

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİĞİTAL TOPOGRAFİK HARİTALAR İLE DİĞİTAL ORTOFOTO
HARİTALARIN DOĞRULUK, MALİYET VE ÜRETİM ZAMANI AÇISINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Oktay EKER
(501970614011)

100873

100873

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ocak 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Dursun Z. ŞEKER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr.M. Orhan ALTAN (İTÜ)
Prof.Dr. Ahmet YAŞAYAN (YTÜ)

[Handwritten signatures of the supervisors and jury members]

OCAK 2000

ÖNSÖZ

Digital topoğrafik haritalar ile digital ortofoto haritaların doğruluk, maliyet ve üretim zamanı açılarından karşılaştırıldığı bu çalışmada, tez yürütücülüğümü üstlenen ve tezimin her aşamasında sabırla bana bilgi ve deneyimleriyle yardım ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Dursun Zafer ŞEKER' e çok teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında gece gündüz sürekli yanımda olan ve bana maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Nilüfer'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2000

Oktay EKER



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI	1
2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ	3
3. DİĞİTAL FOTOGRAMETRİ	7
3.1. Digital Fotogrametride Temel Kavramlar	7
3.1.1. Digital görüntü nedir?	8
3.1.2. Digital görüntü oluşturma yöntemleri	9
3.1.2.1. Fotoğrafların taranması	9
3.1.2.2. Digital kameralar	12
3.1.2.3. Tarayıcı kameralar ve diğerleri	12
3.1.3. Görüntü eşleme	13
3.1.3.1. Alana bağlı eşleme	15
3.1.3.2. Detaya bağlı eşleme	16
3.1.3.3. Sembolik eşleme	17
3.1.3.4. Epipolar kısıtlamalar	17
3.1.3.5. Çok görüntü eşleme	18
4. ORTOFOTONUN TANIMI VE DÜŞEYE ÇEVİRME	20
4.1. Metrik Bir Fotoğrafın Deformasyonları	21
4.2. Merkezi Perspektif İzdüşümle Düşeye Çevirme	25
4.2.1. İç yöneltmeli perspektif düşeye çevirme	25
4.2.2. İç yöneltmesiz perspektif düşeye çevirme	26
4.2.2.1. Optik koşullar	26
4.2.2.2. Geometrik koşullar	27
4.2.2.3. Bilinen alet setleriyle düşeye çevirme	32
4.2.2.4. Kontrol noktalarıyla ve iç yöneltme bilgileri ile düşeye çevirme	34
4.2.2.5. İç yöneltmesiz kontrol noktaları ile düşeye çevirme	35
4.2.2.6. Kontrol noktasız düşeye çevirme	36
4.2.3. Perspektif düşeye çevirmenin doğruluğu	36
4.3. Diferansiyel Dönüşüm ile Düşeye Çevirme	38
4.3.1. Diferansiyel düşeye çevirmenin teorik ve aletsel prensipleri	38
4.3.2. Düzlem objelere ait eğik fotoğrafları düşeye çevirme	40
4.3.3. Eğik objeleri düşeye çevirme	42
4.3.3.1. Veri toplama yöntemleri	42
4.3.3.2. Diferansiyel düşeye çevirmede doğruluk	44

4.4. Klasik Ortofoto Haritalar	48
5. DİĞİTAL ORTOFOTO VE TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİMİ	49
5.1. Digital Ortofoto Harita Üretimi	51
5.1.1. Digital ortofoto düşeye çevirme yöntemleri	54
5.1.1.1. Piksek piksel düşeye çevirme	56
5.1.1.2. Sabit nokta yöntemi ile düşeye çevirme	56
5.1.2. Sayısal yükseklik modeli yöntemleri	56
5.1.2.1. Raster yöntemi	57
5.1.2.2. Üçgenleme yöntemi	57
5.1.2.3. SYM yöntemlerinin irdelenmesi	58
5.1.3. Digital ortofotoların kalitesine ve doğruluğuna etki eden faktörler	59
5.1.3.1. SYM nin doğruluktaki rolü	60
5.1.3.2. Büyütme oranları ve SYM yoğunluğu	62
5.2. Digital Topoğrafik Harita Üretimi	62
6. UYGULAMA	67
6.1. Uygulamada Kullanılan Yazılım ve Donanımlar	67
6.1.1. Kullanılan donanımlar	68
6.1.1.1. SCAI fotoğraf tarayıcı	68
6.1.2. Uygulamada kullanılan yazılımlar	69
6.1.2.1. PATB-GPS yazılımı	70
6.1.2.2. PHODIS yazılımı	71
6.1.2.3. SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı	71
6.1.2.4. PCI yazılımı	72
6.2. Proje Alanlarının Digital Topoğrafik Ve Ortofoto Haritalarının Üretilmesi	73
6.2.1. İzmir proje alanı	73
6.2.2. İstanbul proje alanı	76
6.3. Digital topoğrafik haritalar ile digital ortofoto haritaların doğruluk, üretim zamanı ve maliyet açısından karşılaştırılması	77
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ	98

KISALTMALAR

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
CCD	: Charge Coupled Device
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
EKY	: En Küçük Kareler Yöntemi
CAD	: Computer Aided Design
GİS	: Görüntü İşleme Sistemi
GPS	: Global Positioning System
YÜKPAF	: Yükseklik Paftası
SAR	: Synthetic Aperture Radar
RADAR	: Radio Detection and Ranging



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. 1:50 ölçeğinde $\Delta Z_{\max}$ yer değişimi	37
Tablo 4.2. 1:1000 ve 1:2500 ölçeklerinde $\Delta Z_{\max}$ yer değişimi	38
Tablo 6.1. Digital topoğrafik harita üretiminde harcanan süreler	83
Tablo 6.2. Digital ortofoto harita üretiminde harcanan süreler	83
Tablo A.1. İzmir test bölgesinin digital topoğrafik veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları	90
Tablo B.1. İzmir test bölgesinin digital ortofoto veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları	91
Tablo C.1. İstanbul test bölgesinin digital topoğrafik veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları	92
Tablo D.1. İstanbul test bölgesinin digital ortofoto veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Fotogrametrinin gelişim evreleri.	5
Şekil 3.1.	Digital fotogrametrik görüntü.	8
Şekil 3.2.	Kare sensör matrisli tarayıcının çalışma prensibi.	11
Şekil 3.3.	Çapraz korelasyon tekniği.	15
Şekil 3.4.	Epipolar kısıtlamalar.	18
Şekil 4.1.	Karesel grid ile deforme olmuş görüntü gridi arasındaki ilişki.	21
Şekil 4.2.	Obje düzlemi dışındaki nokrtalarda radyal görüntü kayıklığı.	24
Şekil 4.3.	Perspektif düşeye çevirme aletinin optik koşulları.	26
Şekil 4.4.	Fotoğraf çekiminde geometrik ilişkiler.	28
Şekil 4.5.	Perspektif düşeye çevirmede fotoğraf çekimindeki ışın demetleri.	30
Şekil 4.6.	α yönü, ν nadir uzaklığı ve κ dönüklüğünün tanımı.	33
Şekil 4.7.	Diferansiyel görüntü transformasyonu ile perspektif düşeye çevirme.	40
Şekil 4.8.	Ortofotodaki detaylarda görüntü kayıklığı.	45
Şekil 5.1.	Digital fotogrametride veri akışı.	49
Şekil 5.2.	Digital fotogrametride veri işlenişi.	50
Şekil 5.3.	Digital ortofoto üretimi için akış diagramı.	52
Şekil 5.4.	Digital fotogrametrik yazılımın ortofoto modülünün akış diagramı.	55
Şekil 5.5.	Digital topoğrafik harita üretimi.	64
Şekil 6.1.	İzmir proje alanı blok yapısı.	75
Şekil E.1.	İzmir test bölgesinin 1:25000 ölçekli digital topoğrafik haritası.	94
Şekil F.1.	İzmir test bölgesinin 1:25000 ölçekli digital ortofoto haritası.	95
Şekil G.1.	İstanbul test bölgesinin 1:5000 ölçekli digital topoğrafik haritası.	96
Şekil H.1.	İstanbul test bölgesinin 1:5000 ölçekli digital ortofoto haritası.	97

SEMBOL LİSTESİ

ξ, η	: Görüntü koordinat bileşenleri
g_{ij}	: Piksel gri değeri
R	: Çözünürlük
ΔD	: Sayısal tarama sıklığı
μm	: Mikron
λ_x, λ_y	: Uzunluk deformasyonları
v	: Resim eğikliği
Δp	: Yer değiştirme
ΔZ	: Yükseklik farkı
c	: Kamera odak uzaklığı
X, Y, Z	: Sağa, yukarı ve yükseklik koordinat değerleri
ω, ϕ, κ	: Resim dönüklük açıları
R_{avk}	: Konumsal rotasyon matrisi
S_1	: Üçgen ağı oluşturan kenarların uzunlukları
$\bar{x}$	: Veri kümesinin ortalama değeri
n	: Veri kümesinin eleman sayısı
ε	: Gerçek koordinatlar ile ölçülenler arasındaki farklar
S	: Veri kümesinin standart sapması
$\varepsilon\varepsilon$	: Farkların karelerinin toplamı
n_1	: Sınıf aralığı
k	: Sınıf sayısı
p	: Sınıf bağıl yığılmalarının kuramsal değerleri
$\Phi(Z_1)$	: Dağılım fonksiyonu
x_1	: Sınıf sınırları
χ^2_0	: Test büyüklüğü
m_p	: Planimetrik karesel ortalama hata değeri

DİĞİTAL TOPOĞRAFİK HARİTALAR İLE DİĞİTAL ORTOFOTO HARİTALARIN DOĞRULUK, MALİYET VE ÜRETİM ZAMANI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Fotoğrafla başlayıp, optik-mekanik aletlerle devam eden fotogrametri yöntemine Analog Fotogrametri denir. Benzer olarak fotoğraf ile başlayıp bilgisayar destekli aletler ile devam eden fotogrametri yöntemine Analitik Fotogrametri adı verilir. Üçüncü ve son gelişmiş olan fotogrametri yöntemi ise Digital Fotogrametri'dir. Digital fotogrametri tekniğinde, kamera görüntü düzlemindeki ışıklandırma fotografik olarak değil, elektronik olarak kaydedilir. Müteakiben, insan gözlemine ve tanınmasını kolaylaştıran bilgisayarlı tekniklerle devam edilir.

Hava fotoğraflarından elde edilen çizgisel bir harita, gelişmemiş alanlarda çoğu zaman yetersizdir. Arkeologlar, toprak bilimciler, orman bilimcileri, ziraatçılar, coğrafyacılar, jeologlar, planlamacılar ve çevre bilimciler çoğu zaman kendileri için önemli olan detayları çizgisel bir haritada bulamamaktadırlar. Hava fotoğraflarının içeriğini gösteren bir foto harita pek çok kullanıcı için daha iyi bir çözüm sağlamaktadır. Gelişmiş alanlarda bile, hava fotoğraflarındaki detaylara ihtiyaç duyulmaktadır. Foto haritalar, klasik topografik çizgisel haritaların üretiminden daha ucuz ve daha hızlı olduğu için oldukça ilgi çekicidirler.

Haritalar ile karşılaştırıldığında fotoğraflarda bazı deformasyonlar söz konusudur. Fotoğraf ve görüntülerin deformasyonları, diferansiyel geometride Tissot İndikatrisi yardımıyla tanımlanır. Bu teori, genelde yalnızca düzgün analitik fonksiyonlarla tanımlanabildiği durumlarda uygulanabilir. Yer yüzeyleri genellikle bu şekilde tanımlanamamaktadır. Fotogrametride yer yüzeyi büyük bir grup noktayı sayısallaştırma ile temsil edilir.

Görüntü deformasyonlarının ortadan kaldırılması için iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde fotoğrafın, bir düzeye çevirme aletinde projeksiyonu ile deformasyonlar ortadan kaldırılabilir. Bu yöntem sadece düzlemsel objelerin eğik fotoğraflarını düzeye çevirmek için kullanılabilir. İkinci yöntem ise bütün şartlar için geçerlidir. Bu yöntem diferansiyel düzeye çevirme adıyla bilinir ve fotoğrafın küçük küçük parçalarının sırasıyla düzeye çevrilmesini içerir.

Bilgisayar teknolojisinde meydana gelen hızlı gelişmeler; analog ortofoto üretiminde karşılaşılan problemleri ortadan kaldırmıştır. Örneğin analog ortofotoda bir paftanın bir resimle kapatılması koşulu bulunmaktadır. Görüntülerin digital olması, bunların en uygun şekilde birleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Digital ortofoto üretiminin temeli, kamera koordinat sistemindeki görüntü matrisinin yer koordinat sisteminin XY düzlemindeki görüntü matrisine dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Digital ortofoto üretimi, yer kontrol sisteminin XY düzlemindeki gerekli görüntü matrisinin tanımlanmasıyla başlar ve bu elemanların merkezlerinin kamera koordinat sistemine dönüşümü ile devam eder. Bu dönüşüm için XY gridindeki noktaların Z koordinatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri bir XY koordinat ağındaki her noktanın Z koordinatını sağlar.

Digital ortofotoların sağladığı avantajlar şunlardır :

- Yer yüzeyini temsil etmek için çok yakın noktalardan oluşmuş bir ağ kullanıldığı için geometrik doğruluk daha yüksektir.
- Digital ortofoto coğrafi bilgi sisteminde bir bilgi seviyesi olarak muhafaza edilebilir.
- Digital ortofotolar multispektral sınıflandırma, görüntü parçalama, detay tanıma yöntemleriyle analiz edilebilir. Digital ortofoto esnek ,ucuz ve yüksek kaliteli çıktılar vermektedir. Analog teknikte olduğu gibi görüntünün kalitesinde bir azalma olmamaktadır. Analog yöntemde özellikle renkli görüntülerde doğruluk , çözülme kayıpları ve mozaik hale getirmedeki zorluklar digital ortofotoda ortadan kaldırılmıştır. Digital ortofoto görüntüleri, elektronik olarak hızlı ve kolayca transfer edilebilmektedir.
- Vektör bilgiler ek bir çalışma yapılmadan bilgisayar ortamında eş zamanlı olarak görüntülenebilir.
- Ortofoto mozaiklerini elde etmek ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil etmek için ortofotolar blok halinde birleştirilmelidir. Tüm ortofotolar belirli bir projeksiyonda olduklarından geometrik olarak herhangi bir problem ile karşılaşılmamaktadır.

Digital ortofoto görüntünün kalitesi, üretim döngüsündeki tüm elemanlara bağlıdır. Bunlar;

- Kamera kalitesi ve odak uzaklığı
- Fotoğraftan sonuç ürün ölçeğine büyütme
- Diapozitiflerin yoğunluk oranı veya tarayıcı pikselindeki bitlerin kalitesi
- Tarayıcının işlenmemiş ham veri tarama kalitesi ve geometrik doğruluğu
- Mikron veya fotoğraf ölçeğindeki dpi ile ifade edilen tarama örneklerinin kalitesi
- Diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri
- Arazi birimlerinde ifade edilen sonuç piksellerin boyutu
- Diferansiyel düşeye çevirmeden sonra otomatik radyometrik düzeltme
- Kontrol noktalarının seçimi
- Kamera odak uzaklığına bağlı olan arazi veya binadaki varyans
- SYM verinin yoğunluğu ve kalitesi

Uygulama çalışmaları için iki ayrı test bölgesi seçilmiştir. Birinci bölge İzmir ili yakınlarında, ikinci bölge ise İstanbul ili sınırları içerisindedir. Birinci test bölgesine ait Harita Genel Komutanlığı tarafından %60 ileri bindirmeli ve 1:35000 ölçekli siyah-beyaz çekilmiş 31 adet arşiv fotoğraf kullanılmıştır. İkinci test bölgesindeki uygulama ise 1998 yılında renkli olarak çekilmiş 1:16000 ölçekli 4 adet hava fotoğrafı kullanılarak yapılmıştır. Birinci test bölgesindeki fotoğraflar 28 mikron,

ikinci test bölgesindekiler ise 21 mikronda SCAI foto-tarayıcısında taranarak sayısallaştırılmışlardır. Taranarak digital hale getirilmiş fotoğraflar, PHODIS yazılımının ortamına alınmıştır. Burada fotoğrafların çekildiği kameranın kalibrasyon raporu doğrultusunda yeni bir kamera tanımlanmış ve bu bilgiler kullanılarak fotoğrafların iç yönelmeleri yapılmıştır.

PHODIS-AT yazılımı yardımıyla digital görüntüler kolon ve model bağlama noktaları ile kontrol noktalarının (nirengiler) resim koordinatları ölçülmüştür. GPS verileri ile ölçülen resim koordinatları kullanılarak PATB-GPS programında bloğun dengelemesi yapılmıştır.

Dengeleme sonuç dosyası ile digital görüntüler kıymetlendirme yapılacak digital fotogrametri aletlerine ftp bağlantısı ile gönderilmiştir. Kıymetlendirme işlemleri için SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı kullanılmıştır. Fotogrametrik nirengiden alınan digital görüntüler yazılımın ortamına alınmış ve burada kamera tanımlanması yapılarak fotoğrafların iç yönelmeleri tamamlanmıştır. PATB-GPS sonuç dosyasında yazılıma import edilerek blok oluşumu tamamlanmıştır. Bu işlemler SOFTPLOTTER 1.7 yazılımının Block Tool modülünde yapılmıştır.

Blok oluşumu tamamlandıktan sonra digital görüntü çiftleri kullanılarak Stereo Tool modülünde stereo-modeller otomatik olarak oluşturulmuştur.

Kıymetlendirme işlemleri KDMS Tool modülünde stereo modeller üzerinden operatör tarafından yapılmıştır.

Üretilen vektör veriler format dönüşümü yapılarak Microstation 95 yazılımına alınmıştır. Editleme operatörü tarafından vektör verilerinin editlemesi ve kontrolü bitirilerek birinci test bölgesinin 1:25000 ve ikinci test bölgesinin 1:5000 ölçekli digital topografik haritalarının üretimi tamamlanmıştır.

Test bölgelerinin ortofoto görüntüleri yine SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Digital görüntü çiftlerindeki paralakslardan yararla SYM verileri TIN (üçgenleme) yönteminde TIN Tool modülünde toplanmıştır. Birinci test bölgesinin SYM verileri 40m, ikinci test bölgesinin ise 30m (arşiv) aralıklarla toplanmıştır. Toplanan SYM verileri stereo-modeller üzerinde editlenmiş ve break-line, cut out çizgileri eklenmiştir.

Oluşturulan görüntüler ile TERRAMODEL yazılımıyla SYM verilerinden otomatik olarak çizdirilmiş eş yükseklik eğrileri format dönüşümü yapılarak PCI yazılımına alınmıştır. Mozaikleme işlemleri ile lejand hazırlama ve yükseklik eğrilerinin ortofoto mozaığın üzerine çakıştırılması işlemleri PCI yazılımında yapılarak test bölgelerinin digital ortofoto haritaları oluşturulmuştur.

Her iki proje alanının üretilen digital topografik ve digital ortofoto haritalarının doğruluğunu araştırmak üzere İzmir proje alanında 146, İstanbul proje alanında ise 101 adet karşılaştırma noktası seçilmiştir. Karşılaştırma noktalarının seçiminde, yol

ve dere kavşakları, bina köşeleri, yol ve dere kesişimleri gibi keskin detaylar olmasına özen gösterilerek okuma hatalarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Karşılaştırma noktalarının üç boyutlu koordinatları, halen Harita Genel Komutanlığında kullanılan Zeiss Planicomp C115 analitik aletlerinde stereo modeller üzerinden ölçülmüştür. Ölçülen bu koordinatlar doğru değerler olarak kabul edilmiş ve digital topografik ile digital ortofotolar üzerinden ölçülen koordinatlar bu değerler ile karşılaştırılarak doğrulukları bulunmuştur.

Digital topografik ve ortofoto haritalarının doğruluğunu araştırmak için, digital stereo-modeller ve ortofoto görüntüler üzerinden ölçülen karşılaştırma noktalarının koordinatlarının, analitik aletle ölçülen koordinatlardan farkları alınarak üç ayrı veri kümesi (x, y ve z için) oluşturulmuştur.

İzmir proje alanında oluşturulan 146 elemanlı ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z kümelerinden, digital stereo-model ölçümleri sırasında operatör tarafından çok kaba hatalı ölçülen 11 karşılaştırma noktası ve digital ortofoto ölçümlerinde ise 14 karşılaştırma noktası çıkartılmıştır. İstanbul proje alanında da hem stereo model hem de ortofoto ölçümlerinde 11 kaba hatalı bulunmuş ve bunlar veri kümelerinden çıkartılmıştır. Her iki test bölgesine ait bu veri kümelerinin ayrı ayrı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri bulunmuştur.

Her iki proje alanına ait veri kümelerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerinin normal dağılıma uygun olup olmadığının da test edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada Mann-Wald uyum testi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki her iki test bölgesine ait veri kümeleri ortalama ve standart sapma değerleri için normal dağılıma uymaktadırlar.

Uyum testi tamamlandıktan sonra her bir test bölgesindeki digital topografik ve ortofoto haritalar için planimetrik doğruluk ve yükseklik doğrulukları hesaplanmıştır.

$$m_{p_{25}} = \pm 1.988 \text{ m.} \quad m_{z_{25}} = \pm 1.271 \text{ m.} \quad m_{p_{025}} = \pm 2.265 \text{ m.} \quad m_{z_{025}} = \pm 1.523 \text{ m.}$$

$$m_{p_{15}} = \pm 1.280 \text{ m.} \quad m_{z_{15}} = \pm 0.605 \text{ m.} \quad m_{p_{015}} = \pm 1.457 \text{ m.} \quad m_{z_{015}} = \pm 0.895 \text{ m.}$$

Bu sonuçlar ışığında şunu rahatlıkla söyleyebiliriz ki 1:5 000 ve daha küçük ölçekli digital ortofoto haritaların doğrulukları ile digital topoğrafik haritaların doğrulukları arasında çok küçük farklılıklar bulunmaktadır.

Sonuçlara bakıldığında ortofoto harita üretiminde pafta bazında yaklaşık 11 günlük bir kazanç olduğu görülmektedir. Digital topoğrafik harita bu uygulamada 22 günde tamamlanırken digital ortofoto harita ise 11 günde tamamlanmıştır. Her geçen süre, personel maliyeti ve alet amortisman maliyetidir. Digital ortofoto haritaların üretimi, digital topoğrafik haritaların üretim zamanının 1/2-1/4 oranında daha az bir zamanda gerçekleştirildiğine göre maliyeti de bu oranda daha az olmaktadır.

Sonuç olarak; digital topoğrafik haritalarla karşılaştırıldığında, özellikle 1:5 000 ve daha küçük ölçekli haritalama çalışmalarında digital ortofoto haritaların yeterli

doğrulukta, kaliteli, kullanışlı, etkin, ucuz ve hızlı çözümler olarak bir adım öne geçtiğini rahatlıkla söyleyebiliriz.



COMPARISON OF DIGITAL ORTHOPHOTO MAPS WITH DIGITAL TOPOGRAPHIC MAPS

SUMMARY

That branch of photogrammetry which begins with photographs and continues with optical mechanical instruments is described as analogue photogrammetry. That branch which begins similarly with photographs, but continues with computerised instruments, is described as analytical photogrammetry. A third branch is called digital photogrammetry. In this technology the illumination in the image plane of the camera is not recorded photographically, but by electronic means; there then follow computerised techniques which simulate human vision and recognition. We speak of “computer vision”; terms such as “pattern recognition” and “image understanding” are also used.

A line map, derived from aerial photographs, is often unsatisfactory for specific applications, because some of the details cannot be displayed in the vector map. For these occasions a map that shows the aerial photographs (photo map) is better. In addition, photo-maps are attractive because they are significantly less expensive yet quicker to produce than conventional topographic line maps.

A photogrammetric photograph (central projection) has some deformations relative to a map (orthogonal projection). The deformations of images, including photographs, are described in differential geometry by means of the Tissot indicatrix. This theory can only be applied, however, if the surface of the object can be described by smooth analytical functions. Ground surfaces can generally not be so described. More often the ground surface is represented in photogrammetry by digitising a large set of individual points on the surface.

There are two procedures for the removal of image deformations. The first is a method of rectification in which the original photograph is reprojected in a photographic rectifier. This procedure can only be used for the rectification of tilted photographs of plane objects. The second rectification procedure is universally applicable. Small pieces of the original photograph are extracted and photographically rectified one after the other. The process is known as differential rectification.

The problems of analogue orthophoto production can be eliminated by the help of recent developments in the computer technology. For example in analogue orthophoto, an orthophoto map must be covered by only one image but for digital images, this is not needed.

The essential feature of the production of digital orthophotos lies in the transformation of the image matrix in the camera coordinate system. The production of a digital orthophoto begins with the definition of the required image matrix in XY

plane of the ground coordinate system, followed by the transformation of the centres of these elements into the camera coordinate system. For this transformation we also need the Z coordinates of the points in the XY grid. Digital terrain models provide the Z coordinates of a close mesh of XY points.

The advantages of digitally produced orthophotos compared with those produced photographically are listed below;

- The geometric accuracy is basically higher since a very close mesh of points is used to approximate the ground surface.
- Image content can be modified quite simply by contrast manipulation of the densities and colours.
- An elegant matching of densities at the edges of neighbouring images in an orthophoto mosaic can be achieved.
- Further improvements, such as edge enhancement, can be introduced by appropriate filtering.
- The digital orthophoto can be stored at a level of information in a geographic information system.
- Digital orthophotos can be analysed by the methods of multispectral classification, image segmenting, pattern recognition, etc.

The quality of the digital orthophoto is dependent to these factors;

- The focus length and the quality of the camera.
- Photograph and result map scale
- The resolution of diapositives
- The resolution and geometric accuracy of scanner
- The methods of differential rectifying
- Automatic radiometric correction after differential rectifying
- Control-points selection
- Accuracy and resolution of DEM data.

To produce a digital topographic and digital orthophoto map, first of all we had to prepare the block of the test field which was mapped. In this study we chose two test fields. The first one is near Izmir and the second one is near Istanbul. We used 31 black/white aerial photographs which had %60 forward overlap and a scale as 1:35000 in the first test field and 4 color photographs scaled 1:16000 in the second test field. We scanned the photographs in the Zeiss-SCAI photo-scanner with 28 micron resolution for the first and 21 micron for the second test field's photographs. These digital images were taken in PHODIS digital photogrammetry software. Camera calibration information was imported into software and then interior orientation of the photographs was performed automatically.

In PHODIS-AT software, the control points were measured from photographs and then model and stripe tie-points were measured automatically by using automatic tie-point option. Having measured the image coordinates of the control-points and tie-points, we made the aerial triangulation adjustment in PAT-B program.

Our block was ready to produce stereo-models, topographic and orthophoto map of the test field .

In this step, we used another digital photogrammetry software called as SOFTPLOTTER1.7. Because of this, we needed to prepare the general structure of the test blocks.

We opened a project directory in this software and we entered our project's information like name, reference frame and (etc.).

After having opened the project, we ran the Block Tool from the main menu of the software.

In this tool, we selected the camera editor and we entered the camera calibration information from camera calibration report , then we selected the frame-editor and imported the digital raster photographs which were in TIFF format and the aerial triangulation adjustment results taken from PAT-B program by using PAT-B import button .

Imported photographs could be oriented in the interior orientation selection automatically or manually. We oriented them manually .

After having all photographs oriented, we ran the triangulation selection and we accepted the block and exit the block tool.

To produced the stereo-models of the block we ran the stereo-tool and we generated all stereo-models. Our block was ready to evaluate vector data from stereo-models.

By running KDMS Tool from the main menu, we evaluated the stereo-models and extracted vector data of the test fields by the help of an operator .

To perform the digital topographic map, we translated the KDMS vector file to IGD (DGN) vector file, then we made the clip, edit and merge operations in the Microstation software to prepare our digital topographic map. We got our digital topographic map of the first test field at 1:25000 scale and of the second test field at 1:5000 scale.

We produced the digital orthophoto images of the test fields by using again SOFTPLOTTER 1.7 digital photogrammetry software.

First of all we collected the Digital Elevation Model (DEM) data from stereo-models by running DEM Tool from the main menu of the SOFTPLOTTER 1.7. In this tool we had to enter some collection parameters of DEM data like the collection resolution and etc. After collecting the DEM data at 40 m. resolution for the first

and 30m.(archieve) for the second test field, we edited the DEM data and added break lines and cut out arias. After preparing the DEM data of the models, we could rectify the photographs by the help of DEM and triangulation data in the Ortho Tool Menu.

By rectifying all the photographs, we got the ortho images of the photographs. In these ortho images, we could get the height information (3rd dimension) from DEM data. To produce the digital orthophoto map of the test fields, we had to make mosaic of the ortho images.

We used another image processing system software called as PCI for making the mosaic of the test fields and integrating with the contour lines which were derived from DEM data automatically by the help of TERRAMODEL software. We also added the legend information and then prepared the orthophoto maps of the test fields by the help of PCI software.

In this application, for testing the accuracy of the digital topographic and orthophoto maps we needed some check points which we could find either in digital topographic map or digital orthophoto map and also the coordinates of them were assumed as true.

We selected 146 sharp feature points like cross roads, intersection of roads and rivers, building corners and etc. for the first test field and 101 for the second test field as check points. We measured the 3D coordinates of the check points from stereo-models by using an analytical plotter (Zeiss PLANICOM C115) and accepted these coordinates as true coordinates of the check-points. Then we measured the coordinates of the check points from digital stereo models and from digital orthophoto images (not from mosaic, because has not given the height information). The differences between true coordinates and measured coordinates we calculated and from these differences we produced three data sets (ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z) for each digital topographic map or digital orthophoto map.

These ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z values are true errors. We neglected 11 check points from digital topographic map data sets and 14 check points for digital orthophoto map data sets for the first test field and 11 check points which had gross errors for the second test field. So we accepted 135 check-points for digital topographic map and 132 check points for digital topographic map for the first test field and 90 check points for either digital topographic map or digital orthophoto map of the second test field.

After neglecting the check-points which had gross errors, we calculated the average value and the standard deviation of every data sets of digital topographic and orthophoto maps.

With Mann-Wald statistic test, we examined whether the data sets had normal distribution and the results showed us that every data sets had the normal distribution for the their avarage values and standard deviations.

We calculated the planimetric and height accuracy values for both digital topographic and orthophoto maps of each test fields.

$$\begin{array}{llll} m_{p_{125}} = \pm 1.988 \text{ m.} & m_{z_{125}} = \pm 1.271 \text{ m.} & m_{p_{025}} = \pm 2.265 \text{ m.} & m_{z_{025}} = \pm 1.523 \text{ m.} \\ m_{p_{15}} = \pm 1.280 \text{ m.} & m_{z_{15}} = \pm 0.605 \text{ m.} & m_{p_{05}} = \pm 1.457 \text{ m.} & m_{z_{05}} = \pm 0.895 \text{ m.} \end{array}$$

These values were not much far away from each other so we can say that digital orthophoto maps can be used instead of topographic maps for 1:5000 and smaller scales.

Results of this study shows us that producing digital topographic maps is much expensive then digital orthophoto maps because it took 22 days to produce a digital topographic map while it took 11 days for an orthophoto map in this study. Every day means money that must be paid to the operators by the mapping organizations.

As a result, it can be said that digital orthophoto maps which have enough accuracy and quality are the cheap, quick and good solutions for the mapping studies.



1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

1980 li yılların sonlarında bilgisayar teknolojisinde meydana gelen hızlı gelişmeler etkisini fotogrametri alanında da göstermiş ve 'Digital Fotogrametri' kavramının doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Digital fotogrametri, çok büyük boyutlardaki tarama ve vektör verileri işleme olanakları sağlamış ve beraberinde 'Digital Harita' kavramını getirmiştir. Bunun bir sonucu olarak fotogrametrik harita üretiminin digital olarak gerçekleştirilmesini sağlayan digital fotogrametrik sistemler, görüntü işleme sistemleri ve hassas foto-tarayıcılar geliştirilmiştir.

Digital fotogrametrik sistemler stereo modeller üzerinden digital topoğrafik harita üretiminin yanısıra, otomatik olarak sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri toplama ve digital ortofoto harita üretimine de olanak sağlamaktadır. Önceleri bazı zorluklarla gerçekleştirilen ortofoto harita üretimi, digital fotogrametrik sistemler yardımıyla daha kolay bir hale gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak, digital ortofoto haritalara duyulan ilgi ve istek artmıştır.

Bu çalışmanın amacı; eş yükseklik eğrileri ve isimler dışında vektör veriye ihtiyaç duymayan ve görselliği ile harita okuma problemlerini en aza indiren ve aynı zamanda hem hardcopy hem de digital olarak farklı ortamlarda sunulabilen digital ortofoto haritaların topoğrafik haritaların yerini alıp alamayacakları sorusuna yanıt bulabilmek için, üretilen digital topoğrafik haritalar ile digital ortofoto haritaları doğruluk, maliyet ve üretim zamanları açısından karşılaştırarak farklılıkları ortaya koymaktır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde fotogrametrinin tanımı ve tarihçesi hakkında kısa bir bilgi sunulmuş ve digital fotogrametrinin temel kavramları, digital görüntü ve elde etme yöntemleri, görüntü eşleme ve yöntemleri ise digital fotogrametri başlığı altında üçüncü bölümde anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, ortofotonun tanımı, matematik esasları incelenmiş ve klasik düşeye çevirme yöntemleri ile klasik ortofoto haritalar ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, digital ortofoto harita ile digital topoğrafik harita üretim aşamaları anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde, digital ortofoto düşeye çevirme yöntemleri, SYM verisi elde etme yöntemleri ve SYM nin digital ortofotoların doğruluğundaki rolü ile bu doğruluğa etki eden diğer faktörler anlatılmıştır.

Digital topoğrafik haritalar ile digital ortofoto haritaların doğruluk, maliyet ve üretim zamanları açısından karşılaştırılması amacıyla yapılan uygulamalar çalışmanın altıncı bölümünde ele alınmıştır.

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



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 [1]. 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, düşeye çevrilmiş fotoğraflar (ortofotolar) ve bunlardan üretilmiş haritalar ve digital görüntüler [2].

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 (1471-1528) 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 yönteme 'Plançete Fotogrametrisi' denilmektedir. Fotogrametrinin geometrik ve analitik esasları genişletilmiştir. Aynı tarihte Almanya'da mimar A.Meydenbauer, Laussedat'tan bağımsız olarak bina ölçmelerindeki problemlere eğilmiştir.

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.

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'ının ölçme tekniğinde kullanılması ile fotogrametriye yeni bir boyut kazandırmıştır.

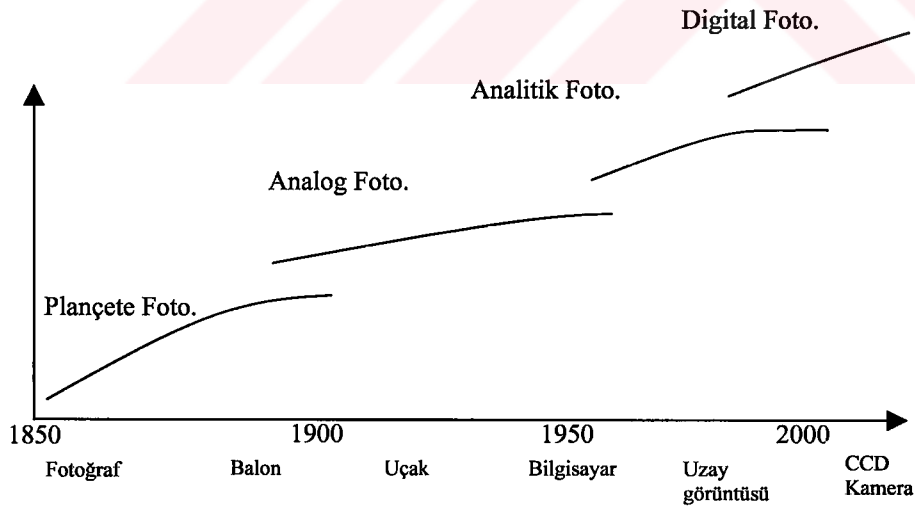
1950 yıllarının başında, başlangıçta sayısal güçlükler nedeniyle ele alınamayan analitik yöntemler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda ele alınmış ve H.Schmid fotogrametrideki temel problemleri kolinearite koşuluna dayandırarak

çözmüştür. Analitik yöntemlerin yeniden ele alınması sonucunda çeşitli stereo ve monokomparatörler üretilmiş ve bu verileri işleyen çeşitli demet dengelemesi programları geliştirilmiştir [3].

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

Digital fotogrametride, fotoğrafik görüntüler bilgisayar ortamına sayısal olarak yüklenmektedir. Bu digital görüntüler ya fotoğrafların hassas tarayıcılarda sayısallaştırılarak ya da digital kameralar, CCD algılayıcılar ve videolardan elde edilen doğrudan digital veriler yardımıyla oluşturulabilmektedir.

Fotogrametri, temellerinin atıldığı günden bugüne tarihsel olarak incelendiğinde, teknolojiye meydana gelen gelişmelere paralel bir şekilde gelişim evreleri göstermiştir. Bu gelişim evreleri dört grupta toplanabilir (Şekil 2.1) [4].



Şekil 2.1 Fotogrametrinin gelişim evreleri [4].

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 digital fotogrametriye yaklaşık 20 yıl içinde geçilmiştir [5].



3. DİĞİTAL FOTOGRAMETRİ

Fotogrametri alanında çalışanların gözbebeği fotoğraflar tarihe mi gömülüyor? Görünen o ki bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmeler bu hızla devam ederse bildiğimiz anlamdaki fotoğraflar yakın gelecekte sadece arşiv depolarında bulunabilecekler. 1980’li yılların sonlarında grafik tabanlı bilgisayar yazılımlarındaki ve donanımlarındaki gelişmelerin fotogrametri alanındaki yansıması digital fotogrametriyi doğurmuştur.

Digital fotogrametride (DF), analog ve analitik fotogrametriden (AF) farklı olarak kamera görüntü düzlemindeki ışıklandırma fotografik olarak değil, elektronik olarak kaydedilir [2]. Diğer bir deyişle görüntünün radyometrik bilgisi kullanılır. Örneğin bir hedef nokta vektörünün tanımlanmasında AF’deki üç boyut, DF için dördüncü boyuta genişletilmiştir. Buradaki dördüncü boyut ile piksel radyometresi kastedilmektedir [6]

$$T_{AF} = \{X, Y, Z(X, Y)\} \quad (3.1)$$

$$T_{DF} = \{X, Y, Z(X, Y), G(X, Y)\} \quad (3.2)$$

3.1. Digital Fotogrametride Temel Kavramlar

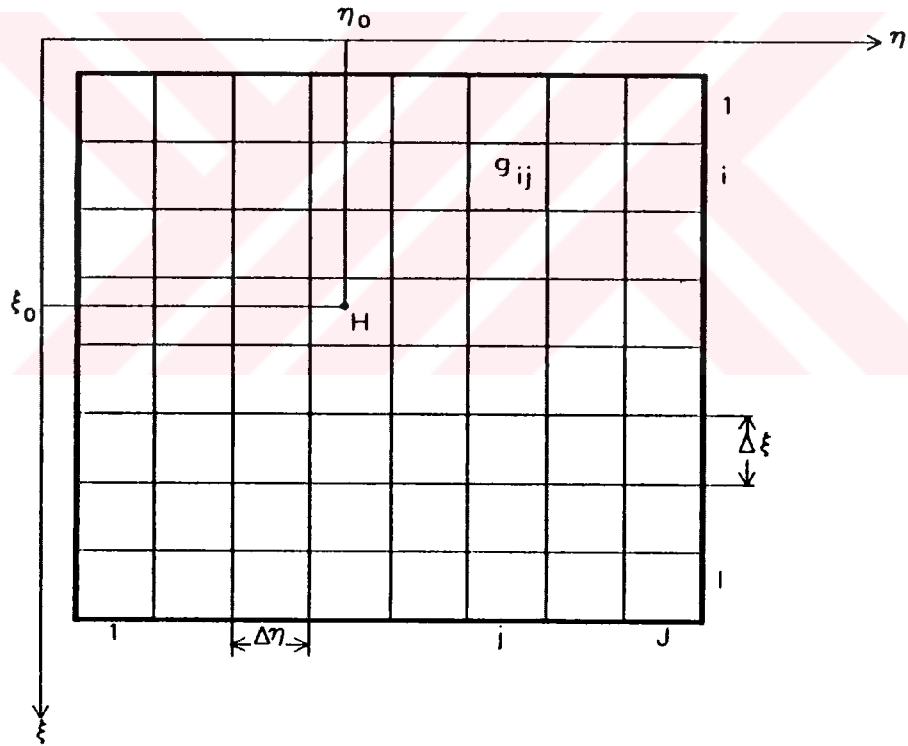
Herhangi bir görüntü, düzenli satır ve sütunlar biçiminde düzenlenmiş görüntü elemanları olarak düşünülürse, bunların herbirine PİKSEL adı verilmektedir. Bazı yerlerde de resim elemanı olarak isimlendirilmektedir.

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, digital görüntü elde etmede kullanılan kamera veya tarayıcının ayırma gücüne bağlı olarak değişmektedir (Örneğin 6-200 mikron arasında olabilir). Her pikselin parlaklığını gösteren değeri kaç bitlik baytlar kullanıldığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin 8 bitlik bir

bayt (byte) kullanıldığında bir pikselin alabileceği gri değeri $2^8=256$ ayrı değer olabilir. Bu değerler 0-255 arasındadır.

3.1.1. Digital görüntü nedir?

Digital görüntü bir pikseller bütünüdür. Örnek olarak 23 cmx23 cm boyutundaki hava fotoğrafının 50 mikron boyutundaki piksellerle sayılsallaştırılmasında yaklaşık 25 milyon piksel bulunmaktadır. Bilindiği gibi her bir pikselin konumu (sıra – 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 işlemenin temel elemanlarını oluşturur [7].



Şekil 3.1 Digital fotogrametrik görüntü

Eğer digital 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. 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 resimlerde olduğu gibi renkli resimlerde de pikseller 256 farklı değer alır. Ama burada üç tane aynı boyuta sahip görüntü matrisine gereksinim duyulur. Bu sayede üç tabakalı görüntü bloğu elde edilir [2].

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

3.1.2. Digital görüntü oluşturma yöntemleri

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

3.1.2.1. Fotoğrafların taranması

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

Fotoğrafların hem analitik hem de digital sistemlerde kullanımı, foto tarayıcılarda performans ihtiyaçlarına dikkat çekmektedir. Analitik alet ve yöntemlerinin geometrik doğruluğu, tarayıcıların da aynı oranda yüksek duyarlılık ve küçük piksellerde tarama olanaklarına sahip olmasını gerektirmektedir [8].

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

$$\Delta D[\text{mm}] < 1/(2 \cdot R) \quad (3.3)$$

Pratikte ise

$$\Delta D[\text{mm}] = 0.7 / (2 \cdot R) \quad (3.4)$$

ile ifade edilmektedir.

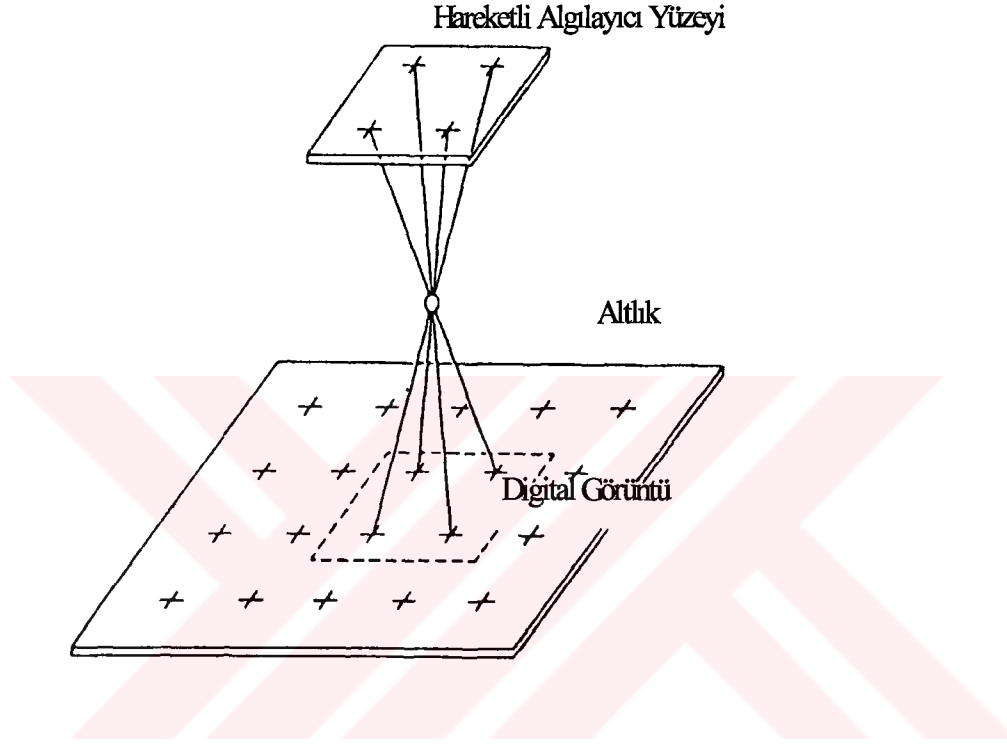
Sayısal tarama sıklığı algılayıcı elemanının büyüklüğü ile karıştırılmamalıdır. En uygun işlem, sayısal tarama sıklığı ile algılayıcı elemanının büyüklüğünün aynı olduğu zaman yapılır. Sayısal tarama sıklığının küçük, algılayıcı elemanının büyüklüğü fazla olduğu durumlarda pikseller üst üste binmekte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

Günümüzde 7µm den daha küçük boyuttaki pikseller elde edilememektedir. Piksel boyutu düştükçe sinyal-gürültü oranı da (algılayıcı elemanı için bir ölçüdür) 1 seviyelerine düşmektedir ki bu oranın 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 dizayn prensibi 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 7.5µm olup konumlama doğruluğu 1µm dir [PhotoScan PS1(Zeiss/Intergraph)].

- Kare algılayıcı matrisi; fotoğrafları bölüm bölüm taramaktadır. Daha sonra bu taranan bölümler numerik olarak birleştirilip görüntü oluşturulmaktadır. Bu tarayıcının çalışma prensibi Şekil 3.2’de gösterilmiştir [2].



Şekil 3.2 Kare algılayıcı matrisli tarayıcının çalışma prensibi [2].

Fotoğrafları küçük piksel duyarlılıklarında taramak çözüm değildir. Ne kadar küçük piksel duyarlılığında tarama yapılırsa verinin boyutu o kadar artacaktır. Örneğin 23cmx23cm lik bir siyah-beyaz fotoğrafın $7.5\mu\text{m} \times 7.5\mu\text{m}$ piksel büyüklüğünde tarandığında yaklaşık 940 Mbytelık bir veri oluşur. Aynı fotoğraf $28\mu\text{m} \times 28\mu\text{m}$ piksel büyüklüğünde tarandığında yaklaşık 75 Mbytelık 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.

3.1.2.2. Digital kameralar

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

CCD (Charge Coupled Devices) algılayıcı kameralar digital kameralar içinde en duyarlı görüntüyü elde eden kameralardır. Günümüzde CCD teknolojisi ile büyük formatlı fotoğrafların 7.5µm piksel boyutuyla bütün olarak görüntülerini almak mümkün değildir. Bu yüzden fotoğraflar parça parça CCD algılayıcılar yardımı ile taranır ve daha sonra birleştirilebilir. Bunun için CCD algılayıcılarının, kameranın görüntü düzlemi üzerinde çok çok doğru mekanik konumlanmasına ihtiyaç vardır [2].

CCD kameralar çok küçük açılı olmalarından ve çok düşük çözünürlüğe sahip olduklarından henüz topografik uygulamalar için uygun değildir [8].

3.1.2.3. 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 [8].

Tarayıcı ve digital kameraların avantajları doğrudan digital 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 topografik uygulamalar için de elverişlidir (Örneğin SPOT görüntüleri).

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

3.1.3. 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.

Digital 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 [9].

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

fotoğrafi 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 3.3). 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 (3.5) 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 [9].

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)(g2(r,c) - \mu2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)^2 \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g2(r,c) - \mu2)^2}} ; \quad 1 \leq \rho \leq 1 \quad (3.5)$$

$g1(r,c)$: 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

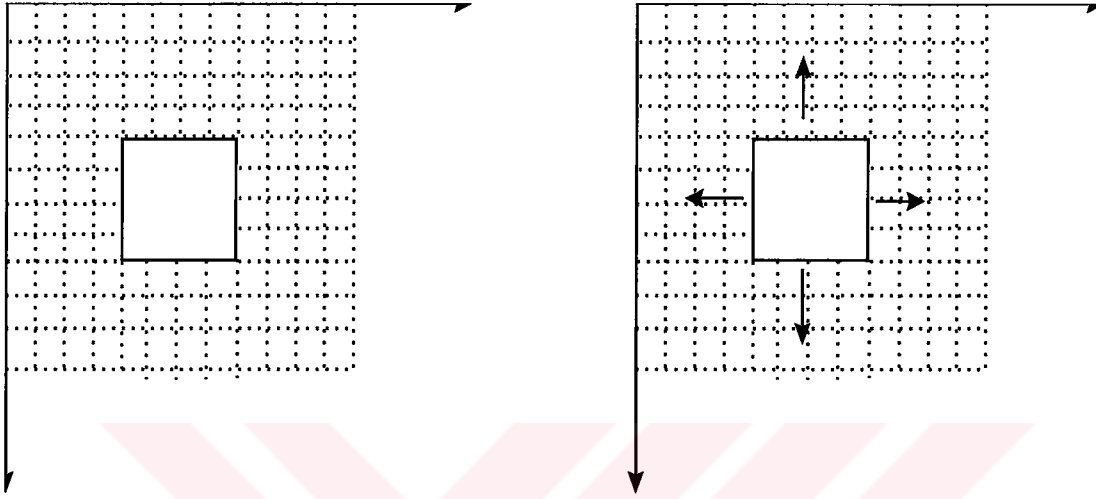
R,C : Kalıp matrisinin satır ve sütun sayısı

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 rasgele bir alan; global terimiyle ise, tüm görüntüyü de kapsayabilecek olan daha büyük bir alan ifade edilir.



Şekil 3.3 Çapraz korelasyon tekniği

3.1.3.1. 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.

3.1.3.2. 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 rasgele 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 yanısıra, 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 zet bir tanımlamasıdır. Gri ton pencereleriyle kıyaslandığında , detaylar genellikle radyometrik ve geometrik bakımdan daha az değişkendir.

3.1.3.3. Sembolik eşleme

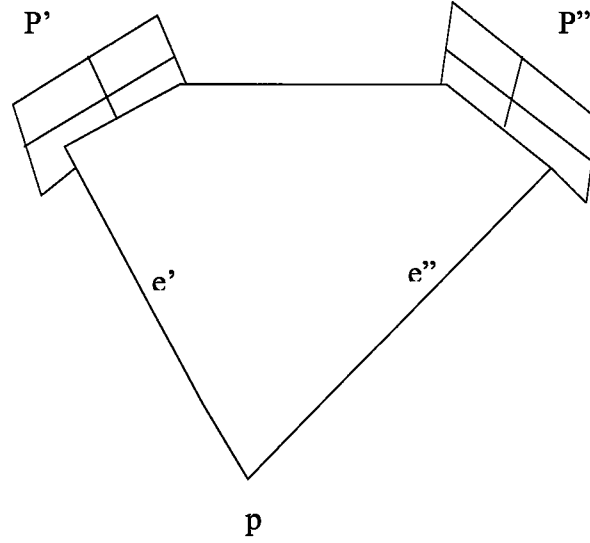
Sembolik eşleme görüntülerin sembolik tanımlarını karşılaştırır ve bir maliyet fonksiyonuyla benzerlikleri ölçer. Sembolik tanımlar gri katmanlara veya türetilmiş detaylara başvurur. Onlar grafik, ağaç veya anlamsal ağlar olarak gösterilirler. Diğerlerinin tersine, sembolik eşleme geometrik benzerlik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

Aşağıdaki tablo yukarıda anlatılan üç eşleme metodunun en önemli özelliklerini özetlemektedir .

3.1.3.4. Epipolar (eş kutupsal) kısıtlamalar

(P, P', P'') epipolar düzlemi ve e' , e'' epipolar hatları fotogrametrik görüntülerle işlem yaparken çoğu durumda merkezsiz bir perspektif izdüşüm kabul edilir (Şekil 3.4). 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 3.4 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.

3.1.3.5. 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 [10].

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 seviyeleri 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 (EKY)'dir. Tsingas çok görüntü eşleme problemini farklı bir şekilde çözer. Gri seviyeler yerine eşleme varlıkları olarak interest noktaları kullanılır (Ackermann ve Tsingas) ve eşleme yöntemi grafiklere dayanır [10].

4. ORTOFOTONUN TANIMI VE DÜŞEYE ÇEVİRME

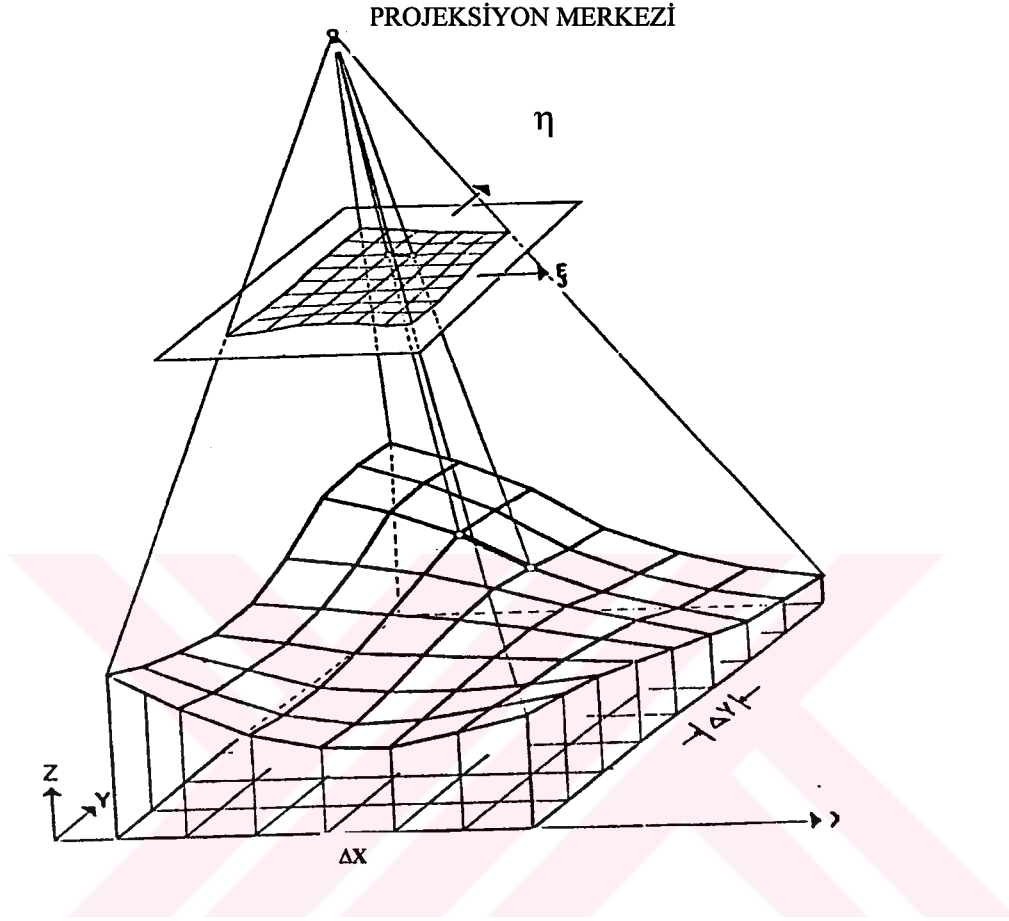
Hava fotoğraflarından elde edilen çizgisel bir harita, gelişmemiş alanlarda çoğu zaman yetersizdir. Arkeologlar, toprak bilimciler, orman bilimcileri, ziraatçılar, coğrafyacılar, jeologlar, planlamacılar ve çevre bilimciler çoğu zaman kendileri için önemli olan detayları çizgisel bir haritada bulamamaktadırlar. Hava fotoğraflarının içeriğini gösteren bir foto harita pek çok kullanıcı için daha iyi bir çözüm sağlamaktadır. Gelişmiş alanlarda bile, hava fotoğraflarındaki detaylara ihtiyaç duyulmaktadır. Foto haritalar, klasik topografik çizgisel haritaların üretiminden daha ucuz ve daha hızlı olduğu için oldukça ilgi çekicidirler[2].

Ortofoto ya da diğer bir deyişle foto-harita, perspektif resimlerdeki, resim eğikliği ve arazideki yükseklik farklarından dolayı görüntü kaymalarının giderilmesi sonucu elde edilmiş, harita gibi belli bir ölçeği olan fotografik görüntüdür [12].

Üzerine kartografik bilgilerin (Harita kenar bilgileri, gridler, eş yükselti eğrileri, isimler vs.) eklendiği ortofotolara Ortofoto Harita adı verilir. Birden çok ortofotonun yan yana getirilerek oluşturulduğu tek bir altlık üzerindeki ortofoto görüntüdür [13].

Ortofoto düşüncesi 1920'lere dayanmaktadır. 1927'de R.Ferber Fransa'da [14], 1929'da Almanya'da Lacmann bir prototip alet yapmış ve ilk defa uygulama alanına 1953'lerde Bean'in (ABD) yaptığı alet ile girilmiştir [15] ve günümüzde digital fotogrametri aletleri getirdiği kolaylıklarla uygulamaları en üst düzeye çıkmıştır.

Öncelikle, merkezi izdüşümle alınmış bir hava fotoğrafının, dik izdüşüm ürünü olan haritaya göre deformasyonları incelenecektir. Sonra, merkezi izdüşümdeki fotoğrafın doğru fotoğraf veya yataylanmış fotoğraf olarak adlandırılan ortofotoya dönüşüm yolları ele alınacaktır.



Şekil 4.1 Karesel grid ile deforme olmuş görüntü gridi arasındaki ilişki

4.1. Metrik Bir Fotoğrafın Deformasyonları

Fotoğraflar ve görüntülerin deformasyonları, diferansiyel geometride Tissot İndikatrisi yardımıyla tanımlanır. Bu teori, genelde yalnızca düzgün analitik fonksiyonlarla tanımlanabildiği durumlarda uygulanabilir. Yer yüzeyleri genellikle bu şekilde tanımlanamamaktadır. Fotogrametride yer yüzeyi büyük bir grup noktayı sayısallaştırma ile temsil edilir. Başka bir yöntem olarak, birbirine yakın yerleştirilmiş farklı noktaların XYZ koordinatlarını ele alan, metrik fotoğraftaki deformasyonları tanımlamak gerekir.

Şekil 4.1, bir kare XY gridinin Z koordinatıyla tanımlanan nesne yüzeyini göstermektedir. Bu bir haritadaki XY gridi yüzeyinin serbest deformasyonlu

görüntüsüdür. Fotoğraftaki deformasyon her bir grid noktasının yerde karşılığı olan noktaların hesaplanmasıyla elde edilir.

Noktalardaki deformasyon için sayısal sonuçlar, noktanın görüntü koordinatları ζ ve η ve yer koordinatları X ve Y kullanılarak elde edilebilir:

- X ve Y yönlerindeki uzunluk deformasyonu,

$$\lambda_x = \frac{\delta_{12}}{\Delta X}, \lambda_y = \frac{\delta_{13}}{\Delta Y} \quad (4.1)$$

$$\delta_{ik} = \sqrt{(\zeta_i - \zeta_k)^2 + (\eta_i - \eta_k)^2}$$

- Görüntünün grid karelajında sağ üst noktadaki açının ω_{100} deformasyonu,

$$\omega_{100} = 100^\circ - 2', 1', 3' \quad (4.2)$$

2', 1', 3': Bu görüntü noktaları arasında kalan açı.

- İki eşitlikteki λ_1 ve λ_2 maksimum ve minimum uzunluk deformasyonları:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda_x + \lambda_y \quad (4.3)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = \lambda_x \lambda_y \omega_{100}$$

- Maksimum açısal deformasyon 2ω :

$$\sin \omega = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (4.4)$$

- Alan deformasyonu:

$$\lambda_1 \lambda_2 = \lambda_x \lambda_y \cos \omega_{100} = \frac{\Delta 1', 2', 3'}{\Delta 1, 2, 3} \quad (4.5)$$

ile ifade edilir.

Eğer obje yüzeyi yatay bir düzlemse, fotoğraftaki gridin deformasyonu objedeki XY gridine kıyasla kolayca görülebilir.

Deformasyon için sayısal sonuçlar 4.1'den 4.5'e kadar olan eşitliklerden düzlem yüzeyleri için elde edilebilir. Tissot indikatrixindeki matematiksel formülü bu durumda kullanmak da mümkündür. Bu bağl kompleks çözümü formüle etmekten çok, küçük açılı dönmelerden kaynaklanan, düzlem objelerin fotoğraflarındaki deformasyonu pratik bir yaklaşımla elde edilebilir. Önce oluşturulan model fotoğrafa dönüştürülür. Sonra $d\alpha=0$ yapılır ve $d\omega=d\phi=v/\sqrt{2}$.

v bir diagonal boyunca resim eğikliğidir.

$$\zeta = \eta = \rho / \sqrt{2} \text{ ile}$$

$$\Delta \rho = \frac{\rho^2}{c} v \quad (4.6)$$

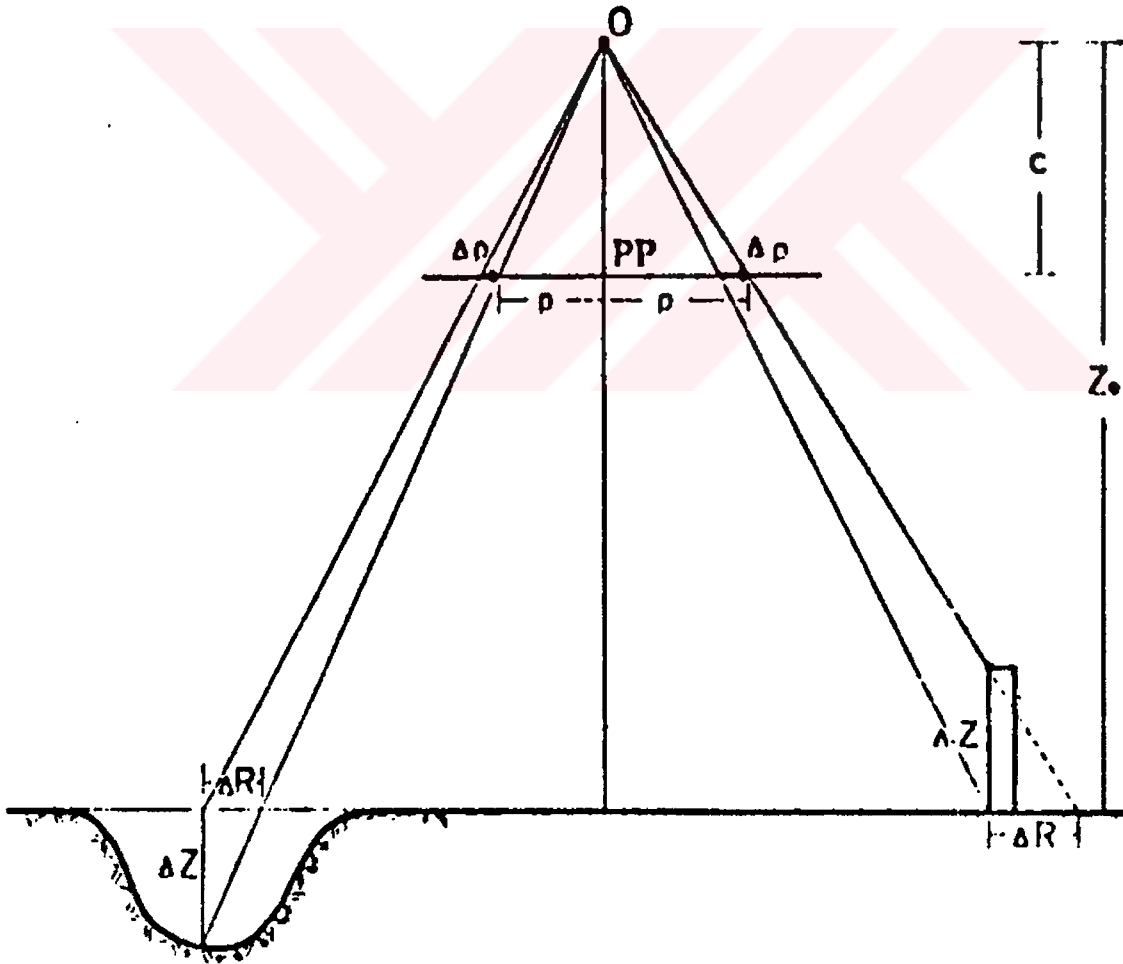
elde edilir. Deforme olmuş görüntü diagonalı boyunca yer değiştirme $\Delta \rho = \sqrt{\Delta \zeta^2 + \Delta \eta^2}$ dir. $\Delta \rho$ görüntü diagonalinde dönme eksenine dik uzanır.

$\Delta \rho$, bir yarı diyagonal $\bar{\rho}$ 'daki uzamayı gösterir. $\bar{N}$ görüntü merkezi noktası ve $\bar{P}$ görüntü köşesi noktası arasında, v dönüklüğüyle orantılı olarak ρ 'arttırılır veya azaltılır.

Küçük $d\rho$ uzunluğundaki artış veya azalma aşağıdaki diferansiyel eşitlikle ifade edilir:

$$d(\Delta\rho) = 2\frac{\rho}{c}d\rho \quad (4.7)$$

Görüntü düzlemi nesne düzlemine paralel hale getirilirse, nesne düzlemindeki karesel grid, fotoğraf düzleminde de karesel grid olarak görüntülenir. Deformasyondan bağımsız fotoğraf yaratmanın basit yolu, mimari fotogrametride kullanılır. Radyal yer değiştirme Şekil 4.2 sayesinde elde edilebilir.



Şekil 4.2 Obje düzlemi dışındaki noktalarda radyal görüntü kayıklığı

$$\Delta\rho = \Delta R \frac{c}{z_0} = \Delta Z \frac{\rho}{z_0} = \Delta Z \frac{\rho}{cm_b} \quad (4.8)$$

(4.8) eşitliği tam dik hava fotoğrafları için tam olarak doğrudur. Fakat düşeye yakın çekilmiş fotoğraflardaki ΔZ yükseklik farkının sebep olduğu radyal yer değiştirme yaklaşık olarak kullanılabilir.

Bu bölümde, orijinal fotoğrafın fotoğrafik düşeye çevirme aletine tekrar izdüşürülmesinden bahsedilmiştir. Yeni fotoğraf, orijinal fotoğrafın merkezi izdüşümüdür, fakat bir ortofotonun geometrik özelliklerini taşır. Bu işlem yalnızca düzlem objelerin eğik fotoğraflarını düşeye çevirmek için kullanılır.

4.2. Merkezi-Perspektif İzdüşümle Düşeye Çevirme

Bu yöntem iç yönlitmeli ve iç yönlitmesiz olarak uygulanabilir.

4.2.1. İç yönlitmeli perspektif düşeye çevirme

Bu işlemin gerçekleştirilmesinde iç ve dış yönlitmenin yapılabildiği bir alet kullanılır. Projektör iç yönlitme yapılabilmesi için köşe işaretlerine sahiptir. Asal uzaklık c orijinal kameranın odak uzaklığına eşit yapılır. Projeksiyon düzleminde keskin bir görüntü oluşturmak için projektör merceğinin odak uzaklığı orijinal kamera merceğinin odak uzaklığından farklı olmalıdır.

Dış yönlitmenin üç elemanı olarak projektördeki z_0^i ve projeksiyon düzlemindeki ω ve ϕ dönüklükleri seçilmelidir. Dış yönlitmenin diğer üç elemanının bu aşamada bir önemi yoktur. Bu elemanlar yer koordinat sistemindeki ortofotonun iki öteleme ve dönüklüğü ile ilgili elemanlarıdır.

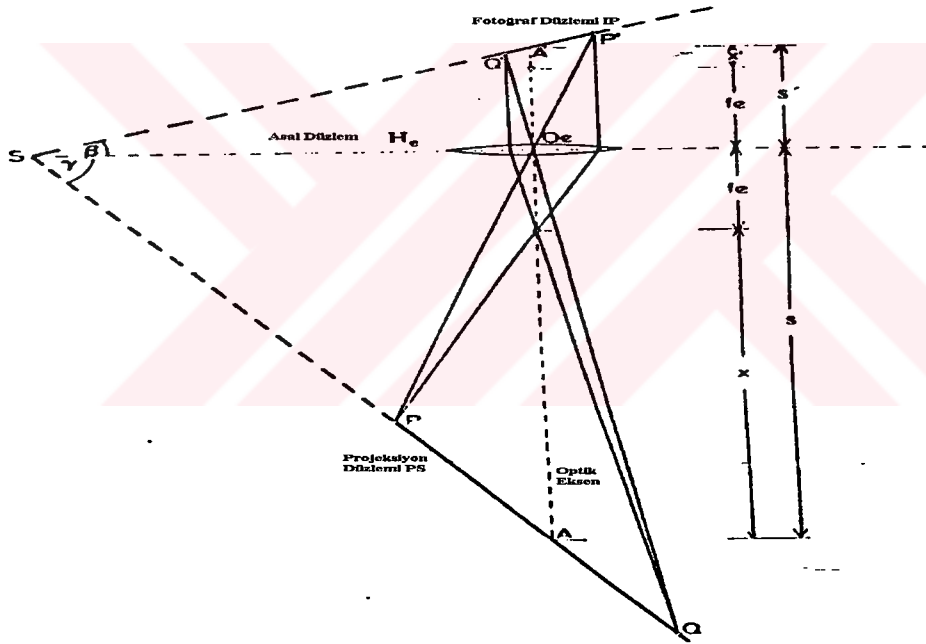
Eğer dış yönlitmenin altı elemanı da bilinmiyorsa, projeksiyon safhasının ve projektörün üç kurucusu bulunabilir. Önce fotoğraf projektöre üç kontrol noktasından bağlanır. Sonra da işlemlere devam edilir.

Bu düşeye çevirme yönteminin pratik önemi olmadığı için ayrıntılı olarak anlatılmamıştır.

4.2.2. İç yöneltmesiz perspektif düşeye çevirme

4.2.2.1 . Optik koşullar

Şekil 4.3’de odak uzaklığı f_e olan O_e objesi, yatay bir düzlemedir ve PS eğik izdüşüm düzleminde P ve Q noktaları mevcuttur. P ve Q noktaları optik geometri koşullarıyla fotoğraftaki P’ ve Q’ noktaları ile birleştirilir.



Şekil 4.3 Perspektif düşeye çevirme aletinin optik koşulları

Aletteki fotoğraf düzlemi optik eksene bağlı olarak eğilmelidir. Metrik bir kamerada, iç yöneltmenin tanımında önemli bir rol oynayan optik eksene fotoğraf düzlemi diktir. Şekil 4.3’den izdüşüm düzleminde görüntü noktalarını bağıntılı noktalarla birleştirerek, fotoğraf düzlemi IP, asal düzlem H_e ve izdüşüm düzlemi PS’nin , bir S

doğrusu boyunca kesişmesi gerektiği görülmektedir. Bu koşul “Scheimpflug koşulu” olarak adlandırılır.

Scheimpflug koşuluna ek olarak, Newton koşulu da sağlanmalıdır;

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f_e} \quad x'x = f_e^2 \quad (4.9)$$

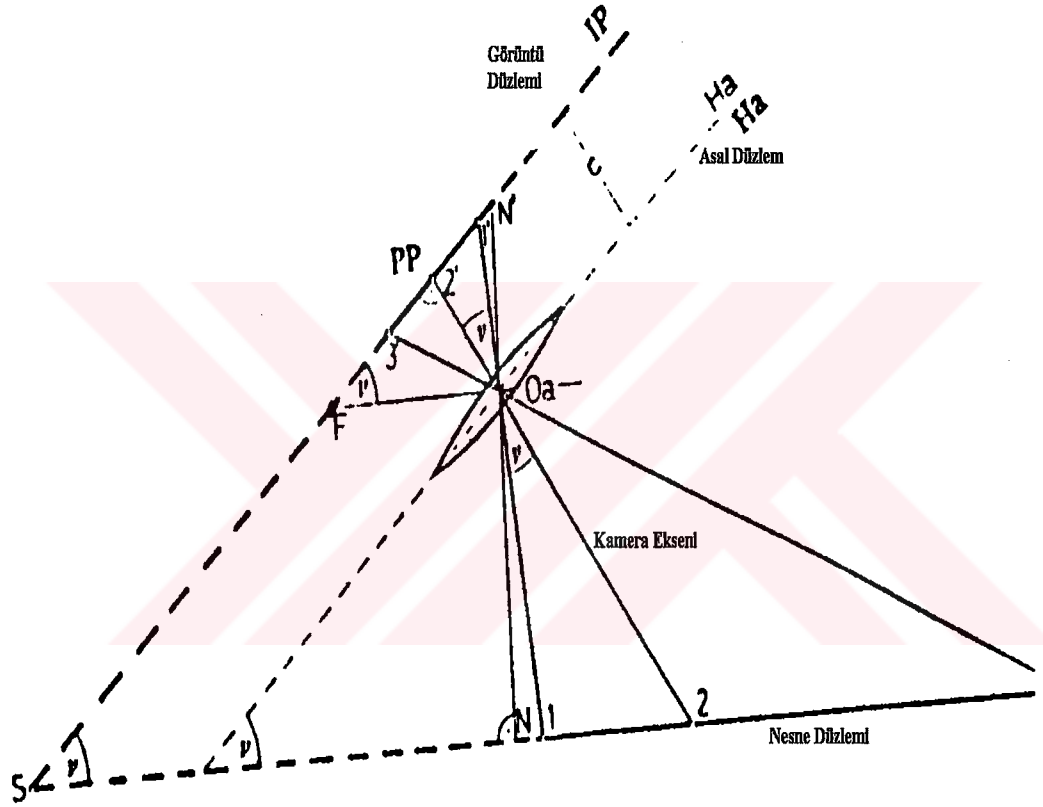
Eğer optik eksen AA' deki noktalarda mercek eşitliği sağlanırsa, Scheimpflug koşulunun fotoğraf düzlemi ve izdüşüm düzlemindeki bütün eşlenik noktalar için de geçerli olacağını gösterir.

Scheimpflug koşulu ve mercek eşitliği, eski mekanik tipteki aletlerde inversor adı verilen aletlerle, yeni tip aletlerde elektronik kontrol sistemleriyle çözülmektedir. İzdüşüm düzlemi eğildiğinde, fotoğraftaki B düzlemi, IP, H_e, ve PS düzlemlerinin S doğrusunda kesiştikleri görülür. İzdüşüm uzaklığı s değiştiğinde , görüntü uzaklığı s' mercek eşitliğine uygun olarak otomatik olarak değişir.

4.2.2.2. Geometrik koşullar

Bir düzlem objenin eğik fotoğrafı Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Fotoğraf çekildiği anda Scheimpflug koşulu sağlanmaz. Sonuçta oluşan bulanıklık tamamen önemsiz olmasına rağmen, hava fotoğraflarında büyük obje uzaklıklarında bu şekilde olmamaktadır. Fotoğraf eğikliği alışılmış ω ve ϕ açıları ile belirlenemez, kamera eksenini ve N nadir noktası yönü arasındaki açı olan ve izdüşüm merkezi O_a'dan dik olarak aşağıda olan nadir uzaklığı v ile belirtilir. Nadir uzaklığı ayrıca, görüntü düzlemi IP ve yatay obje düzlemi kabul edilen OP arasındaki açıdır. F noktası düşeye yakın fotoğraflarda, fotoğrafın dışında yer alan obje düzlemi OP 'nin kaçış noktası olup, O_aF doğrusu da kaçış doğrusudur. Orijinal fotoğrafın geometrik koşullarının, perspektif düşeye çevirmenin optik koşullarıyla karşılaştırılabilir olduğunu netleştirmek için Şekil 4.3, Şekil 4.4 üzerine izdüşürülür.

- Aletin görüntü düzlemi, yatay nesne düzlemine bağlı nadir uzaklığı v ile eğildiği çekim kamerasının görüntü düzlemiyle aynıdır. IP ve PS düzlemlerinin kesişmesi obje düzlemi OP ve görüntü düzlemi IP'nin arakesiti S ile çakıştırılmıştır. Böylece S kendi üzerine görüntülenebilir.



Şekil 4.4 Fotograf çekiminde geometrik ilişkiler

- Görüntü noktaları $1'$, $2'$, $3'$, obje noktaları $1,2$ ve 3 'ün izdüşüm merkezi O_a 'ya doğru merkezi izdüşümdür. Görüntü eksenini kamera eksenine diktir.
- Önce izdüşüm düzlemi PS keyfi bir eğiklikte seçilir.
- İzdüşüm düzlemindeki görüntü ortofoto olacağından, obje noktaları $1,2$ ve 3 dairesel arklarla S merkezinden izdüşüm düzlemine dönüştürülmelidir.

- İzdüşüm düzlemindeki 1,2 ve 3 noktalarının görüntü noktaları 1', 2' ve 3' ile birleştirilmesi, Scheimpflug koşulu nedeniyle, görüntü düzlemine bağlantılı eğilmiş bir optik eksene ait olan, yeni bir izdüşüm merkezi O_e 'yi verir.

Yeni izdüşüm merkezi O_e için resmi kanıt, F noktasından çıkan $\overline{FO}_e$ uzunluğunun PS düzlemine paralel olduğu en az iki ışın için aşağıdaki koşullar geçerlidir;

$$\overline{FO}_{e,1} = \overline{S1} \frac{\overline{1'F}}{\overline{1'S}} = \overline{FO}_a$$

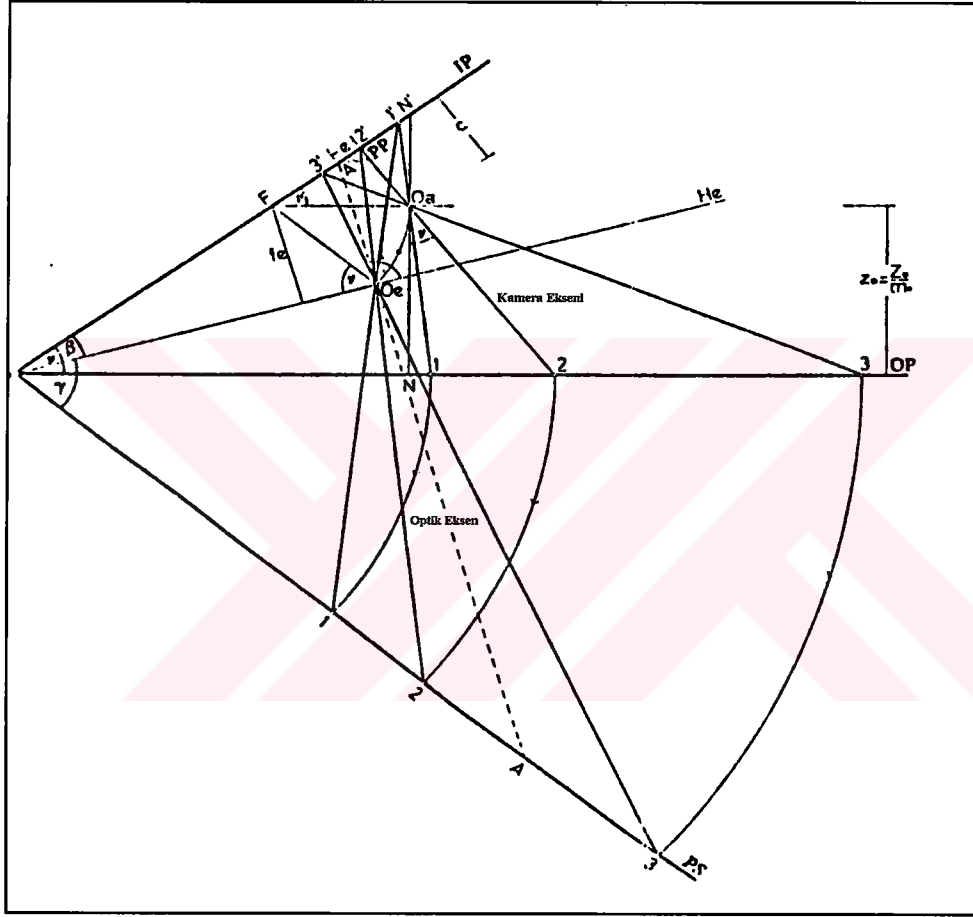
$$\overline{FO}_{e,2} = \overline{S2} \frac{\overline{2'F}}{\overline{2'S}} = \overline{FO}_a \quad (4.10)$$

$\overline{FO}_{e,i}$, iki ışın için aynı olduğundan ve bu nedenle bütün ışınlar $\overline{FO}_a$ uzunluğuna karşı geldiği için izdüşüm merkezi O_e , F'den $\overline{FO}_a$ uzunluğunda izdüşüm düzlemi PS'de F'ye doğru paralel üzerindedir. Eğer izdüşüm düzleminde başka bir eğiklik kabul edersek, yeni bir izdüşüm merkezi O_e elde edilecektir. Burada izdüşüm matrisinin dönüşümünden söz edilmektedir.

Obje düzlemi OP ve kamera eksenine dik olan görüntü düzlemi IP arasındaki matematiksel ilişki sekiz parametreyle tanımlanmıştır. İzdüşüm merkezinin dönüşümü, bu parametrelerle ilişkinin izdüşüm düzlemi PS ve yeni optik eksene göre eğilmiş görüntü düzlemi için de geçerlidir. Böylece IP ve PS düzlemlerinin bir diğerine projektif olduğu söylenebilir.

Netice olarak, izdüşüm düzlemi PS'nin keyfi eğikliğine karşılık gelen bütün izdüşüm merkezleri O_e 'lerin, ayrıca Scheimpflug koşulunu ve mercek eşitliğini sağladığı kanıtlanmalıdır. Eğer objenin asal düzlemi H_e daima S'yi içerirse, Scheimpflug koşulu bütün O_e izdüşüm merkezleri tarafından sağlanır. Genelde mercek eşitliğini sağlamak o kadar basit değildir. Aletteki objenin odak uzaklığı f_e , çok uzak obje noktaları odak düzleminde görüntülendiğinden, asal düzlem H_e ile kaçış noktası F arasındaki uzaklıktır. Böylelikle f_e uzaklığı izdüşüm düzlemi PS'nin eğikliğiyle değişir, fakat aletteki f_e odak uzaklığı sabittir, artık izdüşüm düzleminin keyfi bir

eğikliğini kabul etmek olanaklı değildir. Diğer bir deyişle, bir fotoğrafın perspektif izdüşümü için, kaçış noktası F' 'den f_e uzaklığındaki asal düzlemi H_e olan, yalnızca bir O_e izdüşüm merkezi vardır. İzdüşüm düzleminin bu O_e izdüşüm merkeziyle ilgili eğikliği v 'dır.



Şekil 4.5 Perspektif düşeye çevirmede, fotoğraf çekimindeki ışın demetleri

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5' den aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$\overline{SF} = \frac{Z_0}{m_0 \sin v} = \frac{f_e}{\sin \beta} \quad (4.11)$$

$$\sin \beta = \frac{f_e m_0}{Z_0} \sin v \quad (4.12)$$

β :Fotoğraf eğikliği

m_0 :ortofoto ölçek sayısı

İzdüşüm düzlemi eğikliği v :

$$\overline{FO}_a = \overline{FO}_e = \frac{c}{\sin v} = \frac{f_e}{\sin \gamma} \quad (4.13)$$

$$\sin \gamma = \frac{f_e}{c} \sin v \quad (4.14)$$

Görüntü uzaklığı $s' = \overline{O}_e \overline{A}'$:

$$s' = f_e + \overline{FO}_e \cos \gamma \tan \beta \quad (4.15)$$

(4.13) eşitliği (4.15)'de yerine yazılırsa;

$$s' = f_e \left(1 + \frac{\tan \beta}{\tan \gamma} \right) \quad (4.16)$$

İzdüşüm uzaklığı $s = \overline{O}_e \overline{A}$:

(4.16) eşitliği (4.9)'da yerine yazılırsa,

$$s = f_e \left(1 + \frac{\tan \gamma}{\tan \beta} \right) \quad (4.17)$$

bulunur.

Büyütme katsayısı v :

$$v = \frac{s}{s'} = \frac{\tan \gamma}{\tan \beta} \quad (4.18)$$

Asal nokta PP' 'nin optik eksen AA' 'dan yer değiştirmesi:

$$e = \overline{F(PP')} - \overline{FA'} = c \cot v - \frac{f_e \cot \gamma}{\cos \beta} \quad (4.19)$$

(4.14) eşitliği (4.19)'da yerine yazılırsa:

$$e = \frac{\sqrt{f_e^2 - c^2 \sin^2 \gamma}}{\sin \gamma} - f_e \frac{\cot \gamma}{\cos \beta} \quad (4.20)$$

bulunur. Bu eşitlikler iç yöneltmesiz perspektif düşeye çevirmenin teorik bilgilerini vermektedir.

4.2.2.3. Bilinen alet setleriyle düşeye çevirme

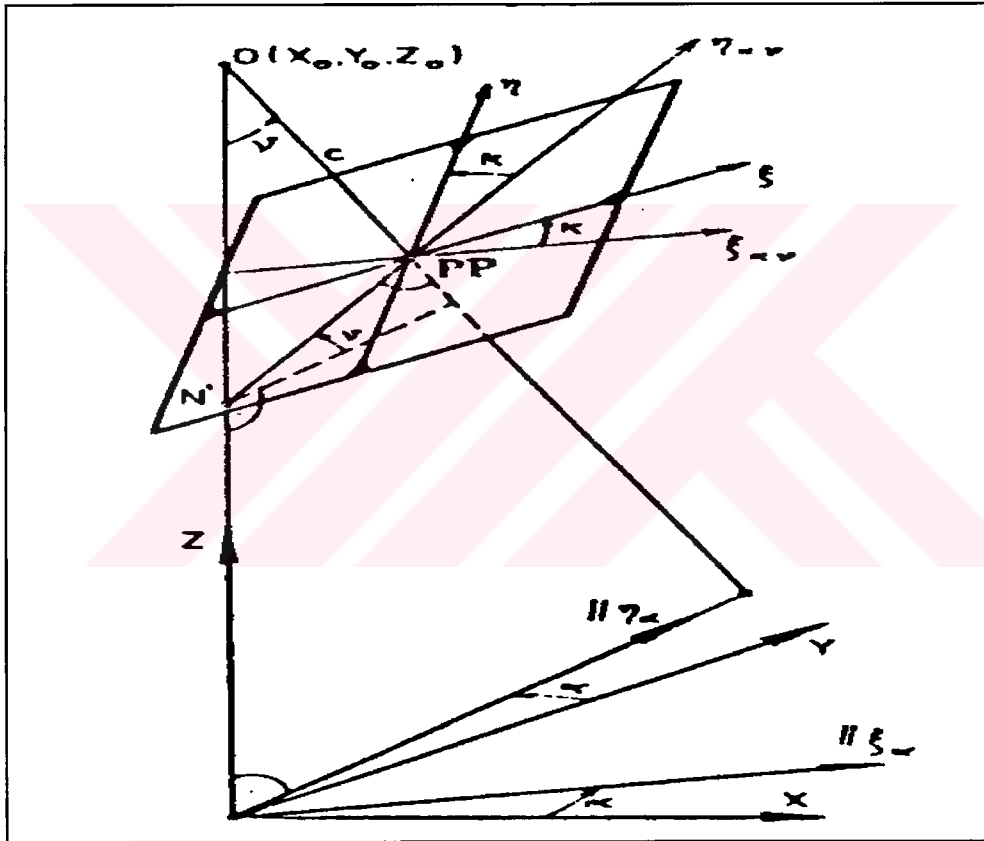
Fotogrametrik dengeleme, her fotoğrafın dış yöneltme elemanlarının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Kısaca fotogrametrik dengeleme X_0 , Y_0 ve Z_0 ötelemeleri ve ω , ϕ ve κ dönüklükleri veya konumsal dönüşüm matrisi R 'yi verecektir. Düşeye çevirmenin yapılması için ω , ϕ ve κ yerine v nadir uzaklığına ihtiyaç duyulduğu için α açısı, v nadir uzaklığı ve κ 'yı dönüşüm matrisi R yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu amaç için yeni bir konumsal dönüşüm matrisi R (α (birincil), v (ikincil), κ (üçüncül)) oluşturulur. X ve Y eksenine paralel ζ ve η eksenini ile dönüşüme başlanır. Fotoğraf α , v ve κ sırasında döndürülür. Konumsal dönüşüm matrisi $R_{\alpha v \kappa}$; R_α , R_v ve R_κ matrislerinden yararlanılarak elde edilir.

$$R_{\alpha v \kappa} = R_\alpha R_v R_\kappa \quad (4.21)$$

Matris çarpımı iki aşamadan oluşur. $R_{\nu\kappa}=R_{\nu}R_{\kappa}$ ve sonra $R_{\alpha\nu\kappa}=R_{\alpha}R_{\nu\kappa}$ çarpımları yapılır ve toplam dönüklük matrisi;

$$R_{\alpha\nu\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\alpha \cos\kappa - \sin\alpha \cos\nu \sin\kappa & -\cos\alpha \sin\kappa - \sin\alpha \cos\nu \cos\kappa & \sin\alpha \sin\nu \\ \sin\alpha \cos\kappa + \cos\alpha \cos\nu \sin\kappa & -\sin\alpha \sin\kappa + \cos\alpha \cos\nu \cos\kappa & -\cos\alpha \sin\nu \\ \sin\nu \sin\kappa & \sin\nu \cos\kappa & \cos\nu \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

elde edilir.



Şekil 4.6 α yönü, ν nadir uzaklığı ve κ dönüklüğünün tanımı

Çekim anında fotoğraftaki üç dönüklük açısı aşağıdaki eşitliklerden elde edilebilir:

$$\tan\alpha = \frac{r_{13}}{-r_{23}} \quad \tan\kappa = \frac{r_{31}}{r_{32}} \quad (4.23)$$

Bu değerler hesaplandıktan sonra aletteki düzenlemeler aşağıdaki sırada yapılır:

- İzdüşüm mesafesi; düşeye çevirme aletinin odak uzaklığı c , kameranın Z_0 koordinatı, ortofotonun ölçek katsayısı m_0 ve konumsal dönüşüm matrisinin r_{33} elemanından hesaplanır ((4.23), (4.12), (4.14) ve (4.17) eşitlikleriyle). Kontrol olarak buna karşılık gelen s' uzaklığının otomatik olarak düzenlendiğini gösterir.
- İzdüşüm düzlemi eğikliği v ; aletin odak uzaklığı, kamera asal uzaklığı c ve dönüşüm matrisinin r_{33} elemanı yardımıyla hesaplanır (4.17) ve (4.23) eşitlikleriyle). Kontrol sistemi, Scheimpflug koşulunun sağlandığını ve böylece fotoğraf eğikliği β 'nın otomatik olarak düzenlendiğini gösterir. Görüntü yer değiştirmesi e , (4.20) eşitliğinden elde edilir. e , aletteki optik eksen AA' ne bağlı fotoğrafın asal noktası PP' 'nin konumunu tanımlar (Şekil 4.5). Optik eksen A' ve A' 'ya bağlı kaçış noktası F ile asal noktanın yer değiştirmesi, fotoğraf ve izdüşüm düzleminin dönüklük eksenlerini kapsar. Ayrıca, fotoğraf eğikliği β ve izdüşüm düzlemi eğikliği γ 'nın fonksiyonu olarak sürekli bir biçimde otomatik olarak kontrol edilebilir. Bu kontrol “kaçış noktası kontrolü” olarak adlandırılır.
- Fotoğraf, köşe markaları yardımıyla resim taşıyıcıya yerleştirilir. Resim taşıyıcının merkezi e uzaklığı ile kaçış noktası kontrolü ile önceden değiştirilir. Resim taşıyıcıya bağlanarak κ dönüklüğü, konumsal dönüşüm matrisi R 'nin r_{31} ve r_{32} elemanlarından hesaplanır.

Bir perspektif düşeye çevirmenin sekiz bağımsız parametre ile tanımlandığından, alette sekiz bağımsız ayarın hangileri olduğuna karar vermek önemlidir. İlk iki adımdan her biri bir ayarlama tanımlar. Üç ayarlama üçüncü adımda yer alır (İki öteleme ve bir dönüklük). Kalan üç ayarlama, yer koordinat sistemine göre izdüşüm düzlemindeki ortofotonun bir dönüklüğü ve iki ötelemesidir.

4.2.2.4. Kontrol noktalarıyla ve iç yöneltme bilgileri ile düşeye çevirme

Fazla kontrol noktası tüm işlemlerin kontrol edilmesine imkan tanır. Bu işlemin sırası şöyledir:

- Fotoğraf köşe markalarıyla merkezlenerek resim taşıyıcısına yerleştirilir. Resim taşıyıcısı ve fotoğraf, izdüşüm düzleminin sonuç eğikliğinin bir fonksiyonu olan kaçış noktasının kontrolünün maksimum eğiklik doğrusu boyunca optik eksen den uzaklığıyla otomatik olarak yer değiştirilir. e parametresi alım kamerasının asal uzaklığından hesaplandığından iç yöneltmenin üç elemanı dikkate alınmıştır.
- İzdüşüm uzaklığı s değiştirilir ve parsellenmiş ve izdüşürülmüş 1 ve 3 noktaları arasında rastlantı sağlanana kadar döndürülür ve yer değiştirilir. Mercek eşitliğinin otomatik çözümü aletteki s' görüntü uzaklığı değiştirilir. Bu "ölçek belirleme"den sonra 2 ve 4 noktalarındaki tutarsızlıklar dört noktanın bir kare oluşturduğu varsayılarak x ve y bileşenlerinde eşit olmalıdır. Dördüncü nokta kontrol amacıyla kullanılır.
- 2 ve 4'üncü noktalardaki tutarsızlık kaldırılır. Bu amaçla, izdüşüm düzlemi iki dik eksen tarafından eğilmelidir. Bazı düşeye çevirme aletlerinde sadece bir izdüşüm düzlemi eğikliği sağlanır ve serbestliğin diğer derecesi resim taşıyıcının κ dönüklüğü ile verilir. İlk yöntemi uygulamak oldukça kolaydır, fakat optik ve geometrik koşulları sağlamak için daha kompleks bir sistem kullanımını gerektirir.

Son iki adım bir kaç kez tekrarlanmalıdır.

Burada ayrıca, perspektif düşeye çevirmenin sekiz bağımsız parametresinin ne olduğunu incelemek gereklidir. Bir resmi konumlandırmak için iki öteleme parametresi gereklidir. İkinci adım dört parametre içerir, bu parametreler iki öteleme ve izdüşüm uzaklığının ayarlanmasıyla birlikte çözümlenir. Kalan iki parametre son adımda çözümlenir.

4.2.2.5. İç yöneltmesiz kontrol noktalarıyla düşeye çevirme

Bazı aletlerin otomatik kaçış noktası kontrolü yoktur ve bundan dolayı iç yöneltme hakkında bilgi vermezler. Ayrıca iç yöneltme bilinmiyor da olabilir. Bu durumlarda perspektif düşeye çevirmenin sekiz parametresi kontrol noktalarından elde edilmelidir ve bu işlem için dört nokta gereklidir.

Fotoğraf resim taşıyıcıya herhangi bir konumda ve dönüklükte yerleştirilir. S izdüşüm uzaklığı değişir ve diagonal karşılıklı iki noktanın izdüşümleri arasında kesişme sağlanıncaya kadar döndürülür. Kalan dört parametre, parsellenmiş dört kenarlıya bağlı izdüşürülmüş kontrol noktalarının deformasyonunu karşılamalıdır.

Birçok olanak arasından iki grup parametre verilmiştir:

- İzdüşüm düzleminin iki yöndeki eğiklikleri,
- Fotoğrafın iki yöndeki yer değiştirmesi,

veya

- İzdüşüm düzleminin bir yöndeki eğikliği,
- Fotoğrafın iki yöndeki yer değiştirmesi ve fotoğrafın dönüklüğü.

4.2.2.6. Kontrol noktasız düşeye çevirme

Kontrol noktaları olmadan düşeye çevirme yapılmasına olanak sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Ölçek hariç düşeye çevirme parametreleri, keyfi olarak yerleştirilen ikinci metrik bir fotoğraftan elde edilir. Algoritma, başlangıçtaki yaklaşıklıklara ihtiyaç olmaksızın, düşeye çevirilecek fotoğrafın dış yöneltme elemanlarını sağlar. Bu elemanlar obje düzlemini ve düşeye çevirme aletinin normal yollardan elde edilebilen parametrelerini ifade ederler.

4.2.3. Perspektif düşeye çevirmenin doğruluğu

Aletteki parametreleri bağlarken oluşan hatalar, diğer bir hata kaynağı olarak kabul edilen referans düzleminden gerçek nesne yüzeyi üzerindeki tutarsızlıklarla kapatılır.

Ortofotodaki Δr yer değiştirmesi bütün diklerin kaçış noktası olan nadir noktasından radyal yöndedir.

Böylelikle, eğer yatay bir yer düzlemi kabul edersek, binaların, ağaçların vb. Düşeye çevirilmiş ortofotodaki konumu yalnızca yer seviyesinde doğru olacaktır. Çatılar ve ağaçların üst kenarı vb. detaylar gerçek yerlerinden uzaklaşmışlardır. Benzer olarak,

ön cephe veya arka düzlemleri düşeye çevirilmiş fotoğraflarda nadir noktasından radyal olarak yer değiştirecektir.

(4.8) eşitliğinden yer değiştirmenin büyüklüğü:

$$\Delta r = \Delta Z \frac{r}{Z_0} \quad (4.24)$$

r : Ortofotoda nadir noktasından itibaren noktanın radyal uzaklığı.

Eğer fotoğraf düşeye yakınsa 4.24 eşitliğinde asal uzaklık c ve fotoğraf ölçek sayısı m_b kullanılırsa;

$$\Delta r = \Delta Z \frac{r}{cm_b} \quad (4.25)$$

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2, 4.25 eşitliğinden yararlanarak tipik fotoğraf ve ortofoto ölçeklerinde ortofotoda maksimum yer değiştirme olarak kabul edilen 1 mm.deki $\Delta Z_{\max}$ göstermektedir. 50cmx50cm formatındaki bir ortofotonun çok geniş ve normal açılı fotoğraflarına ilişkin bilgiler bu çizelgede görülmektedir.

Tablo 4.1 1:50 ölçeğinde $\Delta Z_{\max}$ yer değişimi.

Ortofoto Ölçeği	Fotoğraf Ölçeği	c=4.5 cm	C=10 cm	c=20 cm
1:50	1:200	3	6	12 cm
	1:400	5	11	24 cm

Tablo 4.2 1:1000 ve 1:2500 ölçeklerinde $\Delta Z_{\max}$ yer değişimi.

Ortofoto Ölçeği	Fotoğraf Ölçeği	c=9 cm	c=15 cm	c=30 cm
1:1000	1:3000	1	2	3 m
	1:6000	2	3	5m
1:2500	1:7500	2	3	6 m
	1:15000	4	6	13 m

Tablo 4.1’de , mimari araştırmalar ve yersel fotogrametri için benzer uygulamaları olan tek resim fotogrametrisinin sınırlarını göstermektedir. Tablo 4.2’de, küçük ölçeklerde, düzlemsel yer yüzeylerine ait hava fotoğrafları düşeye çevirilebilir ve ortofoto üretiminde normal açılı fotoğraflar çok geniş açılı fotoğraflara oranla daha uygun olduğu söylenebilir. Fotoğrafın merkez kısmındaki sınırlama, tablolarda ikinci satırda görülen geliştirilmiş doğrulukları getirir, fakat büyütme ve detay kaybı yüzünden fotoğraf kalitesi azalır. Eğer yer yüzeyi engebeli olursa perspektif düşeye çevirme genelde başarısız sonuçlar verir. Bu durumlarda diferansiyel düşeye çevirme uygulanmalıdır.

4.3. Diferansiyel Dönüşüm İle Düşeye Çevirme

4.3.1. Diferansiyel düşeye çevirmenin teorik ve aletsel prensipleri

Modern diferansiyel düşeye çevirmenin temeli, fotoğrafların deformasyonu teorisine dayanır. Elde deforme olmuş gridin köşe noktalarının koordinatları ζ ve η ’yla tanımlı deformasyonlu bir fotoğraf mevcut olup kare gridli olan yeni bir fotoğraf oluşturulmak istenmektedir. Burada yapılacak iş genelde, rastgele bir dörtgenin fotoğrafik içeriğini bir kareye çevirmektir. Yapılan işlemin grid kenarlarında

doğrusal olduğu varsayılırsa, bir raster dört kenarının fotoğraflık dönüşümü matematiksel olarak sekiz parametrelili bilineer dönüşüm olarak tanımlanabilir;

$$\begin{aligned}\zeta &= a_{01} + a_{11}x + a_{21}y + a_{31}xy \\ \eta &= a_{02} + a_{12}x + a_{22}y + a_{32}xy\end{aligned}\tag{4.26}$$

a_{ik} : Bilineer dönüşümün parametreleri.

Bu bilineer dönüşümü aletsel olarak tanımlamanın çeşitli yöntemleri vardır. Burada, dijital kontrollü optik görüntü transferi ele alınmaktadır.

Çok dar bir s uzunluğunun kesiti, kare gridin genişliği, ortofotonun xy düzlemi üzerinde y yönünde hareket ettirilir . Bu sürekli hareket esnasında $\zeta\eta$ düzleminin bir elemanı xy düzlemi üzerine izdüşürülür. Fotoğrafın doğru elemanları,

- Merkez noktanın iki ötelemesi ($c' \rightarrow c$),
- α açısı boyunca döndürme,
- Ölçeğin değiştirilmesi ($s' \rightarrow s$),

şeklinde ele alınır.

Kontrol bilgisi, grid köşelerinin $\zeta\eta$ ve xy koordinatlarından hesaplanabilir. Öncelikle y-yönünde doğrusal olarak enterpole edilmiş ve birbirine yakın yerleştirilmiş sabit sayıda nokta kullanılır. Bir profildeki noktaları komşu profildeki noktalara birleştiren doğrular, ortofotodaki doğrusal elemanları temsil eder ve onların enterpole edilmiş uç noktalarından fotoğrafta karşılık gelen doğru elemanları uç noktalarının ζ, η koordinatları hesaplanır.

Aşağıdaki hesaplamalar mutlaka yapılmalıdır:

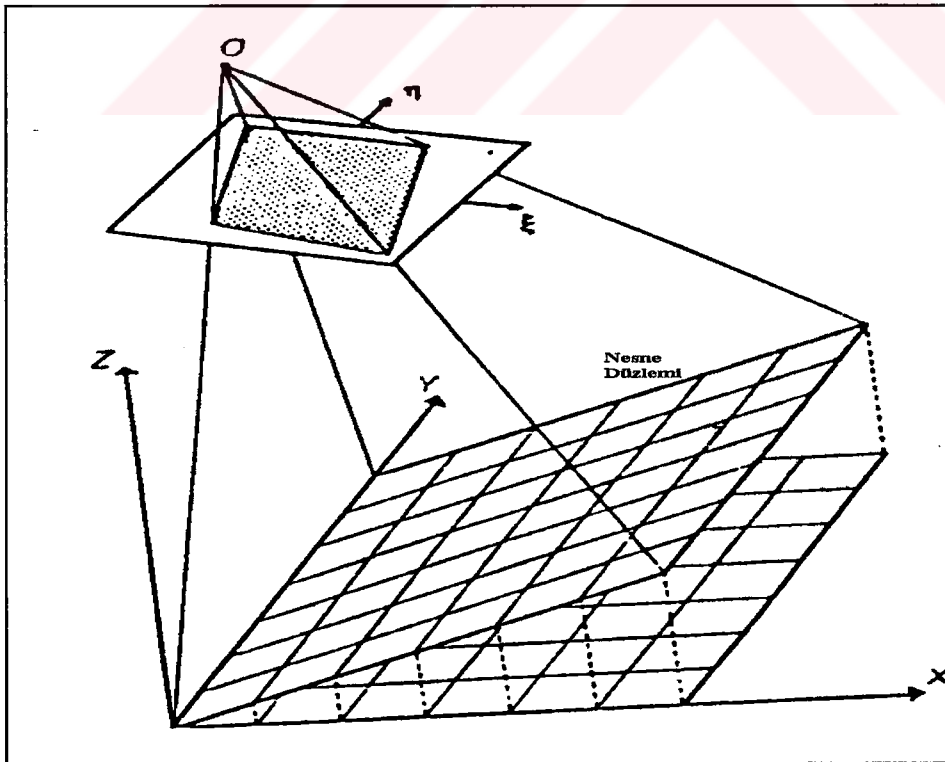
- Orijinal fotoğraftaki her doğru elemanının merkez koordinatları ζ_c ve η_c ,
- Dönüklük ($\Delta/\Delta\zeta$)
- Ölçek faktörü

$$\frac{s'}{s} = \frac{\sqrt{\Delta z^2 + \Delta \eta^2}}{s} \quad (4.27)$$

4.3.2. Düzlem objelere ait eğik fotoğrafları düşeye çevirme

Diferansiyel görüntü transformasyonu, düzlem nesnelerin eğik fotoğraflarını düşeye çevirmek için de kullanılır. Böyle bir düşeye çevirme yönteminin perspektif düşeye çevirme yöntemine göre bir avantajı vardır. Yaklaşık ± 15 gon'dan daha eğik fotoğraflar düşeye çevirilebilir. Bu açı pek çok perspektif düşeye çevirme işlemleri için sınır değeri olarak kabul edilmektedir.

Düzlem objelerin eğik fotoğraflarını düşeye çevirmede, ζ η gridi perspektif bir griddir ve bu grid, XY düzleminde bir kare grid tanımından sonra hesaplanabilir ya da eğer iç yöneltme elemanları biliniyorsa $Z=0$ yapılarak dönüşüm parametreleri bulunabilir. Dönüşüm parametreleri ışın demetleriyle dengeleme sonucundan veya ikinci bir fotoğraftan elde edilebilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Diferansiyel görüntü transformasyonu ile perspektif düşeye çevirme

Düzlem objelerin diferansiyel düşeye çevirme ile elde edilmiş ortofotoların doğruluğu, perspektif bir düşeye çevirme ile yaklaşık olarak aynıdır. Grid genişliğince doğrusal olarak hareket etmenin sonucunda başka bir hata ortaya çıkar. Bu hata, grid genişliği büyüklüğünün seçimi ile ilgilidir. Bu enterpolasyon hatası, gridlerin kenarlarının merkezlerini perspektif için geçerli cross-ratio yöntemiyle enterpole ederek ve bunu ortalama oluşturulan değerle oranlayarak tahmin edilir.

Diferansiyel görüntü dönüşümü, ayrıca affin ve perspektif düşeye çevirme çözümüne de olanak sağlar. Burada gereksinim, merkezi izdüşüm ürünü olan fotoğraftan eğik objenin dik izdüşümü ile XY düzlemine izdüşürülmesidir.

Diferansiyel görüntü dönüşümü ile çözüm aşağıdaki hesaplamaları gerektirir:

- XY düzleminde bir kare grid tanımı,
- XY kare gridindeki Z koordinatlarının hesaplanmasına karşılık gelen bu gridin eğik obje düzlemine izdüşümü,
- Obje noktalarının XYZ koordinatlarıyla fotoğrafa merkezi izdüşümü.

$\zeta\eta$ koordinatları, kare formdaki xy gridini tanımlayan bazı parametrelerle birlikte, ölçeği küçültülerek dönüştürülür. Çıktı ürünü, deforme olan $\zeta\eta$ gridinden elde edilen kare grid olduğundan, XY düzlemi üzerine ölçeği küçültülmüş eğik obje düzleminin dik izdüşümüdür.

Bu bölümde, grid genişliğinin tahmini amacıyla kullanılan bir diferansiyel düşeye çevirme eşitliği verilmiştir. α açısıyla eğilmiş düzlem obje ve bu düzlem üzerinde tam dik bir nokta alınır. Diferansiyel düşeye çevirme deforme olmuş bir $\zeta\eta$ gridinde merkezi izdüşüm kurallarına göre değil doğrusal olarak ele alındığından yaklaşık bir çözümdür. Δd enterpolasyon hatası, Δx , Δy veya s kesitinin merkezinde en büyük değerine ulaşır.

$$\Delta d = \frac{s^2}{4h} \tan \alpha \quad (4.28)$$

Enterpolasyon hatası ortofotoda 0.1-0.2 mm'yi geçmemelidir. Eğer Δd ve s ortofotoyu işaret ediyorsa uçuş yüksekliği h ortofoto ölçeğinde verilmelidir.

4.3.3. Eğik objeleri düşeye çevirme

Objeye yüzeyinin bir XY gridinin Z koordinatlarıyla tanımlandığı varsayalım. Ortofoto üretmek için bu durumda eğik objeye yüzeyinin XY düzlemine dik izdüşümü, objeye grid noktalarının XYZ koordinatları, fotoğraf düzlemine merkezi izdüşümle dönüştürülerek sağlanabilir. Sonuçta elde edilen $\zeta\eta$ koordinatları deforme olmuş gridi tanımlar. Diferansiyel düşeye çevirmede sonuç ürün, deforme olmuş gridin kare gride dönüştürüldüğü bir ortofotodur.

İç ve dış yöneltme elemanları nesne noktalarının fotoğrafa dönüştürülmesi için gereklidir. Dış yöneltme elemanları ışın demetleriyle blok dengelemesi veya uzaysal konum belirleme (space resection) ile elde edilebilir.

4.3.3.1. Veri toplama yöntemleri

XY kare gridinin Z koordinatlarının ölçüm yöntemi şu ana kadar belirtilmemiştir. Analitik değerlendirme aletlerinde X ve Y değerleriyle otomatik olarak grid üzerinde keyfi şekilde hareket edilerek Z değerleri ölçülebilmektedir. Operatörün görevi, ölçü markasının hareketini stereo modelin üzerinde, arazi yüzeyinde tutarak Z hareketini kontrol etmektir. Model mutlak olarak yöneltmiş olmalıdır. Gerekli Z koordinatları otomatik olarak kaydedilir. Eşit mesafe, eşit zaman aralıklı veya XY hareketinde kısa bir duraklamadan sonra kayıt yapılabilir. Eğer noktalar sabit zaman aralıklarıyla kaydedilirse kesit boyunca nokta yoğunluğu yerin şekliyle birlikte değişir. Daha sonra Z koordinatlarını kesit boyunca, eşit kesit aralıklarında ve sabit mesafe aralıklarında enterpole etmek gerekir.

Eğer gerekli kayıt cihazları takılırsa aynı bilgi toplama yöntemi analog değerlendirme aletlerinde de uygulanabilir. Bu aletlerle karşılıklı yöneltmeyi yaptıktan sonra mutlak yöneltmeyi bilgisayarlarla yapmak daha kolay ve ekonomik hale gelmektedir. Modelde kaydedilen xy gridi mutlak yöneltmeyle deforme

olacaktır, böylece obje noktaları tam bir kare grid değil aşağı ve yukarıya doğru eğilen düzensiz bir şekil oluşturacaktır. Bu yüzden mutlak yöneltmeden sonra, bilgisayarlarda düzensiz dağılmış noktalardan XY gridinin Z koordinatlarını enterpole etmek gerekir.

Bu hesaplama çerçevesinde ayrıca, mutlak yöneltmede Z koordinatlarının enterpolasyonunu tek bir fotoğrafa ait iki modelde de yapmak mümkündür. Böylelikle model yardımıyla ortofoto üretilir. Gridin fotoğrafa dönüştürülmesiyle, bütün fotoğrafı kaplayan ortofoto diferansiyel düşeye çevirme aletinde bir hareketle üretilmiş olur.

Ormanlık ve yoğun meskun alanlarda, özellikle büyük fotoğraf ölçeklerinde ölçü markasının yer yüzeyi üzerindeki kesit boyunca hareketini kontrol etmek zordur. Böyle durumlarda, operatör için iyi stereoskopik görüntüye sahip alanlarda tek nokta ölçümü daha etkilidir. Bu teknik ayrıca çok düz alanlarda da geçerlidir. Çünkü bu bölgelerde daha az noktaya ihtiyaç duyulmaktadır. Sonra XY gridinin Z koordinatları bilgisayarda enterpole edilir.

Eş yükseklik eğrisine sahip ortofotolara sık sık gereksinme duyulmaktadır. Düzensiz bir alanda eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu için bir bilgisayar programı yoksa, eş yükseklik eğrileri mutlak yöneltilmiş modelde elde edilmelidir. Bu işlem anında, eş yükseklik eğrileri boyunca noktaların yer koordinatları belirli aralıklarla kaydedilir. Bu veri daha sonra XY gridinin ortofoto için gerekli yükseklik değerlerini enterpole etmek amacıyla kullanılır.

Eğer ortofotonun kapsadığı alana ilişkin topografik harita mevcutsa haritadaki eş yükseklik eğrileri uygun bir aletle sayısallaştırılabilir.

Yer yüksekliklerine ilişkin veri tabanı oluşturulması ortofoto haritaların revizyonunun ilgi alanına girer. XY gridinin Z koordinatları sürekli olarak böyle bir veri tabanında muhafaza edilir ve böylece daha sonraki fotoğraflardan ortofoto üretimi mümkün olur. Yeni fotoğraflarla ortofoto üretimi için deforme olmuş $\zeta\eta$ grid koordinatları daha önce elde edilen grid bilgisinden hesaplanır. Diferansiyel düşeye

çevirmede kullanılacak yeni fotoğrafların ölçeği, veri toplamak için kullanılan orijinal fotoğraftan farklı olabilir.

Görüntü koordinatlarını doğrudan ortofoto üretiminde kullanmak için, analitik değerlendirme aletlerinde karşılıklı ve mutlak yöneltme yapılır ve model alanında doğru kesit izlenerek $\zeta\eta$ koordinatları kaydedilir. $\zeta\eta$ koordinatları analitik değerlendirme aletlerde yan ürün olarak elde edilir.

4.3.3.2. Diferansiyel düşeye çevirmede doğruluk

Öncelikle binaların, ağaçların vb. objelerin diferansiyel olarak düşeye çevirilmiş ortofotoda nasıl görüntülediğine bakılması gereklidir. Operatör veri toplama aşamasında bu detayları dikkate almamakta ve böylece yalnızca yer yüzeyinde ölçülmüş olan noktalar ortofotoda doğru konumlarıyla görülmektedir. Çatı sırtı, ağaç tepesi gibi detaylar olması gereken yerlerinden uzaklaşmaktadırlar.

Diferansiyel düşeye çevirmedeki bu hata, veri toplamada bu tip detayların hesaba katılmasıyla giderilememektedir. Diferansiyel düşeye çevirme yöntemi, bir XY kare gridinin Z koordinatlarının, yer yüzeyine uyum derecesine bağlıdır. Bu uyum çok karışık geometrik nesnelerin sayısallaştırılmasına olanak tanımamaktadır. Ayrıca ölü bölgelerde görülmeyen fotoğrafik detayların ortaya çıkarılması sorunu mevcuttur. Tek bir fotoğrafı düşeye çevirme teorisi, obje yüzeyinin grid modeliyle yeterli doğrulukta hesaplanmasıyla sınırlıdır. (Şekil 4.8)

$\Delta\rho$ değerinin dik koordinatlardaki karşılığı olan $\Delta\rho'$ yer değiştirmesi de mevcuttur. Bu hayali yer değiştirmeler aşağıda sözü edilen avantajlara sahiptir. $\overline{OP}$ doğrusu ile yer yüzeyi ortofotoda Δr kadar değiştirmektedir. Bu yer değiştirme şu oranlardan elde edilir:

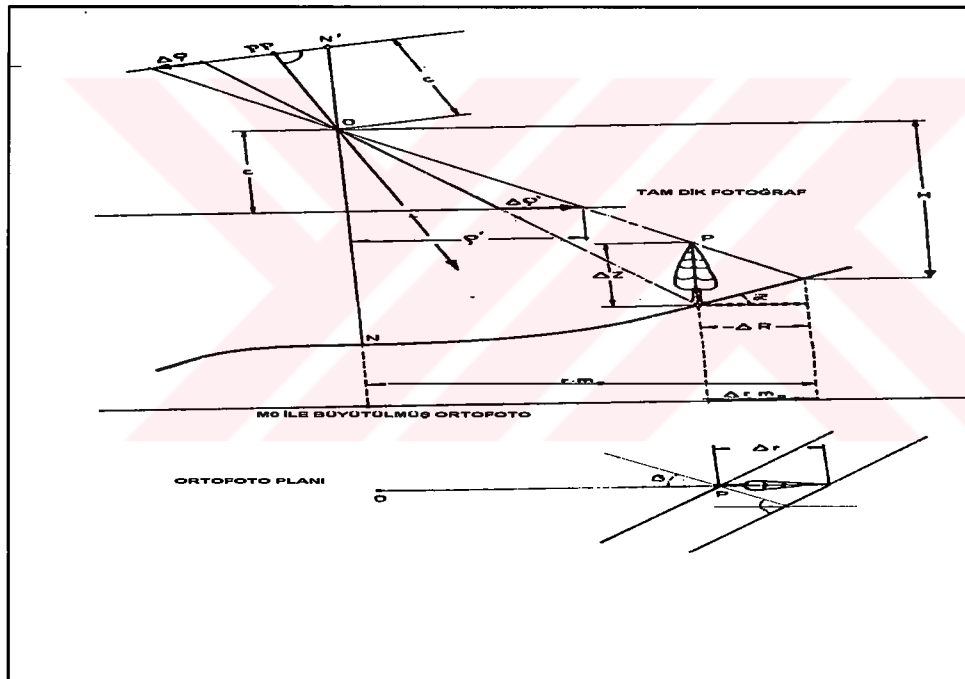
$$\Delta R = \frac{\rho'}{c} \Delta Z - \frac{\rho'}{c} \Delta R \tan \bar{\alpha} \quad (4.29)$$

(4.29) eşitliğindeki ilk terim Şekil 4.8'de noktalı çizgiyle gösterilmiştir. Yer eğimi $\bar{\alpha}$ 'ya bağlı olarak, görüntü ışınları yere daha önce çarpar. Bu uzunluk biraz

küçültülmelidir. Bu değişim eşitliğin ikinci terimi ile tanımlanır. Eğer yer dışarıya doğru düşerse eşitliğin iki terimi de dikkate alınmalıdır. $\bar{\alpha}$ açısı, yer eğimi, yer eğimi nadir noktası N'den aşağıya doğru yaklaşan olursa mutlaka pozitif bir değer olmalı ve nadir noktasından aşağıya doğru uzaklaşan olursa negatif olmalıdır.

(4.29) eşitliği düzenlenirse aşağıdaki formül elde edilir:

$$\Delta R = \frac{\Delta Z}{\frac{c}{\rho'} + \tan \bar{\alpha}} \quad (4.30)$$



Şekil 4.8 Ortofotodaki detaylarda görüntü kayıklığı

(4.30) eşitliğindeki $\bar{\alpha}$ açısı, $\overline{OP}$ doğrusu yönünde P noktasındaki yer eğimi açısıdır. Genelde maksimum yer eğimi $\alpha_{\max}$ ile çalışıldığından, (4.30) eşitliğinde β yatay açısını kullanmak gerekir. β açısı maksimum eğimi ile $\overline{OP}$ doğrusu arasındaki açıdır.

$$\Delta R = \frac{\Delta Z}{\frac{c}{\rho'} + \tan \alpha \cos \beta} \quad \alpha > 0 \text{ iç eğim, } \alpha < 0 \text{ dış eğim} \quad (4.31)$$

β açısı kosinüslü terimi içerdiğinden , $\beta=0$ olduğunda maksimum eğim $\overline{OP}$ doğrusu üzerinde olacaktır. Bu durumda eşitlikteki ikinci terim ihmal edilebilir.

ρ' uzaklığı, ortofotoda beklenen görüntü yer değiştirmesini tahmin etmek için kullanılır. ρ' objenin fotoğraf merkezinden olan uzaklığıdır. Ortofotodaki Δr yer değiştirmesi, ΔR 'nin ortofoto ölçeği $1:m_0$ ile çarpılması sonucunda elde edilmektedir.

Bu yer değiştirmelere ek olarak aşağıdaki hatalar da dikkate alınmalıdır:

- Aletsel hatalar ve orijinal fotoğraftaki hatalar,
- Fotoğrafın değerlendirme aletine ve diferansiyel alete yerleştirirken yapılan merkezleme hataları,
- Cross-ratio kullanımı yerine, eğimli arazideki grid noktaları arasında görüntü yataylanmasında doğrusal enterpolasyonun kullanılmasının neden olduğu, diferansiyel aletteki enterpolasyon hataları,
- Yer yüzeyi örtüsü ve yerin şekline, sayısallaştırmanın hızına bağlı olarak, yer yüzeyini sayısallaştırmada yapılan yükseklik ölçüm hataları,
- Yerin şekline ve gridin büyüklüğüne bağlı olarak, griddeki kesikli noktalarla da sürekli yeryüzeyinin elde edilmesinde oluşan hatalar,
- Enterpolasyon yöntemi ve yerin şekline bağlı olarak, sayısallaştırılmış noktaların düzensiz dağılımından oluşan XY gridinin Z koordinatlarındaki enterpolasyon hataları.

Bu hatalar, ortofotoda fotoğrafın asal noktasında sifıra yakın olan konumsal hatalara neden olur. Bu noktadan uzaklaştıkça hatalar artar ve asal nokta yönünde olur. Bu nedenle en büyük hatalar, özellikle komşu ortofotoların kenarlaşmasında ve kenar bölgelerinde meydana gelmektedir.

Diferansiyel aletteki enterpolasyon hatası, eğimi fazla olan arazi üzerindeki noktalarda olur. Çok olumsuz koşullarda bile bu hata 0.1 mm.den daha azdır.

Sayısallaştırmadaki yükseklik ölçüm hatası, hatalı bir yer yüzeyi oluşturulmasına neden olur.

$$dr = \frac{dZ / m_0}{\frac{c}{\rho'} + \tan \alpha \cos \beta} \quad \begin{array}{l} \alpha > 0 \text{ iç ve dış eğimler} \\ \alpha < 0 \end{array} \quad (4.32)$$

Veri toplamada ve diferansiyel düşeye çevirmede eğer aynı fotoğraflar kullanılırsa, ortofotonun doğruluğu hava kamerasının tipinden bağımsız hale gelir. Normal açılı kameralarla çekilmiş fotoğraflarda yükseklik ölçümündeki en büyük hatalar, ortofotoda planimetrik verilerin küçük yükseklik hatalarıyla giderilebilir.

Diğer yandan, veri toplama için geniş açılı kameralar ve diferansiyel düşeye çevirme için normal açılı kameralar kullanılırsa, doğrulukta yaklaşık olarak iki kameranın asal uzaklıklarının oranı kadar bir artış sağlanmış olmaktadır.

Nokta nokta veri toplama ve Z koordinatlarının enterpolasyonundaki hatalar en büyük yer eğiminin olduğu bölgede oluşur. Bunu tahmin etmek için, çok engebeli bir alanda kısa bir kesitteki detayı bilmek gereklidir.

Eğer bu profil Δt grid aralığında sayısallaştırılırsa ve doğrusal olarak enterpole edilirse, maksimum yükseklik hatası uygun formüllerden elde edilebilir. Uç noktanın yüksekliği dp ise:

$$dp = \frac{\Delta t^2}{8r \cos^2 \alpha} \quad (4.33)$$

$$dz = \frac{dp}{\cos \alpha} = \frac{\Delta t^2}{8r \cos^2 \alpha}$$

Bu hatalar sayısallaştırılmış noktalar arasındaki uzaklığa bağlıdır ve kamera odak uzaklığına bağlı olarak azalır. Hataları azaltmak için bu noktalar arasında belli bir

uzaklıkta sayısallaştırma yapılarak, kısa grid aralıklarında enterpole edilmesi gerekir. Enterpole edilen grid noktalarının sayısı manuel olarak sayısallaştırılmış noktaların sayısının yaklaşık iki katıdır. Eğer orijinal noktalar eş yükseklik eğrisi elde etmek amacıyla sayısallaştırılırsa bu oran tersine döner. Eş yükseklik eğrileri boyunca nokta sıklığı arazi eğiminin artmasıyla fazlalaşmaktadır. Bütün ortofotonun karesel ortalama hatası küçük ölçekler için ± 0.3 mm, büyük ölçekler için ± 0.5 mm.yi geçmemelidir.

4.4. Klasik Ortofoto Haritalar

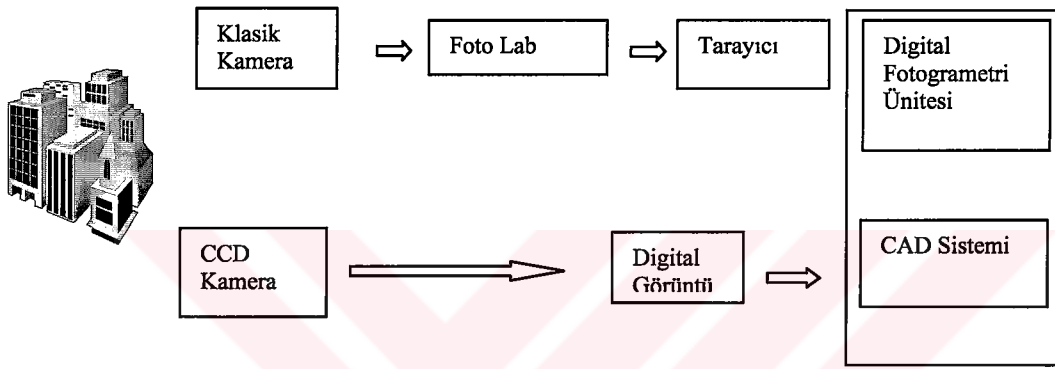
Ortofoto negatifinden sonuç ortofotoyu üretmek için birkaç yöntem vardır. Kartografik işlemler, sınır çizgilerinin, grid hatlarının ve büyük yerleşim isimlerinin yazılması şeklinde sınırlandırılmıştır. Üçüncü boyut, eş yükseklik eğrileri ortofoto üzerine kopyalayarak veya ortofoto için stereo çift üretilerek temsil edilebilir. Ortofoto negatifinin fotoğrafik içeriği fazla değiştirilmemelidir. Ağaçlar veya gölgeler nedeniyle görülemeyen yolların ortaya çıkarılmasında bu yöntem uygulanabilir. Harita gridi doğrudan ortofoto negatifi üzerine pozlanabilir.

Ortofoto haritalarla ilgili bir diğer problem bu haritaların röprodüksiyonudur. Kağıt üzerine alınan fotoğrafik kontak kopyaları, filmdeki kaliteyi sağlayamamaktadır. Film, kağıda oranla daha fazla kontrastlık sağlar. Fakat, böyle bir haritayı kullanmak oldukça zor olacağından genellikle film üzerine çıktı pek alınmamaktadır. Fotoğrafik kontak kopyalar, kağıt veya filme oranla pahalı olduğu için sadece az sayıda kopya alınması gerektiğinde uygulanır. Eğer renkli bir ortofoto üretilecekse orijinal renkli diyapozitif görüntü alete yerleştirilir. False-color renkli filmler ortofoto üretimi için kullanılabilir. Renk ayırıcı filmler renkli negatiflerden üretilmemektedirler.

Yerin güney ve kuzey yarımkürede aydınlatılması ortofoto haritalarda kullanım zorluğuna yol açar. İnsanlar normal olarak sol üst yandan gelen ışıklı fotoğraflara alışmışlardır. Ortofotodaki bu ters yöndeki aydınlatma gözlemci üzerinde yalancı-stereoskopik (pseudo-stereoscopic) bir etki yaratır. Ortofoto kuzeye yönlendirilir. Bu nedenle, ortofoto haritalar kuzey yarımkürede güneye yönlendirilmelidir.

5. DIGITAL ORTOFOTO VE TOPOGRAFİK HARİTA ÜRETİMİ

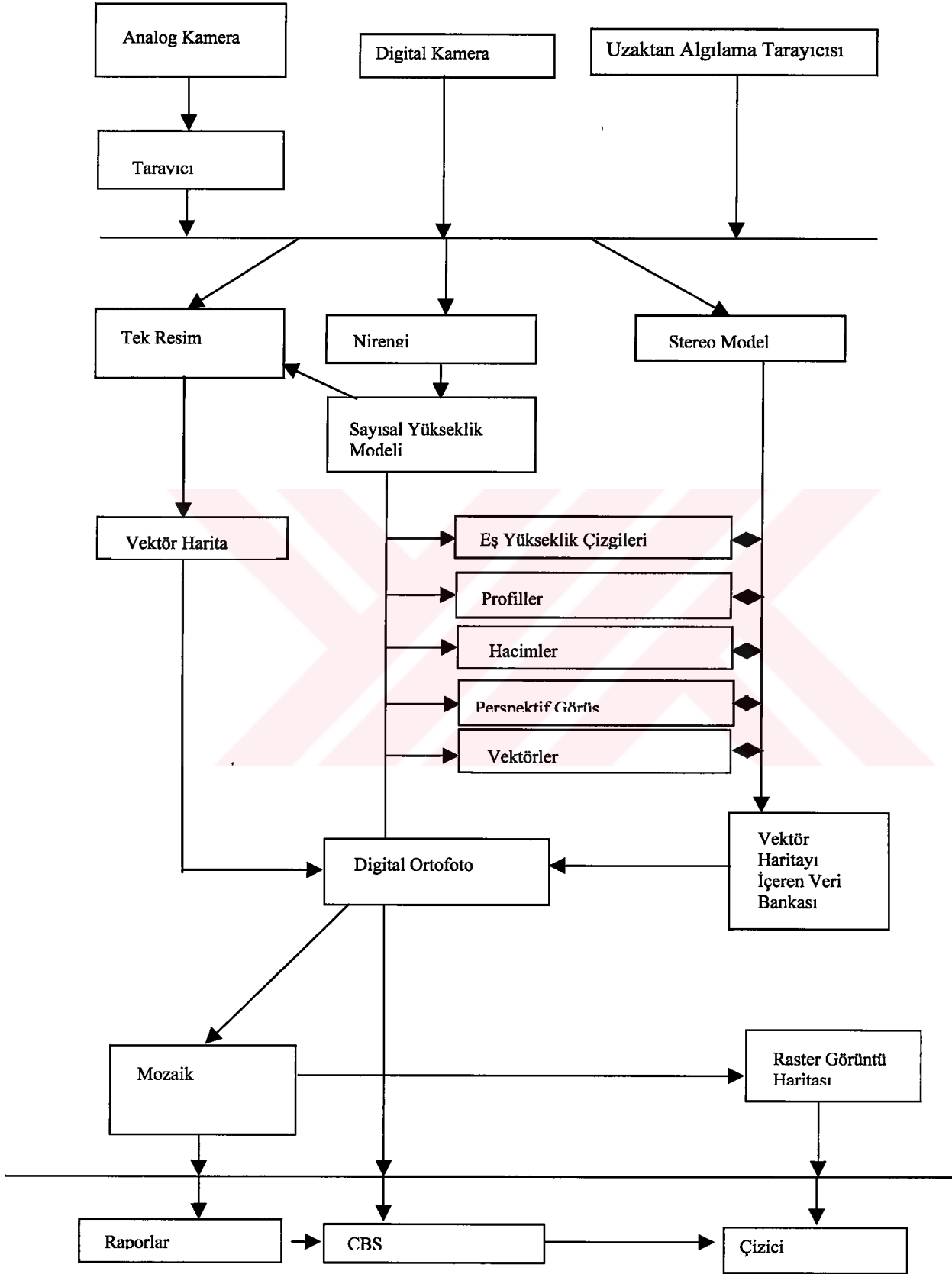
Bütün mühendislik alanlarında olduğu gibi digital fotogrametride de veri toplama en önemli bölümdür (Şekil 5.1) [17].



Şekil 5.1 Digital fotogrametride veri akışı [17].

Digital sistemlerin en çok ilgi çeken yanı, digital ortofotoların üretiminde gösterdiği kolaylık ve avantajlardır. Bu yüzden digital ortofoto üretimi çok yaygın hale gelmiştir. Digital ortofotonun yanısıra SYM verilerinin elde ediminde sağladığı kolaylıklar, harita organizasyonlarının digital sistemleri tercih etmelerinin başlıca nedenidir [18]. Şekil 5.2 digital verilerin işlenmesinde kullanılan veri akışını göstermektedir [19].

Burada fotogrametik veri değerlendirmesinin en yaygın görevlerini görülmektedir. Klasik fotogrametride, fotogrametik iş, görüntü ve foto laboratuvarında başlar. Bunları fotogrametik nirengi, SYM gibi stereo model işlemleri, ortofoto üretimi ve stereo veri toplama işlemleri izler [20].



Şekil 5.2 Digital fotogrametride veri işlenmesi [19].

5.1. Digital Ortofoto Harita Üretimi

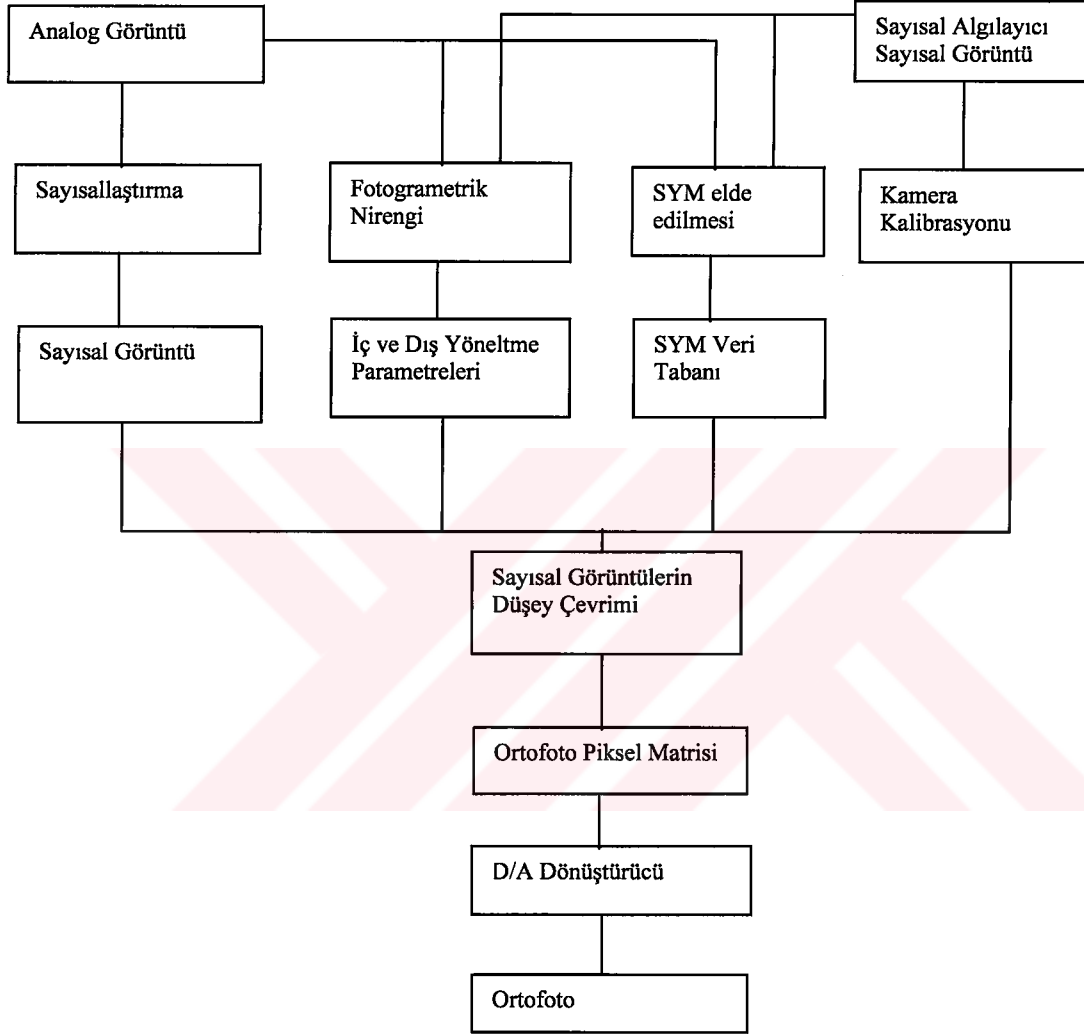
Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler, analog ortofoto üretiminde karşılaşılan problemleri büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır. Örneğin analog ortofotoda bir paftanın bir resimle kapatılma koşulu bulunmaktadır. Görüntülerin digital olması, bunların en uygun şekilde birleştirilmesini sağlamaktadır [16].

Digital teknolojinin sağladığı olanaklar:

- Optik-mekanik ve analitik ortoprojektörlerin düşeye çevirme presizyonu mekanizmaları ile sınırlıdır. Düşeye çevrilecek fotoğraf şeritinin genişliği azaltılamamaktadır. Bu yüzden yarı genişliği içerisindeki detaylar diferansiyel olarak düşeye çevrilememektedir. Digital sistemler de ise teorik olarak düşeye çevirme presizyonunda herhangi bir sınır yoktur çünkü istenirse digital görüntünün her pikseli bağımsız olarak dönüştürülebilir. Presizyonun artırılması için piksel boyutları ve bilgisayarın hafıza kapasitesi göz önüne alınmalıdır.
- Ortofoto mozaik elde etmek için ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil etmek için ortofotolar blok halinde birleştirilmelidir. Tüm ortofotolar belirli bir projeksiyonda olduklarından geometrik olarak herhangi bir problem ile karşılaşmamaktadır. Fakat, birleştirilen ortofotoların parlaklık değerleri farklı olduğunda ortaya çıkan problem, analitik yöntemde sadece uygun bir uçuş planı ile giderilebilirken digital fotogrametride böyle bir sınırlandırma yoktur.
- Vektör bilgiler ek bir çalışma yapılmadan bilgisayar ortamında eşzamanlı olarak görüntülenebilir [21].

Digital ortofoto harita üretiminde izlenecek işlem adımları Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Digital ortofoto üretimine başlamadan ilk önce ortofotosu yapılacak fotoğraf analog ise tarayıcı yardımıyla üretilecek ortofotonun ölçeğine bağlı olarak belirlenen duyarlılıkta sayısallaştırılır. Tarama piksel boyutu, fotoğraf ölçeği ile sonuç ortofoto ölçeği arasındaki orana doğrudan bağlıdır. En iyi yöntem fotoğraf ölçeğinden, sonuç ortofoto ölçeğine kaç kez büyütülecekse o oranın 240 dpi (dot per inch) kez daha fazla bir piksel duyarlılığıyla taramaktır. Örneğin 5 kez büyütmek için $5 \times 240 = 1200$ dpi veya daha hassas tarama gerekmektedir. Bu oranlara mümkün olduğu kadar sadık

kalınarak yüksek kaliteli ürünler elde etmek mümkündür. Ortofotonun kapladığı alanın parametreleri ve piksel boyutu belirlenmeli ve ortofoto bunlara göre oluşturulmalıdır [23].



Şekil 5.3. Digital ortofoto üretimi için akış diagramı.

Görüntü digital ise bilgisayar ortamına alınır ve daha sonra ortofoto üretimi için aşağıdaki veriler toplanır:

- O fotoğrafın kapladığı alana ait SYM,

- Kamera kalibrasyon verileri,
- Yer kontrol noktaları koordinatları ya da fotogrametrik nirengi sonuçları.

Fotoğraflar taranarak veya CCD digital kameralar ya da uzaktan algılama sensörlerinden elde edilen digital görüntüler ile diğer veriler bilgisayar ortamına alındıktan sonra kullanılacak digital fotogrametrik yazılımın kabul edeceği uygun formatlara dönüştürülür. Bu aşamada kullanılacak digital fotogrametrik yazılımın özellikleri ön plana çıkmaktadır. Digital fotogrametrik yazılımları iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Softcopy yazılımları
- GIS (Görüntü İşleme Sistemi) yazılımları

Softcopy yazılımları genelde stereo görüntülemeye olanak tanıyan ve bir CAD yazılımı yardımıyla stereo modeller üzerinden değerlendirmeye elverişli yazılımlardır. PHODIS ve SOFTPLOTTER yazılımları bunlara örnek olarak verilebilir. Bu grup yazılımlardaki bağlama noktaları ölçüm yetenekleri fotogrametrik nirengi işlemlerini iki kez hızlandırmıştır. Otomatik ya da manuel olarak SYM verileri toplanabilir. Otomatik olarak toplanan SYM leri, stereo modeller üzerinde editlenebilir ve digital ortofoto görüntüler oluşturulabilir. Bazı yazılımlar stereo SPOT uydu görüntülerinden değerlendirmeye de olanaklıdır. Ancak bu grup yazılımlarda görüntü zenginleştirme işlemleri çok kısıtlıdır. Kısaca söylemek gerekirse bu gruptaki yazılımlar genelde topografik uygulamalar için geliştirilmişlerdir.

GIS yazılımları ise görüntü zenginleştirme olanakları ile öne çıkmaktadır. GIS yazılımları fotoğraflar, uydu görüntüleri, radar verileri gibi çok geniş bir veri yelpazesini kullanabilirler. Stereo görüntüleme olanakları yoktur. SYM leri, eğer görüntü çifti varsa, otomatik olarak toplanabilir fakat stereo görüntüleme olanağı olmadığından bu verileri editleme olanağı yoktur. Hazır SYM verileri varsa ortofoto görüntü oluşturma ve mozaikleme işlemleri için idealdirler. Monoskopik görüntüler üzerinde CAD yazılımı yardımıyla değerlendirme yapılabilir. Sınıflandırma, zenginleştirme ve iyileştirme ve de çok geniş veri yelpazesi kullanabilme

yeteneğinden dolayı daha çok uzaktan algılama uygulamaları için tercih edilmektedirler.

Görüldüğü gibi her türlü digital fotogrametrik yazılımı ile sonuç ürünü olarak digital ortofoto görüntüler oluşturulabilmektedir. Bu da digital fotogrametrinin en etkin yönünün ortofoto haritaların üretilmesine getirdiği avantaj ve kolaylıklar olduğunu göstermektedir.

Bir digital fotogrametrik yazılımın ortofoto modülünün akış diagramı Şekil 5.4’de gösterilmiştir [21].

Birinci adımda geometrik parametrelerin hesaplanması için orta nokta bulucuları ve görüntüdeki kontrol noktaları operatör tarafından belirlenir ve ölçülür. Kamera, sayısallaştırılmış görüntü ve fotoğraf baskı arasındaki transformasyonlar bütün girdi verileri değerlendirilerek belirlenebilir. İkinci adımda görüntüler düşeye çevrilir. Düşeye çevirme yöntemleri piksel piksel ve sabit nokta yöntemleri olmak üzere iki adettir. Üçüncü adımda, geometrik dengeleme için gerekli tüm bilgiler değerlendirilmiş ve vektör formda sabit noktalar dosyası olarak saklanmaktadır.

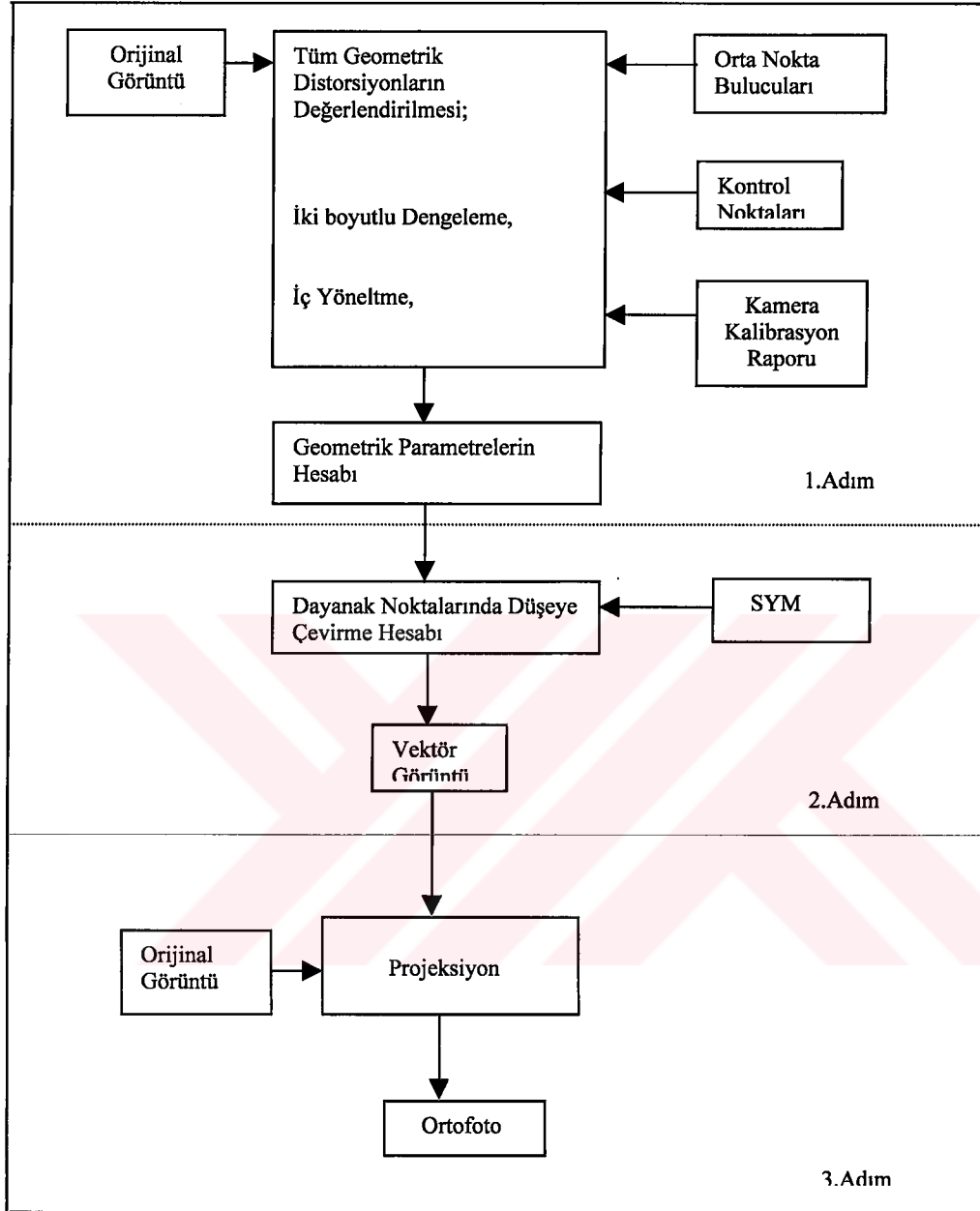
5.1.1. Digital ortofoto düşeye çevirme yöntemleri

Düşeye çevirme yöntemleri piksel piksel ve sabit nokta yöntemleri olmak üzere iki adettir.

5.1.1.1. Piksel piksel düşeye çevirme

Piksel piksel diferansiyel düşeye çevirmede, ortofotodaki her pikselin konumu ve merkezi görüntüde belirlenir.

Noktaların arazi yükseklikleri, komşu SYM noktaları enterpole edilerek bulunur. Distorsiyonun tersine eşit olan bölgesel yer değiştirme vektörü tam dönüşüm formülleri göz önüne alınarak her piksel için hesaplanmalıdır. Eğer sayısal yükseklik



Şekil 5.4. Digital fotogrametrik yazılımın ortofoto modülünün akış diagramı

modeli yüksek hassasiyetle elde edilmiş ve örnekleri yeteri kadar yakın seçilmiş ise yüksek kaliteli ortofotolar elde edilir. Görüntü koordinatları kolinarite denklemleri yardımı ile arazi koordinatlarından hesaplanır. Piksel koordinatları (satır ve sütun) affin transformasyonu kullanılarak görüntü koordinatlarından elde edilir. Sonuç; konumlandırılmış, radyometrik olarak enterpole edilmiş ve ortofoto matrisi haline

getirilmiş görüntü değerleridir. Bu işlem tüm ortofoto pikselleri için uygulanacağından, yöntem kullanılan bilgisayarların kalitesine bağlıdır. Buna karşın sabit nokta yöntemine göre hassasiyeti daha yüksektir.

5.1.1.2. Sabit nokta yöntemi ile düşeye çevirme

Bu yöntemde noktalar ağı ortofoto üzerine yerleştirilir. Basit olması için SYM gridleri ağ olarak kullanılabilir. Ortofotonun görüntü koordinatları iki aşamada hesaplanır. İlk aşamada SYM noktaları kolinarite denklemleri kullanılarak dijital görüntü üzerine izdüşürülür. Sayısal yükseklik modelindeki raster noktalara geometrik transformasyon uygulanır. Yer değiştirme vektörleri sabit noktalar dosyasına depolanır. Ortofoto projeksiyonu sırasında dört komşu sabit noktalar dosyası grid köşesi bilineer enterpolasyon uygulanarak her piksel için geometrik düzeltme vektörleri elde edilir.

Bu yöntem; piksel piksel düşeye çevirme yöntemi ile karşılaştırıldığında, basit bir yöntem olmasına rağmen çok sayıda noktada kolinarite koşulu kullanılamaz. Bunun yerine basit düzlem ilişkiler kullanılır. Bu yaklaşım SYM grid aralığına, grid köşeleri arasındaki yükseklik farkına, ilgili gridin izdüşüm merkezine ve görüntü ölçeğine bağlıdır. Diğer yandan piksel piksel diferansiyel düşeye çevirme yöntemi, sabit noktalar yöntemine göre ek baz hesaplamalar gerektirdiğinden diferansiyel düşeye çevirme iki kat daha fazla zaman almaktadır. Buna karşın sabit nokta yöntemi arazi yüzeyinin dalgalı ve engebeli olduğu bölgelerde iyi sonuç vermediği için tercih edilmemelidir. Engobenin fazla olmadığı ya da düzgün bölgelerde kullanılabilir.

5.1.2. Sayısal yükseklik modeli yöntemleri

Yeryüzünün özelliklerinin ve görünümünün gösteriminde bir çözüm yöntemi ya da kısaca yeryüzeyinin sayısal gösterimi olarak tanımlanabilen sayısal arazi modeli farklı iki yöntem kullanılarak elde edilmektedir.

5.1.2.1. Raster yöntemi

Raster yönteminde arazi üzerine kare ya da dikdörtgen bir grid sistemi yerleştirilir ve düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır. Bu, fotogrametrik model üzerinden doğrudan karesel formda ölçmelerle elde edilebileceği gibi, arazi yüzeyine rastlantısal olarak dağılmış olan dayanak noktalarının yersel ya da fotogrametrik yöntemlerden biri kullanılarak ölçülmesi ile de elde edilebilir. Bu durumda kayan yüzeylerle enterpolasyon, en küçük kareler enterpolasyonu, sonlu elemanlarla enterpolasyon ya da amaca uygun diğer bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak düğüm noktalarındaki yükseklikler hesaplanır.

Dayanak noktalarından bir raster ağının düğüm noktalarına geçişte hiçbir bilgi kaybı olmamalıdır. Bu nedenle düğüm noktalarının yoğunluğu dayanak nokta yoğunluğundan büyük seçilir. Diğer bir deyişle raster gözleri ne kadar küçük ise, araziye temsil etmedeki doğruluk o denli yüksek olacaktır. Ancak, düğüm noktalarının hesaplanmasında kullanılan dayanak noktaları yeterli yoğunluk ve doğruluğa sahip olmalıdır.

5.1.2.2. Üçgenleme yöntemi

Delauney tarafından önerilen bu yöntemde arazi, rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile düzlem üçgenlerden oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır. Bu yöntemle yapılan ilk çalışmalar, arazi yapısını gösteren çizgiler ve arazinin kırık çizgileri üzerinde bulunan dayanak noktalarına, üçgenlemede bir öncelik vermeksizin tüm noktaların aynı nitelikte olduğu varsayımına dayandırılmıştır. Bu ağlarda sözgelimi arazi yapısını gösteren çizgileri üçgen kenarları kesebilir. Fakat oluşturulan SYM'nin araziye tam olarak temsil edememesi nedeni ile daha sonraki çalışmalarda, arazinin yapısını gösteren karakteristik çizgilerin (dere, su bölümü hattı vb.) 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. Bu yöntemle oluşturulan SYM aşağıdaki koşulları da sağlamalıdır.

- Her dayanak noktası en azından bir üçgende bulunmalıdır (Bir üçgenin köşesini oluşturmalı.).
- Arazi yüzeyini örten üçgenlerin birbiri ile ara kesiti sıfır olmalıdır.
- Ağı oluşturan kenarların uzunluklarının toplamı minimum olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n |S_i| = \min \quad (5.1)$$

Dayanak noktaları kullanılarak elde edilen üçgenler alt üçgenlere parçalanır. Böylece alt üçgenlerle oluşturulan model, sonlu elemanlar anlamında yer yüzünü en iyi temsil eden bir yaklaşımı ifade eder.

5.1.2.3. SYM yöntemlerinin irdelenmesi

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 [24].

5.1.3. Digital ortofotoların kalitesine ve doğruluğuna etki eden faktörler

Digital ortofoto görüntünün kalitesi, üretim döngüsündeki tüm elemanlara bağlıdır. Bunlar;

- Kamera kalitesi ve odak uzaklığı
- Fotoğraftan sonuç ürün ölçeğine büyütme
- Diapozitiflerin yoğunluk oranı veya tarayıcı pikselindeki bitlerin kalitesi
- Tarayıcının işlenmemiş ham veri tarama kalitesi ve geometrik doğruluğu
- Mikron veya fotoğraf ölçeğindeki dpi ile ifade edilen tarama örneklerinin kalitesi
- Diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri
- Arazi birimlerinde ifade edilen sonuç piksellerin boyutu
- Diferansiyel düşeye çevirmeden sonra otomatik radyometrik düzeltme
- Kontrol noktalarının seçimi
- Kamera odak uzaklığına bağlı olan arazi veya binadaki varyans
- SYM verinin yoğunluğu ve kalitesi [21]

Digital ortofotoların kalitesine etki eden en önemli faktör doğruluğudur. Digital ortofotolar bilinen bir doğrulukla üretildikleri oranda değerlendirilmektedir. Genellikle, digital ortofotolardaki karşılıklı doğruluk tamamen fotoğrafın ölçeğine, mutlak doğruluk ise yer kontrol noktalarının kalitesine ve fotoğraf ölçeğine bağlıdır.

Digital ortofotoların mutlak doğruluğu çok büyük oranda SYM üzerine yerleştirilecek veya yönlendirilecek taranmış görüntülerin bu işlemi yapacak kontrol noktalarının kalitesine ve düşeye çevirmede kullanılacak SYM'nin doğruluğuna bağlıdır.

Geniş ölçekli ortofotoların kontrolü için fotoğrafla SYM referanslandırılabilmesi için yer kontrol noktalarında arazi ölçmesi yapılması gerekmektedir. Genel olarak, kontrol noktalarından oluşan ikinci bir ağ oluşturulur. Bunlara hava triyangülasyonu noktaları denilir. Triyangülasyonu yapılmış her çerçevede belirlenen hava triyangülasyonu noktaları bilinen doğruluklarıyla digital haritalar ve ortofotoların kontrolü için uygundur.

Eğer SYM yardımıyla düşeye çevrilmiş ve yöneltilmiş fotoğraflar haritadan veya buna eşit fazla doğru olmayan yöntemler yardımıyla gerçekleştirilecekse çok büyük hatalar oluşabilir ve ortofotonun doğruluğu azalabilir.

5.1.3.1. SYM'nin doğruluktaki rolü

Digital ortofotolar SYM'nin geniş yelpazesi sayesinde doğruluk ve içerik bakımından pek çok biçimde elde edilebilir. SYM digital ortofoto işleminin çok önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. SYM'nin uygunluğu ortofotonun üretileceği ölçeğin özelliklerine, haritalanacak yüzeyin pürüzlülüğüne, hava kamerasının odak uzaklığına ve büyütme gücüne bağlıdır.

Ortofoto üretim işlemindeki en pahalı bileşen SYM'nin oluşturulmasıdır. Yüksek doğruluktaki modelleme amaçları için kullanılan SYM'nin üç boyutlu nokta dosyalarını ve üç boyutlu kırık-çizgi dosyaları fotogrametristler veya ölçmeciler tarafından toplanmalıdır.

Modelleme amaçları için gerekli doğrulukta oluşturulan SYM, genellikle sadece ortofoto üretimi için gerekli olan doğruluktan daha fazladır. SYM'lerin digital ortofoto üretimi dışında kullanıldığı pek çok bilgisayar modellemesi bulunmaktadır. Bu doğruluk, kalite ve oluşturulacak detayların belirlenmesi amacıyla önemlidir. Toplanan üç boyutlu noktaların yoğunluğu ve dağılımı yüzeyin pürüzlülüğüne ve

modelde istenen doğruluğa bağlıdır. Eğer yüzey hızlı olarak değişiyorsa üç boyutlu noktalar yoğun olarak, eğer arazi göreceli olarak düz ise daha seyrek noktalar toplanmalıdır. Eğer SYM'deki değişim lineer ise örneğin uzun bir dere yatağı, dağ sırası, göl, istinat duvarı vb. üç boyutlu kırık-çizgiler yükseklik eğrileri yazılımını ile tekrar girilmesi ilişkisini sağlamaktır.

Üç boyutlu noktaların yerleştirilmesi ölçeğe, arazi yüzeyine ve istenilen doğruluğa bağlıdır. Üç boyutlu kırık-çizgiler ve tüm varlıklar, özel modelleme ve tasarım için yaklaşık olarak toplanır. Standart harita doğruluğunda üretilecek ortofoto için toplanan SYM bilgileri genellikle fotogrametrik olarak üç boyutlu grid noktalarıdır.

Maliyetler en uygun dağılım elde edilerek minimumda tutulabilir.

Ortofotoların düşeye çevrilmesi için istenilen SYM'nin doğruluğu yatay kaymanın belirli bir ölçekte (1/50" harita ölçeğinde) net olarak tanımlayabileceği objeler sınırlanan alanın hesabı ile mümkündür.

1" = 100' (1:2000) ölçekli bir ortofoto üretirken, net olarak tanımlanabilen cisim hatası 24" (1/50"x100') yeryüzeyindeki gerçek konumundan büyük olmamalıdır. Yukarıdaki örnekte kamera 152mm odak uzaklıklı, basit bir trigonometriye sahiptir. En uzak köşesi 9"x9" hava fotoğrafı kullanılmıştır. SYM'de ki 22.5" hata, düşeye çevirme sırasında 24" bir yatay hataya sebep olmaktadır. Eğer ortofotolar sadece fotogrametrik görüşü sağlayan modellerden oluşturulmuşsa (hava fotoğrafının ortasında 6.3"x7.2"lik bir alan) SYM'deki 30" bir hata, köşelerde 1/50" ölçeğinde yatay yer değiştirmeye neden olmaktadır. Düşeye çevrilecek alan ne kadar küçük olursa SYM'deki kabul edilebilir hata sınırı o kadar büyük olmaktadır.

Eğer hava kamerası 304mm odak uzaklığına sahip olursa, SYM'de ki kabul edilebilir hatalar iki katına çıkar. Bu yüzden uzun odak uzaklıklı kameralar, kısa odak uzaklıklı kameralara göre SYM'de daha fazla hata tolere edilebilir.

Digital ortofotolarda SYM nedeniyle oluşan konumlandırma hataları

$$e(o)=e(SYM)*\tan A \quad (5.2)$$

$e(o)$: Ortofotonun konumlandırma hatası

$e(SYM)$: SYM'deki düşey hata

A: Fotoğrafın merkezinden kenarlara doğru derece cinsinden görüş açısı (Yer kontrol noktalarının fotoğraf çekimi merkezinden radyal uzaklığının, kamera odak uzaklığı ile bölünmesinden elde edilen değer) şeklinde tanımlanabilir.

5.1.3.2. Büyütme oranları ve SYM yoğunluğu

Genel bir kural olarak, küçülen SYM oranları ile daha yoğun bir SYM gerekmektedir. Üç boyutlu grid noktaları seçilirken, pürüzsüz yüzeylerde şu ana kurallar geçerlidir:

Eğer büyütme oranı 3 kezden daha az ise 4-8 mm'lik hassasiyetle ürün ölçeğinde yerleştirmeler kabul edilebilmektedir. Eğer 3-8 kez büyütme kullanılacaksa, 1-16 m aralık ürün ölçeğinde kullanılabilir. 8'den büyük büyütmelerde ise 12-24 m aralık genellikle kabul edilir. Tüm ortofoto alanında SYM noktaları arasındaki aralığın sabit olması gerekmez. Düz alanlarda mesafe arttırılabilir, değişimin fazla olduğu alanlarda mesafe azaltılabilir.

5.2. Digital Topoğrafik Harita Üretimi

Digital fotogrametri, topoğrafik harita üretiminde de birçok kolaylıklar getirmiştir. Analog ve analitik sistemlerde ki gibi görüntü çiftlerinin her model için taşıyıcılara sökülüp takılması ile karşılıklı ve mutlak yöneltmelerinin yapılması gibi işlemlerde otomasyon sağlanmıştır. Blok bir kez dengelendikten sonra ve resimlerin iç yöneltmeleri yapıldıktan sonra artık her stereo model oluşumu için ayrı ayrı ayar yapılmasına gerek kalmamıştır. Stereo modellerin arşivlenebilmesi de digital fotogrametrinin getirdiği avantajlardan bir tanesidir. Diğer bir tanesi ise ortofotolar üzerinden de stereo modellerden olduğu gibi değerlendirme yapabilme olanağıdır.

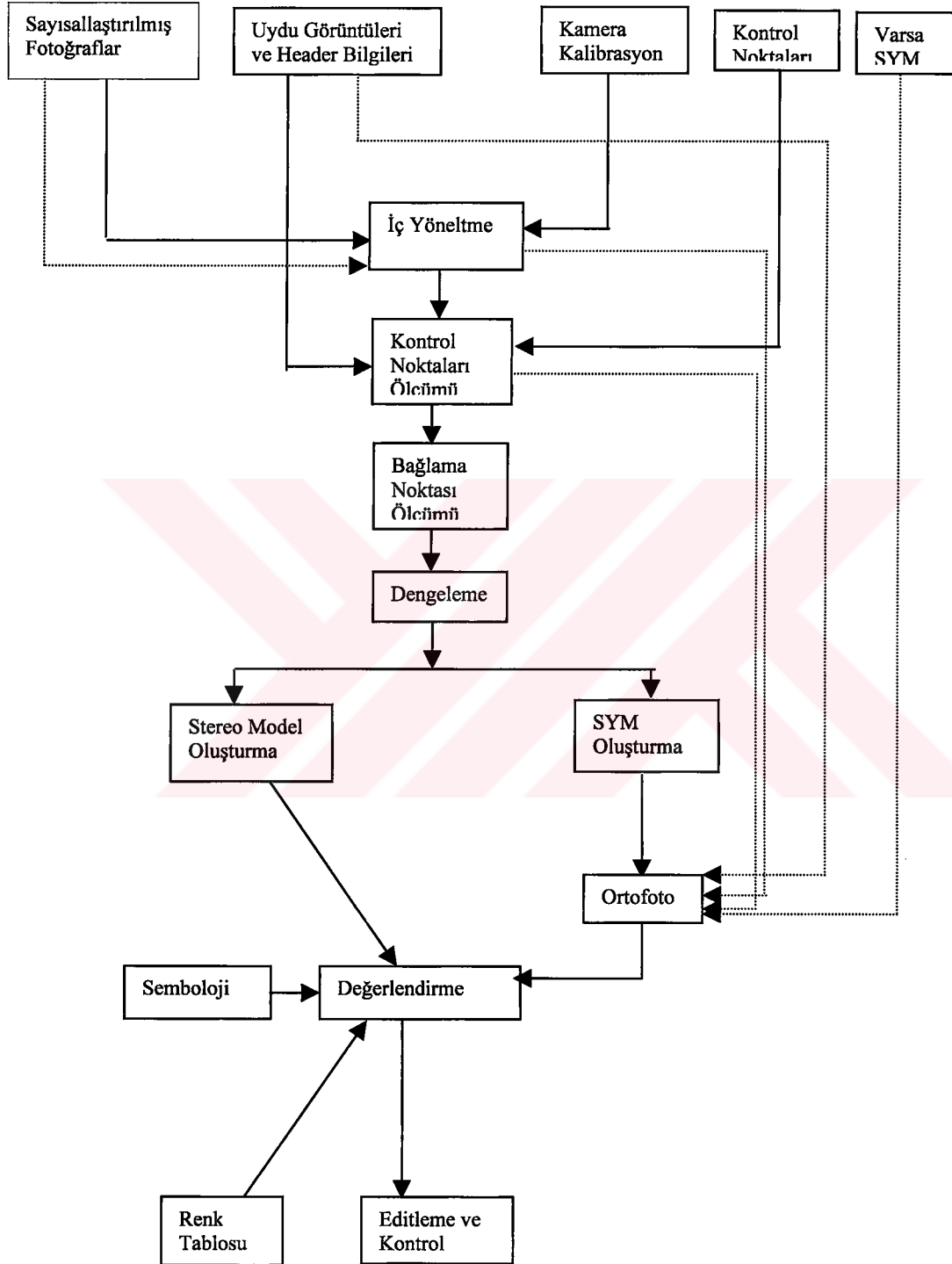
Digital olarak oluşturulacak topografik haritaların iş akışı, çizgisel topografik haritaların iş akışıyla temelde aynı olmakla birlikte küçük farklılıklar göstermektedir. Şekil 5.5’de örnek bir iş akışı gösterilmiştir.

Buna göre; digital topografik harita üretiminde girdi verileri olarak hava fotoğraflarının foto-tarayıcıda hassas olarak taranması ile elde edilen digital görüntüler ile bazı digital uydu görüntüleri (SPOT uydu görüntüleri gibi) kullanılabilir. Digital kameralar ile elde edilen digital görüntüler şu an için topografik harita üretimi için elverişli değildir çünkü çözünürlükleri çok küçüktür. Digital görüntülere ek olarak hava fotoğrafları için kamera kalibrasyon raporu, kontrol noktalarının değerleri ve varsa uygun SYM verileri girdi olarak kullanılmalıdır.

Sayısallaştırılmış fotoğrafların, kamera kalibrasyon raporundaki distorsiyon değerleri, orta nokta bulucu ve asal nokta koordinatları yardımıyla iç yönlendirmeleri yapılır. Uydu görüntülerinin header bilgileri olduğundan bunlar için iç yönlendirme işlemine gerek yoktur. Uydu görüntüleri ve iç yönlendirmesi yapılan görüntülerin üzerinde kontrol noktalarının yerleri bulunup hassas olarak ölçülür. Daha sonra yeteri sayıda bağlama noktaları ölçülür. Bu ölçümler bittikten sonra ise dengeleme işlemi yapılır. Eğer dengeleme sonuçları istenen kriterler içinde değilse hatalı noktalar yeniden ölçülür ve dengeleme sonuçları belirlenen hata sınırları içinde kalıncaya kadar bu işlemlere devam edilir.

Kullanılan yazılım ve donanımda stereo oluşturma ve görüntüleme olanaklarına göre ya stereo-modeller ya da stereo çiftlerden SYM verileri oluşturulur. Stereo-model oluşturma ve görüntüleme olanağı yoksa değerlendirme işlemi digital ortofoto üzerinde olacağından SYM verileri kullanılarak düşeye çevirme işlemi yapılır ve digital ortofotoları üretilir.

Eğer görüntülere ait arşiv SYM verileri mevcut ise digital ortofoto üretimi için daha kısa bir yol izlenebilir. Bu durumda; uydu görüntüleri ve iç yönlendirmesi yapılan hava fotoğrafları üzerinde kontrol noktaları ölçülür ve daha sonra bunlar arşiv SYM verileri ile düşeye çevrilir ve digital ortofotolar üretilir.



Şekil 5.5 Digital topoğrafik harita üretimi

Stereo-görüntülerden ya da digital ortofotolar üzerinde uygun semboloji ve renk tablosu kullanılarak değerlendirme işlemiyle vektör veriler toplanır. Edinilen tecrübeler göstermiştir ki stereo-modeller üzerinden toplanan detayların hem teşhisi daha kolaydır hem de doğrulukları daha iyidir. İster stereo-modeller isterse digital ortofotolar üzerinden toplanmış olsun, digital verilerin mutlaka editlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Böylece digital topografik harita üretiminin fotogrametrik bölümü tamamlanmış olup bundan sonra bütünleme ve topografik işlemler yapılmalıdır.

Günümüzde pratikte uygulanmayan ancak araştırma çalışmalarının yoğunlaştığı konu, sayısal görüntüler yardımı ile tam otomasyonun sağlanmasının son halkalarından olan, görüntü üzerindeki detayların otomatik olarak belirlenmesidir. Sayısal verilerden biçim algılama adı verilen bu çalışmalarda fotogrametri yapay zeka ile birleşmektedir. Bu konu ile ilgili güçlü algoritmaların bulunması doğrultusunda yapılan çalışmaların, temel esaslarının genel olarak açıklanmasında yarar görülmektedir. Biçim algılamada üç temel safha bulunmaktadır:

- **Objenin ayrılması:** Bu safhada sayısal görüntü içerisinde bulunan bir obje diğer objelerden ayrılarak izole edilir.
- **Detayın ortaya çıkarılması:** Bu safhada tespit edilen objenin ölçülebilir özelliklerinin ortaya çıkarılmasıdır. Ölçülebilir özelliklerine detay faktörü adı verilir. Burada önemli olan objenin ölçülebilir hangi özelliklerinin onu ayırt etmede etkili olduğu ve nasıl ölçülebildiğidir. Objenin ölçülebilir özellikleri;
 - Ayırt edici olmalıdır. Örneğin çap böyle bir özelliktir.
 - Güvenilir olmalıdır. Örneğin bazı uygulamalarda renk güvenilir değildir. Farklı renklerde aynı obje olabilir.
 - Bağımsız olmalıdır. Örneğin ölçülebilir özellik olarak çap ve alan ele alındığında, ikisi arasında sıkı korelasyon vardır.
- **Objenin sınıflandırılması**

Bu açıklamaları fotogrametri dışında bir örnek ile yapmaya çalışalım. Otomatik olarak hareket eden bir kemer sistemi üzerinde bulunan değişik meyvelerin ayırt edilmesi istenilsin. Bu meyveler çilek, elma, limon ve greyfurt; bunları ayırt edecek donanım ise sayısal kamera ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Bu örnekte objenin sınıflandırılmasında ele alınan ölçülebilir özellik renk ve çaptır. Renkte ise kırmızılık oranı ele alınmaktadır. Bilgisayar sayısal kamera ile sayısallaştırılan bir objenin çapını milimetre olarak ve rengini de uygun bir değer ile hesaplar. Hesapladığı değerleri kendisine bildirilen değerlerle karşılaştırarak objenin hangi meyve olduğuna karar verir ve hareketli parçalara komuta ederek ilgili kutuya aktarır.



6. UYGULAMA

Uygulama çalışmaları için iki ayrı test bölgesi seçilmiştir. Birinci bölge İzmir ili yakınlarında, ikinci bölge ise İstanbul ili sınırları içerisinde. Birinci test bölgesine ait Harita Genel Komutanlığı tarafından %60 boyuna örtü oranlı ve 1:35 000 ölçekli siyah-beyaz çekilmiş 31 adet arşiv fotoğraf kullanılmıştır. İkinci test bölgesindeki uygulama ise 1998 yılında renkli olarak çekilmiş 1:16 000 ölçekli 4 adet hava fotoğrafı kullanılarak yapılmıştır.

Uygulama çalışmaları 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, İzmir test bölgesinin 5 şerit 31 fotoğraftan oluşan bloğu ile İstanbul test bölgesinin 2 şerit 4 fotoğraftan oluşan bloğu oluşturulmuş ve dengelenmiştir. İkinci aşamada ise her bir bloktan birer proje bölgesi seçilmiş ve İzmir bloğundan seçilen proje bölgesinin 1:25000, İstanbul bloğundan seçilen proje bölgesinin ise 1:5000 ölçekli digital topografik haritaları üretilmiştir. Üretilen haritalar standart boyutlarda üretilmemiştir çünkü bunun bir uygulama çalışması olduğu düşünüldüğünden, çalışmanın en uygun şartları sağlaması için boyutlar biraz geniş tutulmuştur.

Üçüncü aşamada, proje bölgelerine ait digital ortofotolar iki farklı digital fotogrametri sisteminde oluşturulmuştur. Dördüncü ve son aşamada ise üretilen digital fotogrametrik haritalar ile digital ortofotoların doğrulukları, daha önce analitik aletlerde koordinatları belirlenen karşılaştırma noktaları yardımıyla araştırılmıştır.

6.1. Uygulamada Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

Uygulamanın birinci aşamasındaki tarama işlemleri SCAI fotoğraf tarayıcı, blok oluşturma ve dengeleme işlemleri ise PHODIS-AT yazılımı ile PATB-GPS yazılımları kullanılmıştır. İkinci aşamadaki stereo model oluşturma, digital topoğrafik harita değerlendirme işlemleri SOFTPLOTTER 1.7 ve vektör editleme işlemleri ise Microstation 95 yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise, otomatik SYM oluşturma, bunları editleme ve ortofoto oluşturma işlemleri

SOFTPLOTTER 1.7, otomatik eş yükseklik eğrisi çizdirme işlemleri ise TERRAMODEL yazılımları ile yapılmıştır. Ortofoto görüntülerden mozaikleme ile ortofoto harita üretimi ve çıktı alımı ise PCI yazılımları ile gerçekleştirilmiştir.

6.1.1. Kullanılan donanımlar

Uygulamada kullanılan yazılımlar, PATB-GPS ile Microstation 95 hariç tümü Unix bazlı Silicon Graphics iş istasyonlarında çalışmaktadırlar. Bu iş istasyonlarının teknik özellikleri şunlardır:

- Indigo² Solid Impact 10000 işlemci
- 195 MHz işlemci hızı
- 128 Mbyte RAM
- 1 Mb kare bellek
- 4 Gbyte sistem disk
- 20" SGI monitör
- 18 (2x9) Gbyte harici disk
- Softmouse
- Üç tuşlu mouse
- Crystal Eyes emitter ve gözlüğü (Stereo görüntüleme için)

PATB-GPS ve Microstation 95 yazılımları ise PC ler üzerinde çalışmaktadırlar.

6.1.1.1. SCAI fotoğraf tarayıcı

Uygulamada kullanılan fotoğraflar analog olduklarından bunlar taranarak sayısallaştırılmış ve bilgisayar ortamına aktarılmışlardır. Tarama işlemleri SCAI (Scanner with Autowinder Interface) hassas fotoğraf tarayıcısı ile gerçekleştirilmiştir.

PHODIS-SC olarak adlandırılan bu sistem üç ana modülden oluşmuştur [25]. Bunlar; tarayıcı, rulo film bağlama ünitesi ve kullanıcı arayüzüdür. Tarayıcı modülü SCAI

olarak adlandırılır ve hava fotoğrafları için, masa üstü (flatbed) bir tarayıcı olarak tasarlanmıştır. Standart çevre birimi olarak bir çalışma istasyonuna bağlanmıştır. Rulo film bağlama modülü Autowinder (otomatik makara) olarak adlandırılır ve makaralı ve makarasız olarak SCAI tarama sisteminin çalışmasına olanak sağlar. SC yazılımı ise, PHODIS-SC'nin üçüncü modülünü oluşturan kullanıcı arayüzünün adıdır. Tarayıcıya yükleme ve silme dışında, görüntülerle ilgili tüm işlemler bu arayüzle gerçekleştirilir.

SCAI'nin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Tek resim (negatif veya diapositif), cam tabaka veya orijinal rulo film işleyebilme
- 7, 14, 28, 56, 112 ve 224µm piksel boyutlarında tarama
- 2µm'dan daha iyi bir geometrik doğruluk
- Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin her birinde 256 tonda radyometrik ayırma gücü
- Bir geçişte renkli tarama, ayrıca monokrom tarama özelliği
- Kırmızı, yeşil ve mavi için paralel üç doğrusal ışınli bir CCD kamera
- PHODIS benzeri kullanıcı arayüzü

6.1.2. Uygulamada Kullanılan Yazılımlar

Uygulama çalışmaları sırasında Harita Genel Komutanlığı bünyesindeki tüm digital fotogrametrik yazılımlar ayrı ayrı aşamalarda kullanılmaya çalışılmış ve böylece bu yazılımları test etme imkanı da doğmuştur.

Bu yazılımlar dengeleme yazılımları, Softcopy yazılımları ve Görüntü İşleme yazılımları olmak üzere üç genel başlık altında toplanabilir. Uygulamada PAT-B GPS dengeleme yazılımı, PHODIS ve SOFTPLOTTER 1.7 Softcopy yazılımları ile PCI görüntü işleme yazılımları kullanılmıştır. Bunların yanısıra otomatik eş yükseklik eğrisi çizimi için TERRAMODEL ile vektör verilerin editlenmesi için Microstation 95 CAD yazılımları da kullanılmıştır.

6.1.2.1. PATB-GPS yazılımı

PATB-GPS yazılımı ışın demetleriyle blok dengeleme yapan bir programdır. Programın girdileri resim koordinatları, kontrol noktaları koordinatları, GPS verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen izdüşüm merkezi koordinatları ve anten dışmerkezlik parametreleridir [26,27].

Programda iki girdi kütüğü vardır. Bunlardan birisi resim koordinatları kütüğü, diğeri ise kontrol noktaları kütüğüdür. Kontrol noktaları kütüğünde yatay ve düşey konumları iki ayrı liste halinde hazırlanır. Aynı zamanda bu noktaların doğruluklarına göre, 11 ayrı gruplama yapmak mümkündür.

PATB-GPS yazılımının işlem adımları aşağıdaki biçimdedir:

- Girdi ve çıktı kütükleri tanımlanır.
- Proje adı, resim ölçeği ve boyutları, kamera odak uzaklığı, ilave parametre setleri tanımlanır.
- Dengelemede harcanan zamanın minimuma indirgenmesi için blokta yapılması gereken resim gruplamaları tanımlanır.
- Girdi verilerinin formatları tanımlanır.
- Alınması istenen çıktılar belirlenir.
- Fotogrametrik ölçümlerin standart sapmaları girilir.
- Kontrol noktalarının yatay ve düşey doğrulukları tanımlanır.
- Programın limitasyonları aşılsa, gerekli düzeltmeler yapılır.
- Kinematik GPS verilerine ilişkin parametreler (anten dışmerkezlik değeri, GPS veri formatı vb.) tanımlanır.

PATB-GPS yazılımının çıktıları ise şöyle sıralanabilir:

- Dengelenmiş noktalar ve bunlara getirilen düzeltmeler,
- Fotogrametrik ölçüm doğruluğunun üç katından daha büyük ölçüm doğruluğuna sahip kritik noktalar,
- Her bir resmin dış yöneltme parametreleri.

6.1.2.2. PHODIS yazılımı

PHODIS, Carl Zeiss firması tarafından üretilen bir digital fotogrametri sistemidir. Bu sistem ile digital fotogrametri alanındaki tüm ürünler elde edilebilir [28].

PHODIS, ile stereo görüntü oluşturma, otomatik bağlama noktası ölçümü, ortofoto üretimi, mozaikleme ve değerlendirme işlemleri yapılabilmektedir. PHODIS bunları yaparken modül modül yazılmış programları kullanır. PHODIS-AT (PHODIS Aerial Triangulation) de bu modüllerden bir tanesidir ve otomatik olarak bağlama noktaları ölçümüne olanak tanır. Blok oluşturma çalışmalarında bu modül kullanılmış ve dengeleme işlemlerinde girdi verisi olarak kullanılan kontrol noktaları ve bağlama noktalarının resim koordinatları ölçülmüştür.

6.1.2.3. SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı

Stereo model oluşturma, değerlendirme, otomatik SYM verileri toplama ve editleme ile ortofoto görüntü oluşturma çalışmaları SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı sayısallaştırılmış hava fotoğrafları ile digital uydu görüntülerinden arazi ve detay hakkında doğru bilgi toplama olanağı sağlayan bir softcopy yazılımıdır. CBS, haritalama ve şehir planlaması gibi uygulamalar için veri desteği sağlar. Modüler yapıda olması üretim işlemlerine göre iş akışlarını belirleme özgürlüğünü sağlar. Yazılımın modülleri aşağıda gösterilmiştir:

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

- Stereo Tool: Stereoskopik görüş için stereo çiftlerinin yaratılmasını sağlar.
- Surface Tool: Üçgen SYM verilerinin toplanması ile kırık hatların (break line) çizimi gibi işlemler ile SYM verilerinin editlenmesine olanak tanır.
- Dem Tool: Grid şeklinde SYM verilerinin toplandığı ve editlendiği modüldür.
- Ortho Tool: Dengeleme sonuçları ile SYM verilerini kullanarak ortofoto üretimini sağlar.
- Mosaic Tool: Ortofoto görüntülerin birleştirilip mozaiklendiği modüldür.
- Mensuration Tool: Uzunluk, alan gibi ölçümlerin yapıldığı modüldür.
- KDMS Tool: KDMS (Kork Digital Mapping System) CAD yazılımı kullanarak stereo görüntüler üzerinde superimpositionla değerlendirmenin yapıldığı modüldür.
- TerraModel Tool: Otomatik eş yükseklik eğrisi çizimi ve yüzey modelleme yapar.
- Erdas Imagine Tool: Görüntü işleme, zenginleştirme ve çizim kütüklerinin hazırlandığı modüldür [29].

TERRAMODEL ve ERDAS IMAGINE tek başlarına ayrı yazılımlardır fakat burada harici modüller olarak kullanılmışlardır.

Vektör veriler bir CAD yazılımı olan KDMS ile toplanmıştır fakat editleme olanaklarının çok pratik olmaması nedeniyle IGDS formatına dönüştürülmüş ve diğer bir CAD yazılımı olan Microstation 95 yazılımında editlenmişlerdir.

6.1.2.4. PCI yazılımı

Bir görüntü işleme yazılımı olan PCI yazılımı, uydu görüntüleri, SAR-RADAR görüntüleri ve hava fotoğraflarının işlenmesi, zenginleştirilmesi ve ortofoto üretimi işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Daha çok, uzaktan algılama uygulamaları için elverişlidir. Bu yazılımda farklı modüllerden oluşmaktadır.

- Image Works: Görüntüleme ve görüntüleri yönetme programı.

- GCP Work: Görüntüleri yer kodlama sistemi.
- Radar Soft: SAR görüntülerin işlenmesini sağlar.
- FLY!: Gerçek-zamanlı, perspektif görüntüler üzerinde uçuş canlandırması programı.
- Ace/Ace Pro: Kartoğrafik editleme ve harita üretim modülü.
- Ortho Engine: Hava fotoğraflarını düşeye çevirme ve SYM oluşturma modülü.

Mozaikleme, görüntü zenginleştirme işlemlerindeki üstünlüğünden dolayı proje alanlarının ortofoto haritalarının mozaiklenmesi ve çıktı dosyalarının hazırlanması bu yazılımla gerçekleştirilmiştir.

6.2. Proje Alanlarının Digital Topografik Ve Ortofoto Haritalarının Üretilmesi

İzmir ve İstanbul proje alanlarının fotoğrafları kinematik-GPS yöntemiyle çekilmiştir. İzmir proje alanındaki uçuşlar 1:25000 ölçekli harita revizyonu, İstanbul'dakiler ise 1:5000 ölçekli renkli ortofoto harita üretimi amacıyla yapılmışlardır. Birinci proje alanının hava fotoğrafları 1:35000 ölçeğinde ve siyah-beyaz olup, ikinci proje alanıninkiler ise 1:16000 ölçeğinde ve renklidirler. Tüm fotoğraflar %60 boyuna %20 enine örtülü olarak çekilmiştir. Her iki proje alanına ait topografik ve ortofoto haritaların üretimi iki ayrı başlık altında anlatılacaktır.

6.2.1. İzmir proje alanı

İzmir proje alanındaki blok, Harita Genel Komutanlığı'nın revizyon amaçlı uçuşlarından oluşan büyük bir bloğun içinden seçilmiş 5 şerit ve 31 resimden oluşan küçük bir bloktur.

Birinci adımda fotoğraflar uçuş yönünde olmak üzere SCAI hassas foto-tarayıcısında 28µm piksel boyutunda taranmıştır. Fotoğrafların uçuş yönünde taranması iç yöneltme ve fotogrametrik nirengi işlemlerinde doğru sonuçları elde etmek için gereklidir. 23cmx23cm lik bir hava fotoğrafının boyutu 28µm duyarlılıkla tarandığında 75 Mb'lık bir yer kaplar. 28µm piksel duyarlılığı optimum bir değer olup, tecrübelerle ve hesaplamalarla bulunmuştur.

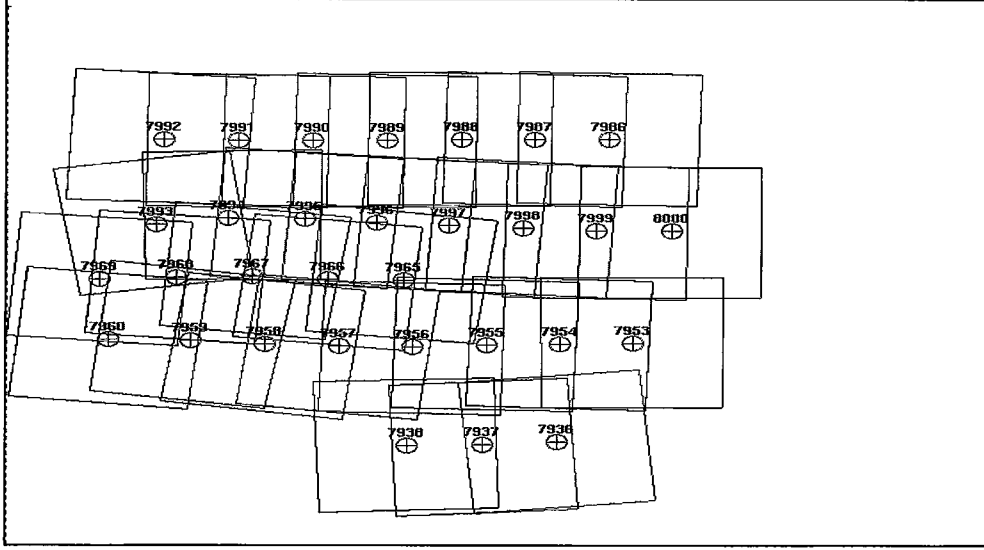
İkinci adımda, taranarak digital hale getirilmiş fotoğraflar, PHODIS yazılımının ortamına alınmıştır. Burada fotoğrafların çekildiği kameranın kalibrasyon raporu doğrultusunda yeni bir kamera tanımlanmış ve bu bilgiler kullanılarak fotoğrafların iç yöneltmeleri yapılmıştır.

Üçüncü adımda PHODIS-AT yazılımı yardımıyla digital görüntüler şerit ve model bağlama noktaları ile kontrol noktalarının (nirengiler) resim koordinatları ölçülmüştür.

Dördüncü adımda, kinematik GPS verileri ile ölçülen resim koordinatları kullanılarak PATB-GPS programında bloğun dengelemesi yapılmış ve istenen doğruluğa varıncaya kadar dengelemeye devam edilmiştir. Böylece her fotoğrafa ait dış yöneltme elemanları hesaplanmıştır. PATB-GPS sonuçları, uzantısı ORI olan bir dosyaya kaydedilerek fotogrametrik nirengi işlemleri tamamlanmıştır.

Beşinci adımda, dengeleme sonuç dosyası ile digital görüntüler değerlendirme yapılacak digital fotogrametri aletlerine ftp bağlantısı ile gönderilmiştir. Değerlendirme işlemleri için SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı kullanılmıştır. Fotogrametrik nirengiden alınan digital görüntüler yazılımın ortamına alınmış ve burada kamera tanımlanması yapılarak fotoğrafların iç yöneltmeleri tamamlanmıştır. PATB-GPS sonuç dosyası da yazılıma import edilerek blok oluşumu tamamlanmıştır. Bu işlemler SOFTPLOTTER 1.7 yazılımının Block Tool modülünde yapılmıştır.

Altıncı adımda oluşturulan blok verileri ve digital görüntü çiftleri kullanılarak Stereo Tool modülünde stereo modeller otomatik olarak oluşturulmuştur. Bir stereo model yaklaşık 15 dakika gibi bir sürede olduğundan tüm bloğun stereo modelleri (26 model) 6½ saatte tamamlanabilmiştir. İç yöneltme ve blok oluşturma (fotogrametrik nirengi işlemleri hariç) işlemleri için ise 1½ saatte tamamlandığı düşünüldüğünde 1 iş gününde modeller değerlendirmeye hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 6.1 İzmir proje alanı blok yapısı.

Yedinci adımda, pilot olarak seçilen paftaya ait bir dosya kıymetlendirilmek üzere KDMS Tool modülünde açılmış ve bu paftayı kapsayan stereo modeller sırasıyla çağırılarak superimpositionda paftanın vektör verileri uygun semboloji ile KORK CAD yazılımı yardımıyla toplanmıştır. 1:25000 ölçekli bir paftanın ortalama değerlendirme süresi eş yükseklik eğrisi hariç 2 haftadır. Eş yükseklik eğrisi çiziminide dahil edersek toplam dört hafta olmaktadır. Bu uygulamada eş yükseklik eğrileri, SYM verilerinden otomatik olarak çizdirilmiş ve zamandan tasarruf sağlanmıştır.

Sekizinci adımda, digital görüntü çiftlerindeki paralakslardan yararlanla SYM verileri TIN (üçgenleme) yönteminde TIN Tool modülünde toplanmıştır. SYM verileri 40m aralıklarla toplanmıştır. Toplanan SYM verileri stereo modeller üzerinde editlenmiş ve break-line, cut out çizgileri eklenmiştir. Bir stereo modelin kapladığı alana ait SYM verilerinin editlenmesi ½ iş günü sürmüştür. Uygulamada üretilen paftanın içerisine 9 model girdiğinden toplam 4½ işgünüde SYM verilerinin editlenmesi tamamlanabilmektedir..

Dokuzuncu adımda, TERRAMODEL yazılımında SYM verilerinden yararlanla eş yükseklik eğrileri otomatik olarak çizdirilmiş ve elde edilen eş yükseklik eğrileri

otomatik olarak yumuşatılarak (smooth) stereo modeller üzerinde son bir kez kontrol edilmiştir. Bu işlemler bir pafta için yaklaşık 1½ iş günü sürmüştür.

Onuncu adımda, üretilen vektör veriler ile eş yükseklik eğrileri format dönüşümü yapılarak Microstation 95 yazılımına alınmıştır. Editleme operatörü, 2 iş gününde paftanın vektör verilerinin editlemesini ve kontrolünü bitirerek digital topografik haritanın fotogrametrik veri toplama kısmını tamamlanmıştır (EK E).

Onbirinci adımda, SYM verileri ile blok dengeleme sonuçları kullanılarak Ortho Tool modülünde digital görüntüler otomatik olarak düşeye çevrilmiş ve 1m çözünürlüklü ortofoto görüntüler elde edilmiştir. Bir pafta için 10 adet digital görüntünün ortofoto görüntüsü oluşturulmuştur. Bir ortofoto görüntünün oluşumunun yaklaşık 10 dakika olduğu düşünülürse yaklaşık 1½ saatte tümü tamamlanmıştır.

Onikinci ve son adımda ise, oluşturulan görüntüler ile eş yükseklik eğrileri format dönüşümü yapılarak PCI yazılımına aktarılmıştır. Mozaikleme işlemleri ile lejand hazırlama ve yükseklik eğrilerinin ortofoto mozaığın üzerine çakıştırılması işlemleri PCI yazılımında yapılarak ortofoto harita oluşturulmuştur. Bütün bu işlemler ½ iş gününde tamamlanmıştır (EK F).

6.2.2. İstanbul proje alanı

İstanbul proje alanında da İzmir proje alanındaki gibi Harita Genel Komutanlığının 1:5000 ölçekli ortofoto harita üretimi amaçlı uçuşlarından meydana gelen büyük bir bloğun içinden iki şerit ve dört resimden oluşan küçük bir blok seçilmiştir.

İzmir proje alanının digital topografik ve digital ortofoto harita üretimi sürecindeki işlem adımları İstanbul proje alanında da çok küçük değişikliklerle birlikte aynen uygulanmıştır. Bu değişiklikler, birinci adımdaki tarama aşamasında ve sekizinci adımdaki SYM verilerinin toplanması aşamasında yaşanmıştır.

Tarama aşamasında fotoğraflar, İzmir proje alanındakinden farklı olarak 21µm piksel aralığında taranarak sayısallaştırılmışlardır. Bu farklılık, hava fotoğraflarının 1:16000

ölçeğinde ve üretilecek ortofoto haritanın 1:5000 ölçeğinde olmasından kaynaklanmaktadır.

SYM verilerinin toplanması aşamasındaki farklılık İstanbul proje alanına ait mevcut 30m. aralıklı arşiv SYM verilerinin olmasından kaynaklanmaktadır. SYM verilerinin yeniden toplanmayıp arşiv SYM verileri format dönüşümü yapılarak kullanılmıştır.

Diğer aşamalar tamamen aynıdır ve bu aşamaların gerçekleştirilmesi sırasında harcanan süreler İstanbul proje alanında seçilmiş 1:5000 ölçekli pilot ortofoto haritanın üretilme aşamalarında harcanan süreler ile yaklaşık olarak aynıdır (EK G, EK H).

6.3. Digital Topografik Haritalar ile Digital Ortofoto Haritaların Doğruluk, Üretim Zamanı ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması

Her iki proje alanının üretilen digital topografik ve digital ortofoto haritalarının doğruluğunu araştırmak üzere İzmir proje alanında 146, İstanbul proje alanında ise 101 adet karşılaştırma noktası seçilmiştir. Karşılaştırma noktalarının seçiminde, yol ve dere kavşakları, bina köşeleri, yol ve dere kesişimleri gibi keskin detaylar olmasına özen gösterilerek okuma hatalarının minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Karşılaştırma noktalarının üç boyutlu koordinatları, halen Harita Genel Komutanlığında kullanılan Zeiss Planicomp C115 analitik aletlerinde stereo modeller üzerinden ölçülmüştür. Ölçülen bu koordinatlar doğru değerler olarak kabul edilmiş ve digital topografik ile digital ortofotolar üzerinden ölçülen koordinatlar bu değerler ile karşılaştırılarak doğrulukları araştırılmıştır.

Digital topografik haritalarının doğruluğunu araştırmak için, digital stereo modeller üzerinden ölçülen karşılaştırma noktalarının koordinatlarının, analitik aletle ölçülen koordinatlardan farkları alınarak 6.1 eşitliklerindeki gibi üç ayrı veri kümesi (X, Y ve Z için) oluşturulmuştur. Digital ortofoto haritaların doğruluğunu bulmak için, digital ortofotolar üzerinden koordinatlar ölçülmüş ve aynı veri kümeleri oluşturulmuştur. Mozaik üzerinden ölçüm yapılmamıştır çünkü digital ortamda mozaik üzerinden yükseklik bilgileri okunamamaktadır.

$$\varepsilon_x = X_{i1} - X_{i2}$$

$$\varepsilon_y = Y_{i1} - Y_{i2} \quad (6.1)$$

$$\varepsilon_z = Z_{i1} - Z_{i2}$$

i : 1,2,3,.....,(karşılaştırma noktası sayısı)

1 : Analitik alet ölçümleri

2 : Digital topografik ya da ortofoto ölçümleri

İzmir proje alanında oluşturulan 146 elemanlı ε_x , ε_y , ε_z kümelerinden, digital stereo model ölçümleri sırasında operatör tarafından çok kaba hatalı ölçülen 11 karşılaştırma noktası ve digital ortofoto ölçümlerinde ise 14 karşılaştırma noktası çıkartılmış ve digital topografik haritanın doğruluk araştırmasında 135 karşılaştırma noktalı, digital ortofoto haritanınkinde ise 132 karşılaştırma noktalı üçer adet veri kümesi kullanılmıştır. 6.2 eşitlikleri kullanılarak herbir veri kümesinin ayrı ayrı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri bulunmuştur.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon}{n} \quad (6.2)$$

$$s = \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$$

$\bar{x}$: Veri kümesinin ortalama değeri

n : Veri kümesinin eleman sayısı

ε : Farklar

s : Veri kümesinin standart sapma değeri

[vv] : Düzeltmelerin karelerinin toplamı

İzmir proje alanındaki 1:25000 ölçekli pilot digital topografik harita için bulunan değerler aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{array}{lll} \bar{X}_{t25} = -0.172 \text{ m} & S_{x_{t25}} = 1.270 \text{ m} & n_{t25} = 135 \\ \bar{Y}_{t25} = -0.457 \text{ m} & S_{y_{t25}} = 1.529 \text{ m} & n_{t25} = 135 \\ \bar{Z}_{t25} = -0.372 \text{ m} & S_{z_{t25}} = 1.271 \text{ m} & n_{t25} = 135 \end{array}$$

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$: Veri kümelerinin ortalama değerleri

t_{25} : 1:25000 ölçekli harita veri kümeleri

S_x, S_y, S_z : Veri kümelerinin standart sapma değerleri

n_{t25} : 1:25000 ölçekli topografik haritaya ait veri kümelerinin eleman sayısı

Aynı proje alanındaki 1:25000 ölçekli digital ortofoto harita için bulunan değerler de aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{array}{lll} \bar{X}_{o25} = -0.585 \text{ m} & S_{x_{o25}} = 1.637 \text{ m} & n_{o25} = 132 \\ \bar{Y}_{o25} = -0.234 \text{ m} & S_{y_{o25}} = 1.566 \text{ m} & n_{o25} = 132 \\ \bar{Z}_{o25} = -0.516 \text{ m} & S_{z_{o25}} = 1.523 \text{ m} & n_{o25} = 132 \end{array}$$

o_{25} : 1:25000 ölçekli ortofoto harita veri kümeleri

n_{o25} : 1:25000 ölçekli ortofoto haritaya ait veri kümelerinin eleman sayısı

İstanbul proje alanında da İzmir proje alanındakine benzer olarak 6.1 eşitlikleri kullanılarak 101 elemanlı $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ veri kümeleri oluşturulmuştur. 11 adet karşılaştırma noktasının, hem digital stereo model ölçümlerinde hem de digital ortofoto ölçümlerinde kaba hatalı olduğu görülmüş ve bu noktalar veri kümelerinden çıkartılarak, 90 adet veri ile işlemlere devam edilmiştir. 6.2 eşitlikleri kullanılarak 1:5000 ölçekli digital topografik haritaya ait veri kümeleri için aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

$X_{t5} = 0.375 \text{ m}$	$Sx_{t5} = 0.995 \text{ m}$	$n_{t5} = 90$
$\bar{Y}_{t5} = 0.303 \text{ m}$	$Sy_{t5} = 0.805 \text{ m}$	$n_{t5} = 90$
$\bar{Z}_{t5} = 0.315 \text{ m}$	$Sz_{t5} = 0.605 \text{ m}$	$n_{t5} = 90$

İstanbul proje alanının 1:5000 ölçekli digital ortofoto harita veri kümelerine ait değerler de aşağıda gösterilmiştir:

$\bar{X}_{o5} = 0.479 \text{ m}$	$Sx_{o5} = 1.036 \text{ m}$	$n_{o5} = 90$
$\bar{Y}_{o5} = 0.205 \text{ m}$	$Sy_{o5} = 1.024 \text{ m}$	$n_{o5} = 90$
$\bar{Z}_{o5} = 0.306 \text{ m}$	$Sz_{o5} = 0.895 \text{ m}$	$n_{o5} = 90$

Her iki proje alanına ait veri kümelerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerinin normal dağılıma uygun olup olmadığının da test edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada Mann-Wald uyum testi kullanılmıştır.

Bu yöntemde veriler, her sınıfın sınıf yığılmaları sabit ve 6.3 eşitliği ile bulunan değere eşit olacak biçimde, farklı genişlikli sınıflara ayrılır.

$$n_i \cong \frac{n}{k} \quad (6.3)$$

Yanılma olasılığı $\alpha=0.05$ için testin gücü $\gamma=\max$ olur. Söz konusu test yönteminin sınıf sayısı aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$k = \sqrt{n} + 3 \quad (6.4)$$

Sınıfların bağıl yığılmalarının kuramsal değerleri de eşit olur, 6.5 eşitliklerinden hesaplanır:

$$p = \frac{1}{k} \quad n_p = \text{sabit} \quad (6.5)$$

Dağılım fonksiyonunun

$$\phi(z_i)=i.p \quad i=1,2,\dots,k \quad (6.6)$$

değerlerine karşılık gelen standartlaştırılmış rastgele değişkenin elemanları normal dağılım cetvellerinden alındıktan sonra sınıf sınırları

$$x_i = z_i.s + \bar{x} \quad (6.7)$$

eşitliğinden hesaplanır. Kuramsal sınıf yığılmaları $n.p=\text{sabit}$ olduğundan test büyüklüğü (χ_0^2)

$$\chi_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i.p)^2}{n.p} \quad (6.8)$$

bağıntısından elde edilir [30].

Bu uyum testi için iki hipotez vardır. Bunlar:

- $H_0 : X - N(\bar{x}, s)$ irdelenen veriler ortalama değeri $\bar{x}$, deneysel standart sapması s olan normal dağılımlıdır.
- H_s : İrdelenen veriler normal dağılımlı değildir.

Eğer veri kümesinin test büyüklük değeri (χ_0^2), test büyüklüğünün sınır değerinden ($\chi_{f,1-\alpha}^2$) daha küçük ise H_0 hipotezi, değilse H_s hipotezi geçerlidir. Test büyüklüğünün sınır değeri f ($f=k-3$) serbestlik derecesi ile $1-\alpha$ istatistiki güven aralığı için X^2 istatistik tablosundan bulunur.

Uyum testinin eşitlikleri her iki proje alanındaki bütün veri kümelerine uygulanmış ve her veri kümesi için χ_0^2 test büyüklükleri hesaplanmıştır. Bütün veri kümelerinin χ_0^2 test büyüklükleri, $\chi_{f,1-\alpha}^2$ test büyüklük sınırları içinde kalmıştır. Sonuç olarak

oluşturulan bütün veri kümelerinin ortalaması $\bar{x}$ ve deneysel standart sapması s olan normal dağılımlı oldukları görülmüştür. Diğer bir deyişle bütün veri kümeleri için H_0 hipotezinin geçerli olduğu ortaya konmuştur (EK A, EK B, EK C, EK D).

Uyum testi tamamlandıktan sonra her bir proje alanındaki pilot digital topografik ve ortofoto haritalar için 6.9 eşitliği ile planimetrik doğruluk ve yükseklik doğrulukları hesaplanmıştır.

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad 6.9$$

İzmir proje alanındaki 1:25 000 ölçekli digital haritalar için bu değerler aşağıda gösterilmiştir.

$$m_{p_{25}} = \pm 1.988 \text{ m.}$$

$$m_{z_{25}} = \pm 1.271 \text{ m.}$$

$$m_{p_{025}} = \pm 2.265 \text{ m.}$$

$$m_{z_{025}} = \pm 1.523 \text{ m.}$$

İstanbul proje alanında üretilen 1:5 000 ölçekli digital haritalar için de şu sonuçlar bulunmuştur.

$$m_{p_{15}} = \pm 1.280 \text{ m.}$$

$$m_{z_{15}} = \pm 0.605 \text{ m.}$$

$$m_{p_{05}} = \pm 1.457 \text{ m.}$$

$$m_{z_{05}} = \pm 0.895 \text{ m.}$$

Bu sonuçlar ışığında şunu rahatlıkla söyleyebiliriz ki 1:5 000 ve daha küçük ölçekli digital ortofoto haritaların doğrulukları ile digital topoğrafik haritaların doğrulukları arasında çok küçük farklılıklar bulunmaktadır. Ölçek büyültüğünde ortofoto haritalarda bazı hatalarla karşılaşılması muhtemeldir fakat bu hatalar, genelde çok yüksek binalardaki, köprülerdeki vb. detaylardaki konum kayıklığı olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde bu hataların ortadan kaldırılabilmesi için çeşitli çözüm yolları üzerindeki çalışmalar devam etmektedir ve yakın gelecekte başarıya ulaşılabileceği tahmin edilmektedir.

Doğrulukları açısından karşılaştırıldığında digital ortofotolar ile topoğrafik haritaların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür fakat üretim zamanı ile maliyet açısından bir karşılaştırma yapılırsa durum ne olur?

Bu çalışmada, digital ortofoto ve topoğrafik harita üretiminde harcanan süreler hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Digital topoğrafik harita üretim aşamalarında harcanan süreler.

SIRA NO	ÜRETİM AŞAMALARI	SÜRE (İŞ GÜNÜ)
1	Fotoğrafların taranması ve fotogrametrik nirengi işlemleri	2
2	İç yöneltme ve stereo model oluşturma işlemleri	1
3	Detay değerlendirme	10
4	SYM verilerinin toplanması ve editlenmesi	5
5	SYM verilerinden otomatik olarak eş yükseklik eğrilerinin çizdirilmesi ve editlenmesi	2
6	Vektör verilerini editleme, kontrol ve eş yükseklik eğrileri ile birleştirme işlemleri	2
	TOPLAM	22

Tablo 6.2 Digital ortofoto harita üretim aşamalarında harcanan süreler.

SIRA NO	ÜRETİM AŞAMALARI	SÜRE (İŞ GÜNÜ)
1	Fotoğrafların taranması ve fotogrametrik nirengi işlemleri	2
2	İç yöneltme ve stereo model oluşturma işlemleri	1
3	SYM verilerinin toplanması ve editlenmesi	5
4	SYM verilerinden otomatik olarak eş yükseklik eğrilerinin çizdirilmesi ve editlenmesi	2
5	Düseye çevirme ile ortofoto görüntü oluşturma işlemleri	0.25
6	Mozaikleme, lejand oluşturma ve eş yükseklik eğrilerinin ortofoto harita ile birleştirilmesi işlemleri	0.5
	TOPLAM	10.75

Zamandan ve insan gücünden tasarruf edilen her kazanç maliyeti o oranda azaltmaktadır. Bu çalışmada; digital ortofoto üretiminde digital topoğrafik haritalara göre zamandan ve insan gücünden 1/2-1/4 oranında bir tasarruf sağlanmıştır.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Digital fotogrametrik sistemlerin beraberinde getirdiği en etkin yenilik ortofoto haritaların üretiminde sağladığı kolaylıklardır.

Bu çalışmada, İzmir proje alanında 1:25 000 ölçekli ve İstanbul proje alanında ise 1:5 000 ölçekli birer adet digital topoğrafik ve digital ortofoto harita üretilmiş ve bunlar doğruluk, maliyet ve üretim zamanı faktörlerine dayanılarak karşılaştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlar; digital fotogrametrik sistemlerin, topoğrafik harita üretiminde de kolaylıklar sağlamakla birlikte ortofoto harita üretiminde çok büyük avantajlar sağladığını göstermiştir.

Yapılan uygulamanın sonucunda, 1:25000 ölçekli digital ortofotonun ve digital topoğrafik haritaların doğruluğu 2 piksel civarında olup, 1:5000 ölçekli digital ortofoto ve digital topoğrafik haritaların doğrulukları ise 1 piksel değerine yakın çıkmıştır. Her iki ölçektede ortofotoların 1m. (1 piksel=1m.) çözünürlüğünde üretildiği gözönüne alınırsa digital topoğrafik haritalar ile digital ortofoto haritaların doğruluklarının çok yakın olduğu görülmekle birlikte, uygulama sırasında bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunların giderilebilmesi için:

- Digital ortofotoların doğruluğunu etkileyen en önemli bileşenler yer kontrol noktaları ile SYM verilerinin doğruluğudur. Yer kontrol noktaları ortofoto üzerinde optimum sıklıkta ve homojen olarak dağılmalı ve doğrulukları istenen düzeyde olmalıdır.
- SYM verilerinin gerçek arazi yüzeyini temsil edebilmesi için mutlaka morfolojik yapılar ayrıca ölçülmeli ve yazılımlar bu bölge ve noktaları özel olarak değerlendirebilmelidirler.
- Engebeli arazilerde ve ormanlık alanlarda, SYM verilerinin toplanmasında operatörün yorumu önem kazanmaktadır. Tamamen operatörün yorumuna bırakılan kırık-çizgilerinin belirlenmesinin SYM verilerinin doğruluğuna büyük

etkisi olduğundan, operatörlere bu konuda eğitim verilmeli ve özen göstermeleri sağlanmalıdır.

Yapılan uygulama çalışmalarının sonuçlarına bakıldığında ortofoto harita üretiminde pafta bazında yaklaşık 11 günlük bir kazanç olduğu görülmektedir. Pratikte digital ortofoto harita üretimi daha kısa zamanda da gerçekleştirilebilmektedir. Ortofoto harita üretimi için yapılan uçuşlar genelde bir resimle bir pafta kapatılacak şekilde planlanmakta ve ayrıca mevcut arşiv SYM verileri (örneğin Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen YÜKPAF ve DTED verileri) de kullanılabilir. Bu durumda digital ortofoto harita üretiminde harcanan süreler daha da azalmaktadır.

Her geçen süre, personel maliyeti ve alet amortisman maliyetidir. Digital ortofoto haritaların üretimi, digital topoğrafik haritaların üretim zamanının 1/2-1/4 oranında daha az bir zamanda ve daha az insan gücü ile gerçekleştirildiğine göre maliyeti de bu oranda daha az olmaktadır.

Digital ortofoto haritaların kullanımı ilk bakışta kolay gibi görünmekle beraber fotoğraftan detay teşhisi bilgi ve tecrübesine ihtiyaç göstermektedir. Ortofoto haritalar üzerinde kullanıcıya kolaylık sağlayan vektör veriler bulunmamaktadır, diğer bir deyişle kullanıcı için bir başkası, bu fotoğrafı değerlendirmemiştir. Bunun bir sonucu olarak operatörün detay değerlendirme aşamasındaki teşhis hataları ortadan kalkmış ve bütünleme çalışmalarına (isimlendirme hariç) gerek kalmamıştır. Kısaca söylemek gerekirse; ortofoto haritalarda ,eş yükseklik eğrileri ve isimler hariç fotoğraf tüm çıplaklığıyla kullanıcının hizmetindedir.

Digital topoğrafik haritalarla karşılaştırıldığında, özellikle 1:5 000 ve daha küçük ölçekli haritalama çalışmalarında digital ortofoto haritalar; yeterli doğrulukta, kaliteli, kullanışlı, etkin, ucuz ve hızlı çözümler olarak bir adım öne geçmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wolf,R.P.**, 1974, Elements of Photogrammetry, McGraw-Hill, KOGAKUSHA, LTD, Japan.
- [2] **Kraus, K. And Waldhausl, P.**, 1993, Photogrammetry, Volume 1, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- [3] **Finsterwalder, F., Çev. Aytaç, M. Ve Altan, M.O. Ve Örmeci, C.**, 1983, Fotogrametri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [4] **Torlegard, K.**, 1988, Some Photogrammetric Experiments with Digital Image Processing, ISPRS88.
- [5] **Gruen, A.W.**, 1988, Digital Photogrammetric Processing Systems Current Status and Prospects, ISPRS88.
- [6] **Lue, Y.**, 1997, Journal of Remote Sensing, Volume 52., 3, 103.
- [7] **Castleman, K. R.**, 1995, Digital Image Processing, California Institute of Technology, California.
- [8] **Torlegard, K.**, 1998, Data Acquisition in Digital Photogrammetry, Symposium on digital Photogrammetry, İ.T.Ü., İstanbul.
- [9] **Heipke, C.**, 1996, Overview of Image Matching Techniques, Official Publication, OEEPE.
- [10] **Fritsch, D.**, 1995, Journal of Photogrammetry&Remote Sensing, Volume 49, 1, 118.
- [11] **Cogan, L.**, 1998, Kern DSP-1 Digital Photogrammetric System, ISPRS88.
- [12] **Visser, B.**, 1988, Production and Application of Orthophotographs, ISPRS88.
- [13] **Ölçücüoğlu, N.**, Fotogrametri Ders Notları II, Basılmamış.
- [14] **Burnside, C. D.**, 1988, Mapping From Aerial Photographs, ISPRS88.
- [15] **Koyuncu, D.**, Ortofoto Ders Notları, Basılmamış.
- [16] **Gerhard, A.**, 1991, Digital Orthoprojection, Scanning, Handling and Processing of Aerial Images, Ebner/Fritsch/Heipke Digital Photogrammetric Systems, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe.

- [17] **Altan, M. O.**, 1998, Why Digital?, Symposium on digital Photogrammetry, İ.T.Ü., İstanbul.
- [18] **Boniface, P. R.**, 1996, State of the Art in Softcopy Photogrammetry, Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry, ASPRS.
- [19] **Mayr, W.**, 1997, Bemerkungen zum Potential Digitaler Photogrammetrischer Systeme, PGF, Heft 6, 347-355.
- [20] **Leberl, F. W.**, 1996, Practical Concerns in Softcopy Photogrammetry Processing System, Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry, ASPRS.
- [21] **Demirel, H.**, 1998, Digital Ortografotlarda Sayısal Arazi Modellerinin Doğruluğu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [22] **Steiner, D. R.**, 1991, Digital Orthophoto Production on a Microcomputer: A Prototype System, Technical Papers ACSM-ASPRS Annual Convention American Congress on Surveying and Mapping, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda.
- [23] **Mikuni, A.**, 1996, Digital Orthophotos: Production, Mosaicking and Hardcopy, Digital Photogrammetry, An Addendum to Manual of Photogrammetry, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland.
- [24] **Özer, H.**, 1989, Sayısal Arazi Modeli Oluşturma Yöntemleri, Harita Dergisi, 102, 15-22.
- [25] **Mehlo, H.**, 1996, Photogrammetric Scanners, C. Zeiss, Germany.
- [26] **PATB**, 1995, PATB User's Manual, C. Zeiss, Germany.
- [27] **PATB-RS**, 1994, Inpho PATB-RS Bundle Block Adjustment, Product Information, Stuttgart.
- [28] **PHODIS**, Photogrammetric Image Processing System, Production of Digital Orthophotos and Output of Digital Images, C. Zeiss, Germany.
- [29] **Softplotter**, Spatial Data Production for Professional Mapping, USA.
- [30] **Öztürk, E. ve Şerbetçi, M.**, 1992, Dengeleme Hesabı, Cilt III, Trabzon.



EKLER

EK A

Tablo A.1 İzmir test bölgesinin digital topoğrafik veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları.

SINIF NO	$\Phi_{(zi)}$	Z	Ex				Ey				Ez			
			X	ni	ni-np	(ni-np) ²	X	ni	ni-np	(ni-np) ²	X	ni	ni-np	(ni-np) ²
	0,00													
1,00				8,00	-1,45	2,10		8,00	-1,45	2,10		4,00	-5,45	29,70
	0,07	-1,48	-2,05				-2,72				-2,25			
2,00				9,00	-0,45	0,20		6,00	-3,45	11,90		10,00	0,55	0,30
	0,14	-1,08	-1,54				-2,11				-1,74			
3,00				10,00	0,55	0,30		10,00	0,55	0,30		13,00	3,55	12,60
	0,21	-0,81	-1,20				-1,70				-1,40			
4,00				13,00	3,55	12,60		8,00	-1,45	2,10		16,00	6,55	42,90
	0,28	-0,58	-0,91				-1,34				-1,11			
5,00				9,00	-0,45	0,20		13,00	3,55	12,60		11,00	1,55	2,40
	0,35	-0,39	-0,67				-1,05				-0,87			
6,00				9,00	-0,45	0,20		12,00	2,55	6,50		8,00	-1,45	2,10
	0,42	-0,20	-0,43				-0,76				-0,63			
7,00				9,00	-0,45	0,20		10,00	0,55	0,30		7,00	-2,45	6,00
	0,49	-0,03	-0,21				-0,50				-0,41			
8,00				12,00	2,55	6,50		15,00	5,55	30,80		14,00	4,55	20,70
	0,56	0,15	0,02				-0,23				-0,18			
9,00				10,00	0,55	0,30		8,00	-1,45	2,10		7,00	-2,45	6,00
	0,63	0,33	0,25				0,05				0,05			
10,00				4,00	-5,45	29,70		9,00	-0,45	0,20		5,00	-4,45	19,80
	0,70	0,52	0,49				0,34				0,29			
11,00				15,00	5,55	30,80		8,00	-1,45	2,10		11,00	1,55	2,40
	0,77	0,74	0,77				0,67				0,57			
12,00				9,00	-0,45	0,20		13,00	3,55	12,60		10,00	0,55	0,30
	0,84	0,99	1,09				1,06				0,89			
13,00				6,00	-3,45	11,90		5,00	-4,45	19,80		7,00	-2,45	6,00
	0,91	1,34	1,53				1,59				1,33			
14,00				12,00	2,55	6,50		10,00	0,55	0,30		12,00	2,55	6,50
	1,00													
TOPLAM=				135,00		101,74	135,00		103,74		135,00		157,74	
TEST BUYUKLUGU (χ^2_0)=						10,77				10,98				16,69
TEST BÜYÜKLÜĞÜNÜN SINIR DEĞERİ ($\chi^2_{11,0.95}$)=						19.675				19.675				19.675

EK B

Tablo B.1 İzmir test bölgesinin digital ortofoto veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları.

SINIF NO	$\Phi_{(z)}$	Z	X	Ex			X	Ey			X	Ez		
				ni	ni-np	(ni-np) ²		ni	ni-np	(ni-np) ²		ni	ni-np	(ni-np) ²
	0,00													
1,00				9,00	-0,24	0,06		11,00	1,76	3,10		8,00	-1,24	1,54
	0,07	-1,48	-3,01				-2,55				-2,77			
2,00				10,00	0,76	0,58		7,00	-2,24	5,02		8,00	-1,24	1,54
	0,14	-1,08	-2,35				-1,93				-2,16			
3,00				4,00	-5,24	27,46		8,00	-1,24	1,54		11,00	1,76	3,10
	0,21	-0,81	-1,91				-1,50				-1,75			
4,00				10,00	0,76	0,58		5,00	-4,24	17,98		6,00	-3,24	10,50
	0,28	-0,58	-1,53				-1,14				-1,40			
5,00				8,00	-1,24	1,54		8,00	-1,24	1,54		14,00	4,76	22,66
	0,35	-0,39	-1,22				-0,84				-1,11			
6,00				12,00	2,76	7,62		11,00	1,76	3,10		12,00	2,76	7,62
	0,42	-0,20	-0,91				-0,55				-0,82			
7,00				8,00	-1,24	1,54		12,00	2,76	7,62		9,00	-0,24	0,06
	0,49	-0,03	-0,63				-0,28				-0,56			
8,00				14,00	4,76	22,66		15,00	5,76	33,18		11,00	1,76	3,10
	0,56	0,15	-0,34				0,00				-0,29			
9,00				11,00	1,76	3,10		16,00	6,76	45,70		8,00	-1,24	1,54
	0,63	0,33	-0,04				0,28				-0,01			
10,00				9,00	-0,24	0,06		6,00	-3,24	10,50		8,00	-1,24	1,54
	0,70	0,52	0,27				0,58				0,28			
11,00				11,00	1,76	3,10		6,00	-3,24	10,50		9,00	-0,24	0,06
	0,77	0,74	0,63				0,92				0,61			
12,00				7,00	-2,24	5,02		6,00	-3,24	10,50		7,00	-2,24	5,02
	0,84	0,99	1,04				1,32				0,99			
13,00				9,00	-0,24	0,06		10,00	0,76	0,58		9,00	-0,24	0,06
	0,91	1,34	1,61				1,86				1,52			
14,00				10,00	0,76	0,58		11,00	1,76	3,10		12,00	2,76	7,62
	1,00													
TOPLAM=				132,00		73,93		132,00		153,93		132,00		65,93
TEST BUYUKLUGU (χ^2_0)=						7,82				16,29				6,98
TEST BÜYÜKLÜĞÜNÜN SINIR DEĞERİ ($\chi^2_{11,0.95}$)=						19.675				19.675				19.675

EK C

Tablo C.1 İstanbul test bölgesinin digital topoğrafik veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları.

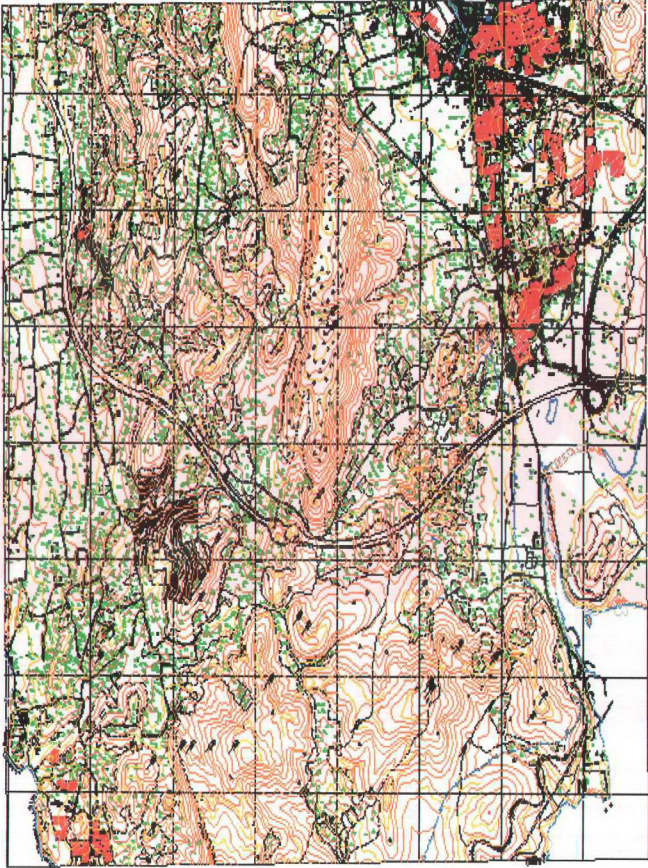
SINIF NO	$\Phi_{(zi)}$	Z	X	Ex			X	Ey			X	Ez		
				ni	ni-np	(ni-np) ²		ni	ni-np	(ni-np) ²		ni	ni-np	(ni-np) ²
	0,00													
1,00				5.00	-2.47	6.10		1.00	-6.47	41.86		3.00	-4.47	19.98
	0,08	-1,41	-1.03				-0.83				-0.54			
2,00				12.00	4.53	20.52		12.00	4.53	20.52		9.00	1.53	2.34
	0,16	-1,00	-0.62				-0.50				-0.29			
3,00				7.00	-0.47	0.22		12.00	4.53	20.52		11.00	3.53	12.46
	0,24	-0,71	-0.33				-0.27				-0.11			
4,00				5.00	-2.47	6.10		6.00	-1.47	2.16		6.00	-1.47	2.16
	0,32	-0,47	-0.09				-0.08				0.03			
5,00				8.00	0.53	0.28		7.00	-0.47	0.22		7.00	-0.47	0.22
	0,40	-0,25	0.13				0.10				0.16			
6,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		10.00	2.53	6.40
	0,48	-0,05	0.33				0.26				0.28			
7,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28
	0,56	0,15	0.52				0.42				0.41			
8,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28
	0,64	0,36	0.73				0.59				0.53			
9,00				12.00	4.53	20.52		11.00	3.53	12.46		9.00	1.53	2.34
	0,72	0,58	0.95				0.77				0.67			
10,00				4.00	-3.47	12.04		6.00	-1.47	2.16		8.00	0.53	0.28
	0,80	0,84	1.21				0.98				0.82			
11,00				10.00	2.53	6.40		7.00	-0.47	0.22		7.00	-0.47	0.22
	0,88	1,17	1.54				1.24				1.02			
12,00				3.00	-4.47	19.98		4.00	-3.47	12.04		4.00	-3.47	12.04
	1,00													
TOPLAM=				90		93.01		90		113		90		59
TEST BÜYÜKLÜĞÜ (χ^2_0)=						12.45				15.12				7.90
TEST BÜYÜKLÜĞÜNÜN SINIR DEĞERİ ($\chi^2_{11,0.95}$)=						16,919				16,919				16,919

EK D

Tablo D.1 İstanbul test bölgesinin digital ortofoto veri kümelerinin Mann-Wald uyum testi sonuçları.

			Ex				Ey				Ez			
SINIF NO	$\Phi_{(zi)}$	Z	X	ni	ni-np	(ni-np) ²	X	ni	ni-np	(ni-np) ²	X	ni	ni-np	(ni-np) ²
	0,00													
1,00				5.00	-2.47	6.10		9.00	1.53	2.34		8.00	0.53	0.28
	0,08	-1,41	-0.98				-1.24				-0.96			
2,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		9.00	1.53	2.34
	0,16	-1,00	-0.56				-0.82				-0.59			
3,00				3.00	-4.47	19.98		6.00	-1.47	2.16		7.00	-0.47	0.22
	0,24	-0,71	-0.26				-0.52				-0.33			
4,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		5.00	-2.47	6.10
	0,32	-0,47	-0.01				-0.28				-0.11			
5,00				8.00	0.53	0.28		4.00	-3.47	12.04		9.00	1.53	2.34
	0,40	-0,25	0.22				-0.05				0.08			
6,00				11.00	3.53	12.46		6.00	-1.47	2.16		7.00	-0.47	0.22
	0,48	-0,05	0.43				0.15				0.26			
7,00				6.00	-1.47	2.16		9.00	1.53	2.34		9.00	1.53	2.34
	0,56	0,15	0.63				0.36				0.44			
8,00				13.00	5.53	30.58		4.00	-3.47	12.04		7.00	-0.47	0.22
	0,64	0,36	0.85				0.57				0.63			
9,00				9.00	1.53	2.34		11.00	3.53	12.46		4.00	-3.47	12.04
	0,72	0,58	1.08				0.80				0.83			
10,00				6.00	-1.47	2.16		8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28
	0,80	0,84	1.35				1.07				1.06			
11,00				5.00	-2.47	6.10		9.00	1.53	2.34		9.00	1.53	2.34
	0,88	1,17	1.69				1.40				1.35			
12,00				8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28		8.00	0.53	0.28
	1,00													
TOPLAM=				90		83.011		90		49.011		90		29.011
TEST BUYUKLUGU (χ^2_0)=						11.11				6.56				3.89
TEST BÜYÜKLÜĞÜNÜN SINIR DEĞERİ ($\chi^2_{11,0.95}$)=						16,919				16,919				16,919

EK E

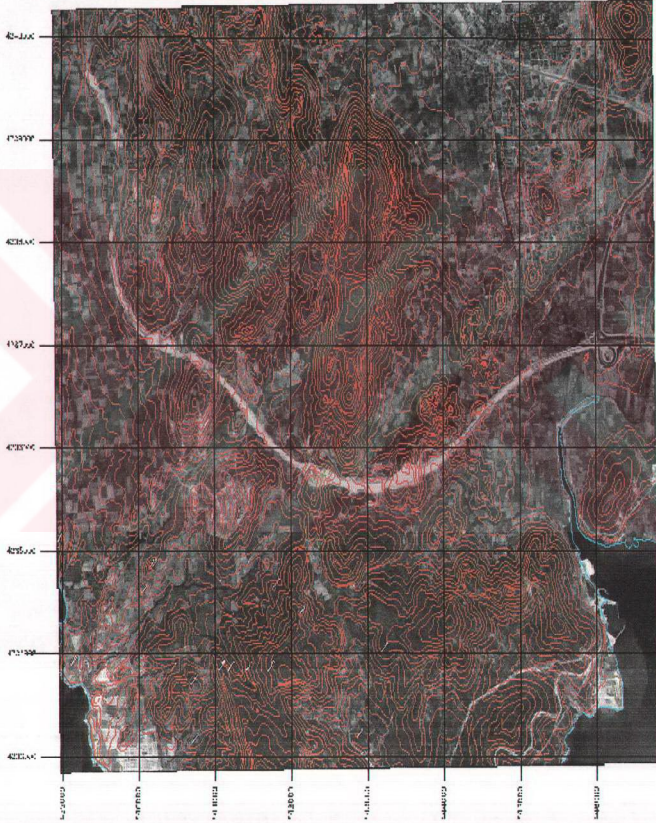


Şekil E.1 İzmir test bölgesinin 1:25 000 ölçekli digital topoğrafik haritası.

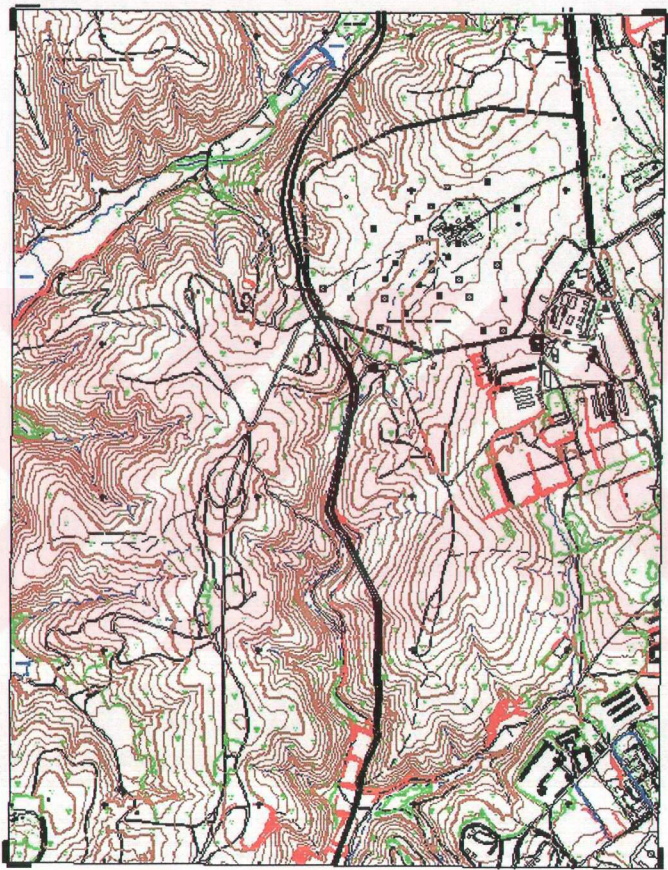
EK F

PROJE BOLGESI

(ORTOFOTO HARITA)



Şekil F.1 İzmir test bölgesinin 1:25 000 ölçekli digital ortofoto haritası.



Şekil G.1 İstanbul test bölgesinin 1:5 000 ölçekli digital topoğrafik haritası.

EK H



Şekil H.1 İstanbul test bölgesinin 1:5 000 ölçekli digital ortofoto haritası.

ÖZGEÇMİŞ

Oktay EKER, 1972 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk öğrenimini Mehmetçik İlkokulu’nda, orta öğreniminide Eskişehir Anadolu Lisesi’nde 1987 yılında tamamladı. Aynı yıl Kuleli Askeri Lisesi’nde öğrenimine başladı ve 1990 yılında buradan mezun olarak Kara Harp Okulu’nda öğrenimine devam etti. 1994 yılında Kara Harp Okulu’ndan Harita Subayı olarak mezun olarak M.S.B. Harita Yüksek Teknik Okulu’nda iki yıl süreyle mühendislik öğrenimi gördü.

1996 yılında Harita Yüksek Teknik Okulu’ndan Harita Mühendisi diploması alarak aynı yıl Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi’nde göreve başladı ve halen aynı dairede Sayısal Kıymetlendirme Kontrol Subayı olarak görevine devam etmektedir..