanılan yer kontrol noktası sayısının en az %30' u kadar ve bu sayı hiçbir zaman 4' ten az olmayacak şekilde denetleme noktası tesis edilir (BÖHHBÜY, 2018). Denetleme noktalarının dağılımı Şekil 7.1' de görülmektedir.



Şekil 7.1: 24 adet denetleme noktası ve yer kontrol noktalarının dağılımı.

Öncelikle 7 cm yer örnekleme aralığı ile üretilen modelden ölçülen denetleme noktalarının koordinatları ile jeodezik yöntemle hesaplanan koordinatların karşılaştırması yapılmış ve blok mutlak doğruluk değerleri;

$\sigma_x = 4.52$ cm, $\sigma_y = 9.73$ cm ve $\sigma_z = 9.14$ cm olarak bulunmuştur.

Daha sonra 15 cm yer örnekleme aralığı ile üretilen modelden ölçülen denetleme noktalarının koordinatları ile jeodezik yöntemle hesaplanan koordinatların karşılaştırması yapılmış ve blok mutlak doğruluk değerleri;

$\sigma_x = 2.47$ cm, $\sigma_y = 7.25$ cm ve $\sigma_z = 8.79$ cm olarak bulunmuştur.

Bu işlemden sonra da 25 cm yer örnekleme aralığı ile üretilen modelden ölçülen denetleme noktalarının koordinatları ile jeodezik yöntemle hesaplanan koordinatların karşılaştırması yapılmış ve blok mutlak doğruluk değerleri;

$\sigma_x = 6.41$ cm, $\sigma_y = 9.08$ cm ve $\sigma_z = 9.06$ cm olarak bulunmuştur.

Bulunan değerler ASPRS tarafından verilen doğruluk kriterleri içerisinde kalmaktadır. Blok mutlak doğrulukları her üç model için hesaplandıktan sonra IMU hesabında her blok için ω , ϕ ve κ değerlerinin karesel ortama hataları hesaplanmıştır. Buna göre 7 cm yer örnekleme aralığındaki ortofoto için karesel ortalama hata değerleri;

$\sigma_\omega = 0^0.0544$, $\sigma_\phi = 0^0.0447$ ve $\sigma_\kappa = 0^0.0115$ olarak bulunmuştur.

Daha sonra IMU hesabında 15 cm yer örnekleme aralığındaki ortofoto için karesel ortalama hata değerleri hesaplanmış ve sonuçlar;

$\sigma_\omega = 0^0.0479$, $\sigma_\phi = 0^0.0523$ ve $\sigma_\kappa = 0^0.0128$ olarak bulunmuştur.

Daha sonra IMU hesabında 25 cm yer örnekleme aralığındaki ortofoto için karesel ortalama hata değerleri hesaplanmış ve sonuçlar;

$\sigma_\omega = 0^0.0004$, $\sigma_\phi = 0^0.0006$ ve $\sigma_\kappa = 0^0.0012$ olarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçlar büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında uluslararası standartlara göre fotogrametrik bloklar için fotogrametrik nirengi dengelemesi sırasında öncül (a-priori) standart sapmalar içinde doğrudan yer referanslandırma sisteminde IMU değerleri için tavsiye edilen olması gereken değerlere yakın ve altında bulunmuştur.

Çalışmada yapılan bir diğer adım ise; arazide GPS ile koordinatları okunan 30 adet detay noktasının koordinatları 7 cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilen resimler ile elde edilen ortofoto mozaikler üzerinden okunan koordinatları ile karşılaştırılarak her biri için (m_p) konum hatası hesabı yapılmıştır.

Karşılaştırma sonucu elde edilen “Y” ve “X” yönündeki gerçek hatalarla karesel ortalama hatalar;

$$u = Y_g - Y_k \quad v = X_g - X_k \quad (7.1)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[Vyy]}{n}} \quad m_x = \pm \sqrt{\frac{[Vxx]}{n}} \quad (7.2)$$

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[Vxx+Vyy]}{n}} \quad (7.3)$$

formüllerinden hesaplanmıştır.

Burada;

Y_k, X_k : Referans alınan klasik yöntemle belirlenmiş nokta koordinatları,

Y_g, X_g : Dijital ortofoto ile belirlenmiş nokta koordinatları,

m_x = “x” yönündeki karesel ortalama hata,

m_y = “y” yönündeki karesel ortalama hata,

m_p = Konum ortalama hatası ve

n = Nokta sayısını göstermektedir.

Yapılan hesaplamalarda 7 cm yer örnekleme aralığında oluşturulan ortofoto mozaik için konum hatası $m_p = 19.37$ cm olarak bulunmuştur.

15 cm yer örnekleme aralığında oluşturulan ortofoto mozaik için konum hatası $m_p = 19.43$ cm olarak bulunmuştur.

25 cm yer örnekleme aralığında oluşturulan ortofoto mozaik için konum hatası $m_p = 19.61$ cm olarak bulunmuştur.

Daha sonra arazide koordinatları ölçülen 30 adet belirgin detay noktasının koordinatları tek tek ortofotolar üzerinden ölçülmüş ve 7 cm yer örnekleme aralığı için konum hatası $m_p = 31.11$ cm, 15 cm yer örnekleme aralığı için konum hatası $m_p = 31.57$ cm ve 25 cm yer örnekleme aralığı için konum hatası $m_p = 31.86$ cm olarak bulunmuştur.

Bu işlemler yapıldıktan sonra Şekil 7.2’ de görüldüğü gibi arazide belirgin olmayan 30 adet detay noktası seçilmiş, bu noktaların arazi koordinatları GNSS ile ölçülmüş ve ortofoto mozaik üzerinden okunan koordinatları ile karşılaştırılarak her üç yer örnekleme aralığı için konum hataları hesaplanmıştır.

Bulunan sonuçlar 7 cm yer örnekleme aralığı için $m_p = 58.15$ cm, 15 cm yer örnekleme aralığı için $m_p = 58.48$ cm ve 25 cm yer örnekleme aralığı için $m_p = 58.93$ cm olarak bulunmuştur.



Şekil 7.2: Arazide koordinatları ölçülen belirgin olmayan 30 adet detay noktası.

Bu işlemler yapıldıktan sonra 7 cm, 15 cm ve 25 cm yer örnekleme aralığında çekilen dijital hava görüntüleri ile üretilen sayısal arazi modeli üzerinden denetleme noktaları (check point)'nın, yer kontrol noktalarının ve bağlama noktaları (tie point)'nın ayrı ayrı arazideki yükseklik (z) koordinatları ile sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatları ve bunlar arasındaki farklar alınarak karesel ortalama hata hesabı yapılmıştır.

Bulunan sonuçlar şu şekildedir;

7 cm yer örnekleme aralığı için denetleme noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 16.58$ cm,

7 cm yer örnekleme aralığı için yer kontrol noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 18.92$ cm,

7 cm yer örnekleme aralığı için bağlama noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 17.86$ cm,

15 cm yer örnekleme aralığı için denetleme noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 11.80$ cm,

15 cm yer örnekleme aralığı için yer kontrol noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 20.08$ cm,

15 cm yer örnekleme aralığı için bağlama noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 22.28$ cm,

25 cm yer örnekleme aralığı için denetleme noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 23.25$ cm,

25 cm yer örnekleme aralığı için yer kontrol noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 26.04$ cm,

25 cm yer örnekleme aralığı için bağlama noktalarının sayısal arazi modelinden alınan yükseklik koordinatı ile arazideki yükseklik koordinatı farkından hesaplanan karesel ortalama hatası: $\sigma_z = 45.67$ cm olarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçlar 7 cm yer örnekleme aralığı için izelge 7.1’de, 15 cm yer örnekleme aralığı için izelge 7.2’de, 25 cm yer örnekleme aralığı için izelge 7.3’de ve her üç yer örnekleme aralığı için toplu olarak izelge 7.4’de gösterilmektedir.



Çizelge 7.1: 7cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.

Yer Örnekleme Aralığı	7 cm	Önerilen Değerler
Blok Mutlak Doğruluğu (cm)	$\sigma_x = 4.52\text{cm}$ (0.6 piksel) $\sigma_y = 9.73$ (1.4 piksel) $\sigma_z = 9.14$ (1.3 piksel)	Sınıf-I hizmetler için; $0.01250 \times \text{harita ölçeği}$ ve 20 cm görüntü doğruluğu için; $KOH < 10 \text{ cm}$ olmalıdır.
IMU Hesabında Her Blok İçin ω , ϕ ve κ Değerlerinin karesel ortama hataları (derece)	$\sigma_\omega = 0^0.0544$ $\sigma_\phi = 0^0.0447$ $\sigma_\kappa = 0^0.0115$	Öncül (a-priori) Standart Sapmalar INS Değerleri İçin; $\sigma_{\omega, \phi, \kappa} = 0^0.010$
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 19.37$ (2.8 piksel)	20 cm' nin üzerinde doğruluğun yeterli olduğu çalışmalarda kullanılabilir.
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının tek tek ortofoto üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 31.11$ (4.4 piksel)	-
Konum Hatası (cm) (Belirgin olmayan detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 58.15$ (8.3 piksel)	-
Denetleme Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 16.58$ (2.4 piksel)	EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayınlanan sayısal arazi modelinde denetleme noktaları için doğruluk ; $\sigma_z = 0.53 \times YÖA$ 30.04.2018 BÖHHBÜY'ne göre; $\sigma_z = \pm 1 \times YÖA$
Yer Kontrol Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 18.92$ (2.7 piksel)	I. Sınıf çalışmalar için; $0.00625 \times \text{harita ölçeği}$ (<36 cm)
Bağlama Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 17.86$ (2.5 piksel)	-

Çizelge 7.2: 15cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.

Yer Örnekleme Aralığı	15 cm	Önerilen Değerler
Blok Mutlak Doğruluğu (cm)	$\sigma_x = 2.47$ (0.2 piksel) $\sigma_y = 7.25$ (0.5 piksel) $\sigma_z = 8.79$ (0.6 piksel)	Sınıf-I hizmetler için; $0.01250 \times \text{harita ölçeği}$ ve 20 cm görüntü doğruluğu için; $KOH < 10 \text{ cm}$ olmalıdır.
IMU Hesabında Her Blok İçin ω , ϕ ve κ Değerlerinin karesel ortama hataları (derece)	$\sigma_\omega = 0^0.0479$ $\sigma_\phi = 0^0.0523$ $\sigma_\kappa = 0^0.0128$	Öncül (a-priori) Standart Sapmalar INS Değerleri İçin; $\sigma_{\omega,\phi,\kappa} = 0^0.010$
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 19.43$ (1.3 piksel)	20 cm' nin üzerinde doğruluğun yeterli olduğu çalışmalarda kullanılabilir.
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının tek tek ortofoto üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 31.57$ (2.1 piksel)	-
Konum Hatası (cm) (Belirgin olmayan detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 58.48$ (3.9 piksel)	-
Denetleme Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 11.80$ (0.8 piksel)	EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayınlanan sayısal arazi modelinde denetleme noktaları için doğruluk ; $\sigma_z = 0.53 \times YÖA$ 30.04.2018 BÖHHBÜY'ne göre; $\sigma_z = \pm 1 \times YÖA$
Yer Kontrol Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 20.08$ (1.3 piksel)	I. Sınıf çalışmalar için; $0.00625 \times \text{harita ölçeği}$ (<78 cm)
Bağlama Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 22.28$ (1.5 piksel)	-

Çizelge 7.3: 25cm yer örnekleme aralığı için çalışmada bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.

Yer Örnekleme Aralığı	25 cm	Önerilen Değerler
Blok Mutlak Doğruluğu (cm)	$\sigma_x = 6.41$ (0.2 piksel) $\sigma_y = 9.08$ (0.4 piksel) $\sigma_z = 9.06$ (0.4 piksel)	Sınıf-I hizmetler için; $0.01250 \times \text{harita ölçeği}$ ve 20 cm görüntü doğruluğu için; $KOH < 10$ cm olmalıdır.
IMU Hesabında Her Blok İçin ω , ϕ ve κ Değerlerinin karesel ortama hataları (derece)	$\sigma_\omega = 0^0.0004$ $\sigma_\phi = 0^0.0006$ $\sigma_\kappa = 0^0.0012$	Öncül (a-priori) Standart Sapmalar INS Değerleri İçin; $\sigma_{\omega,\phi,\kappa} = 0^0.010$
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 19.61$ (0.8 piksel)	20 cm' nin üzerinde doğruluğun yeterli olduğu çalışmalarda kullanılabilir.
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının tek tek ortofoto üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 31.86$ (1.3 piksel)	-
Konum Hatası (cm) (Belirgin olmayan detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 58.93$ (2.3 piksel)	-
Denetleme Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 23.25$ (0.9 piksel)	EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayınlanan sayısal arazi modelinde denetleme noktaları için doğruluk ; $\sigma_z = 0.53 \times YÖA$ 30.04.2018 BÖHHBÜY'ne göre; $\sigma_z = \pm 1 \times YÖA$
Yer Kontrol Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 26.04$ (1.0 piksel)	I. Sınıf çalışmalar için; $0.00625 \times \text{harita ölçeği}$ (<135 cm)
Bağlama Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 45.67$ (1.8 piksel)	-

Çizelge 7.4: Her üç yer örnekleme aralığı için bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.

Yer Örnekleme Aralığı	7 cm	15 cm	25 cm	Önerilen Değerler
Blok Mutlak Doğruluğu (cm)	$\sigma_x = 4.52$ (0.6 piksel) $\sigma_y = 9.73$ (1.4 piksel) $\sigma_z = 9.14$ (1.3 piksel)	$\sigma_x = 2.47$ (0.2 piksel) $\sigma_y = 7.25$ (0.5 piksel) $\sigma_z = 8.79$ (0.6 piksel)	$\sigma_x = 6.41$ (0.2 piksel) $\sigma_y = 9.08$ (0.4 piksel) $\sigma_z = 9.06$ (0.4 piksel)	Sınıf-I hizmetler için; $0.01250 \times \text{harita ölçeği}$ ve 20 cm görüntü doğruluğu için; KOH< 10 cm olmalıdır.
IMU Hesabında Her Blok İçin ω , ϕ ve κ Değerlerinin karesel ortama hataları (derece)	$\sigma_\omega = 0^0.0544$ $\sigma_\phi = 0^0.0447$ $\sigma_\kappa = 0^0.0115$	$\sigma_\omega = 0^0.0479$ $\sigma_\phi = 0^0.0523$ $\sigma_\kappa = 0^0.0128$	$\sigma_\omega = 0^0.0004$ $\sigma_\phi = 0^0.0006$ $\sigma_\kappa = 0^0.0012$	Öncül (a-priori) Standart Sapmalar INS Değerleri İçin; $\sigma_{\omega,\phi,\kappa} = 0^0.010$
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 19.37$ (2.8 piksel)	$m_p = 19.43$ (1.3 piksel)	$m_p = 19.61$ (0.8 piksel)	20 cm' nin üzerinde doğruluğun yeterli olduğu çalışmalarda kullanılabilir.
Konum Hatası (cm) (Belirgin detay noktalarının tek tek ortofoto üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 31.11$ (4.4 piksel)	$m_p = 31.57$ (2.1 piksel)	$m_p = 31.86$ (1.3 piksel)	-

Çizelge 7.4 (devam): Her üç yer örnekleme aralığı için bulunan sonuçlar ve önerilen değerler.

Konum Hatası (cm) (Belirgin olmayan detay noktalarının ortofoto mozaik görüntü üzerinden okunan koordinatları için)	$m_p = 58.15$ (8.3 piksel)	$m_p = 58.48$ (3.9 piksel)	$m_p = 58.93$ (2.3 piksel)	-
Denetleme Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 16.58$ (2.4 piksel)	$\sigma_z = 11.80$ (0.8 piksel)	$\sigma_z = 23.25$ (0.9 piksel)	EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayınlanan sayısal arazi modelinde denetleme noktaları için doğruluk ; $\sigma_z = 0.53 \times Y\ddot{O}A$ 30.04.2018 BÖHHBÜY'ne göre; $\sigma_z = \pm 1 \times Y\ddot{O}A$
Yer Kontrol Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 18.92$ (2.7 piksel)	$\sigma_z = 20.08$ (1.3 piksel)	$\sigma_z = 26.04$ (1.0 piksel)	I. Sınıf çalışmalar için; $0.00625 \times \text{harita ölçeği}$ (<135 cm)
Bağlama Noktalarının Sayısal Arazi Modelinden Alınan Yükseklik Koordinatı ile Arazideki Yükseklik Koordinatı Farkından Hesaplanan Karesel Ortalama Hatası (cm)	$\sigma_z = 17.86$ (2.5 piksel)	$\sigma_z = 22.28$ (1.5 piksel)	$\sigma_z = 45.67$ (1.8 piksel)	-

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son zamanlarda teknolojideki ilerlemelerle birlikte güncel haritalara olan gereksinimin artması ile beraber hız ve maliyet göz önüne alındığında ortofotolara olan ihtiyaç ve talep de hızla artmaktadır.

Ortofotolar, hem araziye ait detay kaybına uğramaması, fotoğraf niteliği taşıması hem de rahatlıkla tüm meslek grupları tarafından okunup yorumlanabilmesinden dolayı oldukça tercih edilmektedir.

Ortofotolarda, merkezsel izdüşüme sahip hava görüntülerinin birleştirilerek harita gibi dik izdüşüm olan tek bir altlık şeklinde bütün bir görüntü haline getirilmesi ve bu görüntü üzerinden yeterli doğrulukta koordinat, mesafe, açı, alan gibi değerlerin okunabilmesi önemli avantajlardır.

Yapılan çalışmada üç farklı yer örnekleme aralığında çekilmiş dijital hava görüntüleri kullanılarak Aksaray Üniversitesi kampüs bölgesinin üç farklı ortofoto mozaik görüntüsü üretilmiş ve bu görüntülerin konum doğrulukları araştırılmış, bulunan sonuçlar BÖHHBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği) ve ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tarafından yürürlüğe konan yönergede tavsiye edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Buna göre; her bir ortofoto mozaik görüntüden elde edilen blok mutlak doğruluk değerlerinin, ayrıca yer kontrol noktalarının fotogrametrik nirengi ölçmeleri ve blok dengeleme sonunda elde edilen karesel ortalama hatalarının ve denetleme noktası kullanılarak yapılan blok dengeleme sonunda ise elde edilen karesel ortalama hataların ASPRS tarafından verilen doğruluk kriterlerinin altında kaldığı görülmüştür.

Yine IMU hesabında ω , ϕ ve κ değerleri için yapılan karesel ortalama hata hesabı sonucu bulunan değerlerin büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında uluslararası standartlara göre fotogrametrik bloklar için fotogrametrik nirengi dengelemesi sırasında öncül (a-priori) standart sapmalar içinde doğrudan yer referanslandırma sisteminde IMU değerleri için tavsiye edilen olması gereken değerlere yakın ve altında olduğu görülmüştür.

Ayrıca herbir ortofoto mozaik görüntüden elde edilen konumsal verilerin doğruluk analizi yapılmış ve 7 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntülerinden elde edilen ortofoto mozaikden ± 19.37 cm, 15 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntülerinden elde edilen ortofoto mozaikden ± 19.43 cm, ve 25 cm YÖA ile çekilen dijital hava görüntülerinden elde edilen ortofoto mozaikden ± 19.61 cm karesel ortalama hata ile konumsal veriler elde edilmiştir.

Dolayısıyla, ortofoto mozaik görüntülerin bulunan konum doğrulukları 20 cm' nin altında kalmıştır. 20 cm ve üzerinde doğruluk beklenen projelerde bu ortofoto mozaiklerin kullanılabileceği görülmüştür. Bu durum, hem avantaj hem maliyet olarak, hem de üretim hızı olarak kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Yine Çizelge 5.1' de verilen sayısal ortofotolar için öngörülen yatay doğruluk standartları ve çalışmada bulunan ortofoto görüntü doğrulukları göz önüne alınırsa 20 cm doğrulukla ortofoto üretebilmek için fotogrametrik nirengi dengeleme sonunda elde edilen nokta doğruluklarının 10 cm veya daha küçük olması önerilmektedir. Her üç ortofoto mozaik görüntü için de bu şart sağlanmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen değerler, ulusal ve uluslararası literatürdeki çalışmalarda elde edilen değerlerle karşılaştırıldığı zaman sonuçlar arasında çok anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda çalışmanın türü ve sonuçtan beklenen doğruluklar farklılık göstermekle birlikte çalışmada kullanılan üç farklı yükseklikten kayıt edilen sayısal hava görüntüleri ile üretilen ortofotolarda konum doğruluğunun birinci sınıf çalışmalar için kullanıma uygun olduğu ve bu sayısal ortofotoların birçok disiplin açısından altlık olarak kullanılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akabalı, O.A., 2010. Sayısal hava kameralarının topoğrafik harita üretim sürecine etkileri, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Akdeniz, H., 2004. Kriz yönetiminde sayısal ortofoto haritaların sağlayabileceği olanaklar, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 91, 13-20.
- ASPRS, 2014. American society for photogrammetry and remote sensing, Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, USA, 3-9.
- Arslanbek, L., 2009. Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Ayhan, E., Erden, Ö. ve Atay, G., 2007. Sayısal yükseklik modelinin ortofoto üretimine etkisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Baltsavias, E.P., 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, 83-94.
- Baltsavias, P.E., 1999. Integration of ortho-images in GIS, Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology ETH – Hoenggerberg, CH-8093 Zurich, Switzerland.
- Boy, O. ve Saraloğlu, S.S., 2016. Yer kontrol noktaları kullanılmadan İHA' lar ile hangi doğruluk seviyesinde haritalama yapılabilir?, Unmanned Aerial Mapping Solutions, 1-6.
- Burnside, C.D., 1993. The photogrammetric society analogue instrument project, The Photogrammetric Record, 14, 82, 565-582.
- Cankurt, İ., 2016. GPS/IMU sistemlerinde konum belirleme tekniklerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Daramola, O., Olaleye, J., Ajayi, O.G. ve Olawuni, O., 2017. Assessing the geometric accuracy of UAV-based orthophotos, South African Journal of Geomatics, 6, 3, 395-406.
- Demirel, H., 1998. Digital ortofotolarda sayısal arazi modellerinin doğruluğu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Durğut, T., 2010. Ultracamx sayısal fotogrametrik hava kamerasının geometrik doğruluğunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Eker, O., 2000. Dijital topoğrafik haritalar ile dijital ortofoto haritaların doğruluk, maliyet ve üretim zamanı açısından karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erden, Ö., 2006. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile digital ortofoto üretimi ve kentsel gelişimin izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdoğan, M., 2000. Investigating the effect of digital elevation model accuracy on the planimetric accuracy of orthorectified spot imagery, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, M., 2007. Veri türü, kalitesi ve üretim yöntemine göre sayısal yükseklik modeli (SYM) standartlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Finsterwaller, R., 1983. Fotogrametri, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi.
- Gerhard, A., 1991. Digital orthoprojection, scanning, handling and processing of aerial images, Ebner/Fritsch/Heipke Digital Photo-grammetric Systems, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe.
- Ghosh, S.K., 1981. History of photogrammetry, Laval University, Canada.
- Gruen, A., 1998. DTM generation and visualization, Symposium on Digital Photogrammetry, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gupta, R.P., 2017. Digital elevation model, Remote Sensing Geology, 101-106.
- Hinz, A., 1999. The Z/I imaging digital aerial camera system, Photogrammetric Week' 99, Eds D. Wichmann Verlag, Heidelberg, 109-115.
- Hoffmann, R. ve Reulke, R., 2008. Aspects of the standardization of sensor end data fusion remote sensing data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B1, 41-46.
- Jacobsen, K., 2000. Combined bundle block adjustment versus direct sensor orientation, Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys University of Hannover, Germany.
- Jacobsen, K., 2009. Potential of large format digital aerial cameras, Map World Forum, India.
- Jacobsen, K., 2011. "Geometric Property of Large Format Digital Camera DMC II 140." Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation, 2, 71-79.
- Karasaka, L., Karabörk, H., Güntel, A. ve Esitrgen, F., 2017. Geometric analysis of digital aerial images, International Journal of Environment and Geoinformatics, 4, 1, 36-42.

- Kheiri, M., 2006. Digital aerial cameras, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Japan.
- Knopp, D.E., 2004. Method and apparatus for producing digital orthophotos using sparse stereo configurations and external models, United States Patent.
- Kraus, K., 1992. Photogrammetry, vol.1: fundamentals and standard processes of photogrammetry, Fourth Edition, Ferd. Dümmler Verlag Publication, Vienna, Austria.
- Kraus, K. ve Waldhausl, P., 1993. Photogrammetry, Volume1, Bonn: Ferd. Dümmler Verlag Publication, Bonn.
- Kraus, K., 1997. "Photogrammetry volume-II: advanced methods and applications of photogrammetry", Fourth Edition, Ferd.Dümmler Verlag Publication, Vienna, Austria.
- Kraus, K., 2007. Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans (2nd edition), Walter de Gruyter, Berlin.
- Madani, M., Dörstel, C., Heipke, C. ve Jacobsen, K., 2004. DMC practical experience and accuracy assessment. In Proceedings of XXth ISPRS Congress Commission II, Istanbul, Turkey. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 35, pp. 396–401.
- Neumann, K.J., 2005. Digital aerial cameras, pp.1-5, Germany: Intergraph Z/I Deutschland GMBH.
- Neumann, K.J., 2008. Trends for digital aerial mapping cameras, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII, Beijing.
- Novak, K., 1992. Rectification of digital imagery, Engineering and Remote Sensing, 58, 3, 339-344.
- Özbalmumcu, M., 2007. Fotogrametrik yöntemle ortofoto harita üretiminin temel esasları, ortofotonun yararları ve kullanım alanları, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Teknik Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1-11.
- Pacey, R. ve Fricker, P., 2005. Forward motion compensation (FMC)- is it the same in the digital imaging world, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1241-1242.
- Popescu, G., Iordan, D. ve Paunescu, V., 2016. The resultant positional accuracy for the orthophotos obtained with unmanned aerial vehicles (UAVs), Agriculture and Agricultural Science Procedia, 10, 458-464.

- Spreckels, V., Fischer, C., Schlienkamp, A. ve Syrek, L., 2014. Photogrammetric stereoplotting capabilities of Vexcel UltracamD digital aerial imagery, ISPRS Hannover Workshop 2005 “High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information”, At Hannover, Germany.
- Şahin, İ., 2007. Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şahin, İ., 2013. Yığın ortofoto üretiminde süreç optimizasyonu, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tang, L., Dörtsel, C., Jacobsen, K., Heipke, C., Hinz A., 2000. Geometric accuracy potential of the digital modular camera, Proc. IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.
- T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, (9070), 23.06.2005.
- T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 523, 30.04.2018.
- Temiz, M.S., 2011. Video görüntülerinden hareketli nesnelerin çıkarılması ve hareket yörüngelerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topan, H., Oruç, M. ve Koçak, M.G., 2007. Ortogörüntü üretiminde yer kontrol noktası seçimi ve sonuçlara etkisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Toz, G., 1989. Sayısal arazi modelleri, İTÜ Dergisi, 47, 2, İstanbul.
- Tsarovski, S., 2015. Accuracy evaluation and quality control of digital orthomapsheets, FIG Working Week, Sofia, Bulgaria.
- Tufan, T., 2011. Ortofoto harita üretimi ve coğrafi bilgi sisteminde veri kaynağı olarak kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Wang, Y., Schultz, S. ve Giuffrida, F., 2008. Generation of orthophotos using pictometry’s digital images, ASPRS 2008 Annual Conference, Portland, Oregon.
- Wolf, P., 1974. Elements of photogrammetry, Mc Graw Hill Publication, USA.
- Vega, F.A., Ramirez, F.C. ve Carricondo, P.M., 2017. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle, Measurement Journal, 221-227.

Yang, M., Liu, J., Zhang, Y. ve Li, X., 2016. Design and construction of massive digital orthophoto map database in China, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B4, 103-106.

Yastıklı, N., 2004. Algılama sistemlerinin doğrudan yöneltilmesi, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 90, 5-11.

Yastıklı, N., 2009. Ortofoto ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yaşayan, A., 1997. Fotogrametri-III ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yaşayan, A., Uysal, M., Varlık, A. ve Avdan, U., 2011. Fotogrametri, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Yıldız, F., 2010. Dijital (sayısal) fotogrametri teknolojisi, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, İstanbul.

Yıldız, F., 2011. Sayısal hava kameraları ders notları, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yıldız, M.A., Karabörk, H. ve Yıldız, F., 2015. Mekansal projelerde sayısal ortofoto ürünlerinin coğrafi bilgi sistemlerine altlık olarak kullanılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VIII. Teknik Sempozyumu, Konya, Bildiriler Kitabı, 449-455.

Yılmaz, A., 1998. Spot stereo uydu görüntülerinden ortofoto ve foto-mozaiik üretimi doğruluğunun araştırılması, Lisans Tezi, Harita Yüksek Teknik Okulu (HYTO), Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

Yılmaz, A., 2002. Farklı kaynaklardan üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk araştırması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karşı, F. ve Gökarp, E., 2013. İnsansız hava aracı ile üretilen ortofoto haritalarda doğruluk analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon.

URL-1 <<http://www.mapair.com.tr>>, alındığı tarih: 20.06.2018.

URL-2 <<http://www.ostron.de>>, alındığı tarih: 20.06.2018.

URL-3 <<http://www.aerialsurveysintl.com>>, alındığı tarih: 20.06.2018.

URL-4 <<http://www.geospatialworld.net>>, alındığı tarih: 20.06.2018.

URL-5 <<http://www.cncsolution.blogspot.com>>, alındığı tarih: 20.06.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Aydan YAMAN
E-posta adresi : aydan.ketenci@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, 2010
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2013
Doktora : Aksaray Üniversitesi, 2018

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

Araştırma Görevlisi 2012- 2018, Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

- 1- **Yaman, A.** ve Yılmaz, H.M., 2015. Yersel lazer tarayıcıların tarama açısı ve mesafesine bağlı olarak konum doğruluğunun araştırılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) VIII. Teknik Sempozyumu, Konya, Bildiriler Kitabı, 209-215.
- 2- **Yaman, A.** ve Yılmaz, H.M., 2017. Obje yüzey renklerinin yersel lazer tarayıcılarına etkisi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) IX. Teknik Sempozyumu, Afyonkarahisar, Bildiriler Kitabı, 292-298.
- 3- **Yaman, A.**, Yılmaz, H.M. ve Ağca Yıldırım, M., 2017. Obje yüzey eğimlerinin yersel lazer tarayıcıların konum doğruluğuna etkileri, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji dergisi, 5, 1, 61-71.
- 4- **Yaman, A.** ve Yılmaz, H.M., 2017. The effect of object surface colors on terrestrial laser scanners, International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG), 2, 2, 68-74.
- 5- Bilgilioğlu, S.S., Yılmaztürk, F., Güllü, B., Bilgilioğlu, H. ve **Yaman, A.**, 2017. Investigation of the detectability of different geological formations/impurities in open pit mine with UAV, International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences, Çanakkale, Bildiriler Kitabı, 250.
- 6- Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., **Yaman, A.** ve Bilgilioğlu S.S., 2018. İnsansız hava aracı ile ortofoto üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği, Geomatik Dergisi, 3, 2, 103-110.