

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAYISAL HAVA KAMERASI VE ANALOG HAVA
KAMERASI KULLANILARAK ÜRETİLEN
FOTOGRAMETRİK SAYISAL YÜKSEKLİK
MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Harita Müh. Mustafa KAYA

**FBE Harita Müh. Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bülent BAYRAM

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1 GİRİŞ	1
2 FOTOGRAMETRİNİN TANIMI ve TARİHÇESİ	5
3 SAYISAL FOTOGRAMETRİ TEMELLERİ ve KAVRAMLARI	8
3.1 Sayısal Fotogrametrinin Temelleri	8
3.2 Sayısal Fotogrametri Kavramları	10
3.2.1 Görüntü Oluşturma Yöntemleri	11
3.2.1.1 Fotoğrafların Taranması	11
3.2.1.2 Sayısal Kameralar	13
3.2.1.3 Tarayıcı Kameralar ve Diğerleri	14
4 KLASİK HAVA KAMERALARI İLE SAYISAL HAVA KAMERALARININ KARŞILAŞTIRILMASI	15
4.1 Analog Hava Kameraları	15
4.2 Sayısal (Digital) Hava Kameraları	16
4.2.1 Sayısal Hava Kameralarının Yapısı ve Genel Özellikleri	17
4.2.1.1 Optik Sistem	18
4.2.1.2 Elektronik Dedektörler	19
4.2.1.3 Soğutucu Sistem	20
4.2.1.4 Görüntü Dedektörleri	21
4.2.1.4.1 Yarı İletkenler	21
4.2.1.4.2 Yarı İletkenlerde Foto Yüklerinin Yaratılması, Biriktirilmesi ve Depolanması ...	21
4.2.1.4.3 Foto Yüklerinin Nakli	22
4.2.1.4.4 Foto Yüklerinin Algılanması	22
4.2.2 Ultracam-X Sayısal Hava Kamerası ve Özellikleri	22
4.3 Klasik Hava Kamerası ile Sayısal Hava Kameralarının Karşılaştırılması	25
5 STEREO FOTOGRAMETRİ TEMELLERİ ve NOKTA SIKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	32

5.1	Yöneltme	32
5.1.1	İç Yöneltme	33
5.1.2	Dış Yöneltme	34
5.2	Nokta Sıklaştırma Yöntemleri	36
5.2.1	Havuz Yöntemi	37
5.2.2	Dizi Yöntemi	38
5.2.3	Fotogrametrik Nirengi Yöntemi	39
5.2.4	Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi.....	40
5.2.5	GPS/INS, GPS/IMU Destekli Fotogrametrik Nirengi Dengelemesi.....	45
5.3	Algılayıcı Yöneltme Sistemleri	48
5.3.1	Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi.....	48
5.3.2	Birleştirilmiş Algılayıcı Yöneltmesi.....	52
5.3.3	Kalibrasyon İşlemleri	54
5.4	Uçuş Planı.....	57
5.4.1	Uçuş Planının Hazırlanması	57
5.4.2	Planlama	58
5.4.3	Yer Kontrol Noktaları.....	63
6	SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ	66
6.1	Giriş	66
6.2	Matematiksel Model	66
6.3	SYM Üretim Yöntemleri	70
6.3.1	Fotogrametrik Değerlendirme	70
6.3.2	Görüntü Eşleme (Image Matching)	72
6.3.2.1	Alana Göre Eşleme	74
6.3.2.2	Detaya Bağlı Eşleme	74
6.3.2.3	Sembolik Eşleme	75
6.3.2.4	Epipolar Kısıtlamalar.....	75
6.3.2.5	Çok Görüntü Eşleme	76
6.3.3	IfSAR (INSAR)	77
6.3.4	LIDAR	79
6.3.5	Jeodezik Ölçümler	80
6.3.6	Topoğrafik Haritalar	80
6.4	SYM Yapıları	81
6.4.1	Raster Yöntemi	81
6.4.2	Üçgenleme Yöntemi	82
6.5	SYM Doğruluğu	83
6.5.1	Yükseklik Bilgisinin Doğruluğu.....	87
6.5.2	SYM Hata Kaynakları	90
6.5.3	Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalite Kontrolü ve Editlenmesi	94
7	UYGULAMA	96
7.1	Giriş	96
7.2	Çalışma Alanı	96
7.3	Kullanılan Yazılım ve Donanımlar.....	98
7.4	Uygulamada Kullanılan Veriler.....	100
7.4.1	Sayısal Renkli Hava Fotoğrafları	100
7.4.2	Analog Siyah-Beyaz Hava Fotoğrafları.....	101
7.5	İş Akışı.....	102
7.5.1	Sayısal Hava Fotoğraflarından Otomatik Görüntü Eşleme ile SYM Üretimi	116
7.5.2	Analog Hava Fotoğraflarından Otomatik Görüntü Eşleme ile SYM Üretimi.....	117
7.6	Seçilen Detaylarda Doğruluk.....	117

8	SONUÇ ve ÖNERİLER	122
	KAYNAKLAR.....	128
	ÖZGEÇMİŞ.....	132

SİMGE LİSTESİ

Σ	Toplam
v	Yükseklik farkı
ρ	Çapraz korelasyon katsayısı
μ_1	Kalıp matrisinin ortalama gri tonu
μ_2	Araştırma matrisinin ilgili bölümünün ortalama gri tonu
$f_x (), f_y ()$	Dönüşüm fonksiyonları
$g_2 (r,c)$	Araştırma matrisinin ilgili bölümünün tek tek gri tonları
$g_1(r,c)$	Kalıp (template) matrisinin tek tek gri tonları
M_h	Yükseklik hatası
M_p	Planimetrik hata
R,C	Kalıp matrisinin satır ve sütun sayısı
S	Standart sapma
Z	Herhangi bir (X,Y) konumuna sahip noktanın yüksekliği
x, y	Orijinal görüntünün piksel koordinatları
$\bar{X}$	Cebirsel ortalama

KISALTMA LİSTESİ

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CCD	Couple Charged Device
GPS	Global Positioning System
KOH	Karesel Ortalama Hata
OH	Ortalama Hata
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Fotogrametrinin gelişim evreleri.....	7
Şekil 3.1	Sayısal (Digital) Görüntü.....	9
Şekil 3.2	Analog-Sayısal Görüntü	9
Şekil 3.3	Kare sensör matrisli tarayıcının çalışma prensibi.....	13
Şekil 4.1	Analog Hava Kamerası.....	16
Şekil 4.2	CCD kamera ana elemanları.....	18
Şekil 4.3	Foton ve termal dedektörlerin spektral duyarlıkları	20
Şekil 4.4	Yarı iletkenler	21
Şekil 4.5	Sayısal Hava Kamerası.....	23
Şekil 4.6	Alıcı Birim.....	23
Şekil 4.7	Hesaplama Birimi	24
Şekil 4.8	Kamera İşletim Arayüzü.....	24
Şekil 4.9	Veri Depolama Birimi	24
Şekil 4.10	Veri Transfer Birimi	25
Şekil 4.11	RC30(21cm) kamera(solda) ve ADS40(30cm) kamera ile çekilmiş görüntüler ...	29
Şekil 4.12	Sayısal kamerada iş akışı.....	29
Şekil 4.13	Sayısal görüntülerden elde edilen ürünler	30
Şekil 5.1	Yönelme	32
Şekil 5.2	İç yönelmede fotoğraf koordinatları, fotoğraf markası ve asal nokta.....	33
Şekil 5.3	İç yönelmede parametreleri	33
Şekil 5.4	Bir hava fotoğrafının dış yönelmesi	36
Şekil 5.5	Omega, Phi, ve Kapa	36
Şekil 5.6	Havuz yöntemine göre nirengi ve uçuş planlaması	38
Şekil 5.7	Dizi yöntemine göre nirengi ve uçuş planlaması.....	39
Şekil 5.8	Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması.....	40
Şekil 5.9	Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması.....	41
Şekil 5.10	İnertiyel navigasyon sistemi.....	45
Şekil 5.11	GPS-INS entegrasyonu.....	47
Şekil 5.12	Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi iş akışı.....	49
Şekil 5.13	Doğrudan Coğrafi Konumlandırma – Kalibrasyon Alanı Blok İçinde.....	51
Şekil 5.14	Doğrudan Coğrafi Konumlandırma – Kalibrasyon Alanı Blok Dışında	52
Şekil 5.15	Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi.....	54
Şekil 5.16	Lever-arm'lar.....	55
Şekil 5.17	Hata(Misalignment) Açısı	56
Şekil 5.18	Arazi yüksekliği arttıkça boyuna örtü oranı azalır	62
Şekil 5.19	YKNlerin yerleşimi	64
Şekil 6.1	SYM Akış Diyagramı	68
Şekil 6.2	Çapraz korelasyon tekniği	74
Şekil 6.3	Epipolar kısıtlamalar.....	76
Şekil 6.4	Elektromanyetik sinyal özellikleri.....	78
Şekil 6.5	İnterferometrik SAR geometrisi	79
Şekil 6.6	Ortogonal raster SYM	82
Şekil 6.7	Araziyi örten bir üçgen ağı SYM (TIN).	83
Şekil 6.8	Normal dağılım eğrisi.....	86
Şekil 6.9	A çizgisi: fotogrametrik yöntemler gibi yüksek doğruluklu yöntemlerle üretilen eş yükseklik eğrisi.....	88
Şekil 6.10	Yumuşak eğimlerde yükseklik hatası M_h , dik eğimlerde oluşan hatalara oranla küçüktür	89

Şekil 6.11	SYM'deki hataların ortogörüntünün planimetrik doğruluğuna etkileri.....	91
Şekil 6.12	Arazi yüzeyi ile Sayısal Yükseklik Modellerinin karşılaştırılması	92
Şekil 6.13	10 m. aralıklı eş yükseklik eğrisi kullanılarak üretilmiş 1/5.000 ölçekli ortofoto haritada meydana gelebilecek hatalar	94
Şekil 7.1	Renkli hava fotoğrafları çalışma bölgesi	97
Şekil 7.2	Siyah-beyaz hava fotoğrafları çalışma bölgesi	98
Şekil 7.3	Sayısal Hava Kamerası	101
Şekil 7.4	Sayısal Hava Fotoğrafı	101
Şekil 7.5	Analog Hava Kamerası	102
Şekil 7.6	Siyah-beyaz Hava Fotoğrafı	102
Şekil 7.7	Sayısal hava kamerası ile alınan fotoğraflardan oluşturulan blok	103
Şekil 7.8	Uygulama iş akışı birinci aşama	104
Şekil 7.9	Uygulama iş akışı ikinci aşama	110
Şekil 7.10	SYM üzerinden nokta yüksekliği okuma	111
Şekil 7.11	SYM üzerinden nirengi noktalarının yüksekliklerinin okunması.....	113
Şekil 7.12	Kamera Kalibrasyon Raporu	116
Şekil 7.13	Softplotter yazılımının ana menüsü	118
Şekil 7.14	Yeni block oluşturulması.....	118
Şekil 7.15	Kamera seçimi ve “Camera Editor” penceresi	119
Şekil 7.16	Dış yöneltme parametrelerinin import edilmesi (ori dosyası)	119
Şekil 7.17	Stereo modelin oluşturulması.	119
Şekil 7.18	Analog siyah-beyaz fotoğraflardan oluşturulan stereo modellerden yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi.....	120
Şekil 7.19	Sayısal renkli fotoğraflardan oluşturulan stereo modellerden yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi.....	120
Şekil 7.20	Sayısal ve Analog hava kameraları hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerden üretilen SYM'lerde yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi	121

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1	Mercek yapısı ve elektromanyetik spektrum	18
Çizelge 4.2	Foton dedektörleri	19
Çizelge 4.3	Film tabanlı ve sayısal kameraların karşılaştırılması	27
Çizelge 4.4	Gider türleri	30
Çizelge 5.1	Nokta Sıklaştırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	42
Çizelge 5.2	Kalman Filtreleme yöntemi ile yapay sinir ağları yönteminin karşılaştırılması	48
Çizelge 6.1	Eşleme metodları ve eşleme varlıkları arasındaki ilişki	76
Çizelge 6.2	Hata olasılıkları	87
Çizelge 6.3	Orta ve büyük ölçekli haritalara ilişkin A ve B değerleri	89
Çizelge 6.4	10° ve 30° eğimleri için M_h ve M_p değerleri	89
Çizelge 7.1	1 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)	105
Çizelge 7.2	2 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)	106
Çizelge 7.3	3 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)	107
Çizelge 7.4	YKN kullanılmadan doğrudan coğrafi konumlandırma yöntemi ile elde edilen değerlerden üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)	107
Çizelge 7.5	1 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)	108
Çizelge 7.6	1 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (analog siyah-beyaz hava fotoğrafından)	109
Çizelge 7.7	2 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (analog siyah-beyaz hava fotoğrafından)	109
Çizelge 7.8	3 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (analog siyah-beyaz hava fotoğrafından)	109
Çizelge 7.9	4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (analog siyah-beyaz hava fotoğrafından)	109
Çizelge 7.10	4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 5m.)	111
Çizelge 7.11	4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 10m.)	112
Çizelge 7.12	4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 5m.)	113
Çizelge 7.13	4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 10m.)	114
Çizelge 8.1	Siyah Beyaz fotoğraflar ile Renkli Fotoğrafların Eğim, Arazi Yapısı ve Yükseklik Farkı açısından karşılaştırılması	126

ÖNSÖZ

“Sayısal Hava Kamerası ve Analog Hava Kamerası Kullanılarak Üretilen Fotogrametrik Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması” konulu bu yüksek lisans çalışmasının her aşamasında bana yardım ve desteğini esirgemeyen Doç.Dr.Bülent BAYRAM’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmada verilerinden faydalandığım Harita Genel Komutanlığına, çalışmam boyunca beni destekleyen Amirim Müh.Alb.Yaşar Tayfun ÜNLÜ’ye, Müh.Ütğm.A.Coşkun KIRACI’ya, Müh.Ütğm.Mustafa CANIBERK’e ve Müh.Ütğm.Levent ARSLANBEK’e, ayrıca emeğini esirgemeyen Svl.Me.Kemal AYGAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca bana her türlü desteği veren anneme, babama ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

ÖZET

SAYISAL HAVA KAMERASI VE ANALOG HAVA KAMERASI KULLANILARAK ÜRETİLEN FOTOGRAMETRİK SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

MUSTAFA KAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Ocak 2010

Danışman : Doç.Dr.Bülent BAYRAM

Sayısal yükseklik modeli üretimi için kullanılan yöntemlerden biri basılı topoğrafik haritalardan eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılması ve diğeri stereo modellerden doğrudan sayısal yükseklik modeli üretimidir. Eş yükselti eğrisi üretimi zaman alıcıdır, bununla birlikte topoğrafik haritalar için vazgeçilmez bir detaydır. Otomatik görüntü eşleme ile üretilen sayısal yükseklik modellerinden de eş yükselti eğrileri üretilebilir. Bu çalışmanın amacı ise hem sayısal hava kamerasından, hem de Analog hava kamerasından elde edilen hava fotoğraflarından otomatik olarak üretilen sayısal yükseklik modellerinin karşılaştırılmasıdır. Bunun için öncelikle hava fotoğraflarından blok oluşturularak fotogrametrik dengeleme işlemleri yapılmıştır. Bu aşamada, farklı sayıda yer kontrol noktası seçilerek dengeleme sonuçları irdelenmiş ve bunlardan en uygun sayıda olan yer kontrol noktası belirlenerek dengeleme işlemi yapılmıştır. Bu işlemler için 1:60.000 ölçekli sayısal renkli hava fotoğrafları ile 1:35.000 ölçekli analog siyah-beyaz hava fotoğrafları kullanılmıştır. Bunun ardından dengelenmiş değerler kullanılarak resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuş ve bu modeller kullanılarak otomatik görüntü eşleme yöntemi ile farklı aralıklarda sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan sayısal yükseklik modelleri kullanılarak jeodezik koordinatları bilinen noktalarda modeller üzerinden yükseklik okuması yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve ihtiyaç duyulduğunda sayısal renkli hava fotoğraflarından elde edilen sayısal yükseklik modellerinin homojen yapıya sahip alanlardaki edit işlemleri sonrasında kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Yükseklik Modeli, Otomatik Görüntü Eşleme, Hava Fotoğrafları, Fotogrametrik Dengeleme.

ABSTRACT

COMPARISON OF PHOTOGRAMETRIC DIGITAL ELEVATION MODELS GENERATED BY USING DIGITAL AERIAL CAMERA AND ANALOG AERIAL CAMERA

MUSTAFA KAYA

Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology

January, 2010

Advisor: Doc.Dr.Bulent BAYRAM

One of the method that use to generate digital elevation models is digitizing contour lines from a published map and another one is generating digital elevation model directly from stereo models. Producing contour lines takes time, but also it is crucial for topographic maps. Also contour lines can be generated from digital elevation models which produce automatically by image matching method. The purpose of this study is, comparison of digital elevation models generated from aerial photographs which taken by both digital aerial camera and analog aerial camera. For this purpose firstly photogrametric block prepared and then photogrametric triangulation process take place. At this stage, different numbers of ground control points chosen after that triangulation process results examined and the optimum ground control point number determined to proceed. For these processes 1:60.000 scaled digital colored aerial photographs and 1:35.000 scaled analog black-white aerial photographs used. Afterwards, stereo models produced from aerial photograph pairs by using triangulated values and digital elevation models generated by using automatic image matching method at different sampling distances with these stereo models. By using generated digital elevation models altitude readings made on points which their geodesic coordinates well known. After all results compared if needed digital elevation models generated from digital colored aerial photographs can be used after editing at areas which have homogeneous structure.

Keywords: Digital Elevation Models, Automatic Image Matching, Aerial Photographs, Photogrametric Triangulation

1. GİRİŞ

1980’li yılların sonlarında bilgisayar teknolojisinde meydana gelen hızlı gelişmeler etkisini fotogrametri alanında da göstermiş ve ‘Sayısal Fotogrametri’ kavramının doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Sayısal fotogrametri, çok büyük boyutlardaki sayısal görüntüleri kullanma, bu görüntülerden otomatikleşmiş yöntemlerle çeşitli verilerin üretimi ve vektör verileri işleme olanakları sağlamış ve beraberinde ‘Sayısal Harita’ kavramını getirmiştir. Bunun bir sonucu olarak fotogrametrik harita üretiminin sayısal olarak gerçekleştirilmesini sağlayan sayısal fotogrametrik sistemler, görüntü işleme sistemleri, hassas fototarayıcılar ve sayısal hava kameraları geliştirilmiştir. Bu süreç içinde, basılı topoğrafik haritaların üzerindeki eş yükselti eğrilerinin yerini, vektör eş yükselti eğrileri ve arazi kırıklık hatları ile daha kaliteli ve yüksek çözünürlüklerde “Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM)” almıştır.

Sayısal fotogrametrik sistemler stereo modeller üzerinden sayısal topoğrafik harita üretiminin yanısıra, otomatik olarak SYM verileri toplama ve sayısal ortofoto harita üretimine de olanak sağlamaktadır. Önceleri bazı zorluklarla gerçekleştirilen sayısal yükseklik modeli üretimi, sayısal fotogrametrik sistemler ve görüntü işleme sistemleri yardımıyla daha kolay bir hale gelmiştir.

Sayısal yükseklik modelleri yer, çevre ve mühendislik bilimlerindeki birçok uygulamada kullanılmaktadır. SYM’nin ilk kullanımları 1950’li yıllara dayanır. SYM’lerin kullanıldığı genel olarak beş ana uygulama alanı vardır: İnşaat Mühendisliği, Yer Bilimleri, Planlama ve Kaynak Yönetimi, Jeodezi ve Fotogrametri, Askeri uygulamalar.

İnşaat Mühendisleri; baraj, bina, yol vb. inşaatlarda dizayn, planlama, hacim hesabı, kazı-dolgu gibi hesaplamalarda SYM’leri kullanırlar.

Yer Bilimleri uygulamalarında, genel olarak belli bir arazi yapısının modellenmesi, analizi ve yorumlanmasına odaklanılır. Drenaj ağı, hidrolojik akış modeli, jeomorfolojik simülasyon ve sınıflandırma, jeolojik harita üretimi buna örnek gösterilebilir. Eğim-bakı haritaları, gölgeli haritalar SYM’lerin kullanıldığı popüler uygulamalardır.

Planlama ve Kaynak Yönetimi; doğal kaynakların yönetimine odaklanan uzaktan algılama, ziraat ve toprak bilimi, meteoroloji, çevresel ve kentsel planlama, ormancılık gibi bir çok disiplinin genel bir amacıdır. Tüm bu alanlarda yoğun olarak sayısal arazi modelleri kullanılmaktadır.

Jeodezi ve fotogrametrinin ana amaçlarından birisi de güvenilir SYM üretimidir. Üretilen SYM'ler ayrıca jeodezik ve fotogrametrik veri toplama ve düzenlemede, ortofoto üretiminde, topoğrafik harita üretiminde de kullanılırlar.

Askeri kesim sadece SYM'lerin yoğun bir kullanıcısı değil, aynı zamanda üreticisidir. Askeri harekâtın hemen her yönü, arazinin, yüksekliklerin ve eğim yapısının güvenilir ve doğru anlaşılmasıyla ilişkilidir. Bu aşamada SYM'ler önemli rol oynamaktadır.

SYM verilerinden eş yükseklik eğrisi haritaları, ortofotolar, stereo perspektifler, eğim haritaları ve toprak işleri uygulamaları yapılmaktadır. SYM verileri mühendislikte rota belirlenmesinde, otoyol ve demiryolu inşaatının planlanmasında kullanılabilir. Mühendislik projelerinin planlanması ve inşası sırasında alan, hacim ve eğim hesaplarında SYM verileri kullanılabilir. SYM verileri ayrıca iki nokta arasındaki görünürlük analizinde ve profil çiziminde de kullanılabilir. SYM verileri yakın resim fotogrametrisinde karmaşık yüzeye sahip cisimlerde biçim ve boyut belirlenmesinde de kullanılmaktadır.

Bu kadar geniş bir uygulama alanı olan SYM'lerin sunum formatları ve bazı formatlar için doğruluklarda standartlık sağlanmış olmasına rağmen, bu standartları sağlamak ya da daha da iyileştirmek için kullanılabilecek veri türleri, bu verilerin kalitesi, üretim yöntemlerine ilişkin standartlar açıkça belirlenmemiştir. Bu şekilde standartların ve açık üretim kriterlerinin bulunmaması, SYM üretimlerinde zaman kaybına ve maliyetlerin artmasına, doğrulukları belli olmayan birçok farklı SYM'lerin oluşmasına neden olmaktadır. Yine bu standart olmayan üretimler nedeniyle, üretimi yoğun kaynak ve emek gerektiren SYM'lerde veri kaybı oluşmaktadır. Bu konudaki eksiklikleri giderebilmek için farklı veri türleri veya farklı yöntemlerle SYM üretimi ve bunların doğruluklarının belirlenmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Yapılan bir çalışmada, otomatik fotogrametrik işlemlerle SPOT uydu görüntülerinin nokta konumlama, SYM üretimi ve ortorektifikasyon konularında doğrulukları Heipke ve diğ. (1992) tarafından test edilmiştir. 0.4 ve 0.6 baz-yükseklik oranlarına sahip stereo görüntülerle üretilen SYM'lerin doğruluğunun 10 metreden daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Giles ve Franklin (1996), SPOT uydu görüntülerinden üretilen yükseklik bilgisi ve türetilmiş topoğrafik yüzeylerin doğruluğunu araştırmıştır. Değerlendirme için arazi ölçüleri kullanılmıştır. 0.63 baz-yükseklik oranına sahip stereo görüntülerle 20 metre civarında bir doğruluğa ulaşılmıştır.

Li (1994) tarafından, farklı veri modellerinden üretilen SYM'lerin doğrulukları araştırılmıştır. SYM'lerden birincisi fotogrametrik yöntemle üretilen eş yükselti eğrilerinden elde edilmiştir. Diğer SYM ise hava fotoğraflarından grid ağı şeklinde örneklenerek elde edilmiştir. Sonuç olarak daha yüksek bir doğruluk için sayısal eş yükseklik eğrilerinin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Bolstad ve Stowe (1994) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada 1:40.000 ölçekli hava fotoğrafları ve stereo SPOT uydu görüntüleri kullanılarak otomatik yöntemlerle üretilen SYM'ler ve bunların türevsel yüzeyleri (eğim, baki) test edilmiştir. Üretilen SYM'ler karşılaştırılmış ve 82 metreye kadar farklılıklar gözlenmiştir. Yaklaşık olarak farklılıkların %63'ü 10 metre ve daha altında, %90'ı 22 metre ve daha altındadır.

Ikonos uydu görüntülerinden yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktaları kullanılmadan üretilen SYM'ler ve detaylar Grodecki (2001) tarafından test edilmiş, yer kontrol noktaları kullanılmadan 22 metre, yer kontrol noktaları ile 3 metre civarında doğruluklarda SYM'ler üretilebileceği belirtilmiştir.

Kaczynski (2004) tarafından yapılan çalışmada Ikonos görüntülerinden 10 adet yer kontrol noktası kullanılarak 25 metre çözünürlükte SYM üretilmiş ve 1:26.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM ile karşılaştırılmıştır. Ikonos uydu görüntülerinden üretilen SYM'nin doğruluğunun düzeltme işlemleri sonrası 1 metre civarında olduğu bulunmuştur.

SYM üretimindeki yeni yöntemler ve teknolojiler sonucu "SYM ne kadar doğru?" sorusu Kraus ve diğ. (2004) tarafından cevaplanmaya çalışılmıştır. Çeşitli modeller lazer tarayıcı ve fotogrametrik veride test edilmiş, SYM'lerde nokta sıklığının, arazi eğim ve değişkenliğinin etkisi araştırılmış, rölatif SYM doğruluğu için çeşitli gelişmiş kalite ölçüleri getirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan tüm çalışmalarda, farklı veri türleri kullanılarak farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiş, bu SYM'lerin doğrulukları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar da kaynak verinin türü, çözünürlük, nirengi dağılımı, üretim yöntemi ve karşılaştırılan referans veriye göre farklılık göstermektedir. Diğer taraftan yapılan çalışmalarda, elde edilen SYM'nin doğruluğu belirlenmekle beraber, bu SYM'nin üretim süresi ve maliyeti genelde göz ardı edilmiştir. Bu durum ihtiyaçlar ve kaynakları değerlendirmede optimizasyonun gerçekleştirilmesinde bir engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde fotogrametrinin tanımı ve tarihçesi hakkında kısa bir bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde Sayısal Fotogrametri Temelleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise mevcut sayısal hava kameraları ile analog hava kameraları karşılaştırılması yapılmıştır.

Beşince bölümde ise nokta sıklaştırma yöntemi, havai nirengi işlemleri hakkında bilgi verilmiş, uçuş planı yapılması ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Altıncı bölümde ise SYM'nin temel kavramları, veri kaynakları ve üretim yöntemleri, SYM doğruluğuna etki eden faktörler anlatılmıştır.

Uygulamada SYM üretimi için farklı veri türleri kullanılmıştır. Bunlar 1:8000, 1:20000 ve 1:50000 ölçekli sayısal hava fotoğrafları ve 1:35000 ölçekli siyah-beyaz hava fotoğrafları kullanılmıştır. Bu görüntüler önce farklı sayıda yer kontrol noktaları kullanılarak fotogrametrik nirengi işlemine tabi tutulmuştur. Müteakiben dengeleme sonuçları modellerden nokta okunması yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu işlemlerin sonrasında verilerden otomatik görüntü eşleme tekniği ile SYM'ler üretilmiş, elde edilen SYM'lerin doğruluğu test edilmiştir. Bunun için farklı arazi yapılarını temsil eden modeller kullanılarak arazi eğim farklılıklarının etkisi de araştırılmıştır.

Sekizinci ve son bölümde ise yapılan uygulamanın sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.

Bu çalışmada sadece hava kameraları olan analog hava kamerası ile sayısal (digital) hava kamerası kullanılmıştır. Sayısal hava kamerasında, yakın kızıl ötesi bandı ile pankromatik (siyah-beyaz) band bu çalışmada kullanılmamıştır. Bunun sebebi ileriki çalışmalarda kullanılması düşünülen bantın renkli bantlar olmasıdır. Bunun yanında burdaki çalışmanın amaçlarına uygun olarak karşılaştırmaya uydu fotoğrafları katılmamıştır.

Bununla beraber şu ana kadar yapılmış ve çalışmaları devam eden otomatik eleme yöntemleri burada çalışmaya katılmamıştır.

2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ

Fotogrametri, fotoğraflardan ölçme, yorumlama ve değerlendirme yaparak fiziksel nesnelerin büyüklükleri ve konumları ile çevre hakkında güvenilir bilgi elde etme sanat, bilim ve teknolojisidir (Wolf, 1974). Fotogrametrik ölçümlerin sonuçları şunlar olabilir:

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

Fotogrametri;

- Resim çekme noktasının konumuna göre;

Hava fotogrametrisi

Yersel fotogrametri

- Uygulama alanlarına göre ise;

Topografik fotogrametri

Topografik olmayan fotogrametri

Yersel fotogrametri

Yakın resim fotogrametrisi

Diğer alanlarda kullanılan fotogrametri olarak sınıflandırılabilir.

Kelime olarak fotogrametri, Grekçe ‘ışık’ anlamındaki photos ile ‘çizili ya da yazılı bir şey’ anlamındaki gramma ve ‘ölçmek’ anlamına gelen meton kelimelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. İsimden yola çıkarak Fotogrametrinin fotoğrafın bulunuşu ile ortaya çıktığı düşünülse bile, fotogrametrinin temelini oluşturan merkezi izdüşüm ve perspektif ile ilgili kavramlar İtalyan Leonardo da Vinci (1452–1519) ve Alman Dürer (1471–1582) tarafından birbirinden bağımsız olarak ilk defa ele alınmıştır.

1600'lerde Alman astronom Johannes Kepler (1571–1630) üç boyutlu görüşün tam tanımını yapmıştır. Perspektifin bulunması ve resim sanatında kullanılması ile geometri; uzayın düzleme tanımlanmasına ilişkin kuralları ve matematik modelleri geliştirmiştir. İsviçreli M.A. Kappeler ilk olarak düzlem perspektiften ve üç boyutlu cisimlerin yeniden oluşturulmasını topografik amaçlar için kullanmıştır.

1851 yılında Fransız Binbaşı A.Laussedat ilk yersel ölçme kameralarını yapmış ve bu kameraları 'Metrographie' adını verdiği plançete ile arazi alımına benzeyen bir topografik alım yönteminde kullanmıştır. Bu yöntem 'Plançete Fotogrametrisi' denilmektedir. Fotogrametrinin geometrik ve analitik esasları genişletilmiştir. Aynı tarihte Almanya'da mimar A.Meydenbauer, Laussedat'tan bağımsız olarak bina ölçmelerindeki problemlere eğilmiştir (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Th.Scheimpflug, Viyana'da topografik amaçlı hava fotoğrafı çekimi ve bunlar yardımıyla ölçme yapma işlemini sistematik bir düzene oturtmuştur. Hava fotoğraflarının doğrudan doğruya benzerliği nedeniyle 1897 yılında Th.Scheimpflug yaklaşık yatay arazinin tek fotoğraflarının ölçeğe uygun plana geçirilmesi çalışmalarını başlatmıştır.

1915 yılında Messter Almanya'da ilk resim çekme makinesini imal etmiştir. Bu yüzyılın başında üç boyutlu görüşe dayanarak ölçme yapma tekniği ile özellikle S.Finsterwalder tarafından bilgisayar destekli değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan analitik ve matematik esaslar belirlenmiştir (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

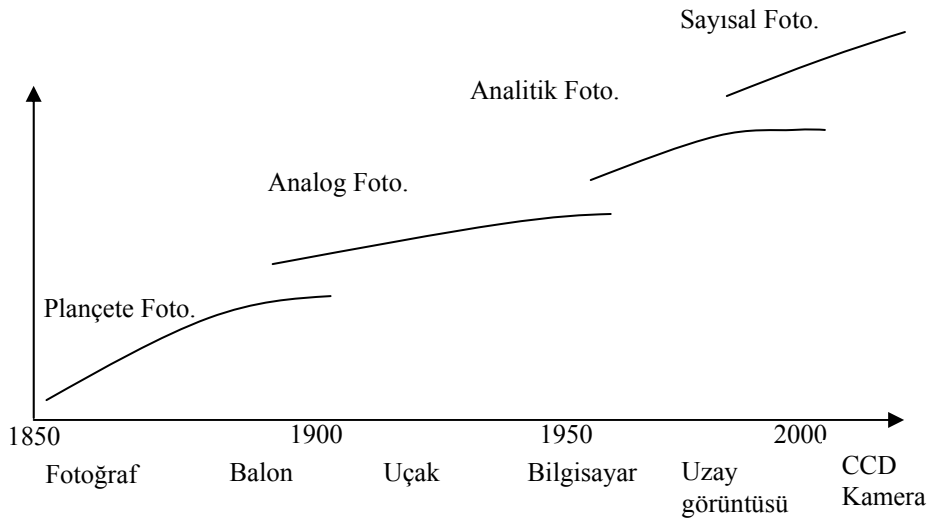
İlk defa stereo-fotogrametride, yalnız ölçme resmi ile gerçekleştirilebilen bir ölçme ve değerlendirme şekli ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde insan gözünün aynı cisme ait iki düzlem perspektifi uzayda stereoskopik olarak görmesinden faydalanılmıştır. Bu özellik, Almanya'da C.Pulfrich tarafından çizilen, Jena tarafından üretilen stereo-komparatörün ve E.von Orel'in Autograph'ı ölçme tekniğinde kullanılması ile fotogrametriye yeni bir boyut kazandırmıştır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

1950 yıllarının başında, başlangıçta sayısal güçlükler nedeniyle ele alınamayan analitik yöntemler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda ele alınmış ve H.Schmid fotogrametrideki temel problemleri kolinearite koşuluna dayandırarak çözmüştür. Analitik yöntemlerin yeniden ele alınması sonucunda çeşitli stereo ve monokomparatörler üretilmiş ve bu verileri işleyen çeşitli demet dengelemesi programları geliştirilmiştir (Finsterwalder, 1983).

1980’li yıllarda ise bilgisayarlarda grafik işlemlerinin yapılmasına olanak sağlayan yazılım ve donanımlarının geliştirilmesi fotogrametri alanında da etkisini göstermiş ve sayısal fotogrametrinin doğuşuna neden olmuştur.

Sayısal fotogrametride, fotoğrafik görüntüler bilgisayar ortamına sayısal olarak yüklenmektedir. Bu görüntüler ya fotoğrafların hassas tarayıcılarda sayısallaştırılarak ya da sayısal kameralar, CCD algılayıcılar ve videolardan elde edilen doğrudan sayısal veriler yardımıyla oluşturulabilmektedir (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Fotogrametri, temellerinin atıldığı günden bugüne tarihsel olarak incelendiğinde, teknolojiye meydana gelen gelişmelere paralel bir şekilde gelişim evreleri göstermiştir. Bu gelişim evrelerini dört grupta toplayabiliriz (Şekil 2.1) (Torlegard, 1988).



Şekil 2.1 Fotogrametrinin gelişim evreleri (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Bu gelişmeler aşamasında ilginç olan, gelişme süreleridir. Genel olarak ele alındığında fotoğrafın bulunmasından yaklaşık bir yüzyıl sonra analog fotogrametriye, analog fotogrametriden yaklaşık yarım yüzyıl sonra analitik fotogrametriye geçilirken analitikten sayısal fotogrametriye yaklaşık 20 yıl içinde geçilmiştir (Gruen, 1988).

3. SAYISAL FOTOGRAMETRİ TEMELLERİ VE KAVRAMLARI

3.1 Sayısal Fotogrametri Temelleri

En genel ifade ile cisimlere ait ikili (streoskopik) görüntü ortamından üç boyutlu geometrik bilgi edinme yolu olan fotogrametri, teknolojinin gelişimiyle analog ve analitik yöntemlerden sayısal fotogrametrik uygulamaların yoğunluk kazandığı bir bilim dalı halini almıştır. Girdi olarak sayısal resimleri kullanan, sorgulamalı veya yarı otomatik yöntemlerle tüm fotogrametrik görevleri yerine getirebilen yazılım ve donanımlar yardımıyla veri toplanması ve işlenmesinde tam ve yaygın bir kullanım alanı oluşturmaktadır.

Sayısal görüntüler, bilgisayar ortamında bulunan ve gri değerlerine göre tanımlanmış elemanlardan (piksel) meydana gelmiş resimlerdir. Sayısal resmin elemanları g_{ij} olan iki boyutlu G matrisinden oluşur. i satır indeksi 1' den birer birer artarak I' ya kadar gider ($i=1(1)I$). Sütun için de aynı biçimde ($j=1(1)J$) indisi kullanılır. Her matris elemanı bir alanı gösterdiği için bir resim noktası yerine bir resim elemanı söz konusudur. Resim elemanının büyüklüğü ($\Delta\varepsilon+\Delta\eta$) kadardır. g_{ij} resim elemanları bilgi taşıyıcılarıdır (Şekil 3.1).

Siyah-beyaz resimler için değer elemanları 0–255 arasındadır. 256 farklı durum için bilgi 8-bit ile gösterilir. Renkli resim için ise aynı büyüklükte üç resim matrisi vardır. Aşağıda açıklanmış olan terimler ölçülen niceliği tanımlamak için kullanılır.

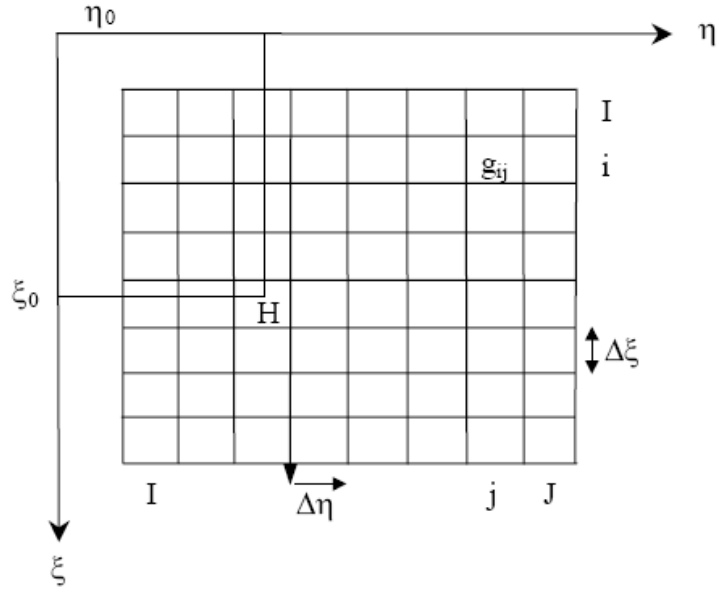
Genişlik: Resim parlaklığı ya da resim üzerindeki x, y koordinatına sahip piksellerin fonksiyonudur.

Gri Değerler: Kayıt edilen siyah ile beyaz arasındaki 256 gri renk tonu olarak ifade edilir (DN: Digital Number).

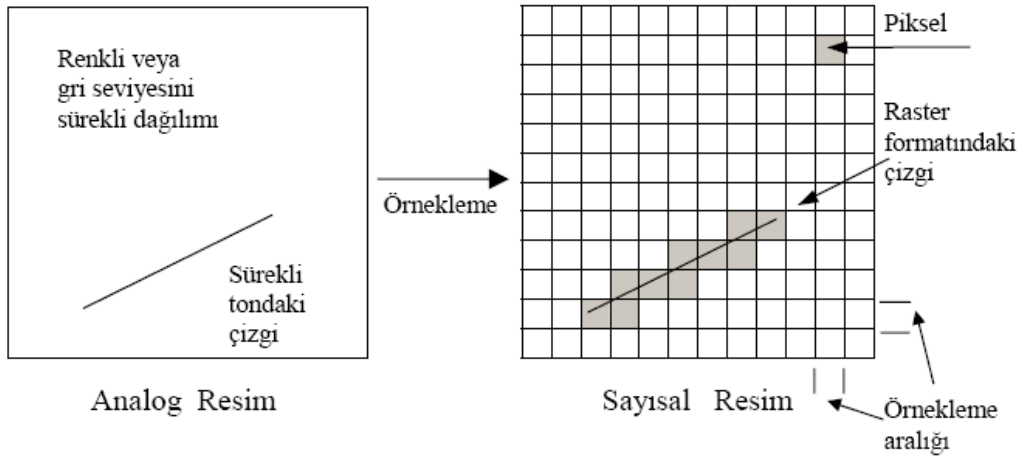
Yoğunluk: Analog filmlerde geliştirme sırasındaki karanlık derecesidir. Sayısal olarak gri değerler ile ifade edilir.

Örnekleme: Herhangi bir piksel konumundaki bir görüntünün gri değerlerinin ölçülmesi olarak tanımlanabilir.

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi düz çizgi, analog resimde sürekli, sayısal resimde ise kesik pikseller şeklindedir. Eğer sayısal resimdeki piksel boyutu (örnekleme aralığı) küçültülürse çizgi daha sürekli bir görünüm alacak fakat daha fazla pikselle gösterilecektir. Şekilden görüldüğü gibi, örneklemede en önemli faktör piksel boyutu veya örnekleme aralığıdır.



Şekil 3.1 Sayısal (Digital) Görüntü



Şekil 3.2 Analog-Sayısal Görüntü

Teknolojik ilerlemelerle birlikte sayısal resim öncelikle yakın mesafe fotogrametrisi adı ile anılan yersel fotogrametri uygulamalarında ve uydu fotogrametrisinde kullanılmıştır. Yersel çalışmalarda esneklik (doğruluk aralığı), sayısal resmin çözünürlüğüne bağlıdır. Sayısal resmi kullanmanın başlıca yararları;

1- Optik-mekanik gereksinme olmaksızın sayısal resimlerin bilgisayar ekranından ölçülebilir ve görülebilir olması,

2- Ölçme sistemlerinin kalibrasyon gerektirmeyen değişmez sistemler olması,

3- Bu sistemlerde düzeltmelerin sayısal olarak yapılabilmesi ve görüntü kalitesinin arttırılabilir olması,

4- Bu sistemlerin kullanıcılara otomasyon olanağı sağlaması,

5- Uygulamaların gerçek-zamanlı olarak veya çok yakın zamanda yapılabilir olması,

6- Bilgilerin kolay depolanması ve eski bilgilere kolay ulaşılabilmesi,

7- Film ve cam gibi fotoğraf altlıklarına gerek kalmaması, banyo ve baskı işlemlerinin çok azaltılması olarak sıralanabilir (Sandau, 2000).

3.2 Sayısal Fotogrametri Kavramları

Herhangi bir görüntü, düzenli satır ve sütunlar biçiminde düzenlenmiş görüntü elemanları olarak düşünülürse, bunların her birine PİKSEL adı verilmektedir. Bu bazen fotoğraf elemanı olarak da isimlendirilmektedir.

Her pikselin, bulunduğu konumunu gösteren satır ve sütun numarası vardır, dolayısıyla bir koordinat sisteminde yeri bellidir. Ayrıca her pikselin parlaklık derecesini gösteren bir gri değeri bulunur. Bir pikselin boyutu, görüntü elde etmede kullanılan kamera veya tarayıcının ayırma gücüne bağlı olarak değişmektedir (Örneğin 6–200 mikron arasında olabilir). Her pikselin yansıma değerini gösteren değeri radyometrik çözünürlüğe bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin 8 bitlik bir bayt (byte) kullanıldığında bir pikselin alabileceği gri değeri $2^8=256$ ayrı değer alabilir. Bu değerler 0–255 arasındadır.

Görüntü bir pikseller bütünüdür. Örnek olarak 23 cm x 23 cm boyutundaki hava fotoğrafının 50 mikron boyutundaki piksellerle sayısallaştırılmasında yaklaşık 25 milyon ((23 x 10 x 1000/50) x (23 x 10 x 1000/50)) piksel bulunmaktadır. Bilindiği gibi her bir pikselin konumu (satır – sütun numarası) ve parlaklığı (gri değeri) tam sayılar ile ifade edilir. Bütün pikseller için bu sayılar ortaya konduğunda, görüntü tam sayılardan oluşan bir matris ile gösterilmiş olur. Bu matris, bilgisayarda veri işleminin temel elemanlarını oluşturur (Castleman, 1995).

Eğer görüntü fotogrametrik amaçlar için kullanılacak ise piksel ile ξ, η koordinat sistemi arasında bir bağlantı olmalıdır. Şekil 3-1' de görüldüğü gibi g_{ij} , pikselin merkezine yani orta noktasına karşılık gelmektedir (kimi sistemlerde ise pikselin sol üst köşesine karşılık gelir). i indeksine ξ görüntü koordinat bileşeni, j indeksine de η görüntü koordinat bileşeni karşılık gelmektedir. g_{ij} olarak gösterilen pikseller bilgi depolayıcısıdır. Tabi ki piksellerin kapasitesi

kullanılan kayıt cihazlarının çeşidine ve bilgisayara bağlıdır. Günümüzde en çok kullanılan değer kapasitesi 0 dan 255 e kadardır. Bu kapasite, insan gözünün sahip olduğu farklılaşma kapasitesinin çok üzerindedir. Bilginin içerdiği 256 farklı değer, 8 bit yani 1 byte içinde depolanabilir. Siyah-beyaz fotoğraflarda olduğu gibi renkli fotoğraflarda da pikseller 256 farklı değer alır. Ama burada üç tane aynı boyuta sahip görüntü matrisine gereksinim duyulur. Bu sayede üç tabakalı görüntü bloğu elde edilir (Kraus ve Waldhausl, 1993).

Böylelikle, klasik ölçümlerle elde edilmiş olan görüntü koordinatları yerine, sayısal fotogrametride piksellerle tanımlanmış görüntü koordinatları elde edilmiş olur.

3.2.1 Görüntü Oluşturma Yöntemleri

Sayısal fotogrametri için gerekli olan görüntüler, analog fotoğrafların sayısallaştırılması yoluyla dolaylı olarak elde edebildiği gibi sayısal kameralar ya da uzaktan algılama algılayıcıları tarafından elde edilen doğrudan görüntüler olarak da elde edilir.

3.2.1.1 Fotoğrafların Taranması

Ulusal harita organizasyonları genelde görüntülerin yüksek performanslı optik kameralarla çekilen hava fotoğraflarının, yüksek performanslı tarayıcılar tarafından taranması yoluyla elde edilmesini tercih etmektedirler. Böylece hem analog-analitik üretim hem de sayısal üretime olanak sağlanmış olmaktadır ki ekonomik şartlar göz önünde tutulduğunda bunun çok gerçekçi bir yaklaşım olduğu gözlenmektedir.

Fotoğrafların hem analitik hem de sayısal sistemlerde kullanımı, foto tarayıcılarda performans ihtiyaçlarına dikkat çekmektedir. Analitik alet ve yöntemlerinin geometrik doğruluğu, tarayıcılarında aynı oranda yüksek ayarlılık ve küçük piksellerde tarama olanaklarına sahip olmasını gerektirmektedir (Torlegard, 1998).

Fotoğraftaki en ufak bir detayın kaybolmamasına özen göstermeli, sayısal tarama sıklığı fotoğrafın çözünürlüğü ile ilişkilendirilmesi sağlanmalıdır. Çözünürlük (R) milimetredeki çizgi sayısını göstermektedir [lp/mm ya da l/mm]. Sayısal tarama sıklığı

$$\Delta D [\text{mm}] < 1/(2 \cdot R) \quad (3.1)$$

Pratikte ise

$$\Delta D [\text{mm}] = 0.7 / (2 \cdot R) \quad (3.2)$$

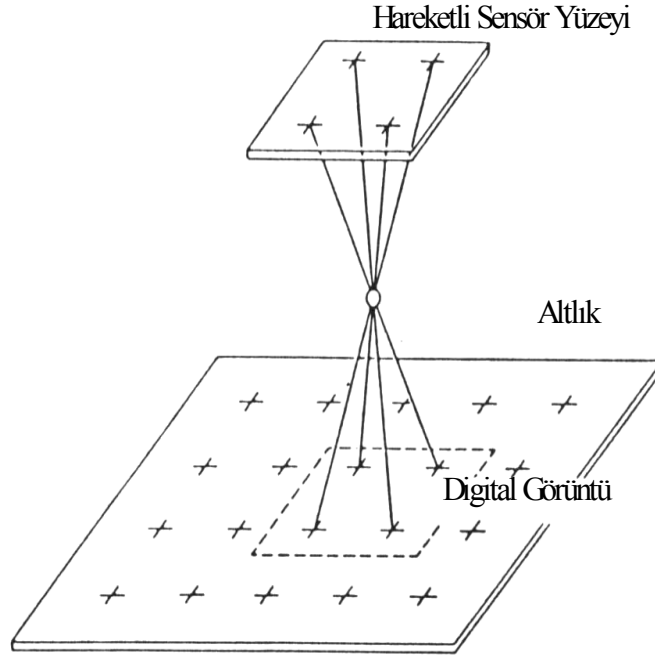
ile ifade edilmektedir.

Sayısal tarama sıklığı algılayıcı elemanının büyüklüğü ile karıştırılmamalıdır. En uygun işlem, sayısal tarama sıklığı ile algılayıcı elemanının büyüklüğünün aynı olduğu zaman yapılır. Sayısal tarama sıklığının küçük, algılayıcı elemanının büyüklüğü fazla olduğu durumlarda pikseller üst üste binmekte ve bilgi kaybı oluşmaktadır. Konunun hassasiyeti de kaybolmaktadır.

Günümüzde 7 μm den daha küçük boyuttaki pikseller elde edilememektedir. Piksel boyutu küçüldükçe sinyal-gürültü oranı da (algılayıcı elemanı için bir ölçüdür) 1 seviyelerine düşmektedir ki bu oran değerinin 1 olması sinyal ile gürültünün aynı değerde olması demektir.

Yüksek çözünürlük ve hassas konumlama ancak hassas foto tarayıcılar tarafından yapılabilmektedir. Bu tarayıcılar için üç farklı tasarım ilkesi mevcuttur:

- Tek algılayıcı; bütün fotoğraf boyunca tek çizgi halinde tarar (CROSFIELD, HELL, OPTRONIC, SCITEX)
- Algılayıcı satırı; fotoğraf üzerinde şeritler halinde tarama yapar. Algılayıcılar satırı 2048 adet bağımsız algılayıcı içermektedir ve piksel büyüklüğü 7.5 μm olup konumlama doğruluğu 1 μm dir [PhotoScan PS1(Zeiss/Intergraph)].
- Kare algılayıcı matrisi; fotoğrafları bölüm bölüm taramaktadır. Daha sonra bu taranan bölümler nümerik olarak birleştirilip görüntü oluşturulmaktadır. Bu tarayıcının çalışma prensibi Şekil 3-3'de gösterilmiştir (Kraus ve Waldhausl, 1993).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..3 Kare algılayıcı matrisli tarayıcının çalışma prensibi

Fotoğrafları yüksek çözünürlükte taramak çözüm değildir. Tarama sonucunda elde edilen görüntünün piksel boyutları ne kadar küçük olursa verinin boyutu o kadar artacaktır. Örneğin 23 cm x 23 cm lik bir siyah-beyaz fotoğrafın 7.5 μm x 7.5 μm piksel büyüklüğünde tarandığında yaklaşık 940 MB'lık bir veri oluşur. Aynı fotoğraf 28 μm x 28 μm piksel büyüklüğünde tarandığında yaklaşık 75 MB'lık veri oluşur. Bu sonuçlar siyah-beyaz fotoğraflar için geçerlidir, renkli fotoğraflar için bu büyüklükler 3 ile çarpılmalıdır. Çok büyük veriler ile uğraşmak her zaman ekonomik olmayabilir. Bu yüzden yapılacak işe göre optimum bir tarama duyarlılığı tespit etmek gerekmektedir.

3.2.1.2 Sayısal Kameralar

Üç boyutlu objeleri kayıt etmek amacıyla kullanılan sayısal kameralar iki boyutlu algılayıcıları üzerinde ihtiva etmektedir. Algılayıcılar ayarlanmış zaman aralıklarında analog sinyalleri algılamaktadırlar. Daha sonra bu sinyaller için analog/sayısal dönüşümü yapılır.

CCD (Charge Coupled Devices) algılayıcıli kameralar, sayısal kameralar içinde en duyarlı görüntüyü elde eden kameralardır. Günümüzde CCD teknolojisi ile büyük formatlı fotoğrafların 7.5 μm piksel boyutuyla bütün olarak görüntülerini almak mümkün değildir. Bu

yüzden fotoğraflar parça parça CCD algılayıcılar yardımı ile taranır ve daha sonra birleştirilir. Bunun için CCD algılayıcıların kameranin görüntü düzlemi üzerinde çok doğru mekanik konumlanmasına ihtiyaç vardır (Kraus ve Waldhausl, 1993).

CCD kameralar çok küçük açılı olmalarından ve çok düşük çözünürlüğe sahip olduklarından henüz topoğrafik uygulamalar için uygun değildir (Torlegard, 1998).

3.2.1.3 Tarayıcı Kameralar Ve Diğerleri

Tarayıcı kameralar görüntülemeye dinamik işlemlerle karakterize edilmişlerdir. Burada algılayıcılar ile nesnenin bağıl bir hareketi söz konusudur. Görüntüleme geometrisi genel olarak normal kameralardan farklıdır. Dolayısıyla kullanılacak fotogrametrik yazılımın geometrik bölümleri de buna uygun olarak değiştirilmelidir. Görüntülenecek nesne görüntüleme esnasında hareket eder ya da şeklini değiştirirse, nesnenin değişiklik zamanları koordinatlandırılmalıdır.

Tarayıcı kameraların foto-tarayıcılardaki gibi nokta, çizgi gibi alan algılayıcıları olabilir. Bazı görüntüleme sistemleri stereo görüntüler sağlayabilmektedirler (SPOT). Pankromatik, multi spektral veya her ikisinin birden mevcut olduğu sistemler vardır (Torlegard, 1998).

Tarayıcı ve sayısal kameraların avantajları doğrudan görüntü elde etmeleridir ki bu tip görüntülerde yöneltme yapılmasına gerek yoktur.

Tarayıcı kameralar genelde uzaktan algılama uygulamaları için kullanılmakta olup uydu platformları üzerine yerleştirilmişlerdir. Örnek olarak SPOT, LANDSAT uyduları verilebilir.

Tarayıcı kameralardan bazılarının elde ettiği görüntülerde çözünürlük 10 m'ye kadar düşmektedir ki böyle görüntüler topoğrafik uygulamalar için de elverişlidir (Örneğin SPOT görüntüleri).

Diğer görüntü elde etme yöntemleri ise uzaktan algılamada kullanılan RADAR, SAR vb. görüntülerdir. Fakat bu görüntülerin topoğrafik uygulamaları henüz yaygın değildir.

4. KLASİK HAVA KAMERALARI İLE SAYISAL HAVA KAMERALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Analog Hava Kameraları

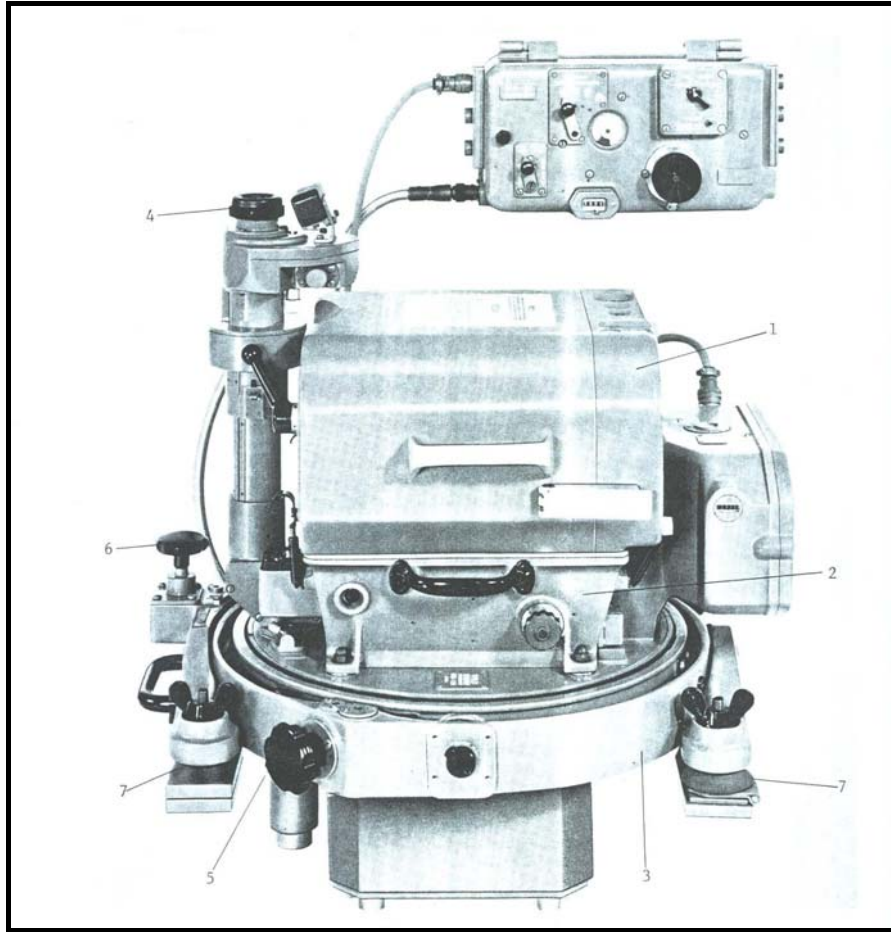
Analog hava kameraları her şeyden önce metrik kameralardır. Başlıca özellikleri iç yöneltme elemanlarının bilinmesidir. Hava kamerası objektifleri, çok sayıda mercekten oluşan bir sistemdir. İzdüşüm merkezinden geçen ışın sapmadan fotoğraf düzlemine ulaşır, distorsiyon hatası 5 μ dan daha küçüktür.

Hava fotogrametrisi için resim çekiminde kullanılan analog kameralar, 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. Fotoğrafik harita yapımında fotogrametrik hava kameraları kullanılır. Özel amaçlar dışında resimler film üzerine çekilir. Filmler 60–120 m. lik rulolar halinde 19 cm veya genellikle 24 cm enindedirler. Bir rulodaki filmin uzunluğu, inceliği ile de ilgilidir.

Kartografik kameralar, tek tek ya da seri şekilde resim çekebilirler. Bunlardan seri çekim yapanlar (seri kameralar), ayarlanabilen belirli zaman aralıklarında (t) (cycling time), artarda otomatik olarak resim çekerler. Hava fotogrametrisinde genellikle seri kameralar kullanılır. Günümüzdeki kameraların hem tek tek, hem de seri çekme sistemleri vardır.

Panoramik kameralar, sürekli açık tutulan görüntü penceresi yardımıyla kolonun kesiksiz resmini çeken kameralardır. Çekim esnasında film görüntü penceresinin önünden, odak uzaklığı(f) ve uçuş hızının(h) fonksiyonu olan bir hızda geçer ve sürekli pozlanır.

Analog hava kameraları, kamera kaidesi, kamera konisi, magazin (kaset), vizör ve ayaklardan oluşur (Şekil 4.1). Kamera konisinde; objektif, odak düzlemi, diyafram, optüratör ve filtre bulunur. Odak düzlemi üzerinde resim kenar bilgileri bulunur. Bu kenar bilgileri resim basıldıktan sonra sayısal iç yöneltmede, distorsiyon ve film büzülmesi hatalarının giderilmesinde kullanılırlar. Diyafram bölümü, filmin pozlanması için objektiften geçen ışığı ayarlar. Optüratör de diyaframı açıp, ayarlanmış poz süresi kadar açık tuttuktan sonra kapayan sistemdir. Diyaframa gelen zararlı (istenmeyen) ışığı süzmek için objektif önüne filtreler konur.



Şekil 4.1 Analog Hava Kamerası (1: Magazin, 2: Kamera Konisi, 3: Kamera Kaidesi, 4: Vizör, 5,6: Ayar Vidaları, 7: Ayaklar)

Kameranın magazin bölümünde ise, film bir poz boyu kadar sarılır, film emilerek düzleştirilir, optüratör açılarak poz verilir, görüntü yürümesini önlemek üzere film veya magazin hareket ettirilir, çekimden sonra film hava verilerek gevşetilir. Bu işlemler özel hareket motorları kullanılarak yapılır. Çekim esnasında filmin düz olması çok önemlidir.

Günümüzde kullanılan kameralarda, boyuna bindirme, poz süresi, kenar bilgileri pozlanması vb. işlemler kontrol ünitesi ile otomatik olarak ayarlanmakta ve uygulanmaktadır (Gülbüz, 2002).

4.2 Sayısal (Digital) Hava Kameraları

Son yıllardaki en büyük gelişme görüntünün bilgisayarda sayısal olarak depolanmasını esas alan sayısal fotogrametri alanında olmuştur. Sayısal fotogrametrik çalışmalarda ana aşama olan sayısal görüntünün elde edilmesi sayısal görüntüleme ile sağlanmaktadır.

Fotoğraf, en eski görüntüleme sistemi olup, yeryüzünün doğal ve yapay objelerinden yansıyan enerjinin doğrudan doğruya fotoğrafik bir film üzerine düşürülmesiyle elde edilir. Fotoğraf üzerinden metrik bilgilerin elde edilmesi günümüze kadar etkin biçimde ve başarıyla uygulanmıştır.

Sayısal kameraların genel yapısı, klasik kameralar ile benzerlik göstermektedir. Bunun en büyük nedeni, bu konu ile ilgilenen firmaların büyük bölümünün daha önce klasik kamera üreticisi olmaları ve halen kullanılan klasik kameraların yerine kullanılmaları durumunda mümkün olan en az değişiklik ile veya doğrudan kullanılabilir olmalarına özen gösterilmesidir. Sayısal kameraların klasik kameralara olan benzerliği sadece görünümde kalmıştır. İşlevsellik ve kullanım olarak oldukça farklılıklar göstermektedir.

Klasik filmlerin arşivlenmesi tekrar kullanılabilir hale gelmesi gibi zaman ve maliyet gerektiren işlemler ortadan kalktığı gibi uygun yazılımlar ile sayısal olarak elde edilen görüntülerin arşivlenmesi ve tekrar kullanılabilmesi oldukça kolay işlemler olacaktır.

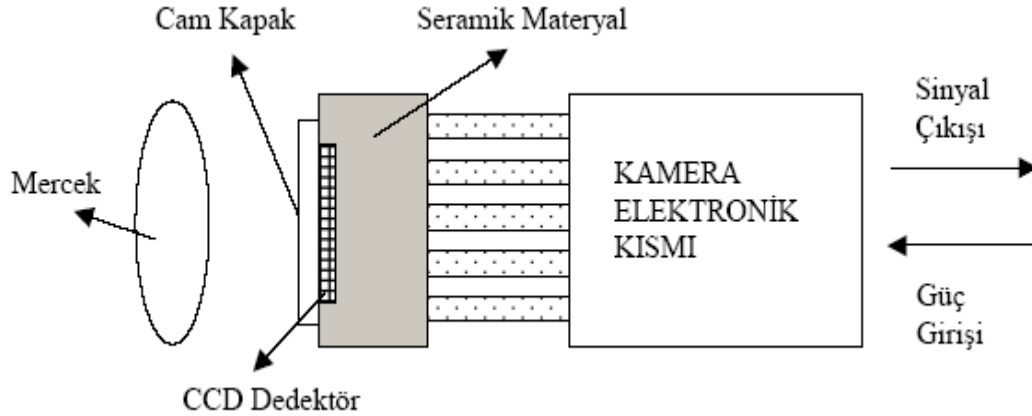
CCD (Charge Coupled Device – Yük Bağlamalı Düzen) kameralar son 20 yıldan beri belirli fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür kameralarda görüntü, fotoğrafik emülsiyonlarda meydana gelen kimyasal değişme veya video tüpün hedef levhasının yüzeyi üzerindeki yükte oluşan değişmeden farklı olarak, dedektörlerin duyarlanmasından doğan fotonların elektrik voltajına çevrilmesi ile oluşmaktadır.

CCD kameraların temel avantajı, diğer görüntü algılayıcılarından daha fazla geometrik doğruluk sağlamasıdır. Böylece performansı artan bu sistemlerin gelecekte görüntü elde etme konusuna bütünüyle hakim olması beklenmektedir. Fakat günümüzde bu sistemler düşük çözünürlüğe, küçük dinamik aralığa ve format boyutuna sahiptirler. Bu anlamda, bir CCD kamerası, bir hava fotoğrafının verdiği bilgiyi verebilmesi için yaklaşık 20Kx20K piksel, yersel kameranın verdiği bilgiyi içermesi için 6Kx9K piksel çözünürlüğüne sahip olması gerekmektedir.

4.2.1 Sayısal Hava Kameraların Yapısı ve Genel Özellikleri

Fotogrametrik uygulamalarda kullanılan CCD kameralar, elektromanyetik spektrumun görünür ve orta kızılötesi bölgelerinde çalışırlar. Bu kameralar, Metal Oksit Yarıiletkenler (MOS) veya fotodiyotlardan oluşan sonlu ışığa duyarlı elemanlardan, başka bir deyişle

algılayıcılardan oluşur. Şekil 4.2’de bir CCD kamerasının ana elemanları şematik olarak gösterilmiştir. (Büyüksalih, 2004)



Şekil 4.2 CCD kamera ana elemanları (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003)

4.2.1.1 Optik Sistem

Kamerada kullanılan optik sistem, tek bir mercekten oluşmayıp, birçok mercek sisteminden meydana gelen bir yapıya sahiptir. Amacı, fotoğrafik görüntüleme sistemlerinde film üzerine görüntü nasıl düşüyorsa, burada da görüntüyü algılama görevi yapan dedektör üzerine düşürmektedir. Mercek yapısı elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerine göre farklılık gösterir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Mercek yapısı ve elektromanyetik spektrum

Görünür bölge ve yakın kızılötesi bölgesi	Orta kızılötesi bölgesi	Temel kızılötesi bölgesi
Silika Cam ($\lambda < 2.5\mu\text{m}$)	Silisyum Cam ($3\mu\text{m} < \lambda < 5\mu\text{m}$)	Germanyum Cam ($8\mu\text{m} < \lambda < 14\mu\text{m}$)

Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde optik olarak kullanılan birçok materyal, kızılötesi bölge için geçirgen değildir. Fotoğrafik sistemlerde kullanılan silikat-tabanlı cam $2.5\mu\text{m}$ ’ den büyük dalga boylu radyasyonu geçirmediğinden, kızılötesi görüntüleyicilerin imalatçıları, optik parçalarının üretimi oldukça pahalı olan ve kolay bulunmayan materyalleri kullanmak zorunda kalmışlardır. Silisyum ve germanyum camlar kızılötesi görüntüleme sistemlerinde yoğun olarak kullanılan mercek materyalleridir. Bunlardan silisyum-tabanlı

materyaller orta kızılötesi bölgede çalıştırılan CCD kameralarda, germanyum ise termal kızılötesi bölgede işletilen video çerçeve tarayıcılarında kullanılmaktadır. (Büyüksalih, 2004)

4.2.1.2 Elektronik Dedektörler

Elektronik görüntüleme sistemleri bir fotoğrafik sistemin görüntüyü foto kimyasal yüzey üzerinde çerçevelemesi gibi, görüntüyü fotoelektrik yüzeyde oluşturması açısından fotoğrafik sistemlere benzer. Elektromanyetik enerjinin algılanması ya fotoğrafik ya da elektronik olarak sağlanır. Elektronik görüntüleme sistemlerinde algılama ve kaydetme aşamaları, fotoğrafik emülsiyonlar orta ve termal kızılötesi bölgelere duyarlı olmadığından tamamen farklı bir şekilde yürütülmek zorundadır. CCD kameralar, fotoğrafik uygulamalarda gümüş halojen tabanlı emülsiyonlar yerine nesneden yayılan veya yansıyan ve görüntüleme sisteminin optik elemanları tarafından toplanan radyasyonu algılamak ve onu elektrik sinyali formuna dönüştürmek için elektronik dedektörler kullanır.

CCD kameralardaki görüntüleme sistemlerinde kullanılan dedektörler termal ve foton dedektörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Termal dedektörler ısıya duyarlı materyaller kullanır. Gelen radyasyon dedektör üzerine düştüğünde bu onun sıcaklığında algılanabilir bir değişikliğe yol açar. Duyarlanması, gelen radyasyonun dalga boyuna bağlı değildir.

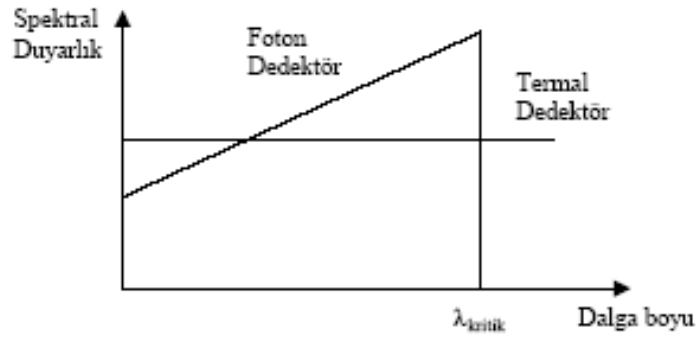
Foton dedektörler ise çabuk duyarlılığa sahiptirler. İçeri giren radyasyonun elektriksel yük taşıyıcılarının, dedektörün içinde bir enerji düzeyinden diğer bir enerji düzeyine hareket etmelerine neden olacak şekilde uyarılmasıdır. Çizelge 4.2’ de bazı foton dedektörlerinde kullanılan materyaller ve her birinin duyarlı olduğu radyasyonun maksimum dalga boyu gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Foton dedektörleri, (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003)

Dedektör Materyali	λ_{maks}
Silisyum	1.0 μm
Kurşun Sülfür	2.1 μm
İndiyum Antimonit	7.0 μm

Civa Kadmiyum Tellürit	12.0 μm
---------------------------	--------------------

Örneğin CCD sistemlerinde yaygın olarak kullanılan InSb (İndiyum Antimonit), PbSe (Kurşun Selenyum), PbTe (Kurşun Tellürit) ve PtSi (Platin Silisit) gibi dedektörlerin kritik dalga boyu 7.0 μm ' dir ve bu değerden daha büyük dalga boylu radyasyona cevap vermemektedirler. Şekil 4.3'de foton ve termal dedektörlerin spektral duyarlılıkları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3 Foton ve termal dedektörlerin spektral duyarlılıkları (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003)

Burada termal dedektörün bağıl duyarlılığı karşılaştırma için aynı eksenlerde çizilmiştir. Termal dedektörün duyarlılığının, dalga boyundan bağımsız olduğu ve λ_c yakınındaki dalga boyu bölgesinde foton dedektörününkinden daha küçük olduğu görülmektedir. Genel olarak, bir foton dedektörünün maksimum duyarlılığı ve duyarlık hızı, bir termal dedektörününkinden fazladır.

4.2.1.3 Soğutucu Sistem

Foton dedektörler, içte oluşan gürültüyü en aza indirmek ve iletkenlerin ısınması sonucu doğan etkileri azaltmak için belirli bir sıcaklık değerine kadar soğutulmalıdır. Kızıl ötesi uygulamalarda kullanılan soğutma yöntemleri, işletilen sıcaklığa ve sistem gereklerine göre değişir. Soğutucular dört ayrı grupta incelenebilir:

- Sıvı nitrojen,
- Joule-Thompson mini soğutucu,
- Stirling devirli buzdolabı ve

- Peltier etki tabanlı termoelektrik soğutucusu.

4.2.1.4 Görüntü Dedektörleri

4.2.1.4.1 Yarı İletkenler

Görüntü dedektörlerinin temeli, elektrik karakteristikli katı hal materyaller olan yarı iletkenlerdir. Katı hal maddeyi, kristal olarak adlandırılan üç boyutlu kafes yapı oluşturur. Böyle bir kristalde, her elektron birkaç enerji bandının birinde bir enerji seviyesine sahiptir. Şekil 4.4’de gösterildiği gibi, bu izin verilen bantlar arasında yasak enerji boşlukları mevcuttur.



Şekil 4.4 Yarı iletkenler (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003)

Elektronlar izin verilen enerji durumlarını en düşük enerji seviyesinden en yükseğe doğru işgal ederler. En yüksek (kısmen) doldurulmuş band, iletkenlik bandı; en düşük band ise valans bandı olarak adlandırılır. Bu iki bant arasındaki enerji farklılığı E_g ’ ye bant açıklığı denir.

Genel anlamda kimyasal bakımdan saf olup bant yapısı itibariyle yarı iletken olan silisyum, germanyum, selenyum gibi elementlere asal yarı-iletken denir. Bazı yabancı cisimler konsantrasyonları az olsa bile, yarı-iletkenlerin elektriksel özelliklerini anormal biçimde değiştirirler. Örneğin saf silisyuma yüz binde bir oranında bor katılırsa silisyumun direnci, 300°K sıcaklığında, yaklaşık 1000 kez azalır. Bu çeşit yarı-iletkenlere katkılı (safsızlık) yarı-iletken denir.

4.2.1.4.2 Yarı İletkenlerde Foto Yüklerin Yaratılması, Biriktirilmesi ve Depolanması

Foto yük çiftlerinin rekombinasyonunu önlemek için onlar yaratımlarından hemen sonra ayrılmalıdırlar. Bu işlem, PN birleşmeleri veya MOS (Metal Oxide Semi-Conductor - Metal oksit yarı-iletken) kapasitör tarafından sağlanan bir elektrik alan sayesinde gerçekleştirilir. PN

birleşmeleri, foto diyot görüntü dedektörlerinde; MOS yapıları ise CCD görüntü dedektörlerinin temelini teşkil etmektedir. Bu iki sistem, sadece foto yükleri ayırmakla kalmaz, foto yüklerin biriktirilmesi ve saklanması da kullanılırlar. PN birleşmesi, biri P-tip diğeri N-tip olan iki silisyum kısımdan oluşur. MOS kapasitörler ise bir yalıtkan ve bir metal tarafından kaplanan belirli bir tip yarı-iletken içerir.

Bir pozitif voltaj elektroda uygulanır, deşikleri yarı iletkene doğru iter ve böylece hiçbir mobil yük taşıyıcının bulunamayacağı alan üretir ki bu alan eksiltme (azaltma) bölgesi olarak adlandırılır. Böylece elektrik alan yaratılmış olur. MOS yapılarındaki bu alan foto yük çiftlerinin ayrımı için kullanılabilir. Elektronlar, pozitif olarak yüklenmiş elektrotlar tarafından teşvik edilir ve onlar, yarı-iletkenle yalıtkan arasında bir ara yüze doğru yayılırlar. Deşikler ise yarı-iletkenin içine doğru geri itilirler ve böylece onlar, daha fazla rol oynamazlar. Yarı iletkenin yüzeyinde oluşan bu potansiyel yayılımının basit tanımlaması yük hücresi veya kovasıdır.

4.2.1.4.3 Foto Yüklerin Nakli

MOS yapısında birbiri peşi sıra yerleştirilen, yük bağlamalı düzen (Charge Coupled Devices - CCD) olarak adlandırılmaktadır. Burada kullanılan “Charge Coupling” olayı, komşu hücrelerdeki yükü transfer etmek için bir elektrot çiftinin kullanıldığı işlemi tanımlar. Bu elektrotlardaki voltajlar yükü bir kovadan diğerine geçiren bir düzenle yürütülürler. Dedektör hattının sonunda yük çıkış kaydedicilerine transfer edilerek işlem tamamlanır.

4.2.1.4.4 Foto Yüklerin Algılanması

Foto yükleri ayıran ve depolayan birim, piksel olarak adlandırılır. Bir veya iki boyutlu piksel dizinleri, görüntü dedektörlerini oluşturmaktadır. Pikseller, üzerlerine gelen elektromanyetik radyasyonun yoğunluğuna karşılık olarak belirli düzeyde fotoyük doğurur. Bu fotoyükün okunması ve dönüştürülmesi fotodiyot ve CCD görüntü dedektörlerinde oldukça farklı biçimlerde yürütülür.

4.2.2 Ultracam-X Sayısal Hava Kamerası Ve Özellikleri

Harita Genel Komutanlığı 2008 yılı başlarından itibaren Microsoft UltraCam-X Sayısal Hava Kamerası ile hava fotoğrafı çekme kabiliyetini kazanmıştır.



Şekil 4.5 Sayısal Hava Kamerası

Microsoft UltraCam-X Sayısal Hava Kamerasını altı bölümde inceleyebiliriz.

1-) Alıcı Birimi (SX) :



Şekil 4.6 Alıcı Birim

2-) Hesaplama Birimi (CX) (Görüntü Kayıt İşlemleri)



Şekil 4.7 Hesaplama Birimi

3-) Kamera İşletim Arayüzü (IPX)



Şekil 4.8 Kamera İşletim Arayüzü

4-) Veri Depolama Birimi (DX)

(14 adet 160Gb disk içermekte olup, kapasitesi 2Tb/4741 görüntüdür.)



Şekil 4.9 Veri Depolama Birimi

5-) Veri Transfer Birimi (DKX)

(4 adet infiniband transfer kablosu ve infiniband-SATA PCI kart sayesinde PC'ye bağlanabilmekte ve yaklaşık 4-5 saat içerisinde DX'teki tüm veriyi PC'ye transfer edebilmektedir.)



Şekil 4.10 Veri Transfer Birimi

Microsoft UltraCam-X Sayısal Hava Kamerasını özellikleri aşağıda verilmiştir.

Görüntü boyutu 14430 * 9420 piksel (104 mm * 68.4 mm)

Piksel büyüklüğü 7.2 μ m

Bir görüntünün hacmi (4 bantta) 435 Mb

Odak uzaklığı 100 mm

Minimum görüntü alma aralığı 1.35 saniye

Radyometrik çözünürlük 16 bit

DX depolama biriminin hacmi ~2 TB

DX'in görüntü kapasitesi ~ 4741 görüntü

Bir DX ile %70 ileri ve %20 yan bindirme oranlarında, 20 cm. çözünürlüğünde (20 mikronda taranmış 1: 10000 ölçeğinde analog filme eşit) kesintisiz 8.5 saat uçulabilir.

Ham görüntülerin kullanılabilir hale getirilmesi için en az 10 dakikalık bir işleme (post process) ihtiyaç duyulmaktadır.

4.3 Klasik Hava Kameraları İle Sayısal Hava Kameralarının Karşılaştırılması

Fotoğrafik materyallerin yüksek çözünürlüğü, geometrik doğruluğu ve durağanlığına rağmen elektro-optik görüntüleme sistemlerinin gerçek zamanlılığı, portatif ve kullanıcı dostu olması, fotoğrafik filmin prosesi için gerekli banyo işlemlerine ve tarayıcı ile sayısallaştırmaya gerek duymaması, doğrudan bilgisayar uyumlu olması, onları fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarında fotoğrafik ve video tabanlı sistemlere gerçek bir alternatif haline getirmiştir.

Ayrıca, tasarımlarında kullandıkları elektronik dedektörler sayesinde hava kameralarının aksine, görünür ve yakın kızılötesi spektral sahalarının ötesindeki spektrumlarda algılama yapmayı mümkün hale getirmişlerdir.

Tüm olumlu yönlerine karşın hava kameralarının sağlamış olduğu çözünürlüğe ve geniş açısal kaplama alanına erişememiş olması, maliyetinin yüksek oluşu CCD kameralarının fotogrametrik kullanılmalarını sınırlamıştır. Ancak teknolojiye hızlı gelişmeler ve artan talep sebebiyle sayısal kameralar hızla gelişmekte ve fiyatları ucuzlamaktadır. Bu gelişmeler göstermiştir ki yakın gelecekte fotoğrafik kameraların yerine CCD kameraların alması kaçınılmazdır. Fotoğrafik sistemlerde kullanılan kameralar ile elektronik sistemlerde kullanılan kameralar arasındaki genel farklılıkları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Sayısal kameralardan elde edilen görüntülerin formatları klasik filmlere göre biraz küçüktür. Görüntü formatının küçük olması bir olumsuzluğu gibi görünse de kolay elde edilebilir olması ve doğrudan kullanıma hazır olması bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır. Sayısal kameraların sağladığı faydalardan bazıları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Film kullanımı ve buna bağlı olarak foto laboratuvar ve hassas fotoğraf tarama işlemlerinin ortadan kalkmıştır. Özellikle foto laboratuvar aşamasında film banyosu sırasında ve tarama sonrasında ortaya çıkabilecek görüntü kalitesindeki azalma önlenmiştir.
- Çekim anında eş zamanlı olarak pankromatik, renkli ve kızılötesi görüntülerin elde edilmesi ile geniş bir ürün yelpazesine sahip olunmaktadır. Aynı bölgeye ait bu değişik özellikli görüntüler, çok çeşitli kullanım alanlarını da beraberinde getirmektedir.
- Fotoğraf alımı sonrasında yapılan işlemlerin çoğunun (Foto laboratuvar, tarama, fotogrametrik nirengi gibi) ortadan kalkması ile birlikte bu işlem aşamalarında harcanan zaman ve maliyette kayda değer bir düşüş sağlanmıştır.
- Radyometrik çözünürlüğünün hava filmlerindeki gibi 8 bit yerine 12 bit olarak elde edilmesi, görüntünün kalitesini oldukça yükseltmiştir. Ayrıca radyometrik çözünürlüğünün yüksek olması hava şartlarından daha az etkilenmesi anlamına geldiği için uçuşa uygun zaman daha fazla bulunmasına imkân sağlamaktadır.

Çizelge 4.3 Film tabanlı ve sayısal kameraların karşılaştırılması (Direnç, 2006)

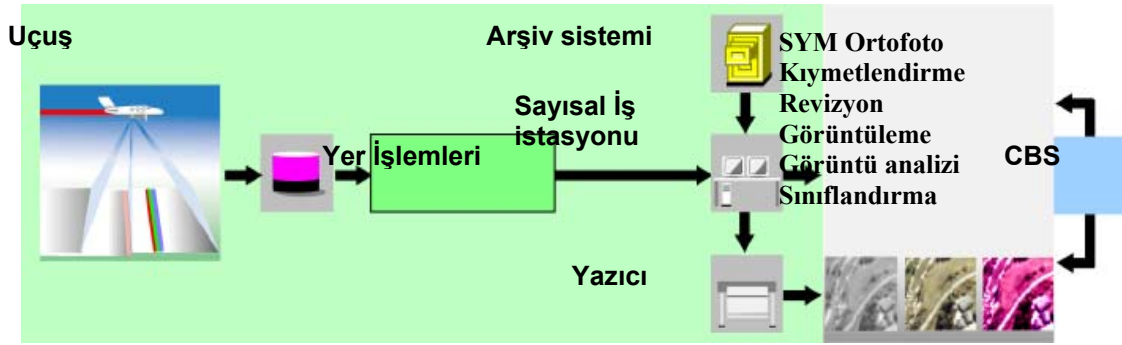
	Film Tabanlı	CCD Kamera
Odak uzaklığı	8, 15, 21, 30 cm	50-80 mm. odak uzaklığı (büyük çerçeve dizinler için) 17-526 mm. odak uzaklıklı C-objektif çerçevesi (küçük format dizinlerde)
Format	23_23 cm	2,5_2,5 inç (64_64 mm.), yüksek çözünürlüklü dedektörler için; 1 inç’ den küçük değerler, düşük çözünürlüklü dedektörler için
Açısal kaplama	60 ⁰ ile 125 ⁰ arasında	Aynı değerler, yüksek çözünürlüklü dedektörler için; 250 1inç’den küçük yongalar ve C objektif çerçeve için
Fotoduyarlı materyal	Gümüş halojen emülsiyon	CCD dedektör
Görüntü yürümesi düzeltilmesi	FMC düzeneği sayesinde	TDI çözümü ile
Poz	Fotonlar kristal üzerinde gümüş taneciği oluşturmak için gümüş (Ag) ile birleşerek elektronu (e) serbest bırakırlar (gizli görüntü)	Fotonlar kapasitörde (piksel kısmında) toplanacak olan elektron- boşluk çiftini doğururlar
Gerçek görüntü	Gizli görüntüden ya negatif ya da pozitif olarak geliştirme işlemi ile elde edilir.	Yükün ölçüldüğü, amplike edildiği ve çıkışın yapıldığı algılama düğümüne transferiyle elde edilir.
Spektral duyarlık	0,4-0,79 µm ve yakın kızılötesi	Silikon dalga boyu 1,1 µm’ den küçük olan fotonlara duyarlıdır.
Radyometrik çözebilirlik	Siyah-beyaz film için 6 bit	10-12 bit

Çözünürlük	Mercek: A WAR>100çizgi/mm Film: >100çizgi/mm Görüntü yürümesi ve atmosfer, sistem çözebilirliğini 50-60 çizgi/mm' ye kadar düşürmektedir.	Mercek: Eğer yüksek çözünürlüklü hava kamerası merceği kullanılmazsa düşüktür. CCD: 15 µm'lik piksel genişliği 30-40 lp/mm düzeyinde bir çözünürlük vermektedir.
Avantajları	Geniş açısal kaplamalarda yüksek çözebilirlik Film geniştir, pahalı olmayan saklama ortamıdır.	Geniş spektral duyarlık sahası Yüksek radyometrik çözünürlük görüntü hemen mevcut Gerçek zamanlı işleme sonucu görülen sonuç veri elde etmenin esnekliğini artırır.
Eksiklikler	Uzun işleme zamanı Görüntü sadece hardcopy formatta mevcuttur.	Yüksek çözünürlüklü dedektörler çok pahalı ve filmde daha küçük, Yüksek çözünürlüklü dedektörler için uzun veri çıkış zamanı. Yüksek veri transfer frekansı ve çok geniş bellek kapasitesi gerekli

- Sayısal görüntünün filmlerdeki gibi grenli yapıda olmaması nedeniyle görüntü kalitesi oldukça yüksektir. Bu kalite; daha iyi stereo görüntü elde edilmesine, yorumlamaya kolay ve doğru yorumlama yapılabilmesine ve otomatik işlemlerde (nirengi, nokta seçim, sınıflandırma, değişikliklerin belirlenmesi vb) daha iyi sonuç vermesine olanak sağlamaktadır(Şekil 4.11).
- Sayısal kameraların geometrik doğrulukları filmlerden elde edilen sayısal görüntülere göre oldukça yüksektir.
- Sayısal kameralar ile görüntülerin klasik filmlere oranlara daha kolay elde edilmesi ve görüntü yöneltme parametrelerin doğrudan elde edilmesine yardımcı olan ataletsel ölçüm ünitesi (Inertial Measurement Unit - IMU) sisteminin kullanılması ile tekrarlamalı işlemlerde (Revizyon, takip, kontrol vb) büyük kolaylıklar sağlamaktadır(Şekil 4.12).



Şekil 4.11 RC30(21cm) kamera(solda) ve ADS40(30cm) kamera ile çekilmiş görüntüler



Şekil 4.12 Sayısal kamerada iş akışı

Kaliteli görüntülerin elde edilmesi ile birlikte otomatik işlemlerin sonuç kalitesinin de artması ve bu sayede bu görüntüleri kullanarak elde edilen ürünlerin (Ortofoto, DEM, vektör vb.) de kaliteli olmasını sağlamaktadır (Şekil 4.13) (Demirel, 2005).



Şekil 4.13 Sayısal görüntülerden elde edilen ürünler.

Havadan fotoğraf alım çalışmalarında ortaya çıkan maliyet; sabit ve işletme giderleri olarak iki temel gruba ayrılmaktadır. Havadan fotoğraf alım sürecindeki tüm faaliyetlerin sabit veya işletme karakterli bir maliyeti vardır. Sabit giderlerin özelliği, yürütülen veya yürütülecek faaliyetlerden bağımsız olmasıdır. Diğer bir anlatımla, fotoğraf alımı yapılsa da yapılmassa da devam eden giderler sabit giderler olarak adlandırılmaktadır. İşletme giderleri ise gerçekleştirilen bir işlem sonucu oluşan giderler olup, işlemin sona ermesiyle birlikte gider de sonlanmaktadır. Hava fotoğraflarının işlem adımları ve maliyetinin analog veya sayısal algılayıcıya göre değiştiği göz önüne alınarak, gider yaratan faaliyet konuları ile gider türleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Havadan fotoğraf alımında bir diğer maliyet kalemini kamera oluşturmaktadır. Uçaklara monte edilen kameralar sayısal ve analog olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılmaktadır. Analog kameraların işletme gideri olan hava filmi sarfiyatına karşın sayısal kameralar için benzer bir gider kalemi bulunmamaktadır. Kameraların yıllık bakım ve onarım gideri ile personel giderleri ise sabit giderler kalemini oluşturmakta olup, hem sayısal hem de analog kamera için geçerlidir. Analog hava kamerası ile aynı anda yalnızca bir tek film cinsi ile görüntü alınabilirken, sayısal kamera ile pankromatik ve çok bantlı görüntü aynı anda alınabilmektedir.

Çizelge 4.4 Gider türleri (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Faaliyet	Kullanılan Ekipman	Gider Konuları	Analog	Sayısal	Sabit	İşletme

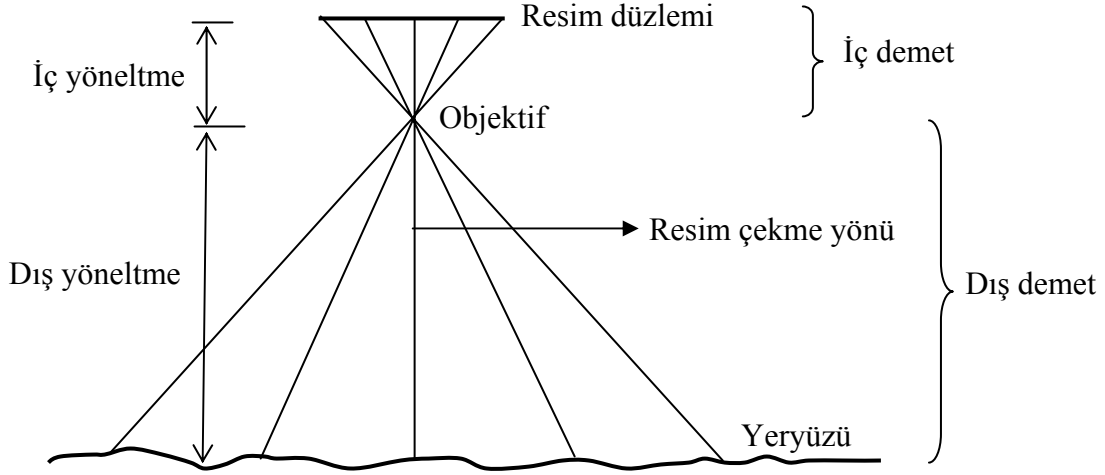
Uçuş Faaliyetleri	Uçak	Akaryakıt	X	X		X
		Bakım	X	X		X
		Hangar	X	X	X	
		Sigorta	X	X	X	
		Personel	X	X	X	
		Çeşitli Giderler	X	X	X	
	Kamera	Bakım/Onarım	X	X	X	
		Hava filmi	X			X
		Personel	X	X	X	
Yer Faaliyetleri	Laboratuvar	Bakım/Onarım	X		X	
		Kimyasallar	X			X
		Personel	X		X	
	Tarama	Bakım/Onarım	X		X	
		Personel	X		X	
	Veri İşleme	Bakım/Onarım		X	X	
		Personel		X	X	

Analog kamera ile alınan görüntülerin banyo edilmesi ve arşivlenmesi için iki, taranması için bir olmak üzere toplam üç personel planlanırken, sayısal kamera ile görüntü alınması durumunda ise veri aktarma ve işleme için bir personele ihtiyaç duyulacağı öngörülmüştür (Yıldırım, 2005).

5. STEREO FOTOGRAMETRİ TEMELLERİ VE NOKTA SIKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

5.1 Yönelme

Stereo fotoğraf çiftinin yönelmesi işlemi, fotoğrafların alım anındaki konumlarının tekrar oluşturulmasıdır. Stereo yönelme, iç yönelme ve dış yönelme olmak üzere iki aşamada yapılır. Çift resim kıymetlendirmesi amacıyla bir bölgenin havadan çekilen resimleri % 60-65 ileri bindirmeli ve kolonlar halindedir. Kolonların birden fazla olması durumunda % 15-20 oranında bir yan bindirme koşulu aranır. Böylece komşu iki kolon arasında boşluk kalmaması sağlanmış olur. Stereo (üç boyutlu) görüş sağlayan % 60-65 bindirmeli resim çiftine **model** denir. Bir modelin kıymetlendirilebilmesi için her iki resim, havadan resim çekimi anındaki konumuna getirilmelidir. Gerçekte çift resim kıymetlendirmesinde kullanılan resim değil, resmi meydana getiren ışın demetidir. İşte bu ışın demetlerinin resmin çekildiği andaki durumuna tekrar getirilmesi işlemlerine **yönelme** denir. Şekil 5.1'den de görüleceği gibi yeryüzünün çeşitli noktalardan gelen sonsuz sayıdaki ışın kamera objektifinden geçerek resim üzerine düşer.

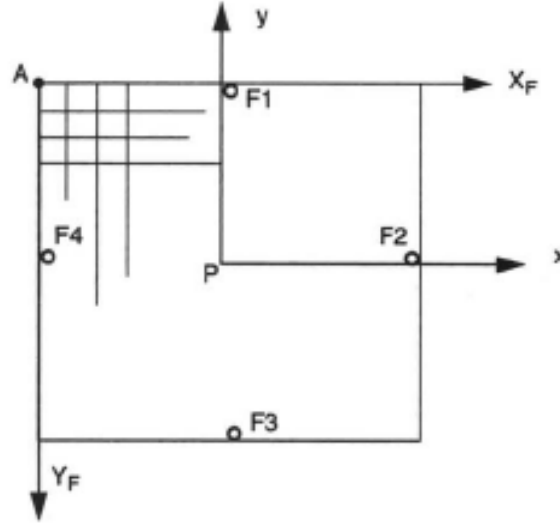


Şekil 5.1 Yönelme (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Bu ışınlardan yalnız bir tanesi resim düzlemine dik olup bu ışına resim çekme yönü denir. Resim düzlemi ile objektif arasında kalan ışın demetine iç demet, bunun tekrar oluşturulmasına iç yönelme denir. Objektifle yeryüzü arasında kalan ışın demetine dış demet ve bunun tekrar oluşturulmasına da dış yönelme denir (Şekil 5.1).

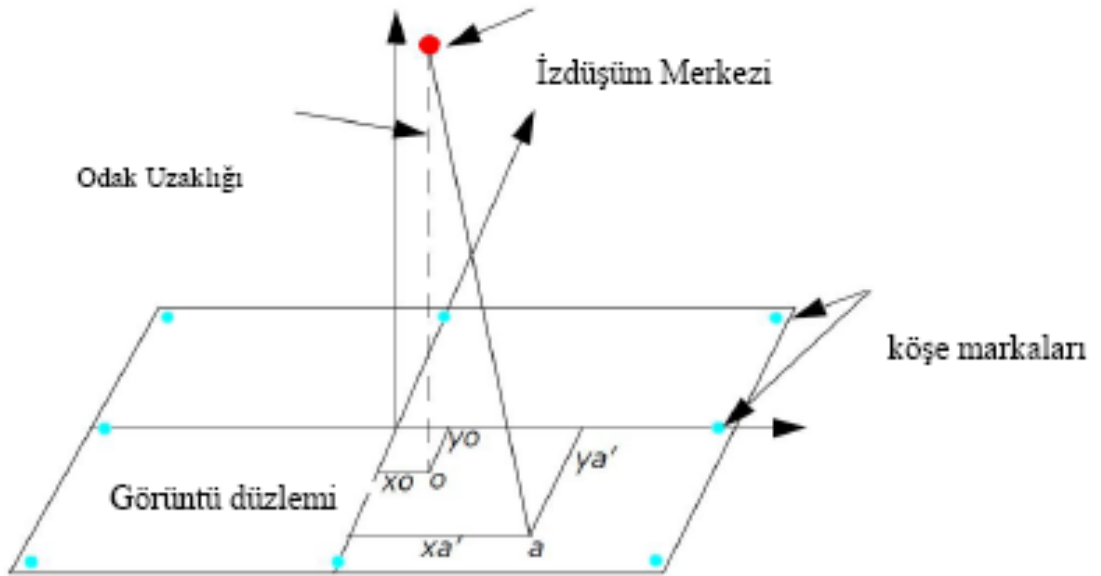
5.1.1 İç Yönelme

Görüntülerin alımı esnasında objektif merkezi ile fotoğraf düzlemi arasında oluşan ışın demeti geometrisinin yeniden oluşturulmasıdır. Bu asal uzaklık ve asal nokta bilinmeden yapılamaz ve bunun için distorsiyon düzeltilmelidir (Şekil 4.13).



Şekil 5.2 İç yöneltmede fotoğraf koordinatları, fotoğraf markası ve asal nokta

Fotoğraf markaları, bir metrik hava kamerasının çerçevesi üzerinde, sekiz ya da dört belirteçten ibarettir. Fotoğraf markalarının fotoğraf koordinatları, kamera kalibrasyon raporları ile belirlenmiştir.



Şekil 5.3 İç yöneltmede parametreleri (Leica Photogrammetry Suite Project Manager User's Guide 2008)

İzdüşüm Merkezi: Perspektif ışın demetlerinin başlangıç ya da orijin noktası olarak kabul edilen, projeksiyon merkezi, mercek merkezi, kamera merkezi, objektif merkezi, alım

merkezi, çekim merkezi, dış perspektif merkezi olarak da adlandırılan, bir kamera veya fotoğraf makinası ile pozlama esnasında cisim, obje ve arazi yüzeyinden objektife gelen ışık ışınlarının görüntü oluşturmak üzere objektiften geçtiği nokta, resim çekim işleminin gerçekleştirildiği, pozlamanın veya kısaca ölçümün yapıldığı noktadır. Hava fotoğrafı alımında genellikle iç perspektif ve dış perspektif merkezi olarak iki perspektif merkezinden söz edilebilir. Mükemmel bir kamera ve mercek sisteminde, iç perspektif sisteminden fotografik görüntülere olan perspektif ışınlar ile dış perspektif merkezinden fotoğraflanan görüntülere olan eşlenik ışınlar aynı açılara sahiptirler. Bozulma olan bir mercekte, bu kural fotoğrafın sadece belirli bir bölgesi için geçerlidir. İyi düzenlenmiş ve ayarlanmış bir kamera ve mercek sisteminde dış ve iç perspektif merkezleri sırasıyla kamera merceğinin ön ve arka düğüm noktaları ile çakışırlar.

Odak Uzaklığı: Herhangi bir cisimden veya sonsuzdan, bir kamera merceği veya fotoğraf makinası objektifinin üst tepe noktasına gelerek kırılmaya uğrayan ışının mercek eksenini kestiği arka nodal nokta (aynanın tepe noktası) veya merceğin alt ucuna sonsuzdan gelen bir obje ışınının mercek eksenini kestiği ön nodal nokta ile objektif merkezi arasında kalan; fokal mesafe, objektif sabitesi, kamera sabiti, kamera değişmezi, alıcı değişmezi, etkili odak uzaklığı veya etkili fokal mesafe olarak da adlandırılan, genellikle yayın ve bilimsel dokümanlarda f veya c harfleri ile gösterilen doğrusal uzunluktur. Kısaca, kamera sistemlerinde en iyi nitelikte resim netliği veren resim düzlemine ilişkin odak uzaklığıdır.

Köşe markaları: Stereo fotogrametrik yöntemle harita üretimi ve stereo model oluşturulmasında kullanılan hava fotoğraflarının köşelerinde bulunan, metrik bilgileri ve özellikleri yeterli duyarlılıkta bilinen bir kamera ile çekilmiş olan fotoğraf üzerinde kaydedilen görüntü alanının kıymetlendirme aleti veya herhangi bir ölçme sisteminde tanımlanmasına ve resimlerin iç yöneltme işlemlerinin yapılmasına olanak sağlayan, herhangi bir kamera veya aletle görüntülenebilen arazi alanının sınırlarını, resim veya görüntünün boyutu ve formatını belirleyen, fotoğraf üzerinde tanımlı noktalar(ölç.) indeks hattı veya noktası, referans bazı olarak kullanılan nokta veya hat olarak tanımlanır.

5.1.2 Dış Yöneltme

Görüntü ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Her hava kamerası 6 adet dış yöneltme parametresine sahiptir. Alım noktası koordinatları (X_o, Y_o, Z_o) yer koordinat sisteminde ve üç dönüklük açısı (ω, ϕ, χ) bunlar Şekil 5.4' de ve Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

Burada;

o = Fotoğraf orta noktası,

O = Alım noktasının yer koordinat sistemine göre koordinatı,

O_x, O_y, O_z = Verileri alım noktası olan görüntü uzayı koordinat sistemi; x, y eksenleri, görüntü koordinat sistemi eksenine paralel,

X_o, Y_o, Z_o = Yer koordinatları,

ω = X eksenindeki dönüklük açısı,

φ = Y eksenindeki dönüklük açısı,

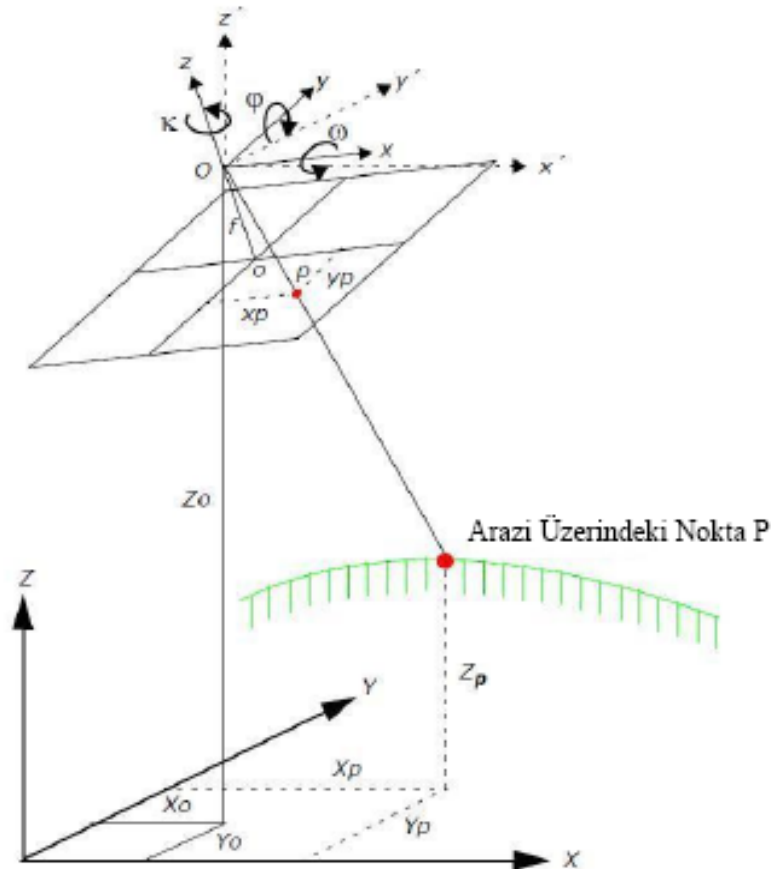
χ = Z eksenindeki dönüklük açısı,

P_1 = Görüntüdeki nokta,

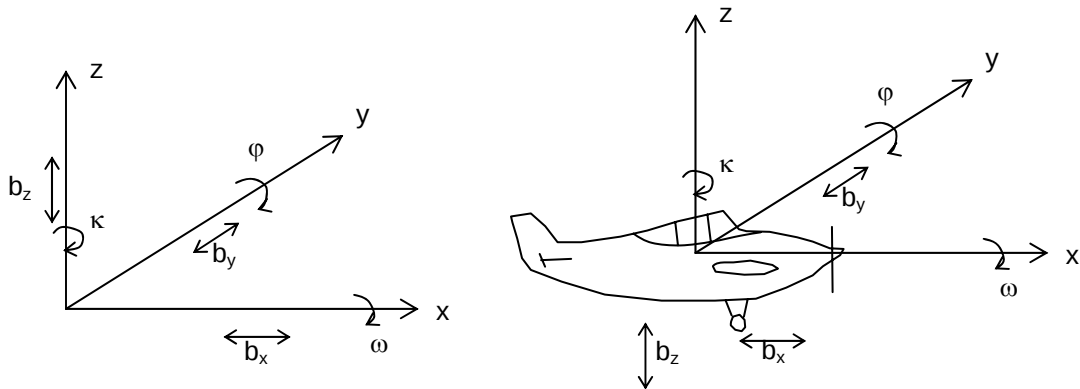
P = Yerdeki nokta,

olarak tanımlanmaktadır.

Her birim fotoğraf 6 adet dış yöneltme parametresi içerdiğine göre, bir çift resmin dış yöneltmesi 12 adet yöneltme parametresinin bilinmesi gerekir. Bu 12 adet parametrenin 5 adedi karşılıklı yöneltme ile çözülür. Bu çözümde koplanarite koşulu kullanılır.



Şekil 5.4 Bir hava fotoğrafının dış yöneltmesi (Leica Photogrammetry Suite ProjectManager User's Guide, 2008)



Şekil 5.5 Omega, Phi, ve Kapa (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003)

5.2 Nokta Sıklaştırma Yöntemleri

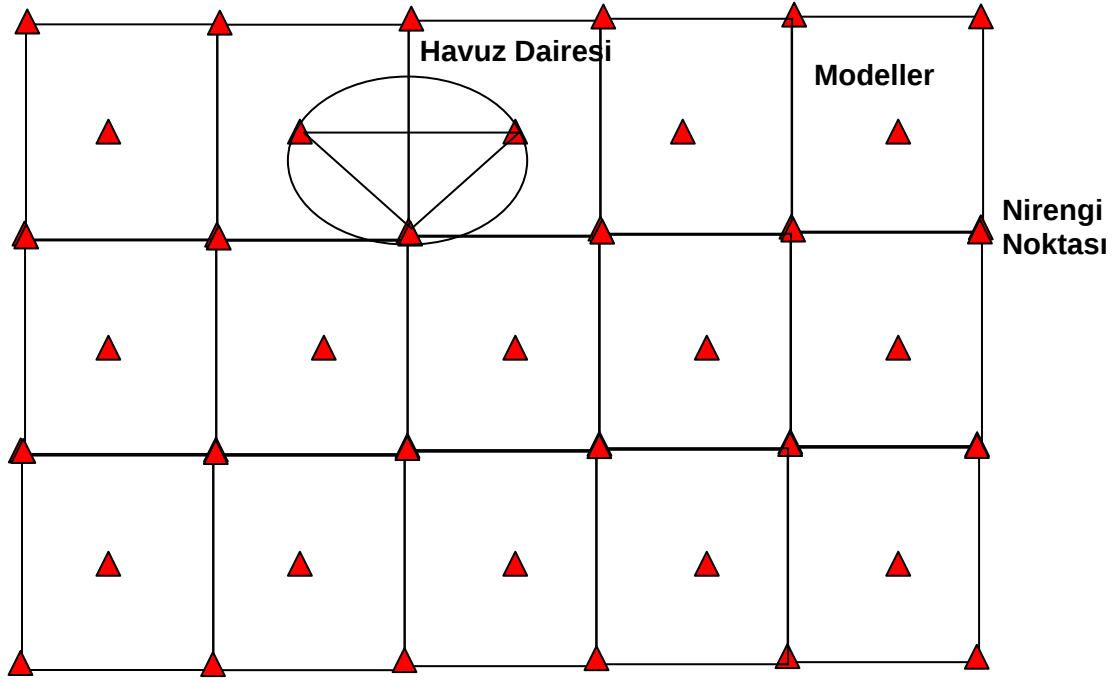
Fotogrametri aletleri yardımıyla noktalara ilişkin (X, Y, Z) koordinatların belirlenmesine Fotogrametrik Nirengi denir. Fotogrametri uygulamalarına göre, gerek tek resim kıymetlendirmesi, gerekse çift resim kıymetlendirmesinde (stereo değerlendirme) mutlak yöneltmesinin yapılabilmesi için kontrol noktaları belirleme yönetimi olarak tanımlanmıştır.

(Fotogrametri Ders Kitabı, 2003). Ülkemizde özellikle 1:25.000 ölçekli haritalar üretilirken, ölçeğin gerektirdiği sayıda kontrol noktası sıklaştırması (I ve II derece nirengi ağına dayalı olarak II ve IV üncü derece noktalar) yapılmıştır. Bundan daha büyük ölçekli (1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 gibi) harita üretiminde bu nokta sıklığı yeterli değildir. Zamanla bu noktaların çoğu tahrip olabilmektedir. Büyük ölçekli harita üretiminde mevcut YKN sayısını sıklaştırmak gereklidir. Harita üretiminde gerekli YKN sayısını arttırmak için yeterli sayıda koordinatların üretilmesi gerekmektedir. Bunun için nokta sıklaştırması yöntemleri kullanılmaktadır. Bu konuda fotogrametrik nirengi yöntemiyle mümkün olan minimum sayıda kontrol noktası üretilmeye çalışılmaktadır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003). Nokta sıklaştırma yöntemlerini tarihsel gelişimlerine göre; Havuz Yöntemi, Dizi Yöntemi, Fotogrametrik Nirengi Yöntemi ve Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi şeklinde sıralayabiliriz.

5.2.1 Havuz Yöntemi

Ardışık bir çift resimden oluşan stereo modelin mutlak yöneltmesini yapabilmek için minimum nokta sayısının sağlanması, resimler hangi yönde çekilirse çekilsin, her durumda model içerisine en az 3 noktanın girmesi gerekir.

Gerekli nirengi noktası sıklığını sağlamak üzere eşkenar üçgenlerin çevresel çemberleri olan ve çapı hesaplanabilecek bir daire kullanılır, buna havuz dairesi (kepçe) denir. Havuz dairesi şeffaf bir altlığa (aydınlatıcı, astrolon vb.) nirengi kanavasına ölçeğinde çizilir. Havuz dairesi, iş bölgesine ait nirengi ve uçuş planlaması üzerinde nereye konulursa konulsun, en az 3 noktanın bu daire içine girmesi veya en azından teğet olması gereklidir (Şekil 5.6) . Fakat bu yöntem eski bir yöntemdir ve artık kullanılmamaktadır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

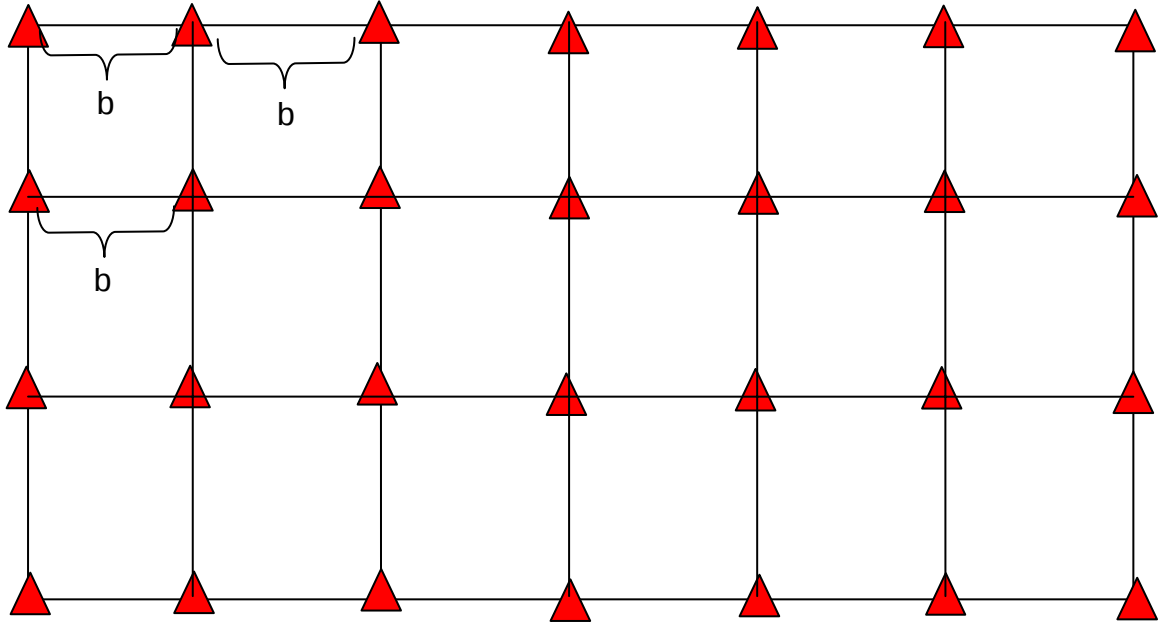


Şekil 5.6 Havuz yöntemine göre nirengi ve uçuş planlaması

5.2.2 Dizi Yöntemi

Dizi yönteminde, modelin yaklaşık köşelerinde birer nokta bulunacak şekilde nirengi noktası planlaması ve tesisi yapılır. Tüm nirengi ve uçuş planları buna göre düzenlenir. Böylece kontrollü bir şekilde mutlak yöneltme sağlanabilir. Bunun sağlanması için; önce uçuş yönü, resim ölçeği ve ileri bindirme oranı dikkate alınarak faydalı model alanı hesaplanır. Daha sonra bu değerler dikkate alınarak X ve Y yönlerinde hangi aralıklarla ve kaç nokta tesis edileceği bulunur. Bunun için modelin X yönündeki uzunluğu yaklaşık model bazı kadar alınırsa, nirengi noktası tesisi baz mesafesi (B) aralığında yapılır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Ülkemizde harita üretiminde 1960'lı yıllara kadar havuz yöntemi, 1960'lı yıllardan sonra dizi yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Havuz yönteminde çok sayıda nokta tesisi yapılması zorunluluğu, dizi yönteminde ise uçuşların tam kolon boyunca yapılamaması nedeniyle pek çok çalışmanın yenilenmesi gerekmiştir. Bu nedenle dizi ve havuz yöntemlerinden beklenen doğruluk ve ekonomi sağlanamamıştır (Şekil 5.7). Fakat bu yöntem eski bir yöntemdir ve artık kullanılmamaktadır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).



Şekil 5.7 Dizi yöntemine göre nirengi ve uçuş planlaması

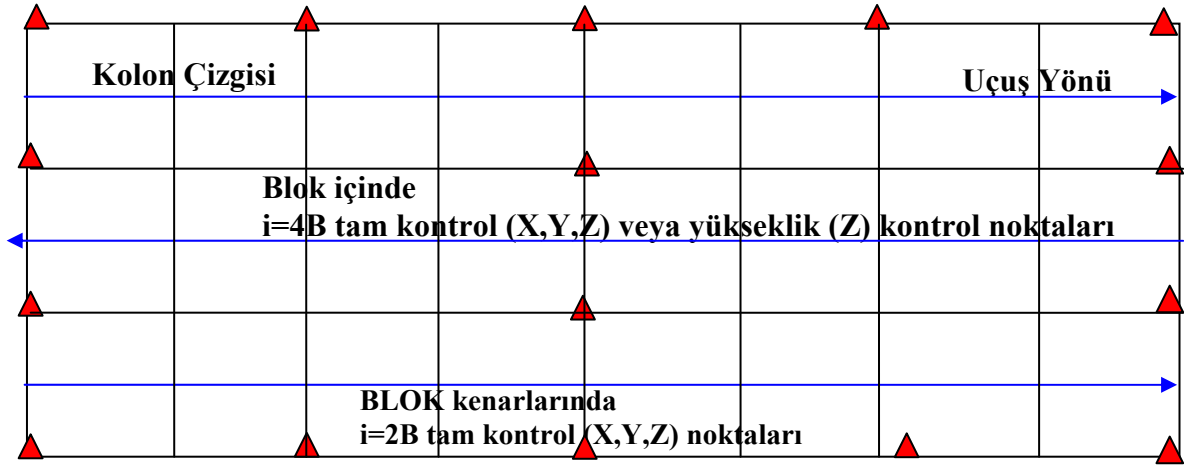
5.2.3 Fotogrametrik Nirengi Yöntemi

Havuz ve dizi yönteminde oluşan sakıncaları gidermek üzere 1970'li yıllarda geliştirilen ve arazide tesis edilmesi gereken nirengi nokta sayısını azaltan bir yöntemdir. Yöntemin temel amacı; arazide minimum sayıda nirengi noktası tesis etmek ve stereo modellerin mutlak yönelmeleri ile kıymetlendirme işlemlerinin yapılabilmesi için, her modelde bulunması gereken yeterli sayıdaki kontrol noktasının fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesidir. Bu yöntemde kolon başında ve sonunda mutlaka nirengi noktası olmalıdır.

Yöntemin uygulanmasında; kıymetlendirilecek paftaları, uçuş hatlarını ve mevcut nirengi noktalarını içeren bir uçuş planı hazırlanır. Bu plan dahilinde, iş bölgesinin dış çerçevelerinde resim alanına girecek şekilde aralarındaki uzaklık $2B$ kadar olan nirengi noktaları seçimi yapılır. Her kolonun baş ve sonlarında, kolon hattının üst ve altında olmak üzere en az 2 nokta seçilir. Bu noktaların aynı modele düşmesi sağlanmalıdır. Bloğun içerisinde ise, her kolonun üst ve alt tarafında yaklaşık $4B$ aralığında tam kontrol (X, Y, Z) veya sadece yükseklik kontrol noktaları (Z) seçimi yapılır (Şekil 5.8) (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Fotogrametrik nirengi yönteminde, arazide tesis edilen az sayıda nirengi noktası ile fotogrametrik yöntemle nokta sıklaştırması yapılarak, doğal veya yapay noktalar biçiminde kolon ve model bağlama noktaları tesis edilir, ölçülür ve dengeleme sonucu bu noktaların üç boyutlu koordinatları hesaplanır. Yeni nokta koordinatlarının hesabı ile beraber, ayrıca her bir

modelin 12 adet dış yöneltme parametresi (her iki resmin dış yöneltme elemanları; X_o , Y_o , Z_o , K , φ , ω) hesaplanır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

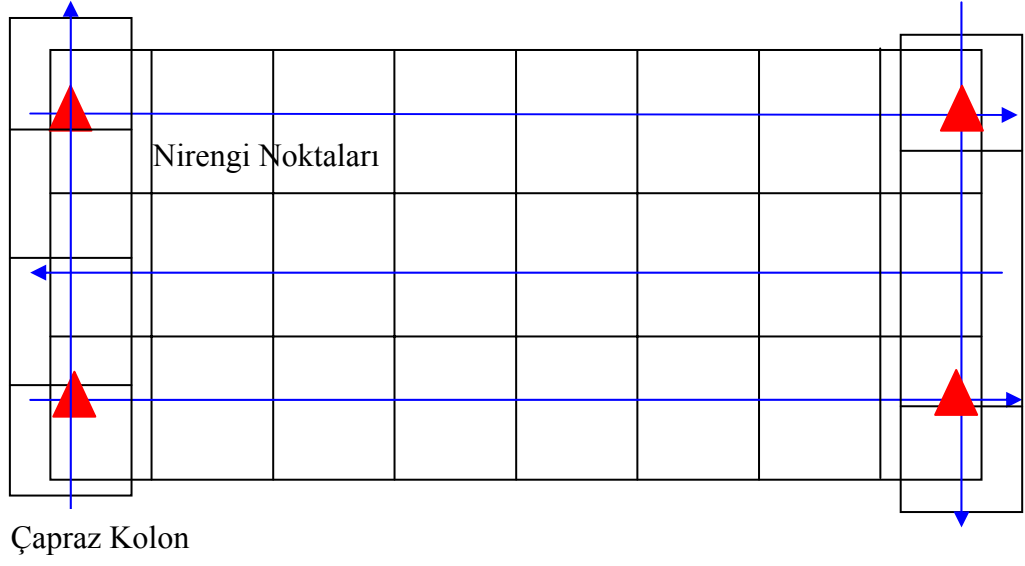


Şekil 5.8 Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması

5.2.4 Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi

Fotogrametrik nirengi yöntemi; arazide tesis edilen nirengi noktası sayısını minimuma indirerek nirengi noktası sayısında yaklaşık % 90-95'lik bir tasarruf sağlayan, resim uçuşu sırasında resim çekim noktalarının 3 boyutlu koordinatlarını (X_o , Y_o , Z_o) GPS uydularına yapılan gözlemlerle tespit etmeye yarayan, böylece mutlak yöneltme ve dengelemede bilinmeyenlerin büyük bir kısmının çözümlenebildiği bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).

Yöntemin uygulanmasında; hazırlanan uçuş planlarına bağlı olarak, düzgün bloklarda en az 4, ideali 2'şer noktadan 8 nirengi noktasının blok köşelerinde seçimi ve tesisi gerçekleştirilir. Bu noktalar jeodezik yöntemler ile konumlandırılır (Şekil 5.9) (Fotogrametri Ders Kitabı, 2003).



Şekil 5.9 Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması

Çizelge 5.1 Nokta Sıklaştırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

A. HAVUZ YÖNTEMİ	B. DİZİ YÖNTEMİ	C. FOTG.NİRENGİ YÖNTEMİ	D. GPS DESTEKLİ FOTG.NİR.
1.Arazide çok sayıda nirengi tesisi yapılır (1 modelde yaklaşık 5 nokta).	1.Nirengi sayısı havuz yöntemine göre % 20 azalmıştır (1 modelde minimum 4 nokta gereklidir).	1.Nirengi sayısı ilk 2 yöneme göre önemli ölçüde azalmıştır (1 modele yaklaşık 0.75 nokta)	1. Nirengi noktası sayısında % 90 civarında bir tasarruf sağlanmıştır (çok az sayıda nirengi noktası tesisi yeterlidir).
2.Arazide nirengi tesisi kolaydır. Çünkü havuz dairesinin çapına bağlı kalınarak nokta yeri değişebilir.	2.Bu yöneme göre noktaların arazide istenilen yerde tesis edilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Yöntem nokta yeri değiştirme esnekliğine fazla izin vermemektedir.	2.Bu yöntemde de nirengi noktalarının istenilen yere tesisi bazı durumlarda sağlanamaz. Eğer nokta istenen yerde tesis edilemezse, uçuş yönüne göre belirli mesafede doğu-batı veya kuzey-güney yönünde nokta tesisi yapılmalıdır.	2.Nirengi noktası sayısı çok az olduğundan, tesis edilmesi istenilen nirengi noktalarının genelde blok köşelerinde uygun bir yere tesisi olanaklıdır. Nokta yeri seçiminde elastikiyet sağlar.
3.Genelde ileri bindirme % 60 alınarak resim çekilir. Bu açıdan ekonomik bir yöntemdir.	3.Genelde % 90 ileri bindirmeli resim çekimi yapılarak, aralarından % 60–70 bindirmeli olanlar seçilir. Bu anlamda ekonomik olmayıp, ancak iyi bir uçuş planlaması ile ileri bindirme	3.Bu yöntemde resimlerin % 60 ileri bindirme ile çekilmesi uygundur.	3.Resimler % 60, ileri bindirme ile çekilir (yeterli).

	% 60 alınabilir.		
4.Eğer model köşelerinde ve iç kesimde yeterli sayıda nokta olmazsa, modelin mutlak yöneltmesi uygun şekilde yapılamayabilir.	4.Noktalar modelin 4 köşesinde seçildiğinden, noktaların konumu mutlak yöneltme yapılması için idealdir.	4.Noktaların konumu ve dağılımı özellikle düzgün bir blok oluşumunda önem kazanır. Noktaların model içindeki yeri çok fazla önemli değildir. Çünkü fotogrametrik nirengi yöntemi ile yeni noktalar oluşturulur.	4.Noktaların yalnız blok köşelerinde tesis edilmesi yeterlidir. Büyük bloklarda bloğun iç kesiminde de nokta tesisi gerekebilir.
5.Nokta sayısı bakımından ekonomik olmayan bir yöntemdir.	5.Nokta sayısı bakımından havuz yöntemine oranla % 20 daha ekonomik olmasına rağmen, yine de pahalı bir yöntemdir.	5.Nokta sayısı bakımından ilk 2 yöneme oranla oldukça ekonomiktir. Uzun yıllar başarıyla kullanılmıştır ve halen de kullanılmaya devam edilmektedir.	5.Diğer yöntemlere oranla nirengi nokta sayısı bakımından büyük tasarruf sağlar.
6.Modeldeki nokta konumu genelde uygun olmayacağından, değerlendirme doğruluğu kısmen düşüktür.	6. Teorik anlamda nirengilerin modeldeki konumu ideal olduğundan, değerlendirme doğruluğu havuz yöntemine göre daha iyidir.	6.Bu yöntemde tesis edilecek ilave fotogrametrik yeni noktaların sayısı yeterinden fazla olup, doğruluğu ve dağılımı son derece uygundur. Değerlendirme doğruluğu çok yüksektir.	6.Az sayıda kontrol noktasından yararlanarak yine fotogrametrik yöntemle ilave yeni noktalar hesaplanmaktadır. Yöntemin doğruluğu büyük ölçüde GPS gözlemlerinin doğruluğuna ve

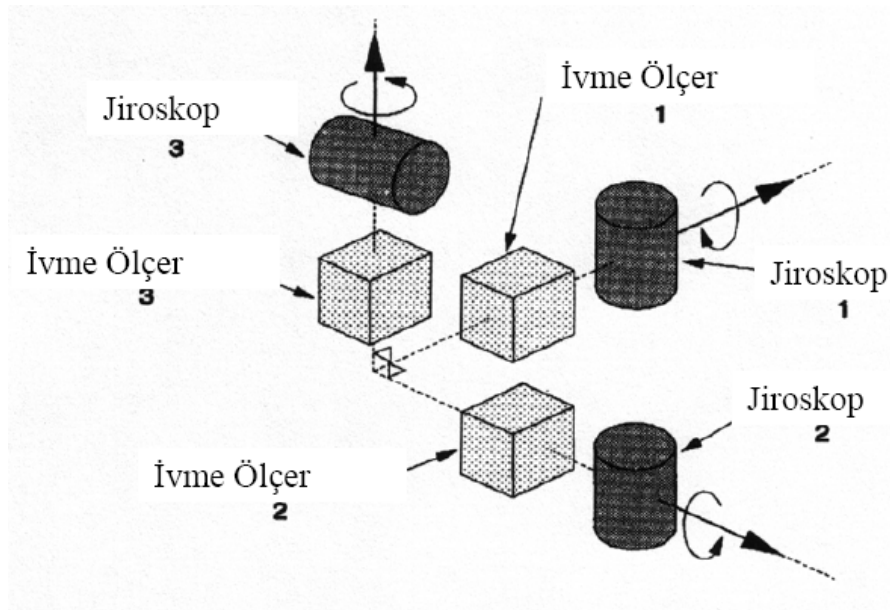
			fotogrametrik nirengi ölçümlerinin hassasiyetine bağlıdır.
7.Zorunlu hallerde ve özellikle yersel yöntemlerle harita üretiminde zaman zaman başvurulmuş bir yöntemdir. Günümüzde hemen hemen terk edilmiştir.	7.Günümüzde hemen hemen hiç kullanılmayan, yerini fotogrametrik nirengi yöntemine bırakmış bir yöntemdir.	7.Günümüzde gerekli hallerde kullanılan, iyi sonuçların alındığı bir yöntemdir.	7.Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan ve son derece ekonomik sonuçlar verebilen yöntemdir.
8.Uygulama ve hesap açısından zaman alıcı, maliyeti yüksek, bir yöntemdir.	8.Havuz yöntemine oranla bu özellikleriyle pek fazla farkı yoktur. Nirengi sayısı daha az, ancak hesap yükü daha fazladır.	8.Zaman, personel, malzeme tasarrufu sağlayan, ekonomik bir yöntemdir. Kullanılacak nokta sayısı nispeten az olmasına rağmen, dengelemeye giren nokta sayısı fazladır.	8.Kısa zamanda, az maliyetle, az sayıda personelle uygulanabilen, ekonomik bir yöntemdir. Ancak, yöntemin ilk maliyeti yüksektir.

5.2.5 GPS/INS, GPS/IMU Destekli Fotogrametrik Nirengi Dengelemesi

İnersiyal Navigasyon Sistemi (INS); devamlı olarak (kesintisiz) 3 ortogonal doğrusal ivme vektörünü ve açısal dönüklüğü ölçen bir sistemdir. INS teorisi; Newton'un, "inersiyal koordinat sistemine göre hareket halindeki bir aracın ölçülen gücü; sistemin doğrusal ivmeleri ile yerçekimi ivmesinin bir doğrusal kombinasyonundan elde edilebilir" kuramına dayalıdır. Elde edilen hızların ikinci integrali istenilen konumlama bilgilerini verir. Ayrıca dönüklük ölçümleri zamana bağlı entegre edilerek durum bilgileri hesaplanır (Cramer, 2001).

Platform ve bant üzerinde kayan sistemler olmak üzere genelde iki farklı tipte INS kullanılır. İlk sistemde ivme ölçüm birimi, 3 jiroskopun platformu içerisine sıkı sıkıya monte edilmiştir. İç platform aracının dönüklükleri izole edilmiş olduğu için, durum parametreleri istenilen bir yönlendirme değerinde ve sistemin havada hareketi sırasında sabit tutulabilmektedir. Bu sistemlerde küçük bir ölçüm mesafesinde çok duyarlı ölçüm yapabilecek şekilde algılayıcılar tasarlandığı için, çok daha doğru sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan, bu sistemler mekanik açıdan ele alındığında çok karmaşık ve yüksek maliyetlidir(Şekil 5.10).

Bunun tersine, bant üzerinde kayan sistemler ortogonal ivme ölçüm birimi kullanırlar ve jiroskop hareket eden aracın (uçanın) eksenlerine sabitlenmiştir. Sistemin açısal hareketleri, dönü algılayıcıları kullanılarak devamlı ölçülür. İvme ölçüm birimi uzayda durağan durumda değildir ancak içinde bulunduğu aracın hareketlerini takip eder. Bu nedenle, bu tür sistemlerin mekanik yapısı çok daha basittir ve önceki sistemlerle kıyaslandığında maliyetleri daha düşüktür.



Şekil 5.10 İnersiyal navigasyon sistemi

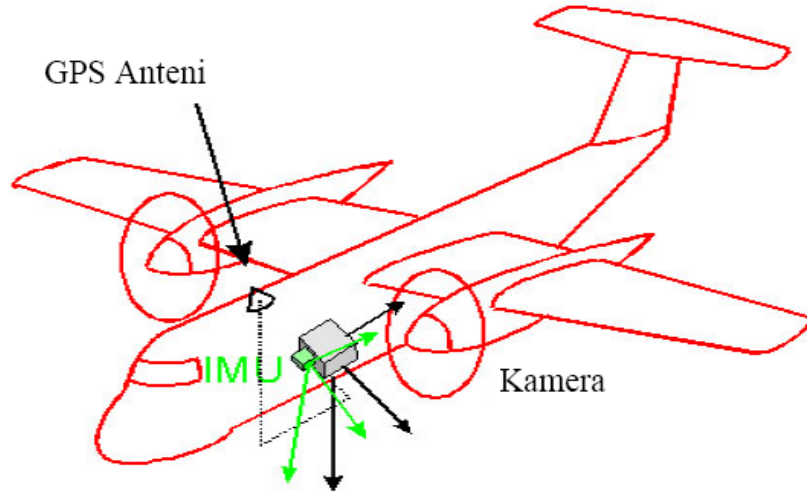
INS eğer tek başına (stand-alone) modda çalışıyor ve dış ölçümlerle güncelleştirilmiyorsa, yüksek rölatif doğruluk sağlar ancak zamana bağlı olarak mutlak doğruluğu bozulur. INS, anlık durum ve konum bilgilerini elde etmek için entegrasyon teknikleri kullandığından, konum ve durum hataları zamanla büyür. Zamana bağlı hata davranışı nedeniyle INS farklı doğruluk sınıflarında gruplandırılabilir. GPS ile sağlanan gözlemler sayesinde, uygun dış konum veya hız güncelleme ölçümleri ile sistematik hataların etkisi önemli ölçüde elimine edilir ve 1 saniye aralığında geliştirilmiş doğruluklar elde etmek mümkündür.

İnersiyal Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit-IMU) ise, jiroskop ve ivme ölçme sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir. IMU, INS sisteminin ana parçasıdır ve izdüşüm merkezi koordinatları ile üç dönüklük parametresini 50-200 Hz. frekansında belirleyerek bu bilgileri navigasyon amaçlı olarak kullanır.

Atalet verisi kuvvetli sürüklenmeler nedeni ile yalnızca kısa süreli boyutlarda yeterli doğruluğa sahip olur, bu nedenle mutlak doğruluğa sahip bir GPS ile kombinasyonu gereklidir. Yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile her iki sistemin yararlı yönleri birleştirilebilir ve böylece GPS-INS Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi (Direct Sensor Orientation - DSO) için kullanılabilir.

Bu sistemlerin birlikte kullanımı, tek tek kullanımları ile elde edilecek doğruluğu ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirmeye olanak sağlamaktadır. INS'in kısa aralıklardaki yüksek durağanlığı, GPS gözlemlerinde görülen hataları düzeltmeye olanak sağlar. Kestirim suretiyle elde edilen INS konumu ve hızı, GPS alıcısının taşıyıcı faz atlamalarını (cycle slip) belirtmeye ve uydu ile kopan bağlantıları bağlamaya yardımcı olur. Bağlama kapasitesi INS'in performansına bağlıdır. Diğer taraftan, GPS'in hayli uzun süreli durağanlığı sayesinde, GPS gözlemlerinin kullanılması ile INS'in sistematik ve zamana bağlı hatalarının giderilmesi mümkündür.

Temelde entegrasyon, donanım ve yazılım düzeyi konularının her ikisini de içerir. Donanım düzeyindeki entegrasyonda sistem bileşenleri bir “kara kutu” içerisinde birleştirilir ve bağlantıları kurulur(Şekil 5.11).



Şekil 5.11 GPS-INS entegrasyonu (Jacobsen, 2002)

Özetle GPS-INS ve GPS/IMU sistemleri, fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarında, nirengi noktasına ihtiyaç duyulmadan harita üretim faaliyetlerini gerçekleştirebilmek amacıyla yapılan çalışmalarda gelinen son noktadır. GPS-INS ve GPS-IMU sistemlerinin esas amacı, arazide nirengi noktası olmadan ve herhangi bir arazi çalışmasına ihtiyaç duyulmadan dış yöneltme parametrelerini uçuşta veya uçuştan hemen sonra tespit etmektir. Günümüzde gelişen teknolojik gelişmeler sonucunda IMU (Inertial Measurement Unit) ve DGPS (Differential Global Positioning System)'in birlikte kullanılmasıyla oluşturulan GPS/IMU sistemi kullanılarak uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda dış yöneltme elemanları doğrudan hesaplanarak elde edilebilmektedir. Dolayısıyla; resimlerin yöneltmesi için gerekli olan iç ve dış yöneltme bilinmeyenlerinin tamamı 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 değildir. 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 (A.C.Kiracı Tufuap 2008).

GPS-INS entegrasyonu konusunda günümüzde yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yönteminin yerine Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks-ANNs) yönteminin kullanılması yönündeki araştırmalar devam etmektedir. Sayısal fotogrametri uygulamalarında karşılaşılan ve özellikle kenar belirleme, görüntü segmentasyonu ve detay çıkarımı konularında karşılaşılan sorunların giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, Yapay Sinir Ağları tekniğinin İteratif Kalman Filtreleme yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği

tespit edilmiştir. İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile Yapay Sinir Ağları yönteminin karşılaştırılması Çizelge 5.2’de sunulmuştur (A.C.Kiracı Tufuap 2008).

Çizelge 5.2 Kalman Filtreleme yöntemi ile yapay sinir ağı yönteminin karşılaştırılması

	Kalman Filtreleme	Yapay Sinir Ağları
Model	Matematik Model; Deterministik Model + Stokastik Model	Deneyisel ve uyarlanabilir model kullanır.
Ön Bilgi	Özellikle ölçümler ve Sistem Gürültü Matrisleri için gereklidir.	Gerekli değildir.
Algılayıcı	Farklı algılayıcılar için parametrelerin yeniden yapılandırılması gereklidir.	Uyarlanabilir ve algılayıcılardan bağımsız algoritma kullanır.
Doğrusallık	Doğrusal işlemler.	Doğrusal olmayan işlemler.

5.3 Algılayıcı Yönelme Sistemleri

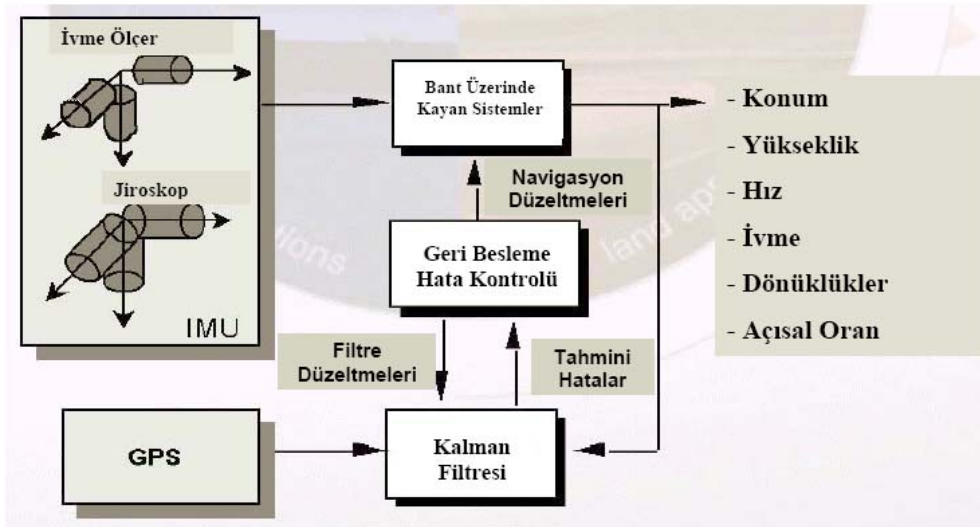
5.3.1 Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi

GPS’ in atmosfer, yörünge ve sinyale bağlı hata kaynaklarını, referans istasyonda hesaplanacak düzeltmelerle gezici alıcıda gidermeyi öngören sisteme Diferansiyel Global Konumlama Sistemi (Differential Global Positioning System–DGPS) denir. DGPS’in IMU ile birlikte kullanımı sayesinde dış yönelme parametrelerinin INS çözümlerinden doğrudan tespiti işlemine Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing) veya Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi (Direct Sensor Orientation-DSO) adı verilir. Bu yöntemde dış yönelme sadece GPS-IMU gözlemlerine bağlı olarak hesaplanır, obje koordinatları ise ayrı bir adımda elde edilir. Yöntem 3 adımda gerçekleştirilir. Bunlar; algılayıcı kalibrasyonu, GPS-IMU ön işlemleri ve dış yönelme parametrelerinin tespiti işlemleridir. Buradaki ikinci adım, kamera projeksiyon merkezi konumları ile dönüklük parametrelerinin yüksek frekansta belirlenebilmesi için, ham GPS sinyalleri ile IMU ölçülerinin obje uzayında yer alan yörüngelere dönüşümünü içerir. Günümüzde birleştirilmiş GPS ve IMU işlemlerinde kullanılan yaygın metot ise Kalman Filtrelemesidir (Cramer, 2001).

Doğrudan Coğrafi Konumlandırma yöntemi klasik yöntemlere göre bazı üstünlüklere sahiptir. Bunlar; uzak ve erişilemeyen bölgelerin haritalanması olanağı ve nokta ölçümü/eşlemesi ile fotogrametrik nirengi işlemlerine ihtiyaç duyulmaması sonucunda elde edilen önemli maliyet ve zaman tasarrufu şeklinde sıralanabilir. Her şeye rağmen Doğrudan Coğrafi Konumlandırmanın doğruluğu; DGPS, IMU ve datum kalibrasyonuna bağlı olarak meydana

gelen hatalar ile sınırlıdır. Bu hatalar tipik olarak 10 cm. standart sapmaya karşılık gelir. Bu doğruluk bazı büyük ölçekli haritacılık çalışmalarında yeterli değildir. Bu arada fotogrametrik modellerde oluşan artık Y paralaksarı tipik bir problem olarak karşımıza çıkar. Bu sorun görüntü koordinatları ile birlikte doğrudan algılayıcı yöneltmesine dayanan birleştirilmiş algılayıcı yöneltmesi ile çözümlenebilir.

Algılayıcının doğrudan yöneltmesi işlemi çok kesin olmayan veri işleme yöntemlerine ve özellikle seçilen koordinat sistemine karşı çok duyarlıdır. Fotogrametride kullanılan matematik model ortogonal (dik) bir koordinat sistemine dayalıdır. Klasik ulusal yatay kontrol ağları ise ortogonal olmayan koordinat sistemlerindedir. Çünkü bu sistemler yer küreselliğini izlerler ve veri toplama işlemleri buna dayalıdır. Klasik fotogrametride matematik modelin eksikliği yer küreselliği düzeltilmesi ile giderilebilmektedir. İkinci derece etkilerin neredeyse tamamı mutlak yöneltme ile giderilir. Oysa algılayıcının doğrudan yöneltmesinde, nirengi noktalarına dayalı bir yöneltme yapılmaz, mutlak yöneltme doğrudan belirlenen izdüşüm merkezlerine ve dönüklük parametrelerine bağlıdır. Yani yer noktalarının değerlendirilmesi, referans düzeyi üzerinde bir ekstrapolasyon işlemidir. Böyle bir ekstrapolasyonda tüm çözüm işlemi çok sıkı bir denetim altında tutulmalıdır, aksi takdirde oluşacak hatalar çözüm içerisinde giderilememektedir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi iş akışı

İdeal olarak bu yöntemde yerde hiçbir kontrol noktasına ihtiyaç duyulmamasının yanında her uçuşta boresight parametrelerinin yeniden hesaplanarak işlemlere eklenmesi gerekmektedir. Fakat bu hem zaman hem de maliyet açısından ekstra yükümlülükler getirmektedir. Bunun için iki yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri fazla uçuşu da önlemek maksadı ile kalibrasyon

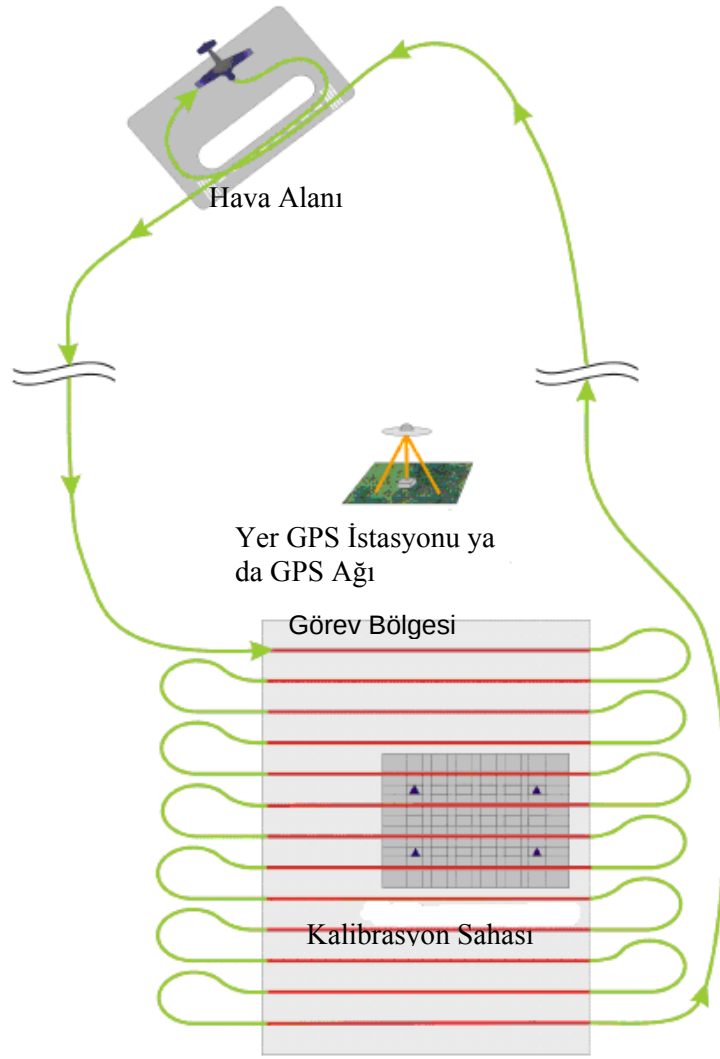
işlemini yapmak için blok içinde küçük bir kalibrasyon alanı tesis edilmesi, ikincisi ise bu kalibrasyon alanının blok bölgesinin dışında tesis edilmesidir.

Kalibrasyon alanının blok bölgesinin içinde tesis edilmesinin avantajları ise;

- Sadece kalibrasyon alanı için dengeleme işlemi yapılacak olması,
- Blok içindeki bölgeye ait bir alanda dengeleme yapılacağı için, koordinat dönüşümü ile ilgili sorunla kolayca tespit edilerek düzeltilebilecek olması,
- Özel bir alanın fazladan uçuşu gerekmemesidir.

Bunun yanında dezavantajları ise;

- Dengelemede kullanılacak olan YKN'lerin blok içine tesis edilmesi gerekmektedir. Eğer bloktan ayrı başka bloklar uçulacaksa o bloklar içinde de kalibrasyon alanlarının tesis edilmesi gerekecek olması,
- Kalibrasyon alanı blok içine tesis edilmesin mümkün olmadığı durumlarda kullanılamayacak olması,
- GPS/IMU veri ölçümleri dikkatli yapılması gerekmektedir (Şekil 5.13)



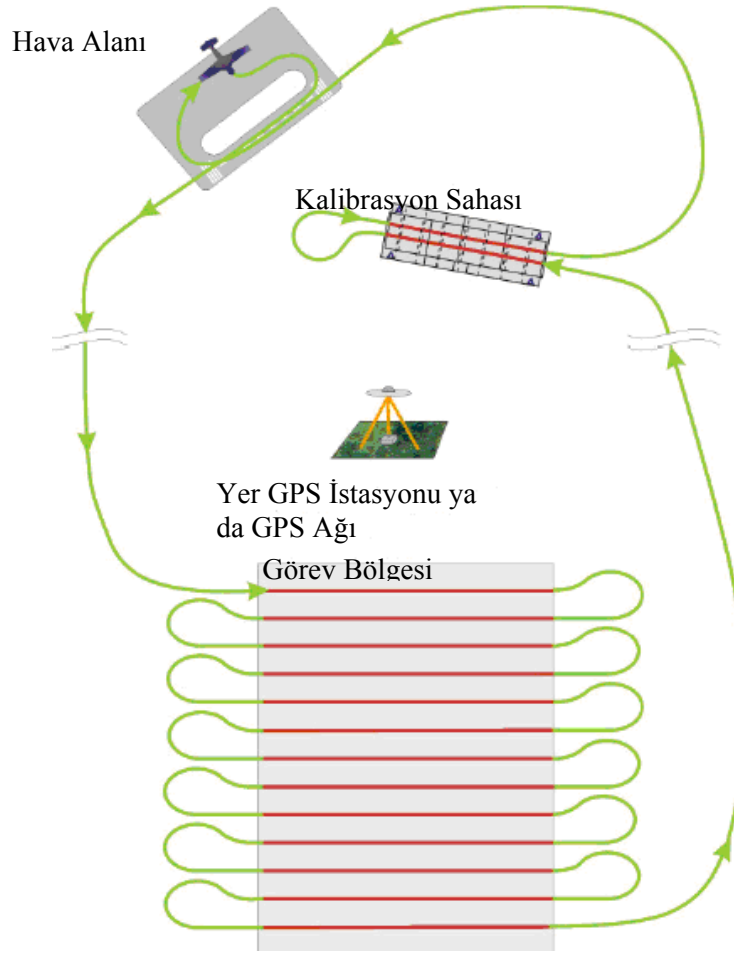
Şekil 5.13 Doğrudan Coğrafi Konumlandırma – Kalibrasyon Alanı Blok İçinde

Diğer yöntemin avantajları ise;

- Dengeleme işlemi sadece kalibrasyon alanı için olacaktır.
- Blok ve proje sayısından bağımsız olarak sadece bir kere dengeleme yapılması yeterli olacaktır.

Bu yöntemin dezavantajları ise;

- Fazladan resim çekilecek ve fazladan uçulması gerekmektedir.
- GPS/IMU veri işlemler çok dikkatli yapılmalıdır. Blok GPS verileri ile karıştırılmamalıdır.
- Koordinat dönüşümü ile ilgili sorunlar sonuç ürünü direk olarak etkilemektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Doğrudan Coğrafi Konumlandırma – Kalibrasyon Alanı Blok Dışında

5.3.2 Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi

Doğrudan dış yönelme parametre verilerinin klasik blok dengeleme sistemine dahil edilmesi, fotogrametrik nirengi teknikleri çözümde oluşan artıkt hataların elimine edilmesinde kullanılabilir. Bu yönetime Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi (Integrated Sensor Orientation) adı verilir. Bu yöntemde, bağlama noktaları da dahil olmak üzere tüm bilgiler en yüksek doğruluğu elde etmek için eş zamanlı olarak işlem görürler. Yöntem klasik fotogrametrik nirengi sistemine göre birçok üstünlüğe sahiptir. Bunlardan en önemlisi, doğrudan dış yönelme sayesinde elde edilen stabil geometrinin nirengi noktası sayısını azaltması ve bağlama noktası sayısını minimuma indirmesidir.

Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi birçok kullanım alanına sahiptir. İlk olarak, DGPS/INS verilerinin datum kayıklığını veya boresight dönüklüğünü (bir tür dışmerkezlik) kalibre etmek için doğrudan coğrafi konumlandırma ile birleştirilerek bir kalite kontrol aracı olarak kullanılabilir. İkinci olarak, DGPS hatasının ihtiyaç duyulan konum doğruluğunu yeterince karşılayamadığı büyük ölçekli harita üretimi projelerinde, daha iyi bir doğruluk elde etmek

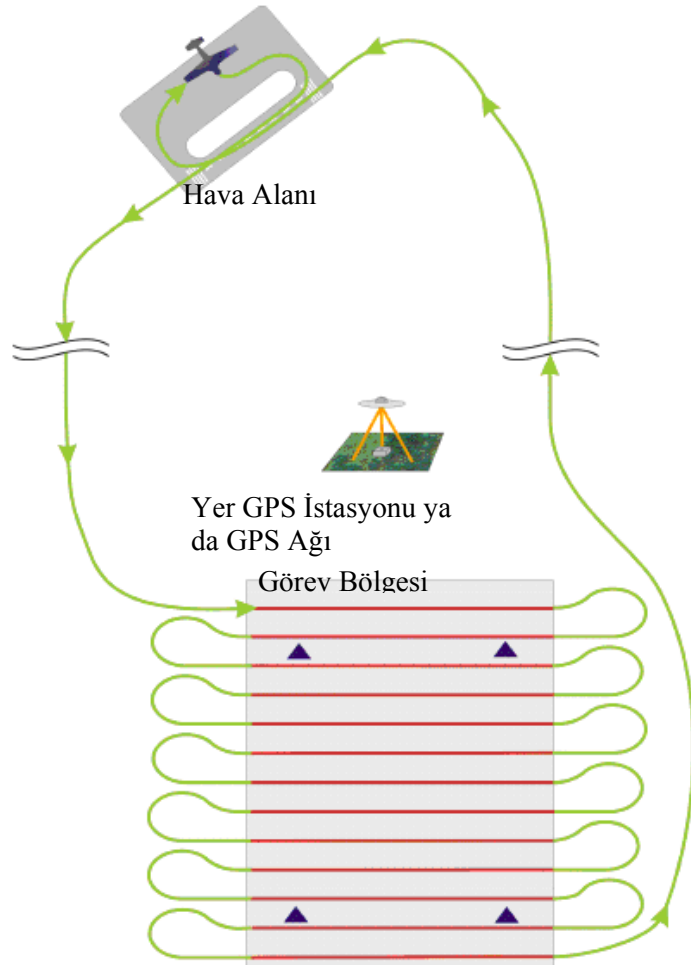
için Doğrudan Coğrafi Konumlandırma sistemiyle birlikte kullanılabilir. Son olarak, eğer minimum 2 kolona sahip blok konfigürasyonlarında uçuş yapılyorsa, yüksek performansa sahip sistemlerle elde edilebilecek sonuçlara erişebilmek için, Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi daha düşük doğruluğā sahip olan bir sistemle bir arada kullanılabilir.

Bu yöntemde, dış yönelme parametrelerinin hem bağlama noktası eşleştirme yazılımında hem de nokta toplama stratejilerinde uygun kullanımı ile işlem zamanı optimize edilebilir. Daha fazla bağlama noktasına sahip olmak aslında fotogrametrik nirengi sonuçlarını kötüleştirmektedir. Bunun nedeni de, toplanan bağlama noktalarından daha fazla hatanın fotogrametrik nirengi işlemlerine etki etmesidir. Yani, Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesini uygulamak için işlem zamanını azaltmaya yarayacak şekilde, uygun ve minimum sayıda bağlama noktası kullanılmalıdır.

Bu yöntemin avantajları sıralanacak olursa;

- Sadece 4 nirengi noktası yeterlidir. Ayrıca bir kalibrasyon alanına ihtiyaç yoktur.
- Fazladan kalibrasyon alanı uçulması gerekmemektedir.
- Kolay GPS/IMU işlemi vardır.
- Yüksek doğruluk elde edilebilmektedir.
- Kalibrasyon işlemleri direk olarak blok değerleri ile yapılacağından koordinat dönüşüm sorunları olmayacaktır.
- Özellikle iz projelerinde kullanışlıdır (Boru hattı, Otoyollar ..vb.).

Bu yöntemin dezavantajları ise; dengeleme işleminin tüm blok için uygulanması gerekmektedir (Şekil 5.15).

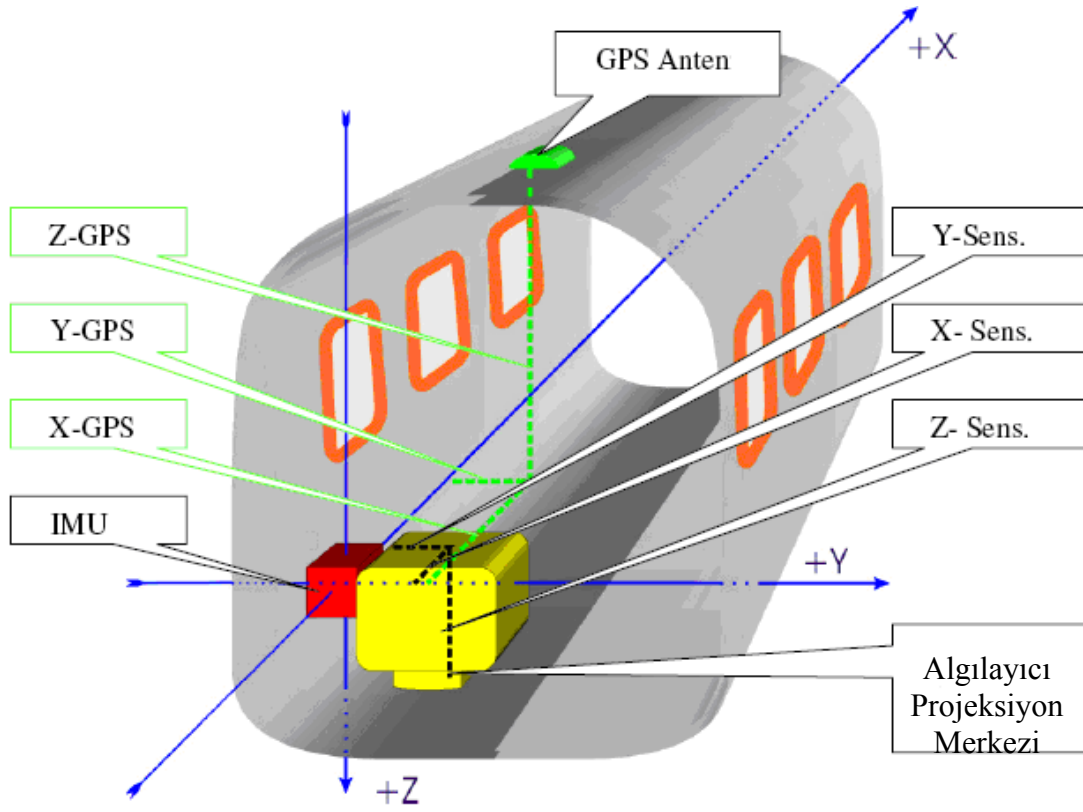


Şekil 5.15 Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi

5.3.3 Kalibrasyon İşlemleri

Veri toplama aşamasında kullanılan herhangi bir algılayıcıya ait resim dönüklük parametrelerinin tespiti ancak IMU ve GPS sistemlerinin birlikte kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Entegre edilmiş bu sistemde; GPS anteni, IMU ve görüntü alma sistemi uçakta farklı noktalara konumlandırılmıştır. Bu nedenle bu sistemler arasındaki mesafeler tespit edilmek zorundadır. Aynı şekilde, IMU ve görüntü alma sistemine ait eksenler de aynı değildir ve bunlar arasında da bir dönüklük matrisi mevcuttur. Bunlara genel olarak lever-arm olarak adlandırılmıştır ve toplam üç adettir;

- GPS anten lever-armı
- Algılayıcı lever-armı
- Platform (Mount) lever-armı (Şekil 5.16)



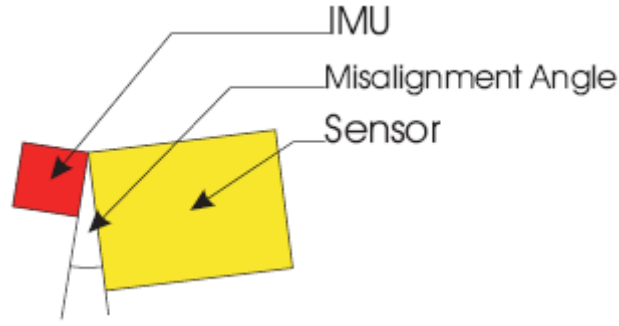
Şekil 5.16 Lever-arm'lar

Eğer IMU algılayıcısının sağ tarafına yerleştirilmiş ise, GPS anteninin Z ve Y eksenleri ile algılayıcının Y eksenini negatif olur.

Şekil 5.13'de görünen +X eksenini uçuş yönünü göstermektedir. Bununla beraber bazı havai nirengi programları kameraların projeksiyon merkezini referans olarak kabul ederken diğerleri resmin orta noktasını kabul etmektedir. GPS anteninin Z eksenini genel olarak negatif alınır. Her zaman için lever-arm uzunlukları IMU'dan algılayıcıya, IMU'dan GPS antenine ve IMU'dan platform merkezine ölçülür.

Kayıklıkların tespiti için yapılacak IMU kalibrasyonu ile iç yönelme parametrelerinin tespiti için yapılacak görüntüleme sistemi kalibrasyonu, algılayıcı kalibrasyonunun temel bileşenleridir.

Kalibrasyon; algılayıcılar arasındaki sabit konum farkı vektörünün ve IMU ana gövdesi ile görüntü algılayıcısı arasındaki sabit dönüklük matrisinin tespitini içermektedir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Hata(Misalignment) Açısı

Kalibrasyon aşamasında ana problem olan ve IMU ile görüntü algılayıcısı arasındaki ilişkiyi ifade eden boresight dönüklüğü, bir kalibrasyon uçuşu sonucunda gerçekleştirilen birleşik blok dengelemesi sayesinde tespit edilir. İç yöneltme düzeltmesinde ve IMU ile görüntü algılayıcısı arasındaki 3 kayıklık ve 3 dönüklük açısında meydana gelecek küçük değişimler Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi'ne etki eder. Çünkü odak uzaklığında meydana gelen değişimler yükseklikle bağlantılı olarak ölçek faktörünü de etkiler. Bu nedenle, boresight dönüklüğü ve gerçek iç yöneltme parametreleri, referans alanı üzerinde yapılacak iki farklı ölçekteki kalibrasyon uçuşu ile tespit edilirler.

Boresight dönüklüğünü her uçuşta tespit etmek artık yaygın bir strateji haline gelmiştir. Bazı kuruluşlar bu işlemi hem uçuştan önce hem de uçuştan sonra yapmaktadırlar. Asal nokta konumunu kontrol edebilmek için referans uçuşları, nirengi noktaları ve zıt yönde uçuş kolonları olan bir test alanı üzerinde gerçekleştirilmelidir. Eğer referans uçuşu test alanı üzerinde tek bir yükseklikte gerçekleştirilirse, kamera odak uzaklığının tespitine ihtiyaç duyulmaz, çünkü esas etki kayıklık parametreleri nedeniyle oluşmaktadır. Eğer referans uçuşu farklı yüksekliklerde olacaksa, kamera odak uzaklığını da içeren tüm sistemin kalibrasyonu iki farklı yükseklikte uçuş yapılarak gerçekleştirilmelidir. Tek bir uçuş yüksekliği kullanılarak yapılan çalışmalarda kamera odak uzaklığı GPS konumlamasında oluşan sabit Z kayıklık hatalarından arındırılamaz. Eğer proje alanı farklı yüksekliklerde uçulduysa, asal nokta ve kamera odak uzaklığındaki problemler çok önemlidir. Eğer daima aynı fotoğraf ölçeği yani aynı uçuş yüksekliği kullanılırsa, oluşan hataları ayrı ayrı değerlendirmeye gerek yoktur. Çünkü bu hatalar ve farklar, obje uzayında aynı etkiye sahip olacaklardır.

Tek yönlü uçuş kolonu olan ve yerde nirengi noktası bulunmayan minimal bir blok geometrisi, asal nokta ve boresight bilinmeyenlerinin tespitine olanak sağlar. Söz konusu minimal blok yapısı ile kalibrasyon yapmak çok avantajlıdır. Tek bir nirengi noktası güvenilirliği artırır, ancak iyi bir doğruluk elde etmek için birden fazla nirengi noktasına

ihtiyaç duyulur. Bu nirengi noktalarının blok köşelerinde olması tercih edilir. Eğer 20 cm.den fazla datum düzeltmesi veya 20 mikronmetreden fazla asal nokta aralığı düzeltmesi gerekli ise, bir çift nirengi noktasının kullanılması avantaj sağlar.

Bir uçuş yüksekliği ile kalibrasyon durumunda, boresight dönüklüğü yalnızca bu yükseklik seviyesi için doğrudur. Kalibrasyon iki farklı yüksekliğe dayalı ise, odak uzaklığı bir değişim ile birlikte belirlenir ve sonuçlar bu iki uçuş yüksekliği arasında geçerlidir, aynı zamanda bunların dışındaki bir yükseklik için de ekstrapolasyon yapmak mümkündür. Daha iyi bir çözüm, boresight dönüklüğünün teğetsel düzlem sisteminde kalibre edilmesidir. Bu, resim ölçeğinden bağımsız genel bir yöntemdir, ulusal koordinat sisteminde veri toplamada doğrudan kullanılamaz. Ayrıca boresight dönüklüğünün durağanlığı sınırlı olduğundan, IMU sisteminin üzerine monte edilemeyen analog film kameralarının kullanılması bazı problemlere yol açmaktadır. Ancak bu durum uygun bir IMU yapısı ve stabil bir görüntü düzlemine sahip olan yeni sayısal kameralar kullanıldığında farklı olabilir.

Matematik modele bağlı olarak, kalibrasyon parametrelerini tespit etmek için tek adımlı veya iki adımlı işlemler uygulanabilir. Tek adımlı kalibrasyon işlemlerinin temelinde; blok dengelemesi için kullanılan fonksiyonel modelin, her bir GPS-IMU verisi ile nirengi noktasına ait pseudo gözlem eşitlikleri tarafından tamamlanması prensibi yer alır. İki adımlı kalibrasyon işlemlerinde ise; standart nirengi noktalı birleşik blok dengeleme ile elde edilen dış yöneltme parametreleri, aynı uçuşta elde edilen GPS-IMU verisiyle ölçülen dış yöneltme parametreleri ile karşılaştırılır. Kalibrasyon parametreleri, blok dengeleme ve GPS-INS işlemlerinden elde edilen dış yöneltme parametreleri arasındaki farkların ağırlıklı ortalaması olarak değerlendirilir.

Sonuç olarak sistem kalibrasyonu; boresight dönüklüğü, GPS anten kayıklığı ve zaman senkronizasyon hatalarının tespitini kapsar. Tek başına algılayıcı kalibrasyonu üretim sonrasında gerçekleştirilir ve böylece bazı parametreler GPS ve IMU ölçümlerinin entegrasyonu işlemleri ile kontrol edilir. GPS anten kayıklığı ise klasik ölçüm yöntemleri ile tespit edilir. (Aksu, 2004)

5.4 Uçuş Planlaması

5.4.1 Uçuş Planının Hazırlanması

Resim çekiminin planlanması ya o bölgenin küçük veya orta ölçekli bir haritası üzerinde, daha önce çekilmiş küçük ölçekli resimleri kullanılarak klasik şekilde ya da bilgisayar ortamında çeşitli programlar kullanılarak sayısal olarak yapılabilir.

Günümüzde Harita Genel Komutanlığı tarafından icra edilen tüm uçuşlarda, sayısal hava kamerasının tedarik edilmesi ile beraber GPS/IMU Destekli Fotogrametri yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde hem yerde hem de uçakta birer tane GPS alıcısı mevcuttur. Bu GPS alıcıları uçuş esnasında eş zamanlı ölçü yaparlar. Bu ölçüler büyük ölçekli çalışmalarda 1 sn. aralığında, küçük ölçekli ve hassas çalışmalarda ise 0.5 sn. aralığında gerçekleşir. GPS alıcısına bağlı olan kamera sistemi her bir fotoğraf çekiminde GPS verisine bir işaret koyar. Bununla beraber uçaktaki GPS ve kamera ile senkronlu olarak çalışan bir inersiyal navigasyon sistemi de dönüklük parametrelerini ölçmektedir. Uçuş sonunda uçakta ve yerde elde edilen GPS verileri ve IMU verileri birlikte yazılım ile işleme sokularak her bir fotoğrafa ait resim orta nokta koordinatları ve dönüklük parametreleri elde edilir. Bu koordinatlar ve dönüklük parametreleri fotogrametrik nirengi işlemleri sonucunda sadece blok köşelerinde yer alan nirengilere dayalı olarak gerçekleştirilen dengeleme işlemlerinde büyük faydalar sağlarlar.

Harita Genel Komutanlığında planlama faaliyetleri tamamen bilgisayar destekli olarak yürütülmekte olup planlama yazılımı kullanılmaktadır. Bu programda gerçekleştirilen planlama faaliyetleri Autocad tabanlı çizim programları sayesinde çok sistematik ve hassas biçimde yürütülebilmektedir. Söz konusu programda kaydedilen plan, uçakta yer alan kamera ve GPS/IMU sistemi ile birlikte çalışan sisteme girildiğinde plan hem pilotun hem de navigatör/fotoğraf operatörünün önündeki ekranda görülebilmektedir. Bu şekilde pilot uçağı otomatik olarak istediğı kolon üzerinde uçurabilmektedir. Uçak belirlenen sınırları aşarak uçuş doğrultusundan saptığı takdirde sistem navigatör/fotoğraf operatörüne çekilemeyerek pas geçilen fotoğraf ve/veya kolonları göstermektedir. Bu şekilde uçuş personelinin hata yapması hem de kolonlar arası açık kalması engellenmektedir.

5.4.2 Planlama

Öncelikle haritası yapılacak bölge belirlenir. Bölge basılı haritalar veya eski fotoğraflar üzerinde belirlenebileceğı gibi sayısal ortamda var olan raster haritalar veya koordinatlı görüntüler üzerinde de belirlenebilir. Bilgisayar ortamında yapılacak planlama işlemleri için haritası yapılacak bölge sayısal ortamda çizilerek veya sayısallaştırılarak da belirlenebilir.

Sayısal ortamda bulunan veriler uçuş planlamasının yapılacağı programda altlık olarak kullanılır.

Fotoğraf ölçeği belirlenir. Fotoğraf ölçeği belirlenirken harita ölçeği, maliyet unsuru, yapılacak çalışmanın hassasiyeti, elde mevcut bulunan kameralar vb. gibi konular dikkate alınır.

Üretimi gerçekleştirilecek harita ölçeği birinci derecede fotoğraf ölçeğine etki eder. Kural olarak fotoğraf ölçeği harita ölçeğinin 4 katından küçük olmamalıdır. Pratik uygulamalarda; 1: 1000 ölçekli harita yapımı için 1: 4000, 1: 2500 ölçekli harita yapımı için 1: 10000, 1: 5000 ölçekli harita yapımı için 1: 18000, 1: 10000 ölçekli harita yapımı için 1: 25000 ve 1: 25000 ölçekli harita yapımı için 1: 35000 ölçekli hava fotoğrafları çekilir. Harita Genel Komutanlığında mevcut sayısal kamera ile sayısal hava fotoğrafları alımı 1: 25000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için 1: 60000 ölçeğinde hava fotoğrafları çekilmektedir. Karar verilen hava fotoğrafı ölçeği çalışmanın hassasiyetine direkt olarak etki eder.

Söz konusu fotoğraf ölçeği belirlenirken uçağın havada kalış süresi, çekilecek fotoğraf sayısı, fotoğraf sayısına bağlı olarak gerçekleştirilecek olan banyo ve kart-dia baskı işlemleri vb. gibi konular nedeniyle oluşacak maliyet de göz önüne alınmalıdır. Uçuş ne kadar büyük ölçekli olursa maliyetin o kadar büyük olacağı aşîkardır. Sayısal kameralarda ise gene havada kalış süresi, yükseklik farklarına göre ayrı yükseklikte uçuş yapılması, bunlara bağlı olarak alınacak görüntü sayısı, görüntülerin aktarımı, harcanan zaman, depolama maliyeti..vb. gibi etkenlerle oluşacak maliyet ve görüntü yükünün işlem süresi ve blok oluşturma, dengeleme maliyetleri gen direk olarak görüntü ölçeğinin büyüklüğü ile orantılı artmaktadır.

İdeal olarak uçuş esnasında fotoğraf ölçeğinin artı ve eksi yönde % 10'dan daha fazla değişmemesine dikkat edilir. Fotoğraf ölçeğine ilişkin bu özellikler planlama programına girilir.

Uçuş zamanı belirlenir. Uçuş zamanında bölgenin hava koşulları ve uçuş zamanlaması da uçuşa etki eden önemli etkenlerdendir. Uçuş zamanı ve mevsim koşullarından kastedilen hem yıl içindeki mevsim koşulları hem de gün içindeki fotoğraf çekim saatleridir. Uçuş ideal olarak güneş ışığının yeryüzüne dik olarak geldiği yaz aylarında çekilmelidir. Aksi takdirde güneş ışığının eğik gelmesi nedeni ile çekilen fotoğraflarda gölgeli alan çok fazla olur. Ülkemizde resim çekimi Nisan başından Ekim sonuna kadar yapılabilmektedir Aynı zamanda fotoğraflarda ışık yetersizliği nedeni ile netlik ve parlaklık gibi sorunlar yaşanır. Aynı mantık

ile gün içinde fotoğraf alım saatleri de, güneş ışığının dik ve net olarak yeryüzüne ulaştığı, pus ve sis olmayan öğlen saatleri (10.00 – 14.00) olarak tercih edilmelidir.

Uçuş yüksekliği belirlenir. Elde mevcut bulunan kameralar uçuş yüksekliğinin belirlenmesinde en önemli etkidir. Günümüzde en yoğun olarak kullanılan kameralar 150 mm. ve 300 mm.lik odak uzaklığına sahip olan kameralardır. Harita Genel Komutanlığında da bu iki kamera çeşidi ile beraber 100 mm.lik odak uzaklığına sahip sayısal hava kamerası da mevcuttur. Kamera odak uzaklığı küçüldükçe uçuş daha yüksekten gerçekleşir. Böylece yüksek uçuşlarda hassasiyet azalırken alçak uçuşlarda hassasiyet artar. Bu nedenle düz alanlarda ve küçük ölçekli çalışmalarda (revizyon gibi) kamera odak uzaklığı küçük olan kamera tercih edilmelidir. Yükseklik farkının çok fazla olduğu arazilerde ve büyük ölçekli çalışmalarda ise kamera odak uzaklığı büyük olan kamera tercih edilmelidir.

Kameraya bağlı olarak uçuş yüksekliği belirlenirken;

$$\text{Fotoğraf ölçeği (} 1 / \text{mr)} = \text{Odak uzaklığı} / \text{Uçuş Yüksekliği} \quad (5.1)$$

formülü dikkate alınır. Bu formüle bağlı olarak bir feet’ in yaklaşık 3.3 m. olduğu kabul edilirse pratik olarak 300 mm. lik kamera kullanıldığında feet cinsinden uçuş yüksekliğinin fotoğraf ölçeğinin sayısal değeri ile eşit olduğu, 150 mm. lik kamera kullanıldığında ise feet cinsinden uçuş yüksekliğinin fotoğraf ölçeğinin sayısal değerinin yarısı olduğu hesaplanabilir. Uçuş yüksekliği ile ilgili bilgiler de planlama programının ilgili kısımlarına girilir.

Fotoğrafın arazide kapsadığı alan hesaplanır. Bu hesap yapılırken;

$$S = s * \text{mr} \quad (5.2)$$

eşitliği kullanılır. Bu eşitlikteki S fotoğrafın arazide kapsadığı mesafeyi, s fotoğraf boyutunu ve mr ise fotoğraf ölçeğinin payda değerini ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

Boyuna bindirme oranı ve baz mesafesi hesaplanır. İdeal olarak boyuna bindirme oranı % 60 - % 65 olarak tespit edilmiştir. Bu oranın daha az olması durumunda üç boyutlu görüş imkanı azalır, oranın daha çok olması ise maliyeti artırır. Baz mesafesi ise;

$$b = s * \text{mr} * (1 - p) \quad (5.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki b baz mesafesini, s fotoğraf boyutunu, mr fotoğraf ölçeğinin payda değerini, p ise boyuna bindirme oranını (% 60 = 0.6 gibi) ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

Enine bindirme oranı ve kolonlar arası mesafe hesaplanır. İdeal olarak enine bindirme oranı % 20 - % 30 olarak tespit edilmiştir. Bu oranın daha az olması durumunda kolonlar arasında açıklık olması ihtimali, oranın daha çok olması ise maliyet artar. Kolonlar arası mesafe ise;

$$a = s * mr * (1-q) \quad (5.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki a kolonlar arası mesafeyi, s fotoğraf boyutunu, mr fotoğraf ölçeğinin payda değerini, q ise enine bindirme oranını (% 30 = 0.3 gibi) ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

Sınırlamalar belirlenir. Uçuşla ilgili en kritik sınırlama uçuş istikametinden yani kolondan sapmadır. Enine bindirme oranının minimum olarak % 20 olduğu düşünülürse her iki yönde oluşabilecek maksimum % 10'luk bir sapmaya izin verilebilir. Bir yönde % 10 olan sapma diğer kolonda ters yönde % 10'dan fazla olursa iki kolon arasında açıklıklar oluşur. Sınırlamalara ilişkin bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

Koordinat bilgileri belirlenir. Özellikle planlama bilgisayar destekli olarak gerçekleşiyorsa, planlamanın yapıldığı koordinat sistemi ile Kinematik GPS destekli olarak yapılacak uçuş koordinat sistemi arasında bir koordinasyon sağlanmalıdır. Bu nedenle planlama hangi koordinat sisteminde yapılıyorsa bu sistem programa tanıtılmalıdır. Böylece uçuş planlaması bittiğinde Hava Grup Komutanlığına teslim edilen plan, otomatik olarak plan koordinat sisteminden Kinematik GPS destekli uçuşun yapılacağı sistem olan WGS84 sistemine dönüştürülür.

Planlamaya ilişkin çizimler yapılır. Kolonlar çizilir. Klasik sistemlerde kolonlar aydınlatmalar üzerine çizilirken günümüzde bilgisayar ortamında çizilmektedirler. Planlama programı sayesinde kolonların yerleştirilmesi ve çizilmesi konularında büyük kolaylıklar sağlanmıştır.

Daha sonra nirengilerin konumları tespit edilir. Nirengilerin konumları Kinematik GPS destekli uçuş planlamasına uygun şekilde belirlenir. Geçmiş yıllarda havuz yöntemine uygun olarak nirengi sayısı ve konumu belirlenirken teknolojinin gelişmesi ve dengeleme programlarında sağlanan ilerlemeler sonucunda nirengi sayısında büyük oranda azalma

sağlanmıştır. Günümüzde kullanılan Kinematik GPS destekli uçuşlarda ise nirengi sayısı sadece blok köşelerinde olacak şekilde minimum seviyeye inmiştir.

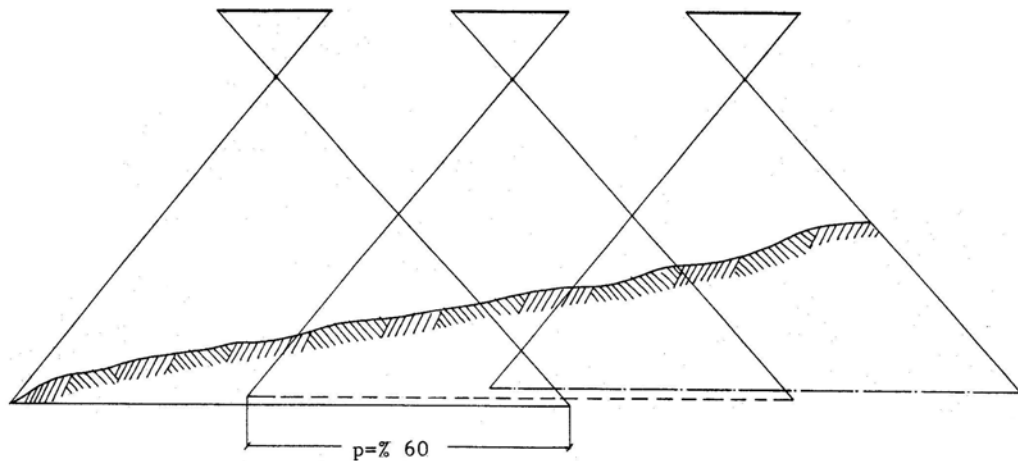
En son olarak çapraz kolonlar çizilir. Nirengilerin hem yatay hem de düşey kolonlarda görülmesi önem arz ettiğinden çapraz kolonların buna uygun olarak yerleştirilmesine dikkat edilir.

Kolon yükseklikleri girilir. Kolonlar arası bindirmeler kontrol edilir. Kolondaki yükseklik farkına bağlı olarak ölçek değişimine dikkat edilir. Ölçek değişiminin maksimum % 10 olması istenir. % 10'dan fazla ölçek değişiminin oluşacağı kolonlar ise bölünerek ölçek korunur.

Uçuş yönü belirlenir. Bu önemli husus belirlenirken,

- a) Arazinin en az kolonla kapatılmasına,
- b) Bir paftanın en az sayıda ve en uygun konumda model ile kapatılmasına,
- c) Bir model içinde fazla yükseklik farkı olmasını önlemek amacıyla arazideki vadilere ve varsa dağ ve tepe sıralarına paralel uçulmasına,
- d) Akarsularda göl ve deniz kıyısına paralel uçulmasına dikkat edilir. Deniz ve göl kenarındaki alanlar resimlenirken, planlanan kolonlardan başka, bir kolon da sahil boyunca resim çekilir. Böylece yarım ve eksik modellerin ortaya çıkması olasılığı azaltılmış olur.

Eğer kolon boyunca, uçuş yönünde büyük yükseklik farkı varsa, kolonun bu kısımları ayrı ayrı yüksekliklerden resimlenir. Aksi halde boyuna örtü oranı azalır (Sekil 5.18).



Şekil 5.18 Arazi yüksekliği arttıkça boyuna örtü oranı azalır.

Bunu önlemek için iki yol vardır:

— Arazi yüzüne (topografyasına) paralel uçmak;

Bu yöntem çok zor olduğundan pek uygulanmamaktadır.

— Bazı küçültmek.

Gerçekten baz küçültülürse boyuna örtü oranı istenilen değere tekrar çıkarılır. Bilgisayar destekli planlamadan önceki dönemlerde yapılan klasik uçuşlarda bazın ne kadar küçültülmesi gerektiği, yani t 'nin değeri, kameranın navigasyon teleskopundan arazi ile beraber gözlenen hareketli dikenli tel ile sağlanır. Dikenli telin hızı, rasıt tarafından ayarlanır. Arazinin hızı ile dikenli telin hızı birbirine eşit yapıldığında, dikenli tel durmuş gibi görünür. Bu durumda kamera, ayarlanan boyuna örtü oranında resim çeker. Şekil 5.18'deki durumda arazi hızı fazlalaşacağından, dikenli tel ile hız uyumu bozulur ve tel hareket ediyormuş gibi görünür. Telin hızını, yani t 'yi ayarlayan vida ile dikenli telin hızı, arazi hızına çıkarılınca yani t küçültülünce, boyuna örtü oranı gene ayarlanan değere ulaştırılmış olur.

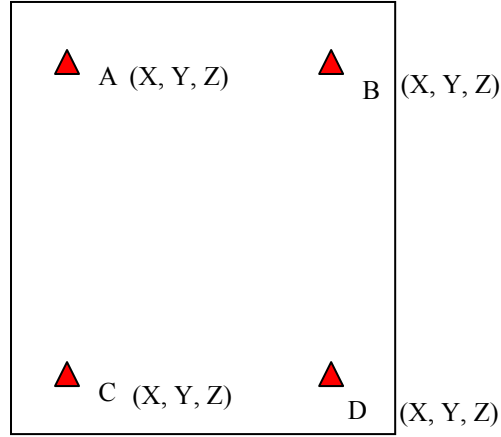
Nirengi koordinatları teslim edilir. Plan hazırlandıktan sonra arazide tesis edilecek nirengilere ilişkin bilgiler teslim edilir. Nirengiler arazide işaretlenir ve koordinatları teyit edilir. İşaretlenen ya da yeniden tesis edilen nirengi koordinatlarını hesaplanır. Plana son şekli verilerek yeniden düzenler. Artık plan bu hali ile uçuş grubuna teslim edilir. Bu uçuş planı ile uçuş gerçekleştirilir.

5.4.3 Yer Kontrol Noktaları

Fotogrametri aletleri yardımıyla noktalara ilişkin (X, Y, Z) koordinatların belirlenmesine Fotogrametrik Nirengi denir. Fotogrametrik uygulamalarına göre, gerek tek resim kıymetlendirmesi, gerekse çift resim kıymetlendirmesinde (stereo değerlendirme) mutlak yöneltmesinin yapılabilmesi için kontrol noktaları belirleme yönetimi olarak tanımlanmıştır. Ancak bu tanım fotogrametrik nirenginin 30–40 yıl önceki amacına yönelik bir tanımdır.

Bir modelin kıymetlendirilebilmesi için iç, karşılıklı ve mutlak yöneltmelerinin yapılması gereklidir. Mutlak yöneltmenin baz ayarı için modelde (X, Y) koordinatları bilinen en az 2 noktanın, yükseklik ayarı için Z koordinatı bilinen en az üç noktanın (aynı doğrultuda olmayan) bulunması gereklidir. Baz ayarındaki noktaların mümkün olduğunca birbirlerine

göre uzakta olan noktalar olması gereklidir. Modelin 4üncü köşesinde (X, Y, Z) koordinatları model ile baz ve yükseklik ayarının kontrollü yapılabilmesi olanak sağlar (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 YKNlerin yerleşimi

Ülkemizde özellikle 1:25.000 ölçekli haritalar üretirken, ölçeğin gerektirdiği sayıda kontrol noktası sıklaştırması (I ve II derece nirengi ağına dayalı olarak II ve IV üncü derece noktalar) yapılmıştır. Bundan daha büyük ölçekli (1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 gibi) harita üretiminde bu nokta sıklığı yeterli değildir. Zamanla bu noktaların çoğu tahrip olabilmektedir. Yeni ve büyük ölçekli harita üretiminde mevcut YKN sayısını sıklaştırmak gereklidir. Harita üretimi için gerekli YKN sayısını arttırmak için fotogrametrik yapımı için yeterli sayıda koordinatların üretilmesi için çeşitli Nokta Sıklaştırması yöntemleri kullanılmaktadır. Bu konuda fotogrametrik nirengi yöntemiyle mümkün olan minimum sayıda kontrol noktası üretilmeye çalışılmaktadır. Günümüzde fotogrametrik nirengi (FN) oldukça yaygın olan ve çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama alanları;

- Harita yapımı, küçük, orta ve büyük ölçekli harita üretimi koordinatları (X, Y, Z) bilinen nokta üretiminde kullanılır.
- Kadastro ölçümlerinde, mülkiyete konu olan sınırların koordinatlarının belirlenmesinde kullanılır.
- Mühendislik ölçümlerinde, sayısal arazi modeli yol mühendisliğine ilişkin uygulamalarda kullanılır.
- Jeodezik ağların sıklaştırılması, bu alanda az da olsa kullanılabilir.

Arazi çalışmaları harita yapım maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturur. Özellikle kontrol noktaları ve pas noktalarının tesisi, ölçümü, hesabı oldukça zaman alıcı ve maliyeti yüksek bir

çalışmadır. Bu durum fotogrametrinin prensip ve amacına ters düşmektedir. Çünkü fotogrametrinin amacı büro çalışmalarına göre pahalı olan arazi çalışmalarını azaltmaktır. Tüm dünyada maliyeti azaltmak amacıyla fotogrametrik yöntem hızla yayılmaya başlamış, gelişmiş ve maliyet azalmıştır.

Resimlerin ve modellerin değerlendirilmesi için gerekli olan bu noktaların bir kısmının koordinatları daha ekonomik olarak fotogrametrik yöntemle de elde edilebilmektedir. Hava fotogrametrisin de, bu noktaların koordinatlarının fotogrametrik yolla elde edilmesine Havai Nirengi veya Fotogrametrik Nirengi (Aero triangulation, Photo triangulation) denir. Bu yöntemin uygulanması için de, resim çekimi yapılan bölgede jeodezik yöntemlerle koordinatları elde edilmiş noktalara gereksinim vardır. Bu noktalara Nirengi noktası veya Yer Kontrol Noktası (YKN) deniyor. Eğer noktaların yalnızca yüksekliği (Z) biliniyorsa bu noktalara Yükseklik (Kot) Kontrol Noktaları veya Düşey Kontrol Noktası, sadece konum koordinatları (X, Y) biliniyorsa Yatay (Konum) Kontrol Noktası, her 3'ü (X, Y, Z) biliniyorsa Full Kontrol Noktası da denmektedir.

Fotogrametrik yöntemlerle koordinatları bulunan noktalara da Havai Nirengi Noktaları, Fotogrametrik Nirengi Noktası veya Küçük Kontrol Noktaları denmektedir (Bazen yeni nokta da denmektedir). Bu yeni noktalar da genellikle modelleri birbirine bağlayan model bağlama noktaları ve kolonları birbirine bağlayan Kolon Bağlama noktaları (TIE Points) şeklindeki noktalardır.

Artık teknolojinin gelişmesi ile birlikte ilk olarak GPS kullanılması ile Kinematik GPS destekli fotogrametri yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde YKN sayısı dört köşede olmak üzere dört nirengiye düşmüştür. Daha sonra inersiyal navigasyon sisteminde bu yönteme dahil edilmesi ile gerek uçuş gerek büro işlemleri kolaylaşmış zaman-maliyet açısından kazanç sağlamıştır. Bu sistem ile birlikte dengeleme sonucunda elde edilen dış dönüklük parametreleri artık uçuş sonrasında programlar vasıtasıyla post-process işlemi yapılması ile elde edilebilmektedir. Fakat halen istenen sonuçlar ve kontrol edilemeyen parametrelerden dolayı bloğun dört köşesine nirengiler tesis edilmektedir.

Bunun dışında blok içerisinde büyük göl yada orman alan bulunması durumunda mümkün olduğunca bu alanı dışarıda bırakacak şekilde çapraz kolonlar planlanır ve nirengiler atılır. Ayrıca blok köşelerinde ve kırıklık noktalarında nirengi planlanmalıdır. Proje alanının çok büyük olması durumunda, bölge alt bölgelere ayrılarak bloklar oluşturulmalıdır. Her blok için dörder nirengi noktası atılması gerekmektedir.

6. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ

6.1 Giriş

SYM'lerde grid aralığı nedeniyle, bazı varlıklar verilen aralıkta kalırken küçük olan detaylar gözardı edilebilir veya kaybolabilir. Tüm alan için düzenli nokta sıklaştırmasında aynı yoğunluktaki yükseklik noktaları kullanıldığında da bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bazı kullanıcılar karmaşık yüzeylerde daha sık ve tüm alana dağılmış veri noktaları kullanımını tercih etmektedirler. Bu durumda başka formlarda SYM verisine duyulan ihtiyaç artmaktadır.

Veri toplama işlemi amaca yönelik gereksinimleri karşılayacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Arazinin tanımlanması, SYM'nin doğruluğunu, harcanan zamanı ve maliyeti doğrudan etkilemektedir. Araziyi gruplara ayırabilmek için ilk olarak arazi yapısını tanımlayan parametreler belirlenmelidir.

6.2 Matematiksel Model

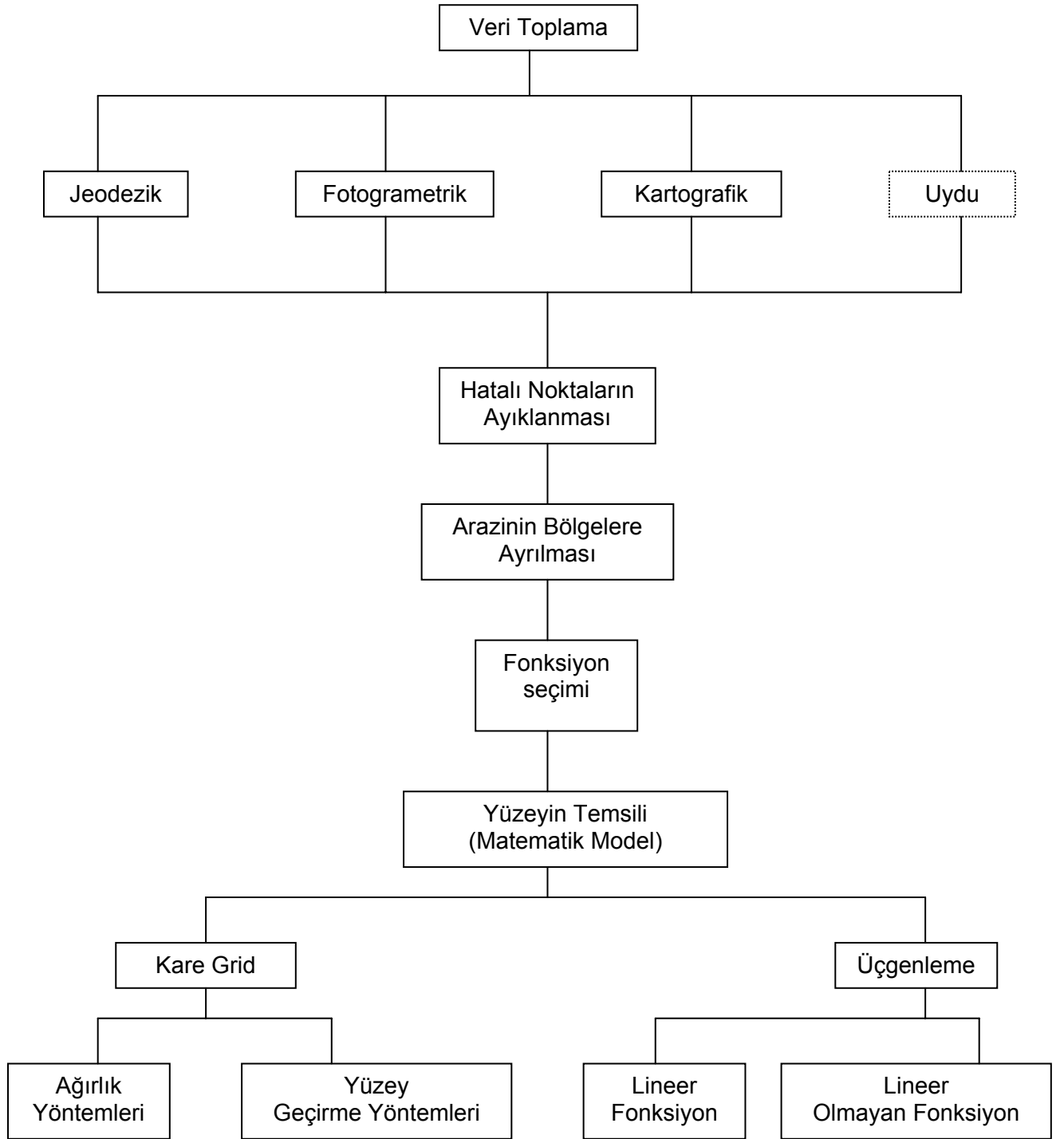
Yeryüzü, matematiksel olarak tanımlanamayacak üç boyutlu düzensiz bir şekildir. Tam olarak tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya gereksinim vardır. Bu da olanaksız olduğundan, belirli sayıdaki nokta kümesi seçilir ve yüzey bu noktalardan yararlanılarak temsil edilmeye çalışılır. Yeryüzünün uygun bir şekilde temsili, yerbilimlerinde, çok sayıdaki mühendislik alanında, askeri uygulamalarda ve diğer birçok alanda büyük bir ihtiyaç olarak gözükmemektedir (Alp, 1998).

Sayısal arazi modeli konsepti ilk olarak, 1958 yılında Miller ve Laflamme tarafından yol projelerinin sayısallaştırılması amacıyla ortaya çıkmıştır. Diğer birçok amaç için uygun olduğu gibi arazi tanımlamasını sağladığının anlaşılmasına kadar, yaklaşık on yıl Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanımı sivil mühendislik uygulamalarında yerini almıştır. İlk başta uygulamalar, eş yükseklik eğrilerinin hesaplandırılması ile sınırlı kalmıştır. Genel olarak grafik işlemlerden bilgisayar işlemlerine geçilmesi ile SAM veya Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) tek başına bir ürün olmuştur. Burada SYM ve SAM kavramları arasında, Avrupa'da kullanıldığı gibi herhangi bir ayrıma gidilmemiştir. Gerçekte aralarında kalite yönünden herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Yüksek kalitedeki bir SYM'nin verisi kırıklı çizgiler gibi morfolojik detayları da içerdiği anlaşılmaktadır (Özer, 1989).

Literatürde SAM için çok sayıda tanım bulmak mümkündür. SAM, kısaca, yüzeyin sayısal olarak gösterimi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımda SAM, yüzeyi temsil eden sayılar

dizisi olarak açıklanmaktadır. Bazı kaynaklarda, yüzey özelliklerinin ve görünümünün gösteriminde bir çözüm yöntemi olarak ifade edilmektedir. SAM'ın elde edilmesinde, hemen her adımda bilgisayar kullanımı kaçınılmaz olduğundan “SAM, yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere sayısal olarak temsil edilmesidir ” sözleri ile de tanımlanmaktadır. Bu tanım; pratikte en yaygın kullanılan ve planimetrik bilgiler yanında, yükseklik bilgilerini de içeren geniş anlamdaki SAM tanımı ile yalnızca yükseklik bilgilerini içeren dar anlamdaki SAM tanımını da içermektedir. SAM terimi, daha çok yükseklik kavramı için kullanıldığından, bu terim ile eş anlamlı olmak üzere, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Sayısal Zemin Modeli (SZM), Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM) terimleri de kullanılmıştır (Alp, 1998).

SYM üretimi fotogrametride önemli bir görevdir. SYM'ler tek başına birer ürün olduğu kadar, ortofoto gibi ikinci ürünlerin oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Sayısal fotogrametri, SYM'lerin otomatik toplanması için ideal bir ortamdır. Bilgisayar kapasitelerinin yeterli olduğu günden itibaren, araştırmacılar otomatik SYM toplama üzerinde çalışmışlardır. Kabul edilebilecek işlemlerin olmasına rağmen bu problem hala tamamen çözümlenmiş değildir. Örneğin büyük ölçekli bir yerleşim alanını düşündüğümüz zaman, mevcut sistemlerden hiçbiri otomatik SYM toplayamamaktadır. Sayısal Arazi Modellerindeki işlemlerin akışı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 SYM Akış Diyagramı

SYM'ler veya SZM'ler, sayısal anlamdaki nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlarlar. Yumuşak veya sert kırıklı çizgilerle ve noktalarla tanımlanabilen morfolojik detaylarla tamamlanan, düzenli veya düzensiz dağılımdaki noktalarla arazi yüzeyinin temsil edilmesidir. Noktalar ve çizgiler, aralarındaki lokal enterpolasyonlarla birlikte arazi yüzeyini temsil ederler. Çoğu durumda SYM'ler, lineer enterpolasyon ile bütünlenen kare veya dikdörtgen yapıdaki düzenli grid deseni ile temsil

edilir. Fakat düzensiz üçgen ağ yapısı (TIN) da yaygın olarak kullanılmaktadır (Ackerman, 1996).

Genelde, SYM'deki konum bilgileri, herhangi bir dik koordinat sisteminde tanımlı x ve y koordinatlarıyla, yüzey ya da arazi karakteristiği de yükseklikle (h veya z) ifade edilir. Diğer bir yaklaşımda, yüzey karakteristiği yine h ya da z olmak üzere, konum bilgileri coğrafi enlem (ϕ) ve boylam (λ) ile temsil edilir. SYM, istenen amaç ve doğruluğa uygun olarak, yüzey üzerinde uygun sayı ve sıklıkta, koordinatları bilinen noktalar yardımıyla yüzeyin matematiksel ve sayısal olarak tanımlanmasıdır (Toz, 1989). Bir yüzey için SYM'nin elde edilmesi, bu yüzey üzerinde rastgele dağılmış ve x, y, h koordinatları bilinen noktaların var olmasını gerektirir. Bu noktalara “dayanak” ya da “örnekleme noktaları” adı verilir.

SYM'ler genellikle arazi yüzeyini tek değer fonksiyonu ile temsil ederler: $z=f(x,y)$. Verilen bir x,y konumundan, SYM gridinden sadece bir z değeri türetilir.

Son zamanlarda, kullanıcıların geniş kapsamlı arazi analizi yapabilmeleri için SYM'ler sağlanmakta ve geliştirilmektedir. SYM genellikle, yüksekliklerin birbirinden ayrı iki dik doğrultuda bulunduğu düzenli matris yapısındadırlar. SYM yayınları, kullanıcılara referans olması açısından genellikle doğrulukları ile bildirilir. Fotogrametrik olarak örneklenen SYM'lerin geometrik doğruluğu eşleme yöntemlerine ve arazi tipine bağlıdır. Arazi tipi ne kadar heterojen olursa olsun SYM noktalarının yoğunluğu genelde homojendir (Lee ve diğ., 1992).

Problemlerden ve çözümlerinden bahsetmeden önce otomatik terimi hakkında kısa bir not düşmekte yarar görülmektedir. Otomatik SYM üretimindeki beklenti genellikle bir operatöre verilen görevin aynısının bilgisayardan beklenmesidir. Bununla birlikte bugünkü sistemlerin tamamında operatör müdahalesi gerekmektedir ve yakın gelecekte de bu problemin aşılabileceği düşünülmemektedir. Bu nedenle sayısal çalışma istasyonlarındaki otomatik SYM üretimi etkileşimli bir ortamda gerçekleştirilmektedir (Lee ve diğ., 1992).

SYM'leri yüzey tanımlama olarak bilinen genel bir problemin parçasını oluşturmaktadır. Bu konu ile bilgisayar ortamında yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar dünyasındaki önemli paradokslardan biri de yüzeylerin obje tanıma ve görüntü anlama gibi ardışık görsel görevlerin izlenmesinde önemli bir rol oynadığıdır. Bir robotun dağınık bir ortamda navigasyonu gibi buna benzer bir çok görev yüzey özelliklerinin yoğun bir şekilde kullanımını gerektirmektedir. İnsanoğlunun görüş sistemi şekil bilgilerinin algılanmasında dikkate değer bir şekilde adapte olmuştur ve bu şekilleri anlamlı sembollerle ifade

edebilmektedir. Bütün SYM programları çeşitli sistemlerin karşılaştırılmasında yararlı kriterler olan bir takım kabuller ve sınırlandırmalar kullanmaktadır. Sayısal fotogrametrideki bazı araştırmacılar, en küçük kareler eşlemesi ile radyometrik modelin geometrik modele eklenmesiyle stereo ve gölgelendirmenin bütünleşmesini önermişlerdir. Bununla birlikte SYM üretimindeki geçerli metot stereo olarak kalmıştır (Schenk, 1996).

Stereo modellerden otomatik SYM üretimi aşağıdaki üç görevden oluşmaktadır:

1. Karşılıklı noktaların bulunması (Görüntü Eşleme),
2. Yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması (Yüzey Geçirme),
3. SYM'nin kontrolü ve düzeltilmesi (Kalite Kontrol).

Karşılıklı noktaların bulunması işlemi, görüntü eşleme bazen de görüntü korelasyonu olarak adlandırılır. Birinci görevde elde edilen noktalar tam dağılım gösterememekte ve yüzeyi tam olarak temsil edememektedir. Görüntüdeki bütün pikseller seçilse bile eşlemenin başarılı olmadığı yerlerde boşluklar meydana gelecektir. Bu yüzden 3 boyutlu noktaların enterpole edilmesi gerekmektedir. Bu enterpolasyon işlemine yüzey uydurma adı verilmektedir. Bir kere başlatıldığında ilk iki görev için genellikle insan müdahalesi gerekmemekte olup üçüncü görev tamamen insan müdahalesini gerektirmektedir.

6.3 SYM Üretim Yöntemleri

Günümüzde sayısal yükseklik modelleri IfSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), LIDAR (Light Detection And Ranging), Fotogrametri ve Jeodezik ölçme gibi birçok metotlarla üretilmektedir. Bu metotlar teknolojik perspektif açısından farklı olmalarına rağmen üç boyutlu konumsal veri üretiminde benzer bir amaca ulaşmak için kullanılan farklı metotlardır.

6.3.1 Fotogrametrik Değerlendirme

Fotogrametri; çeşitli hava araçlarına monte edilmiş olan metrik kamera, algılayıcı ve tarayıcılarla havadan veya uzaydan alınan fotoğraf ya da görüntüler kullanılarak veri elde etmeye ve cisimler hakkında üç boyutlu geometrik bilgiler çıkarmaya yarayan bir ölçme, değerlendirme ve yorumlama tekniğidir. Son yıllarda oldukça geniş bir uygulama alanı bulan uydu görüntülerinden ve uzaktan algılama verilerinden yararlanarak arazinin topoğrafik yapısına ilişkin geometrik, tematik ve öznitelik bilgilerinin çıkarılması konusu, uzaktan

algılama ve sayısal görüntü işleme tekniklerinin ilgi alanına girmekle beraber, günümüzde fotogrametri ve uzaktan algılama tekniklerini birbirinden kesin çizgilerle ayırmak olanaklı değildir (Fritsch, 1995).

Fotogrametrik yöntemde temel veri kaynağı, üç boyutlu görüntü oluşturmaya olanak veren hava fotoğrafları ve uydu görüntüleridir.

Klasik fotogrametrik sistemler olarak adlandırılan analog ve analitik değerlendirme aletlerinde veri kaynağı, analog formdaki fotoğraf çiftleridir. Sayısal fotogrametrik sistemlerde ise, görüntüler veri kaynaklarıdır.

Fotogrametrik yöntemle veri toplamada; nokta seçimi ve seçilen noktaların koordinatları ile kaydedilmesi başlıca üç yolla yapılabilir (Sarbanoglu, 1990).

- Seçerek örnekleme yöntemi,
- Uyum sağlayarak örnekleme,
- Otomatik korelasyonla örnekleme.

Seçerek örnekleme (Progressive Sampling) yöntemi: Koordinatları ile kaydedilecek noktalar veri toplamadan önce ya da veri toplama sırasında seçilirler. Özelliğine bağlı olarak uygulamada etkinlik kazanmıştır. Foto yorumu gerektirir.

Bu yöntemle; arazinin özelliğine bağlı olarak bilgisayarla örnekleme hassasiyetini düşüren, bulutlu, suyla kaplı, yoğun dağlık, kısaca stereoskopik niteliği zayıf, çok düzensiz veya çok düzenli alanlara ilişkin normal yüzey özellikleri örneklenir.

Her model için arazi cinsine bağlı olarak X, Y, Z elde edilir veya bilgisayar destekli sistemlerle X, Y koordinatları hesaplanıp sadece Z koordinatları operatörün müdahalesiyle tespit edilir, veriler vektör formatında depolanır.

Uyum sağlayarak örnekleme (Adaptive Sampling) yöntemi: Bu yöntemle, veri toplamada; profiller boyunca, eşyükselti eğrileri boyunca veya belirlenen yükseklik noktalarında arazinin örneklenmesi uygundur.

Otomatik korelasyonla örnekleme: Sayısal fotogrametrik sistemlerle çalışabilmek için görüntülerin de sayısal olması gerekliliği, 1972 yılından itibaren uzaya gönderilmeye başlanan uzaktan algılama amaçlı Landsat uydularındaki çok bantlı algılayıcılardan elde edilen sayısal görüntüleri, bu alanda ilk uygulama çalışmalarının temelini oluşturmaya neden olmuştur.

Ardından SPOT uydusunun stereo görüntülerinin devreye girmesiyle söz konusu teknik, bütünüyle stereo fotogrametrinin esaslarını benimsemiş bir yapıya dönüşmüştür. Sayısal yükseklik bilgilerinin, otomatik korelasyon tekniği kullanarak stereo görüntülerden elde edilmesi yönündeki çalışmalar günümüzde büyük gelişim göstermiştir. Sayısal görüntüleri veri kaynağı olarak alan ve paralaks farklarını belirleyerek sayısal yükseklik modelini elde etme şeklinde kullanılan bu teknik, görüntü çiftlerinin çakıştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu geometrik model, görüntü korelasyonu eşlenik (epipolar) hatlar boyunca oluşturulan kenar veya detay (feature) noktalarını esas alır.

Stereo otomatik korelasyon tekniği ile SYM oluşturmada, üç ana işlem aşaması bulunmaktadır. Bunlar; iki görüntünün stereo çakıştırılması (matching), üç boyutlu yer koordinatlarını oluşturmak için uzay çift nokta geriden kestirmesi ve düzenli SYM matrisini elde etmek için enterpolasyon işlemidir.

6.3.2 Otomatik Görüntü Eşleme

Eş, kelime anlamı olarak; bir diğerine benzer ya da aynı olan bir kimse ya da şeydir. Eşleme; eşitini ya da benzerini bulmak veya yapmak anlamında kullanılır. Aynı şekilde eşleme problemi de, ilişki kurma olarak ifade edilir. Veri setleri; görüntüleri, haritaları, obje modellerini ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) verilerini temsil eder.

Sayısal görüntü eşleme, en azından kısmen aynı manzarayı içeren iki veya daha fazla sayısal görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulmasıdır. Temel elemanlar, görüntülerden çıkarılan detaylar veya gri düzey ton pencereleri olabilir (Heipke, 1996).

Fotogrametrik işlem adımlarının pek çoğu bir şekilde eşleme ile ilişkilidir. Somut örnekler gösterecek olursak; iç yöneltmede resim kenar göstergesinin iki boyutlu modelinin eşlenmesi, karşılıklı yöneltmede ve fotogrametrik nirengide nokta transferi, sayısal arazi modellerinde bir görüntü bölümünün diğer görüntü bölümleriyle eşlenerek üç boyutlu arazi noktalarının elde edilmesi sayılabilir.

Görüntü eşleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yılların sonlarında (1959, Hobrough) başlamış olmasına rağmen, sonuçlanmasının neden çok uzun zaman aldığı düşünülebilir. Verilecek ilk cevap, piksel olarak adlandırılan en temel görüntü elemanının bilgi içeriği dikkate alınarak ortaya konur. 15 µm ile taranan bir hava fotoğrafı yaklaşık olarak 285 milyon pikselden ve

her bir gri tonu da 0 – 255 arasında bir değerden oluşur. Bu değerlerin büyüklüğü; tek tek piksellere dayalı bir eşlemenin imkansız olduğunu göstermektedir.

Daha gerçekçi bir yaklaşım, çapraz korelasyon tekniğidir (Şekil 6.2). İki pencerenin çapraz korelasyon fonksiyonunu hesaplamak için, bir kalıp pencere daha büyük bir araştırma penceresi boyunca piksel piksel gezdirilir ve her bir konum için kalıp pencere ile araştırma penceresinin ilgili bölümü arasında (6.1) eşitliği ile hesaplanan bir ρ çapraz korelasyon katsayısı bulunur.

Çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum sonucu, kalıp ve araştırma pencereleri arasındaki en iyi eşleme durumunu ifade eder (Heipke, 1996).

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)(g2(r,c) - \mu2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)^2 \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g2(r,c) - \mu2)^2}} ; \quad 0 \leq \rho \leq 1 \quad (6.1)$$

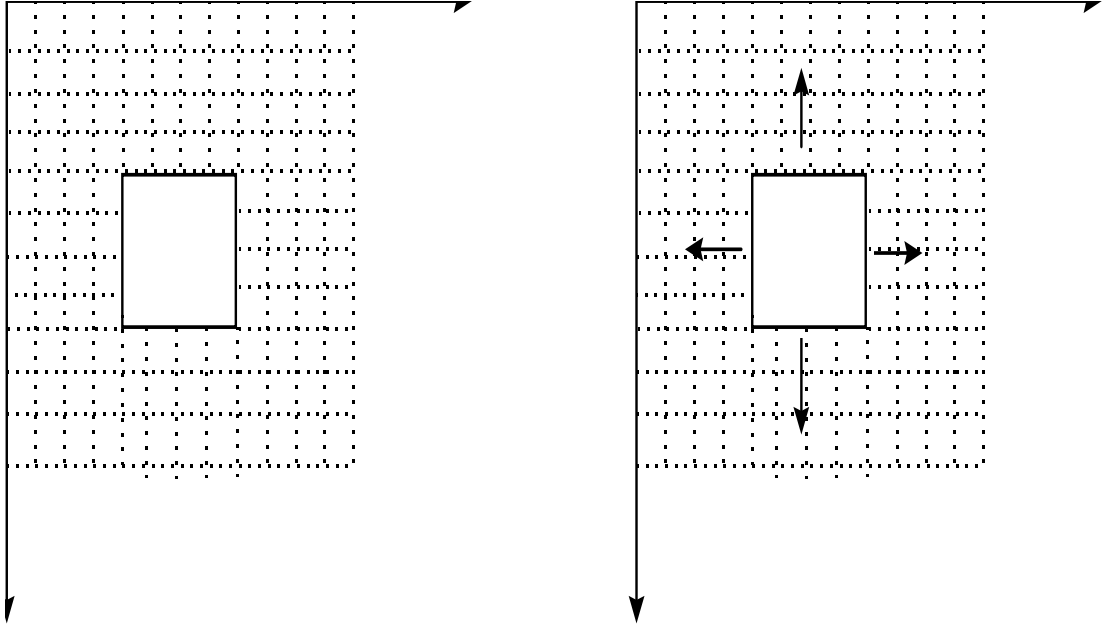
$g1(r,c)$: Kalıp matrisinin tek tek gri tonları

$\mu1$: Kalıp matrisinin ortalama gri tonu

$g2(r,c)$: Araştırma matrisinin ilgili bölümünün tek tek gri tonları

$\mu2$: Araştırma matrisinin ilgili bölümünün ortalama gri tonu

R,C : Kalıp matrisinin satır ve sütun sayısı



Şekil 6.2 Çapraz korelasyon tekniği

Çeşitli eşleme algoritmaları arasındaki en önemli fark, eşlemede kullanılan temel elemanların farklı olmasıdır.

İki geniş kategori içinde yer alan elemanlar; ya gri tonlardan oluşan pencereler ya da her bir görüntüden çıkarılan detaylardır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan algoritmalar da; alana bağlı eşleme ve detaya bağlı eşleme olarak adlandırılır.

Her iki durumda da temel elemanları lokal ve global olarak sınıflandırmak söz konusudur. Lokal ve global terimleri kesin olarak tanımlanmamış olmakla birlikte, lokal terimiyle görüntü uzayında 50x50 pikselden daha büyük rastgele bir alan; global terimiyle ise, tüm görüntüyü de kapsayabilecek olan daha büyük bir alan ifade edilir.

6.3.2.1 Alana Bağlı Eşleme

Alana bağlı eşlemede gri tonlardan oluşan küçük pencereler, eşleme elemanları olarak kullanılır. Gri değerler bileşenlerine göre muhtemelen ağırlık merkezini de oluşturan pencere merkezi, eşlenecek bir noktanın yerinin belirlenmesinde kullanılır.

Alana bağlı eşleme düzgün dokulu görüntü bölümlerinde yüksek bir doğruluk potansiyeline sahiptir. Gri tonların aydınlatma vb. nedenlerle ortaya çıkabilecek radyometrik değişimlere duyarlılığı, eşlemede çeşitli lokal uçları da içeren büyük bir araştırma alanının kullanılması ve ele alınması gereken veri hacminin büyük olması, bu eşleme yönteminin zayıf taraflarını oluşturmaktadır. Örtülü alanlarda ve zayıf dokularda kaba hatalar ortaya çıkabilir.

6.3.2.2 Detaya Bağlı Eşleme

Detaya bağlı eşlemede, detaylar eşlemeden önce görüntülerden tek tek çıkarılır. Lokal detaylar; noktalar, kenar elemanları, kısa kenarlar veya doğrular ve küçük bölgelerdir. Global detaylar, poligonlar ve yapılar olarak adlandırılan daha kompleks görüntü elemanlarını tanımlar. Detaylar, komşuluklarıyla ayırt edilebilirler. Geometrik ve radyometrik etkileşimlerle değişmez ve diğer detaylara göre rastgele olmalıdırlar.

Her bir detay öznitelikler setiyle karakterize edilir. Resim koordinatlarıyla tanımlanan bir konumu daima mevcuttur. Öznitelik olarak; kenar elemanlar için kenarın doğrultusu ve uzunluğu, eğimi, bölgeler için boyut ve ortalama parlaklık değerleri kullanılır.

Global detaylar çoğunlukla farklı lokal detaylardan oluşur. Lokal detayların özniteliklerinin yanı sıra, bu lokal detaylar arasındaki ilişkiler de global detayların özelliklerinin tanımlanmasında rol oynarlar. Bu ilişkiler, bitişik iki poligon kenarı arasındaki açı veya iki kenar arasındaki minimum uzaklık gibi geometrik olabileceği gibi, bitişik iki bölge arasındaki gri tonların veya gri ton değişimlerinin farkı gibi radyometrik de olabilir. Global detaylarla eşleme aynı zamanda ilişkisel eşleme olarak da tanımlanır.

Detay çıkarmanın sonucu, bir detay listesi ve onların her bir görüntüdeki tanımları olarak ortaya çıkar. Sonraki işlemede yalnızca bu listeler ele alınır. Çıkarılan detaylar konumdan ayrı bir fonksiyondur; yani detay çıkarmadan sonra verilen bir konumda, bir detay vardır veya yoktur.

Detaylar görüntü içeriğinin çok özet bir tanımlamasıdır. Gri ton pencereleriyle kıyaslandığında, detaylar genellikle radyometrik ve geometrik bakımdan daha az değişkendir.

6.3.2.3 Sembolik Eşleme

Sembolik eşleme görüntülerin sembolik tanımlarını karşılaştırır ve bir maliyet fonksiyonuyla benzerlikleri ölçer. Sembolik tanımlar gri katmanlara veya türetilmiş detaylara başvurur. Onlar grafik, ağaç veya anlamsal ağlar olarak gösterilirler. Diğerlerinin tersine, sembolik eşleme geometrik benzerlik özelliklerine katı bir şekilde bağlı değildir. Bir benzerlik kriteri olarak şekil veya konumu kullanma yerine topolojik özellikleri karşılaştırır. Tablo 3.1 anlatılan üç eşleme metodunun en önemli özelliklerini özetlemektedir.

Çizelge 6.1 Eşleme metodları ve eşleme varlıkları arasındaki ilişki

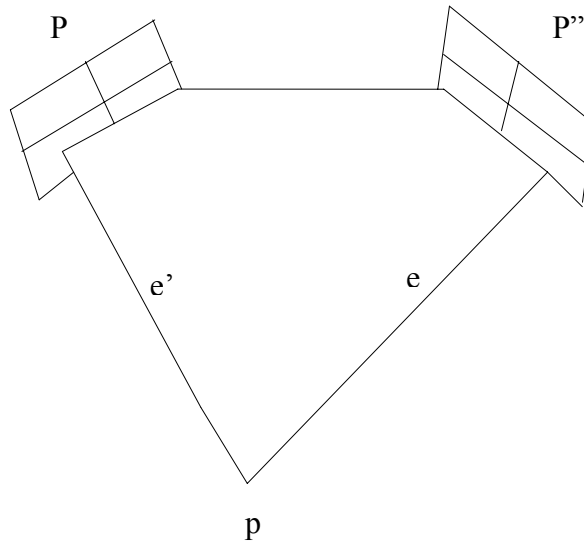
Eşleme Metodu	Benzerlik Ölçümü	Eşleme Varlıkları
Alana Bağlı Eşleme	Korelasyon, EKY	Gri seviyeler
Detaya Bağlı Eşleme	Maliyet fonksiyonu	İlgili nokta ve kenarlar
Sembolik Eşleme	Maliyet fonksiyonu	İlişkisel tanımlar

6.3.2.4 Epipolar Kısıtlamalar

(P, P', P'') epipolar düzlemi ve e' , e'' epipolar hatları fotogrametrik görüntülerle işlem yaparken çoğu durumda merkezsiz bir perspektif izdüşüm kabul edilir (Şekil 6.3). Merkezi perspektif izdüşüm, epipolar geometri olarak adlandırılan çok güçlü kısıtlamalar sağlar. Verilen iki görüntüde epipolar düzlem; üç boyutlu uzayda bir nokta ile her iki resim izdüşüm merkezlerini içeren düzlem ile tanımlanır. Bu düzlem, her iki görüntü düzlemini epipolar hatlar olarak adlandırılan doğru hatlarla ileriden kestirir. Eğer iki resmin karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen bir noktadan diğer görüntüdeki epipolar hat hesaplanabilir ve bu noktaya karşılık gelen diğer görüntüdeki nokta bu hat üzerinde bulunmalıdır. Böylece görüntü eşleme problemi iki boyutludan bir boyutlu duruma indirgenmiş olur.

Epipolar hatlar boyunca eşlemeyi mümkün kılmak için, iki resim ilk işlem adımında düşey veya Y paralaksı elemine edilerek, normal duruma dönüştürülebilir. Ardından eşlemenin yalnızca baz hattı doğrultusu boyunca (yatay doğrultuda) yapılmasına gerek duyulur.

Bu ilk işlem adımı epipolar kısıtlamalardan verilen bir noktada, diğer görüntüdeki epipolar hat karşılıklı yöneltme parametrelerinden hesaplanır ve eşleme de hat boyunca gerçekleştirilir.



Şekil 6.3 Epipolar kısıtlamalar

Epipolar kısıtlama belirsizlik problemini ve hesaplama maliyetini azaltmak için çok gereklidir. Hatta karşılıklı yöneltme parametreleri için yalnızca yaklaşık değerler mevcut olsa bile epipolar kısıtlamalar kullanılarak, baz hattına dik doğrultudaki eşlenik elemanların araştırılmasında kısıtlama getirilmelidir. Dikkat edilirse, epipolar kısıtlamalar yalnızca resim çiftleri için formüle edilebilirler.

6.3.2.5 Çok Görüntü Eşleme

Blok noktalarının çoğu ikiden fazla görüntü üzerinde yer alırlar. Böylece, bütün görüntü parçalarını aynı anda eşleyerek en muhtemel eşlenik yerleşimini bulma ihtiyacı ortaya çıkar. Bu olasılık geleneksel metodlarla var olmaz, çünkü insanlar aynı anda iki görüntüyü görebilirler. Çok görüntü eşleme bağlama noktası problemini küçültür (Fritsch, 1995).

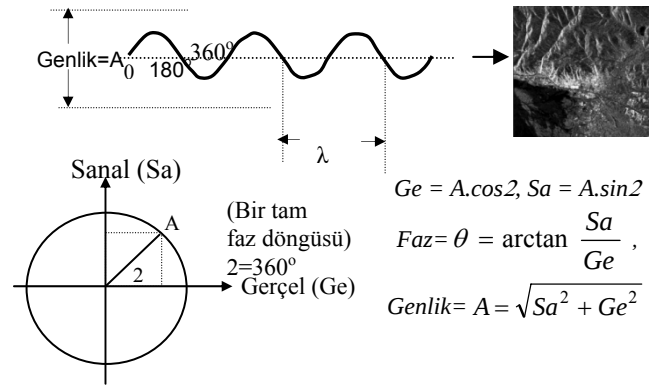
İkiden fazla görüntü eşleme problemine iki farklı yoldan yaklaşılr. Daha pragmatik olan birinci çözüm daha önce ispatlanmış olan iki görüntünün aynı anda eşlenmesi kavramını uygulamaktır. Bu durumda, bütün mümkün olan çiftler eşlenir, hatta kontrol olarak hem ileri hem geri eşlenir. Bu yaklaşımın bir takım sakıncaları vardır. İlk olarak çiftler birbirlerinden bağımsız değillerdir. Daha da fazlası ardışık eşleme prosedürü geriye bazı keşfedilmemiş alternatifler bırakarak erkenden sona erer.

Eğer bütün parçalar aynı anda eşlenirse, her görüntü parçasının bilgi içeriği tamamen kullanılabilir. Agouris ardışık yaklaşımların problemlerini çözen özenli bir çözüm sunmaktadır (Agouris,1992). Diğer yaklaşım; Schenk ve Krupnik tarafından önerilmiştir. Burada, eşleme nesne uzayında uygulanır. Dış yöneltme, yüzey parçasının topoğrafyası ve onun gri seviyelerinin belirlenmek istenen parametrelerdir. Hedef sahasındaki eşleme diğer araştırmacılar tarafından da önerilmiştir (Ebner ve diğerleri, 1987; Wrabel, 1987; Heipke, 1990). Förstner (1995) bu yaklaşımlar arasındaki farklılıklar üzerinde detaylarıyla durmuştur. Bütün bu metodlar eşleme varlıkları olarak gri seviyeleri kullanırlar ve eşleme yöntemleri En Küçük Kareler (EKK)'dir. Tsingas çok görüntü eşleme problemini farklı bir şekilde çözer. Gri seviyeler yerine eşleme varlıkları olarak interest noktaları kullanılır (Ackermann ve Tsingas, 1994) ve eşleme yöntemi grafıklere dayanır (Fritsch, 1995).

6.3.3 IfSAR (InSAR)

Kompleks radar sinyallerinin faz bileşenlerinin InSAR tekniğine uygun olarak analiz edilmesi sonucunda yeryüzünün 3 boyutlu bilgilerine ulaşılacağı konusu 1960'lı yıllara dayanmaktadır. 1986 yılına kadar süren teorik çalışmalardan sonra Zebker ve Goldstein tarafından Jet Propulsion Laboratory (JPL)'de uygulamalı InSAR çalışmaları yapılmıştır. Uydulara yerleştirilen SAR sistemleri ile görüntülerin elde edilmesi, InSAR tekniğinin daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

SAR algılama sistemleri, göndermiş olduğu elektromanyetik sinyalin hem geri yansıyan kısmının şiddetini, hem de sinyaldeki gecikme zamanlarını kaydeder. Sinüs dalgası şeklinde olan elektromanyetik sinyalin taşımış olduğu genlik ve faz bilgisi Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Genlik bilgisi kullanılarak gri değerlere sahip raster nitelikteki klasik radar görüntüsü oluşturulur. Açısal olarak ifade edilen ve tek başına bir anlam taşımayan faz açısı 360° ye ulaştığında bir tam faz oluşur. InSAR, kompleks radar sinyallerini kullandığı için, temin edilen ham SAR verilerinin kompleks olarak ifade edilmesi gerekir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Elektromanyetik sinyal özellikleri (Cihangir ve Maktav, 2006).

Aynı bölgenin iki farklı noktadan alınmış SAR verilerinin faz bilgilerini kullanarak o bölgedeki yükseklik modeli veya meydana gelen deformasyonlar ölçülebilir (Şekil 6.5).

Kosinüs teoreminden,

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \cos(\theta + 90 - \alpha) \quad (6.2)$$

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 + 2\rho B \sin(\alpha - \theta) \quad (6.3)$$

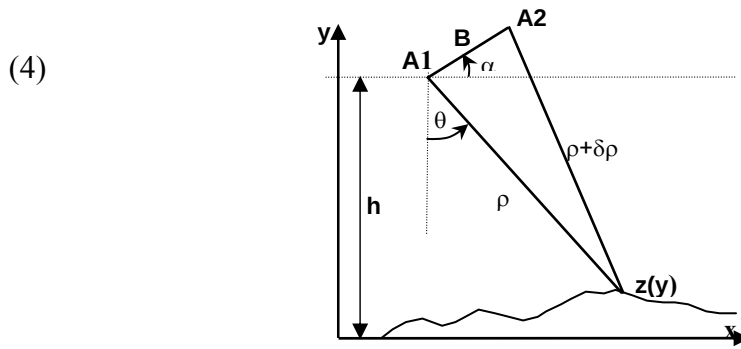
yazılabilir. Buradan,

$$\sin(\alpha - \theta) = \frac{[(\rho + \delta\rho)^2 - \rho^2 - B^2]}{2\rho B} \quad (6.4)$$

elde edilir. A2 noktasında üretilen kompleks SAR verisinin A1 noktasındaki kompleks SAR verisine çakıştırılması ve her iki kompleks verinin çarpımı sonucu elde edilen $\phi = \phi_1 - \phi_2$ faz farkı görüntüsü (interferogram), bağıl deformasyonun bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, iki görüntüdeki faz farkı ϕ kullanılarak,

$$\delta\rho = \frac{\lambda\phi}{4\pi} \quad (6.5)$$

hesaplanır.



Şekil 6.5 İnterferometrik SAR geometrisi (Cihangir ve Maktav, 2006).

Sonuçta noktaya ait yükseklik değeri,

$$z(y) = h - \frac{\left[\left(\frac{\lambda\phi}{4\pi} \right)^2 - B^2 \right] \cos \theta}{2B \sin(\alpha - \theta) - 2 \left(\frac{\lambda\theta}{4\pi} \right)} \quad (6.6)$$

formülü ile hesaplanabilir. Buradaki h, uydunun yüksekliği, B, baz hattı uzunluğudur (Cihangir ve Maktav, 2006).

6.3.4 LIDAR

Günümüzde SYM üretiminde yoğun olarak kullanılmaya başlayan sistemlerden biri de LIDAR (Light Detection And Ranging) sistemidir. LIDAR lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknolojidir. Radar teknolojisiyle benzerdir. Radarda kullanılan radyo dalgaları yerine ışık, yani lazer darbeleri kullanılır. Uzaklığı ölçülecek nesne ya da yüzeye gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile

nesneye çarpıp gelen yansımanın tekrar kaynağa ulaşma vakti arasındaki fark sayesinde uzaklık ölçülür. LIDAR, bugün kullanılan en yeni teknolojilerden biridir. LIDAR teknolojisi ile iyi kontrol edilmiş şartlar altında 15 cm'lik düşey doğruluğa erişilebilmektedir. LIDAR büyük alanların haritalarının üretiminde daha ekonomik bir sistemdir. LIDAR teknolojisinin uydu platformlu (spaceborne) ve hava platformlu (airborne) olmak üzere iki türü vardır.

6.3.5 Jeodezik Ölçümler

Dayanak noktaları arazi üzerinde doğrudan elektronik takeometreler ya da DGPS setleri kullanılarak ölçülür. Noktalar genellikle rastlantısal yapıda; arazinin iskeletini oluşturan dere, sırt gibi çizgiler üzerinde ve eğim değişim yerlerinde seçilir.

Dayanak noktalarının profil ya da grid formda seçilmesi durumunda ise, bu noktaların yerlerinin daha önceden saptanması gerekmektedir.

6.3.6 Topoğrafik Haritalar

Yeterli doğrulukta harita ve ortofoto harita ya da benzeri altlıklar var ise, eş yükselti eğrileri sayısallaştırılarak SYM için gerekli veriler depolanabilir (Sarbanoglu, 1991). Burada sayısallaştırma işlemi;

- Nokta ölçü,
- Sürekli ölçü,
- Tarama

şeklinde yapılabilir.

Noktasal ölçümde; genellikle sayısallaştırılacak noktaya izleme başlığı tatbik edildikten sonra değerlerin manyetik ortama aktarılması için gerekli komut verilir.

Sürekli ölçümde ise; sayısallaştırmaya eş yükseklik eğrilerinin herhangi bir noktasından başlanır ve eğri bitinceye kadar üzerinden gidilmesi gereken sayısallaştırma, eşit zaman aralığında, eşit mesafe artırımlı, doğrultudan sapma kontrollü, değerlerin manuel olarak manyetik ortama kaydedilmesi şeklinde yapılır.

Tarama şeklinde sayısallaştırmada; kaynak materyalin negatif filmi alınmakta, operatörün bu film üzerinde gösterdiği çizgiler otomatik olarak bir raster tarama şeridi ile izlenerek

sayısallaştırılmaktadır. Ayrıca, tarama ile sayısallaştırmanın bir değişik şekli; kaynak materyalin tarayıcılar ile elde edilen raster görüntüsünün bilgisayar ekranında yansıtılması ve operatörün ekranda çizgilerin üzerine belirteci tatbiki ile değerleri manyetik ortama vektör formatta kaydetmesi olarak uygulanmaktadır (Heads-up sayısallaştırma).

Burada, topoğrafik haritalardan eş yükselti eğrisi sayısallaştırma ve yersel ölçmelerden ziyade, fotogrametrik ölçmelerle veri toplama yöntemi üzerinde ağırlıklı olarak durulacaktır.

6.4 SYM Yapıları

Günümüzde SYM'lerinin oluşturulmasında, farklı iki yapılandırma yönteminden bahsetmek mümkündür.

- Raster yöntemi,
- Üçgenleme yöntemi.

Sayısal yükseklik modellerinin raster yöntemiyle toplanmasının avantajları aşağıda açıklanmıştır.

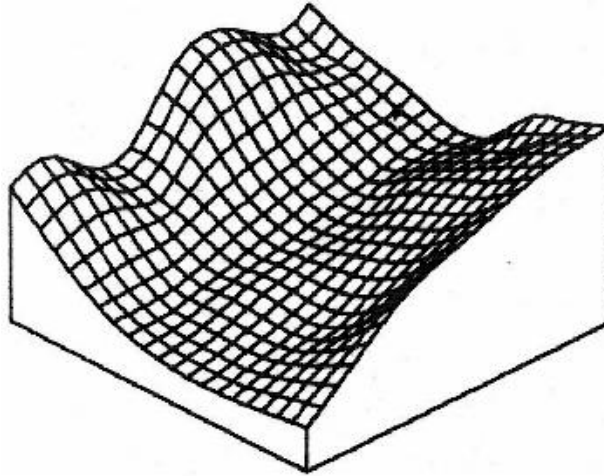
- Enterpolasyonun hesap tekniği bakımından çok basit organize edilebilmesi ve raster düğüm nokta yüksekliklerinin kolay bir şekilde depolanma olanağı bu yöntemin en önemli üstünlüklerindendir.
- Yol, inşaat ve madencilik alanına yönelik çalışmalarda, iki durumu (örneğin kazıdan önceki ve sonraki durumu) gösteren SYM'de raster ağının aynı düğüm noktalarını seçmek mümkündür. Bu nedenle hacim hesaplarında önem kazanan aynı noktalardaki eski ve yeni yükseklik değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.
- Raster formunda depolanmış bir SYM'den eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu ve çizimi, üçgenleme yöntemine göre daha basit bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Raster formunda SYM'nin tamamı depolanmak zorundadır. Kural olarak bunun yoğunluğu her zaman dayanak nokta yoğunluğundan çok daha yüksektir.
- Düzgün aralıklı bir rasterde kırık çizgiler ya da arazi yapısını gösteren çizgilere ait bilgiler bulunmaz.

- Bunlar ancak raster çizgileri ile kesim noktalarının özel olarak depolanmasıyla dikkate alınabilir. Bu ise hiç de kolay sayılamayacak ek çalışma ve bellek gereksinimini doğurur (Özer, 1989).

6.4.1 Raster Yöntemi

Raster yönteminde arazi üzerine karesel ya da dikdörtgensel bir grid sistemi yerleştirilir ve grid düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır (Şekil 6.6). Bu, iki şekilde gerçekleştirilir.

- (1) Fotogrametrik model üzerinden doğrudan ölçmelerle,
- (2) Arazi yüzeyine rastlantısal olarak dağılmış olan dayanak noktalarının ölçülmesi suretiyle.



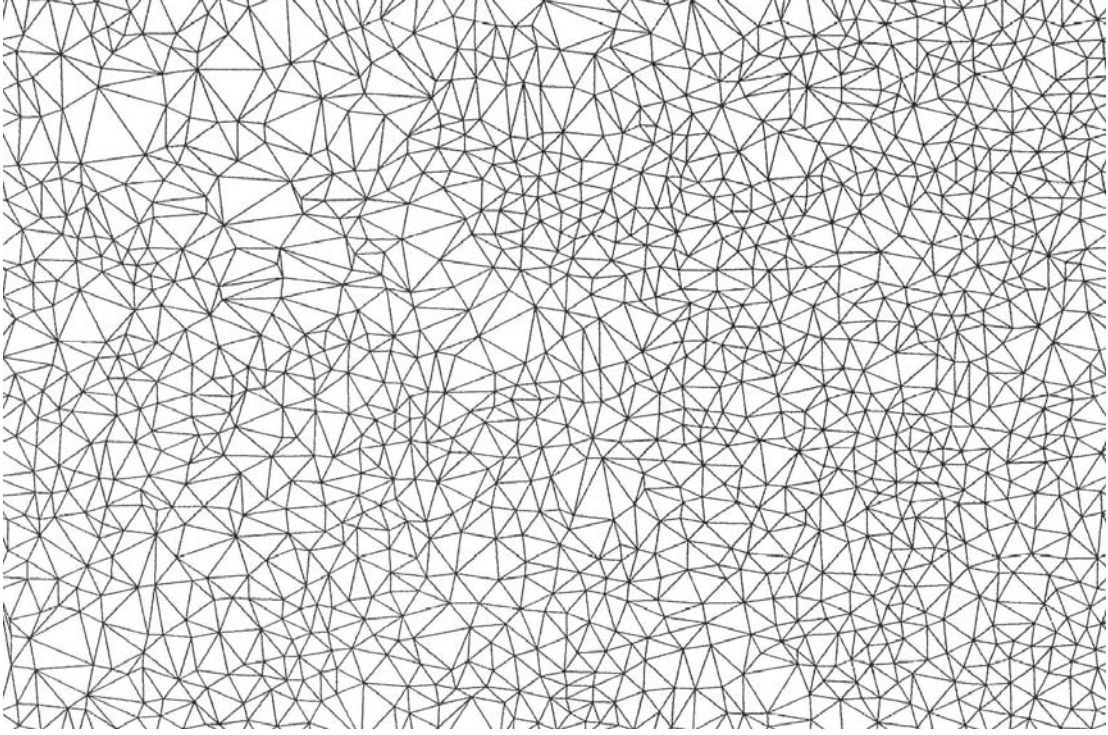
Şekil 6.6 Ortogonal raster SYM

Şayet dayanak noktaları raster formunda değilse, kayan yüzeylerle enterpolasyon, en küçük kareler enterpolasyonu, sonlu elemanlarla enterpolasyon ya da amaca uygun diğer bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak raster köşe (grid düğüm) noktalarındaki yükseklikler bulunur.

Dayanak noktalarından bir raster ağının köşe noktalarına geçişte hiçbir bilgi kaybı olmamalıdır. Bu nedenle raster göz genişlikleri dayanak nokta aralıklarından daha küçük seçilir. Raster gözleri ne kadar küçük ise, elde edilecek doğruluk o denli yüksektir. Dar gözlü bir rasterden hesaplanan eşyükseklik eğrilerinin arazi yüzeyini daha iyi temsil ettiği görülmüştür. Ancak, rasterin hesaplandığı dayanak noktalarının yeterli yoğunluğa sahip olması gerektiği unutulmamalıdır.

6.4.2 Üçgenleme Yöntemi

Arazi yüzeyine rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile arazi düzlem üçgenlerden (TIN) oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Araziyi örten bir üçgen ağı SYM (TIN).

Bu şekilde elde edilen triangulasyon ağlarının bazıları topoğrafik yapı çizgileri ve arazinin kırık çizgileri üzerinde bulunan dayanak noktalarına, üçgenlemede bir öncelik vermeksizin tüm noktaların aynı nitelikte olduğu varsayımına dayanır. Bu ağlarda sözelimi yapı çizgilerini üçgen kenarları kesebilir. Daha sonraki çalışmalarda ise, arazinin yapısını gösteren iskelet çizgilerin ve kırık çizgilerin üçgenlerin mutlaka bir kenarını oluşturması sağlanmıştır.

Bu amaçla noktaların tanınmasını sağlayan bir kodlama sistemi kurulur. Bu kodlama, noktalar arasındaki ilişkiyi ve noktanın bulunduğu yerin niteliğini belirtir. Birçok olanak göz önünde bulundurularak dayanak noktalarından oluşturulan triangulasyon ağının kısa kenarlı üçgenlerden meydana gelmesi amaçlanır. Böyle bir ağ, minimal ağırlıklı triangulasyon ağ olarak adlandırılır (Koch, 1985).

6.5 SYM Doğruluğu

Mutlak doğru bir harita olmadığı gibi, mutlak doğru bir sayısal yükseklik modeli de bulunmamaktadır. Bütün sayısal yükseklik modelleri, bir takım ilişkili faktörlere bağlı olarak büyük küçük hatalar içerirler. Tüm haritacılık işlemleri gibi, arazi modelinin doğruluğu da seçilen veya istenilen uygulamaya uygun olmalıdır. Örneğin, hiçbir mühendis, detaylı bir inşaat projesinin planlama ve kontrolü için 1/50.000 ölçekli haritadan büyütülen eş yükseklik eğrilerini kullanmayacaktır. Böyle amaçlar için, bu eş yükseklik eğrileri verisinden elde edilen SYM (Sayısal Yükseklik Modeli)’ni kullanmak tavsiye edilmeyecektir. Sayısal yükseklik modelinin doğruluğu ve bu doğruluğu etkileyen faktörler, bu modellerin oluşturulması ve uygulaması için dikkate alınması gereken faktörlerdir (Shearer, 1994).

Haritacılıkta, tek “doğru” durum, arazi yüzeyinin kendisidir. “Mutlak” doğruluk ölçmeyle elde edilemeyeceğinden, her hangi bir arazi ölçmelerinin, fotogrametrik yöntemle yapılan ölçmelerin veya tamamlanmış bir harita üzerinden yapılan ölçmelerin doğruluğu; belli bir doğruluk seviyesine kadar yapılmış ölçülerle karşılaştırılarak elde edilebilir. Bundan dolayı doğruluğu tanımlarken, çoğu durumda mutlak olmaktan çok bağıl doğruluktan bahsedilir. İki çeşit hatadan bahsetmek mümkündür:

- Rastgele hatalar: İsminden de anlaşılacağı gibi, bu hatalar doğada tamamen tesadüfi olarak yer almaktadır. Yükseklik olarak rastgele hatalar, “gerçek” değerlerden hem büyük hem de küçük değerlerle ifade edilir.
- Sistematik hatalar: Bu hatalar belirli bir kayıklık veya ekleme içerirler. Örneğin, kontrol edilen yükseklik değerlerinin hepsi pozitif (gerçek değerinden yüksek değerler) bir değere sahipse, pozitif bir sistematik hataya sahip demektir.

Bir SYM’nin doğruluğu; SYM’nin yüzeyindeki ve bunlara karşılık gelen arazideki noktaların belirli bir doğruluk seviyesine kadar yapılan ölçümleriyle elde edilir. Örneğin; sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrilerinden elde edilen bir SYM, arazide yapılan ölçülerle veya fotogrametrik ölçülerle kontrol edilebilir. Böyle bir karşılaştırmadan elde edilecek veri, test noktalarındaki yükseklik farklarını (artıkları) verecektir. Bu değerler, her iki yüzeyin eşlenik noktalarındaki bağıl yüksekliklerine bağlı olarak pozitif veya negatif bir işaret alabilirler. Elde edilen veriler, daha sonra doğruluğun istatistiksel ifadesini elde etmek için kullanılabilir.

Aşağıda verilen formülde, yükseklik farkları v ile ifade edilmiştir. (n farklı noktadaki farklar $v_1, v_2, \dots, v_n$)

Hataların Ortalaması:

Ortalama ya da tam olarak cebirsel ortalama şöyle hesaplanır:

$$\text{Hataların Ortalaması: } \bar{X} = \sum_{i=1}^n v_i / n \quad (6.7)$$

(Standart istatistiksel terim $\bar{X}$, burada ortalama için kullanılmıştır. Bu terimin x-koordinatı ile bir ilişkisinin olmadığını vurgulamakta fayda vardır.)

İfade, farkların işaretini almaktadır ve eğer benzer pozitif ve negatif büyüklüklere sahip olursa “0” değerini almaktadır. Her bir noktanın yüksekliği, eğer farklar rastgele dağılmışsa $\bar{X}=0$ olacaktır. Bu durum noktalarda oldukça fazla yükseklik farklarının olmadığı anlamına gelmemektedir. Diğer yandan bu hesaplardan belirli bir pozitif veya negatif bir değer çıkarsa, bu durum farklarda sistematik bir hatanın olduğunu gösterir. Yani, bir yüzey diğerinden sistematik olarak yüksek veya alçaktır (datumla ilişkili olarak).

Mutlak Hatların Ortalaması:

Ortalama hata, cebirsel ortalama ile aynı şekilde hesaplanır, fakat farkların işaretleri dikkate alınmaz. Yani, aritmetik işareti dikkate almayarak mutlak değerler toplanır. Yani:

$$\text{Mutlak Hataların Ortalaması: } \mathbf{OH} = \sum_{i=1}^n |v_i| / n \quad (6.8)$$

(“|” işareti mutlak değeri ifade etmektedir.) Bu durumda, işaret dikkate alınmadığından, sonuç daima sıfırdan büyük olacaktır ve farkların dağılımını gösterecektir. Farklar % 50 oranında $-\mathbf{OH}$ ile $+\mathbf{OH}$ arasında yer alacaktır.

Standart Sapma:

Pozitif ve negatif değerlerin yer alması problemi, istatistik terim “standart sapma”nın kullanılmasıyla giderilmektedir. Hesaplama aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Standart Sapma: } S = \pm \sqrt{\sum v^2 / (n-1)} \quad (6.9)$$

Genelde n yerine $(n-1)$ kullanılır. Fakat test edilen nokta sayısı çok fazla ise n kullanılması sonucu etkilemeyecektir. $\bar{X}=0$ ve normal dağılım olduğunu kabul edersek; farkların %

68.27'si (yaklaşık 2/3'ü) $-S$ ile $+S$ arasına girecektir. Standart sapma terimi haritacılıkta sık sık bu doğruluk ifadesini tanımlamak için kullanılır.

Karesel Ortalama Hata:

Karesel ortalama hata, sık sık kullanılan istatistiksel ifadelerin sonuncusudur. Şöyle hesaplanır:

$$\text{Karesel Ortalama Hata: } \mathbf{KOH} = \pm \sqrt{\sum (v - \bar{X})^2 / (n-1)} \quad (6.10)$$

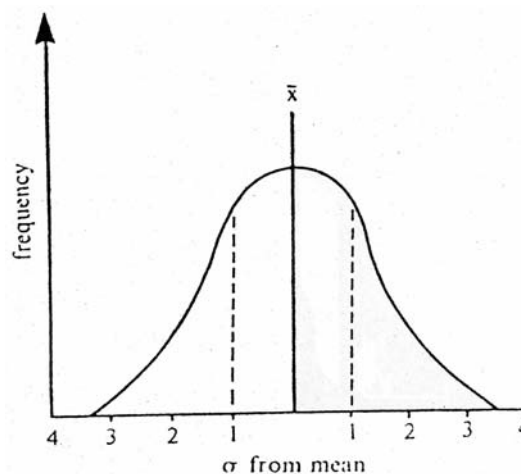
Yine bu ifadenin paydası kesinlikle $(n-1)$ olmalıdır. Test noktalarının sayısının çok fazla olması durumunda paydanın n olması bir fark yaratmayacaktır. Yukarıdaki ifade genellikle aşağıdaki şekilde düzenlenir:

$$\mathbf{KOH} = \pm \sqrt{(\sum v^2 / n) - \bar{X}^2} \quad (6.11)$$

veya

$$\mathbf{KOH} = \pm \sqrt{S^2 - \bar{X}^2} \quad (6.12)$$

Farkların dağılımı $\bar{X}$ etrafında simetrik olacaktır ve yine değerlerin % 68.27'si $-KOH$ ile $+KOH$ arasında olacaktır. $(\pm 3KOH)$ değeri, birkaç değer bu değeri geçse de maksimum ve minimum hata olarak kabul edilebilir (Şekil 6.8 ve Tablo 6.2).



Şekil 6.8 Normal dağılım eğrisi

Çizelge 6.2 Hata olasılıkları

Standart Sapma Değerleri	Bu Değerler İçine Giren Noktaların Yüzdesi	Terim
0.6745	% 50.00	Ortalama hata
1.0000	% 68.27	Standart hata
1.5000	% 86.60	
1.6449	% 90.00	
2.0000	% 95.50	
2.5000	% 98.80	
3.0000	% 99.73	Maksimum hata
4.0000	% 99.99	

Şekil 6.8’de açıkça görülmektedir ki, eğer $\bar{X}=0$ ise $S=KOH$ ’dır ve karesel ortalama hata standart sapmanın yerini alabilir. Bu durumda, Şekil 6.8’de görülen dağılım doğru olmaktadır. Fakat $\bar{X}$, sıfıra eşit olacaktır ve bundan sapma, standart sapma S ’nin değil KOH ’nın katları şeklinde olacaktır. Bu belki de sık sık karıştırılan her iki ifadenin de haritacılıkta standart hata olarak kullanılmalarını da açıklamaktadır.

6.5.1 Yükseklik Bilgisinin Doğruluğu

Klasik haritacılığa bağlı olarak, her ikisi de SYM’nin girdi verisi olarak kullanılabilecek yükseklik bilgisini kayıt ve temsil etmek üzere kullanılan iki temel yöntem vardır.

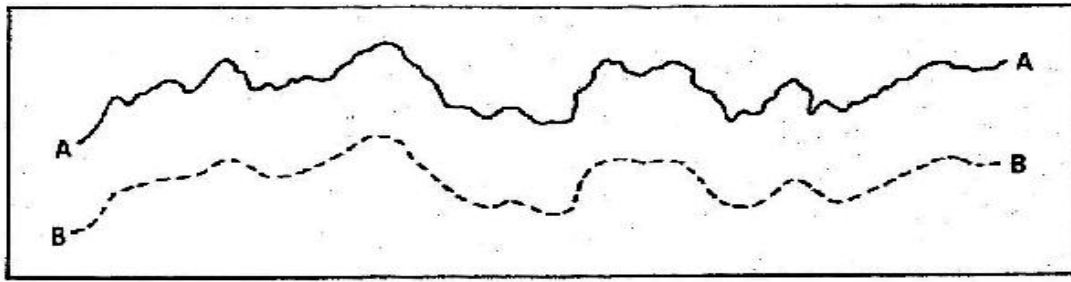
- Nokta yükseklikleri (düzenli veya düzensiz dağılmış), ve
- Amaca uygun haritaya, ölçeğe ve arazi eğimine bağlı olarak seçilen harita ölçeğinin gerektirdiği düşey aralıktaki eş yükseklik eğrileri

Her iki durumda da, doğruluk hem planimetrik hem de yükseklik değeri olarak düşünülmelidir. Basit olarak, örneğin; bir nokta yükseklikte doğru fakat planimetrik olarak yanlış konumlandırılmış; planimetrik olarak doğru fakat yükseklik olarak yanlış ya da çoğunlukla karşılaşıldığı gibi her ikisi de yanlış olabilir.

Nokta yükseklikleri böylelikle, planimetrik ve yükseklikle ilişkili olarak KOH değerleri şeklinde doğruluk için toplanır veya belirlenir. Eş yükseklik eğrileri çizgisel detaylardır ve doğruluklarına nokta veriler gibi kolaylıkla karar verilemez. Bu nedenle, hatalara ve

böylelikle KOH değerlerine belirli nokta konumlarında karar verilebilir. Fakat eş yükseklik eğrileri üzerinde böyle noktaları belirlemek imkansızdır. Eş yükseklik eğrisi doğruluğunu sayısal olarak ifade etmek için çeşitli çabalar olmasına rağmen (örneğin Lee, 1985), eş yükseklik eğrisi doğruluğunu belirlemede genellikle kullanılan yöntem şudur: Eş yükseklik eğrilerinde kabul edilebilir hatalar için bir tolerans (KOH) belirlemek ve harita üzerindeki veya araziden ve fotogrametrik olarak elde edilen noktaların bu tolerans içine girip girmediğini kontrol etmektir. Belirlenen doğruluğa; ölçek, arazi eğimi ve düşey aralık faktörleri göz önüne alınarak karar verilir. Doğruluk kullanılan noktaların KOH'sına dayanmaktadır. Normalde, eş yükseklik eğrisi için kabul edilen standart, ölçülen noktalardan elde edilenin üç katıdır. Düşey aralığa bağlı olarak olasılık terimleriyle ifade edilir. Örneğin, test edilen noktaların % 90'ı gerçek değerlerin düşey aralığının yarısı kadardır.

Eş yükseklik eğrileri ile ilişkili olarak; morfolojik doğrulukları veya arazi yüzeyinin küçük düzensizliklerinin temsili konuları da ele alınmalıdır. Bu, eş yükseklik eğrilerinin genel şeklinden çok detayını ilgilendirir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 A çizgisi: fotogrametrik yöntemler gibi yüksek doğruluklu yöntemlerle üretilen eş yükseklik eğrisi, B çizgisi: aynı eş yükseklik eğrisinin bir SYM'den enterpolasyon ile üretilmiş daha yumuşak bir şekli.

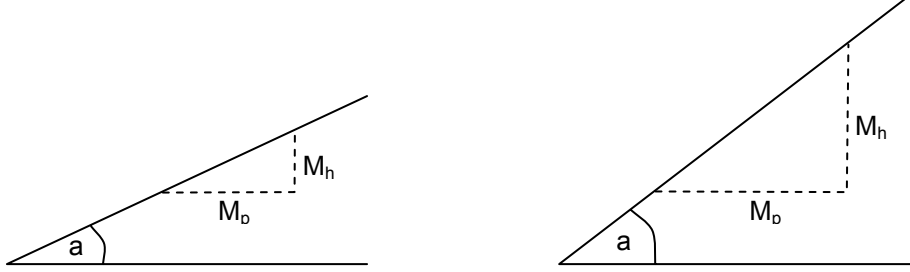
Haritada yüksekliğin temsili için belirlenmiş doğruluklar çoğunlukla, bu yüzyılın başında Koppe tarafından gerçekleştirilen çalışmalara dayanmaktadır. Koppe yükseklik hatalarının eğimle doğrudan ilişkili olarak arttığını göstermiştir ve aşağıdaki ifadeleri ortaya çıkarmıştır. Burada a, eğim açısıdır.

$$\text{KOH yükseklikte } M_h = \pm(A+B \tan a) \quad (6.13)$$

$$\text{KOH planimetrik } M_p = \pm(B+A \cot a) \quad (6.14)$$

A ve B, haritanın ölçeğine (ve doğruluk gereklerine) bağlı olarak belirlenmiş sabitlerdir. Koppe bu prensibi ilk ortaya çıkardığından beri 85 yıl geçmiştir ve yıllar boyunca geçerliliği

tartışılmıştır. Yine de, formül, çoğu modern haritacılık işlerinde yükseklik hatasının belirlenmesinde temeli oluşturmaktadır. Formül noktalara ilişkindir, fakat eş yükseklik eğrilerinin doğruluğunu belirtmede de kullanılmaktadır (Şekil 6.10 ve Tablo 6.3, 6.4) (Shearer, 1994).



Şekil 6.10 Yumuşak eğimlerde yükseklik hatası M_h , dik eğimlerde oluşan hatalara oranla küçüktür. Buna rağmen, planimetrik hata M_p yumuşak eğimlerde daha büyüktür.

Çizelge 6.3 Orta ve büyük ölçekli haritalara ilişkin A ve B değerleri (Burada 'a' eğim açısıdır.).

Ölçek	Eş yükseklik eğrisi aralığı (metre)	M_h (metre)	M_p (metre)
1:1 000	1	$\pm (0.1 + 0.3 \tan a)$	$\pm (0.3 + 0.1 \cot a)$
1:5 000	5	$\pm (0.4 + 3 \tan a)$	$\pm (3 + 0.4 \cot a)$
1:10 000	10	$\pm (1 + 5 \tan a)$	$\pm (5 + \cot a)$
1:25 000	10	$\pm (1 + 7 \tan a)$	$\pm (7 + \cot a)$
1:50 000	20	$\pm (1.5 + 7 \tan a)$	$\pm (10 + 1.5 \cot a)$

Çizelge 6.4 10° ve 30° eğimleri için M_h ve M_p değerleri

Ölçek	Eş yükseklik eğrisi aralığı (metre)	M_h (metre)		M_p (metre)	
		$a=10^\circ$	$a=30^\circ$	$a=10^\circ$	$a=30^\circ$
1:1 000	1	0.15	0.27	0.86	0.47
1:5 000	5	0.92	2.13	5.26	3.69
1:10 000	10	1.88	3.89	10.67	6.73
1:25 000	10	2.23	5.04	12.67	8.73

1:50 000	20	3.26	7.27	18.51	12.59
----------	----	------	------	-------	-------

6.5.2 SYM Hata Kaynakları

SYM'nin doğruluğu, kaynağa ve veri profillerinin grid aralığı olan konumsal çözünürlüğe bağlıdır. Kaynak verinin ölçeği ve çözünürlüğü, SYM'nin doğruluğunu etkileyen önemli faktörlerdir. Kaynak materyallerinin ölçeği ile grid seviyelerinin olası sınırlaması arasında bir bağımlılık vardır. Kaynak çözünürlük, sayısallaştırma sırasında önemli bir faktördür. Örneğin, 1 derecelik SYM'ler için 1:250.000 ölçekli topoğrafik haritalar temel kaynaktır.

Diğer bir faktörde SYM'nin yatay ve düşey aralığıdır. SYM verisinin yatay doğruluğu, yükseklik matrisinin yatay aralığına bağlıdır. Standart bir SYM içinde çoğu arazi detayları, yatay düzlemde düzenli aralıklarla yerleşmiş grid noktalarına genelleştirilerek azaltılmıştır. Bu genelleştirme yüzey gridlemesi sırasında kullanılan sabit aralıktan küçük detayların konumlarını iyileştirme yeteneğini azaltır.

SYM'nin düşey doğruluğu, tanımsal çözünürlük (yatay grid aralığı), kaynak veri kalitesi, toplama ve işleme yöntemleri ve sayısallaştırma sistemlerine bağlıdır. Proje tanımlamayla başlayan, kaynak veri setlerinin toplanmasıyla devam eden ve gridleme işleriyle sonuçlanan SYM oluşturma işlemi, her bir uygulama için gerekli doğruluk kriterini sağlamalıdır. Her kaynak veri kümesi, bir sonraki adımda hataları katlayarak artıracığı için ona göre kaliteli olmalıdır.

Düşey SYM hataları üç türdür. (1) Kaba hata, (2) Sistematik ve (3) Rastgele hata. Kaba hatalar temel kısımlarda görülen hatalar olup, interaktif editleme sırasında kolayca ortadan kaldırılabilir. Sistematik hatalar sabit bir konum içeren hatalar olup, veri toplama yöntemleri ve sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu hata çeşitleri şunları içerir: Düşey yükseklik kayıklıkları, ağaçlara, binalara ve gölgelere bağlı arazi yüzeyinin yanlış yorumlanması, hayali kayalıklar, zirveler ve hendekler. Rasgele hatalar, bilinmeyen veya tesadüfî olaylardan kaynaklanırlar. Bu hataların büyüklüğü editleme ile azaltılır. Fakat tamamen ortadan kaldırılamaz.

Karesel ortalama hata (KOH); veri toplama sırasında ortaya çıkan rastgele ve sistematik hataları ifade ederek SYM'nin düşey doğruluğunu tanımlamada kullanılır. Doğruluk; konumları bilinen nokta yükseklikleri, bunlara karşılık gelen doğrusal enterpole edilmiş SYM'deki yükseklikler karşılaştırılarak hesaplanır. Test noktaları iyi dağılmış olmalı, arazi

yüzeyini iyi temsil etmeli ve SYM doğruluk kriterleri içinde iyi bilinen doğruluklarda gerçek yüksekliklere sahip olmalıdır (Erdoğan, 2000).

Kabul edilebilir test noktaları tercih sırasına göre: Arazi kontrol noktaları, havai nirengisi yapılmış test noktaları, nokta yükseklikleri veya kaynak haritalarda uygun aralıktaki eş yükseklik eğrileri üzerindeki noktalardır (Erdoğan, 2000).

SYM'deki hata, bu SYM'yi kullanarak yapılmış ortogörüntüde planimetrik bir hataya sebep olur. Bu hata, yükseklik hatası büyüklüğü, bakış geometrisi, algılayıcı sistem vb. gibi farklı faktörlere bağlıdır. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Erdoğan, 2000).

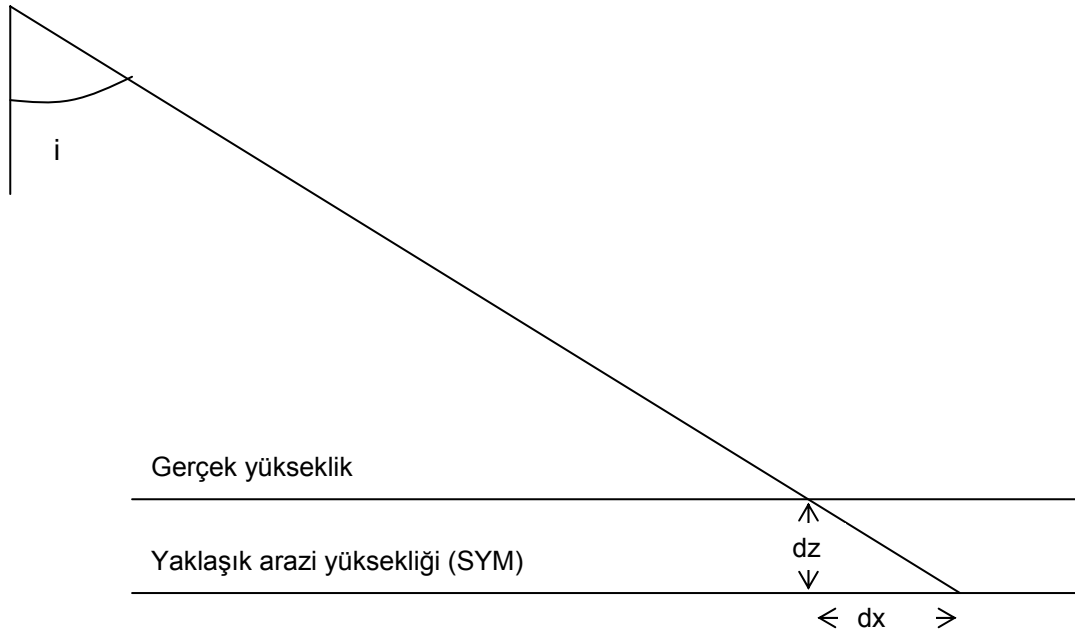
$$dx = dz \cdot \tan(i) \quad (6.15)$$

burada,

dx = planimetrik hata

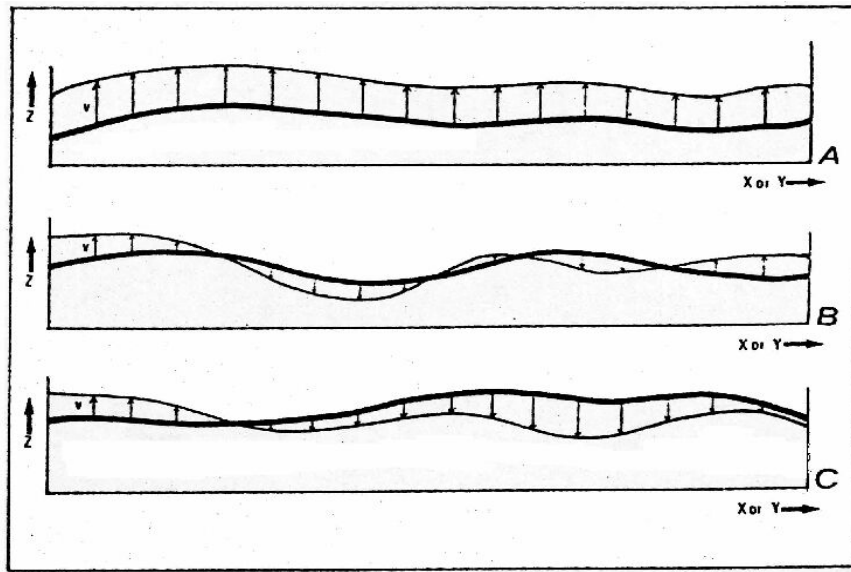
dz = SYM hatası

i = bakış açısı



Şekil 6.11 SYM'deki hataların ortogörüntünün planimetrik doğruluğuna etkileri (Erdoğan, 2000).

Sayısal yükseklik modelleme sistemleri, düzenli bir nokta yükseklikleri grid ağı üretimine dayanmasına veya bu grid ağını kendisi oluşturabilmesine rağmen, bu noktaların doğruluğu, arazi ölçümleri veya fotogrametrik olarak elde edilen bir kontrol grid ağının yükseklikleriyle karşılaştırılması suretiyle kontrol edilebilir. Böyle bir karşılaştırma grid noktaları için standart hata değerlerini verecektir ve enterpole edilmiş yükseklik noktalarında ve/veya eş yükseklik eğrilerinde meydana gelen olası hataları belirlemede bir temel oluşturacaktır. Benzer bir yöntemle, farklı arazi modelleme paketlerinin doğruluğu karşılaştırılıp analiz edilebilir. Bir SYM ve arazi yüzeyini temsil eden gerçek yüksekliklerle karşılaştırmasından elde edilebilecek olası sonuçlar Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Arazi yüzeyi ile Sayısal Yükseklik Modellerinin karşılaştırılması

Şekil 6.12-A, bir yüzeyin diğerinden sabit olarak yüksek olduğu durumu göstermektedir. Her noktadaki v değeri sabittir ve verilen datum seviyesine göre pozitif veya negatif olabilir. Bu durum; bir yüzeyin diğerine göre tamamen kayıklığını yansıtmaktadır ve burada:

$$\bar{X} = OH = v \quad (6.16)$$

Şekil 6.12-B, hem büyüklük hem de aritmetik işaret olarak v değerinin tamamen rastgele değerlerini göstermektedir. Oldukça büyük bir örnekleme aralığında $\bar{X}$ 'in değeri sifıra eşit veya çok yakın olacaktır ve yükseklik farklarının değerlerinin dağılımı ve büyüklüğü karesel ortalama hata ile ifade edilecektir.

Şekil 6.12-C durumunda ise, v 'nin büyüklüğü oldukça fazla değişir, fakat farkların çoğunluğu bir yöndedir. Bu durum hem sistematik hataların, hem de rastgele hataların birlikte bulunduğu

durumu göstermektedir. X 'in değeri bu durumda sistematik elemanı belirtecektir ve S de farkların dağılımı ve büyüklüğünü gösterecektir. Burada $\bar{X}$ değerinin SYM yüzeyindeki sistematik hataları gidermek için her grid noktasındaki yüksekliğe uygun şekilde ekleyerek veya çıkartarak kullanılabileceğini belirtmek yerinde olacaktır. Her noktada kalan farklar, artık bütün doğada rastgele dağılmış olacaktır (Shearer, 1994).

Arazinin tipine bağlı veya SYM boyutuna bağlı olarak SYM doğruluğu hakkında herhangi bir kabul edilen kıstas bulunmamaktadır. Klasik eş yükseklik haritalarında eş yükseklik eğrisi aralıkları ile eş yükseklik doğruluğu arasında tanımlanmış ilişkiler bulunmaktadır. Sadece grid boyutunun özellikleri ile ilgili olarak belirgin olmayan kurallar bulunmaktadır. Örneğin 5 metre aralıklı bir gridin çok doğru olduğu düşünülürse, düzgün arazi yapısında karesel ortalama hatasının 10 ila 25 cm. ve kayalık alanların hariç edildiği engebeli arazi yapısında ise bunun yaklaşık iki katı daha fazla olacağı belirtilmektedir. 10 m. ve 50 m. aralıklı 3 üncü düzey SYM verilerinin karesel ortalama doğruluğu, 0.5 m. ile 2.5 m. arasında tahmin edilmektedir. SYM gridi ile ilgili olarak genel bir kural koymak yararlı olacaktır. Düşey doğruluk, doğrusal grid boyutunun düzgün arazilerde 1/20 si kadar, engebeli arazilerde 1/10 u kadarına karşılık gelmelidir. SYM'lerin yanlış değerlendirilmesini engellemek amacı ile bu şekildeki bağlantıların araştırılması ve belirlenmesi tavsiye edilmektedir (Shearer, 1994).

SYM amaçlı veri elde etmedeki en büyük sorun istenen doğruluğu elde etmek için gözlenen noktaların hangi yoğunlukta belirleneceğidir.

SYM'lerdeki objektif kalite kıstasları tam olarak kullanılmamaktadır. Kaç tane veya hangi kırıklı çizgilerin başlangıç olarak alınacağı gibi bu işlemler tamamen operatörün kişisel yargısına bırakılmıştır. Normalden çok fazla kırıklı çizgi alındığında, bunların çoğunun SYM'ni etkilemeyeceğine inanılmaktadır.

Çizgisel haritalar için oluşturulan standartlar SYM'leri için de iyi bir örnek oluşturmaktadır. Yalnız bir problem şudur: Harita standartları daima ölçekle ilişkili olmasına rağmen, bir SYM, verilen hassas koordinat terimleri ile ifade edildiğinden ölçekten bağımsızdır. Ley (1986), SYM'de ölçeğe eş olarak grid nokta ayırımı veya yatay çözünürlüğü önermektedir. Ayrıca 30 m.den 100 m.ye kadar nokta ayırımları 1/50.000' den 1/250.000'e kadar harita ölçeklerine eşittir. Sonra, doğruluğu, grid nokta uzaklığının bir fonksiyonu olarak düşünür. Örneğin; grid nokta yüksekliklerinin standart hatası, birinci sınıf bir doğruluk için grid nokta aralıklarının üçte biri olmalıdır. Bu yaklaşım, sadece grid bazlı SYM'nin, grid yükseklik değerlerinin doğrudan ölçümünden oluşturulduğu yerlerde geçerli olduğu görülmektedir (örneğin, fotogrametrik veya arazi ölçümü yöntemleri ile). Grid nokta değerleri orijinal

rastgele dağılmış veriden enterpole edildiği yerlerde çoğu SYM paketi, kullanıcıya nokta aralıklarını seçme olanağını sunmaktadır. Açıkçası bu, girdi verilerinin yoğunluk ve dağılımına bağlı olarak yapılmalıdır. Nokta aralıklarını azaltmanın, doğrulukta bir artışa sebep olmayacağı açıktır (Şekil 6.13) (Ackerman, 1996).



Şekil 6.13 10 m. aralıklı eş yükseklik eğrisi kullanılarak üretilmiş 1/5.000 ölçekli ortofoto haritada meydana gelebilecek hatalar.

6.5.3 Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalite Kontrolü ve Editlenmesi

Bir SYM'nin kalitesinin belirlenmesinde doğruluktan daha başka kriterler de kullanılmalıdır. Yüzeyin yaklaşık morfolojik tanımı ile birlikte SYM verilerinin güvenilirliği, tutarlılığı ve düzgün dağılımı göz önüne alınmalıdır. SYM'nin kalitesinin artırılması, yüzeyin matematik modellenmesine ve modelleme doğruluğuna bağlıdır. Genellikle fotogrametrik yöntem ile model üzerinden gerçekleştirilen üç boyutlu SYM sayısallaştırması, yüzeyin matematik olarak modellenmesinde bağımsız noktalar ve çizgi verilerinin kullanılmasına olanak tanımaktadır.

SYM toplama sistemlerinin çoğunda, eşleme ve yüzey yoğunlaştırma tamamen otomatik işlemler olup, insan müdahalesi sadece işlemlerin başlatılmasında gerekmektedir. Bu iki işlemde gerçekleştirilen bütün kontrollerin yanı sıra, SYM'nin doğruluk ve bütünlük açısından operatör tarafından kontrol edilmesi önemlidir. Bu işlem Kalite Kontrol olarak adlandırılabilir. Kalite kontrol, SYM verilerinin görüntülenmesi ve eğer gerekli ise SYM verilerinin editlenmesinden oluşan iki adımın interaktif bir ortamda yapılmasıdır. Bu işlem çok önemlidir, çünkü sadece SYM kalitesinin etkilenmesi ile kalınmayıp, bunun yanında otomatik yaklaşım maliyeti de etkilenmektedir. SYM'lerin görüntülenmesi, Perspektif Görüntüler ve Gerçek Üç Boyut olarak gruplandırılabilir. SYM'lerin kafes yapısı modeli olarak perspektif görüntülenmesi, hızlı müdahalelere ve kaba hatalıların tespitine olanak

sağlamaktadır. Bununla birlikte doğruluğu yakalama kapasitesinden tamamen yoksundur. Yapay bir ışık kaynağından SYM verilerinin gölgelendirilmesi, kafes yapı modeline bir alternatiftir. Rendering olarak bilinen bu teknik, hataların tespit edilmesinde oldukça etkilidir fakat herhangi bir doğruluk sunmamaktadır. Güçlkle fark edilen hataların SYM'de tespit edilmesi ve gerçek üç boyutlu görüntüde doğruluğuna erişilmesi işlemin bir yolu, SYM'nin görüntüler üzerine konulmasıdır. Bu durumda operatör SYM modelini stereo model çifti üzerinde görebilmekte ve SYM verilerinin üç boyutlu görüntüsünü stereo model ile karşılaştırabilmektedir. Bu görev için softcopy çalışma istasyonları ideal bir ortam sağlamaktadır. Bununla birlikte dikkatli bir şekildeki kontrol sıkıcı bir işlem olarak kalmaya devam etmektedir. Norvelle, korelasyon tekniği kullanarak stereo modelin 15 dakikada eşlenmesi ile elde edilen verilerin kontrolünün ve editlenmesinin yaklaşık 5 saat gerektirdiğini bildirmiştir. Norvelle, iteratif ortofoto adı verilen bilgisayar destekli kalite kontrolünü gerçekleştirmek için bir metot önermiştir. Shenk ve arkadaşları tarafından da farklı bir şekilde ele alınan bu görüşte, stereo modele ait iki görüntü ve SYM verisi ile birlikte iki tane ortofoto üretimine dayanmaktadır. Eğer SYM verisi doğru ise, radyometrik sapınçlar haricinde iki ortofotonun da bire bir olması gerekmektedir. Geometrik yer değiştirmeler sadece yanlış SYM verisinden kaynaklanmaktadır. Bu şekildeki yer değiştirmeler, iki ortofotonun tekrarlı olarak eşleme işleminden geçirilmesi sureti ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir. İlave olarak bu yer değiştirmeler SYM verisinin düzeltilmesinde kullanılabilecektir (Gruen, 1998).

Vektörlerin sayısal ortamda stereo gösterilmesi, SYM'lerden elde edilen üçgenlerin ve eş yükseklik eğrilerinin gerçek zamanlı üç boyutlu görüntülenmesine ve editleme işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Vektörlerin stereo gösterimi, analitik aletlerde yapılması çok zor olan SAM verilerindeki hataların tespit edilmesine ve düzeltilmesine olanak sağlar. Vektörlerin stereo gösterimi bazı analitik aletlerde mümkündür fakat maliyeti yüksektir ve optikteki sapınçlara bağlı olarak sayısalı kadar doğru değildir. Hızlı digital model çözümleri SYM'lerin düşük maliyetli kalite kontrolüne olanak sağlar. Otomatik olarak toplanan SYM'lerin %100 kalite kontrolü yapılmalıdır. Stereo görüntüleme imkanları %100 kalite kontrolüne olanak sağlamasından itibaren, kullanıcılar SYM'leri editleme eğilimine yönelmişlerdir.

7. UYGULAMA

7.1 Giriş

Uygulamada sayısal hava kamerası ile farklı ölçeklerde çekilmiş renkli hava fotoğrafları ile analog hava kamerası ile çekilmiş 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uygulama genel olarak iki aşamaya ayrılabilir. Birinci aşamada, renkli hava fotoğrafları ile farklı sayıda yer kontrol noktası kullanılarak havai nirengi işlemleri uygulandı. Dengeleme sonucunda elde edilen dış dönüklük parametreleri ile stereo modeller oluşturulup nokta okuması yapılarak planimetrik ve düşey doğruluğa etkileri incelenmiştir. Aynı şekilde bu işlemler sırası ile siyah-beyaz hava fotoğrafları içinde yapılarak nokta okuması yapılmıştır.

Bununla beraber renkli hava fotoğrafları ve GPS/IMU değerleri dengeleme yapılmaksızın kullanılarak dış yöneltme parametreleri elde edilmiştir (Direct Georeferencing). Elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak stereo modeller oluşturulmuş ve nokta okuması yapılarak planimetrik ve düşey doğruluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

İkinci aşamada ise elde edilen sonuçlar doğrultusunda seçilen stereo çiftlerinden modeller oluşturularak otomatik sayısal yükseklik modelleri (SYM) üretilmiştir. Üretilen modellerde koordinatları hassas bilinen noktalarda nokta okuması yapılarak düşey doğruluk hassasiyetlerine bakılarak renkli hava fotoğrafından üretilen SYM ile siyah-beyaz hava fotoğrafından üretilen SYM karşılaştırılması yapılmıştır.

Nokta okumalarında, renkli hava fotoğrafları için bölge içerisindeki 24 adet nirengi noktası kullanılmış siyah-beyaz hava fotoğrafları için ise 9 adet nirengi noktası kullanılmıştır. Bu nirengi noktaları referans verisi olarak kullanılmış ve çalışma nirengi noktalarının bulunduğu resim çiftlerinde yapılmıştır.

7.2 Çalışma Alanı

Çalışma bölgeleri olarak; renkli hava fotoğrafları için Ankara'yı kapsayan 3600 km²lik bölge seçilmiştir. Bölgenin geniş bir alana sahip olup farklı arazi kullanımlarının bulunması, hem yapılacak nirengi işlemlerinin değerlendirilmesi hem de SYMnin bu tür farklı yerlerdeki doğruluğunun test edilebilmesi açısından bir avantajdır. Bölgede çok farklı eğim grupları ve yükseklikler bulunmaktadır. Bu özellik de yine yapılacak testler için oldukça uygundur. Bölgede yükseklik yaklaşık 700 ile 1400 metre arasında değişmektedir (Şekil 7.1).

DATUM : WGS84
DILIM NO : 36
D.O.M. : 33 DERECE
TARAMA : 21 MIKRON

7.3 Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

98

İnpro Application Master Yazılımı (Match AT - Match T - Ortho Master modülleri) : Hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinden arazi ve detay hakkında sayısal veri elde etmeyi sağlayan bir digital fotogrametri yazılımıdır. Proje tanımlama, fotogrametrik blok oluşturma, dengeleme, stereo model oluşturma, otomatik SYM ve TIN verisi toplama ve stereo düzeltme, ortofoto görüntü oluşturma, ortofoto mozaik yapma, stereo ve/veya ortofoto üzerinden üç boyutlu veri toplama, kabul görmüş çeşitli formatlardaki raster veya vektör import/export olanağı sağlayan geniş kapsamlı bir yazılımdır.

Yazılımın modüler yapıda olması, kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Projeksiyon sisteminin seçilmesi ve yeni projede kullanılan sistemin oluşturulması; kamera bilgilerinin tanımlanması; proje yönetiminde raporlama işlemlerinde kullanılan proje hakkında grafik gösterimlere olanak sağlaması; otomatik veya manuel iç yöneltme ve bağlama noktalarının ölçülmesi; dış yöneltme parametrelerinin alınması veya dengeleme ile oluşturulması; stereo modellerin oluşturulması ve görüntülenmesi; grid veya üçgen yapıdaki SYM verilerinin oluşturulması, raporlanması, stereo modelden düzeltilmesi ve morfolojik verilerin SYM'lere eklenmesi; ortofoto görüntü oluşturulması ve mozaikleme yapılması; uzunluk, alan, vb. ölçümlerin yapılabilmesi; stereo veya ortofoto görüntüler üzerinden değerlendirmelerin yapılması ve toplanan sayısal verilerin çeşitli formatlara dönüştürülmesi işlemleri yapılabilir.

Global Mapper 9.0: Dünya üzerinde bulunan birçok vektör ve raster dosya formatını destekleyen bir görüntüleyicinin yanında bu verilerin birçok formata dönüştürebilmesine, düzenlenmesine ve çıktı alınabilmesine ayrıca GPS ile takip yapılabilmesine olanak sağlayan bir yazılımdır. Verilerinizi katmanlar halinde (rastır, vektör, dem vs.) açıp farklı projeksiyon sistemlerinizdeki verileri bile tek bir projeksiyon altında toplayarak üst üste gösterebilme ve kullanabilme özelliği vardır. Verileri istendiği takdirde "workspace" mantığı altında kaydedilebilir. Projede kalınan yerden devam edilmesini sağlamaktadır. İstenildiği takdirde verinin projeksiyon sistemini değiştirip kaydetme özelliğine sahiptir. Noktasal bazlı lokasyon tespiti, mesafe, alan hesaplamaları gibi özelliklerin yanında sayısal yükseklik modelleri üzerinde "Path profile" özelliği sayesinde kesit alınıp farklı kesitlerle karşılaştırmalar ve "line of sight" hesaplamaları yapılabilme özelliği de bulunmaktadır. Gelişmiş raster ve vektör veri üzerinde ölçme (alan, çevre, uzunluk) özelliği, yüklenmiş bütün vektör veriler üzerinde özellikler (attribute) üzerinden arama yapılabilme özelliği, görüntü ve vektör veriler üzerinde yeni sayısal veriler oluşturabilme ve edit edebilme özelliği, görüntüler üzerinde kontrast ayarlamaları yapılabilme özelliği, görüntüleri koordinatlandırma özelliği, 3D nokta veri setlerinin (XYZ) otomatik olarak üçgenleme (triangulation) ile gridlenmesi, veriyi birçok yükseklik datasına çevirebilmesi yanında bu veriler üzerinde akış (shed) analizi, kontur yaratma gibi analizlerin yapılabilme özelliği bulunmaktadır. Ayrıca bu sayısal yükseklik

verilerini istenilen formata export edebilme özelliği, Sayısal Yükseklik Modellerini 3D olarak gösterebilme özelliği ve üç boyutlu ortamda sayısal yükseklik modeli üzerine rastır görüntüleri giydirebilme gibi özelliklere sahiptir.

Erdas Imagine Essentials Yazılımı: Veriyi görüntüleme, vektör ve raster veriyi kullanma, görüntü yönetimi, geometrik düzeltme, basit sınıflandırma ve görüntüyü haritalama işlemlerini yapmak için gerekli temel aletleri içeren bir yazılımdır. Yazılımın kalbini teşkil eden “**Viewer**” etkileşimli ve güçlü bir tarzda görüntüleri; gösterir, birleştirir ve analiz eder.

Autometric Softplotter Yazılımı: Stereo görüntü çifti oluşturulması, otomatik SYM ve TIN verisi toplama ve stereo düzeltme, ortofoto görüntü oluşturma, ortofoto mozaik yapma, stereo ve/veya ortofoto üzerinden üç boyutlu veri toplama, kabul görmüş çeşitli formatlardaki raster veya vektör import/export olanağı sağlayan geniş kapsamlı bir yazılımdır.

PCI Yazılımı: Uydu görüntüleri, SAR ve RADAR görüntüleri ve hava fotoğraflarının işlenmesi, zenginleştirilmesi ve ortofoto üretimi işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan bir görüntü işleme yazılımıdır. Mozaikleme ve görüntü zenginleştirme işlemlerinde oldukça kolaylıklar sağlamakta olup, uzaktan algılama uygulamaları için elverişlidir. Yazılımda; görüntülerin yöneltmesi ve görüntülenmesi, hava fotoğraflarının düşeye çevrilmesi ve SYM oluşturulması, SAR görüntülerinin işlenmesi, görüntüler üzerinde yer kontrol noktalarının ölçülmesi, kartoğrafik amaçlı düzeltme ve harita üretilmesi ve gerçek zamanlı, perspektif görüntüler üzerinde uçuş simülasyonuna olanak sağlayan modüller bulunmaktadır.

7.4 Uygulamada Kullanılan Veriler:

Çalışmada 1:60.000 ölçekli sayısal hava fotoğrafları ve 1:35.000 ölçekli siyah-beyaz hava fotoğrafları kullanılmıştır. Dengeleme işlemleri esnasında renkli hava fotoğrafları ile GPS ve IMU değerleri, siyah-beyaz hava fotoğraflarının dengelemesinde ise kinematik GPS değerleri kullanılmıştır.

7.4.1 Sayısal Renkli Hava Fotoğrafları

Farklı ölçeklerdeki sayısal hava fotoğrafları ile yapılan çalışma yaklaşık 9 adet 1:60.000 ölçekli topoğrafik haritayı kapsayan 3600 km lik bir alandır. Bölgenin 2006 tarihli UltracamX Vexcel kamerasıyla (Şekil 7.3) (odak uzaklığı: 100.5 mm) boyuna bindirme oranı % 60, enine bindirme oranı ise % 30 olarak tespit edilen uçuşta GPS/IMU tekniği uygulanarak farklı ölçeklerde sayısal hava fotoğrafları elde edilmiştir. Sayısal hava fotoğrafları renkli ve 7.2 x 7.2 pixel çözünürlüğündedir (Şekil 7.4).



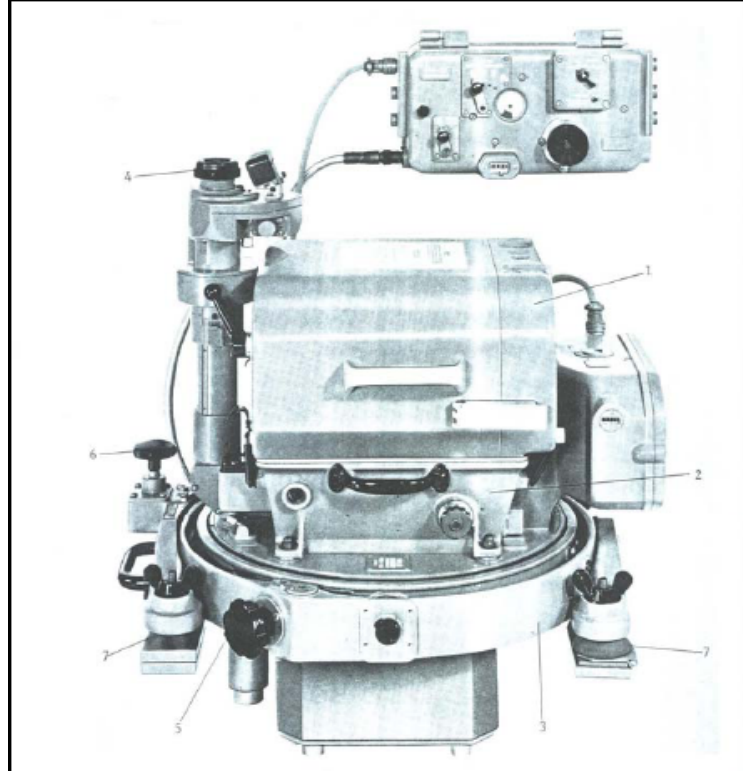
Şekil 7.3 Sayısal Hava Kamerası



Şekil 7.4 Sayısal Hava Fotoğrafı

7.4.2 Analog Siyah-Beyaz Hava Fotoğrafları

1:35.000 ölçeğinde çekilmiş olan siyah-beyaz hava fotoğrafları yaklaşık olarak 7 adet 1:50.000 ölçekli Topoğrafik haritayı kapsamaktadır. Bölgenin hava fotoğrafları 2005 tarihli olup halen Harita Genel Komutanlığının envanterinde bulunan RMK TOP 15 kamerasıyla (Şekil 7.5) (odak uzaklığı: 153.122 mm. ve 152,834 mm.) boyuna bindirme oranı % 60, enine bindirme oranı % 20 olarak tespit edilen uçuşta kinematik GPS tekniği uygulanarak 1:35.000 ölçeğinde siyah-beyaz hava fotoğrafları elde edilmiştir. Hava fotoğrafları 21 mikron çözünürlüğünde taranmıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.5 Analog Hava Kamerası

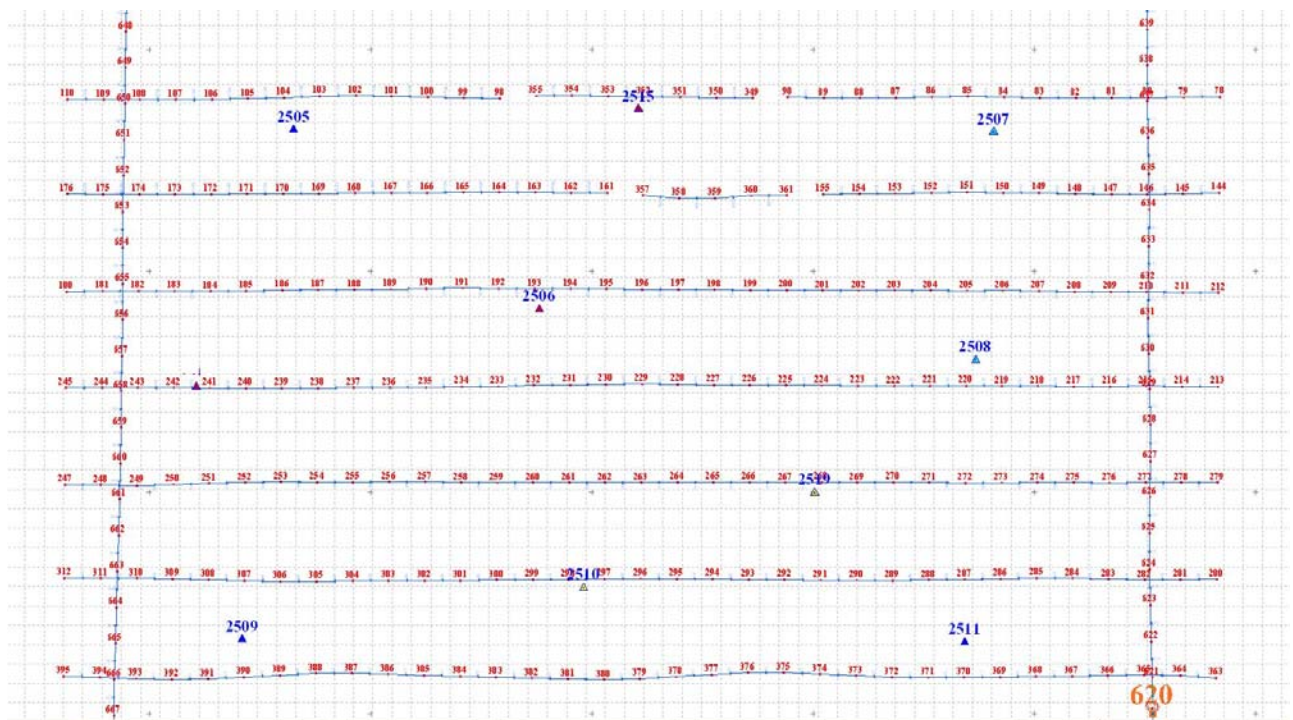


Şekil 7.6 Siyah-beyaz Hava Fotoğrafı

7.5 İş Akışı

Uygulama iki aşamalı olarak düşünülmüştür. Birinci aşamada iki farklı çalışma bölgesi için farklı sayıda nirengi noktası kullanılarak dengeleme yapılmıştır. Bu kapsamda sayısal hava kamerası ile alınan 1:60000 ölçekli renkli hava fotoğraflarından oluşan Ankara bölgesine ait bloktan küçük bir blok seçilerek bir yer kontrol noktası (YKN) ile, iki YKN ile, üç YKN ile, dört YKN ile MATCH-AT programı kullanılarak dengeleme yapılmış ve ayrıca doğrudan coğrafi konumlandırma (DirectGeoreferencing) yapılarak resim orta nokta koordinatları ve dış dönüklük parametreleri bulunmuştur. Bununla beraber analog hava kamerası ile alınan 1:35000 ölçekli siyah-beyaz hava fotoğrafları kullanılarak bir YKN ile, iki YKN ile, üç YKN ile ve dört YKN ile Application Master

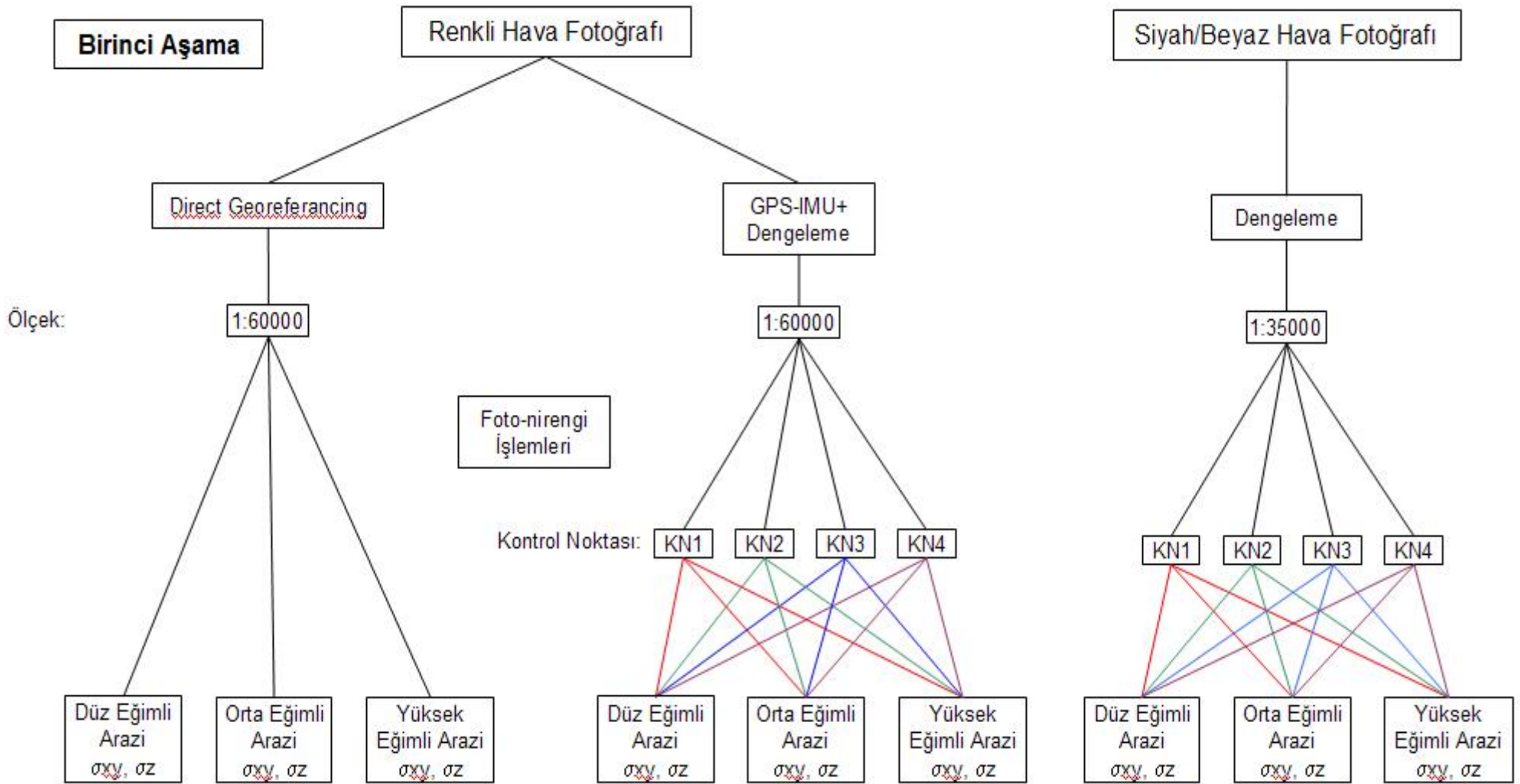
fotogrametri yazılımının Match-AT modülü kullanılarak dengeleme yapılmış, resim orta nokta koordinatları ve dış dönüklük parametreleri bulunmuştur. Burada blok oluşturma ve dengeleme işlemleri için MATCH-AT programı kullanılmıştır.



Şekil 7.7 Sayısal hava kamerası ile alınan fotoğraflarından oluşturulan blok

Aynı şekilde analog hava kamerası ile alınan fotoğraflardan oluşturulan blok dört farklı şekilde dengelenmiş ve müteakiben blok içerisinde tespit edilen dokuz nirengi noktasını içeren resim çiftleri kullanılarak her dengeleme dosyası için ayrı model olmak üzere toplam 36 model oluşturulmuştur.

Oluşturulan modeller Autometric Softplotter programı kullanılarak deneyimli bir operator tarafından açılmış ve her modelden nirengi noktalarına yaklaşılmak suretiyle koordinat okuması yapılmıştır. Aynı işlem her iki kamera içinde oluşturulan modeller için yapılmıştır. Müteakiben bu okumalar kullanılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Bu işlemlere ait iş akışı Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.8 Uygulama iş akışı birinci aşama

Bu aşamada yapılan okumalarda öncelikle renkli sayısal hava fotoğraflarından stereo modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada öncelikle 1 YKN ile dengelenme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak stereo modeller oluşturulmuştur. Burada 2506 nolu nokta YKN olarak diğer 8 nokta ise check point olarak dengelemeye girilmiştir.

Blok içinde mevcut jeodezik koordinatları bilinen 9 nokta kullanılmıştır. Bu noktalar blok içinde homojen dağılmıştır. Bu sayede farklı arazi yapılarına sahip modeller üzerinden okuma yapabilmek imkanı sağlamıştır. Bu stereo modellerden yapılacak okumaların sağlıklı olması ve kontrol edilemeyen hataların (insan göz yanılsaması, notaya yaklaşma, vb..) minimum olması açısından tecrübeli bir operatöre okumalar yaptırılmıştır ve bundan sonraki tüm okumaları da aynı operatör yapmıştır. Stereo modellerden yapılan okumaların sonuçları Çizelge 7. 1’de sunulmuştur.

Çizelge 7.1 1 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)

NOKTA NO	FOTO NO	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI									
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	dp ²	l dz l	l dz l ²
2505	103	466518.511	4436370.420	830.258	466518.717	4436371.713	832.321	-0.206	-1.293	-2.063	0.042	1.672	1.714	1.309	2.063	4.256	
2506	193	477618.816	4428274.204	977.772	477619.102	4428273.979	976.867	-0.286	0.225	0.905	0.082	0.051	0.132	0.364	0.905	0.819	
2507	85	498147.217	4436267.692	958.880	498148.896	4436266.321	956.842	-1.679	1.371	2.038	2.819	1.880	4.699	2.168	2.038	4.153	
2508	220	497329.923	4425998.611	1069.042	497330.256	4425997.960	1068.358	-0.333	0.651	0.684	0.111	0.424	0.535	0.731	0.684	0.468	
2509	391	464193.389	4413327.702	1224.120	464192.146	4413328.706	1224.953	1.243	-1.004	-0.833	1.545	1.008	2.553	1.598	0.833	0.694	
2510	298	479619.906	4415660.590	893.751	479619.000	4415660.085	893.898	0.906	0.505	-0.147	0.821	0.255	1.076	1.037	0.147	0.022	
2511	371	496841.350	4413195.980	1116.342	496840.149	4413194.892	1114.945	1.201	1.088	1.397	1.442	1.184	2.626	1.621	1.397	1.952	
2515	353	482099.726	4437300.907	1362.451	482100.181	4437301.748	1362.401	-0.455	-0.841	0.050	0.207	0.707	0.914	0.956	0.050	0.002	
2519	268	490068.554	4419954.012	952.063	490069.050	4419953.103	951.631	-0.496	0.909	0.432	0.246	0.826	1.072	1.036	0.432	0.187	
														15.322	10.819	8.549	12.553
														1.915			1.569
														Planimetrik Hata (m)		Yükseklik Hatası(m)	
														ORTALAMA HATA (OH)		1.202	
														KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)		1.384	
																1.253	

Burada karesel ortalama hata yatayda 1.384m. düşeyde ise 1.253m. olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

Yükseklik Doğruluğu

$$dz = Z_{\text{stereo}} - Z_{\text{orto}} \quad (7.1)$$

$$OH = \frac{\sum_{i=1}^n |dz|}{n} \quad (7.2)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n dz^2}{n-1}} \quad (7.3)$$

Planimetrik Doğruluk

$$dx = X_{\text{stereo}} - X_{\text{orto}} \quad (7.4)$$

$$dy = Y_{\text{stereo}} - Y_{\text{orto}} \quad (7.5)$$

$$\mathbf{dp} = \sqrt{d\mathbf{x}^2 + d\mathbf{y}^2} \quad (7.6)$$

$$\text{OH} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{dp}|}{n} \quad (7.7)$$

$$\text{KOH} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \text{dp}^2}{n-1}} \quad (7.8)$$

Burada, **dp** = Planimetrik hata,

OH = Ortalama hata,

KOH = Karesel ortalama hatadır.

Burada bakıldığından YKN olarak alınan noktadan uzaktaki modellerde hataların daha fazla olduğu görülebilmektedir. Bunun yanında bu değerde bir karesel ortalama ile otomatik olarak üretilecek bir sayısal yükseklik modelinin üzerinden kontrol yapmanın, eş yükseklik eğrileri üretmenin daha yüksek hatalara sahip değerler elde edileceği kesindir. Bunun yanında maliyet burada tek YKN olacağı için az olacaktır.

İkinci olarak 2 YKN kullanılarak dengeleme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak gene 9 noktayı kapsayan resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada 2505 ve 2511 noktaları kullanılmıştır. Bu modeller operatör tarafından tek tek hassas olarak yaklaşılarak okunmuştur. Bu okumalar Çizelge 7.2’de sunulmuştur.

Çizelge 7.2 2 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)

NOKTA NO	FOTO NO	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI									
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	l dz	l dz ²	
2505	103	466518.511	4436370.420	830.258	466518.346	4436370.746	830.557	0.165	-0.326	-0.299	0.027	0.106	0.134	0.365	0.299	0.089	
2506	193	477618.816	4428274.204	977.772	477619.246	4428273.789	977.796	-0.430	0.415	-0.024	0.185	0.172	0.357	0.598	0.024	0.001	
2507	85	498147.217	4436267.692	958.880	498148.335	4436267.036	957.823	-1.118	0.656	1.057	1.250	0.430	1.680	1.296	1.057	1.117	
2508	220	497329.923	4425998.611	1069.042	497330.176	4425998.654	1068.096	-0.253	-0.043	0.946	0.064	0.002	0.066	0.257	0.946	0.895	
2509	391	464193.389	4413327.702	1224.120	464192.573	4413328.512	1223.050	0.816	-0.810	1.070	0.666	0.656	1.322	1.150	1.070	1.145	
2510	298	479619.966	4415660.590	893.751	479619.203	4415660.562	893.029	0.703	0.028	0.722	0.494	0.001	0.495	0.704	0.722	0.521	
2511	371	496841.350	4431195.980	1116.342	496841.148	4431196.053	1115.909	0.202	-0.073	0.433	0.041	0.005	0.046	0.215	0.433	0.187	
2515	353	482099.726	4437300.907	1362.451	482100.795	4437301.653	1362.650	-1.069	-0.746	-0.199	1.143	0.557	1.699	1.304	1.199	0.040	
2519	268	490068.554	4419954.012	952.063	490069.006	4419953.643	951.390	-0.452	0.369	0.673	0.204	0.136	0.340	0.583	0.673	0.453	
												6.140		6.471	5.423	4.448	
												0.767				0.556	
												Planimetrik	Yükseklik				
												Hata (m)	Hatası(m)				
ORTALAMA HATA (OH)												0.719	0.603				
KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)												0.876	0.746				

Burada karesel ortalama hata yatayda 0.874m. düşeyde ise 0.746m. olarak hesaplanmıştır. Burada gene karesel ortalama hatanın yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca nirengi noktalarından uzaktaki noktalarda yapılan okumaların hata oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle iki noktanın da yapılacak otomatik SYM üretimi için yeterli olmayacağı düşünülmektedir.

Üçüncü olarak 3 YKN kullanılarak dengeleme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak gene 9 noktayı kapsayan resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuştur. Bu

aşamada 2505, 2507 ve 2511 noktaları kullanılmıştır. Bu modeller operatör tarafından tek tek hassas olarak yaklaşılarak okunmuştur. Bu okumalar Çizelge 7.3’de sunulmuştur.

Çizelge 7.3 3 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)

NOKTA NO	FOTO NO	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI									
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	dp	l dz l	l dz F
2505	103	466518.511	4436370.420	830.258	466518.298	4436370.591	830.488	0.213	-0.171	-0.230	0.045	0.029	0.075	0.273	0.230	0.053	
2506	193	477618.816	4428274.204	977.772	477619.120	4428273.873	977.707	-0.304	0.331	0.065	0.092	0.110	0.202	0.449	0.065	0.004	
2507	85	498147.217	4436267.692	958.880	498147.258	4436267.602	958.571	-0.041	0.090	0.309	0.002	0.008	0.010	0.099	0.309	0.095	
2508	220	497329.923	4425998.611	1069.042	497329.640	4425998.776	1069.016	0.283	-0.165	0.026	0.080	0.027	0.107	0.328	0.026	0.001	
2509	391	464193.389	4413327.702	1224.120	464192.730	4413327.030	1223.311	0.659	0.672	0.809	0.434	0.452	0.886	0.941	0.809	0.654	
2510	298	479619.906	4415660.590	893.751	479619.246	4415660.401	893.368	0.660	0.189	0.383	0.436	0.036	0.471	0.687	0.383	0.147	
2511	371	496841.350	4413195.980	1116.342	496841.070	4413196.218	1116.466	0.280	-0.238	-0.124	0.078	0.057	0.135	0.367	0.124	0.015	
2515	353	482099.726	4437300.907	1362.451	482100.377	4437301.292	1362.064	-0.651	-0.385	0.387	0.424	0.148	0.572	0.756	0.387	0.150	
2519	268	490068.554	4419954.012	952.063	490068.851	4419953.677	952.295	-0.297	0.335	-0.232	0.088	0.112	0.200	0.448	0.232	0.054	
														2.658	4.348	2.565	1.173
														0.332			0.147
														Planimetrik Hata (m)	Yükseklik Hatası(m)		
														0.483	0.285		
														KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	0.576 0.383		

Burada karesel ortalama hata yatayda 0.576m. düşeyde ise 0.383m. olarak hesaplanmıştır. Burada karesel ortalama hatanın yarım metreye kadar düştüğü görülmektedir. Ayrıca genel olarak noktalarda yapılan okumaların iyi sonuçlarla elde edildiği görülmektedir. Fakat nirengi noktasının olmadığı köşeye ait noktanın okumasının gene diğerlerinden yüksek ve yaklaşık bir metre çıktığı görülmektedir. Bu nedenle üç noktanın da yapılacak otomatik SYM üretimi için yeterli olmayacağı düşünülmektedir.

Dördüncü olarak YKN kullanılmada doğrudan coğrafi konumlandırma yöntemi ile dengeleme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak gene 9 noktayı kapsayan resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuştur. Bu modeller operatör tarafından tek tek hassas olarak yaklaşılarak okunmuştur. Bu okumalar Çizelge 7.4’de sunulmuştur.

Çizelge 7.4 YKN kullanılmadan doğrudan coğrafi konumlandırma yöntemi ile elde edilen değerlerden üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)

NOKTA NO	FOTO NO	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI									
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	dp	l dz l	l dz F
2505	103	466518.511	4436370.420	830.258	466518.186	4436371.439	832.030	0.325	-1.019	-1.772	0.106	1.038	1.144	1.070	1.772	3.140	
2506	193	477618.816	4428274.204	977.772	477618.839	4428273.943	977.539	-0.023	0.261	0.233	0.001	0.068	0.069	0.262	0.233	0.054	
2507	85	498147.217	4436267.692	958.880	498148.399	4436267.224	957.895	-1.182	0.468	0.985	1.397	0.219	1.616	1.271	0.985	0.970	
2508	220	497329.923	4425998.611	1069.042	497329.959	4425998.096	1068.981	-0.036	0.515	0.061	0.001	0.265	0.267	0.516	0.061	0.004	
2509	391	464193.389	4413327.702	1224.120	464191.781	4413327.878	1224.281	1.608	-0.176	-0.161	2.586	0.031	2.617	1.618	0.161	0.026	
2510	298	479619.906	4415660.590	893.751	479619.590	4415660.370	893.239	0.316	0.220	0.512	0.100	0.048	0.148	0.385	0.512	0.262	
2511	371	496841.350	4413195.980	1116.342	496840.946	4413195.278	1115.337	0.404	0.702	1.005	0.163	0.493	0.656	0.810	1.005	1.010	
2515	353	482099.726	4437300.907	1362.451	482099.953	4437300.018	1362.549	-0.227	0.889	-0.098	0.052	0.790	0.842	0.918	0.098	0.010	
2519	268	490068.554	4419954.012	952.063	490068.637	4419953.233	950.959	-0.083	0.779	1.104	0.007	0.607	0.614	0.783	1.104	1.219	
														7.972	7.633	5.931	6.695
														0.996			0.837
														Planimetrik Hata (m)	Yükseklik Hatası(m)		
														0.848	0.659		
														KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	0.998 0.915		

Burada karesel ortalama hata yatayda 0.998m. düşeyde ise 0.915m. olarak hesaplanmıştır. Burada karesel ortalama hatanın 1 YKN kullanılarak elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. Fakat bu yöntemin avantajının hiç YKN kullanılmamış olmasıdır. Yani yer noktası inşasına gerek duyulmaması bu yöntem için avantajdır. Fakat yapılmak istenen araştırma için bu değerlerin yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yapılacak otomatik SYM üretimi için yeterli olmayacağı düşünülmektedir.

Beşinci olarak 4 YKN kullanılarak dengeleme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak gene 9 noktayı kapsayan resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada 2505, 2507, 2511 ve 2509 noktaları kullanılmıştır. Bu modeller operatör tarafından tek tek hassas olarak yaklaşılarak okunmuştur. Bu okumalar Çizelge 7.5’de sunulmuştur.

Çizelge 7.5 4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu üretilen stereo modelin doğruluk analizi (sayısal renkli hava fotoğrafından)

NOKTA NO	FOTO NO	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI										
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx²	dy²	dp²	dp	l dz l	l dz F		
2505	103	466518.511	4436370.420	830.258	466518.383	4436370.608	830.221	0.128	-0.188	0.037	0.016	0.035	0.052	0.227	0.037	0.001		
2506	193	477618.816	4428274.204	977.772	477618.916	4428273.244	977.719	-0.100	0.960	0.053	0.010	0.922	0.932	0.965	0.053	0.003		
2507	85	498147.217	4436267.692	958.880	498147.250	4436267.629	958.607	-0.033	0.063	0.273	0.001	0.004	0.005	0.071	0.273	0.075		
2508	220	497329.923	4425998.611	1069.042	497329.840	4425998.808	1069.078	0.083	-0.197	-0.036	0.007	0.039	0.046	0.214	0.036	0.001		
2509	391	464193.389	4413327.702	1224.120	464193.416	4413327.421	1223.954	-0.027	0.281	0.166	0.001	0.079	0.080	0.282	0.166	0.028		
2510	298	479619.906	4415660.590	893.751	479619.680	4415660.732	893.359	0.226	-0.142	0.392	0.051	0.020	0.071	0.267	0.392	0.154		
2511	371	496841.350	4413195.980	1116.342	496841.205	4413196.024	1116.164	0.145	-0.044	0.178	0.021	0.002	0.023	0.152	0.178	0.032		
2515	353	482099.726	4437300.907	1362.451	482099.853	4437300.718	1363.549	-0.127	0.189	-1.098	0.016	0.036	0.052	0.228	1.098	1.206		
2519	268	490068.554	4419954.012	952.063	490068.692	4419953.993	952.015	-0.138	0.019	0.048	0.019	0.000	0.019	0.139	0.048	0.002		
													1.279		2.545	2.281	1.501	
													0.160				0.188	
													Planimetrik Hata (m)		Yükseklik Hatası(m)			
													ORTALAMA HATA (OH)		0.283		0.253	
													KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)		0.400		0.433	

Burada karesel ortalama hata yatayda 0.400m. düşeyde ise 0.433m. olarak hesaplanmıştır. Burada karesel ortalama hatanın yatayda ve düşeyde 40cm. civarında olduğu görülmektedir. Fakat bu aşamada maliyet oranlarına bakıldığında maliyetin en yüksek olacağı yönteminde bu olacağı görülebilmektedir. Fakat doğruluğun fotoğraf piksel çözünürlüğünün de altında çıkması ve otomatik olarak görüntü eşleme ile SYM üretileceği düşünüldüğünde bu yöntemin bir dahaki aşama için kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Bu aşamanın başka bir dalı ise analog hava kamerası ile alınan siyah-beyaz hava fotoğraflarının değerlendirilmesidir. Bu aşamada da bir blok belirlenmiştir. Bu blok Şekil 7.2’de gösterilen bölgedir. Bu blok içinde mevcut YKN’ler kullanılarak gene 1 YKN kullanılarak, 2 YKN kullanılarak, 3 YKN kullanılarak ve son olarak 4 YKN kullanılarak dengeleme işlemlerinden geçirilmiştir. Bu aşamada doğrudan coğrafi konumlandırma yapılamamıştır. Nedeni ise bu fotoğrafların alımı sırasında kinematik GPS yönteminin kullanılmış olmasıdır. Bu nedenle dış yöneltme parametrelerinden dönüklük açılarının yaklaşık değerleri elde olmadığından bu yöntem uygulanamamıştır.

Bu aşamada da gene dört ayrı dengeleme sonuçları blok içerisinde jeodezik koordinatları bilinen 9 ayrı noktayı kapsayan resim çiftleri seçilmiş bu resim çiftleri ile dört ayrı dengeleme sonuç dosyası kullanılarak stereo modeller oluşturulmuş ve bu 9 nokta gene aynı operatör ile noktalara hassas bir şekilde yaklaşılarak okumalar yapılmıştır. Burada 1 YKN ile dengeleme için 111 nolu nokta, 2 YKN ile dengeleme için 106 ve 146 nolu noktalar, 3 YKN ile dengemle için 106, 111 ve 146 nolu noktalar dengelemede kullanılmıştır. Son olarak 4 YKN ile dengelemede 106, 162, 146 ve 119 nolu noktalar ve 111 nolu nokta ise z nirengisi olarak kullanılarak dengeleme işlemi yapılmıştır. Modellerden yapılan okumalar ve sonuçları Çizelge 7.6, Çizelge 7.7, Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9 da gösterilmiştir.

Model No	Nokta Adı	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI								
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	l d l	l dz l
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1272.906	4377085.406	701752.923	1073.679	1.327	0.668	-0.773	1.761	0.446	2.207	1.486	0.773	0.598
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	4390634.019	691652.802	1128.364	-1.279	0.211	1.400	1.636	0.045	1.680	1.296	1.400	1.960
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	4396778.998	705861.816	1103.998	-2.058	1.027	1.126	4.235	1.055	5.290	2.300	1.126	1.268
466467	MOTOPOMP	4394442.121	705781.639	1129.202	4394443.651	705780.053	1128.137	-1.530	1.586	1.065	2.341	2.515	4.856	2.204	1.065	1.134
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	4394149.290	713293.940	1177.054	-1.593	0.875	1.204	2.538	0.766	3.831	1.817	1.204	1.450
503504	HAVUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	4380451.006	698458.047	1054.621	-1.249	0.771	-2.540	1.560	0.594	2.154	1.468	2.540	6.452
504505	AGAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	4384513.565	695482.331	1113.105	-0.362	-1.010	1.590	1.855	1.020	2.875	1.696	1.590	2.528
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697392.287	1091.703	4398604.063	697393.441	1090.305	-0.351	-1.154	1.390	1.233	1.332	1.455	1.206	1.398	1.954
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	4399672.663	712761.528	1237.965	-1.585	0.298	-0.890	2.512	0.089	2.601	1.613	0.890	0.792
													26.423	15.086	11.986	18.135
													3.303			2.267
													Planimetrik Hata (m)	Yükseklik Hatası(m)		
													1.676	1.332		
													1.817	1.506		

Model No	Nokta Adı	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI								
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dp ²	dp	l dz	l dz ²
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1072.906	4377085.004	701752.822	1073.071	1.729	0.769	-0.165	2.989	0.591	3.581	1.892	0.165	0.027
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	4390633.080	691653.176	1129.616	-0.340	-0.163	0.148	0.116	0.027	0.142	0.377	0.148	0.022
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	4396778.670	705862.227	1104.002	-1.730	0.616	1.122	2.993	0.379	3.372	1.836	1.122	1.259
466467	MOTOPOMP	4394442.121	705781.639	1129.202	4394442.476	705780.853	1129.765	-0.355	0.786	-0.563	0.126	0.618	0.744	0.862	0.563	0.317
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	4394147.197	713295.356	1177.096	0.500	-0.541	1.162	0.250	0.293	0.543	0.737	1.162	1.350
503504	HAVUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	4380449.973	698458.203	1052.941	-0.216	0.615	-0.860	0.047	0.378	0.425	0.652	0.860	0.740
504505	AGAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	4384512.652	695482.265	1113.774	-0.449	-0.944	0.921	0.202	0.891	0.939	1.045	0.921	0.848
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697292.287	1091.703	4398602.992	697293.008	1090.902	0.720	-0.721	0.801	0.518	0.520	1.038	1.019	0.801	0.642
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	4399671.364	712761.709	1236.911	-0.286	0.117	0.164	0.082	0.014	0.095	0.309	0.164	0.027
													11.033	8.730	5.906	5.232
													1.379			0.654
													Planimetrik Hata (m)	Yükseliklik Hatası(m)		
													ORTALAMA HATA (OH)	0.970		
													KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	1.174		
														0.656		
														0.809		

Model No	Nokta Adı	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI								
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx²	dy²	dp	l dz	l dz²	
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1072.906	4377086.182	701753.153	1072.648	0.551	0.438	0.258	0.304	0.192	0.495	0.704	0.258	0.067
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	4390633.182	691653.236	1129.894	-0.442	-0.223	-0.130	0.195	0.050	0.245	0.495	0.130	0.017
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	4396777.670	705862.377	1104.692	-0.730	0.466	0.432	0.533	0.217	0.750	0.866	0.432	0.187
466467	MOTOPOMP	4394442.121	705781.639	1129.202	4394442.743	705780.993	1129.204	-0.622	0.646	-0.002	0.387	0.417	0.804	0.897	0.002	0.000
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	4394148.080	713294.720	1177.874	-0.383	0.095	0.384	0.147	0.009	0.156	0.395	0.384	0.147
503504	HAVUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	4380450.017	698458.357	1051.926	-0.260	0.461	0.155	0.068	0.213	0.280	0.529	0.155	0.024
504505	AGAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	4384512.513	695481.867	1114.055	-0.310	-0.546	0.640	0.096	0.298	0.394	0.628	0.640	0.410
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697292.287	1091.703	4398603.257	697292.757	1090.854	0.455	-0.470	0.489	0.207	0.221	0.428	0.654	0.849	0.721
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	4399671.141	712761.372	1237.301	-0.063	0.454	-0.226	0.004	0.206	0.210	0.458	0.226	0.051
												3.763	5.626	3.076	1.623	
												0.470				0.203
												Planmetrik Hata (m)		Yükseklik Hatası(m)		
ORTALAMA HATA (OH)												0.625		0.342		
KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)												0.686		0.450		

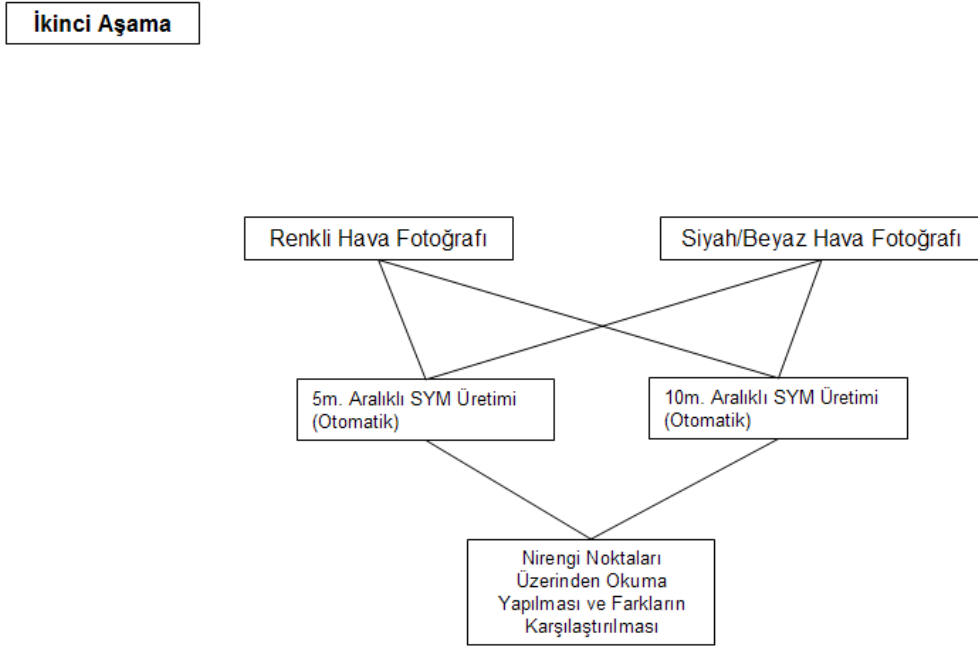
Model No	Nokta Adı	JEODEZİK KOORDİNATLAR			STEREO MODEL KOORDİNATLARI			X, Y, Z KOORDİNAT FARKLARI								
		X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx ²	dy ²	dz ²	dp	l dz	l dz ²
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1072.906	4377086.935	701753.123	1072.652	-0.202	0.468	0.254	0.041	0.219	0.260	0.510	0.254	0.065
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	4390632.994	691653.313	1129.834	-0.254	-0.300	-0.070	0.065	0.090	0.155	0.393	0.070	0.005
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	4396777.103	705863.022	1105.095	-0.163	-0.179	0.029	0.027	0.032	0.059	0.242	0.029	0.001
466467	MOTOPOM	4394442.121	705781.639	1129.202	4394441.952	705781.059	1129.802	0.169	0.580	-0.600	0.029	0.336	0.365	0.604	0.600	0.360
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	4394147.928	713294.504	1178.145	-0.231	0.311	0.113	0.053	0.097	0.150	0.387	0.113	0.031
503504	HAYUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	4380449.499	698458.648	1052.322	0.258	0.170	-0.241	0.067	0.029	0.095	0.309	0.241	0.058
504505	AGAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	4384512.017	695481.745	1114.864	0.186	-0.424	-0.169	0.035	0.180	0.214	0.463	0.169	0.029
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697292.287	1091.703	4398603.545	697292.491	1091.505	0.467	-0.204	0.198	0.218	0.042	0.260	0.510	0.198	0.039
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	4399671.236	712761.648	1237.346	-0.158	0.178	-0.271	0.025	0.032	0.057	0.238	0.271	0.073
													1.614	3.656	1.945	0.642
													0.202			0.080
										Planimetrik Hata (m)		Yükseklik Hatası(m)				
ORTALAMA HATA (OH)										0.406		0.216				
KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)										0.449		0.283				

Sonuçlar irdelendiğinde ve karesel ortalama hataları da göz önünde bulundurulduğunda gene 4 YKN kullanılarak elde edilen dengeleme sonuçlarının otomatik olarak SYM üretiminde kullanılacak modellerin oluşturulmasında kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Bu aşamaya müteakiben ikinci aşama işlemlere başlanmıştır. Bu aşamaya ait iş akışı Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Bu aşamada hem renkli fotoğraflar hem de siyah-beyaz fotoğraflardan otomatik olarak Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) oluşturulmuş ve oluşturulan modeller üzerinden okumalar yapılmıştır.

Bu aşamada dört YKN kullanılarak dengelenen bloğa ait resim çiftleri kullanılmıştır. Burada gene nirengi noktalarını içeren resim çiftleri seçilerek dört YKN ile dengeleme sonuçları kullanılarak stereo modeller oluşturulmuş sonrasında MATCH-T programı kullanılarak otomatik olarak 5m ve 10m grid aralıklı SYM’ler üretilmiştir.

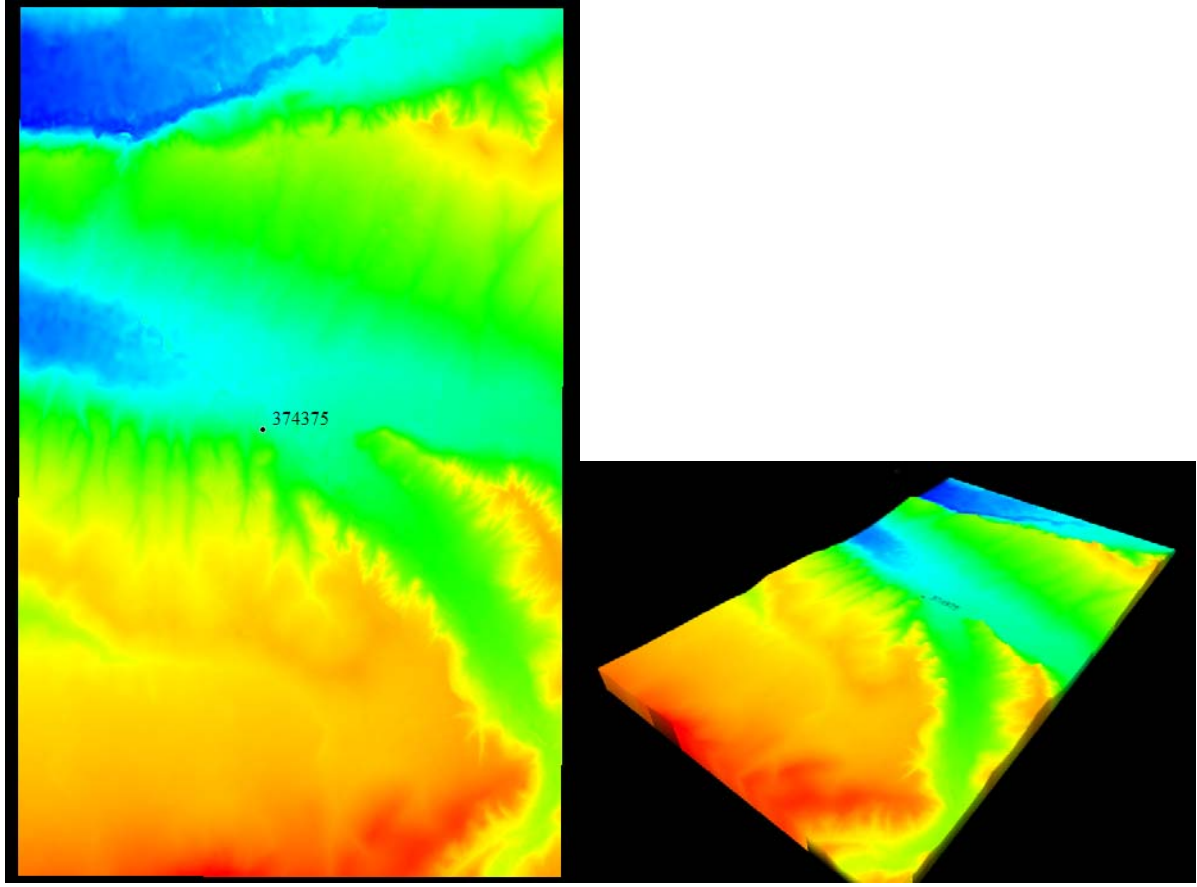
Bu işlem hem renkli sayısal hava fotoğrafları için hem de Analog siyah-beyaz hava fotoğrafları için yapılmıştır. Elde edilen SYM’ler Erdas Imagine programı ile açılmış ve bu programda nirengi noktalarının yükseklikleri okunmuştur. Bu okumaların doğruluk analizi yapılmıştır.



Şekil 7.9 Uygulama iş akışı ikinci aşama

İkinci aşamanın ilk evresinde analog hava kamerası hava fotoğrafları kullanılarak otomatik SYM üretimi yapılmıştır. Bu aşamada Şekil 7.7’de gösterilen mevcut çalışma bölgesi içinde jeodezik koordinatları bilinen 9 noktayı kapsayan hava fotoğrafları seçilmiştir. Bölgeye ait blok 4 YKN kullanılarak dengelenmiştir. Bu dengeleme sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak seçilen resim çiftlerinden stereo modeller oluşturulmuştur. Sonrasında bu modellerden

program yardımı ile otomatik olarak 5m. ve 10m. aralıklı SYM'leri otomatik görüntü eşleme yöntemi ile üretilmiştir. Bu şekilde toplam 18 adet SYM üretilmiştir. Bu SYM'ler program vasıtası ile görüntülenerek üzerinden 9 noktanın yükseklik okuması yapılmıştır (Şekil 7.10). Bu okumalar Çizelge 7.10 ve Çizelge 7.11'de sunulmuştur.



Şekil 7.10 SYM üzerinden nokta yüksekliği okuma

Çizelge 7.10 4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 5m.)

JEODEZİK KOORDİNATLAR								
Model No	Nokta Adı	Yukarı Değer (m)	Saga Değer (m)	Ortometrik Yük. (m)	SYM'den Okunan Değer	dz	I dz I	I dz I²
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1072.906	1073.597	-0.691	0.691	0.477
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	1127.701	2.063	2.063	4.256
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	1104.244	0.880	0.880	0.774
466467	MOTOPOMP	4394442.121	705781.639	1129.202	1129.699	-0.497	0.497	0.247
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	1177.195	1.063	1.063	1.130
503504	HAVUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	1052.909	-0.828	0.828	0.686
504505	AĞAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	1115.535	-0.840	0.840	0.706
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697292.287	1091.703	1090.797	0.906	0.906	0.821
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	1236.211	0.864	0.864	0.746
							8.632	9.843
								1.230

		Yükseklik Hatası(m)
ORTALAMA HATA (OH)	:	0.959
KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	:	1.109

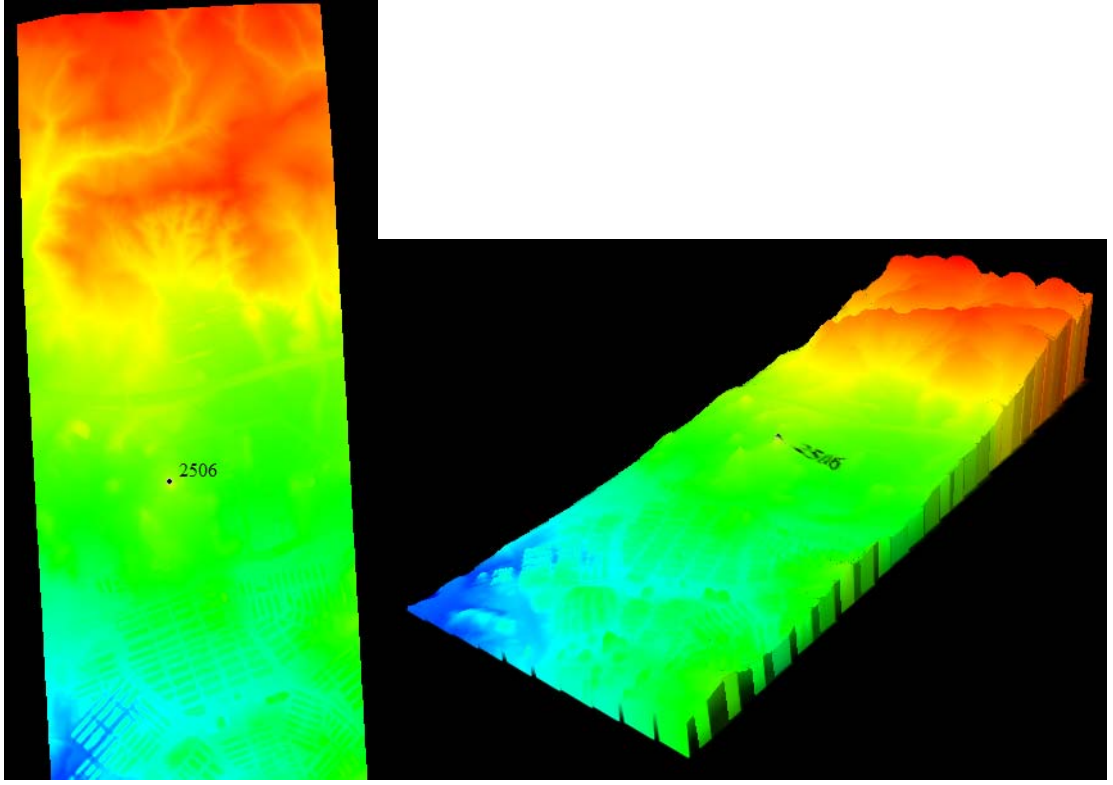
Çizelge 7.11 4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM'nin grid aralığı: 10m.)

Model No	Nokta Adı	JEODEZİK KOORDİNATLAR			SYM'den Okunan Değer	dz	I dz I	I dz I²
		Yukarı Değer (m)	Saga Değer (m)	Ortometrik Yük. (m)				
374375	TRAFO	4377086.733	701753.591	1072.906	1073.941	-1.035	1.035	1.071
461462	SU DEPOSU	4390632.740	691653.013	1129.764	1128.569	1.195	1.195	1.428
465466	ELK SOME	4396776.940	705862.843	1105.124	1104.037	1.087	1.087	1.182
466467	MOTOPOMP	4394442.121	705781.639	1129.202	1127.987	1.215	1.215	1.476
467468	YOL KESİŞİMİ	4394147.697	713294.815	1178.258	1177.187	1.071	1.071	1.147
503504	HAVUZ	4380449.757	698458.818	1052.081	1053.502	-1.421	1.421	2.019
504505	AĞAÇ	4384512.203	695481.321	1114.695	1115.742	-1.047	1.047	1.096
573574	YOL KESİŞİMİ	4398603.712	697292.287	1091.703	1090.670	1.033	1.033	1.067
577578	YOL KESİŞİMİ	4399671.078	712761.826	1237.075	1236.502	0.573	0.573	0.328
							9.677	10.815
								1.352

		Yükseklik Hatası(m)
ORTALAMA HATA (OH)	:	1.075
KARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	:	1.163

Burada elde edilen sonuçlara göre 5m. aralıklı olarak otomatik üretilen SYM'nin karesel ortalama hatası 1.109m. ve 10m. aralıklı olarak otomatik üretilen SYM'nin karesel ortalama hatası 1.163m. olarak hesaplanmıştır. Burada elde edilen değerlere bakıldığından ve özellikle bölgenin dağlık oluşundan kaynaklanan yükseklik farklılıkları, bununla beraber arazide ormanlık gibi homojen dağılıma sahip bölgelerinde olması sebebi ile yüksekliklerde farklılıklar göze çarpmaktadır. Bunun yanında elde edilen SYMlerin editlenmesine müteakip özellikle yüksek hassasiyet istemeyen düşük ölçekli işlerde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Sonrasında ikinci evre olarak renkli hava fotoğraflarından Şekil 7.1'de gösterilen çalışma bölgesi içinde bulunan 24 adet nirengi noktasını kapsayan resim çiftleri seçilmiştir. Sonrasında tüm bu resim çiftleri ile 4 YKN kullanılarak elde edilen dengeleme sonuçları kullanılarak stereo modeller oluşturulmuştur. Bu stereo modeller program vasıtasıyla otomatik görüntü eşleme yöntemi kullanılarak 5m. aralıklı ve 10m. aralık SYM'ler üretilmiştir. Bunun için toplam 48 adet SYM üretilmiştir. Sonrasında her bir SYM ayrı ayrı programda açılarak nirengi noktalarının yükseklik değerleri SYM'lerden direk olarak okunmuştur (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 SYM üzerinden nirengi noktalarının yüksekliklerinin okunması

Bu şekilde toplam 48 SYM’de yükseklik okuması yapılmıştır. Okumalar ve sonuçları Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM’nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM’ nin grid aralığı: 5m.)

JEODEZİK KOORDİNATLAR								
Model No	Nokta No	Yukarı Değer (m)	Saga Değer (m)	Ortometrik Yük. (m)	SYM'den Okunan Değer	dz	I dz I	I dz I²
550551	1001	478936.505	4390731.643	1008.086	1008.275	-0.189	0.189	0.036
551552	1002	481826.293	4390727.917	996.994	997.561	-0.567	0.567	0.321
550551	1003	482180.482	4388574.039	1014.323	1014.447	-0.124	0.124	0.015
551552	1004	478812.143	4388756.076	1010.384	1011.140	-0.756	0.756	0.572
4647	2501	458445.342	4444259.050	1159.131	1158.732	0.399	0.399	0.159
1415	2502	505370.543	4444700.115	1022.158	1020.997	1.161	1.161	1.348
566567	2503	505306.640	4387929.315	973.117	972.822	0.295	0.295	0.087
536537	2504	458479.272	4387801.224	1133.785	1133.548	0.237	0.237	0.056
103104	2505	466518.511	4436370.420	830.258	830.557	-0.299	0.299	0.089
192193	2506	477618.816	4428274.204	977.772	977.201	0.571	0.571	0.326
8485	2507	498147.217	4436267.692	958.880	958.660	0.220	0.220	0.048
219220	2508	497329.923	4425998.611	1069.042	1069.349	-0.307	0.307	0.094
391392	2509	464193.389	4413327.702	1224.120	1223.861	0.259	0.259	0.067
298299	2510	479619.906	4415660.590	893.751	893.575	0.176	0.176	0.031
370371	2511	496841.350	4413195.980	1116.342	1116.293	0.049	0.049	0.002
451452	2512	483337.136	4403382.802	1015.748	1015.168	0.580	0.580	0.336
489490	2513	488891.152	4396829.274	1401.780	1402.288	-0.508	0.508	0.258
546547	2514	476039.113	4390932.736	1132.284	1132.207	0.077	0.077	0.006
352353	2515	482099.726	4437300.907	1362.451	1363.536	-1.085	1.085	1.177
440441	2516	502583.110	4404687.821	1385.683	1385.598	0.085	0.085	0.007
242243	2517	462116.284	4424747.120	789.877	790.277	-0.400	0.400	0.160
476477	2518	466320.285	4398570.588	1287.171	1287.865	-0.694	0.694	0.482
268269	2519	490068.554	4419954.012	952.063	952.243	-0.180	0.180	0.032
407408	2520	473487.407	4406252.022	1173.893	1174.120	-0.227	0.227	0.052
							9.445	5.763
								0.251

	Yükseklik Hatası(m)
RTALAMA HATA (OH)	0.394
ARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	0.501

Çizelge 7.13 4 adet YKN kullanılarak yapılan blok dengeleme sonucu oluşturulan stereo modelden otomatik olarak üretilen SYM'nin doğruluk analizi (otomatik korelasyonla üretilen SYM' nin grid aralığı: 10m.)

JEODEZİK KOORDİNATLAR								
Model No	Nokta No	Yukarı Değer (m)	Saga Değer (m)	Ortometrik Yük. (m)	SYM'den Okunan Değer	dz	I dz I	I dz I²
550551	1001	478936.505	4390731.643	1008.086	1008.062	0.024	0.024	0.001
551552	1002	481826.293	4390727.917	996.994	997.548	-0.554	0.554	0.307
550551	1003	482180.482	4388574.039	1014.323	1014.053	0.270	0.270	0.073
551552	1004	478812.143	4388756.076	1010.384	1011.530	-1.146	1.146	1.313
4647	2501	458445.342	4444259.050	1159.131	1158.924	0.207	0.207	0.043
1415	2502	505370.543	4444700.115	1022.158	1021.008	1.150	1.150	1.322
566567	2503	505306.640	4387929.315	973.117	972.541	0.576	0.576	0.332
536537	2504	458479.272	4387801.224	1133.785	1133.334	0.451	0.451	0.203
103104	2505	466518.511	4436370.420	830.258	830.589	-0.331	0.331	0.110
192193	2506	477618.816	4428274.204	977.772	976.775	0.997	0.997	0.994
8485	2507	498147.217	4436267.692	958.880	958.675	0.205	0.205	0.042
219220	2508	497329.923	4425998.611	1069.042	1069.322	-0.280	0.280	0.078
391392	2509	464193.389	4413327.702	1224.120	1222.754	1.366	1.366	1.866
298299	2510	479619.906	4415660.590	893.751	893.507	0.244	0.244	0.060
370371	2511	496841.350	4413195.980	1116.342	1116.208	0.134	0.134	0.018
451452	2512	483337.136	4403382.802	1015.748	1014.647	1.101	1.101	1.212
489490	2513	488891.152	4396829.274	1401.780	1402.643	-0.863	0.863	0.745
546547	2514	476039.113	4390932.736	1132.284	1132.202	0.082	0.082	0.007
352353	2515	482099.726	4437300.907	1362.451	1363.667	-1.216	1.216	1.479
440441	2516	502583.110	4404687.821	1385.683	1385.491	0.192	0.192	0.037
242243	2517	462116.284	4424747.120	789.877	790.131	-0.254	0.254	0.065
476477	2518	466320.285	4398570.588	1287.171	1287.745	-0.574	0.574	0.329
268269	2519	490068.554	4419954.012	952.063	951.918	0.145	0.145	0.021
407408	2520	473487.407	4406252.022	1173.893	1174.107	-0.214	0.214	0.046
							12.576	10.702
								0.465

	Yükseklik Hatası(m)
RTALAMA HATA (OH)	0.524
ARESEL ORTALAMA HATA (KOH)	0.682

Burada sonuçlara göre 5m. aralıklı otomatik olarak üretilen SYM'nin karesel ortalama hatasının 0.501m. 10m. aralıklı olarak üretilen SYM'nin karesel ortalama hatasının ise 0.682m. olduğudur. Her iki sonucunda 1m. altında doğrulukta çıkmış olması ve aralarındaki farkın 20cm. gibi düşük denebilecek bir sonuç vermesi sonuçların özellikle program tarafından görüntü eşleme yöntemi kullanılarak elde edilmesi açısından fotogrametrinin farklı aşamalarında kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Özellikle topoğrafik haritada kullanılan eş yükseklik eğrilerinin üretiminin uzun ve zahmetli bir iş olması bunların SYM'lerden otomatik olarak üretimi düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Bu değerlere sahip bir SYM'den elde edilebilecek eş yükseklik eğrisi direk olarak stereo modelden bir fotogrametri operatörün model üzerinden sayısallaştırma ile üretmesi yanında çok hızlı, daha az maliyetli fakat daha az doğrulukta olacağı kesindir. Bununla beraber SYM'den otomatik olarak üretilebilecek eş yükseklik eğrilerinin gene aynı bölgeye ait stereo model üzerine getirilerek bir fotogramteri operatörü tarafından editlenmesinin sıfırdan sayısallaştırmadan daha hızlı olacağı değerlendirilebilir.

7.5.1 Sayısal Hava Fotoğraflarından Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi

1:60.000 ölçekli sayısal hava fotoğraflarından farklı sayıda YKN kullanılarak blok dengeleme yapılmış; oluşturulan stereo modelden otomatik SYM üretimi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Çalışma bölgesinde nirengi noktalarımızın bulunduğu fotoğraf çiftleri tespit edilmiştir. Bu noktalar arasından blok dengelemeye girecek farklı sayıda YKN'ler belirlenmiş elde edilen sayısal görüntülerden her dengeleme için ayrı ayrı olmak üzere 5 ve 10 m grid aralıklı çözünürlüğe sahip SYM'ler üretilmiştir. Çalışma bölgesinin oldukça geniş olması farklı arazi yapısına sahip bölgelerde çalışma imkanı sağlaması çalışmanın amacı doğrultusunda avantaj sağlamaktadır. Üretim aşamasında Fotogrametri Dairesi ortofoto üretim istasyonunda lisanslı olarak kullanılmakta olan İnpho Application Master yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında yeni bir proje dosyası oluşturulmuştur. Öncelikle projede datum ve projeksiyon bilgileri tanımlanmıştır. Projeksiyon UTM 36'nci dilim, elipsoit ve datum WGS84 seçilmiştir. İkinci aşamada kamera kalibrasyon raporuna ait bilgiler (Şekil 7.12) sistemde tanımlanmış ve görüntüler projeye import edilmiştir.

```
$PROJECT 5.0.0
$STARTING_DATE : Fri Jan 18 11:42:08 2008
$LAST_CHANGE : Mon Apr 21 14:00:20 2008
$LINEAR_UNITS_OF_OBJECT : m
$LINEAR_UNITS_OF_IMAGE : mm
$ANGULAR_UNITS : grad
$END
$AAT
$END
$CAMERA
$TYPE : UltraCamX_Digital_HGK
$DATE : 13:59:58 21/04/2008
$BRAND : UltraCamX\ x-left
$KIND : CCDFrame
$CCD_INTERIOR_ORIENTATION :|
-138.8888888889      0.0000000000      4729.5000000000
-0.0000000000      138.8888888889      7214.5000000000
$CCD_COLUMNS : 9420
$CCD_ROWS : 14430
$PIXEL_REFERENCE : TopLeftTopLeft
$FOCAL_LENGTH : 100.500000
$PRINCIPAL_POINT_PPA : 0.000000 0.000000
$PRINCIPAL_POINT_PPS : 0.144000 0.000000
$GPS_ANTENNA_OFFSET : 0.000000 0.000000 0.000000
$CAMERA_MOUNT_ROTATION : 0.000000
$END
```

Şekil 7.12 Kamera Kalibrasyon Raporu

Application Master fotogrametri yazılımının Match-AT modülü kullanılarak fotogrametrik blok oluşturulmuş, blok oluşumu esnasında fotoğraf alımında kullanılan kamera, blokta kullanılacak fotoğraflar ve yöneltme parametreleri girilmiştir. Kullanılan görüntüler 100.5 mm. odak uzaklıklı UltracamX Vexel sayısal hava kamerasıyla alınan 631 hava fotoğrafı arasından seçilen 48 adet (her bir nirengi noktası için iki adet fotoğraf) 1:60.000 ölçekli hava fotoğraflarıdır.

Üçüncü aşamada yerde bulunan sabit GPS ve uçaktan alınan GPS verileri GraffNav yazılımı ile islenip (post process) daha sonra AeroOffice programı ile GPS ve IMU(Inertial Measurement Unit) verileri birleştirilmesi sonucu elde edilmiş olan resim dış yöneltme parametreleri projeye import edilmiştir. GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen bu parametreler, blok dengelemede başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır.

GPS/IMU verileri ve blok köşelerindeki YKN'ları kullanılarak bağlama noktaları Inpho Match-AT yazılımı ile otomatik olarak elde edilmiştir. Sonrasında 24 adet sabit nirengi noktalarımızın koordinatları projeye tanımlanmış ve bu noktalar içinde dengelemeye dahil edilecek YKN'ler belirlenmiştir. Görüntülerin iç yöneltmeleri yapılarak blok dengeleme işleminin tamamlanması aşaması sonucu oluşan sayısal görüntülerden Match-T modülü ile stereo modeller oluşturulmuştur. Bu stereo modellerden de yine Application Master fotogrametri yazılımının Match-AT modülü kullanılarak 5m ve 10m grid aralıklarında toplam 48 farklı SYM üretilmiştir.

7.5.2 Analog Hava Fotoğraflarından Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi

1:35.000 ölçekli Yozgat bölgesine ait Analog hava kamerası ile alınmış hava fotoğraflarından, otomatik görüntü eşleme ile farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiştir. Seçilen bölge dağlık ve yüksekliğin 1000 ile 3000 metre arasında değiştiği bir alandır. Üretim için Application Master fotogrametri yazılımının Match-AT modülü kullanılmıştır. Stereo modeller üzerinde arazi yapısını temsil edecek şekilde 3 boyutlu vektör veriler toplanmış ve 5m, 10m grid aralıklı üretilen SYM'lerden nirengi noktalarının yükseklikleri okunmuştur.

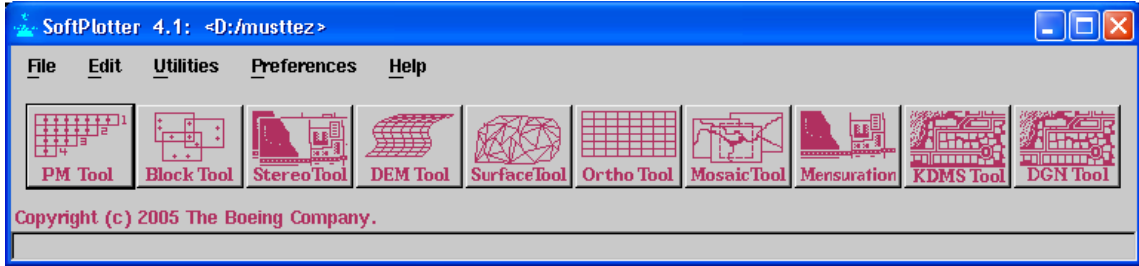
7.6 Seçilen Detaylarda Doğruluk

İlk aşamada Ankara bölgesine ait 1:60000 ölçekli sayısal renkli hava fotoğrafları ile Application Master fotogrametri yazılımının Match-AT modülü kullanılarak blok oluşturulmuş ve farklı sayıda YKN kullanılarak blok dengeleme işlemi yapılarak stereo modeller oluşturulmuştur. Stereo model üzerindeki gözlemler Vision softplotter yazılımı kullanılarak, tecrübeli bir operatör tarafından arazide nirengi noktalarına hassas şekilde yaklaşımak suretiyle yapılmıştır. Aynı işlem sırası Analog siyah-beyaz hava fotoğrafları içinde uygulanmıştır. Stereo modeller üzerinde yapılan gözlemler, nirengilere ait jeodezik koordinatlarla karşılaştırılarak hata miktarları tespit edilmiştir.

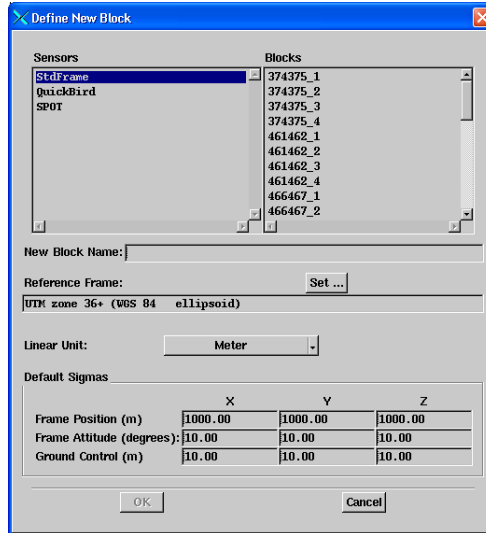
Bu çalışma aşamasında Autometric Softplotter fotogrametri yazılımının Block Tool modülü kullanılarak fotogrametrik blok oluşturulmuştur (Şekil 7.14). Blok oluşumu esnasında fotoğraf alımında kullanılan kamera, blokta kullanılacak fotoğraflar ve yöneltme parametreleri girilmektedir.

Öncelikle projede datum ve projeksiyon bilgileri tanımlanmıştır. Projeksiyon UTM 36'nci dilim, elipsoit ve datum WGS84 seçilmiştir. İkinci aşamada kamera kalibrasyon bilgileri sistemde tanımlanmış ve sıra ile resim çiftleri projeye import edilmiştir (Şekil 7.15). Üçüncü aşamada dış

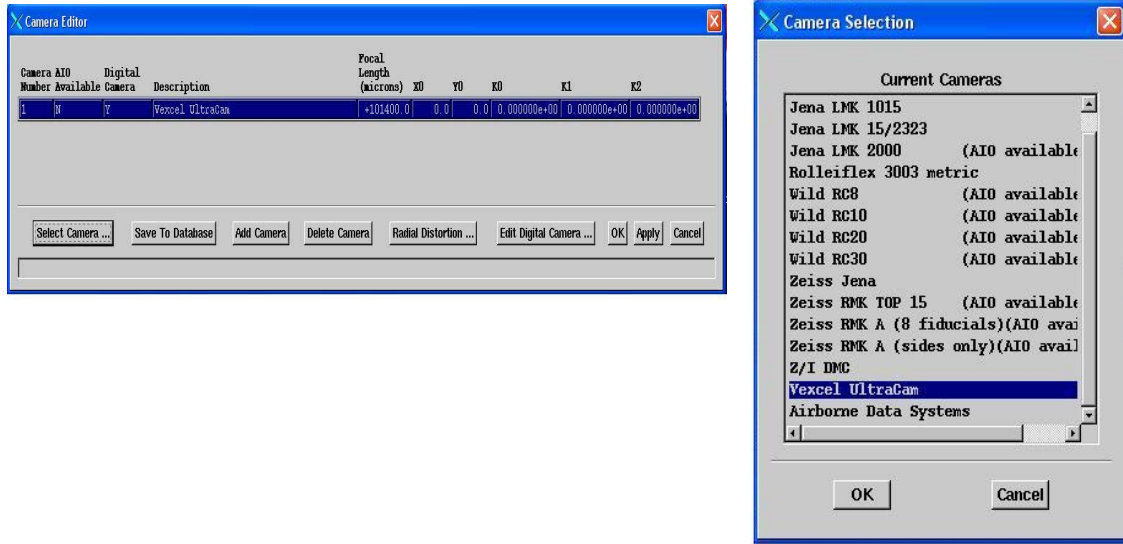
yöneltme parametreleri projeye import edilmiştir(Şekil 7.16). Görüntülerin iç yöneltmeleri yapılarak blok oluşumu tamamlanmıştır. Oluşturulan bloktan faydalanılarak Stereo Tool modülü ile her resim çifti için ayrı ayrı stereo modeller oluşturulmuştur (Şekil 7.17). Bu stereo modellerde, hem sayısal renkli hava fotoğrafları hem de analog siyah-beyaz hava fotoğraflarından oluşturulan modeller, okuması araziye iyi yaklaşabilen tecrübeli bir operatör tarafından yapılmıştır. Bulunan koordinat değerleri aynı noktaların jeodezik koordinat değerleri ile karşılaştırılmış, sonuçlar analiz edilmiştir.



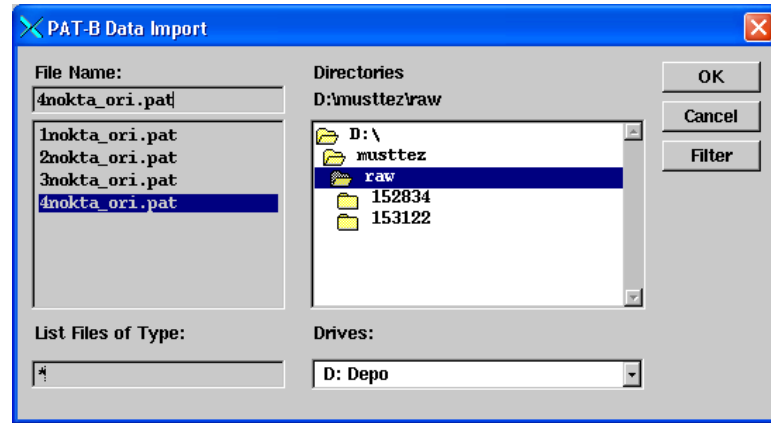
Şekil 7.13 Softplotter yazılımının ana menüsü



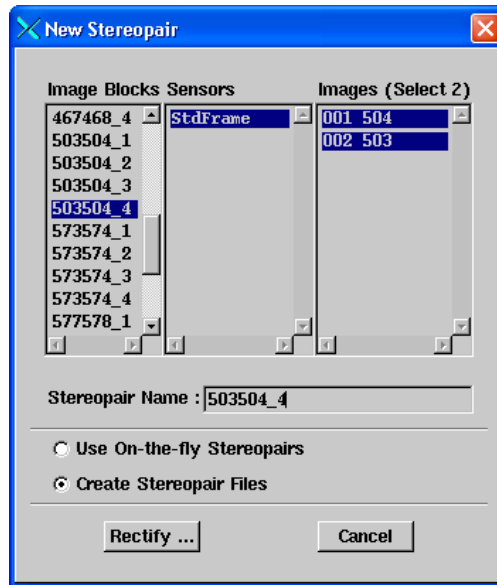
Şekil 7.14 Yeni block oluşturulması



Şekil 7.15 Kamera seçimi ve “Camera Editor” penceresi



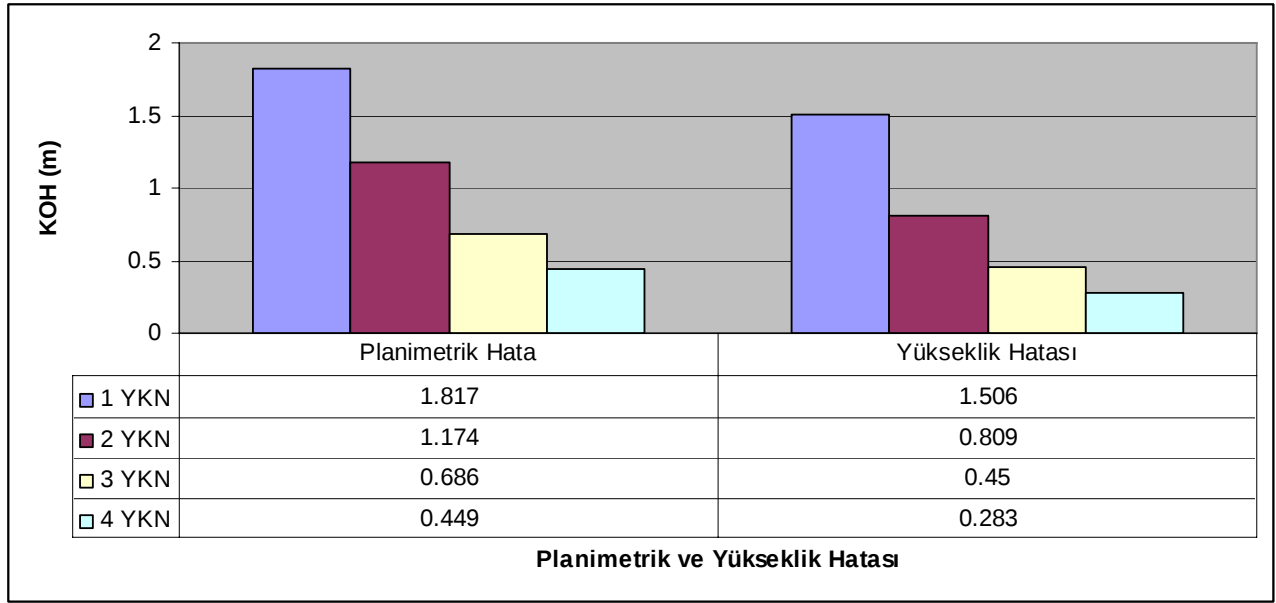
Şekil 7.16 Dış yöneltme parametrelerinin import edilmesi (ori dosyası)



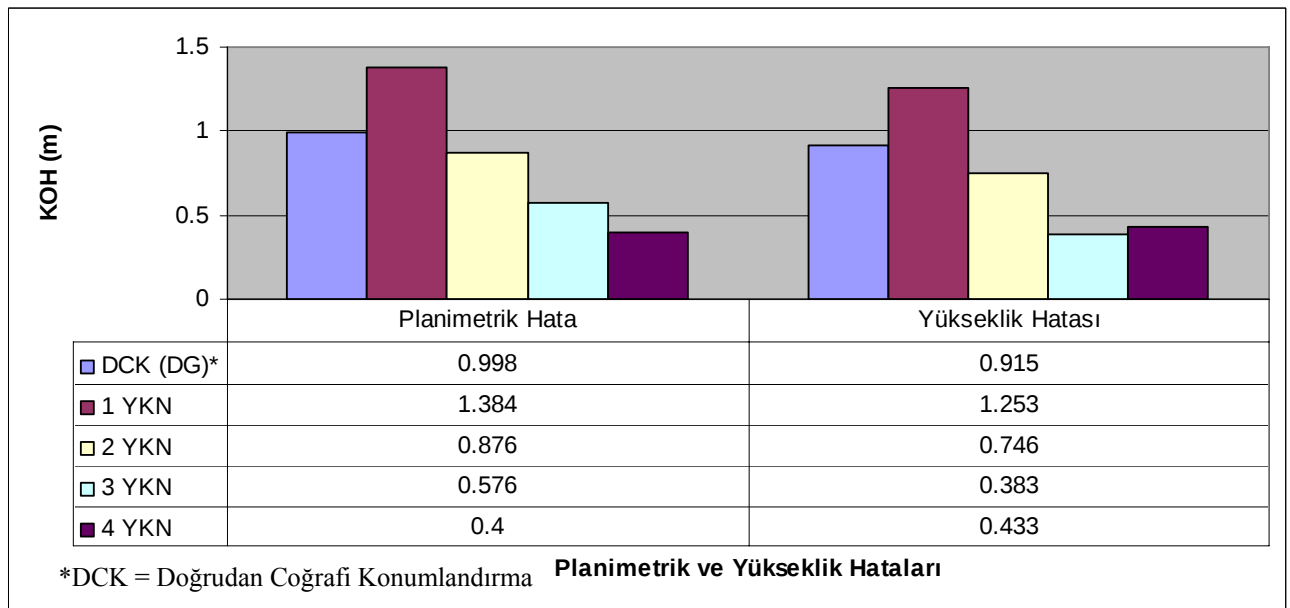
Şekil 7.17 Stereo modelin oluşturulması

Çalışma sırasında yapılan tüm gözlemler ASCII (American Standard Code for Information Interchange, Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi) formatına dönüştürülmüş ve

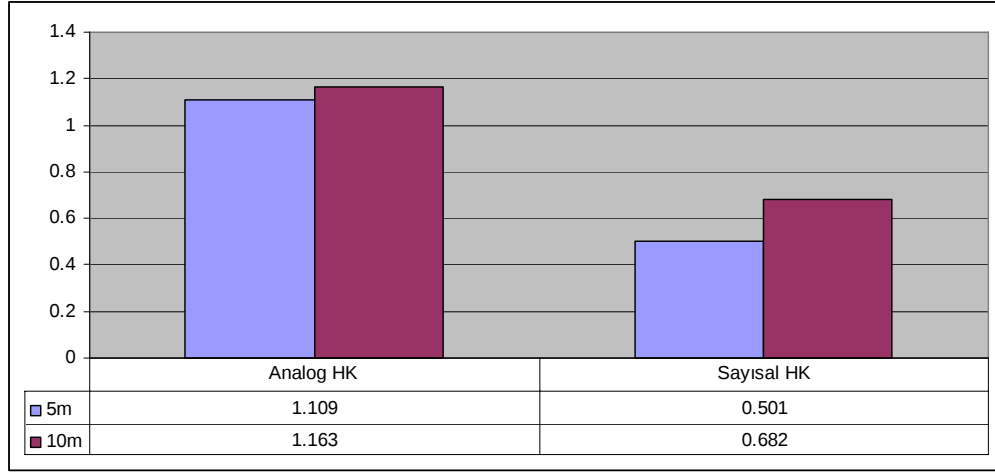
referans verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, baz olarak, ortalama hata ve karesel ortalama hata miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 7.18 Analog siyah-beyaz fotoğraflardan oluşturulan stereo modellerden yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi



Şekil 7.19 Sayısal renkli fotoğraflardan oluşturulan stereo modellerden yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi



Şekil 7.20 Sayısal ve Analog hava kameraları hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerden üretilen SYM’lerde yapılan okuma sonuçlarının hata oranlarının genel gösterimi

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmanın amaç ve hedeflerine uygun olarak sayısal ve analog hava kamerası ile alınmış hava fotoğrafları kullanılarak önce modeller oluşturulmuş sonrasında otomatik SYM üretimi yapılmıştır. Bu kapsamda hem analog siyah-beyaz hava fotoğrafları ile hem de sayısal renkli hava fotoğrafları ile farklı sayıda YKN (Yer Kontrol Noktası) kullanılarak blok dengeleme yapılmış, farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiş ve üretilen SYM'lerin doğrulukları incelenerek karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı; otomatik olarak SYM üretiminde analog hava fotoğraflarının kullanımı ile sayısal hava fotoğraflarının kullanımının karşılaştırılması olmuştur. Bu sayede ilerde yükseklik modellerinin üretiminde ya da eş yükseklik eğrisi üretiminde hangi yöntemin daha etkin olacağını araştırmaktır.

Bu kapsamında ilk olarak Ankara çalışma bölgesine ait 1:60.000 ölçekli sayısal renkli hava fotoğraflarının blok dengeleme aşamasında dengelemeye 1, 2, 3, 4 YKN ve doğrudan coğrafi konumlama yöntemi dahil edilmiştir. Bununla beraber Yozgat bölgesine çalışma bölgesine ait 1:35.000 ölçekli analog siyah-beyaz hava fotoğraflarının blok dengeleme aşamasında dengelemeye 1, 2, 3, 4 YKN dahil edilmiş ve sonuç ürünleri olarak testi yapılacak her nirengi noktası için sayısal renkli fotoğraflarda 5 farklı model, Analog siyah-beyaz hava fotoğraflarda 4 farklı model elde edilmiştir. Bu modellerde tecrübeli bir operatör nirengi noktalarına en hassas şekilde yaklaşmış ve her bir modelde nirengi noktalarının değerleri okunmuştur.

Burada elde edilen sonuçlarla otomatik SYM üretiminde hangi yöntemle oluşturulan modellerin kullanılmasının daha iyi sonuç vereceği değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre sayısal renkli hava fotoğraflarının 4 YKN ile dengelenmesi sonucu elde edilen sonuçların kullanılmasının benzer şekilde Analog siyah-beyaz fotoğraflarının 4 YKN ile dengelenmesi sonucu elde edilen sonuçların kullanılmasının optimum sonucu vereceği değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında sayısal renkli hava fotoğraflarının 4 YKN ile dengelenmesi sonucunda planimetrik olarak KOH'ın 0,400 m., yükseklik olarak ise KOH'ın 0,433 m. çıkması, analog siyah-beyaz hava fotoğraflarının 4 YKN ile dengelenmesi sonucunda planimetrik olarak KOH'ın 0,449 m., yükseklik olarak ise KOH'ın 0,283 m. çıkması bunun yanında kullanılan kaynaklardan sayısal renkli hava fotoğraflarının konumsal çözünürlüğünün 43 cm ve insan gözü ile ölçüm hatalarının en iyi durumda $\pm 1/3$ piksel çözünürlüğü ayırt edebilme kapasitesinde olduğu düşünüldüğünde oluşan bu farkların dikkate alınmayacak kadar düşük olduğu değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda analog siyah-beyaz hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulacak bir blokta en az 4 YKN kullanılmasının gerek görülürse daha fazla YKN ve Z kontrol noktalarının da kullanılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bununla beraber sayısal renkli hava fotoğrafları ile oluşturulacak bir bloğun dengelenmesin, arazide aşırı yükseklik değişimleri olmaması yada göl-büyük orman alanı gibi alanların blok içinde bulunmaması durumunda 4 YKN yeterli olduğu değerlendirilmiştir.

Ayrıca GPS/IMU sistemi ile doğrudan coğrafi konumlandırma denenmiş fakat sonuçların yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle daha büyük ölçekli işler için kesinlikle YKN olması şart olduğu açıkça görülmektedir.

Uygulamanın ikinci aşamasında ise elde edilen sonuçlar ışığında sayısal renkli hava fotoğrafları ve analog siyah-beyaz hava fotoğraflarından otomatik korelasyon yöntemi ile otomatik olarak SYM üretilmiştir.

Bu aşamada iki çalışma alanını kapsayan fotoğraflardan nirengi noktalarını içeren resim çiftleri seçilmiştir. Müteakiben bu modellerden otomatik korelasyon yöntemi ile 5 m. ve 10 m. aralıklı SYM üretilmiştir. Bu üretilen SYMler ayrı ayrı açılarak nirengi noktalarına denk gelen noktaların yükseklik değerleri okunmuştur.

Bu işlem sonucunda analog siyah-beyaz hava fotoğraflardan elde edilen SYMlerin KOHları hesaplanmıştır. Buna göre 5 m. aralık otomatik olarak oluşturulan SYM'nin KOH'ı 1.109 m. 10 m. aralıklı otomatik olarak oluşturulan SYM'nin KOH'ı 1.163 m. olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde sayısal renkli hava fotoğraflarından elde edilen SYM'lerin KOH'ları ise; 5 m. aralık SYM için KOH 0.501 m., 10 m. aralıklı SYM için KOH ise 0.682 m. olarak hesaplanmıştır.

Bu kapsamda elde edilen sonuçlar SYM hatalarının çözünürlükteki düşüşle beraber arttığını göstermiştir. Eğimdeki değişime göre okunan noktalar orta (%40-60) ve yüksek eğimli (%60-70) arazilerden seçilmeye çalışılmıştır. Normal koşullarda SYM hatalarının eğimdeki artışa paralel olarak artması beklenmektedir. Ancak testler sonucunda, çok yüksek (%90-100) ve çok düşük (%0-10) eğimli bölgelerde SYM hatalarının daha fazla ve ortalama (%40-60) eğimli bölgelerde SYM hatalarının daha az olduğu görülmüştür. Bu durum fotogrametrik değerlendirmenin temelleri ile açıklanabilir. Fotogrametri operatörlerinin eş yükselti eğrisi değerlendirme esnasında en çok zorlandıkları bölgeler, çok düz ve çok sarp alanlardır. Bu tür alanlarda yükseklik hataları artmaktadır. Operatörler ortalama eğimli bir topoğrafyada ise çok daha rahat ve doğrulukla çizim yapabilmektedirler. Çözünürlük ve eğime göre doğruluğun

modellenmesinde doğruluk ve çözünürlüğün yüksek derecede, eğim ve doğruluğun ise daha düşük derecede korelasyonlu olduğu görülmüştür.

Genel olarak uygulamalarda, karşılaştırmalarda kullanılan noktalar, yol kavşağı, duvar köşesi gibi keskin detaylardan seçilmektedir. Bu tür noktalar otomatik görüntü eşlemenin en başarılı olduğu yerlerdir ve bu noktalar ile yapılacak karşılaştırma, SYM'nin tamamı hakkında bilgi vermemektedir. Bu nedenle SYM'lerin doğruluklarının belirlenmesinde daha yüksek doğruluklu bir SYM ile karşılaştırmanın, SYM'nin tamamı hakkında bilgi vereceği ve daha uygun bir yöntem olacağı değerlendirilmektedir.

Bunun yanında, homojen bir renk yapısına sahip alanlarda, genelde bütün yazılımlarda kullanılan çapraz korelasyon veya en küçük kareler yöntemiyle otomatik görüntü eşleme başarılı sonuçlar vermemektedir. Bu tür bölgelerde, alan bazlı otomatik görüntü eşleme yöntemleri daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak alan bazlı görüntü eşleme algoritmaları daha karmaşık olmaları nedeniyle görüntü işleme yazılımlarında kullanılmamaktadır. Bunlara örnek olarak orman alanları ele alınabilir. Bu bölgeler alan olarak tespit edilip editlenerek düzeltme yapılması gerekmektedir.

Okumalar esnasında okunan noktaların modellerin kenarlarına yakın olması ile modellerin dışına doğru eğim açılarının yükselmesi nedeniyle görüntüler farklılaşmakta ve otomatik görüntü eşlemenin doğruluğu düştüğü görülmüştür. Bu nedenle model kenarlarındaki verilerin kullanımından kaçınılmalıdır.

SYM farkları alınarak yapılan bu çalışmanın daha önceki testlere göre daha anlamlı olduğu düşünülebilir. Fakat burada nirengi olan noktalar nirengi noktası, yol kavşağı, duvar köşesi, bina gibi detaylardır. Bu detaylar görüntülerde rahatlıkla görülebilen, çevresiyle kontrast oluşturan noktalardır. Bu tür noktalarda doğal olarak otomatik görüntü eşleme algoritmaları daha iyi çalışacaktır. Bu nedenle daha iyi eşleme yapılacak ve bu noktalarda doğruluklar daha yüksek olacaktır. Böylece elde edilen sonuçlar homojen yapı gösteren bölgeleri temsil etmeyecektir. Bu nedenle daha iyi bir sonuç almak için bölgeye ait daha doğru bir SYM ile karşılaştırılması daha doğru sonuçlar verilebilecektir.

Ayrıca, bu çalışmada kullanılan hava fotoğraflarından sayısal hava kamerası ile alınmış olanlar, analog kameralar ile fotoğraf alımı sonrasında yapılan foto laboratuvar, tarama, fotogrametrik nirengi gibi birçok işlemlere tabi olmaması harcanan zaman ve maliyeti de ciddi oranda azaltmıştır.

Uygulama sonuçlarına bakıldığında özellikle sayısal renkli hava kamerası ile elde edilen fotoğraflar kullanılarak otomatik olarak SYM üretilebileceği değerlendirilmektedir. Fakat bunun topoğrafik harita üretiminde eş yükseklik eğri üretiminde kullanılabilmesi için özellikler büyük alanlar da yükseklik farkının çok ve çok az olduğu yani eğimin çok az (%0-10) ve çok fazla (%90-100) olduğu bölgelerde bir operatör tarafından editlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Son olarak, gelişen teknolojiye paralel olarak coğrafi bilgiye olan ihtiyacın giderek artması, talep edilen bilginin güncelliğinin önem kazanması, bu bilgiyi üreten kurumları da sürekli güncel veri toplama ve sunma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda yapılacak olan fotogrametrik çalışmalarda SYM üretiminde özellikle sayısal renkli hava fotoğraflarının kullanılarak otomatik olarak üretilen SYMlerin kullanılmasının zaman ve maliyet açısından uygun olacağı değerlendirilmektedir. Son olarak aşağıdaki çizelgede bu yükseklik modelleri kısaca karşılaştırılmıştır.

Çizelge 8.1 Siyah Beyaz fotoğraflar ile Renkli Fotoğrafların Eğim, Arazi Yapısı ve Yükseklik Farkı açısından karşılaştırılması.

4 YKN Kullanılarak		Siyah-Beyaz Fotoğraflarda	Renkli Fotoğraflarda
Eğim	%0-10	Yapılan okumalar eğimin çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar eğimin çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ama kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.
	%20-80	Yapılan okumalar eğimin normal olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğu çok az ve çok yüksek eğim oranlarından daha iyi fakat kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar eğimin normal olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ve kabul edilebilir oranlarda (± 1 m.) olduğu tespit edilmiştir.
	%90-100	Yapılan okumalar eğimin çok fazla olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar eğimin çok fazla olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ama kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.
Arazi Yapısı	Çıplak Arazi	Yapılan okumalar arazi üzeri detayların çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun diğer iki yapıya göre daha iyi fakat kabul edilebilir oranlarda (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar arazi üzeri detayların çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun diğer iki yapıya göre çok daha iyi olduğu ve kabul edilebilir oranlarda (± 1 m.) olduğu, benzer arazilerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin üretimde kullanılabileceği tespit edilmiştir.
	Normal (Detayın az olduğu arazi)	Yapılan okumalar arazi üzeri detayların nispeten az olduğu arazilerde özellikle şehir ve yerleşim alanlarında otomatik üretilen yükseklik modeli üzerinden yapılan okumalarda hata oranının yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bölgelerde edit işlemi ile model üzerinden düzeltme ihtiyacı duyulmaktadır.	Yapılan okumalar arazi üzeri detayların nispeten az olduğu arazilerde özellikle şehir ve yerleşim alanlarında otomatik üretilen yükseklik modeli üzerinden yapılan okumalarda hata oranının analogdan üretilen modele göre daha iyi ama kabul edilebilir oranlara (± 1 m.) yakın sonuçlar elde edilmiştir. Fakat sık yerleşime sahip arazilerde editleme ihtiyacı doğmaktadır.
	Sık Orman	Yapılan okumalarda sık ormanlık arazilerde üretilen otomatik sayısal yükseklik modelinde hata oranının çok yüksek çıktığı aşıkardır. Bunun gibi arazilerde gerek otomatik eleme algoritmaları ya da orman	Yapılan okumalarda sık ormanlık arazilerde üretilen otomatik sayısal yükseklik modelinde hata oranının analog ile üretilen modelde olduğu gibi yüksek çıkmıştır. Bunun gibi arazilerde gerek otomatik eleme algoritmaları ya da orman alanların

		alanların modelden çıkartılarak otomatik toplanan noktaların elle editlenmesi gerekmektedir.	modelden çıkartılarak otomatik toplanan noktaların elle editlenmesi gerekmektedir.
Yükseklik Farkı	Az	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının çok az olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ama kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.
	Normal	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının normal olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğu çok az ve çok yüksek eğim oranlarından daha iyi fakat kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının normal olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ve kabul edilebilir oranlarda (± 1 m.) olduğu tespit edilmiştir. Bu modelin daha sonra başka işlerde altlık olarak kullanılabileceği aşıkardır.
	Çok	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının çok fazla olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun çok düşük olduğu tespit edilmiştir.	Yapılan okumalar arazi yükseklik farkının çok fazla olduğu bölgelerde otomatik üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun analog kamera ile üretilen modelden yüksek ama kabul edilebilir oranlardan (± 1 m.) çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Ackermann, F. and Tsingas, V., (1994) Automatic Digital Aerial Triangulation, Proceedings of ASPRS/ACSM Annual Convention, Reno, 1-12.

Ackerman, F., (1996) Techniques and Strategies for DEM Generation, Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 6, 135, USA.

Agouris, P., (1992) Multiple Image Multipoint Matching for Automatic Aerotriangulation, Dissertation, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University.

Aksu, O., Atak, O., (2004) Algılayıcı Yöneltilme Sistemleri, Hrt.Gn.K.lığı, Harita Dergisi Sayı: 132

Alp, O., (1998) Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydöner, C. ve Maktav, D., (2006) Uydu Ve Yersel Veri Entegrasyonu İle Deprem Sonrası Arazi Örtüsü/Kullanımı Analizi, İTÜ Dergisi/d Mühendislik 2, 35-48.

Bolstad, P. V. and Stowe, T., (1994) An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope and Aspect, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 1327-1332.

Büyüksalih, G., (2004) Kızılötesi CCD Kameralar ve Teknik Özellikleri, Harita Dergisi Sayı: 122

Castleman, K. R., (1995) Digital Image Processing, California Institute of Technology, California.

Cramer, M., (2001) Performance of GPS/Inertial Solutions in Photogrammetry, Photogrammetric Week 01, Stuttgart

Demirel, Ş., (2005) Havadan Fotoğraf Alımında Yeni Bir Ufuk: Sayısal Kameralar, Hrt.Gn.K.lığı

Direnç, A., (2006) Sayısal Hava Kameralarının İncelenmesi Araştırma Çalışması

Erdas Imagine, (1995) Erdas Imagine 8.4 Field Guide

Erdoğan, M., (2000) Investigating The Effect Of Digital Elevation Model Accuracy On The Planimetric Accuracy Of Orthorectified Spot Imagery, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Finstenwalder, F., Çev. Aytaç, M. Ve Altan, M.O. Ve Örmeci, C., (1983) Fotogrametri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

Fotogrametri Ders Kitabı, (2003) Harita Yüksek Teknik Okulu, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

Förstner, W., (1995) Matching Strategies for Point Transfer, Proceedings Photogrammetric

Fritsch, D., (1995) Journal of Photogrammetry&Remote Sensing, 49, 1-118.

Giles, P. T. and Franklin, S. E., (1996) Comparison of Derivative Topographic Surfaces of a DEM Generated From Stereoscopic SPOT Images With Field Measurements, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, 62, 1165-1171.

Grodecki, J., (2001) Ikonos Stereo Feature Extraction - Rpc Approach, ASPRS Congress, St.Louis-Missouri.

Gruen, A.W., (1988) Digital Photogrammetric Processing Systems Current Status and Prospects, ISPRS88.

Gruen, A.W., (1998) DTM Generation and Visualization, Symposium on Digital Photogrammetry, İ.T.Ü., İstanbul.

Gürbüz, H., (2002) Fotogrametri Ders Notları, Hrt.Gn.K.lığı, Harita Yüksek Teknik Okulu

Heipke, C., (1990) Integration von Bildzuordnung, Punktbestimmung, Oberflächenrekonstruktion und Orthoprojektion innerhalb der digitalen Photogrammetrie, PhD Thesis, Institute of Photogrammetry, University of Technology of Munich, Deutsche Geodätische Kommission Volume 366.

Heipke, C., Kornus, W., Strunz, G., Thiemann, R., Colomina, I., (1992) Automatic Photogrammetric Processing of SPOT Imagery For Point Determination and Orthoprojection, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 29, 465-471.

Heipke, C., (1996) Overview of Image Matching Techniques, Official Publication, OEEPE.

Week '95, 173 – 183.

Jacobsen, K., (2002) Calibration Aspects In Direct Georeferencing of Frame Imagery, ISPRS2002

Kaczynski, R., Majde, A., Ewiak, I., (2004) Accuracy of DTM and Ortho Generated from Ikonos Stereo Images, ISPRS-2004 Congress, İstanbul.

Kiracı, A.C., (2008) “Fotogrametrik Nirengi ve GPS/IMU İle Doğrudan Coğrafi Konumlandırma Test Sonuçları”, Tufuab Ankara.

Koch, K.R., (1985) Digitales Gelandemodell Und Isolinien Zehehnung und der, Topographic VR.37 Jg.Heft:1.

- Kraus, K. And Waldhausl, P., (1993) Photogrammetry, Volume 1, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Kraus, K., Briese, C., Attwenger, M., Pfeifer, N., (2004) Quality Measures for Digital Terrain Models, ISPRS-2004 Congress, İstanbul.
- Lee, Y.G., (1985) Comparison of Planimetric and Height Accuracy of Digital Models, Surveying and Mapping, 45(4), 330-340.
- Lee, J., Snyder, P.K., Fisher, P.F., (1992) Modeling the Effect of Data Errors on Feature Extraction from Digital Elevation Models, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 58, 1461.
- Li, Z., (1994) A Comparative Study of The Accuracy of Digital Terrain Models (DTMs) Based On Various Data Models, ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, 49(1), 2-11.
- Mehlo, H., (1996) Photogrammetric Scanners, C. Zeiss, Germany.
- Özer, H., (1989) Sayısal Arazi Modeli Oluşturma Yöntemleri, Harita Dergisi, 102, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., (1992) Dengeleme Hesabı, Cilt III, Trabzon.
- PATB, (1995) PATB User's Manual, C. Zeiss, Germany.
- PATB-RS, (1994) Inpho PATB-RS Bundle Block Adjustment, Product Information, Stuttgart.
- PHODIS, Photogrammetric Image Processing System, Production of Digital Orthophotos and Output of Digital Images, C. Zeiss, Germany.
- Sandau, R, Braunecker, B, Driescher, H, Eckardt, A, Hilbert, S, Hutton, J, Kirchhofer, W, Lithopoulos, E, Reulke, R, Wicki, S., (2000) Design Principles Of The LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.
- Sarbanoğlu, H., (1991) Coğrafi Bilgi Sistemleri için Veri Toplama Yöntemleri, Harita Dergisi, 106, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Schenk, A. F., (1996) Automatic Generation of DEM's, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 6, 145, USA.
- Shearer, J.W., (1994) The Accuracy of Digital Terrain Models, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60, 315-336.
- Softplotter, Spatial Data Production for Professional Mapping, USA.

Torlegard, K., (1988) Some Photogrammetric Experiments with Digital Image Processing, ISPRS88.

Torlegard, K., (1998) Data Acquisition in Digital Photogrammetry, Symposium on digital Photogrammetry, İ.T.Ü., İstanbul.

Wolf,R.P., (1974) Elements of Photogrammetry, McGraw-Hill, KOGAKUSHA, LTD, Japan.

Yıldırım, A, Şeker, Z., (2005) Uçaklarla Toplanan Fotogrametrik Amaçlı Görüntü Maliyetinin Analizi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|---|-----------------|
| 1. http://www.hgk.mil.tr , Harita Genel Komutanlığı | 12 Ocak 2009 |
| 2. http://www.jpl.nasa.gov | 21 Şubat 2009 |
| 3. http://srtm.usgs.gov | 28 Mart 2009 |
| 4. http://www.iobildirici.com | 25 Haziran 2009 |
| 5. http://www.inpho.de | 25 Haziran 2009 |

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 04.12.1982

Doğum yeri Zonguldak

Lise 1996-2000 Kuleli Askeri Lisesi

Lisans 2000-2004 Kara Harp Okulu

Yüksek Lisans 2007- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Müh. Anabilim Uzaktan Algılama ve CBS
Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2004-Devam ediyor Harita Genel Komutanlığı