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

# SAYISAL HAVA KAMERALARININ TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİM SÜRECİNE ETKİLERİ

**Osman Atila AKABALI**

**DOKTORA TEZİ**
**Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Konya, 2010**

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

# SAYISAL HAVA KAMERALARININ TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİM SÜRECİNE ETKİLERİ

**Osman Atila AKABALI**
**Yük.Müh.**

**DOKTORA TEZİ**
**JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Bu Tez 14../02/2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından ~~Oybirliği~~/Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

| | | |
|---|---|---|
| Ferruh YILDIZ<br>Prof.Dr.<br>(Danışman) | Gönül TOZ<br>Prof.Dr.<br>(Üye) | Sıtkı KÜLÜR<br>Prof.Dr.<br>(Üye) |
| Murat YAKAR<br>Doç.Dr.<br>(Üye) | Engin KOCAMAN<br>Yrd.Doç.Dr.<br>(Üye) | |

ÖZET

Doktora Tezi

SAYISAL HAVA KAMERALARININ
TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİM SÜRECİNE ETKİLERİ

Osman Atila AKABALI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

2010, 130 Sayfa

Jüri: Prof.Dr. Ferruh YILDIZ
Prof.Dr. Gönül TOZ
Doç.Dr. Sıtkı KÜLÜR
Doç.Dr. Murat YAKAR
Yrd.Doç.Dr. Engin KOCAMAN

Coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmeler hızlı sayısal altlık üretimini zorunlu kılmıştır. Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama uydu sistemlerinin gelişmesi, klasik kamera sistemlerinin sayısal kamera sistemlerine geçişini hızlandırmıştır. Ayrıca, son yıllarda artan sayısal görüntü ihtiyacı, üretici firmaları ürün yelpazelerini arttırmaya, yeni modeller geliştirmeye, özellikle havadan fotoğraf alımı yapan kameraların teknik özelliklerini sürekli geliştirmeye yöneltmiştir. Bu çalışmada; analog ve sayısal hava kameraları hakkında teorik bilgiler verilmiş, sayısal hava kamerası ile 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminin gereksinimlerinin tespit edilmesi amacıyla, UltraCam$_X$ kamerası ile farklı yüksekliklerden uçularak farklı ölçekte elde edilmiş sayısal hava kamerası görüntüleri kullanılarak geometrik doğruluk, doğrudan coğrafi konumlandırma ve detay teşhisi çalışmaları yapılmıştır. GPS/IMU değerleri ile blok dengeleme konumlandırma sonuçlarının ortalama hatasının ölçeğe göre yatay bileşende 2.5 cm ile 27 cm arasında, düşey bileşende ise 6 cm ile 26 cm arasında değiştiği, GPS/IMU değerleri ile doğrudan coğrafi konumlandırma sonuçlarının ortalama hatasının, ölçeğe göre yatay bileşende 8 cm ile 1,2 m arasında, düşey bileşende ise 18 cm ile 4 m arasında değiştiği belirlenmiştir. 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için yapılacak olan uçuşların 1/60.000 ölçeğinde (43 cm yer örnekleme aralığında) yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Analog ve sayısal kamera görüntüleri ile yapılan dengeleme sonuçları arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal hava kamerası, UltraCam$_X$, doğruluk, doğrudan coğrafi konumlandırma, kıymetlendirme.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE EFFECTS OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC CAMERAS TO THE TOPOGRAPHIC MAP PRODUCTION PROCESS

Osman Atila AKABALI

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

2010, 130 Pages

Jury : Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Prof.Dr. Gönül TOZ

Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR

Assoc.Prof.Dr. Murat YAKAR

Assoc.Prof.Dr. Engin KOCAMAN

The developments in geographic information systems have made the rapid production of base maps compulsory. High resolution remote sensing satellite systems accelerated transition from analogue to digital camera systems. Also, the need for digital images in recent years forced the producer firms to increase the product variety, to improve new models and especially to improve the technical specifications of aerial cameras. In this work, the theoretical information is given about the analogue and digital aerial cameras. Also in order to test the compilation requirements of 1/25.000 scale topographic maps, the accuracy of direct georeferencing and object recognition possibilities, the project area was flown in different altitudes with UltraCam$_X$. It was found that the root mean square error of the bundle block adjustments with GPS/IMU values is between 2.5 cm and 27 cm in horizontal plane, 6 cm and 26 cm in vertical plane. And also it was found that direct georeferencing with GPS/IMU values is between 8 cm and 1.2 m in horizontal plane, 18 cm and 24 cm in vertical plane. It was evaluated that the suitable scale of the flight for the production of 1/25.000 scale topographic maps should be 1/60.000 (i.e. 43 cm GSD) and that there was no meaningful difference between the triangulation results of analogues and digital camera images.

**Keywords:** Digital aerial camera, UltraCam$_X$, accuracy, direct georeferencing, compilation.

## ÖNSÖZ

Sayısal hava kameralarının topoğrafik harita üretim sürecine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, tez danışmanlığımı üstlenen ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Ferruh YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında değerli bilgileri ile beni yönlendiren Tez İzleme Komitesindeki hocalarım sayın Prof.Dr. Gönül TOZ ve Yrd.Doç.Dr. Engin KOCAMAN'a, çalışmamda kullandığım veri ve bilgisayar sistemlerinin bulunduğu Harita Genel Komutanlığı'na ve yorumları ile beni yönlendiren Dr.Müh.Bnb.Oktay EKER, Dr.Müh.Bnb.Mustafa ERDOĞAN ve Dr.Müh.Bnb.Altan YILMAZ'a, uygulamalarımda çok büyük yardımını gördüğüm Müh.Ütğm.A.Coşkun KİRACI ve Müh. Kemal AYGAN'a teşekkür ederim.

Tezimi, doktora çalışmalarım süresince büyük bir sabırla beni destekleyen ve her konuda olduğu gibi çalışmalarım sırasında da yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Banu ve kızım Damla ile kısa süre önce kaybettiğim babam Ahmet AKABALI'ya ithaf ediyorum.

Temmuz 2010 Osman Atila AKABALI

İÇİNDEKİLER

ÖZET…… . ii
ABSTRACT…….. iii
ÖNSÖZ……..... iv
İÇİNDEKİLER……..... . v
ŞEKİL LİSTESİ……vii
ÇİZELGE LİSTESİ…….. .x
SİMGELER……....xi

1. GİRİŞ…… …1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……...……... ....5
3. TEORİK ESASLAR……..……... ..10
3.1. Hava Kameralarının Tarihsel Gelişimleri …...…….....…..10
3.2. Sayısal hava kameraları ..……....13
3.2.1. Çerçeve görüntüleme sistemleri ..……..15
3.2.2. Alan dizi CCD (Charge Coupled Device) kameralar……..17
3.2.3. Tarayıcı sistemler ……..18
3.2.3.1. Doğrusal dizili (pushbroom) tarayıcılar ……... ..18
3.3. Çeşitli Sayısal Hava Kameralarının İncelenmesi ..…….. ..19
3.3.1. Z/I Imaging's Digital Mapping Camera (DMC)…..…….. ..23
3.3.1.1. Sistem bileşenleri …….…….. ..24
3.3.1.2. Sistem özellikleri …….……...25
3.3.1.3. Görüntü sürüklemesini önleyici sistem (FMC)…..……29
3.3.1.4. Teknik özellikler …….…….. ..30
3.3.1.5. Görüntü alımı ve oluşturulması işlem adımları …..……..……..31
3.3.2. Leica ADS40 uçağa takılı sayısal algılayıcı ……...35
3.3.2.1. Sistem bileşenleri …….…….. ..35
3.3.2.2. Sistem özellikleri …….……...37
3.3.2.3. Teknik özellikler …….…….. ..42
3.3.2.4. Görüntü alımı ve oluşturulması işlem adımları …..……..……..46
3.3.2.5. İkinci nesil ADS40 sayısal hava kamerası …...……..47
3.3.3. Vexcel UltraCamD geniş formatlı sayısal hava kamerası ..……...49
3.3.3.1. Sistem bileşenleri …….…….. ..50
3.3.3.2. Sistem özellikleri …….……...52
3.3.3.3. Teknik özellikler …….…….. ..53
3.3.3.4. Görüntü alımı ve oluşturulması işlem adımları …..……..……..56
3.4. Self Kalibrasyon ……...……..61

4. ARAŞTIRMA ÇALIŞMASI VE TARTIŞMA ……...……..62
4.1. Sayısal Hava Kamerası Fotogrametrik Nirengi Çalışması …...……..62
4.1.1. Çalışma bölgesi ve çalışmada kullanılan hava fotoğrafları ..……..64
4.1.2. Çalışmada kullanılan donanım ve yazılımların tanıtımı ……..…… ..66
4.1.2.1. Çalışmada kullanılan donanımlar ……..……....67
4.1.2.2. Çalışmada kullanılan yazılımlar …...……..69
4.1.3. Birinci bölgede yapılan çalışmalar…….....72
4.1.3.1. Blok Dengeleme …….……....72
4.1.3.2. Boresight Kalibrasyonu ……..……....73
4.1.3.3. Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing)……..…74
4.1.3.4. Birinci bölge uçuş sonuçlarının değerlendirilmesi …….....75
4.1.4. İkinci bölgede yapılan çalışmalar ……..77
4.1.4.1. Blok Dengeleme …….……....77
4.1.4.2. Boresight Kalibrasyonu ……..……....79
4.1.4.3. Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing)……..…80
4.1.4.4. GPS verilerinin PPP ile çözümü …..…….……... ..81
4.1.4.5. İkinci bölge test sonuçlarının değerlendirmesi ...…..……... ..82
4.1.5. Üçüncü bölgede yapılan çalışmalar…….. ..83
4.1.5.1. Üçüncü bölge test sonuçlarının değerlendirmesi…….. ..85
4.2. Sayısal Hava Kamerasının Stereo Kıymetlendirme Çalışmaları Üzerindeki Avantaj ve Dezavantajları ……..... ..86
4.3. Sayısal Hava Kamerasının Ortofoto Üretimindeki Avantaj ve Dezavantajları…….. ..96
4.4. Sayısal ve Analog Hava Kamerası ile 1:25.000 Ölçekli Topoğrafik Harita Üretimi Maliyet Analizi……..98
4.4.1. Hava fotoğrafları maliyet analizi ……..……... ..99
4.4.2. Uçuş ve foto-laboratuvar işlemleri maliyet analizi ..…… ..99
4.4.3. Fotogrametrik nirengi işlemleri maliyet analizi ..……...103
4.4.4. Fotogrametrik kıymetlendirme işlemleri maliyet analizi……..104
4.4.5. Arazi bütünleme işlemleri maliyet analizi…… 105
4.4.6. 1/100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alanda 1/5.000 ölçekli harita üretimi maliyet analizi……...106
4.5. Tartışma…….....108
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……..…… 119
KAYNAKLAR……..……126

ŞEKİL LİSTESİ


| | | |
|---|---|---|
| Şekil 3.1 | 1930: 4 x RMK C/1 4-mercekli kamera: Düşük geometrik distorsiyon, ancak sınırlı görüş açısı……...……..... | ..11 |
| Şekil 3.2 | Şekil 3.2 USC&GS 9-mercekli kamerası ve bu kameraya ait New York şehrinin birleştirilmiş görüntüsü (geniş görüş açısı)…… | ..11 |
| Şekil 3.3 | Hava kameralarının gelişimi (Analogdan sayısala) ……..……... | ..12 |
| Şekil 3.4 | Görüntü oluşturan sistemlerin sınıflandırılması …… | ..14 |
| Şekil 3.5 | CCD Görüntüleyici Sistemi …… | ..17 |
| Şekil 3.6 | Çerçeve (matris) CCD Mimarisi ……..……... | ..18 |
| Şekil 3.7 | Doğrusal Dizili (Pushbroom) Tarayıcının Çalışma Esası ……...….... | ..19 |
| Şekil 3.8 | a) ADS40 (Leica Geosystems) b) Odak düzleminin yerleşimi c) Üç satırlı stereo görüntüleme prensibi …… | ..22 |
| Şekil 3.9 | a) DMC (Intergraph) b) Sekiz adet kamera konisinin yerleşimi (F, B, R, L sırasıyla ileri, geri, sağ ve sol konvergens açılarını göstermektedir c) Dört adet eğik görüntüden büyük formatlı pankromatik görüntü oluşturma prensibi…… | ..22 |
| Şekil 3.10 | a) UltraCam$_D$ (© Microsoft) b) Sekiz adet kamera konisinin yerleşimi c) Dokuz görüntü bileşeninden büyük formatlı pankromatik görüntü oluşturma prensibi …… | ..23 |
| Şekil 3.11 | Z/I Imaging's Digital Mapping Camera (DMC)…..…… | ..24 |
| Şekil 3.12 | 7k * 4k piksek çözünürlüklü DMC kamera kafası …….…… | ..25 |
| Şekil 3.13 | Bağımsız kamera kafalarının DMC kamera konisi içerisine yerleşimi ……..…… | ..26 |
| Şekil 3.14 | Bağımsız kamera konileri ve merkezi izdüşüm ile görüntü alımı….. | ..27 |
| Şekil 3.15 | Bağımsız, sekiz ayrı kamera modülü ……..…… | ..28 |
| Şekil 3.16 | Ana kamera konisi ve bağımsız kamera kafalarının yerleşimi…… | ..29 |
| Şekil 3.17 | TDI-Görüntü Sürüklenmesi Önleyici Sistem…….. | ..30 |
| Şekil 3.18 | Leica ADS40 Airborne Digital Sensor…… | ..35 |
| Şekil 3.19 | 1. Algılayıcı Ünitesi SH40 (Sayısal optikler DO64 ve IMU), 2. Kontrol Ünitesi CU40 (konum ve irtifa bilgisayarı POS), 3. Ana (Taşınabilir) Disk MM40, 4. Operatör Arayüzü OI40, 5. Pilot Kılavuz Ekranı GI40, 6. Kamera Montaj Aparatı PAV30…….. | ..36 |
| Şekil 3.20 | ADS40 sayısal hava kamerasının Cessna 208B Caravan uçağına yerleşimi (solda) ve CASA 212 uçağına yerleşimi (sağda)…… | ..36 |
| Şekil 3.21 | Kamera konisindeki (odak düzlemi) beş algılayıcıdan birisi…….. | ..37 |
| Şekil 3.22 | Pankromatik ve RGB CCD satırların yerleşimi ve bakış açıları……. | ..38 |
| Şekil 3.23 | Trichroid ışın ayırıcısı …… | ..39 |
| Şekil 3.24 | Alan ve satır tarayıcı tabanlı algılayıcılar için görüntü geometrisi kavramı…… | ..41 |

Şekil 3.25 Üç görüntüde homolog noktaların ölçülmesi…….. ..41
Şekil 3.26 Ötelenmiş Sıralı CCD Satırları…… ..42
Şekil 3.27 Ötelenmiş CCD satırı (solda), Tek CCD satırı (sağda)……... ..43
Şekil 3.28 Kesintisiz ve sürekli nadir siyah/beyaz kolon görüntüsü…… ..44
Şekil 3.29 İkinci nesil ADS40 kamerasında bulunan iki adet algılayıcı ünitesi... ..47
Şekil 3.30 Tetrachroid 4 band ışın dağıtıcı……... ..48
Şekil 3.31 SH51'in odak düzlemi ve SH52'nin odak düzlemi……. ..48
Şekil 3.32 İki adet tetrachroid'e sahip SH52 algılayıcısı ile kolon görüntü alımı ..49
Şekil 3.33 UltraCam$_D$ geniş formatlı sayısal hava kamerası algılayıcı ünitesi…. ..50
Şekil 3.34 UltraCam$_D$ sayısal hava kamerası algılayıcı birimi içerisine yerleştirilmiş ve sabitlenmiş IMU ünitesi…… ..51
Şekil 3.35 Uçuş esnasında uçuş yönetim sistemi ile bütünleşik olarak kullanılan sistemler CCNS, *AEROcontrol* ve IMU……. ..52
Şekil 3.36 UltraCam$_D$ için görüntü alımı ve işlenmesi……. ..56
Şekil 3.37 UltraCam$_X$ için görüntü alımı ve işlenmesi……. ..56
Şekil 3.38 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası konisi konfigürasyonu……... ..57
Şekil 3.39 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası için pankromatik sayısal görüntünün oluşturulması (pozlanması) "sintopik görüntüleme prensibi"…….. ..58
Şekil 3.40 Multispektral kamera konileri aynı anda t4 zamanında pozlama yaparlar…… ..59
Şekil 3.41 1. 1 Adet Alan Dizi CCD'li 3ncü Yardımcı Koni; 2. 4 Adet Alan Dizi CCD'li Ana Koni (Bütünleşik pankromatik görüntünün geometrisini tanımlar); 3. 2 Adet Alan Dizi CCD'li 2nci Yardımcı Koni; 4. 2 Adet Alan Dizi CCD'li 1nci Yardımcı Koni ..59
Şekil 3.42 UltraCam$_X$ bütünleşik pankromatik görüntü ve görüntü boyutları…. ..60
Şekil 4.1 Birinci bölge ……..…… ..64
Şekil 4.2 İkinci Bölge ……..……... ..65
Şekil 4.3 Üçüncü Bölge ……..……... ..66
Şekil 4.4 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası algılayıcı birimi …..…….. ..67
Şekil 4.5 (a) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası hesaplama birimi; (b) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası kamera işletim arayüzü; (c) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası veri depolama birimi; (d) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası veri transfer birimi ……..….... ..68
Şekil 4.6 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası inersiyal navigasyon sistemi ……... ..69
Şekil 4.7 OPC (Ofis Veri İşleme Yazılımı)…..…… ..70
Şekil 4.8 Stereo modeller üzerinden okunan ve jeodezik olarak ölçülen bir detay noktası…… ..84
Şekil 4.9 Zeiss RMK TOP 15 Analog Hava Kamerası ve Microsoft UltraCam$_X$ Sayısal Hava Kamerası……. ..87
Şekil 4.10 Sulu dereye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ……. ..88
Şekil 4.11 Pınara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ..…… ..88

Şekil 4.12 Çeşmeye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü …….. ..89
Şekil 4.13 Karayoluna ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ……... ..89
Şekil 4.14 Camiye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü…… ..90
Şekil 4.15 Enerji Nakil Hatlarına ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ……..…….. ..90
Şekil 4.16 Direk trafoya ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü….. ..91
Şekil 4.17 Binalara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü..…..... ..91
Şekil 4.18 Tek ağaçlara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ….... ..92
Şekil 4.19 Meyveliklere ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü….... ..92
Şekil 4.20 Ormanlık alanlara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü ..93
Şekil 4.21 Antenlere ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü……. ..93
Şekil 4.22 Kayalık ve taşlıklara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü……. ..94
Şekil 4.23 Mezarlıklara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü…… ..94
Şekil 4.24 1/60.000 ölçekli sayısal hava kamerası ortofotosu. 1:16.000 ölçekli analog hava kamerası ortofotosu……. ..97
Şekil 4.25 Sayısal hava kamerası ortofotolarındaki panoramik bozulmalar…… ..98
Şekil 4.26 0.4 mm yer çözünürlüğü ile film üzerine görüntülenen (solda) ve sayısal algılayıcı ile görüntülenen (sağda) Siemens star……. 111
Şekil 4.27 Taranmış analog film çifti ile UltraCam$_D$ görüntü çiftine ait görüntü eşleme işleminde başarı ile toplanan nokta sayılarının karşılaştırması…….. 113
Şekil 4.28 Analog ve sayısal fotogrametrik iş akışı……. 120

ÇİZELGE LİSTESİ


| | | |
|---|---|---|
| Çizelge 3.1 | Pasif elektro-optik sistemlerin genel özellikleri …….. | ..14 |
| Çizelge 3.2 | Fotogrametrik sayısal hava kamerası sistemlerinin bileşenleri ve fotogrametrik sistem performansını etkileyen faktörler …..…… | ..15 |
| Çizelge 3.3 | Piyasadaki kameralar ve temel görüntüleme özellikleri ……..….... | ..21 |
| Çizelge 3.4 | Farklı DMC 2001 konfigürasyonlarının teknik özellikleri……... | ..31 |
| Çizelge 3.5 | DMC 2001 sayısal hava kamerası iş akışı …….…….. | ..32 |
| Çizelge 3.6 | DMC 2001 kamerası için görüntü oluşturma işlem adımları …….. | ..33 |
| Çizelge 3.7 | Sayısal hava kameralarının gelecekteki kullanım alanları……... | ..33 |
| Çizelge 3.8 | Sayısal hava kameralarının en temel avantajları ……...….. | ..34 |
| Çizelge 3.9 | ADS40 kamerasına ait en önemli algılayıcı parametreleri……... | ..44 |
| Çizelge 3.10 | ADS40 sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler …… | ..45 |
| Çizelge 3.11 | ADS40 kamerası için görüntü oluşturma işlem adımları…… | ..46 |
| Çizelge 3.12 | UltraCam$_D$ ve UltraCam$_X$ sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler……... | ..54 |
| Çizelge 3.13 | UltraCam$_D$ ve UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası görüntü oluşum seviyeleri……... | ..61 |
| Çizelge 4.1 | Stereo modellerde okunan koordinat farklarının karesel ortalama hataları (blok dengeleme sonucunda)…….. | ..73 |
| Çizelge 4.2 | Boresight Kalibrasyon Sonuçları ……..……... | ..74 |
| Çizelge 4.3 | Stereo modellerde okunan koordinat farklarının karesel ortalama hataları (Doğrudan coğrafi konumlandırma ile)…….. | ..75 |
| Çizelge 4.4 | Ölçek Yer Örnekleme Aralığı İlişkisi..……...…….. | ..76 |
| Çizelge 4.5 | Blok Dengeleme Projeleri…….. | ..78 |
| Çizelge 4.6 | Kullanılan yer kontrol noktası sayısının yöneltmeye etkisi (Selfli). | ..78 |
| Çizelge 4.7 | Kullanılan yer kontrol noktası sayısının yöneltmeye etkisi (Selsiz) | ..79 |
| Çizelge 4.8 | Boresight Kalibrasyon Sonuçları ..……... | ..80 |
| Çizelge 4.9 | Diferansiyel GPS ölçümleri ve Hassas Nokta Konumlandırması ile doğrudan coğrafi konumlandırma sonucu elde edilen stereo modeller üzerinden ölçülen koordinatlar ile arazi koordinatları farklarının karesel ortalama hataları karşılaştırması…..……... | ..81 |
| Çizelge 4.10 | Analog ve sayısal hava kamerası ile uçuş sonucu elde edilen stereo modeller üzerinden ölçülen koordinatlar ile arazi koordinatları farklarının karesel ortalama hataları karşılaştırması... | ..85 |
| Çizelge 4.11 | Alan bazında hava fotoğrafı maliyeti…….. | 100 |
| Çizelge 4.12 | 1/25.000 ölçekli harita üretimi için analog hava kamerasına ilişkin maliyet analiz ……..... | 101 |
| Çizelge 4.13 | 1/25.000 ölçekli harita üretimi için sayısal hava kamerasına ilişkin maliyet analizi……..... | 102 |
| Çizelge 4.14 | 1/5.000 ölçekli harita üretimi için analog hava kamerasına ilişkin maliyet analizi…..…… | 106 |

Çizelge 4.15 1/5.000 ölçekli harita üretimi için sayısal hava kamerasına ilişkin maliyet analizi ……. 107
Çizelge 4.16 DGPF testlerinde kullanılan kameralara ait kamera ve uçuş bilgileri……. 116
Çizelge 4.17 DGPF testlerinde kullanılan kameralara ve bu tez çalışmasında kullanılan kameraya geometrik doğruluk sonuçları……. 117

SİMGELER

Kısaltmalar

| | |
|---|---|
| b/h | Baz Yükseklik Oranı |
| BKN | Bağımsız Kontrol Noktası |
| CCD | Charge Coupled Device |
| CCNS4 | Computer Controlled Navigation System, 4th generation |
| CMOS | Complementary Metal Oxide Semiconductor; Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken |
| CORS | Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyon Ağları |
| DFWS | Sayısal Fotogrametrik Çalışma İstasyonu |
| DGPF | Alman Fotogrametri, Uzaktan Algılama ve Yer Bilimleri Birliği |
| DMC | Digital Mapping Camera (Z/I Imaging) |
| FMC | Forward Motion Compensation; Görüntü Sürüklenmesini Önleyici Sistem |
| GPS | Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi |
| GSD | Ground Sampling Distance – Yer Örnekleme Aralığı |
| IMU | Inertial Measurement Unit; Ataletsel (İnersiyal) Ölçüm Ünitesi |
| INS | Inertial Navigation System; Ataletsel Navigasyon (Seyrüsefer) Sistemi |
| KDMS | Kork Digital Mapping System |
| KOH | Karesel Ortalama Hata |
| LFC | Large Format Camera; Büyük Formatlı Kamera |
| NIR | Near Infrared; Yakın Kızılötesi |
| OEEPE | The European Organization for Experimental Photogrammetric Research; Avrupa Deneysel Fotogrametri Araştırma Birliği |
| PCMCIA | Personal Computer Memory Card International Association |
| PPP | Precise Point Positioning; Hassas Nokta Konumlandırması |
| RAID | Redundant Array of Independent Disks; Bağımsız Ardışık Diskler Dizisi |
| RGB | Red-Green-Blue; Kırmızı-Yeşil-Mavi |
| S/N | Sinyal Gürültü Oranı |
| SCSI | Small Computer System Interface; Küçük Bilgisayar Sistemi Arabirimi |
| SNR | Signal Noise Ratio; Sinyal Gürültü Oranı |
| SYM | Sayısal Yükseklik Modeli |
| TUSAGA | Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı |
| YKN | Yer Kontrol Noktası |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde Jeodezi, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama bilimleri birbirinden bağımsız disiplinler olarak değil, aksine birbiri ile bütünleşik, ortak verileri kullanan, "Geomatik" olarak adlandırılan yeni ve çok disiplinli bir bilim olarak görülmektedir. Geomatik bilimi içerisinde sayısal uygulamaların yeri ve hacmi giderek artmaktadır.

Özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki genel gelişme, fotogrametride donanım, yöntem ve entegrasyon alanlarında yeni ilerlemelere yol açmıştır. Fotogrametrik yazılım ve donanımlar, teknolojik gelişmelere paralel olarak her geçen gün yenilenmekte ve özellikle düşük maliyetli yazılım ve donanım seçenekleri ile çok çeşitli alternatifler ortaya çıkmaktadır.

Sayısal görüntüler, temel olarak klasik hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcıları ile taranarak sayısal forma dönüştürülmesine dayanır. Bu durumda üreticiler için elde edilecek olan sayısal görüntünün radyometrik ve geometrik doğruluğu büyük önem kazanmaktadır. Mevcut teknolojiler ve gelişmeler göz önüne alındığı zaman, fotoğrafların taranması yerine birçok ara işleme ihtiyaç duyulmadan, görüntülerin doğrudan sayısal olarak elde edilmesi, en mantıklı sonuç olarak görülmektedir.

Fotogrametrik üretim aşamaları düşünüldüğünde, üretimin ilk adımı olan hava fotoğrafı ve özellikle sayısal görüntünün elde edilmesi, hâlâ maliyeti en yüksek olan aşamadır. Bu aşamada, ister klasik yöntemle elde edilen fotoğraflarının taranarak sayısal forma çevrilmesi, isterse doğrudan sayısal formda veri toplanması olsun, sayısal görüntünün elde edilmesi toplam üretim maliyetinin büyük kısmını oluşturmaktadır.

Sayısal görüntülere olan ihtiyaç, coğrafi bilgi sistemleri içerisindeki sayısal haritalama imkânları sayesinde ve özellikle sayısal görüntüleme tekniklerinin fazlasıyla kullanılmaya başlanması ile birlikte giderek artmaktadır. Üretici firmalar da bu konuya hak ettiği ilgiyi göstermekte ve kullanıcılara daha ekonomik ve çok işlevli çözümler sunmak için sürekli yenilikler üretmektedirler. Sayısal kameralar, bu çalışmaların en son ürünlerinden birisidir. Günümüzde fiyatları oldukça yüksek olmasına rağmen, sayısal kameraların bu dezavantajı, sağladığı yenilikler ve sunduğu

geniş yelpazeli ürünler nedeniyle biraz olsun hafiflemektedir. Ayrıca, son yıllarda artan sayısal görüntü ihtiyacı, üretici firmaları, ürün yelpazelerini arttırmaya, yeni modeller geliştirmeye ve özellikle havadan fotoğraf alımı yapan kameraların teknik özelliklerini sürekli olarak iyileştirmeye yöneltmiştir. Sayısal kameraların klasik kameralara kıyasla dezavantajlarının giderek azalması (geniş format, yüksek çözünürlük, vb.), bütünüyle sayısal iş akışı (klasik fotogrametrik iş akışındaki değişim) ve ara maliyetlerin azalması, analog kameralar ile sayısal kameralar arasındaki fiyat/maliyet dengesini sayısal kameraların lehine çevirmeye başlamıştır.

Sayısal hava kameralarının ve hassas fotoğraf tarayıcıların çalışma prensipleri benzerlik göstermektedir. Ancak, her ne kadar çalışma prensipleri benzer de olsa, sayısal kameraların sağladığı üstünlükler, tarayıcılara göre oldukça fazladır. Sayısal hava kameraları ile film kullanımı, foto-laboratuar işlemleri, fotoğraf tarama işlemleri gibi zaman alan ve maliyet oluşturan işlemler ortadan kalkmaktadır. Bunlara ek olarak, fotoğraf alımını müteakip elde edilen görüntülerin çok küçük işlem adımlarıyla doğrudan kullanıma hazır hale getirilebilmesi ve görüntü kalitesindeki önemli ölçüde artış sayısal kameraları daha cazip hale getirmektedir.

Sayısal hava kamerası görüntülerinin bilgi içeriği ve elde edilecek olan sonuç ürünün doğruluğu kamera ve arazi ile ilgili birçok değişik faktörün sonucudur. Bunlar;

- Kameranın teknik özellikleri (odak uzaklığı, görüntü formatı, alım geometrisi, vb.),
- Görüntünün geometrik ve radyometrik çözünürlüğü,
- Arazi rölyefi,
- Fotoğraf alım zamanı ve koşulları
- Uçuş yüksekliği, fotoğraf ölçeği, harita ölçeği, vb. dir.

Görüntü oluşturan sistemler, çalışma biçimi ve çalıştığı spektral alanı esas alan iki temel ölçüte göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir. Buna göre;

- Aynı anda tüm görüntü çerçevesinin (format) pozlandığı ve fotoğrafik (veya fotoğrafik olmayan) işlemlerle görünen ve yansıyan yakın kızılötesi enerjinin kayıt edildiği sistemler (Çerçeve Görüntüleme Sistemleri)

- Görüntü tarayarak çalışan ve kristal detektör elemanları aracılığı ile spektrumun görünen, yansıyan ve yayılan kızılötesi bölgelerindeki ışımayı kayıt eden sistemler (Tarayıcılar)
- Aktif olarak oluşturulup yeryüzüne gönderilen ve buradan yansıyan mikrodalga enerjinin pulslarına ait zamanı ölçüm esasına göre çalışan sistemler (Mikrodalga Algılayıcılar)

Çerçeve görüntüleme sistemi, görüntü alım anında tüm görüntü çerçevesinin aynı anda kaydedildiği sistemlerdir. Sayısal bir çerçeve kameranın en belirgin avantajı tüm pikseller aynı anda görüntüleme yapacağı için anlık platform hareketleri görüntü geometrisi açısından analog kameralar ile aynı olacaktır ve bu sayede geometrik doğruluk oldukça yüksek olacaktır.

Tarayıcı sistemlerin temel esası ise, uçuş yönüne dik bir hat boyunca yer alan arazinin, bir ucundan diğer ucuna belli bir açı altında tarama işleminin mekanik olarak dönen ya da sarkaç gibi salınan ayna yardımı ile gerçekleştirilmesidir. Her satır elektronik olarak taranır, taranan değerler sistem dâhilinde bulunan veya özel olarak tasarlanmış bir yüksek kapasiteli depolama diskine kaydedilir. Görüntünün geometrik kalitesinde ortaya çıkabilecek azalmayı önlemek için her bir dedektör elemanının kalibrasyonuna özen göstermek gerekmektedir.

Geometrik doğruluk açısından, çerçeve görüntüleme sistemi ile çalışan görüntü algılayıcıların, özellikle X-Y doğrultularındaki kararlı yapıları nedeniyle bir üstünlüğü söz konusudur. Tarayıcı sistemlerde, yukarıda verilen örnekte olduğu gibi ham görüntü belirli bir işlemden sonra kullanılabilir hale gelmektedir. Bu işlem sırasında kaliteli bir görüntü elde edebilmek için algılayıcıların kalibrasyonu önem kazanmaktadır. Ayrıca bu işlem adımı, görüntünün elde edilmesinden sonra kullanılabilmesi için belirli zaman sürecine ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada piyasada bulunan sayısal hava kameraları hakkında bilgi verilmiş ve topoğrafik harita üretim sürecine etkileri incelenmiştir. Sayısal hava kameralarının geometrik doğrulukları, radyometrik ve konumsal çözünürlükleri, stereo görüntüleme, kıymetlendirme ve ortofoto üretimi kabiliyetleri ile fotogrametrik harita üretim maliyetleri hakkındaki çalışmaların birçoğu sayısal hava kamerasını üreten firmalarca yaptırılmış veya bizzat üretimde görev alan kişilerce yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda da genellikle yüksek geometrik doğruluk sağlayacak test

bölgeleri seçilmiştir. Bu doktora çalışması, kullanıcılara gerçek duruma uygun bir bölgede sayısal hava kamerası görüntülerinden elde edilebilecek geometrik doğruluk ve 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminin gerektirdiği görüntü alım özellikleri, stereo kıymetlendirme çalışmalarındaki avantaj ve dezavantajları ile üretim maliyetleri konusunda bilgi vermek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ikinci bölümde, konu ile ilgili olarak önceden yapılmış çalışmaların ana fikirleri, metotları ve sonuçlarının bir düzen içinde sentezlenmiş özetleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde analog ve sayısal hava kameraları hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde ilk olarak, sayısal hava kamerası ile 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminin gereksinimlerinin tespit edilmesi amacıyla, farklı yüksekliklerden uçularak farklı ölçekte elde edilmiş sayısal hava kamerası görüntüleri kullanılarak geometrik doğruluk, doğrudan coğrafi konumlandırma ve detay teşhisi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve bu tez çalışmasının esas konusu olan 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için kullanılacak olan kriterler (uçuş, fotoğraf ölçeği, yer örnekleme aralığı "GSD", vb.) belirlenmiştir. Bu kriterler ışığında ikinci test alanında 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimine yönelik olarak 1:60.000 ölçekli ve 43 cm yer örnekleme aralığında $UltraCam_x$ sayısal hava kamerası ile uçuş ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. $UltraCam_x$ sayısal hava kamerasına ait elde edilen görüntüler ile geometrik doğruluk, stereo kıymetlendirme ve detay teşhisi, ortofoto üretimi ve 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi maliyeti konularında çalışmalar yapılmıştır. Üçüncü test alanında ise analog (RMK TOP15) ve sayısal hava kamerası ($UltraCam_x$) için ortak olarak seçilen bir bölgede, farklı zamanlarda ve farklı nirengiler kullanılarak dengelenmiş olan stereo modeller üzerinde geometrik doğruluk testi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu konuda önceden gerçekleştirilmiş olan çalışmalar irdelenmiştir.

Altıncı bölümde, elde edilen genel sonuçlar ele alınmış, konuyla ilgili çalışma yapmak isteyebilecek araştırıcılara önerilerde bulunulmuştur.

# 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sayısal kamera teknolojisi ilk olarak 1964 yılında başlatılan uydu algılayıcı sistemler ile başlamıştır. Standart film kameralar ile sayısal kameralar arasındaki yarış Temmuz 2000'de LH-Systems firmasının (şimdi Leica Geosystems) ADS-40 sayısal hava kamerasını, Z/I Imaging firmasının ise DMC (Digital Modular Camera) sayısal kamerasını duyurması ile başlamıştır. 2003 senesinde ise Vexcel Imaging firması 90 Mpiksel geniş formatlı bir sayısal hava kamerası olan UltraCam-D'yi film kameraların birebir karşılığı olarak anons etmiştir (Leberl ve Gruber 2003).

Hinz (1999) sayısal hava kameralarının fotogrametrik haritacılık piyasasına girmesiyle ve kullanılabilir duruma gelmeleriyle, fotoğrafın alımı ile başlayan ve sonuç ürünün (haritanın) elde edilmesiyle son bulan harita üretim zincirinin bütünüyle sayısal olmasının da mümkün hale geldiğini belirtmiştir. Ayrıca üretimdeki işlem aşamaları belirlenirken düşünülmesi gereken en önemli konulardan birinin sayısal hava kamerasında kullanılacak olan CCD algılayıcının satır tarayıcı sistem mi yoksa çerçeve (matris) yapıda mı olması gerektiğidir. Bu konuyu açıklarken Z/I Imaging firmasının DMC sayısal kamerası üzerine yoğunlaşmış ve çerçeve CCD geometrisinin üstünlüklerinden bahsetmiştir. Sayısal sistemlerin hava fotogrametrisinde kullanılması konusunda kullanıcıların doğru bir karar verebilmesi için mevcut sistemlerin ve sayısal hava kamerası sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarına ekonomik bir bakış açısı ile yaklaşmanın gerekliliğine değinmiştir. Bu amaçla, fotoğraf alımının planlanması ve çekiminden fotogrametrik nirengi, kıymetlendirme işlemleri ve sonuç ürün olan haritaların ve ortofotoların üretilmesine kadar olan tüm iş akışının bu bakış açısı ile analiz edilmesi gerekliliği üzerinde durmuştur. Bu çalışmada da benzer yöntemlerle benzer iş akışı takip edilmiş ve uçuş planlanmasından sonuç ürünün elde edilmesine kadar uzanan tüm iş akış aşamaları radyometrik ve geometrik doğruluk, avantajlar ve dezavantajlar ile maliyet açısından incelenmiştir.

Hinz (1999), Tang ve ark. (2000) ve Heier ve ark. (2001) tarafından Z/I Imaging firmasının DMC sayısal kamerasına ait genel özellikler, tasarım aşamaları, diğer sistemler arasındaki karşılaştırmalar teknik detaylar ve gelişim aşamaları incelenmiş ve araştırılmıştır. Tang ve ark. (2000) ayrıca, DMC sayısal hava

kamerasının tek kamera konisine sahip olan klasik analog kameralardan farklı olarak modüler bir tasarıma sahip birden fazla (dört pankromatik ve dört adet multispektral) kamera konisi kullanılması ile geniş kaplama alanı elde edilebilen tasarımından bahsetmiştir.

Tang ve ark. (2000) DMC kamerası ile multispektral kanallarda eş zamanlı görüntü alımının sağlanması ile kameranın geleneksel fotogrametrik kameralardan farklı olarak aynı zamanda bir uzaktan algılama cihazı olarak da düşünülebileceğine dikkat çekmiştir. Bu özelliği ile 0.8 m pankromatik ve 3.2 m multispektral yer çözünürlüğüne sahip Space Imaging firmasına ait olan Ikonos II ile farklı bir kulvarda rekabet edebileceğini iddia etmiştir. Ayrıca, satır tarayıcı bir sistem olan LH Systems firmasının ADS40 kamerasından bahsetmiş ve DMC kamerasının bu kameraya bir üstünlüğü olarak klasik çerçeve görüntüleme sistemini kullandığını, dolayısıyla mevcut sayısal fotogrametrik değerlendirme yazılımlarını kullanabildiğini, farklı veya özel yazılımlara ihtiyaç duyulmadığını belirtmiştir.

Tang ve ark. (2000) ayrıca DMC sayısal hava kamerasının görüntü alım prensiplerini dört farklı kamera konisi ile elde edilen görüntüler arasındaki geometrik ilişkileri ve bu görüntülerin birleştirilerek büyük formatlı görüntünün oluşturulması esaslarını açıklamıştır. Sonuç olarak, teknik ve pratik açılardan DMC kamerasının belirgin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

- Modüler tasarımı sayesinde yeni teknolojik eğilimlere açıklık
- Çerçeve alan dizi CCD kullanmasıyla üstün görüntü radyometrisi ve kararlı görüntü geometrisi
- Pankromatik ve multispektral görüntülerin eş zamanlı alınması
- Hızlı ve tekrarlı görüntü alım kabiliyeti
- GPS/INS kullanımı ve isteğe bağlı olarak kullanılabilmesi (zorunlu olmaması)
- Merkezi iz düşüm kurallarına uygun olarak görüntüleme yaptığından geleneksel ve mevcut sayısal fotogrametrik iş istasyonlarının ve yazılımlarının kullanılabilmesi
- Orijinal (ham) yardımcı görüntülerin (dört farklı kamera konisi görüntüsü) kullanılmasıyla, üstün ve geliştirilebilir geometrik doğruluk potansiyeli

Heier ve ark. (2001) Z/I Imaging firmasının DMC sayısal kamerasına ait genel özellikler, tasarım aşamaları, teknik özellikleri ve kamera ve CCD tasarımı hakkında bilgiler vermiş, analog kameralardan sayısal hava kameralarına geçişin kısa tarihçesinden bahsetmiştir. Uzaktan algılama sistemleri ile fotogrametrik sistemleri konumsal doğrulukları açısından karşılaştırmıştır. DMC 2001 kamerasını örnek alarak sayısal iş akışını ofis (ilk işlem- pre-processing), uçak (fotoğraf alımı), hangar/ofis (son işlem) ve ofis (veri değerlendirmesi-kıymetlendirme, ortofoto vb.) olmak üzere ortaya koymuştur. DMC 2001 kamerasındaki görüntü oluşum aşamalarını ve disk kullanım kapasitelerini açıklamıştır. Ayrıca sayısal hava kameralarının avantajları üzerinde durmuştur.

Heier (2001) sayısal hava kamerasının herkes tarafından ulaşılabilir olması ve büyük formatlı görüntüler elde edilebilir olmasıyla beraber kullanımının da yaygınlaşacağı ve bu sayede bütünüyle sayısal bir iş akış zincirinin oluşturulabileceğini söylemiştir. Ayrıca sayısal hava kameralarının kullanıma girmesi ile elde edilecek olan yüksek görüntü kalitesi ve beraberinde getireceği zaman ve maliyet kazancı, yüksek üretim seviyelerine ulaşmayı da sağlayacaktır. Bu esnek, hareket kabiliyeti yüksek ve tamamıyla sayısal iş akışının etkili ve gelişmiş veri işlem ve yönetim yöntemleri ve araçlarıyla desteklenmesi gerektiğini söylemiştir. Günümüzde kullanılan yazılımlar bu tamamıyla otomasyona dayalı sayısal iş akışını destekler seviyeye ulaşmıştır.

Perko & Gruber (2002) tarafından CCD tabanlı sayısal görüntüler ve film üzerinde laboratuvar ortamında siemensstar test diagramı kullanılarak radyometrik çözünürlük testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre filmlerin grenli yapısı nedeniyle daha parazitli olduğu, gereğinden hassas taramanın daha iyi sonuç vermediği 15 µm ile taranan filmden elde edilen bilginin 5 µm ile taranandan iyi olduğu, 12 µm çözünürlük ile doğrudan elde edilen sayısal görüntünün ise her ikisinden de fazla bilgi içerdiği tespit edilmiştir.

Leberl ve Gruber (2003), sayısal kamera teknolojisini ve görüntü formatının büyük olmasının önemini açıklamış, film kamera-sayısal kamera karşılaştırmasını gerçekleştirmiş, UltraCam$_D$ kamerası ve teknik özelliklerini irdelemiştir. Leberl ve Gruber (2003) çalışmasında Perko ve Gruber (2002)'ye de atıfta bulunarak siemens star ile laboratuar ortamında yapılan bir radyometrik çözünürlük testini ortaya

koymuştur. Leberl ve Gruber (2003) çalışması sonuçlarında sayısal hava kamerasının en can alıcı avantajları olarak film kullanımın, foto-laboratuvar ve fotoğraf tarama işlemlerinin terk edilmesi gösterilmiştir.

Gruber ve ark. (2004) sayısal hava kamerası ve sistemlerinin dört ana avantajı üzerinde durmuştur;

- Kolon boyunca ekstra masrafa ve filme ihtiyaç duymadan boyuna bindirme oranını %90'a kadar artırabilme,
- Filmin grenli yapısından kaynaklanan parazitin olmaması ve bu sayede daha yüksek kaliteli SYM üretimi,
- Eşzamanlı olarak multispektral görüntüleme kabiliyeti,
- Baştan sona kadar bütünüyle sayısal iş akışı.

Madani ve ark. (2004) tarafından ISPRS İstanbul'da sunulan projede Digital Mapping Camera (DMC) detaylı olarak incelenmiştir. DMC'nin veri işleme adımları, görüntü alımı ve yöneltme işlemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Değişik ürünler elde etmek maksadıyla, farklı arazi tiplerinde, farklı uçuş yüksekliklerinde yapılan çalışmalara ait örnekler sunulmuştur. Çalışmalara paralel olarak elde edilen sonuçlar DMC sayısal kamerasının harita üretim sürecinde rahatlıkla kullanılabileceğini ve doğruluk kriterlerini karşıladığını göstermiştir. Ayrıca, yapılan çalışma bir bütün olarak DMC kamerasının pankromatik görüntüler için çok daha iyi konumsal doğruluk, multiband gerçek renkli görüntüler ve CIR (infrared) multispektral uygulamalar için yeterli doğrulukta sonuçlar sunduğunu teyit etmiştir.

Gruber (2007) $\text{UltraCam}_D$ sayısal hava kamerasının 2003 yılında Avusturya Graz'da konuşlu olan Vexcel Imaging GmbH firması tarafından piyasaya sürülmesinden üç sene sonra Nevada Reno ASPRS 06'da yeni ve daha büyük formatlı olan sayısal hava kamerası sistemi $\text{UltraCam}_X$'in uluslararası haritacılık pazarına tanıtıldığını belirtmiştir. Gruber (2007) $\text{UltraCam}_D$ sayısal hava kamerasının halefi olan $\text{UltraCam}_X$ kamerasının teknik öxelliklerini ve $\text{UltraCam}_D$ ile aralarındaki farkları ve avantajlarını açıklamıştır. $\text{UltraCam}_X$ kamerasının kamera konisi ve CCD algılayıcıları ve bu kamera ile gerçekleştirilen bazı uygulamalar hakkında bilgiler vermiş, sonuçlarını ortaya koymuştur. Kameranın geometrik, radyometrik doğrulukları ve multispektral kabiliyetlerini irdelemiştir.

Gruber ve ark. (2008) UltraCam$_X$ kamera sisteminin, algılayıcı, veri depolama, ve veri transferi teknolojilerindeki son geliştirmeler ile hem önceki Vexcel kameraları açısından hem de piyasadaki emsalleri arasında büyük üstünlük sergilediğini belirtmiştir. Gruber ve ark. (2008)'e göre UltraCam$_X$ kamerasının en önemli avantajları;

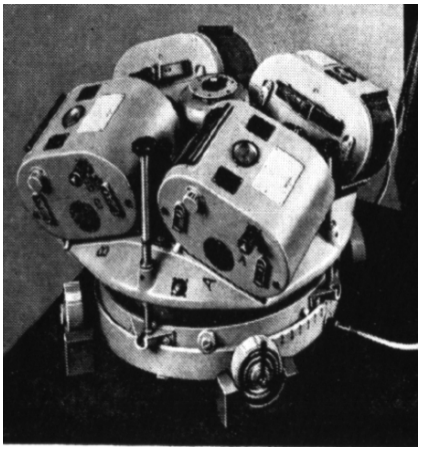
- Uçuşa dik doğrultuda 14430 piksel ve uçuş doğrultusunda 9420 piksel ile geniş görüntü formatı,
- Pankromatik kamera konileri için 100 mm ve multispektral kamera konileri için 33 mm odak uzaklıklı mükemmel optik sistem,
- Tek bir veri depolama ünitesi için 4700 görüntü depolama kapasitesi,
- Uçuş esnasında değiştirilebilir veri depolama üniteleri ile hemen hemen sınırsız görüntü alımı,
- Taşınabilir veri depolama üniteleri sayesinde hızlı veri transferi,
- Yeni veri transfer birimi sayesinde veri işleme sistemine (bürodaki) hızlı veri transferidir.

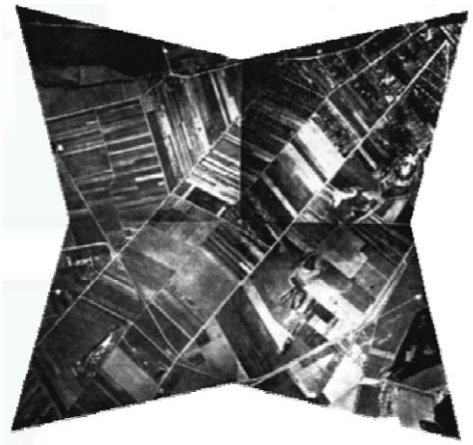
# 3. TEORİK ESASLAR

## 3.1. Hava Kameralarının Tarihsel Gelişimleri

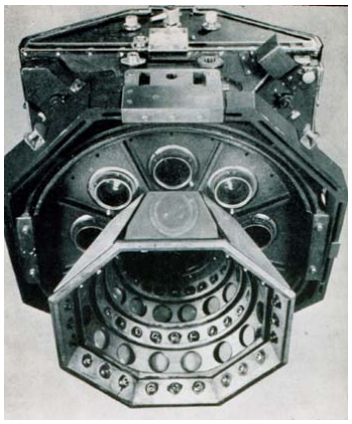
Fotoğraf 1839 yılında keşfedilmiş olmakla beraber, bunun topoğrafik harita üretiminde kullanımı, 1800'lü yılların sonuna kadar düşünce olmaktan ileri gidememiştir. Konu ile ilgili çalışmalar 1890'lı yıllarda, stereo ölçme tekniği üzerinde yoğunlaşmıştır. 1903 yılında Prof.Dr.C.Pulfrich'in stereo fotogrametrinin esaslarını ortaya koyması ve kendi adıyla anılan ilk stereo komparatoru yapması ile dünyada fotogrametri alanındaki gelişmeler hız kazanmış ve özellikle geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinde bilgisayar teknolojisinin de desteğini arkasına alarak büyük bir atılım yapmıştır (Önder 2002).

Amerika'da ise hava kameralarına ve havadan fotoğraf alımına olan ilgi 2'nci Dünya Savaşı yıllarında olağanüstü derecede artış göstermiştir. İlk kullanılan hava kameraları çok mercekli sisteme sahip olan kameralardı (Şekil 3.1). 1904 yılı içerisinde Austrian Scheimpflug balonda kullanılabilen ve merkezde bulunan bir merceğin etrafına grup olarak yerleştirilmiş yedi adet eğik mercekten oluşan bir kamera imal etmiştir (Luhman 2004). Bu çok mercekli hava kameralarından Yüzbaşı O.S.Reading'in A.B.D. Kıyı ve Jeodezik Ölçüm Dairesi için geliştirmiş olduğu 9 mercekli hava kamerası o dönem için eşsiz bir hava kamerası örneğidir. Bu hava kamerasının en önemli avantajı geniş yer kaplama alanına sahip olmasıdır. $140^0$'lik bir görüş açıklığı mevcuttur (Şekil 3.2) (Gruner 1977).





Şekil 3.1 1930: 4 x RMK C/1 4-mercekli kamera: Düşük geometrik distorsiyon, ancak sınırlı görüş açısı (Hoban 2004).





Şekil 3.2 USC&GS 9-mercekli kamerası ve bu kameraya ait New York şehrinin birleştirilmiş görüntüsü (geniş görüş açısı)

Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen ilk tek mercekli hava kamerası 1938 yılında 6 inç odak uzaklığı ve 93$^{o}$'lik görüş açıklığına sahip Type T-5'tir. Sonrasında yerini Sherman Fairchild'ın geliştirdiği Type-11'e bırakmıştır. (Hoban 2004).

Sherman Fairchild aynı zamanda hem bir iş adamı hem de havacılık endüstrisinin bir öncüsüydü. İş adamı olarak yıldızı 1'inci Dünya Savaşı yıllarında hava kameralarındaki distorsiyon problemine çözüm olarak keşfetmiş olduğu obtüratördeki döner bıçak sistemiyle parlamıştı. 1'inci Dünya Savaşı yıllarından

sonra ise enerjisini havacılık sektörüne ve özellikle hava fotogrametrisine de uygun olan uçak üretimine yönlendirmiş havacılık endüstrisinde bir öncü olmuştur. 1'inci Dünya Savaşı yıllarında edinmiş olduğu tecrübeler sonucu çift kanatlı uçakların tasarımlarının fotogrametrik uygulamalar için uygun olmadığını görmüş ve sonrasında kendine ait Fairchild Uçak Üretim Şirketini kurmuştur. İlk olarak hava fotogrametrisi uygulamalarına uygun kabin üstü tek ve kolay yükleme için katlanabilir kanatlı FC-1 ve hemen sonrasında FC-2 uçaklarını üretmiştir. (www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/History.pdf)

Fotogrametri, diğer bir deyişle harita üretim amaçlı hava kameralarının el kamerasından, sayısal kamerasına olan tarihsel gelişimi basit olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir.




Şekil 3.3 Hava kameralarının gelişimi (Analogdan sayısala) (Heier 2001)

Hava kameraları her şeyden önce metrik kameralardır ve başlıca özellikleri iç yöneltme elemanlarının bilinmesidir. Hava kamerası objektifleri, çok sayıda mercekten oluşan bir sistemdir. İzdüşüm merkezinden geçen ışın sapmadan fotoğraf düzlemine ulaşır. Modern analog hava kameralarında kamera distorsiyon hatası 5µ'dan daha küçüktür (Yaşayan 1997).

Hava fotogrametrisi için resim çekiminde kullanılan kameralar (hava kameraları), görüntü düzlemi sabit olan yani mesafe ayarı yapılamayan kameralardır. Objektifleri hassas, ayırma derecesi yüksek ve distorsiyonları küçüktür. Özel yapıdaki bir uçağa, bir helikoptere ve bazen bir uyduya monte edilerek kullanılırlar. (Yaşayan 1997).

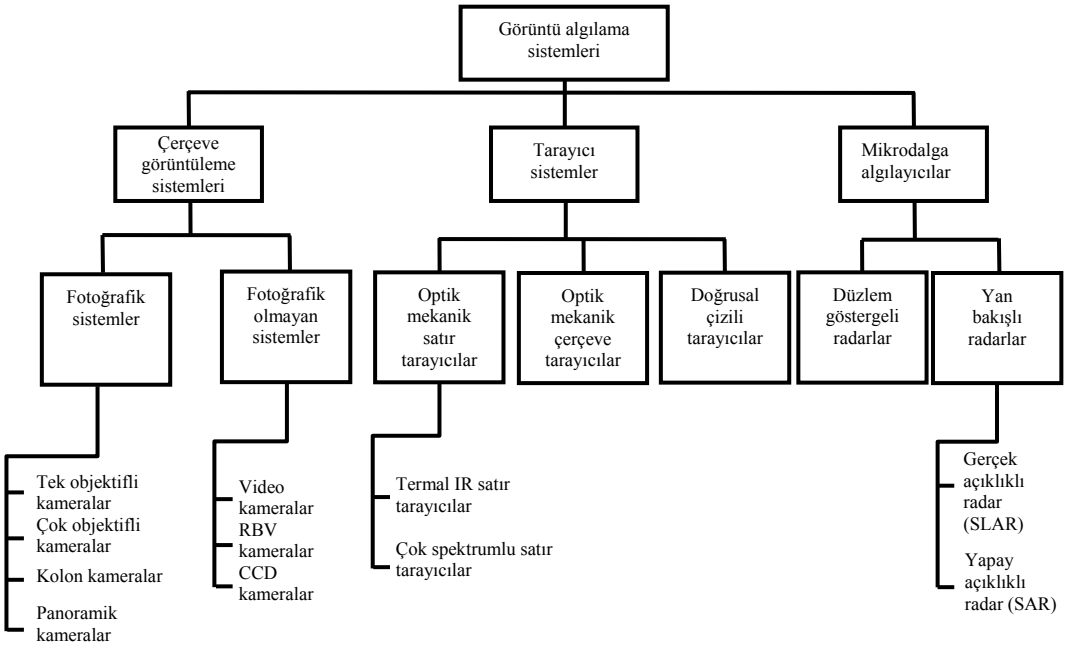
### 3.2. Sayısal hava kameraları

Sayısal hava kameraları ve özelliklerinden bahsetmeden önce "fotoğraf" ve "görüntü" terimleri arasındaki farklılığın açıklanması gerekmektedir. Fotoğraf deyimi, genellikle fotoğrafik teknikler kullanılarak film üzerine kaydedilen görüntüler için geçerlidir. Daha genel terim olan "görüntü" ise elde edilen verilerin her tür resimli gösterimi için kullanılır. Bu nedenle, orijinal kayıt donanımı, mercek ve fotoğrafik emülsiyondan çok kristal dedektör kullanımını gerekli kıldığından, normalde görüntü olarak tanımlanan tarayıcı verileri, fotoğrafik ürün oluşturmada kullanılabilmektedir. Özetlenecek olursa, her fotoğraf bir görüntüdür; ancak her görüntü bir fotoğraf olarak nitelendirilemez denilebilir.

Görüntü oluşturan sistemler, çalışma biçimi ve çalıştığı spektral alanı esas alan iki temel ölçüte göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir. Buna göre;

- Aynı anda tüm görüntü çerçevesinin (format) pozlandığı ve fotoğrafik (veya fotoğrafik olmayan) işlemlerle görünen ve yansıyan yakın kızılötesi enerjinin kayıt edildiği sistemler (Çerçeve Görüntüleme Sistemleri)
- Görüntü tarayarak çalışan ve kristal dedektör elemanları aracılığı ile spektrumun görünen, yansıyan ve yayılan kızılötesi bölgelerindeki ışımayı kayıt eden sistemler (Tarayıcılar)
- Aktif olarak oluşturulup yeryüzüne gönderilen ve buradan yansıyan mikrodalga enerjinin pulslarına ait zamanı ölçüm esasına göre çalışan sistemler (Mikrodalga Algılayıcılar)

Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.4) görüntü oluşturan sistemlerin sınıflandırılması şematik olarak gösterilmiştir. Burada, çerçeve görüntüleme sistemleri ve tarayıcı sistemler incelenecek olup mikrodalga algılayıcılardan bahsedilmeyecektir.




Şekil 3.4 Görüntü oluşturan sistemlerin sınıflandırılması

Honkavaara'ya (2008) göre ise pasif elektro-optik sistemlerin genel özellikleri Çizelge 3.1'deki gibidir.

Çizelge 3.1 Pasif elektro-optik sistemlerin genel özellikleri

| **Özellikler** | **Seçenekler** |
|---|---|
| Algılayıcı | CCD, CMOS |
| Görüntü Formatı | Dikdörtgen dizilişli (küçük-, orta- veya büyük-format), satır dizilişli |
| Görüntü Geometrisi | Çerçeve, satır (pushbroom), panoramik, nokta (whiskbroom) |
| Kapsama Alanı | Dar, orta, geniş-açılı, vb. |
| Spektral Duyarlılık | Monokromatik, renkli, renkli-kızılötesi (CIR), termal, multispektral (4-10 kanallı) ve hiper-spektral (örn.: 200 veya daha fazla kanallı) |
| Radyometri | Lineer, non-lineer (lineer olmayan), kalibre edilmiş, kalibre edilmemiş |
| Konumsal Çözünürlük | Yer örnekleme mesafesi (yer çözünürlüğü): cm, dm ve m sınıflandırması |
| Geometri | Metrik, metrik olmayan, kalibre edilmiş, kalibre edilmemiş, doğruluk potansiyeli: cm, dm ve m sınıflandırması |
| Entegrasyon | Büyük formatlı görüntü sağlayan çok mercekli kameralar; farklı multispektral kanallara sahip çok mercekli kameralar; görüntülenecek olan yüzeyin farklı görüntülerini sağlayacak eğik ve dik (düşey) kameralar; Kameralar ve lazer tarayıcılar; Görüntüleme sistemleri ve GPS/IMU sistemleri |

Bu tezin konusu sayısal hava kameraları ve topoğrafik uygulamalarda kullanımı olduğundan, bu bölümde sadece sayısal sistemler incelenecektir. Fotogrametrik sayısal hava kamerası sistemlerinin bileşenleri ve fotogrametrik sistem performansını etkileyen faktörler Çizelge 3.2'de sunulmuştur (Honkavaara 2008).

Çizelge 3.2 Fotogrametrik sayısal hava kamerası sistemlerinin bileşenleri ve fotogrametrik sistem performansını etkileyen faktörler. (*) Sadece görüntü oluşturma sistemi (yazılımları) ile ilgili faktörler.

| | | |
|---|---|---|
| Sistem | Algılayıcı | Mercekler, CCD, Filtreler, sinyal bölücü (beam splitter), obtüratör |
| | Diğer sistem bileşenleri | Kamera mauntu, kamera penceresi, doğrudan konumlana sistemi (GPS/IMU), uçak |
| | Kalibrasyon | Modeller, parametreler ve geometri, konumsal çözünürlük ve radyometri metotları |
| | Veri işleme yazılımı | Görüntü işleme, doğrudan coğrafi konumlama işlemleri, coğrafi konumlama (georeferencing)*, görüntünün yeniden oluşturulması (restoration)*, radyometrik düzeltmeler* |
| Fotogrametrik Ağ | Blok yapısı | Uçuş kolonu sayısı, görüntü (fotoğraf) sayısı, ileri ve yan bindirmeler, rölatif yöneltmeler |
| | Kontrol | Yer Kontrol Noktaları*, doğrudan konumlama ölçümleri, GPS yer istasyonları, atmosferik gözlemler*, yerinde (arazide) yansıyan ve yayılan ışık ölçümleri, yansıma referans hedefleri*,konumsal çözünürlük referans hedefleri* |
| Durum (Şartlar) | Sistem ayarları | Diafram açıklığı, pozlama zamanı, FMC, uçuş esnasında veri işleme (Örn. sıkıştırma), |
| | Sistemi etkileyen çevresel etkenler | Uçağın irtifası, titreşim ve salınımı, hızı, ısı, basınç, nem |
| | Atmosfer | Refraksiyon, Mie ve Rayleigh saçılımı (görünürlük), soğurma, türbülans, bulut oranı, ısı, basınç, nem |
| | Yansıma | Direk gün ışığı, karışık ışık, güneşin açısı, ışığın spektral dağılımı |
| Cisim (Hedef) | | Yapısı, kontrastı, anizotropisi (eşyönsüzlüğü) ve komşu cisimler |

### 3.2.1. Çerçeve görüntüleme sistemleri

Aynı zaman diliminde, tüm görüntü çerçevesinin pozlandığı algılama sistemlerine çerçeve görüntüleme sistemleri adı verilir. En genel örneği hava kamerası olup, kamera obtüratörü (shutter) ile pozlanan her çerçeve, fotoğrafik

emülsiyon üzerine kayıt edilir. Kayıt ortamı her zaman fotoğrafik olmayabilir. Bu tür sistemlerin en ayırt edici özelliği, tüm görüntülerin perspektif geometriye sahip olmaları ve analiz işleminde geleneksel fotogrametrik ölçme tekniklerinin kullanılmasıdır.

Hava fotogrametrisi ve optik uzaktan algılama metotları 1990'lı yıllardan itibaren film tabanlı optik algılayıcılardan multispektral kabiliyetlere de sahip olan bütünüyle sayısal elektro-optik algılayıcılara ve aktif elektronik algılayıcılara doğru bir evrim geçirmiştir. Çerçeve yapıda olan CCD algılayıcıların satır tarayıcı sistemlere nazaran kararlı geometrik yapıları nedeniyle, daha avantajlı bir durumda oldukları söylenebilir. CCD algılayıcıları yakın resim fotogrametrisinde ilk olarak kullanan Kodak firması olsa da, uzaktan algılama uygulamaları ve hava fotogrametrisine uygun olan geniş alanlı 7000*9000 çözünürlüğe, 12 μm*12 μm piksel büyüklüğüne sahip ilk CCD tasarımını Philips Imaging Technology firması tarafından Einhoven/Hollanda'da gerçekleştirmiştir (Fritsch 1996).

Analitik fotogrametriden sayısal fotogrametriye geçiş esnasında, teknolojik gelişmenin en mantıksal sonucu, film bazlı fotoğrafların taranması yerine, direk olarak sayısal kamera kullanarak klasik hava kameraları ile benzer iç yöneltme, kaplama alanı ve çözünürlüğe sahip görüntü elde etme isteği olmuştur. Çerçeve (matris) CCD algılayıcıların en belirgin avantajları; tüm pikseller aynı anda görüntüleme yapacağı için anlık platform hareketleri görüntü geometrisinin fotoğrafik (film tabanlı) çerçeve kameralar ile aynı olması (kaydedilen görüntünüm tanımlanmış ve kararlı geometrisi), görüntü sürüklenmesini önleyici sistem (FMS), kare piksel yapısı, alışılmış merkezi izdüşüm kurallarına uygun görüntü kaydı ve mevcut yazılımların kullanılabilmesidir (Hinz 1999).

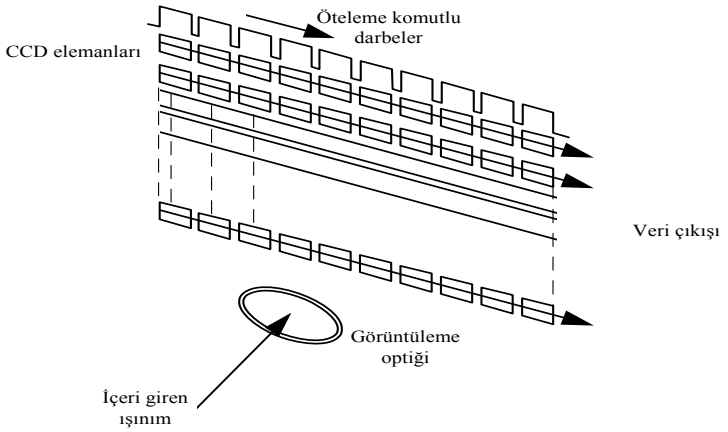
İlk zamanlarda sayısal hava kamaralarının küçük formatlı oluşu, bu kameraların topoğrafik harita üretiminde kullanılmalarını kısıtlamaktaydı. Gelişen teknolojiye paralel olarak büyük formatlı sayısal hava kameraları geliştirilmiş ve her ölçekte topoğrafik haritalama çalışmalarında kullanılabilir hale gelmiştir.

Çerçeve görüntüleme sistemlerinin en genel örnekleri video kameralar, dönen ışınlı vidikon (RBV) kameralar ve CCD kameralardır. Bu çalışmada günümüzde fotogrametrik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmakta olan alan dizi CCD algılayıcılar üzerinde durulacaktır.

### 3.2.2. Alan dizi CCD (Charge Coupled Device) kameralar

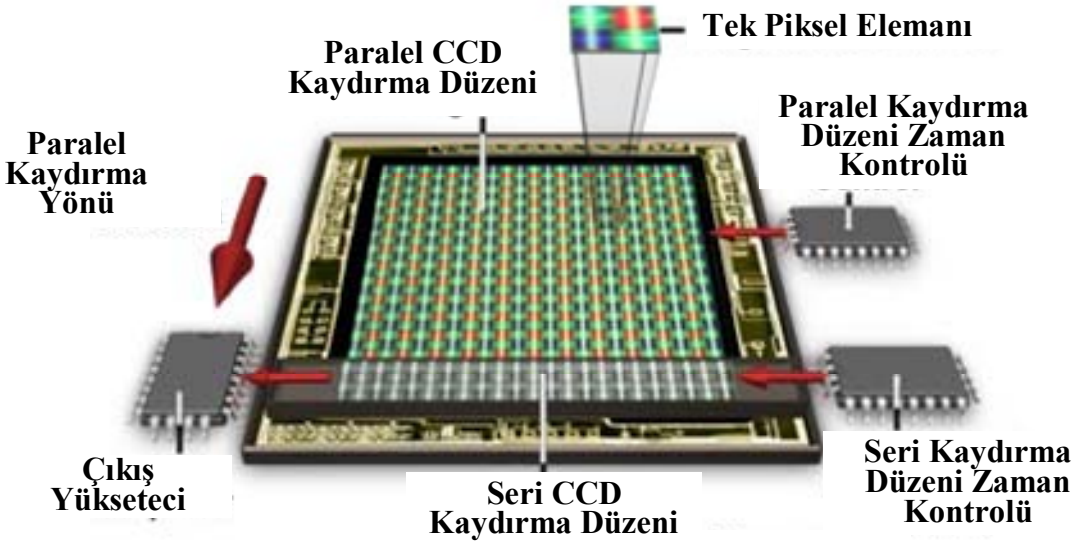
Bu kamera sistemleri, elektron görüntülemedeki en son gelişmelerden biridir. Genellikle, bir dizi silisyum diyottan oluşan birleşik ışığa duyarlı yüzey obtüratörlü optik sistem arkasına yerleştirilmiştir.

Her silisyum diyot Şekil 3.5'da görüldüğü gibi, bir dizi tüm devre MOS (Metaloksit -yarı iletkeni) düzenindeki yük (şarj) depolama hücresine bağlanmıştır. Işık, dizideki bir diyota çarptığında, çarpan ışıkla orantılı bir akım oluşturur ve bu akım, diyotun arkasındaki yük hücresine geçirilir. Yük hücrelerinin hepsi, hücreleri ardışık biçimde okuması için uyarılabilen, bir elektronik ötelemeli kaydedicinin parçası olabilir. Çıkış sinyalleri, görüntüyü yeniden oluşturmak için öteleme darbeleri ile korelasyonludur.




Şekil 3.5 CCD Görüntüleyici Sistemi

CCD'ler kararlı katı yapıda elektronik cihazlardır. Görüntü algılama ve kaydetme ile ilgili hemen her tür cihaz için kullanılır. CCD'nin yüzeyi binlerce bağımsız ışığa duyarlı pikselin birleşiminden meydana gelir. Pozlama sonrasında pikseller tarafından algılanan enerji CCD yüzeyinde iki yönlü olarak kayarak çıkış yükseltecine, buradan da depolama ünitesine aktarılır. Işık duyarlılığı filme nazaran 50-100 kat fazladır (Şekil 3.6) (www.astro.virginia.edu).




Şekil 3.6 Çerçeve (matris) CCD Mimarisi

### 3.2.3. Tarayıcı sistemler

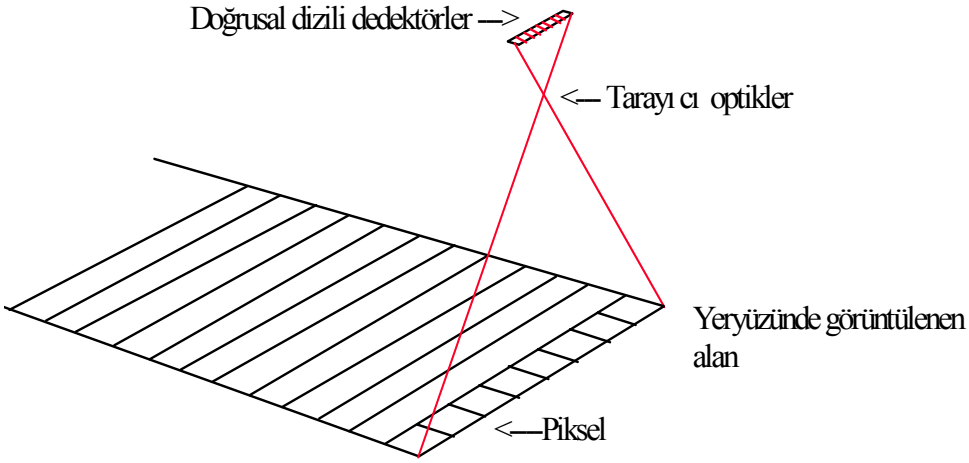
Tarayıcı sistemler çalışma ve görüntüleme prensipleri açısından, optik-mekanik satır tarayıcılar, optik-mekanik çerçeve tarayıcılar ve doğrusal dizili (pushbroom) tarayıcılar olmak üzere üçe ayrılırlar. Bu çalışmada günümüzde piyasada olan sayısal hava kameralarında yaygın olarak kullanılanlar doğrusal dizili (pushbroom) tarayıcılar üzerinde durulacaktır.

#### 3.2.3.1. Doğrusal dizili (pushbroom) tarayıcılar

Doğrusal dizili ya da pushbroom tarayıcılar optik-mekanik tasarımlı tarayıcılardan önemli derecede farklılıklar gösterir. Gerçekte bu tür sistemler tarayıcı olarak isimlendirilmelerine karşın onları diğerlerinden ayıran başlıca özellik, görüntünün bilinen tarzda bir tarama işlemine uğramamasıdır. Görüntünün her satırı, sistemin odak düzlemine yerleştirilmiş CCD dedektörlerinin tek sıralı doğrusal dizisi

üzerine doğrudan düşen ışınım ölçülerek elde edilir (Şekil 3.7). Daha sonra, her satır elektronik olarak taranır ve ışınım değerleri manyetik bant üzerine veya sistem dâhilinde bulunan bir depolama diskine kaydedilir. Evvelce olduğu gibi, uçak ya da uydunun ileri hareketi ile ardışık görüntü satırları oluşturulur.

Görüntünün geometrik kalitesinde ortaya çıkabilecek azalmayı önlemek için her bir dedektör elemanının kalibrasyonuna özen göstermek gerekmektedir.




Şekil 3.7 Doğrusal Dizili (Pushbroom) Tarayıcının Çalışma Esası

### 3.3. Çeşitli Sayısal Hava Kameralarının İncelenmesi

Bu bölümde günümüzde piyasada bulunan ve çoğunluğu faal olarak kullanılan sayısal hava kameraları hakkında teorik bilgiler verilecek ve bu kameralara ait teknik özelliklerden bahsedilecektir.

Günümüzde ticari alanda kullanılan sayısal hava kameraları (CCD algılayıcılı olanlar) tasarım ve çalışma prensipleri göz önüne alınarak iki ayrı kategoride incelenebilir. Satır tarayıcılı sistemler ve matris (çerçeve) görüntüleme sistemine sahip olanlar:

- Doğrusal satır tarayıcı sistemler “push-broom” tarayıcılar olarak da adlandırılırlar. Bu görüntü alım sistemlerinde uçuş yapılan kolon boyunca sürekli ve kesintisiz bir görüntü elde edilir. Dolayısıyla tek ve bağımsız görüntülerden oluşan

bir uçuş kolonu mevcut değildir. Doğrusal satır tarayıcı sistemler, uçağın ileri hareketi esnasında uçağa yerleştirilmiş olan bir veya daha fazla doğrusal satır algılayıcının arazi yüzeyini taraması ile görüntü alımı yapar (Trinder 2005). Genellikle, bu tür sayısal hava kameralarında kamera konisi içerisine üç farklı doğrultuda (ileri, geri ve düşey) yerleştirilmiş, üç adet algılayıcı bulunur, bu sayede uçağın kolon üzerinde tek bir uçuşu ile üç ayrı bindirmeli görüntü elde edilebilir. Bu nedenle, oluşan görüntünün geometrisi perspektif projeksiyon (merkezi izdüşüm) kurallarına uygun değildir ve görüntünün işlenmesi için özel yazılımlar gerektirir. Yine bu tür kameralarda GPS/IMU sistemlerinin kullanımı bir kolaylık değil, zorunluluktur (Cramer 2004, Zakiewicz 2008). Jena Airborne Scanner (Jas 150s), Wehrli'nin 3-DAS-1 sistemi ve Leica-Geosystem firmasının ADS40 ve 2nci jenerasyon ADS40 sayısal hava kameraları "push-broom" teknolojisine örnek gösterilebilecek olan kameralardır (Lemmens 2008).

- Alan dizi CCD algılayıcılar, çerçeve görüntüleme sistemleri olarak adlandırılır ve geleneksel işlem adımlarına uygun olan çözümler sunarlar. Çerçeve yapıdaki görüntüler standart fotogrametrik yazılımlar kullanılarak işlenebilir. Teorik olarak, sayısal hava kameraları yüksek kaliteli bir GPS/IMU sistemi ile beraber kullanılırsa, fotogrametrik nirengi ve dengeleme işlemlerine (şu an için tam anlamıyla mümkün olmasa da yakın bir gelecekte gerçekleşecektir.) ihtiyaç duyulmayacaktır. Applanix Digital Sensor System DSS (422 ve 439 modelleri), DIMAC Systems DiMAC 2.0, IGI Digi CAM, Intergraph Digital Mapping Camera (DMC), Microsoft/Vexcel Large Format Digital Aerial Frame Cameras: UltraCamX ve UltraCamD, The Aerial Industrial Camera (AIC) from RolleiMetric alan dizi CCD algılayıcılı (çerçeve görüntüleme sistemine sahip) hava kameralarına örnek gösterilebilecek olan kameralardır (Zakiewicz 2008).

Sayısal hava kameralarının film bazlı hava kameralarının yerine geçmeye başlaması Temmuz 2000 yılında LH-Systems firmasının (şimdiki adıyla Leica Geosystems) ADS-40 kamerasını, Z/I Imaging firmasının ise DMC kamerasını üretmesi ve piyasaya sürmesi ile olmuştur. Mayıs 2003 tarihinde ise UltraCam D geniş formatlı çerçeve görüntüleme sistemli sayısal hava kamerası piyasaya sürülmüştür. Bu kamera 90 Mpiksellik geniş formatlı ve film bazlı hava kameralarının birebir karşılığı olduğu düşünülen bir kamerasıdır ve film bazlı hava

kameralarını birebir karşılaması için film bazlı çerçeve görüntüleme sistemli hava kameralarının geleneksel iyi bilinen iş akışı kullanılmıştır.

Bu kameranın ortaya koymuş olduğu ilk avantajlar, tüm sayısal iş akışında kolaylık, film, foto-laboratuar ve fotoğraf tarama işlemlerinin son bulmasıyla masraflardaki azalmadır. (Leberl ve Gruber 2003). Bu ilk avantajlardan öte, sayısal kameralar tüm fotogrametrideki mevcut durumu geliştirerek, fotogrametrik iş akışına sayısız seçenekler getirmiş ve diğer bir deyişle yaklaşımları "kökten" değiştirmiştir. Getirdiği en önemli yenilik, fotoğraf alımında herhangi bir fazladan maliyet gerektirmeksizin ileri bindirme oranının inanılmaz oranda artırılması ve fotogrametrik iş akışındaki yüksek seviyede otomasyondur. Ayrıca, fotogrametrik yazılımların, kullanılan mevcut stereo çözümlerden (2-ışınlı), çoklu ışınlı çözümlemelere cevap verecek şekilde uyarlanma gereksinimi de ortaya çıkmıştır.

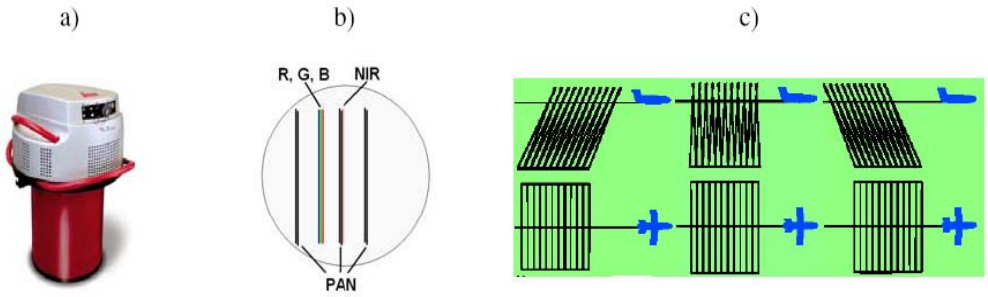
Bunun yanında, çoklu ışın tasarımı sayısal kameralar için yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü kaydederken, aynı anda renkli ve infrared görüntü kaydedilmesine de imkân tanımaktadır. (Leberl ve Gruber 2003)

Piyasada çok çeşitli kameralar bulunmakla beraber, tümü hakkında açıklayıcı ve teknik bilgi vermek mümkün değildir. Sayısal kameralar temel olarak görüntüleme geometrisi, algılayıcı sayısı (kamera konisi sayısı veya CCD sayısı) ve görüntü kaydetme teknikleri açısından çeşitli farklılıklar göstermektedir. Piyasadaki kameralar ve temel görüntüleme özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

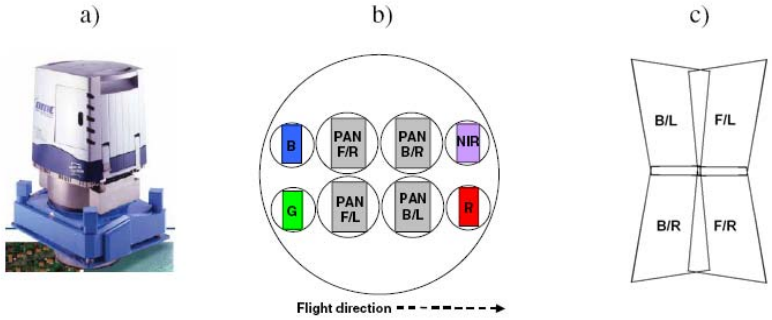
Çizelge 3.3 Piyasadaki kameralar ve temel görüntüleme özellikleri (Cramer 2003)

| | Algılayıcı | Geometri | | Algılayıcı Sayısı | | Görüntü Kaydı | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Satır | Çerçeve | Tek | Çoklu | Senkronize | Sintopik |
| 1 | ADS 40 | X | | X | | X | |
| 2 | DMC | | X | | X | X | |
| 3 | Ultracam | | X | | X | | X |
| 4 | DSS | | X | X | | X | |
| 5 | HRSC-A | X | | X | | X | |
| 6 | DIMAC | | X | X | | X | |
| 7 | IGN | | X | X | | X | |

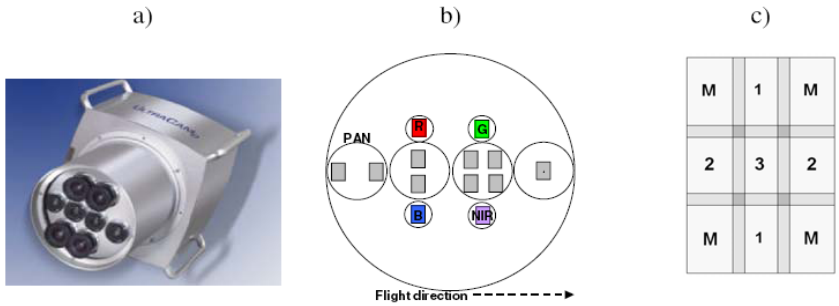
Tez çalışmasının bu bölümünde günümüzde kullanımı diğerlerine nazaran yaygınlaşmış olan ve aynı zamanda topoğrafik harita (büyük ve orta ölçekli) üretim ihtiyaçlarına cevap verebileceği düşünülen Leica-Geosystems ADS40, Intergraph Digital Mapping Camera (DMC) ve Microsoft/Vexcel Large Format Digital Aerial Frame Cameras: $UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kameraları incelenecektir. İncelenecek olan sayısal hava kameraları ve temel görüntüleme prensipleri aşağıda sıralanmıştır (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10) .




Şekil 3.8 a) ADS40 (Leica Geosystems) b) Odak düzleminin yerleşimi c) Üç satırlı stereo görüntüleme prensibi (Fricker ve ark. 1999)




Şekil 3.9 a) DMC (Intergraph) b) Sekiz adet kamera konisinin yerleşimi (F, B, R, L sırasıyla ileri, geri, sağ ve sol konvergens açılarını göstermektedir c) Dört adet eğik görüntüden büyük formatlı pankromatik görüntü oluşturma prensibi




Şekil 3.10 a) UltraCam$_D$ (© Microsoft) b) Sekiz adet kamera konisinin yerleşimi c) Dokuz görüntü bileşeninden büyük formatlı pankromatik görüntü oluşturma prensibi (Honkavaara 2008).

Uygulamada kullanılan Microsoft/Vexcel UltraCam$_X$ ve bu kameranın bir önceki versiyonu olan ve temel olarak aynı teknik özelliklere sahip olan Microsoft/Vexcel Ultracam$_D$ kamerası ile ilgili olarak daha detaylı bilgi verilecektir.

### 3.3.1. Z/I Imaging's Digital Mapping Camera (DMC)

Sayısal hava kameralarından beklenen, en az analog hava kamerası doğruluk kriterlerini karşılayabilir olmasıdır. Bu amaçla Z/I Imaging firması, 2003 yılı başlarında sayısal işlem akışı içerisindeki bütün ihtiyaçları karşılayacak şekilde çerçeve görüntüleme sistemi ile çalışan modüler bir sistem tasarlayarak piyasaya sunmuştur (Madani ve ark. 2004). Sistem, geniş bir alan için görüntü yorumlama, haritalama, sayısal görüntü transferi işlemlerine olanak sağlamaktadır (SAM, ortofoto üretimi, vs.) (Şekil 3.11).

Bütün sayısal hava kameralarının ortak bir özelliği olarak, sayısal hava kameralarının kullanılması ile klasik hava kameraları ile fotoğraf alımı esnasında ve sonrasında yapılması gereken birçok işlem adımı elimine edilebilir. Film, film banyo işlemleri, taranması ve fotogrametrik nirengi çalışmaları film bazlı klasik uçuş görevlerinin temel giderlerini oluşturmaktadır. Sayısal hava kameralarının kullanılması ile filmin kendisi, zahmetli ve zaman alıcı banyo işlemleri ile film tarama işlemleri elimine edilir, maliyet ve zaman tasarrufu sağlanmış olur.



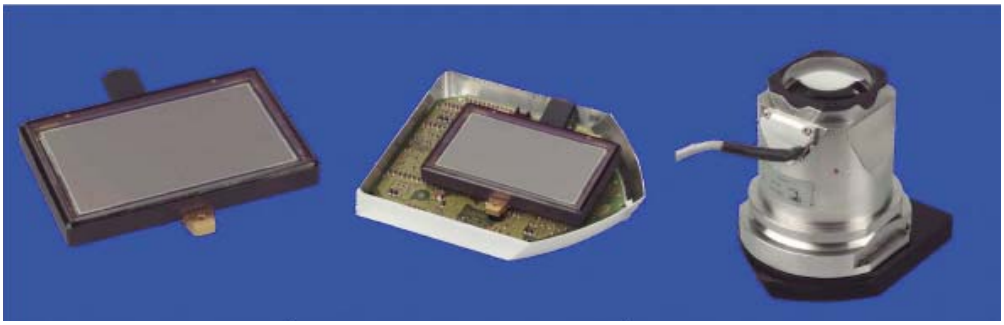

Şekil 3.11 Z/I Imaging's Digital Mapping Camera (DMC)

### 3.3.1.1. Sistem bileşenleri

- DMC ana kamera bileşenleri
  - 4 adet yüksek çözünürlüklü 7k x 4k kamera kafası
  - 4 adet multispektral 3k x 2k kamera kafası
  - Kamera elektronik bileşeni
  - 3 adet her biri 576 GB ,toplamda 1.7 TerraByte (4400 görüntü depolama kapasitesine sahip) uçuş veri depolama diski
- Z/I Görev Yazılımı
- Z/I In-Flight yazılımı, hava algılayıcı yönetim sistemi ve uçuş yönetim sistemi olan ASMS'in yeni sürümüdür ve aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:
  - In-Flight çekirdek yazılımı
  - In-Fligh algılayıcı kontrol modülü (DMC için)
  - Geliştirilmiş bilgisayar sistemi (dizüstü bilgisayar ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır)
  - Video kamera
  - Pilot ekranı
- T-AS Gyro sabitlenmiş kamera süspansiyon bağlantısı
- T-AS Adaptör uyarı kiti
- Yer bazlı post-proses sistemi içeriği (www.intergraph.co.za/downloads)

### 3.3.1.2. Sistem özellikleri

DMC kamerasında CCD'ler tam bir çerçeve yapısında, büyük optik kaplama alanı sağlayacak şekilde, yüksek hassasiyetle yerleştirilmiş ve Philips firması tarafından Eindhoven'da üretilmişlerdir. 12 bit'ten büyük yüksek lineer dinamik aralığa sahip olarak 12μm *12μm piksel boyutunda üretilmişlerdir. CCD'lerin mimarisi çipin dört köşesinde okuma yapabilmeyi mümkün kılar. Çerçeve algılama sisteminin (CCD), iki boyutlu olmasından dolayı, elde edilen görüntünün X ve Y doğrultusunda bilinen hassas bir geometrisi vardır. Oluşturulan bu algılayıcı mimarisi, her iki saniyede bir görüntü alma olanağı sağlar ki, bu da iyi bir sinyal/gürültü (S/N) oranı elde etmek için çok önemlidir. CCD kontrolünü ve sayısal sinyallerin okunmasını sağlayan, sinyal zamanlamasını ayarlayan ve en uçta bulunan elektronik devreler düşük gürültü performansı elde edebilmek için CCD'lerin hemen arkasına yerleştirilmişlerdir. CCD sinyallerinin sayısallaştırılması 12 bit çözünürlükle gerçekleştirilir (Hinz ve ark. 2001). (Şekil 3.12).



7k * 4k CCD görüntü algılayıcı

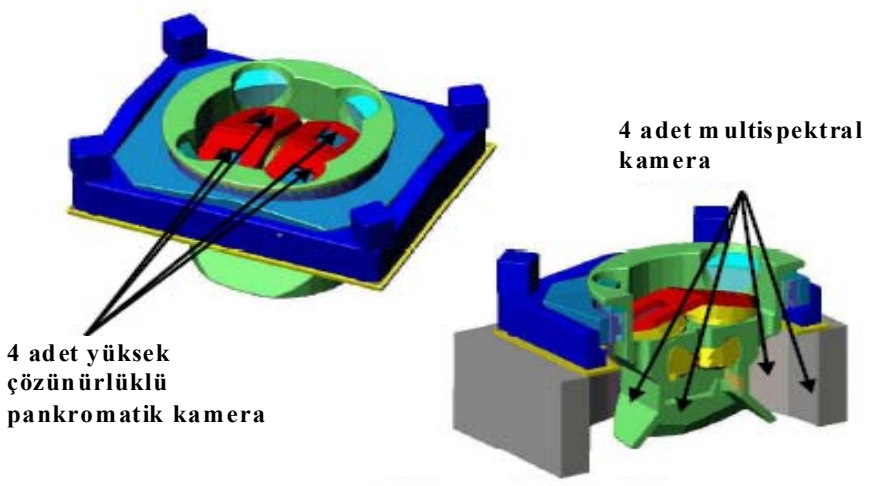
CCD-çip paketi ve elektroniği

Fotogrametrik mercek, obtüratör, diyafram ve CCD ile komple kamera Kafası

Şekil 3.12 7k * 4k piksek çözünürlüklü DMC kamera kafası (Zeitler ve ark. 2002)

DMC kamerası konisi içerisinde dört pankromatik ve dört adet multispektral kamera modülü (kafası) mevcuttur. Pankromatik kamera modülleri maksimum kaplama alanı oluşturmak için hafifçe eğik bir vaziyette aşağı bakar bir şekilde yerleştirilmişlerdir (Şekil 3.13).

Yüksek çözünürlüklü RGB görüntünün elde edilebilmesi için ilk olarak, kameranın üretimi esnasında sekiz bağımsız kamera kafası laboratuar ortamında radyometrik ve geometrik olarak kalibre edilir. Bu kalibrasyon sırasında elde edilen bilgiler, fotoğraf alımı esnasında ve sonrasında bütünleşik, yüksek çözünürlüklü sonuç görüntünün elde edilmesi aşamasında dört pankromatik ve dört multispektral görüntünün birleştirilmesi amacıyla kullanılacaktır (Zeitler ve ark. 2002).




Şekil 3.13 Bağımsız kamera kafalarının DMC kamera konisi içerisine yerleşimi

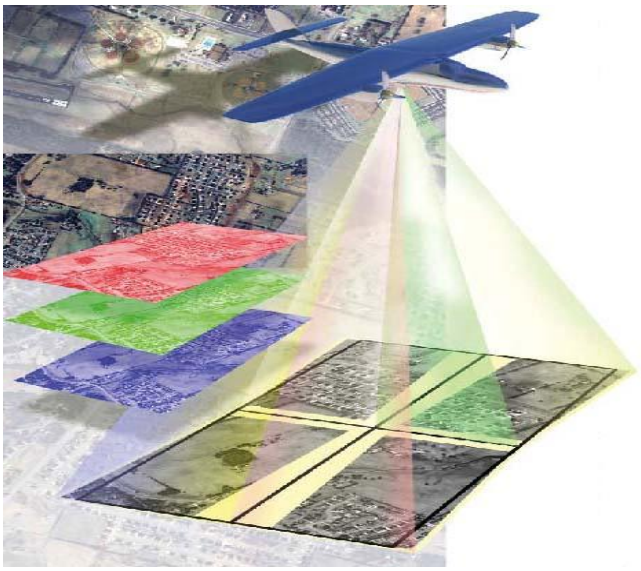
Pankromatik kamera kafalarının DMC kamera konisi içerisine yerleşimleri, üçü projeksiyon merkezi (resim orta noktası) koordinatları (*xyz*) ve üçü bu kamera kafalarının kamera konisi içerisindeki eğiklikleri (dönüklük parametreleri ($\omega\varphi\kappa$)) olan dört set altı adet dış yöneltme parametresi ile modellenir. DMC kamera konisi içerisindeki pankromatik kamera kafalarının projeksiyon merkezlerinin koordinatları (*xyz*) hassas bir şekilde bilinirken, dönüklük açılarının gerekli hassasiyette tespiti mümkün olmamaktadır. Bu açıların hassas bir şekilde tespit edilmesi, dört CCD görüntüsünün birleşiminden oluşan tek ve büyük yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntünün elde edilebilmesi için gereklidir. Bu açıların belirlenmesi işlemine *platform kalibrasyonu* adı verilir. Burada belirlenecek olan dönüklük parametrelerinin, kamera konisinin iç geometrik kararlılığı için olduğu, kameranın yer koordinat sistemine göre olan konum ve dönüklükleri ile ilgisi olmadığı bilinmelidir. (Zeitler ve ark. 2002)

Platform kalibrasyonu için aşağıdaki veriler girdi olarak kullanılır (Zeitler ve ark. 2002):

- Dört pankromatik görüntü
- Dört pankromatik görüntüye ait mercek distorsiyon değerleri
- Kamera konisi içerisindeki pankromatik kameralara ait projeksiyon merkezlerinin hassas konum bilgileri (resim orta nokta koordinatları)
- Yöneltme parametrelerinin (açılarının) yaklaşık değerleri (kamera kafası eğiklikleri)
- Pankromatik kamera kafalarının kalibre edilmiş odak uzaklıkları
- Yerden olan uçuş yüksekliği

DMC kamerasındaki sekiz ayrı kamera modülü bağımsız ünitelerdir ve merkezi izdüşüm ile kayıt yaparlar (Şekil 3.14).

Sonuç (bütünleşik) görüntü, sekiz ayrı kamera için ayrı mercek sistemleri kullanılmaya başlanmasından itibaren, tek ve büyük çaplı mercek sistemlerine nazaran daha hassas optik performans değerlerine ulaşmıştır. Yüksek çözünürlüklü pankromatik kanal, 120 mm odak uzaklıklı f/4 açıklığında yüksek performanslı mercek sistemine sahip, dört adet 7k*4k lık geniş çerçeve tipi CCD ile 120 lp/mm.lik bir optik çözünürlük sağlar.



Şekil 3.14 Bağımsız kamera konileri ve merkezi izdüşüm ile görüntü alımı

Sonuç görüntü (pankromatik), aynı anda kayıt yapan, bu dört adet bağımsız kameradan elde edilen görüntülerin birleştirilmesi ile elde edilir. Kamera tasarımı, homojen, kesintisiz ve 7680 piksel uçuş doğrultusunda, 13824 piksel uçuş doğrultusuna dik istikamette yer çözünürlüğüne sahip yekpare bir görüntünün elde edilmesini sağlar (Neuman 2004) (Şekil 3.14 ve 3.15).



Şekil 3.15 Bağımsız, sekiz ayrı kamera modülü (ortadaki dördü pankromatik, kenarlarda ikişer olanlar multispektral)

Renkli (true veya false) görüntülerin eşzamanlı alımı için dört multispektral kanal, kamera elektronik ünitesi (kamera konisi) içerisinde birleştirilmiştir. Yüksek kalitede renk ayrımına ulaşabilmek için her ayrı renk kanalı, 25 mm. odak uzaklığı, f/4 maksimum açıklığı olan yüksek performanslı lens sistemine, her renk için bir adet 3k * 2k CCD çipine ve organik olmayan materyalden yapılmış yüksek performanslı kamera filtresine sahiptir.

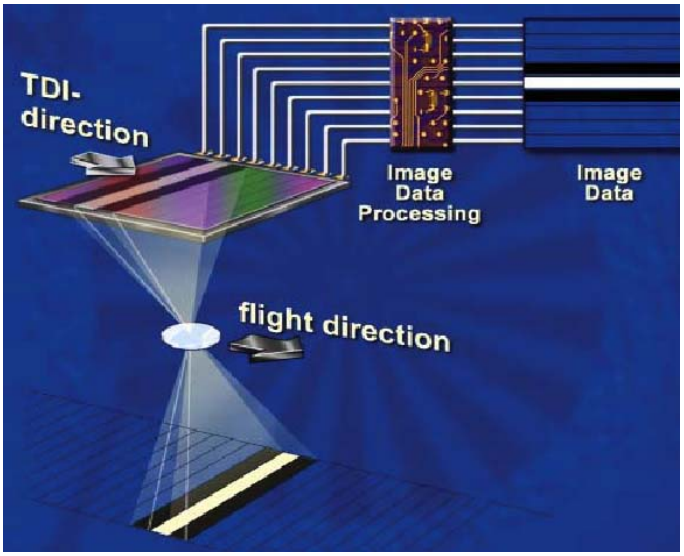
Kameralar özel olarak tasarlanmış, sağlam, sert ve stabil bir optik taşıyıcı sistem içerisine yerleştirilmiştir. Bu sistem her bir kamera ekseninin birbirlerine göre hassas kalibrasyonunu ve stabil olarak kalmasını sağlamaktadır. Kamera, sinyal işlemleri ile birlikte, öncül elektronik işlemler, analog-sayısal dönüşüm, CCD zamanlaması ve veri işleme direk olarak kamera modülü içerisinde gerçekleştirilecek şekilde entegre edilmiştir. Bu entegre tasarım tekniği, CCD için çok iyi bir S/N oranı sağlar ve sistem içerisinde oluşabilecek olan elektromanyetik karışmayı (paraziti) en aza indirir (Hinz ve ark. 2001) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Ana kamera konisi ve bağımsız kamera kafalarının yerleşimi

### 3.3.1.3. Görüntü sürüklemesini önleyici sistem (FMC)

DMC kameralarında, distorsiyonsuz bir görüntü elde etmek için, aynı anda, bütün görüntü noktalarını aynı optik yolu kullanarak pozlamayı sağlayacak şekilde, kamera mercek merkezlerine elektromekanik bir obtüratör yerleştirilmiştir. Ayrıca, büyük ölçekli harita yapım işlerine de imkan sağlayacak şekilde görüntü sürüklenmesini önleyecek (Forward Motion Compensation (FMC)) elektronik bir sistem vardır. FMC hava fotogrametrisinin en önemli kilometre taşlarından birisidir ve 1982 yılında Carl Zeis Jena tarafından ortaya konulmuştur. Çerçeve matris yapıdaki CCD algılayıcılarda bütünüyle elektronik temellere dayalı olarak çalışan FMC sistemi vardır (Hinz 1999). Bu sistem aynı zamanda uzun pozlama zamanı sağlar ve görüntü sürüklenmesinden kaynaklanan bulanık görüntü oluşumunu da elimine eder (Şekil 3.17). Bu işlem yapılırken görüntü CCD'ler tarafından çerçeve şeklinde pozlanır, fakat satır satır aktarılır. Bu aktarma işlemi esnasında satırlar uçağın hızı dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile belirli bir oranda geciktirilerek (TDI (Time Delayed Integration)) düzenlenir ve kaydedilir (Hinz ve ark. 2001).




Şekil 3.17 TDI-Görüntü Sürüklenmesi Önleyici Sistem

### 3.3.1.4. Teknik özellikler

Fotoğraf alımı amaçlı uçuşlarda en yüksek verimi elde edebilmek için tek bir uçuş kolonu ile en fazla alanı fotoğraflayabilmek gereklidir. Film tabanlı analog hava kameraları genellikle 153 mm'lik odak uzaklığına sahip mercek kullanırlar. Bu kameralar ile 230 mm formatında film kullanıldığında 70° üzerinde bir kaplama alanı elde edilebilmektedir. Aynı zamanda, fotogrametrik uygulamalarda kaliteli fotoğraf elde etmek ihtiyaçtan ziyade bir zorunluluktur. Bu da iyi bir radyometrik ve geometrik çözünürlüğe sahip bir fotoğrafın yanı sıra çok iyi geometrik doğruluğa sahip fotoğraf elde edilmesini gerekli kılar.

Yukarıda sayılan bütün ihtiyaçları karşılayabilmek oldukça zor olmakla beraber sayısal hava kamerası üretim teknolojisi son yıllarda büyük aşama kaydetmiştir. İdeal çözüm tek ve geniş kaplama alanlı CCD çipi ile mevcut film tabanlı kamera formatlarına benzer görüntü alımı olsa da DMC bu problemi birkaç bağımsız kamera kafasını aynı kamera konisi içerisinde birleştirerek ve yüksek çözünürlüklü sonuç görüntüyü bağımsız kamera görüntülerini birleştirerek elde etmiştir (Heier ve ark. 2001). Çizelge 3.4'te farklı DMC 2001 konfigürasyonlarının teknik özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3.4 Farklı DMC 2001 konfigürasyonlarının teknik özellikleri (Heier ve ark. 2001)

| Konfigürasyon | 14k Yüksek Çözünürlük Multispektral | 7k Renk | 7k Tek Pan | 3k Multispektral |
|---|---|---|---|---|
| Görüş açısı (FOV) Uçuş Doğrultusu&Aksi İstikameti | 74 * 44 (derece) | 39 * 42 (derece) | 39 * 23 (derece) | 73 * 52 (derece) |
| Pankromatik : | | | | |
| Çözünürlük | 13500 * 8000 piksel | 7000 * 7500 piksel | 7000 * 4000 piksel | |
| Lens Sistemleri | 4 * f =120mm/1:4.0 | 2 * f =120mm/1:4.0 | 1 * f =120mm/1:4.0 | |
| Multispektral : | | | | |
| Kanallar | 4 * RGB & NIR | 3 * RGB | | 4 * RGB & NIR |
| Çözünürlük | 3000 * 2000 piksel | 3000 * 2000 piksel | | 3000 * 2000 piksel |
| Lens Sistemleri | 4 * f = 25 mm/1:4.0 | 3 * f = 25 mm/1:4.0 | | 4 * f =25 mm/1:4.0 |
| Objektif Kapağı& f-stop | Değişken | Değişken | Değişken | Değişken |
| Depolama Kapasitesi | 840 Gbyte | 560 Gbyte | 280 GByte | 280 Gbyte |
| | 3000 Görüntü | 3700 Görüntü | 5000 Görüntü | 5800 Görüntü |
| | ölçek = 1:10 000 | ölçek = 1:10 000 | ölçek = 1:10 000 | ölçek = 1:10 000 |
| RAID | GSD = 12 cm | GSD = 12 cm | GSD = 12 cm | GSD = 12 cm |
| Hard-Disk Düzeni | stereo, 60% / %20 | stereo, 60% / %20 | stereo, 60% / %20 | |
| | 1.500 km*2 | 890 km*2 | 640 km*2 | 500 km*2 |
| Çerçeveleme Oranı | 2 sn / Görüntü | 2 sn / Görüntü | 2 sn / Görüntü | 2 sn / Görüntü |
| Radyometrik Çözünürlük | 12 bit | 12 bit | 12 bit | 12 bit |
| Ağırlık | < 80 kg | < 65 kg | < 50 kg | < 50 kg |

### 3.3.1.5. Görüntü alımı ve oluşturulması işlem adımları

DMC 2001 kamerası için uçuş öncesi, uçuş esnasında ve uçuş sonrasında yapılacak işlem adımları aşağıda Çizelge 3.5'da açıklandığı gibidir.

Çizelge 3.5 DMC 2001 sayısal hava kamerası iş akışı (Heier ve ark. 2001)

| **İşlem Yeri** | **İşlem Adımları** | **Detaylar** |
|---|---|---|
| **OFİS** | Pre-Processing | Görev Planlaması |
| **UÇAK** | Resim Uçuşu | Navigasyon ve Uçuş İdaresi Sistemi<br>Kamera Kontrol Programları<br>Uçuş Esnası Kalite Kontrolü<br>Veri Depolama |
| **HANGAR / OFİS** | Post-Processing | Depolanmış Verinin Taşınması, RAID Kontrol Seçeneği (Gözatma/Uçuş Raporu)<br>Post-Processing:<br>• Radyometrik Düzeltme<br>• Geometrik Düzeltme<br>• Mozaikleme<br>• Renkli Görüntü<br>• Renkli Kompozit<br>Veri Arşivleme ve Dağıtım |
| **OFİS** | Veri Kazancı | Veri Değerlendirmesi |

Uçağın inişi sonrasında, kaydedilen veri post-proses sistemine aktarılır. Bu amaçla, uçakta bulunan RAID sistemi uçağa yakın bir çalışma istasyonuna (hangar veya ofiste bulunan) taşınır. Post-prosesin amacı, dağıtımı yapılacak veya mevcut herhangi bir Sayısal Fotogrametrik Çalışma İstasyonunda (DFWS) kullanılacak olan orjinal görüntülerin hazırlanmasıdır. Bu işlem sırasında, alımı yapılan görüntüler normaleştirilir, doğrulanır, düzeltilir (rectify), renkler kodlanır, formatlanır ve post-proses için uygun hale getirilir. Bu işlem adımlarından sonra görüntüler diğer DFWS'lere transfer edilebilir (Heier ve ark. 2001).

Bu işlem adımlarında elde edilen ara ürünler aşağıda Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 DMC 2001 kamerası için görüntü oluşturma işlem adımları (Heier ve ark. 2001)

| Ürün Seviyesi | **İsim** | **Tanımla** |
|---|---|---|
| SEVİYE 1 | Normalleştirilmiş Orijinal Görüntü | Hatalı Piksellerden Arındırılmış Radyometrik Düzeltilmiş Görüntüler |
| SEVİYE 1a | Sanal Görüntü | Bağımsız görüntüler distorsiyondan arındırılarak merkezsel izdüşüme sahip sanal görüntüye dönüştürülür. (Mozaikleme) |
| SEVİYE 1b | Renkli Görüntü veya Renkli Birleşik Görüntü | Renkli Görüntü =R + G + B<br>Renkli Birleşik Görüntü = Pankromatik + Renkli Görüntü |
| SEVİYE 2 | Koordinatlı Görüntü | Seviye 1a ve Seviye 1b den GPS / INS Ölçüleri Yardımıyla Oluşturulan Veri |

1999 senesinde sayısal hava kameraları ile yapılan çalışmalarda sayısal hava kameralarının gelecekteki kullanım alanları aşağıda Çizelge 3.7'de sıralanmıştır.

Çizelge 3.7 Heier ve ark. (2001) ve Heier (2001)'e göre sayısal hava kameralarının gelecekteki kullanım alanları

| UYGULAMA | TANIMLAMA |
|---|---|
| Harita Yapımı | Şehir ve ilçe yönetimleri,Kartoğrafya Departmanları,Uzaktan Algılama Şirketleri ; Resim Ölçeği 1 / 5 000 - 1 / 50 000 |
| Yapı (İnşaat) | Yeraltı + Yerüstü İnşaatları, Kamu Yönetimi, Ulaşım Yolları, Küçük Çaplı İşler ; Resim Ölçeği 1 / 3 000 - 1 / 7 000 |
| Altyapı | Demiryolu, Sokaklar, Boru Hatları, Koridor Uygulamaları için Güzergah Planlaması ve Takibi ; Resim Ölçeği 1 / 3 000 - 1 / 7 000 |
| Telekominikasyon | Şehir Binalarının 3 Boyutlu Modellenmesi |
| Tarım | Ürün Rekoltesi, Toprak, İlaç Ve Hastalıkların Şiddet ve Etkisinin Takibi, Yangın, Ağaçlandırma |
| Ormancılık | Orman Gelişimi ve Düzenlenmesi,Yangın |
| Sigortacılık | Kısa Zaman İçerisinde Yüksek Çözünürlüklü Kaliteli Veri Örneğin : Yüksek Çözünürlük 0.1 m (Sel Taşkınlarının İzlenmesi) |
| Afet Yönetimi | Çabuk Müdahalenin Gerektiği Zamanlar |

Çizelge 3.7'den de görülebileceği üzere, beş yıl gibi kısa bir süre içerisinde, yukarıda sıralanan çalışmaların hemen hemen tamamı sayısal hava kameraları ile gerçekleştirilebilir seviyeye gelmiştir. Hatta günümüzde sayısal hava kameraları, DMC kamerasının ikinci versiyonunun, ADS40 kamerasının ikinci versiyonu olan ADS50'nin ve UltraCam$_D$'nin ikinci versiyonları olan UltraCam$_X$ ve UltraCam$_{XP}$ kameralarının piyasaya girmesi ile tamamıyla analog kameraların yerine kullanılabilir duruma gelmiştir. .

Heier ve ark. (2001) ve Heier'e (2001) göre sayısal hava kameralarının ana başlıklar altında kısaca sıralanabilecek avantajları şunlardır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 Sayısal hava kameralarının en temel avantajları (Heier ve ark. 2001) ve (Heier 2001)

| **MALİYET KAZANCI** | **ZAMAN KAZANCI** |
|---|---|
| • Film Yok<br>• Fotolab Yok<br>• Daha İyi Otomasyon<br>• İlave Uçuş Günleri | • Yüksek Hızlı Otomatik İş Akışı<br>• Fotolab Yok<br>• Tarama Yok |
| **DAHA YÜKSEK KALİTE** | **YENİ UYGULAMALAR** |
| • Radyometrik Çözünürlük<br>• Radyometrik Doğruluk<br>• Çoğaltılabilir Renk<br>• Konumsal Doğruluk<br>• Uçuş Esnasında Görüntü Kontrolü | • Yeni Multispektral Bilgi Türü<br>• Kısa Zaman İçerisinde Çabuk ve Seri Sonuçlar<br>• Multimedya |

### 3.3.2. Leica ADS40 uçağa takılı sayısal algılayıcı

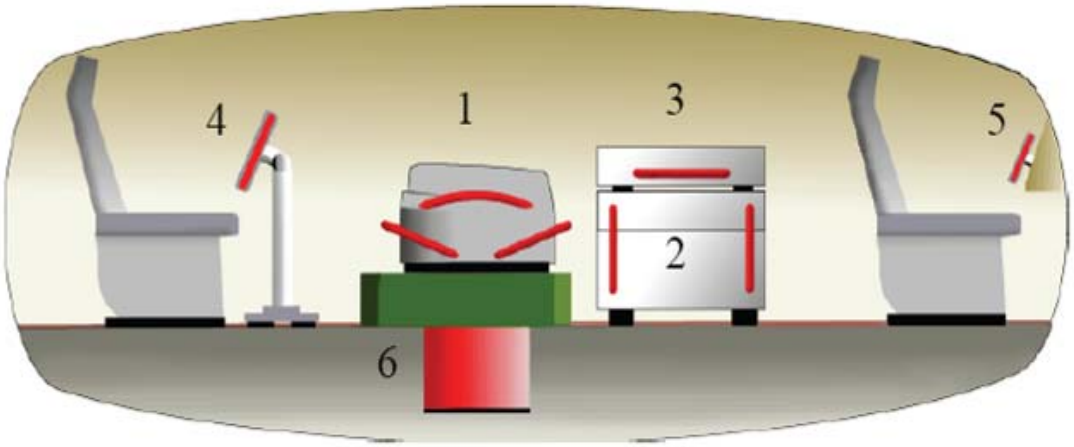
Ticari sayısal hava kamerası algılayıcı sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi fikri ilk olarak 1994 yılında Paris'te yapılan OEEPE çalışmaları esnasında ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar esnasında ortaya konan hedef fotogrametri ve uzaktan algılama ihtiyaçlarını bütünüyle karşılayabilen bir kamera üretmektir. Bu amaçla, hem piyasa ihtiyaçları hem de teknolojik gelişmeler konusunda deneyimli iki ekip (firma), LH System ve Alman Uzay Merkezi (DLR) bir araya gelmiştir. (Eckardt ve ark. 2000). Bu iki ekip 1999 ve 2000 yıllarında, sayısal stereo hava kamerası olan ADS40'ı geliştirmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Leica ADS40 Airborne Digital Sensor

#### 3.3.2.1. Sistem bileşenleri

ADS40 sistemi sadece algılayıcının kendisi olarak düşünülmemeli, sistemin ilave olarak IMU, platform, uçuş kontrol ve yönetim sistemleri, kamera bilgisayarı gibi ek modüller ihtiva ettiği dikkate alınmalıdır (Şekil 3.19). Uçağa montaj için ADS40, film kameralar ile birlikte de kullanılan PAV30 cayro-dengeli montaj aparatı (mount) kullanmaktadır. Uçağa monteli dâhili hafızaya sahip bir bilgisayar ve yüksek kapasiteli sarsıntıya karşı korumalı diskler yaklaşık olarak bir saatlik uçuş süresinde 100 GB'lık bir veri kaydı yapabilmektedir (Fricker 2001).




Şekil 3.19 1. Algılayıcı Ünitesi SH40 (Sayısal optikler DO64 ve IMU), 2. Kontrol Ünitesi CU40 (konum ve irtifa bilgisayarı POS), 3. Ana (Taşınabilir) Disk MM40, 4. Operatör Arayüzü OI40, 5. Pilot Kılavuz Ekranı GI40, 6. Kamera Montaj Aparatı PAV30

ADS40 sayısal hava kamerasının iki farklı tipteki uçağa monte edilmiş görüntüsü aşağıdadır (Şekil 3.20). Her iki uçakta da LH Systems firmasının RC30 film kamerasıyla da kullanılabilen PAV30 cayro-dengeli montaj aparatı kullanılmıştır (Fricker 2001).

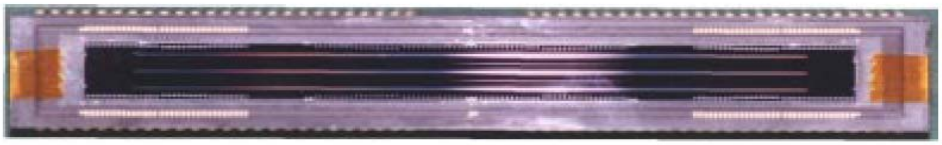


Şekil 3.20 ADS40 sayısal hava kamerasının Cessna 208B Caravan uçağına yerleşimi (solda) ve CASA 212 uçağına yerleşimi (sağda)

### 3.3.2.2. Sistem özellikleri

ADS40 sayısal hava kamerasının yedi adet algılayıcı satırı vardır. Bu satır algılayıcılardan üçü pankromatik (ileri, nadir ve geri), üçü renkli (kırmızı, yeşil ve mavi) ve bir tanesi yakın kızılötesi satırdır ve hepsi de aynı kamera konisi ve tek mercek sistemi içerisinde aynı odak düzlemine yerleştirilmişlerdir. Üç pankromatik algılayıcı satırı uçuş kolonu boyunca eş zamanlı olarak ileri, nadir ve geri bakış açılı kesintisiz görüntü sağlar. Her pankromatik satırda 12000 piksellik ve birbirine göre 0.5 piksel boyu kadar ötelenmiş iki dizi CCD bulunur (Tempelmann ve ark. 2000).

ADS40 sayısal hava kamerasında kullanılan CCD algılayıcılarının gelişmiş tasarımı fotogrametri ve uzaktan algılama ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Algılayıcı parametreleri, tüm sistemin ihtiyaçlarını (boyut, düzlemsellik, dönüşüm faktörleri, doğrusallık ve elektronik arayüzler) karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Üçlü algılayıcı tasarımı Şekil 3.21'de görülmektedir. Üç algılayıcının her biri iki adet ötelenmiş (staggered) 12k CCD satırından yani 24k CCD'den meydana gelmektedir. (Eckardt ve ark. 2000).

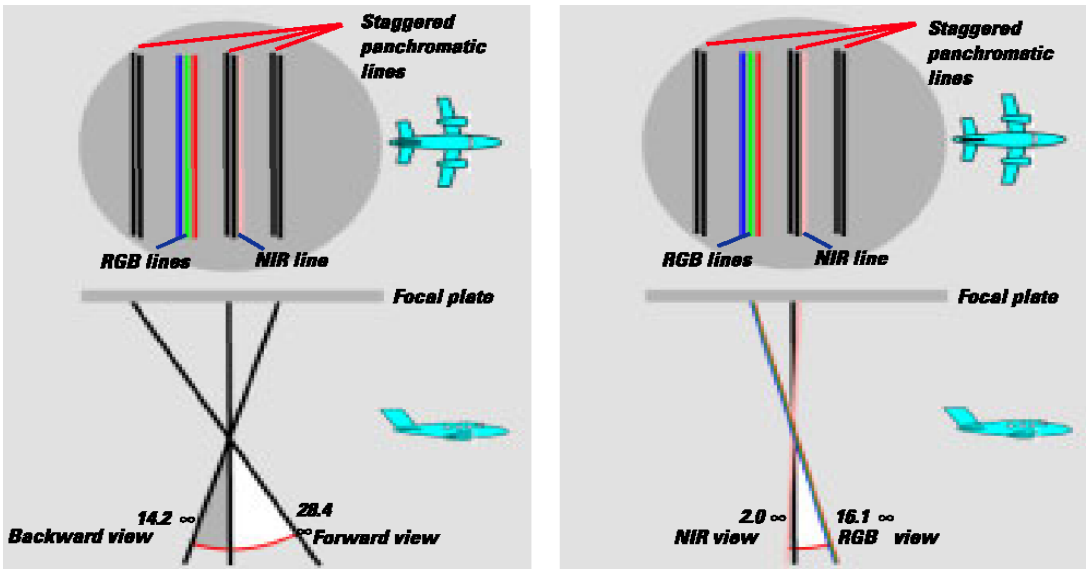


Şekil 3.21 Kamera konisindeki (odak düzlemi) beş algılayıcıdan birisi. Her birinde üç ayrı açıda yerleştirilmiş iki adet ötelenmiş 12 K CCD satırımdan oluşan 24 K CCD mevcuttur.

Aynı odak düzlemine nadir, ileri ve geri bakışlı olmak üzere üç değişik bakış açısı ile yerleştirilmiş üç pankromatik CCD satırı ile görüntüleme prensibi, O.Hofman'a atfedilen ve 1970'lerde Almanya'da yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Sonrasında aynı odak düzlemin üzerine algılayıcının nadire yakın bölgesine pankromatik satırlara ilave olarak renkli ve çok bantlı satırlar

eklenmiştir. Bu CCD satır tarayıcı kameralar için büyük bir avantajdır. Bu sayede, tek bir lens ve bir odak plakası tüm gereksinimleri karşılayabilmektedir (Fricker ve ark. 2001)

Her bir CCD satırı ayrı bir bakış istikametine yönlendirilmiştir. Nadir ile ileri satır ve nadir ile geri satırlar arasındaki mesafeler eşit değildir. ADS40'ta ileri ve geri satırların bakış istikamet açıları da eşit değildir. (Şekil 3.22) Her bir satırın yapmış olduğu tarama ayrı bir görüntü oluşturur. Oluşan bu görüntü çerçeve görüntü algılama sisteminin oluşturduğu görüntüye benzerdir. Çerçeve görüntüleme sistemlerinden farklı olan yanı ise oluşan görüntünün sürekli olmasıdır. ADS40'ta bütün satırlara ait görüntüler eş zamanlı olarak alınır ve kaydedilir (Hinsken ve ark. 2002).



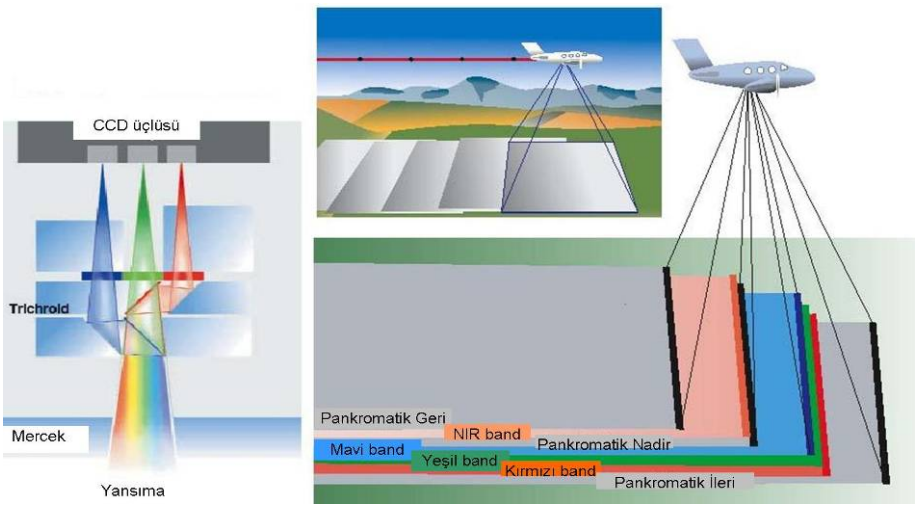

Şekil 3.22 Pankromatik ve RGB CCD satırların yerleşimi ve bakış açıları (Hoban 2004, Fricker ve ark. 2001)

ADS40 sayısal hava kamerasının odak plakasında 4 adet CCD yuvası bulunmaktadır. Bunlardan iki tekli, iki tanesi de üçlü satır konfigürasyonu içermektedir (Şekil 3.22). Sistem 14 bitlik bir radyometrik dinamik aralık ve 8 bit'ten daha iyi bir SNR (Signal Noise Ratio) ile veri kaydı yapabilmektedir (Reulke 2003). Odak düzlemi için sıcaklık dengeleme sistemi mevcuttur. CCD ve mercekler

üzerindeki su buharının yoğunlaşmasını ve odak plakası deformasyonunu engellemek için plaka üzerine havalandırma ve kurutma sistemi monte edilmiştir.

Boyuna stereo kabiliyet üç sıralı CCD satırın farklı görüş açılarında (ileri, geri, nadir) kullanımı ile sağlanır. Satır tarayıcıların baz yükseklik oranlarını değiştirmek mümkün değildir. Bu nedenle, üç satır arasındaki stereo açılar esneklik sağlamak maksadıyla farklı değerlere ayarlanmıştır (Reulke 2003) (Şekil 3.22 ve 3.23).

Uçuş esnasında yerden yansıyan görüntü, özel bir trichroid ışın ayırıcısı ile düzenlenerek optik olarak ayrılır ve her biri 12000 pikselden oluşan 3 renkli CCD satırı üzerine düşürülür (Şekil 3.23). Bu yöntemin bir avantajı, hareket eden nesnelerin CCD satır tarayıcı sistemlerle görüntülenmesinde oluşabilecek olan renk kaymalarının önlenmesidir. Yakın kızılötesi kanallar, pankromatik nadir CCD satırlarına göre biraz daha ötelenmiş olarak yerleştirilmiştir. Parazit filtreleri doğrudan CCD'lerin üzerine yerleştirilmiştir. Kamera konisi içerisindeki mercek sisteminin telesentrik optik tasarımı bu filtreler için gerekli olan optik düzeni temin eder (Reulke 2003).



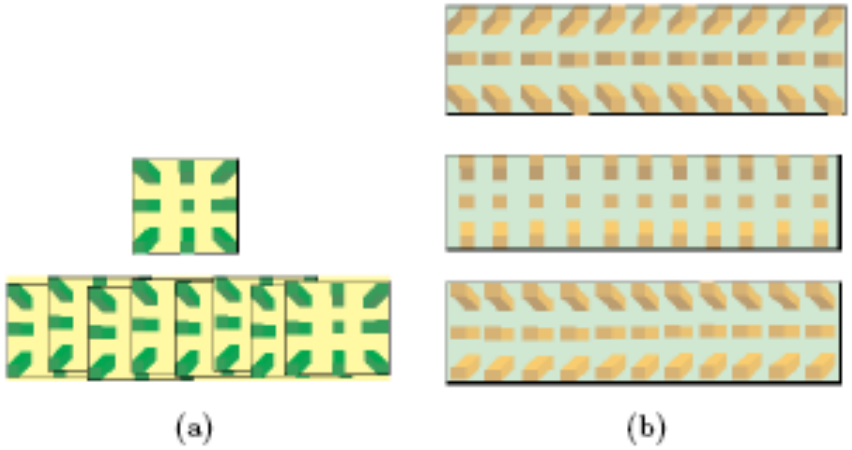

Şekil 3.23 Trichroid ışın ayırıcısı (Hoban 2004, Hinsken ve ark. 2002)

Önceden de bahsedildiği üzere, günümüzde kullanılan büyük formatlı sayısal hava kameraları ikiye ayrılmaktadır: çerçeve (alan) dizi CCD kameralar ve doğrusal dizili (satır) pushbroom kameralar. Alan tabanlı kameralar iki kategoride

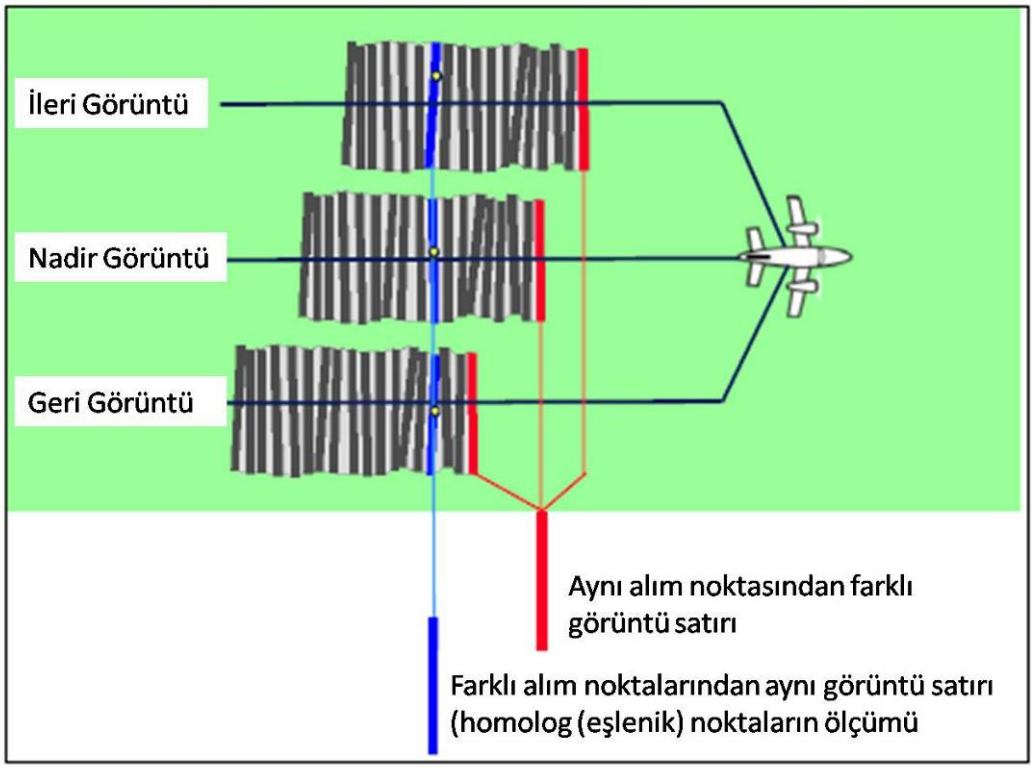
incelenebilir: çoklu kafalı ve tek kafalı (konili) algılayıcılar. Yaklaşımlardaki ana fark, sonuç görüntü geometrisidir.

Alan tabanlı sayısal hava kameralarına ait görüntüler film tabanlı analog hava kameralarına ait görüntülere benzerler. Bu nedenle, elde edilen görüntüler merkezi izdüşüm prensiplerine sahiptir ve tüm değerlendirme işlem adımlarında analog hava kamerası görüntüleri için kullanılan geleneksel fotogrametrik iş akışı kullanılabilir. Görüntüler başlı başına geometrik bilgiler içerir, çünkü kararlı geometriye sahip bir CCD algılayıcı ile kaydedilir. Görüntü geometrisini oluşturmak veya tanımlamak için GPS gibi ek bir veri sağlayan bir cihazın ayrıca kullanılması zorunlu değildir. Epipolar geometri hesabı gibi klasik metotlar kullanılabilir. Şekil 3.24 (a)'da alan tabanlı bir kamera ile görüntülenmiş bir fotoğrafın geometrisi temsil edilmektedir (Perko 2004).

Satır tarayıcı tabanlı yaklaşımlarda sadece uçuş doğrultusuna dik istikamette her bir satır için ayrı ayrı merkezi perspektifte izdüşüm mevcutken, uçuş istikametinde merkezi izdüşüm söz konusu değildir (Şekil 3.24 (b)). Bu çeşit veri ise standart fotogrametrik iş akışı içerisinde kullanılamaz. Örneğin; bu görüntülerde epipolar doğrular, zor geometrik yapılara sahip olan epipolar eğrilerdir. Bu yüzden, klasik epipolar parametrelerin görüntü eşlemesinde kullanımı bu çeşit veriler için uygun değildir. Üçlü satır tarayıcı sistemler için kullanılan algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak, yaygın olarak kullanılan fotogrametrik yazılımların çoğunda mevcut değildir. Alan tabanlı görüntüleme sistemlerinden farklı olarak satır tarayıcı sistemler ile elde edilen görüntü verisi geometrik bilgi içermez. Satır tarayıcı sistemler için konum ve yöneltme (dönüklük) ile ilgili geometrik veriler, sadece DGPS ve INS gibi ekstra sistem ve cihazların entegre olarak kullanımı ile elde edilebilir (Perko 2004). Ancak, doğruluğun geliştirilmesi amacıyla sonradan dengeleme (ışın demetleri yöntemi) uygulanabilir. Stereoskopik işlemler için dengeleme yapılması gereklidir çünkü, görüntüler dengeleme yapılmaksızın kullanılırsa y-paralaksı değerleri tolerans değerlerin üzerine çıkar (Jacobsen 2005).




Şekil 3.24 Alan ve satır tarayıcı tabanlı algılayıcılar için görüntü geometrisi kavramı (a) Alan tabanlı görüntülerde rölyef deplasmanı. Her bağımsız görüntü merkezi izdüşüme sahiptir ve bindirmeli görüntüler fotogrametrik bir kolon oluşturur. (b) Üçlü satır tarayıcı sistemler için rölyef deplasmanı. İleri, nadir ve geri bakışlı üç ayrı kolon oluşur ve uçuş istikametine dik yönde merkezi perspektif mevcutken uçuş istikametinde mevcut değildir (Perko 2004).




Şekil 3.25 Üç görüntüde homolog noktaların ölçülmesi (Hinsken ve ark. 2002)

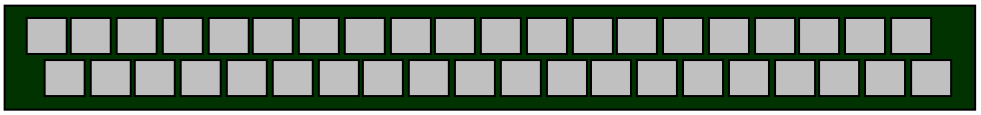
Görüntülerdeki homolog noktaların ölçülmesi için ileri, nadir ve geri görüntülerdeki birbirlerine karşılık gelen detay ve satırların bulunması gereklidir. Görüntü eşleme işlem adımları mevcut görüntü eşleme işlemleri ile oldukça benzerdir. Level 0 görüntülerindeki, görüntü alımı esnasındaki uçak hareketlerinden (eğiklik ve dönüklükleri) kaynaklanan karmaşıklıktan ötürü, eşleme işlemlerini düzeltilmiş olan Level 1 görüntüleri ile gerçekleştirmek daha uygundur (Şekil 3.25) (Hinsken ve ark. 2002).

### 3.3.2.3. Teknik Özellikler

Satır tarayıcı sistemlerde tek bir CCD satırı elde edilmek istenilen görüntüdeki çözünürlük ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. CCD satırları ile kayıt yapan kameralarda kullanılan iki temel mantık, bütün algılayıcıların tek bir optik mercek sisteminin arkasına monte edilmesi veya daha pahalı bir çözüm olarak birden fazla kamera kafası (konisi) kullanılmasıdır. Bu nedenle satır tarayıcı sistemlerde değişik yöntemler denenmiştir. Bu yöntemler;

- Çapraz (butted) satırlar
- Uçuş doğrultusundaki bindirme ve kaydırma
- Ötelenmiş sıralı satırlar

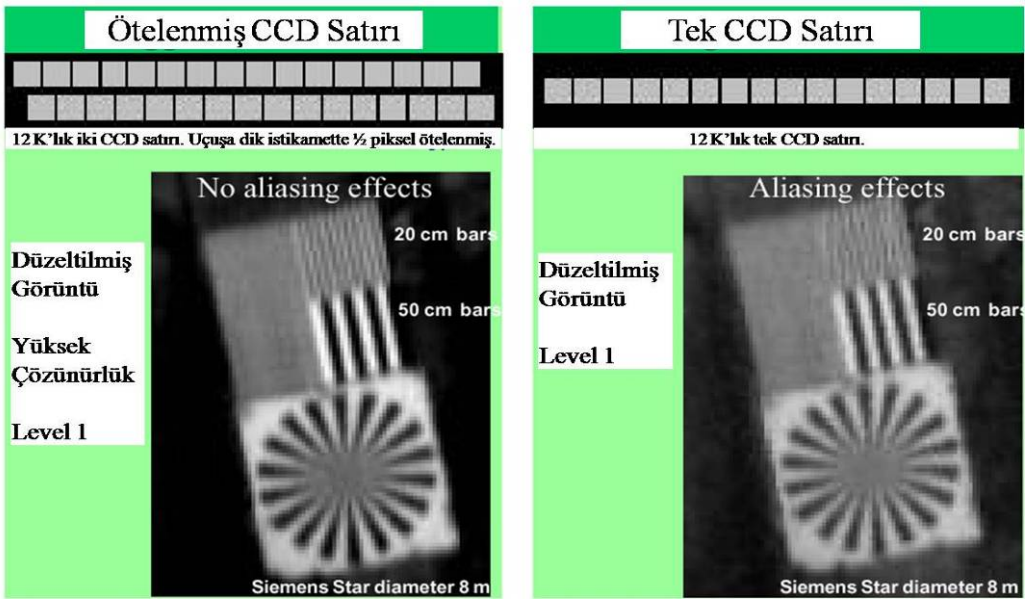
Birinci ve ikinci çözümler iki satır arasında boşluğa ya da ek bir stereo açıya neden olduğundan, ötelenmiş sıralı satırların çözüm için uygun olduğu net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bu dedektörler, uçuş istikametine dik istikamette yarım piksel boyu kaydırılmış ve birbirlerine çok yakın olacak şekilde yerleştirilmiş iki sıra 12k CCD satırı ihtiva etmektedir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Ötelenmiş Sıralı CCD Satırları

Yapılan bir test ile lineer tek sıralı CCD satırı ve ötelenmiş sıralı CCD satırı karşılaştırılmıştır. Bu testte 8mx8m genişlikli farklı test barları ve 8m çapında bir Siemens yıldızı, bir tekli sıralı CCD satır (12 K) ile ötelenmiş sıralı CCD satırını (24 K) karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. İki satırlı algılayıcının tek satırı kullanılarak tek satırlı bir algılayıcı bir görüntü verisi simule edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.27'da görülmektedir.

Siemens yıldızı iki resimde de benzer sonuçlar vermiştir. Aslında optik sonuçlar 12 K algılayıcı için fazlasıyla iyidir. Çizgi desenlerinin karşılaştırılması ile 12 K yerine 24 K algılayıcı kullanılmasındaki gelişme görülebilir. En ilginç parça ise sağ üst parçadır. 12 K görüntüde düşük kontrastlık ve aliasing (çizgi desenlerdeki kırıklıklar) fark edilmektedir. Ötelenmiş sıralı CCD satırını için, konumsal frekans ve kontrastlık çok iyidir (Gervaix 2001).




Şekil 3.27 Ötelenmiş CCD satırı (solda), Tek CCD satırı (sağda) (Gervaix 2001).

ADS 40 sayısal hava kamerasının (üçlü satır tarayıcı sistemlerin) çerçeve algılayıcı sistemlere nazaran en belirgin avantajı kolon görüntü işlenmesi ve değerlendirilmesidir (Şekil 3.28). Uçuş kolonu uzunluğu kadar oluşan sürekli stereo

model, SYM ve ortofoto üretimi, blok dengeleme, otomatik görüntü eşleme ve görüntü rektifikasyonu (yöneltmesi) gibi fotogrametrik işlem adımlarının tümü için kullanılacak olan tek, kesintisiz ve sürekli bir görüntüden meydana gelir. Büyük bloklar için görüntüyü kesintisiz bir kolon olarak ele almak ve işlemek çok sayıda bağımsız görüntülerin sıkıcı mozaiklenmesi işlemlerini belirgin bir şekilde azaltacaktır. Böylece, büyük bloklar daha kolay, güvenilir ve daha kısa sürede mozaiklenebilecektir (Fricker ve ark. 2001).



Şekil 3.28 Kesintisiz ve sürekli nadir siyah/beyaz kolon görüntüsü (14 km. uzunluğunda) (Fricker ve ark. 2001).

ADS40 sayısal hava kamerasına ait önemli algılayıcı parametreleri Çizelge 3.9'da, teknik özellikler Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 ADS40 sayısal hava kamerasına ait en önemli algılayıcı parametreleri.

| | |
|---|---|
| Odak Uzaklığı | 62.5 mm. |
| Piksel Boyutu | 6.5 μm. |
| Pankromatik Satır | 2 * 12000 piksel |
| Renkli Satırlar | 12000 Piksel |
| Görüş Açısı (Uçuş Doğrultusunda) | 64° |
| Stereo Açılar | 14°, 28°, 42° |
| Dinamik Açıklık | 14 bit |
| Radyometrik Çözünürlük | 8 bit |
| Yer Örnekleme Mesafesi (3000 m. Uçuş Yüksekliğinde) | 16 cm. |
| Tarama Genişliği (3000 m. Uçuş Yüksekliğinde) | 3.75 km. |
| Satır Okuma Frekansı | 1 - 830 Hz. |
| Uçuş Depolama Kapasitesi | 0.5 - 1 Tbyte |

Çizelge 3.10 ADS40 sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler.

| **ELEKTRONİK KARAKTERİSTİKLER** | |
|---|---|
| Dinamik Aralık | 12-Bit |
| Radyometrik Çözünürlük | 8-Bit |
| Normalleştirme Biçimi | 8-Bit Lineer |
| Veri Sıkıştırma Faktörü | 2,5-25 |
| Satır Başına Düşen Kayıt Aralığı | ≥1,2 msec (800 Hz) |
| Spektral Aralık | Pankromatik, RGB ve İnfrared |
| | BAND (μm)<br>Pankromatik 465-680(λ= 50%)<br>Kırmızı 610-660<br>Yeşil 535-585<br>Mavi 430-490<br>İnfrared 835-885 |
| **MEKANİK BİLGİLER** | |
| Algılayıcı Kafası SH40 | Ağırlık: 66 kg, Çap: 59 cm, Yükseklik: 74 cm, PAV30 |
| Kontrol Ünitesi CU40 | Ağırlık: 43 kg ,19" Raf Takılabilir.<br>Genişlik, Yükseklik: 34 cm, Derinlik: 52 cm |
| Temel Hafıza MM40 | Ağırlık: 18 kg , Taşınabilir, 540 GB Kapasiteli Hard disk |
| Operatör Arayüzü | Ağırlık: 14 kg ; IS40 Standı RC30 NAV'a uygundur |
| IMU / GPS | SH40 İle Bütünleşmiş IMU , CU40 İle Bütünleşmiş GPS ve POS |

### 3.3.2.4. Görüntü oluşturulması işlem adımları

Ana taşınabilir disk MM40 uçaktan alınarak yerdeki veri transfer istasyonuna (docking station) SCSI arayüzü ile yüksek kapasiteli bir bilgisayar aracılığıyla bağlanır. Görüntülerin ve meta verinin aktarımı birkaç saat sürer. Veri aktarıldıktan sonra, GPS/IMU biriminin sağladığı konum, irtifa ve dönüklük verileri kullanılarak yapılan yöneltme işlemleri ile stereo görüntüler elde edilir. Yer kontrol noktaları ölçümleri ve bağlama noktalarının otomatik ölçümleri normal prosedürler takip edilerek yapılabilir. Yöneltilen görüntülerde kalan paralaks yapılan blok dengeleme ile giderilir. Sonuç görüntüler, geometrik olarak doğru ve paralakssızdır, stereo görüntüleme, detay alımı ve harita üretimi için kullanılabilir. Aynı zamanda sonuç görüntüler, SYM ve ortomozaik üretimi için de kullanılır (Fricker ve ark. 2001).

Seviye 0 verisi için ofis işlemlerinin süresi mevcut bilgisayara, bilgisayarın kapasitesine, işlenecek olan veri miktarına, sıkıştırma miktarına, GPS verisinin kalitesine (gözlemlenen uydu miktarı) ve yöneltme stratejisine göre değişiklik gösterir. Seviye 1 verisi için kritik faktör kullanılacak olan otomatik nokta eşleme stratejisidir. Bu nedenle, ofis işlemleri birkaç saat veya bütün bir gün sürebilir. Bir saatlik veri için otomatik nokta eşleme birkaç saat sürer. Diğer yandan aynı miktardaki verinin ORİMA programı kullanılarak ışın demetleri ile blok dengeleme işlemi sadece birkaç dakikada tamamlanır (Fricker 2001). Çizelge 3.11'de ADS40 sayısal hava kamerası için görüntü oluşturma işlem adımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 ADS40 sayısal hava kamerası için görüntü oluşturma işlem adımları (Fricker ve ark. 2001)

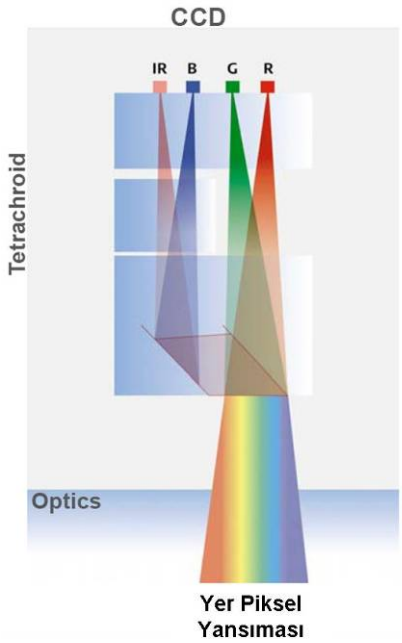
| **SEVİYE 0 - Ham veri** | **SEVİYE 0 – Yöneltilmiş veri** | **SEVİYE 2 – Koordinatlı görüntü** |
|---|---|---|
| [geometrik ham görüntüler (TIFF ve diğer formatlarda) ve işlenmiş yöneltme verisi] | [tamamıyla düzeltilmiş, stereo görüntülenebilir pankromatik görüntüler ve tamamıyla düzeltilmiş multispektral görüntüler] | [pankromatik ve multispektral ortofotolar] |
| **LH System's ADS Seviye 0 Generator** ve Applanix POSProc | **LH System's ADS Seviye 1 Generator, SOCET SET, DPW, ORİMA** veya ADS algılayıcı modeline sahip üçüncü nesil fotogrametrik iş istasyonları | |

### 3.3.2.5. İkinci nesil ADS40 sayısal hava kamerası

İkinci nesil ADS40 2006 yılının sonbaharında piyasaya sürülmüştür. (Fricker 2007). İkinci nesil kameranın birinci nesil ADS40 kamerası ile yapılan karşılaştırmasında, mevcut olanlara ek olarak geliştirilmiş dört adet yeniden düzenlenmiş multispektral kanala sahip sinyal bölücü (beam splitter), multispektral stereo görüntü alım kabiliyeti, dört kat daha yüksek hassasiyet ve geliştirilmiş mercekler öne çıkan özellikleridir (Honkavaara 2008). İkinci nesil ADS40 kamerası için SH51 ve SH52 olarak adlandırılan iki adet yeni algılayıcı ünitesi tasarlanmıştır (Şekil 3.29). Bu ünitelerde birinci nesil ADS40'tan farklı trichroid yerine tetrachroid ışın dağıtıcısı kullanılmıştır. Yeni nesil algılayıcıda birbirlerine çok yakın olarak yerleştirilmiş olan dört spektral band mevcuttur ve uçuş esnasında yerden yansıyan görüntü, tetrachroid ışın ayırıcısı ile düzenlenerek optik olarak ayrılır ve her biri aynı yer çözünürlüğüne sahip dört spektral bant üzerine düşürülür (Şekil 3.30).

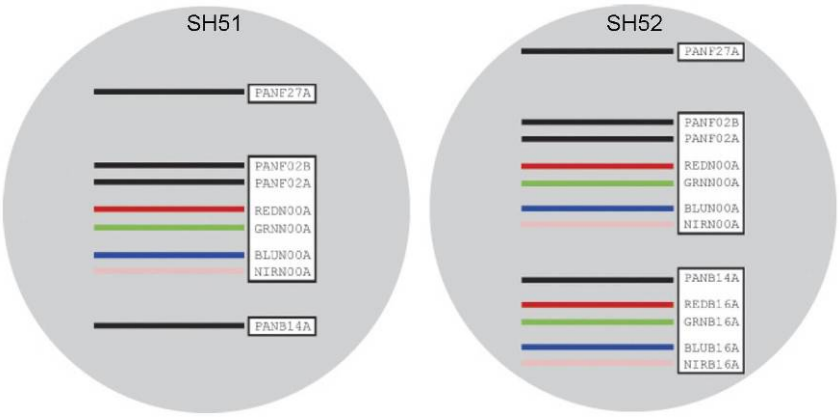



Şekil 3.29 İkinci nesil ADS40 kamerasında bulunan iki adet algılayıcı ünitesi (Fricker 2007).




Şekil 3.30 Tetrachroid 4 band ışın dağıtıcı

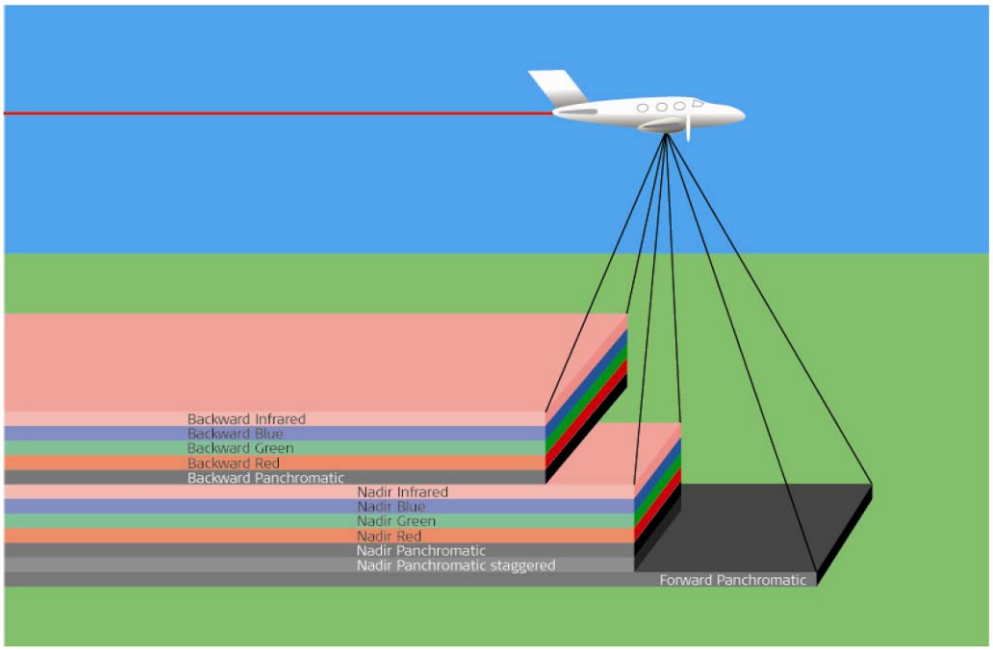
Tasarlanan tetracroid ışın dağıtıcısının trichroid tasarımlı ADS40 kamerasına göre avantajı, NIR CCD satırını RGB CCD satırları ile beraber (yan yana) yeniden düzenlemek (co-registered) olmuştur. Yeniden tasarlanan algılayıcı SH40 trichroid'de olduğu gibi dikdörtgen şekle sahiptir fakat eş zamanlı olarak gerçek ve yalancı görüntü veya diğer bir deyişle dört bantlı görüntü alımını sağlar (Şekil 3.30 ve 3.31) (Fricker 2007).




Şekil 3.31 SH51'in odak düzlemi ve SH52'nin odak düzlemi

Yeni 8 ve 12 satırlı odak düzlemi tasarımı, üç-satır tarama prensibine de bağlı kalarak geometrik olarak kararlı ve doğru görüntüler veya yöneltme ve dengeleme işlemlerine hazır görüntü kolonları oluşturur.

Satır tarayıcı sistemlere özgü olan çok iyi baz-yükseklik oranı ile %100 bindirmeli kesintisiz ve kolon boyunca sürekli görüntü kolonu oluşturur (Şekil 3.32) (Fricker 2007).




Şekil 3.32 İki adet tetrachroid'e sahip SH52 algılayıcısı ile kolon görüntü alımı

### 3.3.3. Vexcel UltraCam$_D$ geniş formatlı sayısal hava kamerası

Avusturya Graz'da konuşlu bulunan Vexcel Imagings GmbH, fotogrametrik cihazların üretimi alanında iyi bilinen bir firmadır. Bu firma tarafından üretilen ilk ürün, Ultrascan5000 hassas film tarayıcısıdır. Firma tarafından, Mayıs 2003 yılında UltraCam$_D$ geniş formatlı sayısal kamera (Şekil 3.33), üç yıl sonrasında ise Nevada Reno'daki ASPRS 06'da UltraCam$_D$'nin yeni versiyonu olan UltraCam$_X$ geniş formatlı sayısal hava kamerası uluslar arası haritacılık piyasasına sunulmuştur.

ISPRS 2000'e kadar geçen süre içerisinde ilk geniş formatlı sayısal hava kameraları piyasaya sunulmuş, fakat 2000 senesinden sonra geçen 3-4 yıl da dâhil olmak üzere, bu kameralar nispeten zayıf performanslı olmuşlardır. 2004 yılında geniş formatlı sayısal algılayıcıların sayısı 50 adede ulaşmış ve böylece, sayısal kameralar tüm dünyada fotogrametrik üretimde rol almaya başlamıştır (Gruber 2007).

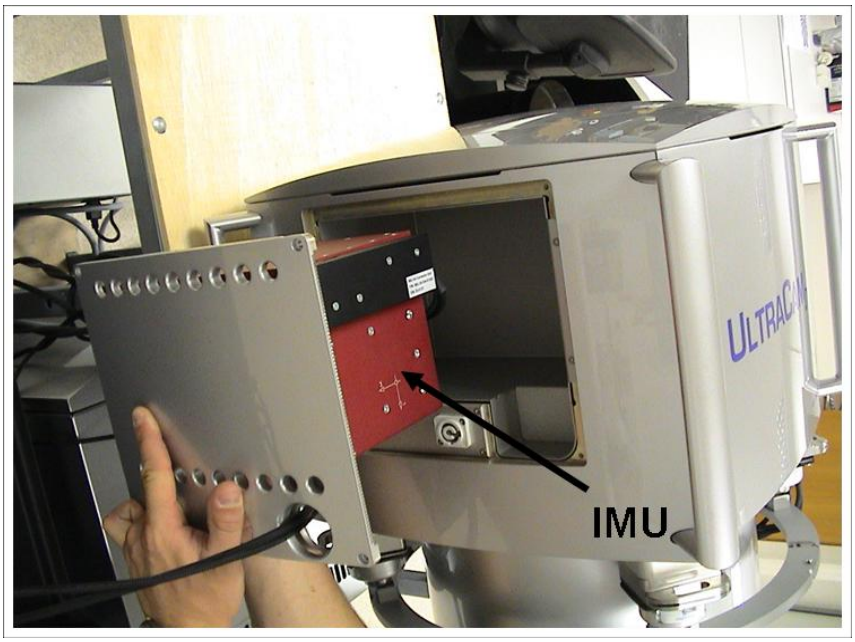



Şekil 3.33 UltraCam$_D$ geniş formatlı sayısal hava kamerası algılayıcı ünitesi (Leberl ve Gruber 2003)

### 3.3.3.1. Sistem bileşenleri

UltraCam$_D$ çoklu kamera sistemine sahiptir ve çerçeve görüntüleme sistemine göre çalışır. UltraCam$_D$ sayısal hava kamerası, algılayıcı birimi (SU), depolama/hesaplama birimi (SCU), arayüz paneli (IP) ve taşınabilir depolama biriminden oluşur. Bunlara ek olarak, inersiyal navigasyon sistemi (Inertial Navigation System-INS) kullanılır. Algılayıcı birim sistemin kalbidir ve 13 adet çerçeve (alan) CCD algılayıcı ihtiva eder. Algılayıcı birim içerisinde pankromatik bant için 4 adet, kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi (RGBI) bantlara ait 4 adet olmak

üzere toplam 8 adet optik koni bulunur (Şekil 3.33). Toplam 13 adet CCD dizininin 9 adedi pankromatik konilerde, 4 adedi ise renkli konilerde kullanılır. IMU algılayıcı birimin içerisine yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. IMU'nun algılayıcı birimin ana çerçevesine sabitlenmesi optik sistemle aralarındaki ilişkinin kararlı, sürekli ve sağlam bir şekilde tanımlanmasını sağlar (Şekil 3.34). UltraCam$_D$'nin sonraki versiyonu olan ve uygulamada kullanılan UltraCam$_X$ hakkında 4'üncü bölümde bilgi verilmiş olup, teknik özellikleri hakkında ileriki bölümlerde ayrıca bilgi verilecektir.




Şekil 3.34 UltraCam$_D$ sayısal hava kamerası algılayıcı birimi içerisine yerleştirilmiş ve sabitlenmiş IMU ünitesi

CCNS fotogrametrik uçuş görevleri için kullanılan bir GPS ve cayro tabanlı kılavuz, konumlama ve algılayıcı yönetim sistemidir. Ana sistem, merkezi bilgisayar sistemi (CCU), en az bir adet komuta ve görüntüleme birimi (CDU) ve görev planlama yazılım paketinden (*WinMp*) oluşur. Algılayıcı sistemin konum ve irtifasının hassas olarak belirlenebilmesi için CCNS, bir GPS/IMU sistemi olan *AEROcontrol* ile birlikte kullanılabilir (Şekil 3.35) (Kremer ve Gruber 2004).




Şekil 3.35 Uçuş esnasında uçuş yönetim sistemi ile bütünleşik olarak kullanılan sistemler CCNS, *AEROcontrol* ve IMU

### 3.3.3.2. Sistem özellikleri

UltraCam$_D$ geniş formatlı sayısal hava kamerası metrik bir kameradır ve hassas fotogrametrik uygulamalar için tasarlanmıştır. Kameranın pankromatik bölümü, geniş formatlı bütünleşik pankromatik görüntüyü oluşturacak şekilde 9 orta formatlı CCD algılayıcı seti birleşiminden oluşur. Multispektral kanallar ise bağımsız olarak eklenmiş 4 CCD algılayıcıdan oluşur. Bu 13 algılayıcının her biri bir dizi görüntüleme modülünün en ön parçasıdır. Algılayıcı modül, algılayıcı, algılayıcı elektronikleri, yüksek kapasiteli analog/sayısal dönüştürücü (ADC), hızlı sayısal sinyal işleyici (DSP), ve IEEE 1394 veri transfer ünitesinden oluşur (Kremer ve Gruber 2004).

Ham görüntü, IEEE 1394 arayüzü vasıtasıyla UltraCam$_D$'nin bağımsız depolama modülü olan Depolama ve Hesaplama Ünitesine aktarılır. Böylece kamera, paralel sistem mimarisinin avantajlarını kullanarak saniyede 1 çerçeveden daha yüksek bir görüntüleme hızı ile fotoğraf alımı yapabilir.

Pankromatik görüntü, uçuşa dik yönde 11500 piksel ve uçuş yönünde 7500 pikselden oluşur. Renkli görüntü ise 4000 piksele 2700 piksel boyutunda kırmızı

yeşil, mavi ve kızılötesi kanallarda 4 koni tarafından aynı anda kaydedilir. (Kremer ve Gruber 2004)

Film kameralara rakip olacak geniş kaplama alanını oluşturabilmek için kamera tasarımında çoklu kamera konisi kullanılmıştır. Her kamera konisi içerisinde bir veya birden fazla çerçeve (alan) dizili CCD algılayıcısı mevcuttur. Yüksek çözünürlüklü ve geniş kaplama alanına sahip pankromatik görüntünün elde edebilmesi için 4 mercek (optik koni) kullanılmıştır. Her optik koni aynı görüş alanına sahip olmakla beraber, her koni kendi odak düzlemi içerisinde farklı sayıda ve konumda yerleştirilmiş CCD algılayıcı plaka ihtiva eder (Leberl ve Gruber 2003).

$UltraCam_D$'nin Depolama ve Hesaplama Ünitesi (SCU) ham görüntünün depolanmasından sorumludur. Toplam depolama kapasitesi 2*780 GB ile 2692 görüntü yedekli olarak ayrı disklere çift olarak kaydedilir.

Sistem mimarisi paralel bir yapı gösterir, her kamera başlığına (algılayıcıya) ait CCD ünitesinin küçük bir bilgisayarı da içeren kendisine ait "özel" depolama ünitesi ve iki adet korumalı, ayna yapıda kayıt yapan sabit diski vardır.

#### 3.3.3.3. Teknik özellikler

$UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler Çizelge 3.12'de sunulmuştur. Uygulamada $UltraCam_D$ sayısal hava kamerasının sonraki ve daha gelişmiş bir versiyonu olan $UltraCam_X$ sayısal hava kamerası kullanılmıştır. $UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kameraları genel yapı, görüntüleme prensipleri vb. özellikler olarak aynı olmakla beraber, teknik özellikler açısından aralarında bazı farklılıklar mevcuttur. Her iki kameraya ait aynı ve farklı olan özellikler tek bir çizelge üzerinde birleştirilmiştir.

Çizelge 3.12 $UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler (Leberl ve ark.2003) (www.aerial-survey-base.com)

| | **$UltraCam_D$** | **$UltraCam_X$** |
|---|---|---|
| **Görüntü Özellikleri** | | |
| Görüntü boyutları | 23 cm x 15 cm boyutlarındaki film bazlı hava fotoğrafına benzerdir. | 15 µm ile taranmış 23 cm x 15 cm boyutlarındaki film bazlı hava fotoğrafına benzerdir. |
| Görüntü veri formatları | 8 ve 16 bit'lik TIFF, JPEG, Tiled TIFF | 8, 12 ve 16 bit'lik TIFF, JPEG, Tiled TIFF |
| **Sayısal Kamera Algılayıcı Ünitesi (SU), (SX)** | | |
| Pankromatik görüntü boyutu | 11,500 x 7,500 piksel | 14,430 x 9,420 piksel |
| Pankromatik fiziksel piksel boyutu | 9 µm | 7.2 µm |
| Odak düzleminin fiziksel boyutu | 103.5 mm x 67.5 mm | 104 mm x 68.4 mm |
| Pankromatik lenslerin odak uzaklığı | 100 mm | |
| Lens Açıklığı | f = 1/5.6 | |
| Düşey Görüş Açısı, cross track (along track) | 55º (37º) | |
| Renk (multi-spektral yeteneği) | 4 kanal -- RGB & NIR | |
| Renkli görüntü boyutu | 4,008 x 2,672 piksel | 4,810 x 3140 piksel |
| Renkli fiziksel piksel boyutu | 9 µm | 7.2 µm |
| Renkli lens sistemlerinin odak uzaklığı | 28 mm | 33 mm |
| Renkli lens aralığı | f = 1/4.0 | |
| Düşeyden renkli görüş alanı, cross track (along track) | 61º (42º) | 55º (37º) |
| Resim çekiş hızı | 1/500'den 1/60'a | 1/500'den 1/32'ye |
| Görüntü sürüklenmesi önleyici sistem (FMC) | TDI kontrollü | |
| Maksimum FMC-yeteneği | 50 piksel | |
| yerdeki en küçük piksel (GSD) 500 m (300 m) uçuş yüksekliğine göre | 5 cm (3 cm) | 3.6 cm (2.2 cm) |
| Saniyedeki çerçeve (pozlama) hızı (minimum görüntü intervali) | 1.3 poz 0.75 saniyede | 1 poz 1.35 saniyede |
| Analog-sayısal dönüşümü | 14 bit | |
| Renk kanalları için radyometrik çözünürlük | >12 bit | |
| Kamera ünitesinin fiziksel doğrultuları | 45 cm x 45 cm x 60 cm | |
| Ağırlık | ~ 45 kg | ~ 45 kg |
| Tam performansta güç tüketimi | 150 W | |

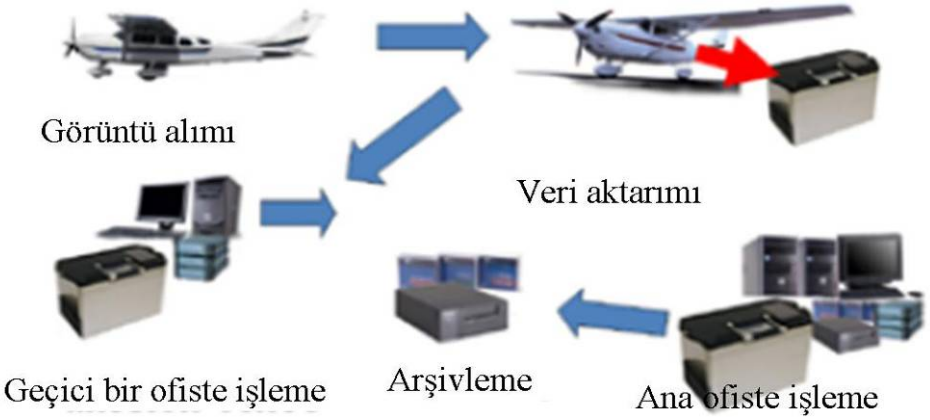
| | **UltraCam$_D$ (SCU)** | **UltraCam$_X$ (DX ve CX)** |
|---|---|---|
| **Depolama ve Hesaplama Ünitesi (SCU-Storage and Computing Unit) ve (DX-Data Unit, CX-Computing Unit)** | | |
| Uçuş Süresince depolama kapasitesi | 1.5 TB (ayna veri dâhil) | Her DX için ~1.7 TB |
| Uçuş Süresince sıkışmamış görüntüleri depolama kapasitesi (resim sayısı) | 2692 | Her DX için ~4700 |
| Uçuş sırasında DX değişimi | | < 3 dakika |
| Depolama ve hesaplama konfigürasyonu | Çoklu CPU'larla ve disklerle paralel düzenlenmiş | 14 adet Pentium-M CPU'lu CX; her DX'te 28 adet disk. |
| Fazlalık | Çift disk ile yedeklenmiş (ayna veri) görüntüler | |
| Ofis ortamına veri transferi | Taşınabilir, ofis işlemcisi olarak da kullanılabilir | Taşınabilir DX üniteleri; Aktarım istasyonu – docking station (isteğe bağlı taşınabilir.) |
| Fiziksel ebatlar | 40cm x 55cm x 65cm | 50cm x 36cm x 65cm |
| Ağırlık | ~65 kg | CX+2DX: <92 kg<br>CX: ~65 kg<br>DX: ~15 kg |
| Tam performansta güç tüketimi | 700 W | |
| **Operasyonel Özellikler** | | |
| %70 ileri, %20 yan bindirmeli maksimum alım periyodu, 20 cm yer çözünürlüğünde (GSD) (film ölçeği 1:10,000) | ~5 saat | ~8.5 saat her bir DX için |
| Alımı yapılan ham görüntü kolonlarının post-prosesi | SCU ile veya ofiste diğer sistemler ile | OPC yazılımı, mobil işlemci (sunucu), ofis PC ağı, dizüstü bilgisayar veya CX ile |
| Uçaktan ofise veri transferi | Mobil depolama ünitesi (MSU), harici disk veya SCU ünitesinin taşınması ile | |
| Kameranın Montajı | Mevcut film kameraları ile aynı (PAV-30, Z/I T-AS, GSM3000) | |
| Uçuş planlaması | IGI'ın CCNS4, Trackair, Vega, ve benzer sistemlerle uyumludur. | |
| Dış yöneltme desteği | IGI'ın Aero-Control, Applanix POS ve benzer sistemlerle uyumludur. | DGPS/IMU sistemleri (IGI'ın Aero-Control, Applanix POS-AV) ile uyumludur. |
| Fotogrametrik üretim | Fotogrametrik yazılım üreten önemli firmaların yazılımları ile uyumludur. TIFF formatlı görüntü kullanabilen geleneksel yazılımların tümü kullanılabilir. | |
| Image geometric accuracy | < ± 2 µm | |

### 3.3.3.4. Görüntü alımı ve oluşturulması işlem adımları

Uçuş esnasında görüntü alınır, ilk işleme tabi tutulur ve dağıtım için hazır hale getirilebilir. Uçakta bulunan depolama ve hesaplama ünitesi çoklu işlemcili gelişmiş bir bilgisayar sistemine sahiptir. Hesaplama işlemleri, uçakta, park alanında veya ofiste tamamlanabilir. Depolama ve hesaplama ünitesi portatiftir (Şekil 3.36 ve 3.37). Depolama kapasitesine ek olarak SCU 15 adet işlemcisini de kullanarak postprocess işlemleri için ekstra bir güç de sağlar (www.microsoft.com).

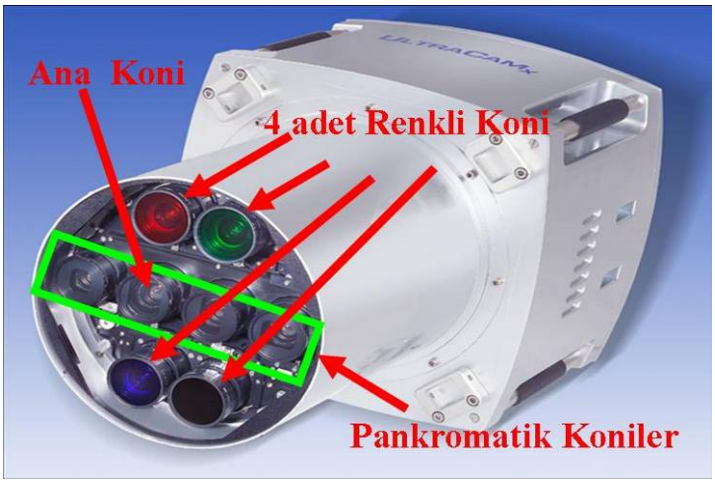



Şekil 3.36 UltraCam$_D$ için görüntü alımı ve işlenmesi (www.microsoft.com).




Şekil 3.37 UltraCam$_X$ için görüntü alımı ve işlenmesi (www.microsoft.com).

UltraCam$_X$ sayısal hava kamerasının kamera geometrisi Şekil 3.38'de ve görüntü alım aşamaları müteakip şekillerde gösterilmiştir.

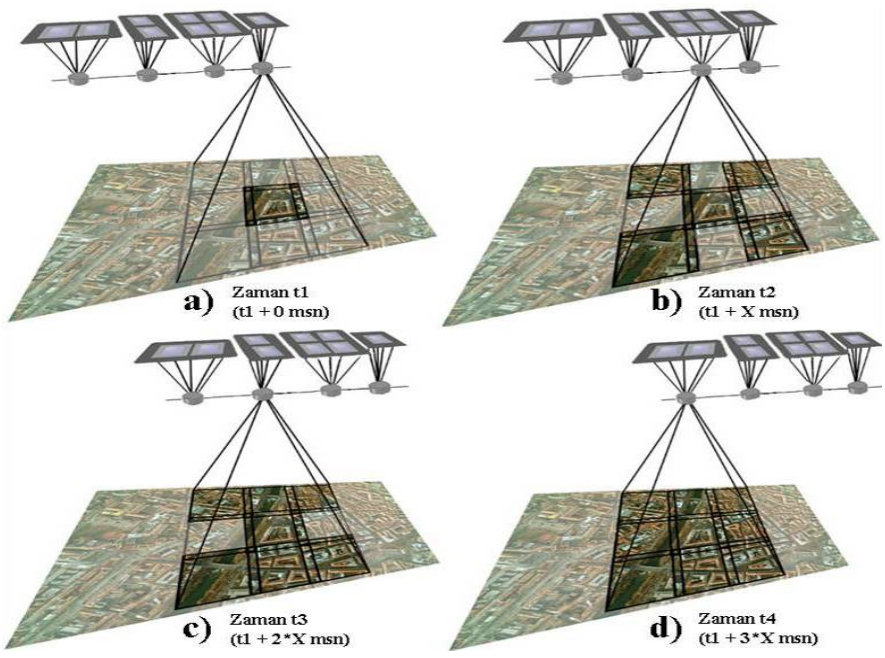



Şekil 3.38 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası konisi konfigürasyonu

UltraCam$_D$ sayısal hava kamerasında yüksek çözünürlüklü ve geniş kaplama alanına sahip pankromatik görüntünün elde edebilmesi için 4 mercek (optik koni) kullanılmıştır. Büyük görüntünün elde edilebilmesi için 4 ayrı kamera konisinden gelen görüntüler birleştirilir. Bu konilerden biri görüntü koordinat sistemini tanımlamak üzere ana koni olarak kullanılır (Şekil 3.38 ve 3.39). UltraCam$_D$ sayısal hava kamerasında 11,500 * 7,500 piksellik bütünleşik pankromatik görüntü, her biri 4000 * 2700 pikselden oluşan 9 bağımsız CCD'ye ait görüntünün birleştirilmesiyle elde edilir (Leberl ve Gruber 2003).

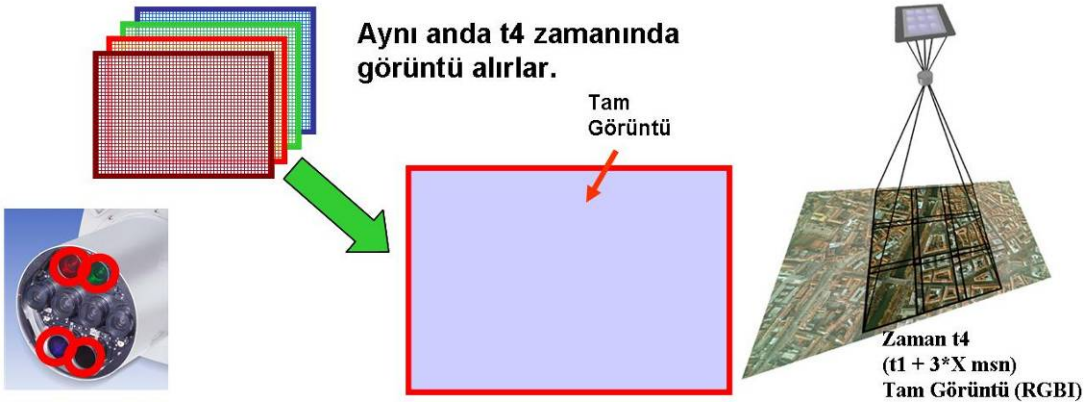
Kameranın geometriyi tanımlamak üzere kullanılan bir ana konisi ve üç adet yardımcı konisi mevcuttur. Yardımcı koniler, ana koni ile eş zamanlı (synchronously) olarak pozlama (çekim) yapabilirler. Ancak, bu şekilde bir görüntüleme yapıldığında, ana koni ve yardımcı konilerin her biri ayrı fotoğraf alım noktasından görüntü almış olacak (uçuş kolonu üzerinde farklı konumlardan) ve dolayısıyla her bir koninin (ana ve yardımcı görüntülerin) farklı asal noktaları olacaktır. Geleneksel yaklaşımlar bu şekildedir. UltraCam geleneksel yaklaşımlardan uzaklaşarak görüntü alımına yeni bir yaklaşım getirmiştir. "Sintopik (Syntopic)"

görüntü alımı. Uçuş esnasında kamera operatörü sintopik görüntüleme modunu seçebilmektedir. Bu sayede, ana ve yardımcı koniler aynı konumdan (üç boyutlu uzayda aynı asal noktadan) pozlama yapabilir. Yeni bir terim olan sintopik, Latince syn-topos terimlerinin birleştirilmesi ile oluşmuştur ve kelime anlamı olarak "aynı yer" demektir. Şekil 3.39 bu alternatif görüntüleme prensibini açıklamaktadır. Sintopik görüntülemede uçuş yönetim sistemi, uçağın hızını da hesaplayarak, her kamera konisi aynı konuma geldiğinde görüntü alım komutunu ilgili kamera konisine gönderir. Kamera konileri yaklaşık olarak birbirlerine göre 7 cm aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Örneğin, uçağın hızını 70 m/sn. olarak kabul edersek, ilk koninin fotoğraf alımından sonra diğer koniler 1'er saniye gecikmeli olarak fotoğraf alacaktır (Leberl ve Gruber 2003).



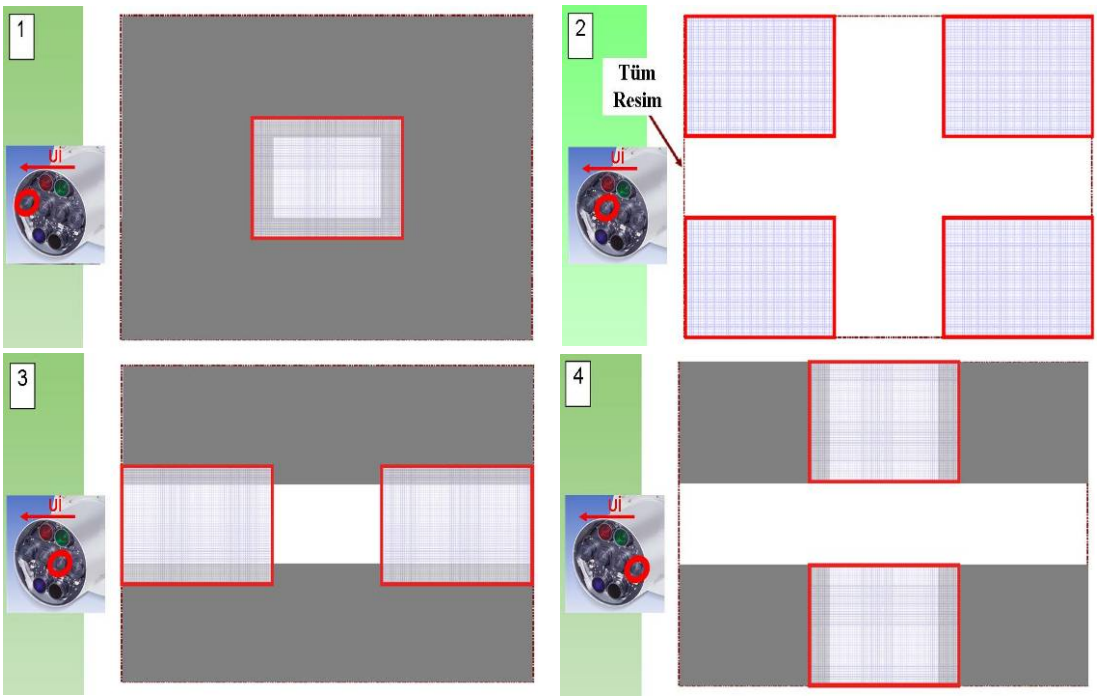

Şekil 3.39 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası için pankromatik sayısal görüntünün oluşturulması (pozlanması) "sintopik görüntüleme prensibi" (Thurgood 2004).

Multispektral 4 kamera konisi, son pankromatik kamera konisinin pozlama zamanı ile eş zamanlı olarak bütünleşik (birleştirilmiş) pankromatik görüntü alanının tamamını kaplayacak şekilde pozlama yapar (Şekil3.40).



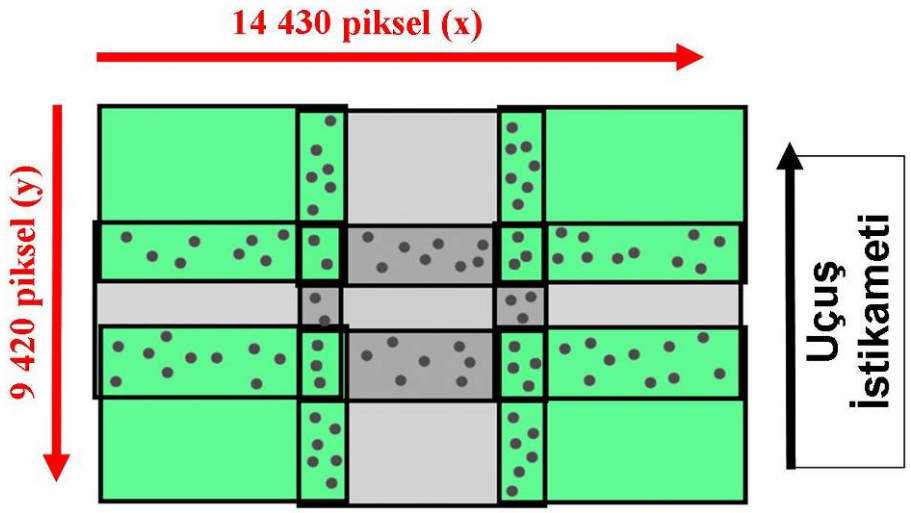

Şekil 3.40 Multispektral kamera konileri aynı anda t4 zamanında pozlama yaparlar.

Pankromatik kameraların görüntüleme prensibi aşağıdaki şekilde pozlama sırası ile gösterilmiştir (Şekil 3.41).




Şekil 3.41 1. 1 Adet Alan Dizi CCD'li 3ncü Yardımcı Koni; 2. 4 Adet Alan Dizi CCD'li Ana Koni (Bütünleşik pankromatik görüntünün geometrisini tanımlar); 3. 2 Adet Alan Dizi CCD'li 2nci Yardımcı Koni; 4.2 Adet Alan Dizi CCD'li 1nci Yardımcı Koni

Ana ve yardımcı koniler pozlama yaptıktan sonra 9 adet pankromatik görüntü, görüntü oluşturma işlemleri esnasında birleştirilirler. Birleştirme sonrasında Şekil 3.42'de gösterildiği gibi 14430*9420 piksellik ($UltraCam_D$ için 11500 * 7500 piksellik) pankromatik bütünleşik görüntü elde edilir.




Şekil 3.42 $UltraCam_X$ bütünleşik pankromatik görüntü ve görüntü boyutları (Bağlama Noktaları ve Bindirmeli Alanlar)

Renkli ve kızıl ötesi kamera konileri, aynı boyutta CCD algılayıcıları (her bir konide tek bir CCD algılayıcı mevcuttur) ile bütünleşik pankromatik görüntü alanının tamamını görüntüler. Bu nedenle, renkli ve kızıl ötesi bantlara ait görüntülerin çözünürlüğü, bütünleşik pankromatik görüntüye nazaran üçte bir oranında daha düşüktür. Görüntü oluşturma işlemleri esnasında renkli görüntülerin çözünürlüğü, pankromatik görüntü çözünürlüğüne eşitlenir (Pan sharpening).

Görüntüler sonuç ürün haline gelene kadar aşağıdaki seviyelerden geçerler (Çizelge 3.13) (Leberl ve ark. 2003).

Çizelge 3.13 $UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kamerası görüntü oluşum seviyeleri

| | |
|---|---|
| SEVİYE 00 | CCD lerden okunan ham görüntü birimleri, ayna görüntü vardır. |
| SEVİYE 0 | Doğrulanmış görüntü birimleri, ayna depolama yoktur. |
| SEVİYE 1 | Radyometrik olarak düzeltilmiş ve etkili birleştirme için yeniden düzenlenmiş görüntü birimleri |
| SEVİYE 2 | Geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmiş, birleştirilmiş görüntüler (renk katmanları ayrı durumdadır) |
| SEVİYE 3 | Sonuç renkli görüntü |

## 3.4. Self Kalibrasyon

Self kalibrasyon, yöneltmede modellenemeyen parametrelerin, hataların (odak uzaklığı, distorsiyon hataları vb.) dengeleme sırasında hesaplanarak düzeltmelerin sonuca yansıtılması işlemidir.

GPS ve referans koordinat sistemi arasındaki datum kayıklığı, GPS anteni kayıklığı, IMU kayıklığı ve kamera iç yöneltme parametreleri dengeleme esnasında sistematik hata kaynakları olarak kabul edilmektedir. $UltraCam_D$ ve $UltraCam_X$ sayısal hava kameraları için üretim esnasındaki laboratuar kalibrasyonları ve test uçuşları sonrasında bir kamera kalibrasyon raporu oluşturulmaktadır. Bu işlemler sırasında her bir kamera merceğine ait radyal distorsiyonlar düzeltilmekte ve bütünleşik görüntünün sonuç distorsiyon değeri 2 μm'den küçük olmaktadır. Dolayısıyla, resim asal noktasının koordinat doğruluğu da 2 μm'den küçük olacak şekilde belirlenmektedir. Kamera kalibrasyon raporundaki hata vektörleri grafiğinde hiç sistematik hata görülmemektedir. Bununla beraber, gerçek görüntü bloklarına self kalibrasyon parametreleri uygulandığında ve sonuçlar incelendiğinde 3-5 μm seviyesinde radyal distorsiyonlar bulunduğu tespit edilebilmektedir (Tachibana ve ark. 2008).

Uygulamada kullanılan Inpho MATCH-AT programının 12 ve 44 parametreli olmak üzere iki farklı self kalibrasyon seçeneği mevcuttur. Literatürde ve program kullanım kılavuzunda YKN sayısı az olan bloklar için aşırı parametrelenmeye yol açacağı ve geometrik doğruluk üzerinde bozucu etkisinin olabileceği belirtilmektedir.

# 4. ARAŞTIRMA ÇALIŞMASI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Microsoft UltraCam$_X$ GPS/IMU destekli sayısal hava kamerası sisteminin geometrik ve doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğu araştırılacak, sayısal hava kamerasının fotogrametrik kıymetlendirme çalışmaları üzerine etkileri (avantaj ve dezavantajları) ve ortofoto üretimine etkileri incelenecek ve sayısal ve analog hava kamerası ile 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi maliyet analizi yapılacaktır.

## 4.1. Sayısal Hava Kamerası Fotogrametrik Nirengi Çalışması

Fotogrametrik nirengi yönteminde dış yöneltme elemanları; kamera bilgileri, yer kontrol noktalarının arazi ve resim koordinatları, bağlama noktaları kullanılarak ışın demetleri ile blok dengeleme yöntemiyle belirlenmektedir. Fotogrametrik nirengi çalışmalarında kinematik GPS yönteminin kullanılmaya başlanması ile beraber, uçuş sırasında GPS ölçülerinin yapılması ve bu ölçümlerin işlenmesiyle resim orta nokta koordinatlarının çok yaklaşık olarak hesap edilerek yer kontrol noktası ihtiyacı önemli ölçüde azaltılmış olsa da, halen, dış yöneltme elemanlarının diğer bilinmeyenleri olan dönüklük açılarının hesaplanabilmesi için bir blok içerisinde en az 4 adet yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni nesil hava kameraları ile IMU (Inertial Measurement Unit) ve DGPS (Diferential Global Positioning System)'in birlikte kullanılmasıyla oluşturulan GPS/IMU sistemi sayesinde uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler ile dış yöneltme elemanları doğrudan hesaplanarak elde edilebilmektedir. Bu sayede, resimlerin yöneltilmesi için gerekli olan iç ve dış yöneltme bilinmeyenleri uçuş sırasında doğrudan elde edilebilmekte ve yer kontrol noktasına (YKN) teorik olarak ihtiyaç kalmamaktadır. Ancak, bu durumda elde edilen sonuç verilerinin kontrolünün yapılabilmesi veya datum dönüşümünün gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır. GPS/IMU ile doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğu üzerine yapılan araştırmaların sonucu, yer kontrol

noktası ihtiyacının yapılacak fotogrametrik çalışmanın amacı ve doğruluk kriterine göre belirlenmesi gerektiği üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında bu bölümde, ilk olarak, Microsoft UltraCam$_X$ GPS/IMU destekli sayısal hava kamerası sisteminin geometrik ve doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğunun araştırılması maksadıyla test çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Birinci çalışmada yapılan testlerle, doğrudan coğrafi konumlandırma için kullanılan boresight kalibrasyon değerleri hesaplanmış ve sayısal hava kamerası ile gerçekleştirilecek çalışmalar için çözünürlük (yer örnekleme aralığı), ölçek ve doğruluk kriterleri belirlenmiştir.

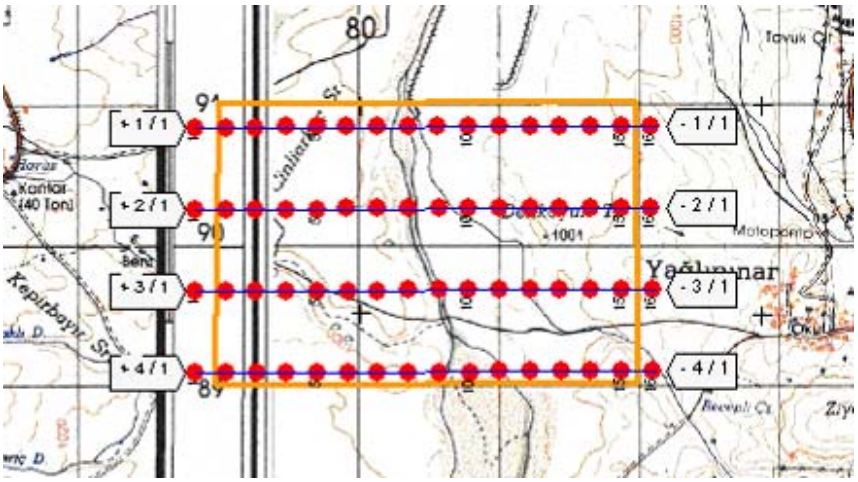
İkinci çalışmada, ülkemizde topoğrafik harita üretimi için temel ölçek olarak kullanılan 25.000 ölçekli harita üretimi üzerinde yoğunlaşılmıştır. İlk çalışma ile 25.000 ölçekli harita üretimi için uygun fotoğraf alım ölçeği belirlenmiş ve ikinci çalışma ile bir önceki çalışmada yapılan doğruluk araştırması, sayısal hava kamerası sisteminin doğrudan coğrafi konumlandırma imkân ve yetenekleri temel topoğrafik harita üretimi için gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü çalışmada, analog ve sayısal hava kamerası için ortak olarak seçilen bir bölgede, farklı zamanlarda ve farklı nirengiler kullanılarak dengelenmiş olan stereo modeller üzerinde, çalışma bölgesine homojen olarak dağılmış 41 adet kontrol noktası seçilmiştir. Seçilen kontrol noktaları arazi üzerine önceden işaretlenmiş, jeodezik olarak önceden ölçülmüş ve fotogrametrik nirengi ve dengeleme işlemlerine dâhil edilmiş noktalar değildir. Kontrol noktaları gerçek durumu ortaya koyması açısından, her iki kameraya ait görüntülerde bulunan detay noktalarıdır. Seçilen bu kontrol noktalarına ait koordinat değerleri her iki kameraya ait stereo modellerden okunmuş ve sonrasında noktalara ait koordinat değerleri TUSAGA-Aktif (CORS-TR) düzeltmelerini alabilen GPS aleti ile arazide ölçülmüştür. Kontrol noktalarının her iki kameraya ait görüntülerinden elde edilen koordinat değerleri arazide ölçülen GPS koordinatları ile karşılaştırılarak doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir.

### 4.1.1. Çalışma bölgesi ve çalışmada kullanılan hava fotoğrafları

Çalışma bölgesi olarak ilk aşamada, iki ayrı bölge seçilmiş ve seçilen bu iki ayrı bölge için iki ayrı uçuş planlanmıştır.

İlk uçuş, Ankara Gölbaşı bölgesinde 6 $km^2$ lik bir alanı kapsayan bölgede, dört farklı ölçekte (1:8.000, 1:20.000, 1:50.000, 1:70.000) diğer bir deyişle dört farklı yer örnekleme aralığında (6 cm, 14 cm, 36 cm ve 50 cm) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Dört farklı ölçekte uçuş planlanmasının nedeni, hem büyük ölçekli haritalama çalışmaları (1:1.000, 1:5.000 ve 1:10.000), hem de orta ölçekli çalışmalar (özellikle, ülke haritaları için temel ölçek olan 1:25.000) için yapılacak uçuşlarda istenecek olan doğruluk ve çözünürlüğün (yer örnekleme aralığı) ölçekle olan ilişkisini belirlemektir (Kiracı ve ark. 2009).

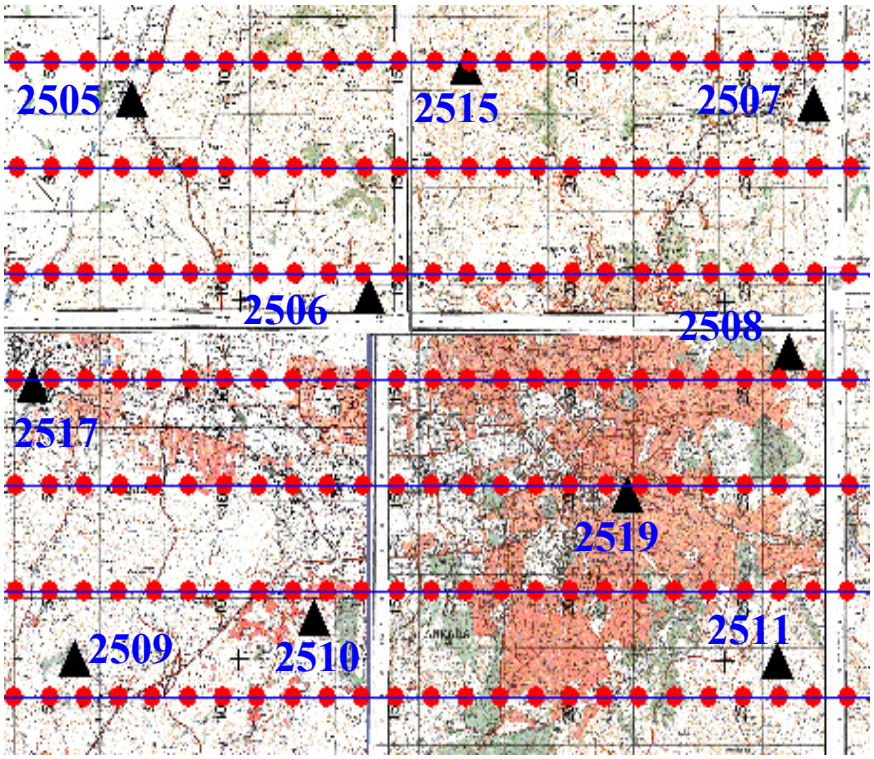



Şekil 4.1 Birinci bölge

İkinci uçuş, yine Ankara'nın bir bölümünü kapsayan yaklaşık 1000 $km^2$ lik bir alanda 1:60.000 (43 cm yer örnekleme aralığı) ölçeğinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). İkinci uçuşun 1:60.000 ölçekli seçilmesinin nedeni, ilk uçuş ile ilgili yapılan çalışmalar ile 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için optimum fotoğraf ölçeği olarak seçilmiş olmasıdır. Blok köşelerinde birer adet olmak üzere bölgeye homojen olarak dağılmış 10 adet nirengi planlanmış arazide tesis ve ölçümü sağlanmıştır.

Yapılan çalışma ile GPS/IMU kullanılarak doğrudan coğrafi konumlamanın geometrik doğruluğunun belirlenmesi ve fotogrametrik nirengi işlemlerine ne kadar katkı sağlayacağının tespit edilebilmesi amaçlanmıştır.

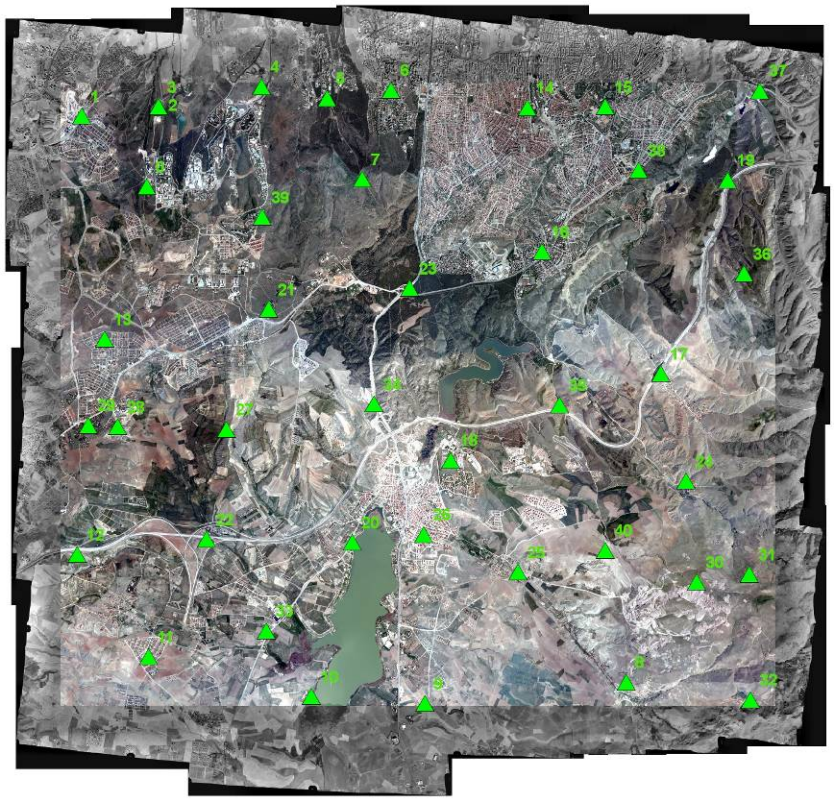
Bu uçuş için blok dengeleme ve boresight kalibrasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, doğrudan coğrafi konumlandırma, GPS işlemleri, diferansiyel ve hassas nokta konumlama (PPP) olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.




Şekil 4.2 İkinci Bölge

İkinci aşama olarak, Gölbaşı/Ankara bölgesinde yaklaşık 280 $km^2$ lik bir alan üçüncü çalışma bölgesi olarak seçilmiştir (Şekil 4.3). Bu çalışmada, analog ve sayısal hava kameralarının gerçek durum ve gerçekteki doğrulukların ne kadar olduğu test edilmeye ve ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Analog hava kamerası görüntüleri olarak, 152 mm odak uzaklıklı RMK TOP15 kamerası ile 2001 yılında çekilen

1:25.000 ölçekli pankromatik hava fotoğrafları, sayısal hava kamerası görüntüleri olarak, 100.5 mm odak uzaklıklı UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası ile 2008 yılında çekilen 1:60.000 ölçekli (7.2 μm piksel boyutu - 43 cm yer örnekleme aralığı) renkli (RGB) hava fotoğrafları kullanılmıştır. Her iki blok, blok köşelerinde birer adet olmak üzere 4 adet nirengi noktası kullanılarak dengelenmiştir.



Şekil 4.3 Üçüncü Bölge

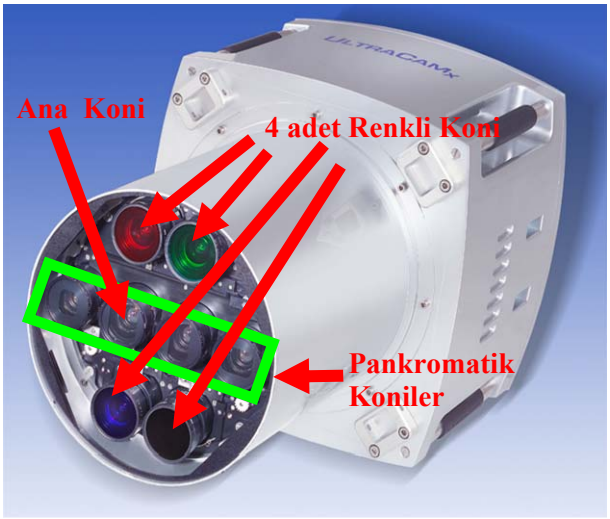
### 4.1.2. Çalışmada kullanılan donanım ve yazılımların tanıtımı

Bu çalışmada Microsoft Vexcel UltraCam$_X$ GPS/IMU destekli sayısal hava kamerası sistemine ait donanım ve yazılımlar ile sayısal fotogrametrik üretim (fotogrametrik nirengi, kıymetlendirme ve ortofoto üretimi) yazılımları kullanılmıştır. Kullanılan donanım ve yazılımlar ile yazılımların temel kabiliyetleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.1.2.1. Çalışmada kullanılan donanımlar

Çalışmalar Microsoft UltraCam$_X$ GPS/IMU destekli sayısal hava kamerası sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Microsoft UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası geniş çerçeve formatlı sayısal hava kamerası olup altı adet bileşenden oluşmaktadır.

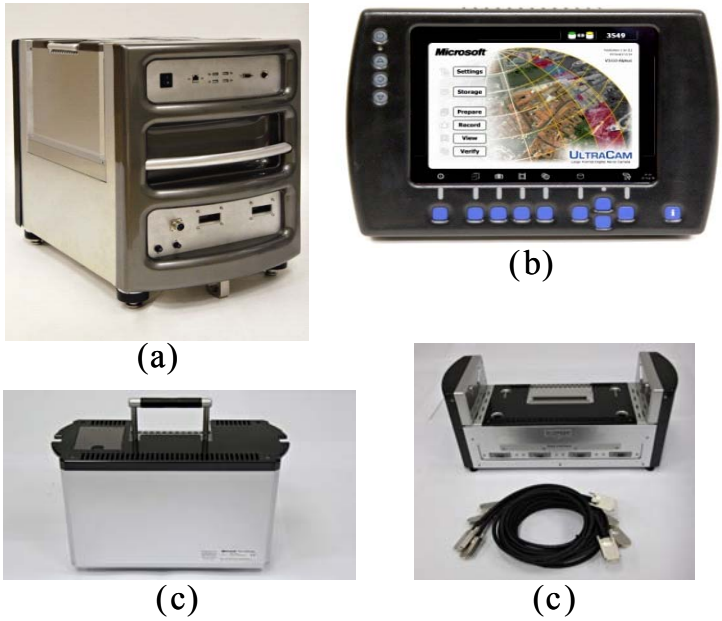
- Algılayıcı Birimi (SX): Pankromatik bant için 4 adet, kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi (RGBI) bantlara ait 4 adet olmak üzere toplam 8 adet optik koni, Pankromatik konilere ait 9 adet, renkli konilere ait 4 adet olmak üzere toplam 13 adet CCD dizini bulunmaktadır (Şekil 4.4).




Şekil 4.4 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası algılayıcı birimi

- Hesaplama Birimi (CX) (Görüntü Kayıt İşlemleri): Uçuş esnasında görüntü kalite kontrol değerlendirmeleri için kullanılan ara sonuç veri ve dosyalarının işlenmesi ve hesaplanması için 15 adet CPU bulunur. Aynı zamanda, uçuş esnasında canlı görüntü ve görüntü histogramlarının gerçek zamanlı olarak hesabı için ham görüntülerin işlenmesini gerçekleştirir (Şekil 4.5 (a)).
- Kamera İşletim Arayüzü (IPX): Kamera operatörü tarafından uçuş esnasında fotoğraf çekim işlemlerinde kullanılmaktadır (Şekil 4.5 (b)).

- Veri Depolama Birimi (DX) (Uçaktaki Veri Kayıt Birimi): Uçuş esnasında veri kaydı ve sonrasında verinin işlenmesi veya arşivlenmesi amacıyla bir sunucu veya iş istasyonuna transferi amacıyla kullanılır. Her bir değiştirilebilir veri depolama ünitesi yaklaşık 4000 görüntü depolayabilmektedir. Bir tam dolu DX verisi (2 Tbytes_14*160GB) bir sunucu veya iş istasyonuna yaklaşık olarak 4 saatte transfer edilebilmektedir. Taşınabilirdir (Şekil 4.5 (c)).
- Veri Transfer Birimi (DKX): Uçuş sırasında DX ünitesine kaydedilen ham görüntüler uçuş sonrasında DKX ünitesi yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır (Şekil 4.5 (d)).




Şekil 4.5 (a) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası hesaplama birimi; (b) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası kamera işletim arayüzü; (c) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası veri depolama birimi; (d) UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası veri transfer birimi

- İnersiyal Navigasyon Sistemi (Inertial Navigation System-INS): GPS ve IMU kombinasyonu ile oluşturulmuş bir sistemdir. IMU (Inertial Measurement Unit), devamlı olarak (kesintisiz) 3 ortogonal doğrusal ivme vektörünü ve açısal dönüklüğü ölçen bir sistemdir. Elde edilen hızların ikinci integrali istenilen konumlama bilgilerini verir. Ayrıca dönüklük ölçümleri zamana bağlı entegre

edilerek durum bilgileri hesaplanır. IMU yüksek rölatif doğruluk sağlar ancak, zamana bağlı olarak mutlak doğruluğu bozulur. GPS ile sağlanan gözlemler sayesinde, uygun dış konum veya hız güncelleme ölçümleri ile sistematik hataların etkisi önemli ölçüde elimine edilir (Şekil 4.6).




Şekil 4.6 UltraCam$_X$ sayısal hava kamerası inersiyal navigasyon sistemi

#### 4.1.2.2. Çalışmada kullanılan yazılımlar

- OPC (Ofis Veri İşleme Yazılımı): UltraCam$_X$ kamera sistemine ait bir yazılımdır. Uçaktan gelen ham görüntüleri (Seviye 0) işleyerek, ilk olarak radyometrik olarak düzeltilmiş ve etkili birleştirme için yeniden düzenlenmiş görüntü birimlerine (Seviye 1 (Geçici dosyalardır, kullanıcı tarafından ulaşılamaz ve görüntülenemez)) dönüştürür. Sonrasında "Seviye 1" görüntüleri, geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmiş ve birleştirilmiş görüntülere (Seviye 2 (renk katmanları ayrı durumdadır ve kullanıcı isterse "Seviye 3" görüntülerini radyometrik düzeltmeleri elle yaparak elde edebilir.)) dönüştürür. Bu aşamada elle radyometrik düzeltme yapmak için programa müdahale edilmez ise radyometrik olarak düzeltilmiş sonuç görüntüler (Seviye 3) otomatik olarak elde edilebilir (Şekil 4.7).




Şekil 4.7 OPC (Ofis Veri İşleme Yazılımı)

- Görev Planlama Yazılımı (Mission Planning Software (WinMP)): Bu yazılım yardımıyla uçuş planları hazırlanır ve bir PCMCIA kart kullanılarak uçağın navigasyon sistemine aktarılır. Bu yazılım da IGI'a ait bir yazılımdır.
- Navigasyon Sistemi: Navigasyon sistemi olarak IGI'nın CCNS4 kullanılmıştır. CCNS4 navigasyon sistemi, uçuş planlama yazılımı (WinMP) ile önceden planlanmış olan bir uçuş görevinin planlandığı şekilde icra edilmesini ve fotoğraf çekimini sağlayan bir uçuş kontrol ve yönetim sistemidir.
- AeroOffice (GPS ve IMU Ölçümlerini işleme yazılımı): Bu yazılım PCMCIA kart üzerindeki GPS ve IMU verilerinin güvenli bir şekilde aktarılmasını ve bu verileri kullanarak fotoğraflara ait asal nokta koordinatlarının ve dönüklük açılarının (pitch, roll, yaw) hesaplanmasını sağlar. Bu sonuçlar doğrudan coğrafi konumlandırma veya birleştirilmiş algılayıcı yöneltmesi için de kullanılabilir. AeroOffice yazılım paketi içerisinde aynı zamanda Waypoint GPS işlem yazılımı da mevcuttur.
- MATCH-AT yazılımı: Fotogrametrik nirengi ve dengeleme çalışmaları MATCH-AT yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. MATCH-AT INPHO firması tarafından geliştirilmiş yüksek hassasiyetli ve yüksek performanslı görüntü işleme algoritmaları kullanan bir sayısal hava triangülasyon (fotogrametrik nirengi) programıdır. Büyük proje ve blokları işleyebilecek şekilde tüm fotogrametrik nirengi işlemleri (otomatik bağlama noktası toplama) bütünüyle otomatize edilmiştir. Blok

büyüklüğü, şekli ve bindirme oranı sınırlaması yoktur. Hem çerçeve alan tipi algılayıcı görüntülerini, hem de satır tarayıcı algılayıcı görüntülerini işleyebilir. Dengeleme sırasında boresight kalibrasyonunu, kayıklık (shift) ve sürüklenme (drift) düzeltmelerini (self-kalibrasyon) de içerecek şekilde GPS/IMU verisini destekler. 12 ve 44 parametreli self-kalibrasyon seçenekleri bulunmaktadır. Stereo görüntü üzerinden kontrol ve bağlama noktası seçim ve ölçümü yapılabilir. Çoklu stereo görüntüleme desteği sayesinde stereo manuel nokta seçimi kolaylaşmıştır.

- SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı: Stereo model oluşturma, değerlendirme, nokta okuma çalışmaları SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı sayısal hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinden arazi ve detay hakkında doğru bilgi toplama olanağı sağlayan bir fotogrametri yazılımıdır. CBS, haritalama ve şehir planlaması gibi uygulamalar için veri desteği sağlar. Modüler yapıda olması üretim işlemlerine göre iş akışlarını belirlemede kolaylık ve serbestlik sağlar. Yazılımın modülleri aşağıda gösterilmiştir:

• Block Tool: Otomatik ya da manuel iç yöneltme ve dış yöneltme işlemleri ile dengeleme işlemleri yapılır.

• Stereo Tool: Stereoskopik görüş için stereo çiftlerinin yaratılmasını sağlar.

• Surface Tool: Üçgen SYM verilerinin toplanması ile kırık hatların (break line) çizimi gibi işlemler ile SYM verilerinin editlenmesine olanak tanır.

• Dem Tool: Grid şeklinde SYM verilerinin toplandığı ve editlendiği modüldür.

• Ortho Tool: Dengeleme sonuçları ile SYM verilerini kullanarak ortofoto üretimini sağlar.

• Mosaic Tool: Ortofoto görüntülerin birleştirilip mozaiklendiği modüldür.

• Mensuration Tool: Uzunluk, alan gibi ölçümlerin yapıldığı modüldür.

• KDMS Tool: KDMS (Kork Digital Mapping System) CAD yazılımı kullanarak stereo görüntüler üzerinde superimpositionla değerlendirmenin yapıldığı modüldür.

• Terra Model Tool: Otomatik eş yükseklik eğrisi çizimi ve yüzey modelleme yapar.

### 4.1.3. Birinci bölgede yapılan çalışmalar

İlk test uçuşu, Ankara Gölbaşı bölgesinde 6 $km^2$ lik bir alanı kapsayan bölgede, dört farklı ölçekte (1:8.000 "6 cm GSD", 1:20.000 "14 cm GSD", 1:50.000 "36 cm GSD", 1:70.000 "50 cm GSD") gerçekleştirilmiş, bloğun dengelenmesi ve sonuçların kontrolü için blok köşelerinde 4 adet YKN (Yer Kontrol Noktası) inşa edilmiştir.

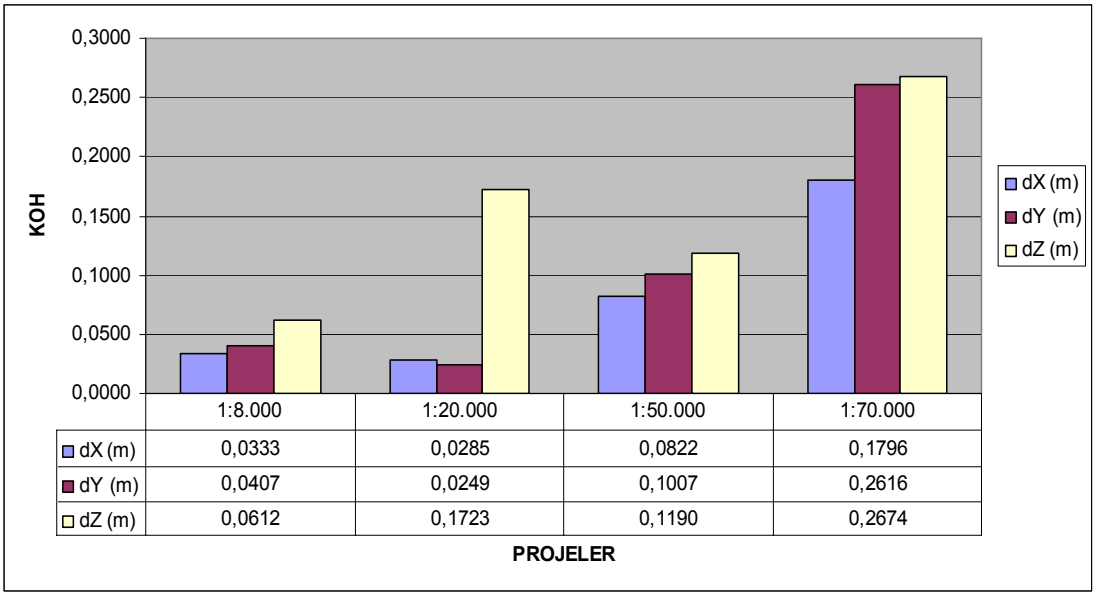
İlk test uçuşunda elde edilen resimler ve kinematik GPS/IMU değerleri kullanılarak; blok dengeleme, boresight kalibrasyonu ve doğrudan coğrafi konumlandırma yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlk olarak yerde bulunan sabit GPS ve uçaktan alınan GPS verileri GraffNav yazılımı ile işlenmiş (postprocess) ve kinematik çözümü yapılmıştır. Daha sonra AeroOffice programı ile GPS ve IMU verileri birleştirilmiş ve her resme ait dış yöneltme parametreleri elde edilmiştir. Bu aşamada; sayısal kamera sistemin tedarik aşamasında yapılan ilk test uçuşlarında elde edilen boresight kalibrasyon değerleri kullanılmıştır.

#### 4.1.3.1. Blok Dengeleme

AeroOffice programı kullanılarak yapılan GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen yöneltme elemanları, blok dengelemede başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır. GPS/IMU verileri ve blok köşelerindeki YKN'ları kullanılarak bağlama noktaları Inpho Match-AT yazılımı ile otomatik olarak toplanmış ve sonrasında aynı yazılım kullanılarak blok dengelemesi yapılmıştır. Elde edilen dengeleme sonuçları ile stereo modeller oluşturulmuştur. Blok köşelerindeki nirengilerin stereo modeller üzerinde arazi koordinatları ölçülmüş ve jeodezik olarak belirlenmiş koordinatlar ile olan farkları, ortalama hata ve KOH'ları hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Bu işlemler, 1'inci bölgede belirlenmiş olan dört farklı ölçek için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçek için ayrı projeler oluşturulmuştur (Kiracı ve ark. 2009).

Çizelge 4.1 Stereo modellerde okunan koordinat farklarının karesel ortalama hataları (blok dengeleme sonucunda) (Kiracı ve ark. 2009).




| | 1:8.000 | 1:20.000 | 1:50.000 | 1:70.000 |
|---|---|---|---|---|
| dX (m) | 0,0333 | 0,0285 | 0,0822 | 0,1796 |
| dY (m) | 0,0407 | 0,0249 | 0,1007 | 0,2616 |
| dZ (m) | 0,0612 | 0,1723 | 0,1190 | 0,2674 |

### 4.1.3.2. Boresight Kalibrasyonu

IMU ve kamera sensörü arasındaki mesafe, IMU fiziksel olarak yerleştirilirken ölçülmektedir. Normal koşullarda IMU ve kamera sensörü arasında dönüklük olmaması beklenir. Ancak bunun sağlanması ya da fiziksel olarak ölçülmesi mümkün değildir. Kamera ile IMU arasındaki dönüklük boresight kalibrasyonu ile belirlenir. Boresight hesabı blok dengeleme sonuçları ile GPS/IMU entegrasyonu sonucunda elde edilen sonuçlar arasındaki farklardan elde edilmektedir. Bu kapsamda AeroOffice yazılımı ile dengeleme ve GPS/IMU verileri karşılaştırılarak boresight kalibrasyon değerleri belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda dönüklük açı farkları ($d\omega$, $d\varphi$, $d\kappa$) ve GPS drift parametreleri (dx, dy, dz) elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Boresight Kalibrasyon Sonuçları (Kiracı ve ark. 2009).

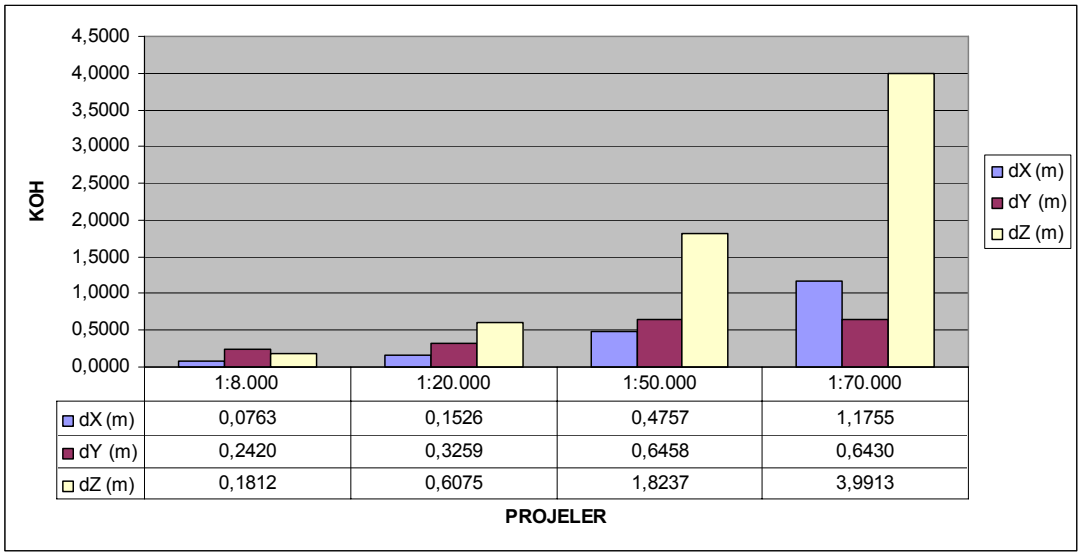
| AEROOFFICE BORESIGHT SONUÇLARI | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ÖLÇEK** | **ROLL (derece)** | **PITCH (derece)** | **YAW (derece)** | **YUKARI DEĞER (m)** | **SAĞA DEĞER(m)** | **YÜKSEKLİK(m)** |
| 1:8000 | 0.3752 | -0.019 | -0.1046 | 2,4470 | 0.787 | -37,1850 |
| 1:20000 | 0.3873 | -0.0148 | -0.0848 | 1,8660 | 0.712 | -37,3210 |
| 1:50000 | 0,3806 | -0,0062 | -0,0915 | -1,7300 | 0,0570 | -37,9580 |
| 1:70000 | 0,4075 | -0,0188 | -0,1121 | -2,3810 | -0,8050 | -37,3740 |
| **TÜM PROJELER** | **0,3894** | **0,0060** | **-0,1124** | **0,0840** | **-0,0490** | **-37,8230** |

### 4.1.3.3. Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing)

Fotogrametrik nirengi çalışmalarında gerçekleştirilen blok dengelemenin amacı, her bir resme ait dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesidir. Bunun için blok köşelerinde yeterli sayıda nirengi noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Nirengilerden merkezi izdüşüm denklemleri kullanılarak ve uzaysal geriden kestirme yapılarak resim orta noktası koordinatları ($X_0$, $Y_0$, $Z_0$) ve dönüklükleri ($\omega$, $\varphi$, $\kappa$) hesaplanmaktadır. Sonrasında dönüklükleri bilinen bindirmeli resim çiftlerinden stereo model oluşturularak arazi koordinatları elde edilmektedir. Son yıllarda GPS/IMU sisteminin kullanılmaya başlanması ile birlikte dış yöneltme parametreleri dengeleme yapılmaksızın GPS ve IMU ölçümlerinin entegrasyonu ile belirlenebilir hale gelmiştir. Sonuç olarak bu sistemin kullanılmasıyla stereo model oluşturmak için dış yöneltme parametreleri doğrudan elde edilebilmektedir. Doğrudan GPS/IMU verileri kullanılarak arazi koordinatlarının elde edilmesi "Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing)" olarak adlandırılmaktadır. Teorik olarak nirengi ihtiyacı ortadan kalkmış olarak görünse de GPS/IMU sisteminin kısıtlamalarının yani GPS/IMU verilerinin sağladığı geometrik doğruluğun bilinmesi

ve hangi projelerde doğrudan coğrafi konumlandırma yapılabileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla GPS/IMU entegrasyonu yapılan verilere, hesaplanan boresight değerleri eklenerek dış yöneltme parametreleri elde edilmiştir. Daha sonra bu parametreler ile stereo modeller oluşturulmuş ve blok köşelerindeki yer kontrol noktalarının oluşturulan stereo modeller üzerinde arazi koordinatları ölçülmüş ve jeodezik olarak belirlenmiş koordinatlar ile olan farkları, ortalama hata ve karesel ortalama hataları (KOH) hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Stereo modellerde okunan koordinat farklarının karesel ortalama hataları (Doğrudan coğrafi konumlandırma ile) (Kiracı ve ark. 2009).




| | 1:8.000 | 1:20.000 | 1:50.000 | 1:70.000 |
|---|---|---|---|---|
| dX (m) | 0,0763 | 0,1526 | 0,4757 | 1,1755 |
| dY (m) | 0,2420 | 0,3259 | 0,6458 | 0,6430 |
| dZ (m) | 0,1812 | 0,6075 | 1,8237 | 3,9913 |

### 4.1.3.4. Birinci bölge uçuş sonuçlarının değerlendirilmesi

1'nci bölgede yapılan uçuş ve çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda GPS/IMU değerleri ile doğrudan coğrafi konumlandırma sonuçlarının ortalama hatasının ölçeğe göre yatay bileşende 8 cm ile 1,2 m arasında, düşey bileşende ise 20 cm ile 4 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Burada koordinat farkları da tek tek incelendiğinde, bazılarının aşırı yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi her ölçekte çekilen resim sayısının farklı olmasıdır. Örneğin 1:8000

ölçekli projede 100 adet resim bulunurken, 1:70000 ölçekli projede 3 adet resim bulunmaktadır. Dolayısıyla 1:70000 ölçekli proje için hesaplanan boresight kalibrasyonu değerleri gerçeği yansıtmamaktadır. Ayrıca uçuş yüksekliği arttıkça düşey bileşendeki farkların da arttığı gözlenmektedir. Boresight kalibrasyon değerlerinin hesabı ikinci bölgede yapılan uçuşta tekrar yapılmış ve optimum çözüm bulunmuştur.

1'nci bölgede yapılan uçuş ve çalışmaların bir amacı da çeşitli ölçeklerde harita yapımı için gerçekleştirilecek uçuşlarda kullanılacak olan optimum resim ölçeklerinin veya başka bir deyişle yer örnekleme aralığının (ground sample distance-GSD) belirlenmesidir. Bu kapsamda 1'nci bölgede yapılan uçuşlardaki her bir ölçek için stereo modeller oluşturulmuş, bu modeller detay seçilebilirliği, uçuş yüksekliği ve projedeki model sayısı açılarından değerlendirilerek revizyon uçuşlarının 1:60.000 ölçeğinde (43 cm yer örnekleme aralığında) yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Klasik kamera ve sayısal kamera arasındaki ölçek ve yer örnekleme aralığı ilişkisi Çizelge 4.4'te sunulmuştur (Kiracı ve ark. 2009).

Çizelge 4.4 Ölçek Yer Örnekleme Aralığı İlişkisi (Kiracı ve ark. 2009).

| **Harita Ölçeği** | **Analog Fotoğraf Ölçeği** | **Tarama (mikron)** | **GSD (cm)** | **UltraCam$_X$ Piksel Boyutu (mikron)** | **Sayısal Kamera Ölçeği** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:1000 | 1:4000 | 15 | 6 | 7.2 | 1:10000 |
| 1.5000 | 1:16000 | 15 | 25 | 7.2 | 1:35000 |
| 1.25000 | 1:35000 | 15 | 50 | 7.2 | 1:70000 |

### 4.1.4. İkinci bölgede yapılan çalışmalar

1'nci bölgede yapılan uçuş ve çalışmalar sonucunda 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için optimum ölçek 1:60.000 (43 cm yer örnekleme aralığı) olarak belirlenmiştir. GPS/IMU kullanılarak doğrudan coğrafi konumlamanın geometrik doğruluğunun belirlenmesi ve fotogrametrik nirengi işlemlerinde ne kadar katkı sağlayacağının tespit edilebilmesi için 1:60.000 ölçeğinde bir uçuş daha gerçekleştirilmiştir. Uçuş yapılacak olan bölge olarak, 4.1.1'de de açıklandığı üzere, Ankara ilinin bir bölümünü kapsayan 1000 $km^2$ lik bir alan seçilmiştir (Şekil 4.2). Blok köşelerinde birer adet olmak üzere bölgeye homojen olarak dağılmış 10 adet nirengi planlanmış ve tesisi sağlanmıştır.

Bu uçuş için blok dengeleme, boresight kalibrasyonu ve doğrudan coğrafi konumlandırma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burada GPS veri işlem adımları diferensiyel ve hassas nokta konumlama (PPP) olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

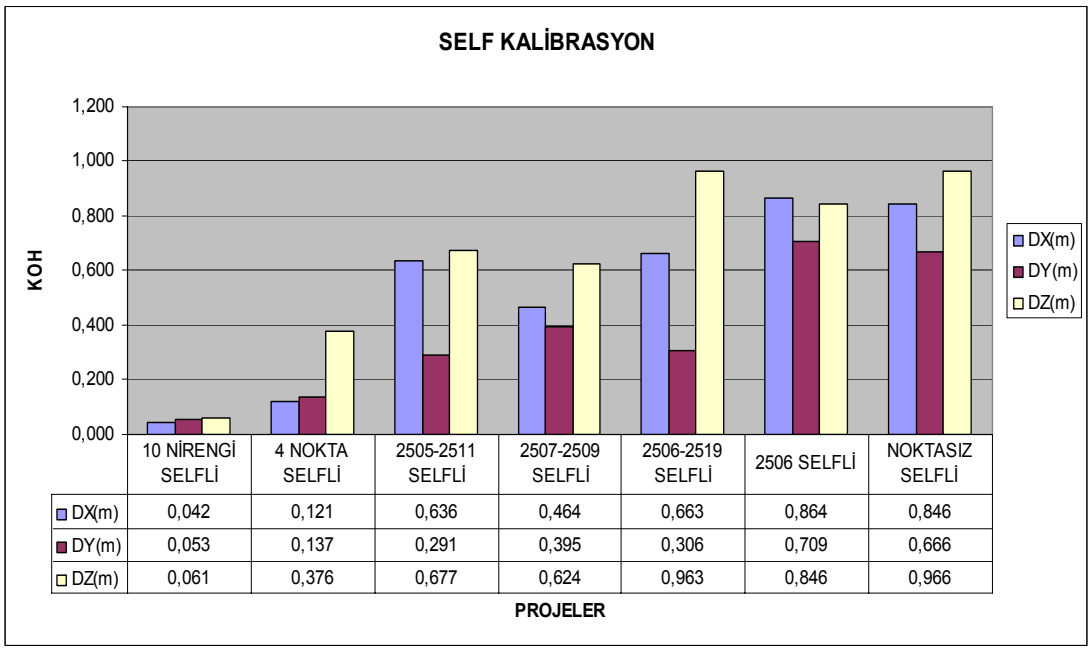
#### 4.1.4.1. Blok dengeleme

GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen (doğrudan coğrafi konumlama sonucunda) dış yöneltme parametreleri blok dengelemede başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır. Inpho Match-AT yazılımında GPS/IMU verileri projeye dâhil edilmiş, blok içerisindeki YKN'ları proje içerisindeki resimler üzerinde manuel olarak tanımlanmış ve bağlama noktaları otomatik olarak elde edilmiştir. Nirengi sayısının dengeleme sonuçlarına etkisini araştırmak için 7 ayrı blok dengelemesi yapılmıştır (Çizelge 4.5). Ayrıca self kalibrasyonun dengeleme sonuçlarına olan etkisinin de araştırılması için dengeleme self kalibrasyonlu ve self kalibrasyonsuz olarak iki kez tekrarlanmıştır. Dengeleme sırasında yer kontrol noktaları (check point) olarak hesaplanmış ve jeodezik olarak belirlenmiş koordinatlar ile olan farkları alınmış, ortalama hataları ve KOH'ları hesaplanmıştır (Çizelge 4.6 ve 4.7).

Çizelge 4.5 Blok Dengeleme Projeleri

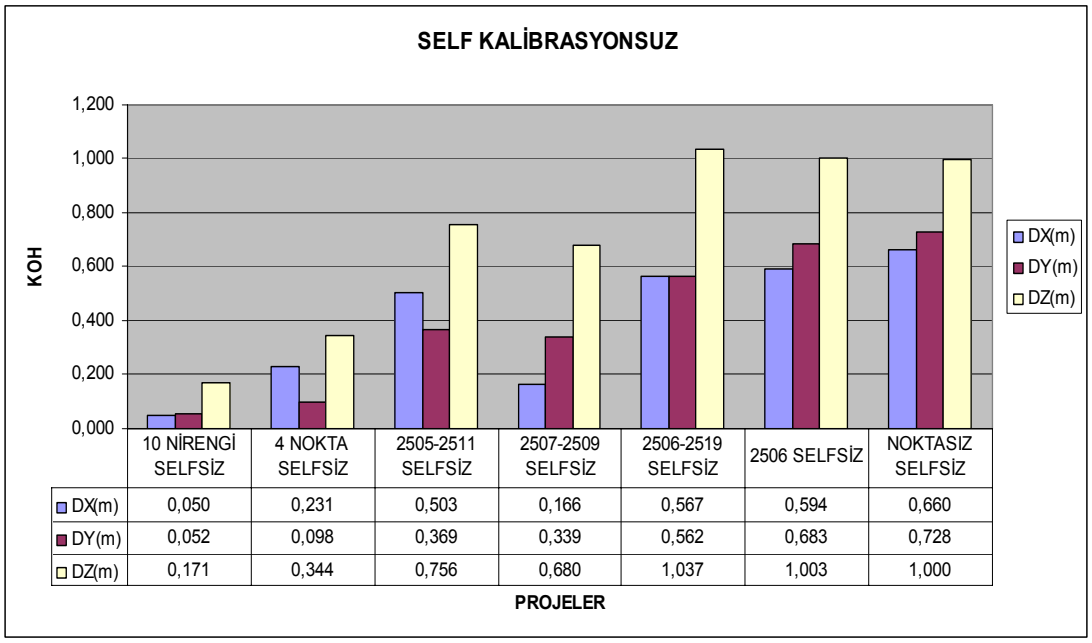
| PROJE | YKN | BKN |
|---|---|---|
| 10 N | 10 ADET | - |
| 4 N | 4 | 6 |
| 2 N | 2 | 8 |
| 2 N | 2 | 8 |
| 1N | 1 | 9 |
| NİRENGİSİZ | - | 10 |

Çizelge 4.6 Kullanılan yer kontrol noktası sayısının yöneltmeye etkisi (selfli: self kalibrasyonlu)




| | 10 NİRENGİ SELFLİ | 4 NOKTA SELFLİ | 2505-2511 SELFLİ | 2507-2509 SELFLİ | 2506-2519 SELFLİ | 2506 SELFLİ | NOKTASIZ SELFLİ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DX(m) | 0,042 | 0,121 | 0,636 | 0,464 | 0,663 | 0,864 | 0,846 |
| DY(m) | 0,053 | 0,137 | 0,291 | 0,395 | 0,306 | 0,709 | 0,666 |
| DZ(m) | 0,061 | 0,376 | 0,677 | 0,624 | 0,963 | 0,846 | 0,966 |

Çizelge 4.7 Kullanılan yer kontrol noktası sayısının yöneltmeye etkisi (selfsiz: self kalibrasyonsuz)




| | 10 NİRENGİ SELFSİZ | 4 NOKTA SELFSİZ | 2505-2511 SELFSİZ | 2507-2509 SELFSİZ | 2506-2519 SELFSİZ | 2506 SELFSİZ | NOKTASIZ SELFSİZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DX(m) | 0,050 | 0,231 | 0,503 | 0,166 | 0,567 | 0,594 | 0,660 |
| DY(m) | 0,052 | 0,098 | 0,369 | 0,339 | 0,562 | 0,683 | 0,728 |
| DZ(m) | 0,171 | 0,344 | 0,756 | 0,680 | 1,037 | 1,003 | 1,000 |

### 4.1.4.2. Boresight kalibrasyonu:

İlk bölgede yapılan çalışmalarda Boresight kalibrasyon parametreleri olarak kamera alım ve test aşamaları esnasında hesaplanan parametreler kullanılmıştır. İkinci bölgede yapılan çalışmalarda ise, proje alanı köşelerindeki 4 YKN'nı kapsayacak bir alanda boresight parametreleri yeniden belirlenmiştir. Boresight kalibrasyonu, proje alanı köşelerindeki 4 YKN kullanılarak yapılan dengeleme sonucunda elde edilen dış yöneltme parametreleri ve GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen (doğrudan coğrafi konumlama sonucunda) parametreler kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen boresight parametreleri Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

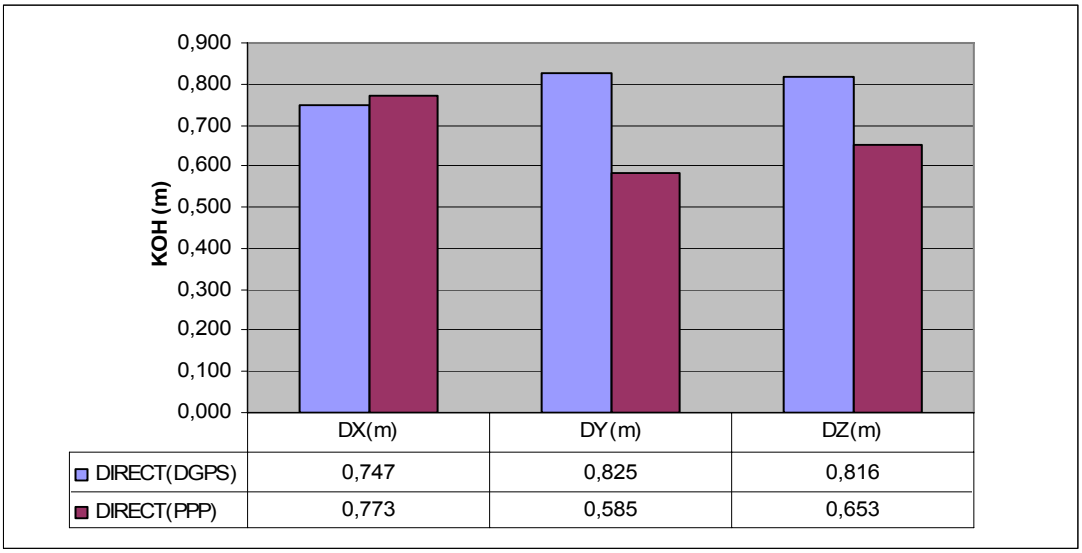
Çizelge 4.8 Boresight Kalibrasyon Sonuçları

| AEROOFFICE BORESIGHT SONUÇLARI | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ÖLÇEK** | **ROLL (derece)** | **PITCH (derece)** | **YAW (derece)** | **YUKARI DEĞER (m)** | **SAĞA DEĞER (m)** | **YÜKSEKLİK (m)** |
| 1:60.000 | 0.3896 | -0.0353 | -0.1104 | -0.030 | -0.033 | -37.297 |

### 4.1.4.3. Doğrudan coğrafi konumlandırma (Direct Georeferencing)

Doğrudan coğrafi konumlama için uçuş esnasında yerde ve uçakta GPS ölçümü yapılmıştır. Uçaktan alınan GPS/IMU ve yerde ölçülen GPS verileri ile önce GrafNav yazılımı kullanılarak GPS işlemleri (postprocess) yapılmış, daha sonra AeroOffice yazılımı yardımıyla GPS/IMU ölçülerinin birleştirilmesi (entegrasyonu) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dış yöneltme parametreleri, ikinci bölge için önceden hesaplanmış olan boresight kalibrasyon değerleri kullanılarak düzeltilmiştir. Sonrasında bu parametreler ile stereo modeller oluşturulmuş ve kontrol için inşa edilmiş 10 adet YKN'na ait koordinatlar stereo modeller üzerinden okunmuş, jeodezik olarak belirlenmiş koordinatlar ile olan farkları alınmış ve KOH'ları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.9 Diferansiyel GPS ölçümleri ve Hassas Nokta Konumlandırması ile doğrudan coğrafi konumlandırma sonucu elde edilen stereo modeller üzerinden ölçülen koordinatlar ile arazi koordinatları farklarının karesel ortalama hataları karşılaştırması.




| | DX(m) | DY(m) | DZ(m) |
|---|---|---|---|
| DIRECT(DGPS) | 0,747 | 0,825 | 0,816 |
| DIRECT(PPP) | 0,773 | 0,585 | 0,653 |

### 4.1.4.4. GPS verilerinin PPP ile çözümü

Dış yöneltme parametrelerinden resim orta noktası ($X_0$, $Y_0$, $Z_0$), kinematik GPS yöntemiyle çözülmektedir. Kinematik GPS ile çözüm, yerde kurulan bir sabit GPS ile uçakta bulunan GPS'in kinematik diferensiyel çözümü ile gerçekleştirilmektedir. Burada aynı anda ölçüm yapan iki GPS alıcısı ile uydu yörünge ve saat hatalarının giderilmesi amaçlanır. Yerde ölçü yapan GPS, ölçü esnasında uyduların yayınladığı efemeris dosyasını otomatik olarak indirmektedir. Diferensiyel çözüm de sabit GPS, uçakta bulunan GPS verileri ve efemeris dosyası kullanılarak baz çözümü yapılmaktadır. Bu çözüme alternatif olarak Hassas Nokta Konumlandırması da (Precise Point Positioning) yapılabilmektedir. Bu çözümde konsept daha sonra yayınlanan hassas efemeris verisi kullanılarak resim orta noktalarına ait koordinatların çözülmesidir. Hassas efemeris dosyasında düzeltilmiş uydu koordinatları ve uydu saat hataları yayınlanmaktadır. Böylece teorik olarak oldukça

hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. PPP çözümünün avantajı, uçuş esnasında yerde GPS ölçüsüne ihtiyaç olmamasıdır.

Bu kapsamda projeye ait uçak GPS verileri ve hassas efemeris verileri kullanılarak PPP çözümü yapılmıştır. Elde edilen GPS verileri ile GPS/IMU entegrasyonu yapılmış ve boresight düzeltmeleri getirilmiştir. Elde edilen veriler için doğrudan coğrafi konumlandırma yapılmış ve stereo modeller oluşturulmuştur. Kontrol için inşa edilmiş 10 adet nirengiye modellerde yanaşılarak koordinatlar okunmuş, jeodezik olarak belirlenmiş koordinatlar ile olan farkları ve KOH'ları hesaplanmıştır (Çizelge 4.9).

#### 4.1.4.5. İkinci bölge test sonuçlarının değerlendirmesi

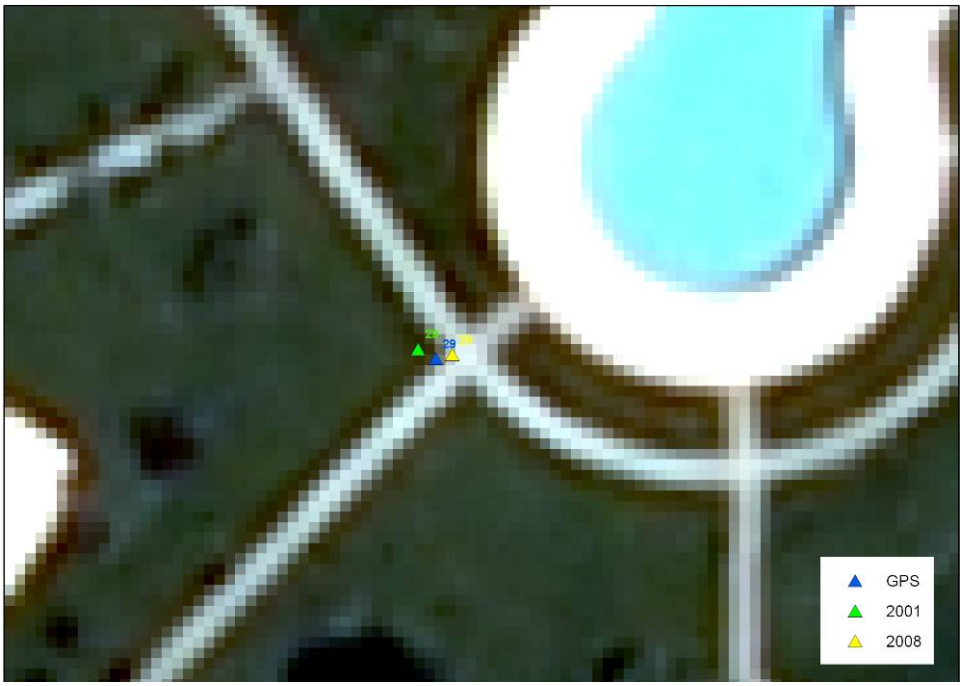
İkinci bölgede yapılan çalışmalar; 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi için sayısal hava kameraları ile elde edilecek olan stereo modellerin geometrik doğruluğunun belirlenmesi maksadıyla yapılmıştır. Çalışma self kalibrasyonlu blok dengeleme ve self kalibrasyonsuz blok dengeleme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilerek, self kalibrasyonun sonuç geometrik doğruluk üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. 10 adet YKN ile yapılan kalibrasyonlu ve kalibrasyonsuz dengeleme sonuçları incelendiğinde yeterli yer kontrol noktası kullanılan bloklarda self kalibrasyonlu dengelemenin bir miktar daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Literatürde de belirtildiği üzere self kalibrasyon parametreleri (12 veya 44 parametre) dikkatli kullanılmalıdır. Projede self kalibrasyon parametreleri kullanılacaksa (özellikle 44 parametreli çözüm) yer kontrol noktası sayısının yeterli sayıda olması gerekmektedir. 44 parametrenin uygun olmayan model ve projeler için kullanımı bozucu etki de yaratabilir. Self kalibrasyonun bozucu etkisi özellikle düşey doğrulukta görülecektir (Cramer 2009). Çizelge 4.6 ve 4.7 sonuçları incelendiğinde self kalibrasyon uygulanması veya uygulanmamasının sonuçlar üzerinde çok büyük bir fark yaratmadığı görülmüştür. Ancak yine de yeterli nirengi bulunmayan projelerde self kalibrasyonun anlamlı olmadığı ve bozucu etki yapabileceği söylenebilir.

İkinci bölgede yapılan çalışmalarda, proje alanı köşelerindeki 4 YKN'nı kapsayacak bir alanda boresight kalibrasyon parametreleri yeniden belirlenmiştir. Yeniden hesaplanan boresight değerleri ile doğrudan coğrafi konumlandırma ortalama hatası yatayda 58-83 cm ve düşeyde 65-82 cm olduğu belirlenmiştir. PPP çözümü ile yapılan doğrudan coğrafi konumlandırmanın DGPS ile yapılan doğrudan coğrafi konumlandırmaya nazaran bir miktar daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

### 4.1.5. Üçüncü bölgede yapılan çalışmalar

Yapılan test için Gölbaşı/Ankara bölgesinde yaklaşık 280 $km^2$ lik bir alan çalışma bölgesi olarak seçilmiştir (Şekil 4.3). Önceki bölgelerde yapılan çalışmalardan ve kamera üreticisi firmaların yapmış oldukları test çalışmalarından farklı olarak analog ve sayısal hava kameralarının gerçek durum ve gerçekteki doğrulukların ne kadar olduğu test edilmeye ve ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Aynı bölgede, analog ve sayısal hava kamerası ile farklı zamanlarda yapılmış ve farklı nirengilerin kullanıldığı uçuşlara ait görüntüler kullanılmıştır. Analog hava kamerası görüntüleri olarak, 152 mm odak uzaklıklı RMK TOP15 kamerası ile 2001 yılında çekilen 1:25.000 ölçekli pankromatik hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uçuş kinematik GPS yöntemi kullanılarak yapılmış, yaklaşık resim orta noktası koordinatları PAT-B GPS yazılımı kullanılarak GPS gözlemlerinin işlenmesi sonucunda elde edilmiştir. Analog hava fotoğrafları 20 μm çözünürlüğünde taranarak sayısal ortama aktarılmıştır. 1:25.000 ölçekli hava fotoğraflarının 20 μm ile taranması ile 50 cm yer örnekleme aralığında sayısal görüntüler elde edilmiştir. Blok köşelerinde birer adet olmak üzere 4 adet nirengi noktası kullanılarak dengelenmiştir. Sayısal hava kamerası görüntüleri olarak, 100.5 mm odak uzaklıklı $UltraCam_X$ sayısal hava kamerası ile 2008 yılında çekilen 1:60.000 ölçekli (7.2 μm piksel boyutu - 43 cm yer örnekleme aralığı) renkli (RGB) hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uçuş, GPS/IMU yöntemi kullanılarak yapılmış, doğrudan coğrafi konumlama sonuçları yaklaşık değerler olarak dengelemeye dâhil edilerek, birleştirilmiş algılayıcı yöneltmesi (integrated sensor orientation) uygulanmıştır. Her iki kameraya ait görüntüler ile stereo modeller oluşturulmuş, 41 adet ortak detay noktası belirlenmiş

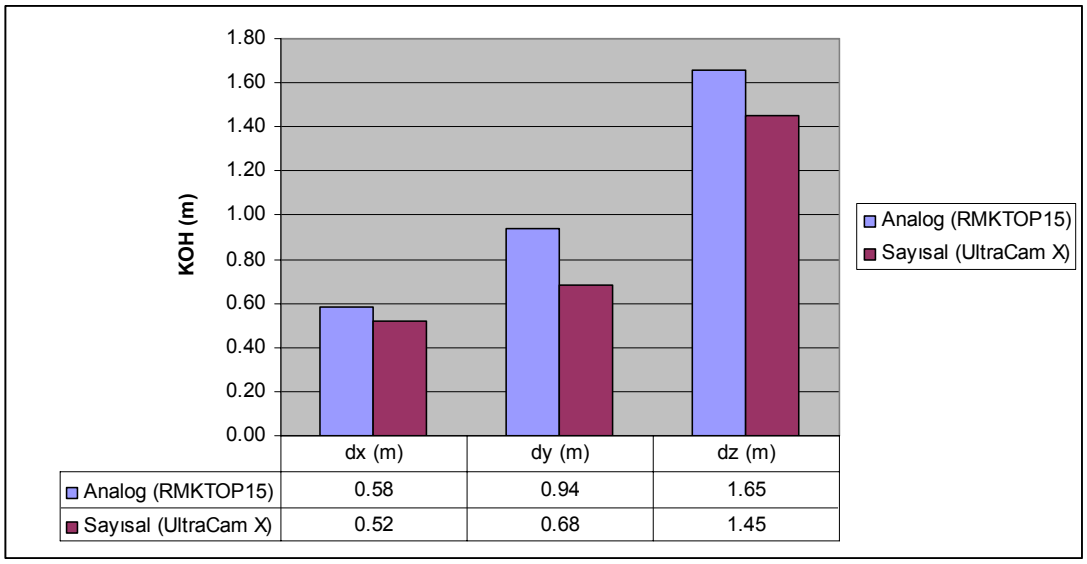
ve bu noktalara ait konum ve yükseklikler stereo modeller üzerinden okunmuştur. Sonrasında TUSAGA-Aktif (CORS-TR) düzeltmelerini kullanabilen bir GPS alıcısı ile bu 41 noktaya ait arazi koordinatları ölçülmüştür (Şekil 4.8). Analog ve sayısal hava kameralarına ait görüntülerden elde edilen koordinatlar ayrı ayrı jeodezik koordinatlar ile karşılaştırılmış ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.




Şekil 4.8 Stereo modeller üzerinden okunan ve jeodezik olarak ölçülen bir detay noktası.

Kinematik GPS yöntemi kullanılarak analog hava kamerası ile yapılan uçuş ve GPS/IMU destekli sayısal hava kamerası kullanılarak yapılan uçuş sonucunda elde edilen görüntüler MATCH-AT yazılımı yardımıyla dengelenmiş ve çalışma bölgesine ait stereo modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan stereo modeller üzerinden seçilen detay noktalarına ait ölçülen koordinatlar ile detay noktalarının arazi koordinatları farklarının karesel ortalama hataları Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4.10 Analog ve sayısal hava kamerası ile uçuş sonucu elde edilen stereo modeller üzerinden ölçülen koordinatlar ile arazi koordinatları farklarının karesel ortalama hataları karşılaştırması.




| | dx (m) | dy (m) | dz (m) |
|---|---|---|---|
| Analog (RMKTOP15) | 0.58 | 0.94 | 1.65 |
| Sayısal (UltraCam X) | 0.52 | 0.68 | 1.45 |

### 4.1.5.1. Üçüncü bölge test sonuçlarının değerlendirmesi

Üçüncü bölgede yapılan testin sonuçları incelendiğinde, sayısal hava kamerasının analog kamerasına nazaran bir miktar daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Bu durumun, GPS/IMU ölçümleri sonucu elde edilen resim orta noktası koordinatlarının dengeleme içerisine yaklaşık değer olarak dâhil edilmesi sonucu daha iyi otomatik bağlama noktası ve daha iyi blok geometrisi sağlamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak, her iki kameraya ait sonuçların, arazi üzerinde kontrol noktası olarak kullanılmak amacıyla işaretlenmiş noktalardan ve bu noktaların blok dengeleme içerisine dâhil edilmesi ile elde edilen sonuçlardan (ikinci bölge test sonuçlarından) yaklaşık 3 kat daha kötü olduğu görülmektedir. Bu durumun, fotoğraf üzerinde belirlenen detay noktalarına arazide GPS ile tam olarak yaklaşılamaması ve stereo görüntülerde operatörün araziye yaklaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Sonuçların 1/25.000 ölçekli topografik harita üretimi standartlarını rahatlıkla karşıladığı görülmektedir.

## 4.2. Sayısal Hava Kamerasının Stereo Kıymetlendirme Çalışmaları Üzerindeki Avantaj ve Dezavantajları

Analog ve sayısal kameralar ile elde edilen fotoğrafların proje yönetimi ve kıymetlendirme çalışmalarında; detay teşhisi, bir paftayı kapatacak olan model sayısı, bir proje içerisindeki toplam resim sayısı, netlik, radyometrik/geometrik çözünürlük, vb. konularda farklılıklar ve dolayısıyla yöntemlerin birbirlerine nazaran avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Bu bölümde, analog ve sayısal hava kameraları ile elde edilen hava fotoğrafları kullanılarak üretilmiş stereo modeller ile gerçekleştirilen kıymetlendirme çalışmaları karşılaştırılmıştır.

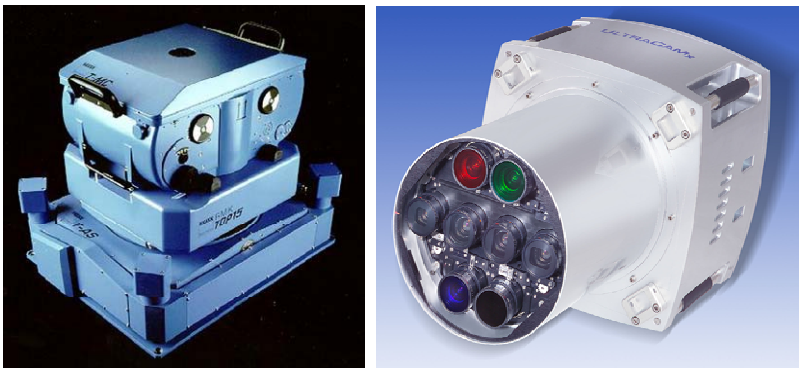
Sayısal kameranın analog kameralardan farklı olarak en temel anlamda getirmiş olduğu yenilik; film ihtiyacını, foto-laboratuar çalışmalarını ve fotoğraf tarama işlemlerini ortadan kaldırmasıdır. Bu sayede, foto-laboratuvar ve tarama işlemleri sonucu ortaya çıkabilecek görüntü kalitesindeki azalma ve geometrik bozulmalar önlenmektedir. Bununla beraber, analog kameralarda daha planlama aşamasında karar verilmesi gereken bir konu vardır ki, hem projenin maliyetini, hem fotogrametrik nirengi ve foto-laboratuar işlemlerini, hem de kıymetlendirme işlemlerini doğrudan etkiler. Analog kamera kullanılan projelerde, henüz planlama aşamasındayken fotoğrafların renkli mi kızılötesi mi yoksa siyah-beyaz mı (pankromatik) alınacağı belirlenmelidir. Aynı proje için renkli, kızılötesi ve pankromatik resim ihtiyacı varsa bu durum birden fazla film ve uçuş gerektirir. Bu da maliyeti önemli ölçüde arttırmaktadır. Sayısal kameralarda ise film kullanımının ortadan kalması, birden fazla kamera konisinin ve çoklu algılayıcının olması nedeniyle uçuş sonucunda uçulan bölgeye ait pankromatik, renkli ve kızıl ötesi görüntüler aynı anda elde edilmektedir. Kıymetlendirme sırasında aynı bölgeye ait değişik bantlardaki görüntülerin dönüşümlü olarak kullanılması, birinde görülemeyen detayların diğer görüntü bantlarında görülmesini mümkün kılmakta ve detay teşhisi açısından kıymetlendirme operatörleri için büyük avantaj sağlamaktadır.

Sayısal kameranın getirdiği diğer bir avantaj ise; daha önce operatör tarafından yapılan iç yöneltme işlemini ortadan kaldırmasıdır. Analog yöntemle elde edilen filmlerin taranmasıyla oluşturulan sayısal görüntülerin fotogrametrik işlemlerin

birçok aşamasında kullanılabilmeleri (fotogrametrik nirengi, ortofoto, stereo model oluşturma, vb.) için operatör tarafından resim köşe markalarına ölçüm yapılmak suretiyle iç yönletmelerinin yapılması gerekmekteydi. CCD'lerin geometrik konumları ve her bir sensörün fiziksel boyutunun hassas olarak bilindiği sayısal kamerada ise iç yöneltme işlemi, odak uzaklığı, sensörün boyutu ve satır-sütun sayısının sisteme tanımlanmasıyla tamamlanmış olmaktadır. Dolayısıyla, iç yöneltmede operatör tarafından veya otomatik olarak yapılan ölçüm esnasında oluşan hatalar önlenmiş olmakta ve bu durum operatöre zaman kazandırmaktadır.

Sayısal hava kamerası ile elde edilen görüntülerin radyometrisinin, kontrastının, netliğinin ve dolayısıyla detay teşhis edilebilirliğinin iyi olması, kıymetlendirme esnasında daha fazla sayıda detayın daha doğru olarak teşhis edilmesini olanaklı kılmış ve kıymetlendirilen detayların nitelik ve niceliğine olumlu katkı sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında, Analog ve sayısal hava kamerası görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen kıymetlendirme işlemleri incelenmiş ve kıymetlendirme çalışmaları ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Karşılaştırmada, 20 µ ile taranmış 50 cm yer çözünürlüğünde 1:25.000 ölçekli Zeiss RMK TOP 15 kamerasına ait pankromatik analog hava fotoğrafları ile 7.2 µ piksel boyutlu 43 cm yer çözünürlüğünde 1:60.000 ölçekli renkli Microsoft UltraCam$_X$ Sayısal Hava Kamerasına ait fotoğraflar kullanılmıştır (Şekil 4.9).

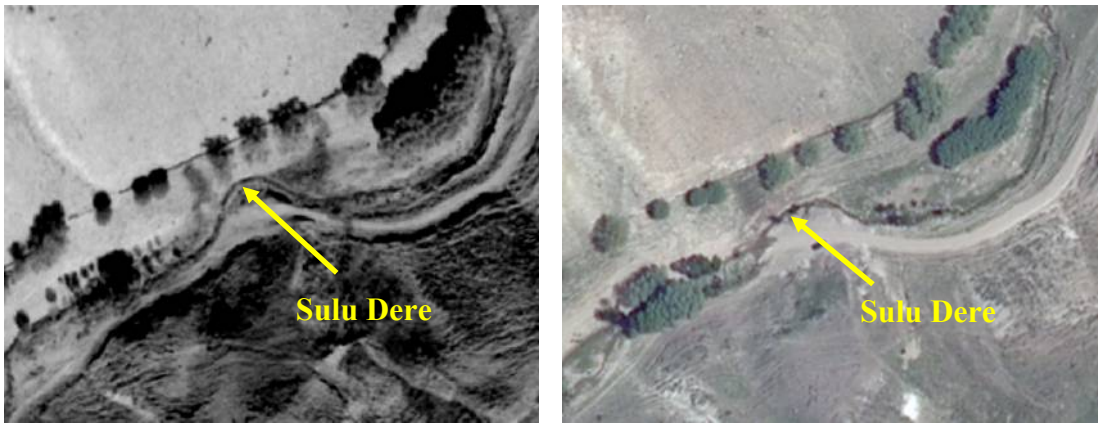


**Zeiss RMK TOP 15**
**Analog Hava Kamerası**

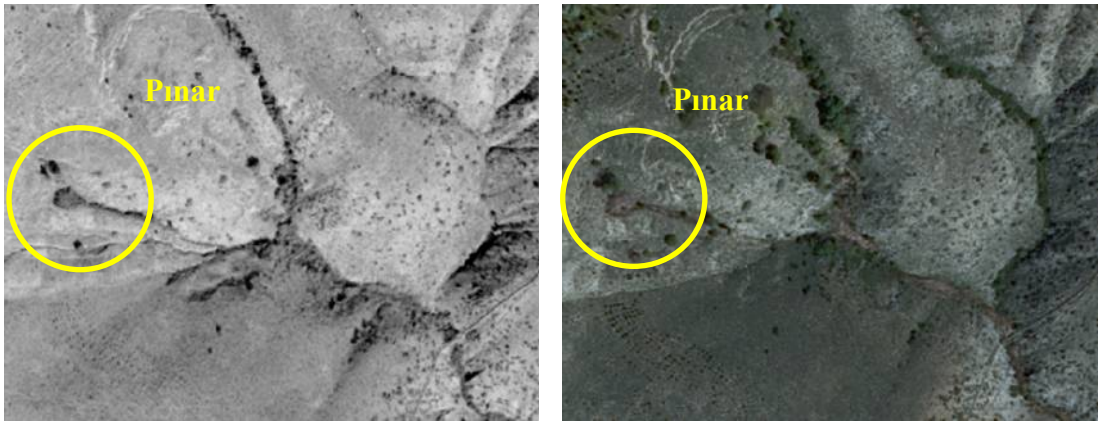
**UltraCam$_X$**
**Sayısal Hava Kamerası**

Şekil 4.9 Zeiss RMK TOP 15 Analog Hava Kamerası ve Microsoft UltraCam$_X$ Sayısal Hava Kamerası

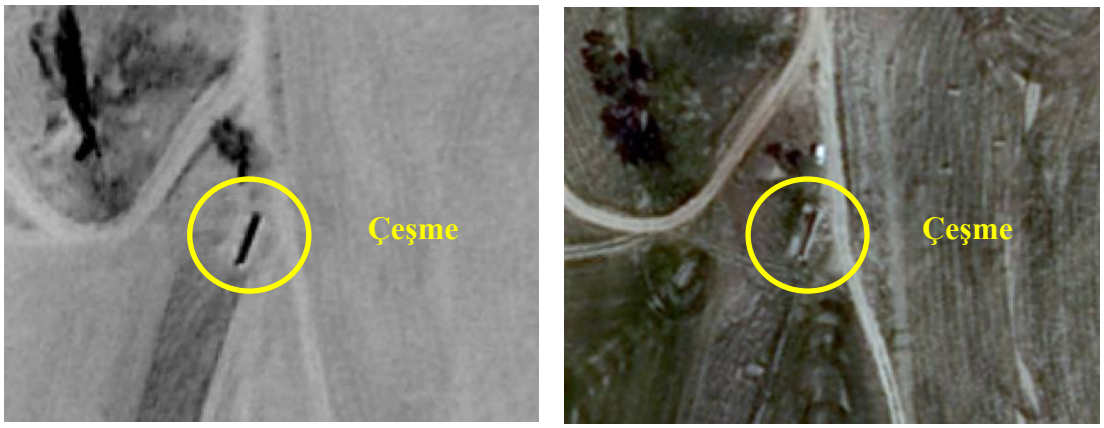
- Sayısal hava kamerası görüntülerinde sulu dereler, pınar ve çeşmelerin teşhis edilmesi analog hava kamerası görüntülerine göre daha kolaydır (Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12).




Şekil 4.10 Sulu dereye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

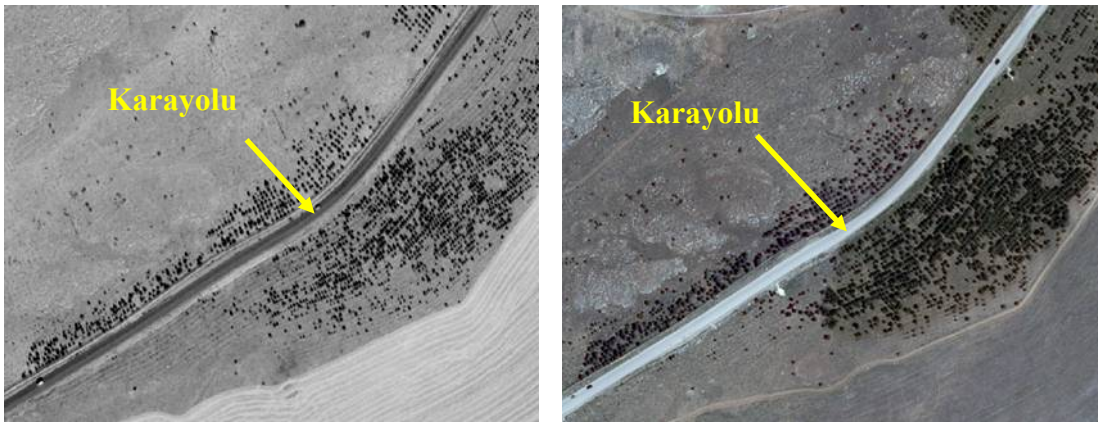



Şekil 4.11 Pınara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü



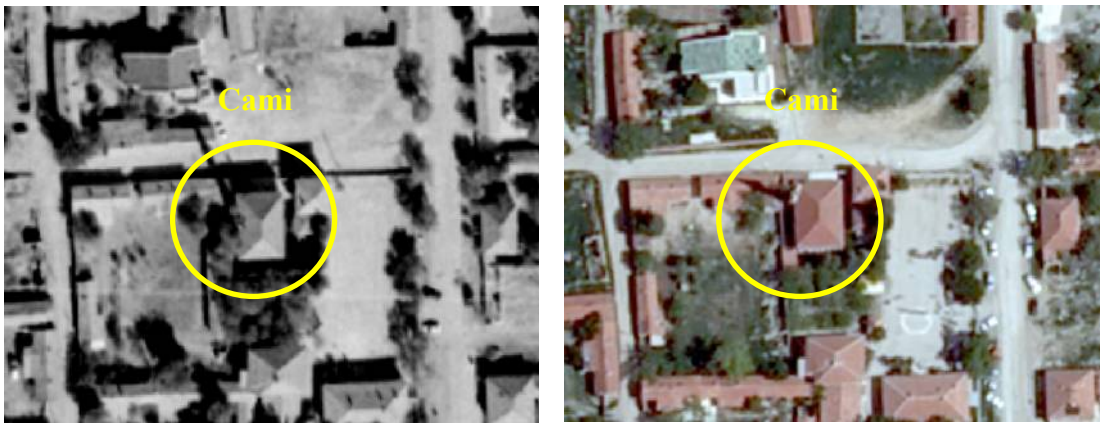

Şekil 4.12 Çeşmeye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kamerası görüntülerinde asfalt yolların cins ve kaplamaları daha belirgin olarak teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.13).




Şekil 4.13 Karayoluna ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kamerası görüntülerinde cami ve minareler daha net olarak görünmekte ve teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.14).




Şekil 4.14 Camiye ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kamerası görüntülerinde enerji nakil hatları ve direk trafolar daha belirgin olarak görülebilmekte ve kolaylıkla teşhis edilebilmektedir. Analog hava kamerası görüntülerinde ise elektrik hatları (teller) sadece arazide uygun kontrast olduğunda görülebilmektedir (Şekil 4.15, 4.16).




Şekil 4.15 Enerji Nakil Hatlarına ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü



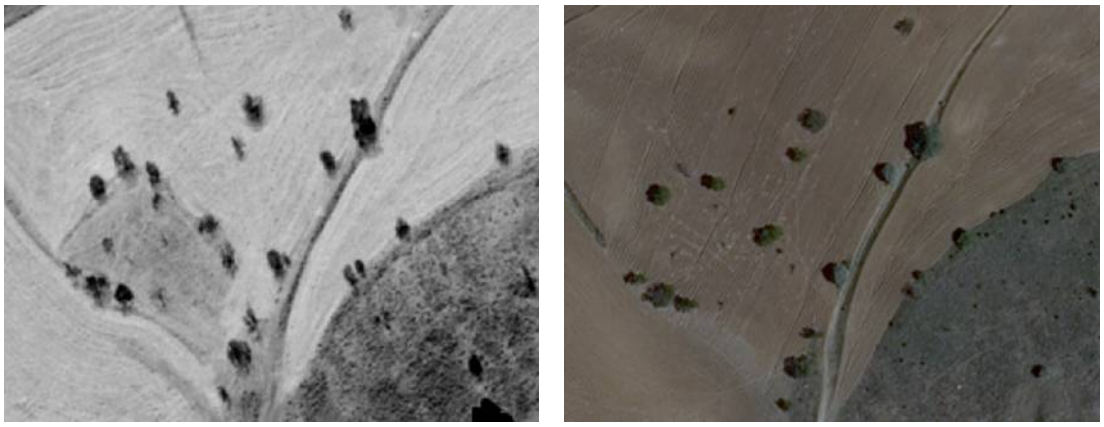

Şekil 4.16 Direk trafoya ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kamerası görüntülerinde binaların teşhisi ve yorumlanması daha kolaydır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Binalara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

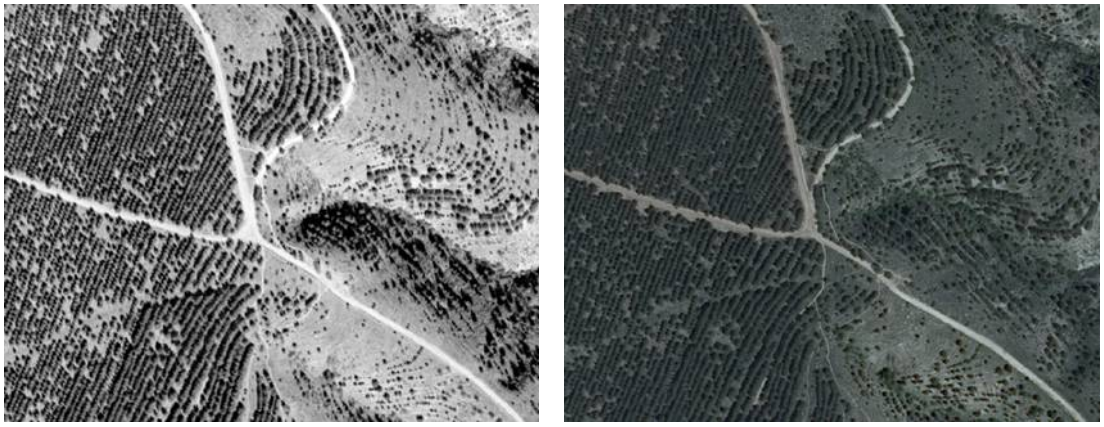
- Sayısal hava kamerası görüntülerinde ağaçlar, meyvelikler ve orman cinsleri daha kolay ayırt edilebilmektedir (Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20),



Şekil 4.18 Tek ağaçlara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü



Şekil 4.19 Meyveliklere ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü



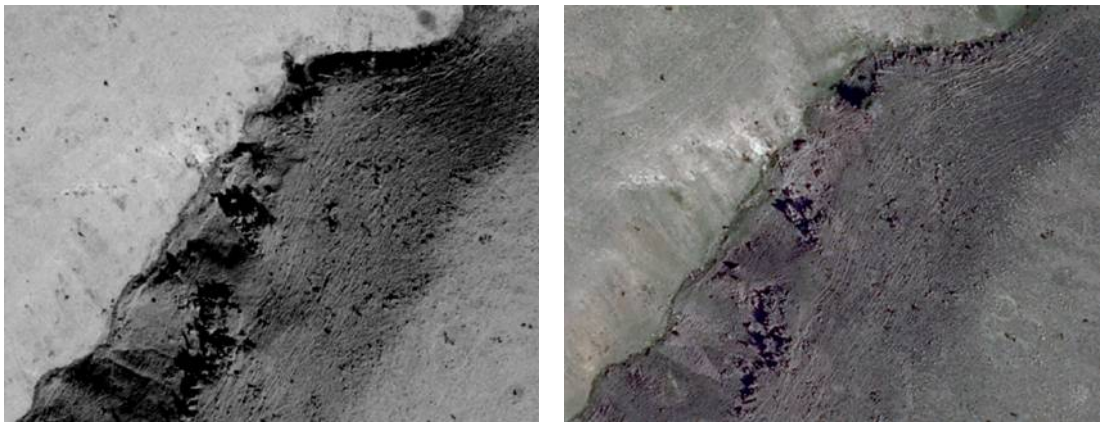
Şekil 4.20 Ormanlık alanlara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kamerası görüntülerinde anten, ayaklı su deposu gibi dar fakat yüksekliği olan detayların teşhisi daha kolaydır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Antenlere ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

- Sayısal hava kameralarında taşlıklar, kayalıklar ve mezarlıklar daha kolay teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.22, 4,23).



Şekil 4.22 Kayalık ve taşlıklara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü




Şekil 4.23 Mezarlıklara ilişkin analog ve sayısal hava kamerası görüntüsü

Tüm bu avantajların sonucu olarak büroda operatörler tarafından kıymetlendirilen detayların sayısı, doğruluğu ve tamlığı artmakta ve arazideki topoğrafik bütünleme ihtiyacı ve bütünleme çalışmalarının süresi azalmaktadır. Sayısal hava kamerası görüntülerinden üretilen verilerin topoğrafik bütünleme çalışmaları henüz tamamlanmamış olmakla birlikte, ilk izlenimler sayısal hava kamerası görüntüleri kullanılarak üretilen paftalara ait arazi bütünleme çalışmalarının yaklaşık olarak % 35 oranında azaldığını göstermektedir. Orta zorluktaki 1:25.000 ölçekli bir paftanın 6 gün süren arazi bütünleme çalışması 4 günde bitirilebilmektedir.

Sayısal kameraların stereo kıymetlendirme işlemlerinde getirmiş olduğu avantajlara karşılık olarak bazı zorlukları da bulunmaktadır;

- 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için analog kamera fotoğrafları ile oluşturulan stereo modeller ile bir pafta yaklaşık olarak 9-12 model ile kapatılabilmektedir. Sayısal hava kamerası fotoğrafları ile bir paftayı kapatabilmek için ise 24-28 model kullanılması gerekmektedir. Her ne kadar analog kameralar ile 1/35.000 olan fotoğraf çekim ölçeği sayısal kameralarda yüksek yer çözünürlüğü nedeniyle 1/60.000'e kadar çıksa da, analog kameralarda kullanılan film formatının büyüklüğü (23*23 cm.) daha geniş bir alanı görüntüleme imkânı vermektedir. Bu da sayısal kamera fotoğrafları kullanılırken operatörün sık sık model değiştirmesine neden olmaktadır.
- Sürekli renkli modeller üzerinde çalışmak gözü daha fazla yormakta, operatörlerin daha sık ara vermelerine neden olmaktadır.
- Analog kameralar ile elde edilen pankromatik görüntüler ile çalışmaya alışmış olan operatörler, yüksek yer çözünürlüğüne sahip renkli görüntüler ile çalıştığında, pafta ölçeğine göre alınması gerekenden daha fazla detay teşhis edebildiğinden, detayları almak veya almamak arasında tereddüt yaşamaktadır. Bu durum çoğu zaman gereğinden fazla detay içeren paftalar oluşmasına ve bu fazla detayların sadeleştirilmesinin gerekliliğine neden olmaktadır. Fakat bu durumun operatörlerin zaman içerisinde sayısal görüntülerle çalışmaya alışmasıyla azalacağı düşünülmektedir.

- Sürekli renkli modeller ile çalışıldığında düşük depolama kapasiteli ve düşük kapasiteli işlemcilere sahip bilgisayarlar çeşitli sıkıntılar yaratmaktadır. Analog kamerayla elde edilmiş filmin 16 mikron hassasiyetinde taranmasıyla elde edilen pankromatik görüntü 197 MB veri hacmine sahipken, sayısal kamerasıyla elde edilen ve daha küçük bir alanı kapsayan renkli görüntü yaklaşık 400 MB veri hacmine sahiptir. Renkli görüntüler pankromatik fotoğraflara oranla bilgisayar belleklerinde üç kat daha fazla yer kaplamaktadır. Ayrıca düşük kapasiteli işlemciye sahip, özellikle düşük kapasiteli ekran kartı olan bilgisayarlarda renkli modeller arasında geçiş yapmak, model değiştirmek veya oluşturmak (kullanılan fotogrametrik yazılıma bağlı olarak), görüntülenen model üzerinde hareket etmek, ekranı kaydırmak daha uzun zaman almaktadır.

## 4.3. Sayısal Hava Kamerasının Ortofoto Üretimindeki Avantaj ve Dezavantajları

Sayısal hava kamerasının ortofoto üretimi sürecine etkisi en çok üretim hızı ve ortofoto kalitesinde görülmüştür. GPS_IMU ile desteklenmiş sayısal hava kamerası görüntüleri ile hızlı şekilde ortofoto üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Diğer yandan film banyosu, tarama gibi ara işlemler olmadan doğrudan sayısal görüntü elde edilmesi de hızı artırmakta ve bu ara işlemlerin sebep olduğu görüntü bozulmalarını önlemektedir.

Şekil 4.24'te 45 cm. çözünürlüklü 1:60.000 ölçekli sayısal hava kamerası ile elde edilmiş ve 35 cm. çözünürlüklü 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından elde edilmiş ortofotolar görülmektedir. Ara işlemler olmadan doğrudan yüksek radyometrik çözünürlükle elde edilen sayısal hava kamerası görüntüsünden üretilen ortofoto, klasik hava kamerasından elde edilen ortofotodan daha iyi bir görüntü sağlamaktadır.



Sayısal Analog

Şekil 4.24 1/60.000 ölçekli sayısal hava kamerası ortofotosu ve 1:16.000 ölçekli analog hava kamerası ortofotosu

Sayısal hava kameralarının ortofoto üretim sürecine olumlu katkılarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Sayısal hava kameralarında kullanılan düşük odak uzaklığına sahip mercekler görüntülerde panoramik bozulmalara sebep olmaktadır. Bu etki Şekil 4.25'deki görüntülerde daha iyi görülmektedir. Sayısal hava kamerasıyla alınmış görüntülerde binaların yan yüzleri gözükürken diğer görüntüde binalar yukarıdan görülmektedir. Bu etkinin azaltılabilmesi, yüksek bindirme oranlarıyla uçuş yapılarak fotoğrafların sadece orta ve ortaya yakın kısımlarının kullanılması ile mümkün olur. Ancak bu da resim adedini oldukça büyük oranda artıracaktır.



Sayısal Analog

Şekil 4.25 Sayısal hava kamerası ortofotolarındaki panoramik bozulmalar (solda)

## 4.4. Sayısal ve Analog Hava Kamerası ile 1:25.000 Ölçekli Topoğrafik Harita Üretimi Maliyet Analizi

Maliyet analizini gerçekleştirmek için 1:100.000 ölçekli bir paftanın kapladığı yaklaşık 2400 $km^2$ lik alan proje alanı olarak seçilmiştir. Bunun sebebi, fotogrametrik nirengi işleminde blok düzgün olacaksa (dört köşeli) 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alanın birim alan seçilmesi ve bu alanın köşelerine nirengi noktası atılmasıdır. Söz konusu alan 16 adet 1:25.000 ölçekli pafta içermektedir. 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı bu alanda 1:35.000 ölçekli analog hava kamerası kullanılarak elde edilmiş hava fotoğrafları ve 1:60.000 ölçekli sayısal hava kamerası görüntülerinden 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın üretim maliyetlerinin analizi yapılacaktır.

Maliyet hesabında; nirengi noktası tesis ve ölçümü, film, hava fotoğrafı çekimi, fotogrametrik nirengi, fotogrametrik kıymetlendirme ve arazi bütünlemesine ilişkin tüm maliyetler dikkate alınacaktır.

### 4.4.1. Hava fotoğrafları maliyet analizi

Sayısal hava kameralarının en belirgin avantajı film, foto-laboratuvar ve tarama maliyetlerini ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca, analog hava kamerası ile çalışılacağı zaman proje başlangıç aşamasında projede kullanılacak olan film cinsinin (Pankromatik, renkli veya kızıl ötesi) proje amacına uygun olarak belirlenmesi zorunludur.

Bölgenin 1:100.000 bazında tek blokta uçuşu yapılabilir. Analog hava kamerası için %60 ileri ve % 30 yan bindirmeli 23x23 cm'lik film kullanılarak uçuş yapıldığı farz ve kabul edilmiştir. Seçilen 1:100.000 ölçekli paftanın bulunduğu bölgeye (enlem) ve uçuş koşullarına (odak uzaklığı, ortalama arazi yüksekliği, arazi rölyefi, vb.) bağlı olarak yaklaşık olarak 150 fotoğraflık tek bir blok elde edilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu bir rulo hava filmi ile yaklaşık 250 adet hava fotoğrafı alınabileceği, ancak 250'den az fotoğraf alınması durumunda filmin tamamıyla kullanılmış kabul edilerek hesaplamanın yapılmasının gerektiğidir. Bu blok için de bir rulo film kullanılması gereklidir. Bir rulo hava filminin yaklaşık fiyatı 1800-2000 dolar, bir rulo pankromatik filmin foto-laboratuar maliyeti (kimyasallar dahil) 850 TL ve bir filmin tarama maliyeti 16 YTL'dir (www.hgk.mil.tr).

Analog hava kamerası ile elde edilen fotoğrafların film, banyo (foto-laboratuar) ve tarama gibi maliyetlerine karşılık, sayısal hava kameralarında tüm bu maliyetler uçuş ve fotogrametrik nirengi maliyetleri hariç olmak üzere sıfır olacaktır.

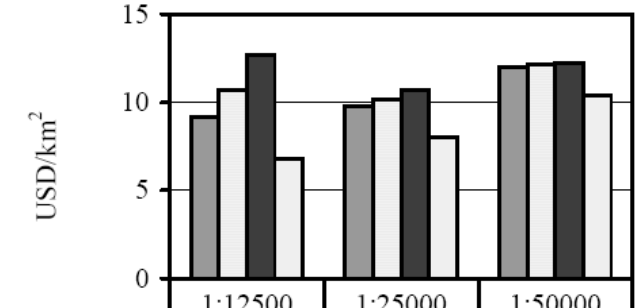
### 4.4.2. Uçuş ve foto-laboratuvar işlemleri maliyet analizi

Havadan görüntü alımı; uçak ve algılayıcı maliyetlerini içeren uçuş ve analog kamera ile çekilen hava filmlerinin banyo edilmesi ve taranması veya dijital hava kameraları ile toplanan verilerin işlenmesi gibi yer işlemlerinden oluşmaktadır. Uçak giderleri, yıllık sabit giderler ve işletme giderlerinden oluşmaktadır. Yıllık sabit giderler, hangar giderleri, sigorta ödemeleri, çalışanların ücretleri ve pilot eğitimi,

bakım ve navigasyon yayınları abonelik ücretleri gibi diğer idari giderlerden oluşmaktadır. İşletme giderleri ise saat bazında yakıt ve bakım giderlerini kapsamaktadır. Havadan fotoğraf alım ekibi, pilot(lar), navigatör/kamera operatörü ve uçak makinistinden oluşur. Bazı ekipler pilot/makinist ve navigatör/kamera operatörü olmak üzere iki kişiden oluşabilmektedir. Kamera gideri analog ve dijital kamera için bakım ve personel giderlerini içermekte olup, analog kamera kullanıldığı durumlarda ek olarak film giderleri göz önüne alınmalıdır. Uçuş sonrası yerde gerçekleştirilen işlemler bakım ve personel giderlerini kapsar ancak pozlanan hava filmlerinin banyo edilmeleri de hesaba katılmalıdır (Yıldırım ve Şeker 2006).

Yıldırım ve Şeker (2006) tarafından yapılan çalışmada analog ve sayısal hava kamerası uçuş ve fotoğraf alım maliyetleri parasal değer olarak Çizelge 4.11'de listelenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus analog hava kamerası için pankromatik, renkli ve renkli kızıl ötesi bantlar için ayrı ayrı uçuş, dolayısıyla ayrı maliyetlerin gerektiğidir. Sayısal hava kamerası için ise tek bir uçuş ve tek maliyet ile tüm bantlardaki görüntüyü elde etmek mümkündür.

Çizelge 4.11 Alan bazında hava fotoğrafı maliyeti (Yıldırım ve Şeker 2006).




| | 1:12500 | 1:25000 | 1:50000 |
|---|---|---|---|
| S-B | 9.18 | 9.78 | 12.01 |
| Renkli | 10.72 | 10.17 | 12.11 |
| Renkli KÖ | 12.66 | 10.66 | 12.23 |
| Dijital | 6.80 | 8.00 | 10.38 |

Bu çalışmada, nirengi noktası tesis ve ölçümü, film, hava fotoğrafı çekimi, fotogrametrik nirengi, fotogrametrik kıymetlendirme ve arazi bütünlemesine ilişkin tüm maliyetler hesaplanarak, analog hava kamerasına ilişkin maliyetler Çizelge 4.12'de, sayısal hava kamerasına ilişkin maliyetler ise Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 1/25.000 ölçekli harita üretimi için analog hava kamerasına ilişkin maliyet analizi

| 1/100.000 ÖLÇEKLİ PAFTANIN KAPSADIĞI ALANDA, RMK TOP15 MARKA ANALOG HAVA KAMERASI İLE 1/35.000 ÖLÇEKLİ FOTOĞRAF ÇEKİM, FOTOGRAMETRİK NİRENGİ, KIYMETLENDİRME VE BÜTÜNLEME MALİYET HESABI | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | İşlem | Süre (saat) | Personel Sayısı | Personel Ücreti (TL/Saat) | Uçuş Ücreti (TL/Saat) | Yazılım Ücreti (TL/Saat) | Donanım Ücreti (TL/saat) | Hizmet Miktarı (Adet) | Hizmet Ücreti (TL/Adet) | | | |
| 1. | UÇUŞ HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | = | | 5.360,00 TL |
| | İntikal | 2 | | | 1680,00 | | | | | = | 3.360,00 TL | 3.360,00 TL |
| | Uçuş | 1 | | | 2000,00 | | | | | = | 2.000,00 TL | 2.000,00 TL |
| 2. | UÇUŞ ÖNCESİ VE SONRASI GERÇEKLEŞTİRİLEN HİZMETLER | | | | | | | | | = | | 6.151,30 TL |
| | a. Uçuşun Planlaması | 4 | 1 | 19,28 | | 3,75 | 1,02 | | | = | 96,20 TL | 96,20 TL |
| | b. GPS Ölçüsü İşleme | 2 | 1 | 19,28 | | 8,33 | 1,02 | | | = | 57,26 TL | 57,26 TL |
| | c. Fotoğraf Banyo | 16 | 1 | 15,49 | | 850 | | 1 | 2500 | = | 3.597,84 TL | 3.597,84 TL |
| | ç. Fotoğraf Tarama | 42 | | | | | | 150 | 16 | = | 2.400,00 TL | 2.400,00 TL |
| 3. | YER KONTROL NOKTASI İNŞASI VE ÖLÇÜMÜ HİZMETİ (ARAZİ) | | | | | | | | | = | | 827,12 TL |
| | Fotg. Nirengi Noktası | 32 | | | | | | 4 | 206,78 | = | 827,12 TL | 827,12 TL |
| 4. | FOTOGRAMETRİK NİRENGİ HİZMETİ | | | | | | | | | = | | 972,00 TL |
| | Fotg.Nirengi Hizmeti | 48 | | | | | | 150 | 6,48 | = | 972,00 TL | 972,00 TL |
| 5. | KIYMETLENDİRME HİZMETİ | | | | | | | | | = | | 29.644,80 TL |
| | Kıymetlendirme | 1280 | 1 | 15,49 | | 5,97 | 1,7 | | | = | 29.644,80 TL | 29.644,80 TL |
| 6. | BÜTÜNLEME HİZMETİ | | | | | | | | | = | | 25.320,96 TL |
| | Bütünleme | 768 | 1 | 15,49 | | 6,82 | 4,26 | | 6,4 | = | 25.320,96 TL | 25.320,96 TL |
| | | | | | | TOPLAM | | | | | | 68.276,18 TL |
| 7. | KÂR + DÖNER SERMAYE | | % | 32 | | = | | | | | | 21.848,38 TL |
| | TOP. HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | 90.124,56 TL |
| 8. | KDV | | % | 18 | | = | | | | | | 16.222,42 TL |
| | TOPLAM HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | = | | 106.346,98 TL |

Çizelge 4.13 1/25.000 ölçekli harita üretimi için sayısal hava kamerasına ilişkin maliyet analizi

| 1/100.000 ÖLÇEKLİ PAFTANIN KAPSADIĞI ALANDA 43 CM ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNDE ULTRACAM X MARKA SAYISAL HAVA KAMERASI İLE FOTOĞRAF ÇEKİM, FOTOGRAMETRİK NİRENGİ, KIYMETLENDİRME VE BÜTÜNLEME MALİYET HESABI | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | İşlem | Süre (saat) | Personel Sayısı | Personel Ücreti (TL/Saat) | Uçuş Ücreti (TL/Saat) | Yazılım Ücreti (TL/Saat) | Donanım Ücreti (TL/saat) | Hizmet Miktarı (Adet) | Hizmet Ücreti (TL/Adet) | | |
| 1. | UÇUŞ HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | = | 8.180,98 TL |
| | İntikal | 2 | | | 1680,00 | | | | | = 3.360,00 TL | 3.360,00 TL |
| | Uçuş | 2 | | | 2410,49 | | | | | = 4.820,98 TL | 4.820,98 TL |
| 2. | UÇUŞ ÖNCESİ VE SONRASI GERÇEKLEŞTİRİLEN HİZMETLER | | | | | | | | | = | 982,32 TL |
| | a. Uçuşun Planlaması | 4 | 1 | 19,28 | | 3,75 | 1,02 | | | = 96,20 TL | 96,20 TL |
| | b. GPS/IMU İşleme | 4 | 1 | 19,28 | | 8,33 | 1,02 | | | = 114,52 TL | 114,52 TL |
| | c. Fotoğraf İşleme | 40 | 1 | 15,49 | | 2,78 | 1,02 | | | = 771,60 TL | 771,60 TL |
| | ç. Medyaya Kayıt | 0 | 1 | 15,49 | | 0,31 | 1,02 | | | = 0,00 TL | 0,00 TL |
| 3. | YER KONTROL NOKTASI İNŞASI VE ÖLÇÜMÜ HİZMETİ (ARAZİ) | | | | | | | | | = | 827,12 TL |
| | Fotg. Nirengi Noktası | 32 | | | | | | 4 | 206,78 | = 827,12 TL | 827,12 TL |
| 4. | FOTOGRAMETRİK NİRENGİ HİZMETİ | | | | | | | | | = | 864,00 TL |
| | Fotg.Nirengi Hizmeti | 16 | | | | | | 400 | 2,16 | = 864,00 TL | 864,00 TL |
| 5. | KIYMETLENDİRME HİZMETİ | | | | | | | | | = | 37.056,00 TL |
| | Kıymetlendirme | 1600 | 1 | 15,49 | | 5,97 | 1,7 | | | = 37.056,00 TL | 37.056,00 TL |
| 6. | BÜTÜNLEME HİZMETİ | | | | | | | | | = | 14.770,56 TL |
| | Bütünleme | 448 | 1 | 15,49 | | 6,82 | 4,26 | | 6,4 | = 14.770,56 TL | 14.770,56 TL |
| | | | | | | TOPLAM | | | | | 62.680,98 TL |
| 7. | KÂR + DÖNER SERMAYE | | % | 32 | = | | | | | | 20.057,91 TL |
| | TOP. HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | 82.738,89 TL |
| 8. | KDV | | % | 18 | = | | | | | | 14.893,00 TL |
| | TOPLAM HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | 97.631,89 TL |

Kamu kurum ve kuruluşları ile özel şirketler gelişen teknolojiye bağlı olarak zaman içerisinde farklı maliyet analizleri kullanmış ve uygulamışlardır. Örneğin, fotoğraflanacak alanın belirli bir miktardan küçük olması ve toplam fotoğraf sayısının bir rulo filmden az olması durumunda taban fiyat uygulamaları yapılması

gerekli olmuştur. Bunda uçağın intikal mesafesi, rulo film ve foto-laboratuvar maliyetleri en önemli etkenlerdir.

Çizelge 4.12 ve 4.13 incelendiğinde seçilen proje alanında analog ve sayısal hava kameralarının uçuş maliyetleri arasında yaklaşık 2820 TL.lik analog hava kamerası lehine bir fark söz konusudur. Bundaki en büyük etken sayısal hava kameralarının fotoğraf boyutunun küçük, dolayısıyla proje alanı içerisinde alınacak olan fotoğraf sayısının fazla olmasıdır. Daha fazla fotoğraf daha fazla uçuş kolonu ve daha fazla uçuş süresi demek olacaktır. Uçuş öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen hizmetlerin (foto-laboratuvar ve fotoğraf oluşturma işlemleri) maliyetleri arasında ise yaklaşık 5200TL.lik bir fark söz konusudur ki bu fark incelendiğinde sayısal hava kamerasının maliyeti yok denecek kadar azdır. Bundaki en önemli etken 4.4.1 maddesinde de bahsedildiği üzere analog hava kamerasında direk olarak parasal maliyeti olan film ve film banyo malzemeleri ile fotoğraf tarama maliyetlerinin sayısal hava kameraları için mevcut olmamasıdır.

### 4.4.3. Fotogrametrik nirengi işlemleri maliyet analizi

Yer kontrol noktası inşası ve ölçümü hizmetleri (jeodezik arazi çalışmaları) maliyetleri arasında Çizelge 4.12 ve 4.13 incelendiğinde bir fark olmadığı görülecektir. Bunun nedeni, genelde uygulandığı gibi her iki çalışmanın da dengelemeli olarak gerçekleştirildiğinin kabul edilmesidir.

Analog hava kamerası fotoğraflarının fotogrametrik nirengi işlemlerinde bir operatör günde yaklaşık 30 fotoğrafın ölçümünü yapabilmektedir. 1:100.000 ölçekli yaklaşık 2400 $km^{2'}$lik bir pafta alanı, %60 ileri, %30 yan bindirmeli yaklaşık 150 adet 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafı ile kapatılabilmektedir (Çizelge 4.12).

Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi =153/30 = 5 gün

Ölçüm sonrası 1 mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta bir gün çalışması gerekmektedir.

Toplam Fotg. Nirengi İşlem Maliyeti = 5+1 = 6 gün =48 saat = 972 TL

Sayısal hava kamerası fotoğraflarının fotogrametrik nirengi işlemlerinde ise operatörün manüel olarak nokta toplaması yerine otomatik nokta toplama yöntemi

tercih edilmektedir. 1:100.000 ölçekli yaklaşık 2400 km$^{2'}$lik bir pafta alanı, %60 ileri, %30 yan bindirmeli yaklaşık 400 adet 1:60.000 ölçekli hava fotoğrafı ile kapatılabilmektedir (Çizelge 4.13).

Otomatik Nokta Toplama Süresi =1 gün

Nokta toplama sonrası 1 mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta bir gün çalışması gerekmektedir.

Toplam Fotg. Nirengi İşlem Maliyeti = 1+1 = 2 gün = 16 saat = 864 TL.

### 4.4.4. Fotogrametrik kıymetlendirme işlemleri maliyet analizi

1:35.000 ölçekli analog hava kamerası fotoğraflarının fotogrametrik kıymetlendirme işlemlerinde orta zorlukta bir arazide bir operatör günde ortalama 15 km$^2$ kıymetlendirme yapabilmektedir. 2400 km$^{2'}$lik bir pafta alanında kıymetlendirme maliyeti;

Kıymetlendirme Maliyeti = 2400/15=160 gün = 1280 saat = 29645 TL dir.

1:60.000 ölçekli sayısal hava kamerası fotoğraflarının fotogrametrik kıymetlendirme işlemlerinde ise orta zorlukta bir arazide bir operatör günde ortalama 12 km$^2$ kıymetlendirme yapabilmektedir. 2400 km$^{2'}$lik bir pafta alanında kıymetlendirme maliyeti;

Kıymetlendirme Maliyeti = 2400/12=200 gün = 1600 saat = 37050 TL dir.

Sayısal hava kamerası kullanımı ile beraber fotogrametrik kıymetlendirme işlem süresinin bir miktar arttığı görülmektedir. Bu artışın en önemli nedeni 4.2. maddesinde de ayrıntılı olarak bahsedildiği üzere, sayısal hava kamerası ile elde edilen fotoğrafların film bazlı hava kameralarına olan radyometri, kontrast, yer çözünürlüğü (GSD), netlik ve dolayısıyla detay teşhis edilebilirliğinin daha iyi olmasıdır. Bu durum, kıymetlendirme esnasında daha fazla sayıda detayın daha doğru olarak teşhis edilmesini olanaklı kılmış, tama yakın paftalar üretilmesini sağlamıştır. Ancak, operatör eskiye nazaran çok fazla sayıda detay teşhis edebildiğinden, gördüğü detayların tümünü toplama eğilimine girmiştir. Bu nedenle, ilk üretilen paftalarda günlük üretim miktarı 10 km$^2$'ye kadar düşmüş, bu da bir paftanın üretim süresini önemli oranda artırmıştır. Operatörlerin zamanla sayısal

hava kamera görüntülerini yorumlamaya alışmasıyla birlikte günlük kıymetlendirilen alan bir miktar daha artmış, dolayısıyla üretim süreleri de bir miktar azalmıştır.

### 4.4.5. Arazi bütünleme işlemleri maliyet analizi

1:35.000 ölçekli analog hava kamerası fotoğraflarından stereo kıymetlendirme yöntemi ile üretilmiş orta yoğunlukta bir adet 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın arazi bütünlemesi süresi ortalama 6 gün olarak belirlenmiştir. Bu durumda 16 adet 1:25.000 ölçekli paftanın arazi bütünleme maliyeti;

Bütünleme Maliyeti = 16*6 = 96 gün = 768 saat = 25320 TL olacaktır.

1:60.000 ölçekli sayısal hava kamerası fotoğraflarından stereo kıymetlendirme yöntemi ile üretilmiş orta yoğunluktaki bir adet 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın arazi bütünlemesi süresi halen tam anlamıyla tespit edilebilmiş değildir. Sayısal hava kamerasına ait fotoğrafların 2008 yılı itibarıyla kıymetlendirmesi yapılmış olup yapılan ilk değerlendirmelere göre orta yoğunluktaki bir adet 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın arazi bütünlemesi süresi 3-4 gün olarak tahmin edilmektedir. Bu durumda sayısal hava kamerası fotoğraflarından faydalanılarak üretilmiş olan 16 adet 1:25.000 ölçekli paftanın arazi bütünleme maliyeti;

Bütünleme Maliyeti = 16*3.5 = 56 gün = 448 saat = 14770 TL olacaktır.

Arazi çalışmaları parasal değer açısından topoğrafik harita üretim sürecinin en büyük maliyetini içeren bölümüdür. Arazi bütünleme ekibi, biri şoför olmak üzere toplam üç personel, bir arazi aracı ve bütünleme aletlerinden oluşmaktadır. Personel maliyeti, kullanılan arazi aracı yakıt ve amortisman giderleri, bütünlemede kullanılan aletlerin amortisman giderleri ve personelin arazideki barınma ve yiyecek giderleri ana harcama kalemlerini oluşturur. Arazide kalınan sürenin uzunluğu maliyetin katlanarak büyümesine neden olur. Bu nedenle topoğrafik harita üretiminde arazide kalınan sürenin minimuma indirgenmesi toplam üretim maliyetini önemli ölçüde etkileyecektir. Her ne kadar operatörün bürodaki kıymetlendirme süresi uzasa da arazide yapılan bütünleme çalışmalarının kısalacak olması toplam maliyeti azaltacaktır.

### 4.4.6. 1/100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alanda 1/5.000 ölçekli harita üretimi maliyet analizi

1/100.000 ölçekli bir paftanın kaplamış olduğu alan 2400 $km^2$'dir. Bir adet 1/5.000 ölçekli pafta ise 6 $km^2$'lik bir alanı kaplamaktadır. Buradan hareketle 400 adet 1/5.000 ölçekli pafta üretilmesi gerekmektedir. Analog hava kamerasına ilişkin maliyetler Çizelge 4.14'te, sayısal hava kamerasına ilişkin maliyetler ise Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 1/5.000 ölçekli harita üretimi için analog hava kamerasına ilişkin maliyet analizi

| 1/100.000 ÖLÇEKLİ PAFTANIN KAPSADIĞI ALANDA RMK TOP15 MARKA ANALOG HAVA KAMERASI İLE 1/16.000 ÖLÇEKLİ 32 CM ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNDE FOTOĞRAF ÇEKİM, FOTOGRAMETRİK NİRENGİ, KIYMETLENDİRME VE BÜTÜNLEME MALİYET HESABI | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İşlem | Süre (saat) | Personel Sayısı | Personel Ücreti (TL/Saat) | Uçuş Ücreti (TL/Saat) | Yazılım Ücreti (TL/Saat) | Donanım Ücreti (TL/saat) | Hizmet Miktarı (Adet) | Hizmet Ücreti (TL/Adet) | | | |
| 1. UÇUŞ HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | = 8.560,00 TL |
| İntikal | 2 | | | 1680,00 | | | | | = | 3.360,00 TL | 3.360,00 TL |
| Uçuş | 2,6 | | | 2000,00 | | | | | = | 5.200,00 TL | 5.200,00 TL |
| 2. UÇUŞ ÖNCESİ VE SONRASI GERÇEKLEŞTİRİLEN HİZMETLER | | | | | | | | | | | = 19.736,24 TL |
| a. Uçuşun Planlaması | 4 | 1 | 19,28 | | 3,75 | 1,02 | | | = | 96,20 TL | 96,20 TL |
| b. GPS Ölçüsü İşleme | 4 | 1 | 19,28 | | 8,33 | 1,02 | | | = | 114,52 TL | 114,52 TL |
| c. Fotoğraf Banyo | 48 | 1 | 15,49 | | 850 | | 3 | 2500 | = | 9.093,52 TL | 9.093,52 TL |
| ç. Fotoğraf Tarama | 163 | | | | | | 652 | 16 | = | 10.432,00 TL | 10.432,00 TL |
| 3. YER KONTROL NOKTASI İNŞASI VE ÖLÇÜMÜ HİZMETİ (ARAZİ) | | | | | | | | | | | = 1.861,02 TL |
| Fotg. Nirengi Noktası | 72 | | | | | | 9 | 206,78 | = | 1.861,02 TL | 1.861,02 TL |
| 4. FOTOGRAMETRİK NİRENGİ HİZMETİ | | | | | | | | | | | = 4.224,96 TL |
| Fotg.Nirengi Hizmeti | 192 | | | | | | 652 | 6,48 | = | 4.224,96 TL | 4.224,96 TL |
| 5. KIYMETLENDİRME HİZMETİ | | | | | | | | | | | = 370.560,00 TL |
| Kıymetlendirme | 16000 | 1 | 15,49 | | 5,97 | 1,7 | | | = | 370.560,00 TL | 370.560,00 TL |
| 6. BÜTÜNLEME HİZMETİ | | | | | | | | | | | = 105.504,00 TL |
| Bütünleme | 3200 | 1 | 15,49 | | 6,82 | 4,26 | | 6,4 | = | 105.504,00 TL | 105.504,00 TL |
| | | | | | TOPLAM | | | | | | 510.446,22 TL |
| 7. KÂR + DÖNER SERMAYE | | % | 32 | | = | | | | | | 163.342,79 TL |
| TOP. HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | 673.789,01 TL |
| 8. KDV | | % | 18 | | = | | | | | | 121.282,02 TL |
| TOPLAM HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | = 795.071,03 TL |

Çizelge 4.15 1/5.000 ölçekli harita üretimi için sayısal hava kamerasına ilişkin maliyet analizi

| 1/100.000 ÖLÇEKLİ PAFTANIN KAPSADIĞI ALANDA ULTRACAM X MARKA SAYISAL HAVA KAMERASI İLE 1/35000 ÖLÇEKLİ 25 CM ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNDE FOTOĞRAF ÇEKİM, FOTOGRAMETRİK NİRENGİ, KIYMETLENDİRME VE BÜTÜNLEME MALİYET HESABI | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | İşlem | Süre (saat) | Personel Sayısı | Personel Ücreti (TL/Saat) | Uçuş Ücreti (TL/Saat) | Yazılım Ücreti (TL/Saat) | Donanım Ücreti (TL/saat) | Hizmet Miktarı (Adet) | Hizmet Ücreti (TL/Adet) | | | |
| 1. | UÇUŞ HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | = | 9.868,32 TL |
| | İntikal | 2 | | | 1680,00 | | | | | = | 3.360,00 TL | 3.360,00 TL |
| | Uçuş | 2,7 | | | 2410,49 | | | | | = | 6.508,32 TL | 6.508,32 TL |
| 2. | UÇUŞ ÖNCESİ VE SONRASI GERÇEKLEŞTİRİLEN HİZMETLER | | | | | | | | | | = | 2.640,04 TL |
| | a. Uçuşun Planlaması | 4 | 1 | 19,28 | | 3,75 | 1,02 | | | = | 96,20 TL | 96,20 TL |
| | b. GPS/IMU İşleme | 8 | 1 | 19,28 | | 8,33 | 1,02 | | | = | 229,04 TL | 229,04 TL |
| | c. Fotoğraf İşleme | 120 | 1 | 15,49 | | 2,78 | 1,02 | | | = | 2.314,80 TL | 2.314,80 TL |
| | ç. Medyaya Kayıt | 0 | 1 | 15,49 | | 0,31 | 1,02 | | | = | 0,00 TL | 0,00 TL |
| 3. | YER KONTROL NOKTASI İNŞASI VE ÖLÇÜMÜ HİZMETİ (ARAZİ) | | | | | | | | | | = | 1.861,02 TL |
| | Fotg. Nirengi Noktası | 72 | | | | | | 9 | 206,78 | = | 1.861,02 TL | 1.861,02 TL |
| 4. | FOTOGRAMETRİK NİRENGİ HİZMETİ | | | | | | | | | | = | 2.268,00 TL |
| | Fotg.Nirengi Hizmeti | 16 | | | | | | 1050 | 2,16 | = | 2.268,00 TL | 2.268,00 TL |
| 5. | KIYMETLENDİRME HİZMETİ | | | | | | | | | | = | 370.560,00 TL |
| | Kıymetlendirme | 16000 | 1 | 15,49 | | 5,97 | 1,7 | | | = | 370.560,00 TL | 370.560,00 TL |
| 6. | BÜTÜNLEME HİZMETİ | | | | | | | | | | = | 105.504,00 TL |
| | Bütünleme | 3200 | 1 | 15,49 | | 6,82 | 4,26 | | 6,4 | = | 105.504,00 TL | 105.504,00 TL |
| | | | | | | TOPLAM | | | | | | 492.701,38 TL |
| 7. | KÂR + DÖNER SERMAYE | | % | 32 | | = | | | | | | 157.664,44 TL |
| | TOP. HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | 650.365,83 TL |
| 8. | KDV | | % | 18 | | = | | | | | | 117.065,85 TL |
| | TOPLAM HİZMET BEDELİ | | | | | | | | | | | 767.431,67 TL |

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'teki maliyet analizleri incelendiğinde toplam maliyetler arasında sayısal hava kamerası lehine yaklaşık 30.000 TL. fark vardır. Analog hava kamerası kullanılarak üretilen bir paftanın üretim maliyeti 1990 TL., sayısal hava kamerası kullanılarak üretilen bir paftanın üretim maliyeti ise 1920 TL.dir.

## 4.5. Tartışma

Sayısal görüntüler, temel olarak klasik hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcılar ile taranarak sayısal forma dönüştürülmesi ile elde edilmekteydi.

Fotogrametrik üretim aşamaları düşünüldüğünde, ister klasik yöntemle elde edilen fotoğrafların taranarak sayısal forma çevrilmesi olsun, isterse doğrudan sayısal formda veri toplanması olsun, üretimin ilk adımı olan hava fotoğrafı ve özellikle sayısal görüntünün elde edilmesi toplam üretim maliyetinin büyük bölümünü oluşturmaktadır.

Üreticiler için, klasik hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcılar ile taranarak sayısal forma dönüştürülmesi ile elde edilen görüntülerin radyometrik ve geometrik doğruluğu büyük önem arz etmektedir. Klasik yöntem ile elde edilen hava fotoğraflarında seçilen kamera, film, foto-laboratuvar ve banyo işlemleri ile fotoğrafların taranması gibi birçok ara işlem mevcuttur. Her bir işlem adımı elde edilen fotoğraflarda radyometrik ve geometrik hataları da beraberinde getirir. Günümüzdeki teknolojik gelişmeler göz önüne alındığı zaman, görüntülerin birçok ara işleme ihtiyaç duyulmadan doğrudan sayısal olarak elde edilmesi en mantıklı çözüm yolu olarak görülmektedir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda; bugüne kadar çeşitli sayısal hava kameralarına ait, çeşitli ölçeklerde, gerek ortofoto gerekse vektör harita uygulamalarının yapıldığı, ayrıca çeşitli sayısal hava kameralarına ait radyometrik ve geometrik çözünürlüklerin incelendiği tespit edilmiştir. Ancak, yapılan bu çalışmaların genellikle ticari beklentilerle yapıldığı görülmüştür. Birçok çalışma, kamera üreticisi firmalarla ilişkide olan, bu firmalarda görev alan veya doğrudan kameranın üretiminde görev alan kişiler tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu da tarafsız olarak ve çok yönlü olarak yapılacak bir incelemeyi gerekli kılmaktadır.

Sayısal hava kamera görüntülerinin bilgi içeriği ve elde edilecek olan sonuç ürünün doğruluğu kamera ve arazi ile ilgili birçok değişik faktörün sonucudur. Bunlardan bazıları;

- Kameranın teknik özellikleri (odak uzaklığı, görüntü formatı, alım geometrisi, vb.),
- Görüntünün geometrik ve radyometrik çözünürlüğü,

- Arazi rölyefi,
- Fotoğraf alım zamanı ve koşulları
- Uçuş yüksekliği, fotoğraf ölçeği, harita ölçeği, vb. dir.

Görüntü oluşturan sistemler, çalışma biçimi ve çalıştığı spektral alanı esas alan iki temel ölçüte göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir. Buna göre;

- Aynı anda tüm görüntü çerçevesinin (format) pozlandığı ve fotoğrafik (veya fotoğrafik olmayan) işlemlerle görünen ve yansıyan yakın kızılötesi enerjinin kayıt edildiği sistemler (Çerçeve Görüntüleme Sistemleri)
- Görüntü tarayarak çalışan ve kristal dedektör elemanları aracılığı ile spektrumun görünen, yansıyan ve yayılan kızılötesi bölgelerindeki ışımayı kayıt eden sistemler (Tarayıcılar)
- Aktif olarak oluşturulup yeryüzüne gönderilen ve buradan yansıyan mikrodalga enerjinin pulslarına ait zamanı ölçüm esasına göre çalışan sistemler (Mikrodalga Algılayıcılar)

Çerçeve görüntüleme sistemi, görüntü alım anında tüm görüntü çerçevesinin aynı anda kaydedildiği sistemlerdir. Geometrik doğruluk açısından, çerçeve görüntüleme sistemi ile çalışan görüntü algılayıcıların özellikle X-Y doğrultularındaki kararlı yapıları nedeniyle bir üstünlüğü söz konusudur.

Standart film kameralar ile sayısal kameralar arasındaki yarış Temmuz 2000'de LH-Systems'in (şimdi Leica Geosystems) ADS-40'ı, Z/I Imaging'in ise DMC sayısal kamerasını üretmesi ile başlamıştır. 2003 senesinde ise Vexcel Imaging, 90 Mpiksel geniş formatlı hava kamerası olan UltraCam-D'yi film kameraların birebir karşılığı olarak anons etmiştir. Sayısal kamera teknolojisi ilk olarak 1964 yılında başlatılan uydu algılayıcı sistemler ile başlamıştır (Leberl ve Gruber 2003).

Tang ve ark. (2000) satır tarayıcı bir sistem olan LH Systems firmasının ADS40 kamerasından bahsetmiş ve DMC kamerasının bu kameraya bir üstünlüğü olarak klasik çerçeve görüntüleme sistemini kullandığını, dolayısıyla mevcut sayısal fotogrametrik değerlendirme yazılımlarını kullanabildiğini, farklı veya özel yazılımlara ihtiyaç duyulmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada da foto-laboratuvar işlemlerine karşılık gelen görüntülerin level-0'dan level-2'ye (kullanılabilir görüntüler haline) getirilmesinden sonraki tüm fotogrametrik nirengi ve

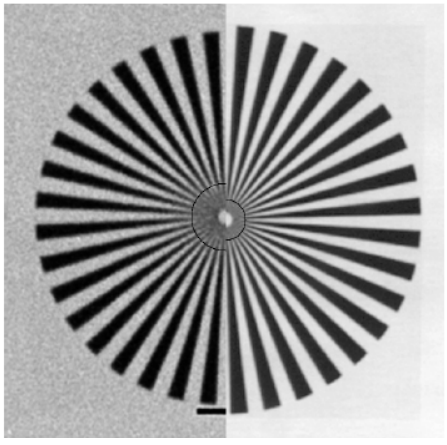
kıymetlendirme işlem adımlarında analog hava kameraları için de kullanılabilen geleneksel yazılımlar kullanılmıştır.

Heier (2001) sayısal hava kamerasının herkes tarafından ulaşılabilir olması ve büyük formatlı görüntüler elde edilebilir olmasıyla beraber kullanımının da yaygınlaşacağı ve bu sayede bütünüyle sayısal bir iş akış zincirinin oluşturulabileceğini söylemiştir. Ayrıca sayısal hava kameralarının kullanıma girmesi ile elde edilecek olan yüksek görüntü kalitesi ve beraberinde getireceği zaman ve maliyet kazancı, yüksek üretim seviyelerine ulaşmayı da sağlayacaktır. Bu esnek, hareket kabiliyeti yüksek ve tamamıyla sayısal iş akışı etkili ve gelişmiş veri işlem ve yönetim yöntemleri ve araçlarıyla desteklenmelidir. Bu çalışmada da paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Heier ve ark. (2001) uzaktan algılama sistemleri ile fotogrametrik sistemleri konumsal doğrulukları açısından karşılaştırmıştır. DMC 2001 kamerasını örnek alarak sayısal iş akışını ofis (ilk işlem- pre-processing), uçak (fotoğraf alımı), hangar/ofis (son işlem) ve ofis (veri değerlendirmesi-kıymetlendirme, ortofoto vb.) olmak üzere ortaya koymuştur. Ayrıca, sayısal hava kameralarının avantajları üzerinde durmuştur. Bu avantajlar bu çalışmanın sonuçları ile de örtüşmektedir.

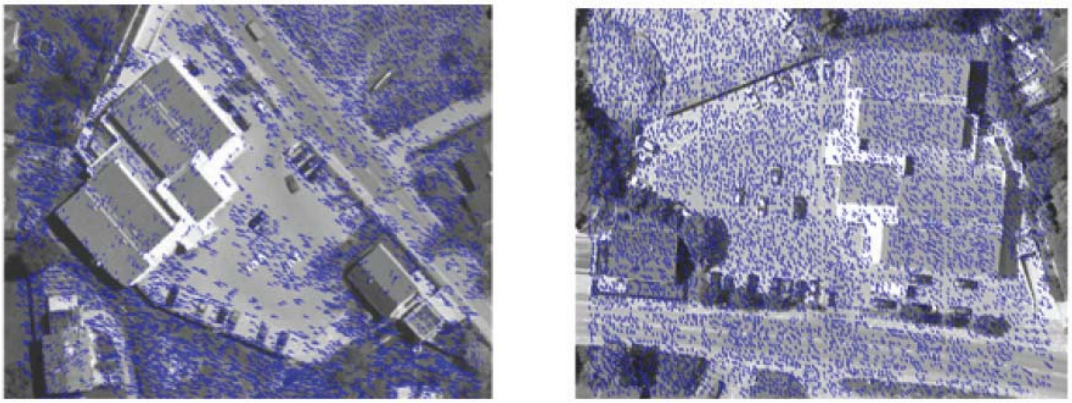
Perko & Gruber (2002) tarafından CCD tabanlı sayısal görüntüler ve film üzerinde laboratuvar ortamında siemensstar test diagramı kullanılarak radyometrik çözünürlük testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre filmlerin grenli yapısı nedeniyle daha parazitli olduğu, gereğinden hassas taramanın daha iyi sonuç vermediği 15 μm ile taranan filmden elde edilen bilginin 5 μm ile taranandan iyi olduğu, 12 μm çözünürlük ile doğrudan elde edilen sayısal görüntünün ise her ikisinden de fazla bilgi içerdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada 4.1.4.3. maddesinde de açıklandığı üzere 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafının 15 μm ile taraması sonucunda 50 cm. yer çözünürlüğü elde edilebilirken, aynı yer çözünürlüğüne ulaşabilmek için $UltraCam_X$ sayısal hava kamerası ile 1:70.000 ölçekli görüntü alınması yeterli olacağı görülmüştür. Aynı zamanda 4.2. maddesinde kullanılan analog hava fotoğrafları 21μm ile taranmış fotoğraflardır ve yer çözünürlüğü, detay teşhis edilebilirliği ve görüntü radyometrisindeki sayısal hava kamerası görüntülerinin üstünlüğü açıkça görülmektedir.

Leberl ve Gruber (2003) sayısal kamera teknolojisini ve görüntü formatının büyük olmasının önemini açıklamış, film kamera-sayısal kamera karşılaştırmasını gerçekleştirmiş, UltraCam$_D$ kamerası ve teknik özelliklerini irdelemiştir. Leberl ve Gruber (2003) çalışmasında Perko ve Gruber (2002)'ye de atıfta bulunarak siemens star ile laboratuar ortamında yapılan bir radyometrik çözünürlük testini ortaya koymuştur. Laboratuar ortamında analog (film) kamera ve sayısal kamera ile 0.4 mm yer çözünürlüğünde (GSD) Siemens star görüntülenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar sayısal görüntülenen Siemens star'da radyometrik çözünürlüğün analog kameralara nazaran 2 kat (kritik çözünürlük yarıçapı 265 μm'ye 145μm'dir) daha iyi olduğunu göstermiştir (Şekil 4.26). Ayrıca, Perko ve Gruber (2002) tarafından yine laboratuar ortamında yapılan stereo eşleştirme test çalışmalarında, sayısal görüntülerle yapılan stereo eşleştirmenin analog görüntülerle yapılan eşleştirmelere göre 2.5 kat daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu tez çalışmanın ilgili bölümlerinde de benzer sonuçlara ulaşılmış, sayısal hava kamerası görüntülerinin görüntü eşleme, detay teşhisi, çözünürlük, vb. konularda üstün olduğu belirtilmiştir. Yine bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara paralel olarak, Leberl ve Gruber (2003) sayısal hava kamerasının en can alıcı avantajları olarak film kullanımın, foto-laboratuvar ve fotoğraf tarama işlemlerinin terk edilmesini göstermiştir.



Şekil 4.26 0.4 mm yer çözünürlüğü ile film üzerine görüntülenen (solda) ve sayısal algılayıcı ile görüntülenen (sağda) Siemens star. Soldaki görüntüdeki kritik çözünürlük yarıçapı 265 μm, sağdaki görüntüde 145μm'dir.

Leberl ve Gruber (2005) $UltraCam_D$ sayısal hava kamerası kullanarak yapmış oldukları çalışmada, sayısal hava kamerası görüntüleri ile yapılan stereo eşlemenin film kameralar ile elde edilen görüntüler ile yapılan görüntü eşlemelerine nazaran çok daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bunun en önemli nedeni olarak filmin grenli yapısını göstermiş, sayısal görüntünün radyometrisinin ve dinamik aralığının daha iyi olduğunu belirtmiştir. Şekil 4.27 Leberl ve Gruber (2005) tarafından yapılan film ve sayısal hava kamerasına ait bir stereo eşlemenin sonucunu göstermektedir. Burada yapılan eşlemede, $UltraCam_D$ görüntüsündeki eşleme noktalarının sayıca fazlalığı ve görüntü üzerindeki homojen dağılımı açıkça ayırt edilebilmektedir. Yapılan eşlemede her iki görüntü için de aynı eşleme kabul kriterleri uygulanmıştır. Bu çalışmada, Leberl ve Gruber (2005) tarafından elde edilen sonuçlar ile uyumlu olarak otomatik görüntü eşleme yöntemi kullanılmıştır. Analog hava kamerası görüntüleri ile yapılan otomatik görüntü eşleme işlemleri sonucunda, nokta toplanması işlemi sonrasında, editleme, hata ayıklama ve nokta sıklaştırma işlemlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yapılan görüntü eşleme sonuçları incelendiğinde, eşlemenin Leberl ve Gruber (2005) tarafından yapılan çalışma ile uyumlu olarak çok iyi sonuçlar verdiği görülmüş, nokta toplanması işlemi sonrasında, ayrıca editleme, hata ayıklama ve nokta sıklaştırma işlemlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Leberl ve Gruber (2005) tarafından filmin grenli yapısının etkisi ve sayısal görüntünün radyometrisinin ve dinamik aralığının daha iyi olması bunun nedeni olarak belirtilmiştir. Ancak bu çalışma ile GPS/IMU ile elde edilen resim orta noktası koordinatlarının ve dönüklük parametrelerinin başlangıç değeri olarak girilmesinin de daha iyi sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Doğruya çok yakın olan resim orta noktası koordinatları ve dönüklük değerleri ile yapılan otomatik nokta eşlemesi, çok sayıda ve homojen dağılımlı nokta toplanması ve daha iyi stereo doğruluk ile sonuçlanmaktadır.



Şekil 4.27 Taranmış analog film çifti ile UltraCam$_D$ görüntü çiftine ait görüntü eşleme işleminde başarı ile toplanan nokta sayılarının karşılaştırması. Görüntülenen alan olarak özellikle zayıf kontrastlı olan asfalt alan seçilmiştir. Solda: Analog film eşlenmiş 2407 nokta (%48). Sağda: Sayısal kamera görüntüsü eşlenmiş 3201 nokta (%64).

Gruber ve ark. (2004) sayısal hava kamerası ve sistemlerinin dört ana avantajı üzerinde durmuştur;

- Kolon boyunca ekstra masrafa ve filme ihtiyaç duymadan boyuna bindirme oranını %90'a kadar artırabilme,
- Filmin grenli yapısından kaynaklanan parazitin olmaması ve bu sayede daha yüksek kaliteli SYM üretimi,
- Eşzamanlı olarak multispektral görüntüleme kabiliyeti,
- Baştan sona kadar bütünüyle sayısal iş akışı.

Gruber ve ark. (2004) tarafından öne sürülen bu sonuçlar da bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Her iki bölgede yapılan çalışmalarda ekstra maliyete ihtiyaç duyulmadan çeşitli ölçeklerde ve bindirme oranlarında fotoğraf çekimi yapılmış, amaca ve ihtiyaca uygun olanlar bu çalışmada kullanılmıştır. Fotoğrafların daha net, fotoğraf eşleştirmelerinin ve bağlama noktalarının oluşturulmasının daha sağlıklı gerçekleştiği görülmüştür. Eşzamanlı olarak multispektral görüntüleme kabiliyeti ve baştan sona kadar bütünüyle sayısal iş akışının avantajlarından faydalanılmıştır.

Madani ve ark. (2004) tarafından ISPRS İstanbul'da sunulan projede Digital Mapping Camera (DMC) detaylı olarak incelenmiştir. DMC'nin veri işleme adımları,

görüntü alımı ve yöneltme işlemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Değişik ürünler elde etmek maksadıyla, farklı arazi tiplerinde, farklı uçuş yüksekliklerinde yapılan çalışmalara ait örnekler sunulmuştur. Çalışmalara paralel olarak elde edilen sonuçlar DMC sayısal kamerasının harita üretim sürecinde rahatlıkla kullanılabileceğini ve doğruluk kriterlerini karşıladığını göstermiştir. Ayrıca, yapılan çalışma bir bütün olarak DMC kamerasının pankromatik görüntüler için çok daha iyi konumsal doğruluk, multiband gerçek renkli görüntüler ve CIR (infrared) multispektral uygulamalar için yeterli doğrulukta sonuçlar sunduğunu teyid etmiştir. Bu tez çalışmasının 4.2. maddesinde yapılan stereo kıymetlendirme çalışmaları, günümüzde kullanılan büyük formatlı sayısal hava kameralarının rahatlıkla topoğrafik harita üretim süreci içerisinde kullanılabileceğini göstermiştir. Sayısal hava kamerası ile uçuş esnasında pankromatik, renkli ve kızıl ötesi görüntülerin elde aynı anda edilebilmesi, görüntülerin kullanım alanını oldukça genişletmiş, görüntülerin radyometrisindeki üstünlük ve çoklu görüntü bantlarının kullanılabilir olması kıymetlendirme esnasında detay teşhisi açısından analog kameraya nazaran büyük bir üstünlük sağlamıştır.

Gruber (2007) $UltraCam_D$ sayısal hava kamerasının halefi olan $UltraCam_X$ kamerasının teknik özelliklerini ve $UltraCam_D$ ile aralarındaki farkları ve avantajlarını açıklamıştır. $UltraCam_X$ kamerasının kamera konisi ve CCD algılayıcıları ve bu kamera ile gerçekleştirilen bazı uygulamalar hakkında bilgiler vermiş, sonuçlarını ortaya koymuştur. Kameranın geometrik, radyometrik doğrulukları ve multispektral kabiliyetlerini irdelemiştir. $UltraCam_X$ sayısal hava kamerasının 1 μm daha iyi seviyede geometrik doğruluğa sahip olduğunu belirtmiştir. Avusturya Graz yakınlarındaki bir test alanında gerçekleştirmiş olduğu çalışmada 1800 m yükseklikten 13 cm yer örnekleme aralığı ile bir uçuş yapılmıştır. Bu uçuşta 92 resim ve 2310 adet kontrol noktası mevcuttur. Gruber (2007) bu uçuş sonucunda düşeyde 7 cm KOH elde etmiştir. Aynı bölgede, dokuz ay süresince uçuş yükseklikleri 1150 m ile 1800 m arasında olan 6 ayrı uçuş yapılmıştır. Bu uçuşların sonucuna göre görüntü koordinat ölçümlerinin dağılımı 0.6-1.6 μm arasındadır. Düşey doğruluk ise uçuş yüksekliğinin 0/00 0.03'ü kadar bulunmuştur. Gruber (2007) tarafından olması gerektiği belirtilen yatay doğruluk bu tez çalışması sonuçları ile uyumlu olmakla beraber, tez çalışmasında elde edilen düşey doğruluk Gruber (2007)

sonuçlarına nazaran bir miktar düşüktür. Ancak, Graz test alanında gerçekleştirilen altı uçuşun üçünde de elde edilen düşey doğruluk Gruber (2007)'nin olması gerektiğini beyan ettiği değerden düşük çıkmıştır. Yine de Gruber (2007) çalışmasında bu tez çalışması sonuçlarından daha iyi düşey doğruluklar elde edilmesinin nedeni olarak, Graz test alanında alçak irtifa ile uçulması (büyük ölçekli fotoğraf alımı) ve çok sayıda kontrol noktasının kullanılması olduğu düşünülmektedir.

Gruber ve ark. (2008) UltraCam$_X$ kamera sisteminin, algılayıcı, veri depolama ve veri transferi teknolojilerindeki son geliştirmeler ile hem önceki Vexcel kameraları açısından hem de piyasadaki emsalleri arasında büyük üstünlük sergilediğini belirtmiştir. Ayrıca, Gruber ve ark. (2008), 2008 ilkbaharından itibaren UltraCam kameralarının test edilmesi amacıyla Graz'a ek olarak Philadelphia VA yakınlarında bir test alanı oluşturulmuş olduğunu, Keystone Aerial Surveys firmasınca gerçekleştirilen test uçuşları sonrasında 1 μm seviyesinde sigma 0 değerlerine ulaşıldığını belirtmiştir. Hava kameralarının geometrik performanslarının belirlenmesinde kanıtlanmış ve kabul görmüş diğer bir metot olan kontrol noktalarının kullanımına dikkat çekmişlerdir. Kameraların geometrik performanslarını test etmek amacıyla altı ayrı uçuş görevinde altı ayrı kamera kullanmışlardır. Bu uçuşlarda kullanılan 199 kontrol noktasının standart sapmalarının ortalaması olarak sırasıyla X,Y ve Z için 38 mm, 46 mm ve 56 mm sapma değerleri elde etmişlerdir. Bu uçuşlarda düşey doğruluk uçuş yüksekliğinin o/oo 0.04'ü olarak elde edilmiştir.

2008 yılında Cramer (2009) ve Alman Fotogrametri, Uzaktan Algılama ve Yer Bilimleri Birliğince (DGPF) sayısal hava kameralarının performanslarının belirlenmesi için kapsamlı bir proje gerçekleştirilmiştir. Proje için Vaihingen/Enz test alanında test uçuşları gerçekleştirilmiştir. Proje dâhilinde RMK-Top 15, DMC, UltraCam$_X$, Quattro DigiCAM ve ADS40 (SH52) kameraları test edilmiştir. Testlerde kullanılan kameralara ait kamera ve uçuş bilgileri Çizelge 4.16'da sunulmuştur.

Çizelge 4.16 DGPF testlerinde kullanılan kameralara ait kamera ve uçuş bilgileri

| | Kullanılan Film | Odak Uzaklığı (mm) | Uçuş Yüksekliği (m) | GSD (cm) (Piksel Boyutu) | Bindirme Oranları (İleri/Yan) |
|---|---|---|---|---|---|
| RMK-Top 15 | KODAK MS 1443 | 154 | 2160 | 20 (14 μm tarama) | %60 / %70 |
| DMC | - | 120 | 2160 | 20 (12 μm) | %60 / %60 |
| Quattro DigiCAM | - | 82 | 2500 | 20 (6.8 μm) | %60 / %70 |
| ADS40 (SH52) | - | 62.7 | 1900 | 20 (6.5 μm) | - / %70 |
| UltraCam$_X$, DGPF | - | 100.5 | 2900 | 20 (7.2 μm) | %70 / %70 |
| UltraCam$_X$, HGK (Harita Genel Komutanlığı) | - | 100.5 | 6030 | 43.20 (7.2 μm) | %60 / %30 |

Çizelge 4.16'da ele alınan kameralar ve uçuşlar incelendiğinde tez çalışması test uçuşu ile DGPF testi uçuşları arasında çeşitli farklılıklar olduğu görülmektedir. Sonuç bölümünde de bahsedileceği üzere sayısal hava kameraları ile yapılan test çalışmalarının çoğu alçak irtifalı ve küçük yer örnekleme aralıklı çalışmalardır. Cramer (2009) ve DGPF testinde de 8 cm ve 20 cm olmak üzere iki ayrı yer örnekleme aralığında testler gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasına en yakın kriterlere sahip olduğu için 20 cm yer örnekleme aralığına sahip olan uçuş ve kameralar Çizelge 4.16'ya dâhil edilmiştir. Çizelge 4.16'da ilk göze çarpan tez çalışması uçuşunun DGPF testine nazaran yaklaşık iki kat yüksek irtifadan ve iki kat daha büyük yer örnekleme aralığı ile yapılmış olduğudur. Bu tez çalışması kriterlerine benzer testlere ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.17'de sunulmuştur. Çizelge 4.17 yorumlanırken bu farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.17 DGPF testlerinde kullanılan kameralara ve bu tez çalışmasında kullanılan kameraya geometrik doğruluk sonuçları (YKN: Yer Kontrol Noktası, BKN: Bağımsız Kontrol Noktası "Dengelemeye dâhil edilmeyen noktalar")

| Kamera/Fotoğraf sayısı | YKN/BKN | RMS (m) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ΔX | ΔY | ΔZ |
| RMK,<br>47 Fotoğraf | 14/82 | 0.12 | 0.13 | 0.08 |
| DMC,<br>42 Fotoğraf<br>GPS/IMU ile | 4/180 | 0.04 | 0.07 | 0.11 |
| DigiCAM,<br>132 Fotoğraf<br>GPS/IMU ile | 4/161 | 0.07 | 0.10 | 0.27 |
| $UltraCam_X$ DGPF,<br>36 Fotoğraf<br>GPS/IMU ile | 4/180 | 0.06 | 0.06 | 0.15 |
| $UltraCam_X$ HGK,<br>363 Fotoğraf<br>GPS/IMU ile | 4/6 | 0.12 | 0.14 | 0.38 |

Bu tez çalışması kapsamında iki ayrı bölgede farklı amaçlarla iki ayrı test gerçekleştirilmiştir. Birinci çalışmada yapılan testlerin amacı, doğrudan coğrafi konumlandırma için kullanılan boresight kalibrasyon değerleri hesaplanması ve sayısal hava kamerası ile gerçekleştirilecek diğer çalışmalar için çözünürlük (yer örnekleme aralığı), ölçek ve doğruluk kriterlerinin belirlenmesidir. İlk yapılan testlerde (birinci bölgede), 1:20.000 ölçekli ve 14 cm yer örnekleme aralığında gerçekleştirilen uçuş sonrasında $UltraCam_X$ sayısal hava kamerasının yataydaki KOH'sı (Karesel Ortalama Hata) 2-3 cm, düşey KOH'sı ise 17 cm bulunmuştur. İkinci bölgede yapılan 1:60.000 ölçekli ve 43 cm yer örnekleme aralığında gerçekleştirilen uçuş sonrasında KOH'lar yatayda 12-14 cm, düşeyde ise 38 cm bulunmuştur.

Cramer (2009) tarafından gerçekleştirilen test çalışmalarında ise 1:12.000 ölçekli ve 8 cm yer örnekleme aralığında yapılan uçuşlarda KOH'lar yatayda 3-6 cm, düşeyde ise 4 cm, 30.000 ölçekli ve 20 cm yer örnekleme aralığında yapılan uçuşlardaki KOH'lar yatayda 6 cm, düşeyde 15 cm bulunmuştur.

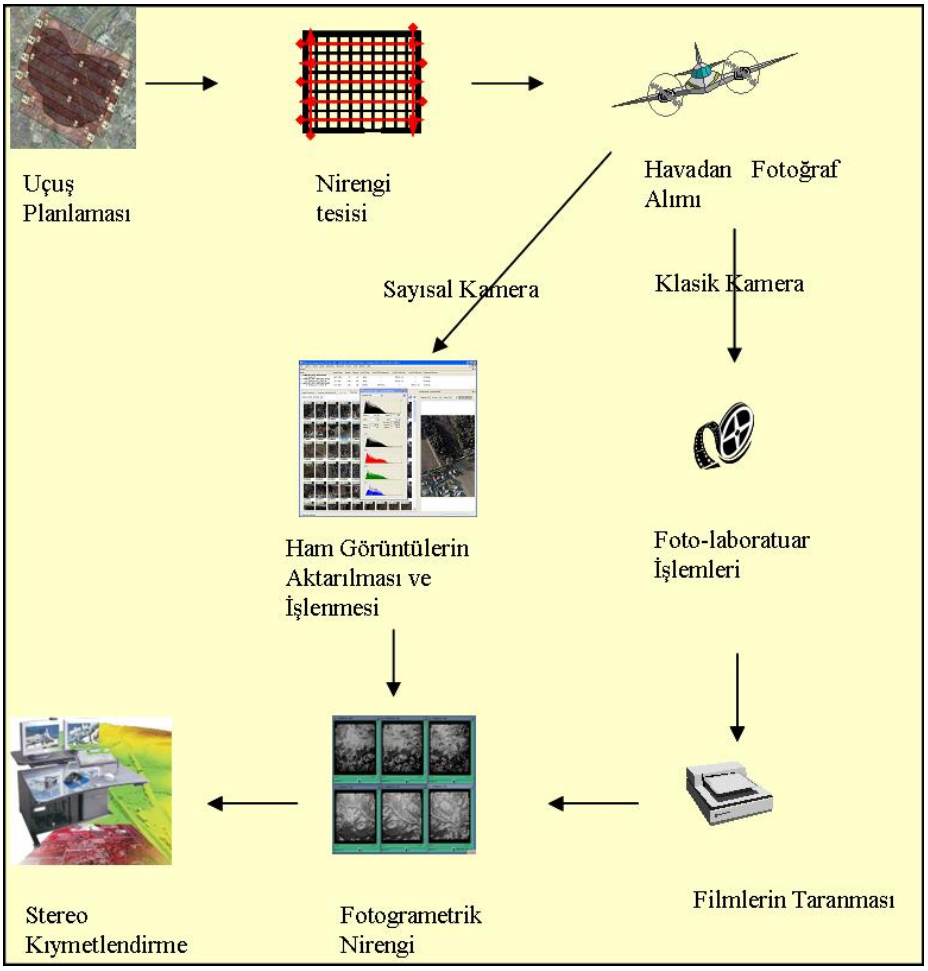
Bu tez çalışmasında, dengeleme sonucu elde edilen resim orta noktası koordinatlarının ve dönüklük parametrelerinin üretilen haritanın doğruluğunu etkileyecek olan stereo modellere olan etkisinin daha gerçekçi olarak tespit edilebileceği düşünüldüğünden, KOH'ların hesabında dengeleme sonucu elde edilen (YKN ve BKN'ları) koordinatlar yerine stereo modellerden okunan koordinatların kullanılması tercih edilmiştir. Bu tez çalışması sonuçları ile Cramer (2009) tarafından gerçekleştirilen test çalışmalarının sonuçları arasında ciddi ayrılıklar bulunmasa da görülen farklılıkların uçuş yüksekliği ve dolayısıyla ölçek farkından, operatörün koordinat okuma hatasından (özellikle yükseklik değeri için baz/yükseklik oranı dikkate alınmalıdır), proje alanı büyüklüğü (resim sayısı) ve projede kullanılan kontrol noktası sayısından ve Cramer (2009) test çalışmasına nazaran bu çalışmada daha gerçekçi bindirme oranları ile çalışılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

# 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Analog hava kameralarından sayısal hava kameralarına geçiş son yıllarda oldukça hızlanmıştır. Bu geçişte, son yıllarda piyasalara sürülen sayısal hava kameralarının gelişen geometrik tutarlılıkları, yüksek radyometrik ve geometrik çözünürlükleri, geleneksel hava fotoğraflarına yaklaşan yer kaplama kapasiteleri (büyüyen görüntü formatları) ve analog hava kameralarına nazaran daha maliyet etkin bir şekilde kullanılabilmeleri önemli bir yer tutmaktadır. Literatür incelendiğinde sayısal hava kamerası ile gerçekleştirilen uygulamaların çoğunun alçak irtifalı (1000-4000 m) ve küçük yer örnekleme aralıklı (GSD) uygulamalar olduğu görülmektedir. Bundaki en önemli etkenin ise ilk sayısal hava kameralarının topoğrafik harita üretimi için (1/25.000 ve daha küçük ölçekler) analog kameraların sahip olduğu geniş yer kaplama alanı ihtiyacını ve uygun baz/yükseklik oranını karşılayamaması olduğu düşünülmektedir.

Son yıllarda piyasalara sürülen sayısal hava kameraları ile beraber bu ve benzeri kısıtlamaların birçoğu giderilmiştir. CCD teknolojisindeki gelişmeler, çerçeve algılayıcılı sayısal hava kameralarında çoklu konili kameraların kullanımı ve birleşik görüntü elde edilmesiyle görüntü formatlarının büyümesi, piksel boyutlarının küçülmesi ve dolayısıyla yer örnekleme aralığının küçülmesi (konumsal çözünürlüğün artması), geometrik doğruluklarının yeterli ve radyometrik çözünürlüklerinin analog kameralara nazaran iyi olması gün geçtikçe sayısal hava kameralarının kullanımını artırmıştır.

Sayısal hava kameralarının getirmiş olduğu en büyük yenilik ve gelişmelerden birisi de değişen fotogrametrik iş akışıdır. Foto-laboratuvar ve tarama işlemleri sonrasında elde edilen film bazlı fotoğrafların yerine, sayısal görüntülerin doğrudan elde edilebilmesi, film ihtiyacını, banyo ve tarama işlem adımlarını ortadan kaldırmıştır. Fotogrametrik iş akışı içerisindeki "foto-laboratuar işlemleri" ve "filmlerin taranması işlemleri" yerini, "ham görüntülerin aktarılması ve işlenmesi" adımlarına bırakmıştır (Şekil 4.28).




Şekil 4.28 Analog ve sayısal fotogrametrik iş akışı

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda, sayısal hava kameraları ile 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Birinci bölgede yapılan uçuş ve çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda GPS/IMU değerleri ile blok dengeleme konumlandırma sonuçlarının ortalama hatasının ölçeğe göre yatay bileşende 2.5 cm ile 27 cm arasında, düşey bileşende ise 6 cm ile 26 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. GPS/IMU değerleri ile doğrudan coğrafi konumlandırma sonuçlarının ortalama hatasının ise ölçeğe göre yatay bileşende 8 cm ile 1,2 m arasında, düşey bileşende ise 18 cm ile 4 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Burada koordinat farkları da tek tek incelendiğinde, bazılarının aşırı yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi her

ölçekte çekilen resim sayısının farklı olmasıdır. Örneğin 1:8000 ölçekli projede 100 adet resim bulunurken, 1:70000 ölçekli projede 3 adet resim bulunmaktadır. Dolayısıyla 1:70000 ölçekli proje için hesaplanan boresight kalibrasyonu değerleri gerçeği yansıtmamaktadır. Ayrıca uçuş yüksekliği arttıkça düşey bileşendeki farkların da arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak da baz/yükseklik oranının kötüleşmesi düşünülebilir. Boresight kalibrasyon değerlerinin hesabı ikinci bölgede yapılan uçuşta tekrar yapılmış ve optimum çözüm bulunmuştur.

Birinci bölgede yapılan uçuş ve çalışmaların esas amacı topoğrafik harita üretimi için (ülkemizde temel harita ölçeği olarak kullanılan 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita) gerçekleştirilecek uçuşlarda kullanılacak olan uçuş kriterlerinin (optimum resim ölçeklerinin veya başka bir deyişle yer örnekleme aralığının) belirlenmesidir. Bu kapsamda yapılan uçuşlardaki her bir ölçek için stereo modeller oluşturulmuş, bu modeller detay seçilebilirliği, uçuş yüksekliği ve projedeki model sayısı açılarından değerlendirilerek topoğrafik harita üretimi için yapılacak olan uçuşların 1:60.000 ölçeğinde (43 cm yer örnekleme aralığında) yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

- İkinci bölgede yapılan çalışmalar, 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi için sayısal hava kameraları ile elde edilecek olan stereo modellerin geometrik doğruluğunun belirlenmesi maksadıyla yapılmıştır. Self kalibrasyon, yöneltmede modellenemeyen parametrelerin hataların (odak uzaklığı, distorsiyon hataları vb.) dengeleme sırasında hesaplanarak düzeltmelerin sonuca yansıtılması işlemidir. İkinci test uçuşu için yapılan self kalibrasyonlu ve self kalibrasyonsuz dengeleme sonuçları incelendiğinde self kalibrasyonunun konum doğruluğunu arttırdığı (nirengi noktasının yeterli olduğu bloklarda) gözlenmektedir. Literatürde de belirtildiği üzere self kalibrasyon parametreleri (12 veya 44 parametre) dikkatli kullanılmalıdır. Projede self kalibrasyon parametreleri kullanılacaksa (özellikle 44 parametreli çözüm) yer kontrol noktası sayısının yeterli sayıda (en az 40-50) olması gerekmektedir. 44 parametrenin, uygun olmayan model ve projeler için kullanımının, sonuçlar üzerinde bozucu etki yaratabileceği unutulmamalıdır. Self kalibrasyonun bozucu etkisi özellikle düşey doğrulukta görülecektir (Cramer 2009). Çizelge 4.6 ve 4.7 sonuçları incelendiğinde yeterli nirengi bulunmayan projelerde self kalibrasyonun anlamlı olmadığı ve bozucu etki yapabileceği söylenebilir.

İkinci bölgede doğrudan coğrafi konumlandırma ortalama hatası yatayda 58-83 cm ve düşeyde 65-82 cm olduğu belirlenmiştir. PPP çözümü ile yapılan doğrudan coğrafi konumlandırmanın DGPS ile yapılan doğrudan coğrafi konumlandırmaya nazaran bir miktar daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Birinci ve ikinci bölgede boresight kalibrasyon değerleri belirlenmiş ve doğrudan coğrafi konumlandırma sonuçları incelemiştir. Boresight kalibrasyonu yapılan projede doğrudan coğrafi konumlandırma sonuçları oldukça hassas iken, proje değiştiğinde farklılık göstermektedir. Bu yüzden 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi amaçlı projelerde doğrudan coğrafi konumlandırmanın uygun olmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak doğrudan coğrafi konumlandırmanın nirengi noktası tesisi yapılamayan arazilerde, çok fazla hassasiyet gerektirmeyen projelerde ve hızlı ortofoto ve harita yapım çalışmalarında rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu sayede, ortofoto yapımı için yapılacak uçuşlarda istenen konum doğruluğu da göz önüne alınarak, yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulmayacaktır. Ayrıca özellikle nirengi noktası tesisi yapılamayan araziler için PPP ile hızlı ve güvenli bir şekilde harita üretimi yapılabilecektir. PPP çözümünün, 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için hassas bölgelerde (ulaşılamayan bölgeler) büyük bir kolaylık ve esneklik sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölgede yapılan testin sonuçları incelendiğinde, sayısal hava kamerasının analog hava kamerasına nazaran bir miktar daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Bu durumun, GPS/IMU ölçümleri sonucu elde edilen resim orta noktası koordinatlarının, dengeleme içerisine yaklaşık değer olarak dâhil edilmesi sonucu daha iyi otomatik bağlama noktası ve daha iyi blok geometrisi sağlamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak, her iki kameraya ait sonuçların, arazi üzerinde kontrol noktası olarak kullanılmak amacıyla işaretlenmiş noktalardan ve bu noktaların blok dengeleme içerisine dâhil edilmesi ile elde edilen sonuçlardan (ikinci bölge test sonuçlarından) yaklaşık 3 kat daha kötü olduğu görülmektedir. Bu durumun, fotoğraf üzerinde belirlenen detay noktalarına arazide GPS ile tam olarak yaklaşılamaması ve stereo görüntülerde operatörün araziye yaklaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Sonuçların 1/25.000 ölçekli topografik harita üretimi standartlarını rahatlıkla karşıladığı görülmektedir.

- 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi uçuşları için yer kontrol noktasından vazgeçmek mümkün değildir. Bu uçuşların önemi, alan olarak büyüklüğü ve uçuş yüksekliği göz önüne alındığında, kontrol açısından blok köşelerinde yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, daha önce kullanılan çapraz kolonların, GPS/IMU'nun kullanılması ile birlikte çözüme sağladığı katkının bu ölçek için ihmal edilebilir olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu sonuçlar ışığında çapraz kolon kullanılmasına gerek kalmadığı değerlendirilebilir. Buna rağmen 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretiminin önemi ve sayısal hava kameraları ile birlikte film maliyetlerinin ortadan kalkması nedeniyle çapraz kolon kullanımına devam etmenin de bir sakıncası bulunmamaktadır.
- Yapılan test çalışmalarında (üçüncü bölgede analog kamera ile yapılan test hariç) fotogrametrik nirengi işlemleri esnasında GPS/IMU değerleri başlangıç değerleri olarak girilerek bağlama noktaları otomatik olarak belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda sayısal kameralar için fotogrametrik nirengi işlemlerinin otomatik yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Daha önce bağlama noktalarının belirlenmesi işlemi iki hafta süren bir projenin GPS/IMU değerlerinin başlangıç değerleri olarak girilmesi ile otomatik olarak 1 haftada belirlenebildiği göz önüne alınırsa zaman/maliyet açısından oldukça fayda sağladığı değerlendirilmektedir.
- Sayısal kameralarda film kullanımının ortadan kalması, birden fazla kamera konisinin ve çoklu algılayıcının kullanılması nedeniyle uçuş sonucunda uçulan bölgeye ait pankromatik, renkli ve kızıl ötesi görüntüler aynı anda elde edilmektedir. Kıymetlendirme sırasında aynı bölgeye ait değişik bantlardaki görüntülerin dönüşümlü olarak kullanılması, birinde görülemeyen detayların diğer görüntü bantlarında görülmesini mümkün kılmakta ve detay teşhisi açısından kıymetlendirme operatörleri için büyük avantaj sağlamaktadır.
- Sayısal hava kamerası ile elde edilen görüntülerin radyometrisinin, kontrastının, netliğinin ve dolayısıyla detay teşhis edilebilirliğinin iyi olması, kıymetlendirme esnasında daha fazla sayıda detayın daha doğru olarak teşhis edilmesini olanaklı kılmış ve kıymetlendirilen detayların nitelik ve niceliğine olumlu katkı sağlamıştır. Bu sayede, operatörler tarafından kıymetlendirilen detayların

sayısı, doğruluğu ve tamlığı artmakta ve arazideki topoğrafik bütünleme ihtiyacı ve bütünleme çalışmalarının süresi azalmaktadır.

- Sayısal hava kamerasının ortofoto üretimi sürecine etkisi en çok üretim hızı ve ortofoto kalitesinde görülmüştür. GPS_IMU ile desteklenmiş sayısal hava kamerası görüntüleri ile hızlı şekilde ortofoto üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Diğer yandan doğrudan sayısal görüntü elde edilmesi de hızı artırmakta ve foto-laboratuvar ve tarama işlemlerin sebep olduğu görüntü bozulmalarını önlemektedir.
- Sayısal hava kameralarının maliyetler açısından en belirgin avantajı film, foto-laboratuvar ve tarama maliyetlerini ortadan kaldırmasıdır.
- Analog ve sayısal hava kameralarının uçuş maliyetleri arasında yaklaşık 2820TL.lik analog hava kamerası lehine bir fark söz konusudur. Bundaki en büyük etken, sayısal hava kameralarının fotoğraf boyutunun küçük, dolayısıyla proje alanı içerisinde alınacak olan fotoğraf sayısının fazla olmasıdır. Daha fazla fotoğraf, daha fazla uçuş kolonu ve daha fazla uçuş süresi demek olacaktır. Uçuş öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen hizmetlerin (foto-laboratuvar ve fotoğraf oluşturma işlemleri) maliyetleri arasında ise sayısal hava kamerası lehine yaklaşık 5200 TL.lik bir fark söz konusudur ki bu fark incelendiğinde, sayısal hava kamerasının maliyeti analog hava kamerasına nazaran yok denecek kadar azdır. Bundaki en önemli etken ise, analog hava kamerasında direk olarak parasal maliyeti olan film ve film banyo malzemeleri ile fotoğraf tarama maliyetlerinin sayısal hava kameraları için mevcut olmamasıdır. Aynı zamanda, sayısal hava kameralarında, sayısal işlem adımlarındaki kesintisiz otomasyon minimum sayıda personel kullanımını da beraberinde getirmektedir. Bu durum da, maliyeti sadece zaman ve kullanılan cihazların amortismanı ile sınırlı tutmaktadır.
- 1:100.000 ölçekli bir paftanın kapladığı yaklaşık 2400 $km^2$ lik alan ele alındığında; fotogrametrik nirengi işlem maliyetinde sayısal kamera lehine 100 TL, kıymetlendirme çalışmalarında analog kamera lehine 7400 TL, arazi bütünleme çalışmaları maliyetinde sayısal hava kamerası lehine 10550 TL fark vardır. Fotogrametrik nirengi işlem adımlarında sayısal kameranın maliyete etkisi az gibi görünse de, işlem adımlarına getirmiş olduğu kesintisiz otomasyon göz ardı edilemeyecek bir avantajdır. Kıymetlendirme çalışmalarında ise her ne kadar toplam maliyet analog kamera lehine gibi görünse de, kıymetlendirme büroda, bütünleme ise

arazide yapılan bir çalışmadır ve kıymetlendirme çalışmalarına nazaran bütünleme çalışmaları hem kullanılan personel, alet, donanım ve teçhizat açısından çok daha dezavantajlı hem de parasal maliyetler açısından çok daha pahalıdır. Üstelik, kıymetlendirme çalışmalarının analog kameralara kıyasla sayısal kamera görüntülerinde daha uzun sürmesinin nedeni, sayısal kamera görüntülerinin konumsal, radyometrik ve spektral çözünürlüklerinin analog görüntülere nazaran çok daha iyi olmasıdır. Fotogrametrik çalışmaların ana hedeflerinden birisi de pahalı ve zahmetli olan arazi çalışmalarını minimuma indirebilmektir.

- Maliyet analizi sadece toplam parasal maliyetler açısından değerlendirildiğinde bile analog hava kamerasına nazaran sayısal hava kamerasın yaklaşık 10000 TL daha ucuz, yani avantajlı olduğu görülecektir.

Sonuç olarak; 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi amacıyla yapılacak olan uçuşlarda, doğrudan coğrafi konumlandırma ve fotogrametrik nirengi yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı, projenin amacı, proje alanı büyüklüğü, ölçek (harita ve fotoğraf) ve istenen konum doğruluğu göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Son zamanlarda piyasada yaygınlaşan sayısal hava kamerası sistemleri; görüntü kalitesi, sağladığı kesintisiz otomasyon, yüksek radyometrik ve geometrik çözünürlük ve kamera ile bütünleşik olarak kullanılan GPS/IMU sistemleri sayesinde analog hava kameralarının yerini almıştır.

**KAYNAKLAR**

Cramer, M. 2003. EuroSDR Project Digital Camera Calibration, 103rd EuroSDR Science and Steering Committee Meetings, München, Germany, October 2003.

Cramer, M. 2004. EuroSDR Network on Digital Camera Calibration, Report Phase 1, Special Session at ISPRS Congress, İstanbul, Türkiye, July, 2004.

Cramer, M. 2009. Digital Airborne Camera Performance-The DGPF Test, Photogrammetric Week 2009, Dieter Fritsch (Ed.), Stuttgart, pp.51-68

Eckardt, A., Braunecker, B., Sandau, R. 2000. Performance of the Imaging System in the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor, IAPRS, Vol. XXXIII, Working Group I/3, Amsterdam, 2000

Fricker, P., Sandau, R., Walker, A.S. 1999. Digital photogrammetric cameras: possibilities and problems, Photogrammetric Week 1999, (Fritsch, D., Spiller, R., Eds.), Wichmann Verlag, pp. 71-82.

Fricker, P. 2001. ADS40 – Progress in Digital Aerial Data Collection, Photogrammetric Week 2001, (Fritsch, D., Spiller, R., Eds.), Wichmann Verlag, pp. 105-116.

Fricker, P., Schaeppi, R., Walker, A.S. 2001. Results from Test Flights of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor, 22nd Asia Conference on Remote Sensing, Singapore, November, 2001.

Fricker, P. 2007. Raising the Bar for the Multi-Band High-Resolution Airborne Imagery, Photogrammetric Week 2007, (Fritsch, D., Ed.), Wichmann Verlag, pp.71-79.

Fritsch, D. 1996. Experiences with Digital Cameras for Earth Observation, Proceedings, Carl Zeiss Experts' Seminar "Aerial Surveying Today and Tomorrow", Berlin, 14/15 May 1996.

Gervaix, F. 2001. ADS40 Ground Processing: Principle, work-flow and results Aerial Triangulation: also for the LH Systems ADS40 ?, 3rd International Image Sensing Seminar on New Development in Digital Photogrammetry, Gifu, Japan.

Gruber, M., Perko, P., Ponticelli, M. 2004. The All Digital Photogrammetric Workflow: Redundancy And Robustness, Commission I, W/G I/6, ISPRS Congress, İstanbul, Türkiye, July, 2004.

Gruber, M. 2007. UltraCamX, The New Digital Aerial Camera System by Microsoft Photogrammetry, 51st Photogrammetric Week 2007, Stuttgart, Almanya, Eylül, 2007

Gruber, M., Ponticelli, M., Bernögger, S., Leberl, F. 2008. UltraCamX, The Large Format Digital Aerial Camera System By Vexcel Imaging / Microsoft, Commission I, W/G I/4, ISPRS Congress, Beijing, China, July, 2008.

Gruner, H. 1977. Photogrammetry: 1776-1976, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, pp. 569-574.

Heier, H. 2001. Deploying DMC in today's workflow, Photogrammetric Week 2001, (Fritsch, D., Spiller,R., Eds), Wichmann Verlagg, Heidelberg, Almanya, 2001, pp.35-45.

Heier, H., Dörstel, C., Hinz, A. 2001. The New Digital Modular Camera Embeded Into The Z/I Imaging Workflow, ASPRS Annual Proceedings, St. Louis, Oberkochen, Germany.

Hinz, A. 1999. The Z/I Imaging Digital Aerial Camera System, Photogrammetric Week ´99, Eds D. Fritsch/R.Spiller, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp.109-115.

Hinz, A., Dörstel, C., Heier, H. 2001. DMC-The Digital Sensor Technology of Z/I Imaging, Photogrammetric Week ´01 Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH, Heidelberg, Germany, pp.93 - 103.

Hinsken, L., Miller, S., Tempelmann, U., Uebbing, R., Walker, S. 2002. Triangulation of LH Systems' ADS40 Imagery Using Orima GPS/IMU, ISPRS Commission III, Symposium, September, 2002, Graz, Austria

Honkavaara, E. 2008. Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems Using A Test Field, Doctorate Thesis, University of Technology, Espoo, Finland, 2008.

Hoban, R.J. 2004. Digital Aerial Camera Technologies, Georgia URISA Conference September 24, 2004.

Jacobsen, K. 2005. Photogrammetry and Geoinformation Trends for Large Scale Mapping, 1st Middle East Conference on Geospatial Information, Technology and Applications 'Map Middle East', Dubai.

Kiracı, A.C., Eker, O., İşcan, L., Akabalı, A. 2009. Fotogrametrik Nirengi ve GPS/IMU ile Doğrudan Coğrafi Konumlandırma Test Sonuçları, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) V. Teknik Sempozyumu, Şubat, 2009, Ankara.

Kremer, J., Gruber, M. 2004. Operation of the UltraCamD together with CCNS4/AEROCONTROL – First Experiences and Results, ISPRS Congress, Commission I, WG I/5, İstanbul, Türkiye, 2004.

Leberl, F., Gruber, M., Ponticelli, M., Bernoegge, S., Perko, R. 2003. The UltraCam Large Format Aerial Digital Camera System, Proceedings of the American Society For Photogrammetry & Remote Sensing, 5-9 May, 2003, Anchorage, Alaska

Leberl, F. ve Gruber, M. 2003. Flying the new Large Format Digital Aerial Camera Ultracam. Proceedings of the Photogrammetric Week 2003, Wichmann Verlag, Stuttgart, 2003, pp. 67-76.

Leberl, F. ve Gruber, M. 2005. ULTRACAM-D: Understanding some Noteworthy Capabilities, Photogrammetric Week 2005, Dieter Fritsch, Ed., Wichmann Verlag, Heidelberg, 2005, pp. 57-68.

Lemmens, M. 2008. Digital Aerial Cameras: System Configurations and Sensor Architectures. Professional Surveyor Magazine, v. 28, no. 5, p. 66-72.

Luhman, T. 2004. A Historical Review on Panorama Photogrammetry. Proceedings of 1st Panoramic Photogrammetry Workshop. International archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/W16.

Madani, M., Dörstel, C., Heipke, C., Jacobsen, K. 2004. DMC Practical Experience and Accuracy Assessment, ISPRS Congress, İstanbul 2004.

Neumann, K.J. 2004. Operational Aspects of Digital Aerial Mapping Cameras, Commision I, WG I/6, Proceedings of XXth ISPRS Congress, Istanbul, 2004, pp.222

Önder, M. 2002. Geçmişten Günümüze Resimlerle Türk Haritacılık Tarihi, Harita Genel Komutanlığı, Ankara, sayfa 272-288.

Perko, R., Gruber, M. 2002. Comparison of Quality and Information Content of Digital and Film-Based Images, ISPRS Commission III, Symposium 2002, September 9 - 13, Graz, Austria, 2002.

Perko R. 2004. Computer Vision For Large Format Digital Aerial Cameras, Doctorate Thesis, Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, Graz, Austria, October 2004.

Reulke, R. 2003. Film-based and Digital Sensors – Augmentation or Change in Paradigm?, Photogrammetric Week ´03, Eds: D. Fritsch/R.Spiller, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 41-52.

Tachibana, K., Gruber, M., Shimamura, H. 2008. Geometric Accuracy Investigation of Vexcel UltracamD, Commission I, W/G I/4, ISPRS Congress, Beijing, China, July, 2008.

Tang, L., Dörtsel, C., Jacobsen, K., Heipke, C., Hinz A. 2000. Geometric Accuracy Potential of the Digital Modular Camera, Proc. IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.

Tempelmann, U., Börner, A., Chaplin, B., Hinsken, L., Mykhalevych, B., Miller, S., Recke, U., Reulke, R., Uebbing, R. 2000. Photogrammetric Software for the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, pp.552-559

Thurgood, J. 2004. The Vexcel UltraCam Large-Format Digital Aerial Camera System and NAIP. Aerial Photogrammetry Products Vexcel Corporation**,** Salt Lake City, November 2004.

Trinder, J. 2005 Characteristics of New Generation of Digital Aerial Cameras. GIS Development Weekly, Vol.1, Issue:17 http://www.gisdevelopment.net/technology /ap/ap001.htm (30.06.2007)

<www.aerial-survey-base.com/cameras.html>, Camera Systems Overwiew, Sayısal Hava Kamerası Broşürleri, (en son ziyaret edilen tarih: 12 Kasım 2009)

<www.astro.virginia.edu/class/oconnell/astr121/guide14.html>, O'Connell, R.W., Study Guide 14, University of Virginia (en son ziyaret edilen tarih: 22 Ekim 2009)

<www.intergraph.co.za/downloads/DMC_Brochure.pdf>, Digital Mapping Camera System, (en son ziyaret edilen tarih: 16 Haziran 2009).

<www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/History.pdf>, History of Photogrammetry, Ferris State University, Michigan, USA (en son ziyaret edilen tarih; 13 Haziran 2009).

<www.hgk.mil.tr>, Harita Genel Komutanlığı (ziyaret edilen tarihler: 16 Nisan 2008 ve 14 Eylül 2009).

<www.microsoft.com/ultracam/downloads/default.mspx>, $UltraCam_X$, $UltraCam_{XP}$ ve $UltraCam_L$ Sayısal Hava Kamerası Broşürleri, (en son ziyaret edilen tarih: 12 Kasım 2009)

Yaşayan, A. 1997. Fotogrametri II Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız, İstanbul.

Yıldırım, A., Şeker, D.Z. 2006. Fotogrametrik Harita Üretiminde Kullanılan Görüntülerin Maliyet Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, Cilt:5, Sayı:1, Kısım:1, sayfa 83-90, Şubat 2006.

Zakiewicz, T. 2008. Mapping South Africa, with a Digital Aerial Camera, From the Perspective of the National Mapping Agency, Map Africa 2008, Cape Town, South Africa.

Zeitler, W., Dörstel, C., Jacobsen K. 2002. Geometric Calibration of the DMC: Method and Results, IAPRS, Vol. XXXIV, Part 1, Denver, Colorado.