

ÖZET

Geleneksel fotogrametri problemlerine yönelik olarak, son yirmi yılda ortaya çıkan teknikler ve pek çok yeni ekipman fotogrametrinin uygulama alanını yeni ve farklı sahalara yaymıştır. Temel teoriler ve uygulamalar hala geçerlidir. Ancak, bilgisayar ve elektronik alanındaki gelişmeler, geleneksel problemlerin, özelden sayısal arazi modeli ve sayısal ortofoto üretimi probleminin daha etkin biçimde çözümüne imkan vermiştir.

Tüm beklentileri karşılayacak nitelikte tek bir sayısal arazi modelinden ve ortofoto haritadan bahsetmek mümkün değildir. Beklentileri karşılayacak ürünü elde etmek için en uygun yöntem seçilmelidir. Jeodezik ve fotogrametrik teknikler kullanarak yüksek kalitede bir sayısal arazi modeli oluşturmak mümkündür. Ancak bunlar, üretim süresi ve maliyet açısından da değerlendirilmek durumundadırlar.

Bu çalışmada, sayısal arazi modeli üretiminde, kabul görmüş bir teknik olan otomatik korelasyon metodunun, arazi türüne bağlı olarak, büyük ölçekli ortofoto üretiminde kullanılabilirliği ele alınarak, karşılaşılabilecek olası problemler ve çözümleri incelenmiştir. Zemini iyi görebilmenin mümkün olmadığı çalılık, ağaçlık ve yoğun yerleşimli bölgelerde istenen doğrulukta sonuçlar için otomatik korelasyon yöntemi uygun metot olarak gözükmemiştir.

Açık ve fazla eğimli olmayan arazilerde de otomatik korelasyon yöntemi denenmiş, ‘breakline’lar ile desteklenen arazi modelinin, sayısal fotogrametrik sistemlerde üç boyutlu kontrolü ve düzeltilmesi ile sonuç üründe kaliteden ödün vermeksizin üretim süresinin yaklaşık % 60-70 oranında azaldığı görülmüştür.

Ortofoto üretimi birden fazla model alanı için aynı anda yapılmış, doğal arazi yüzeyinden farklı yüksekliklere sahip san’at yapılarına ait yükseklik bilgilerinin “feature” olarak programa girilmesi ile gerekli bölgenin “true ortofoto”su doğrudan elde edilmiştir. Radyometrik düzeltmeler yapılmış, sonuç ürüne ait ortofoto piramitleri oluşturularak ortofotoların büyük ölçekli harita kullanımı gerektiren projelerde ve konuma dayalı bilgi sistemlerinde etkin olarak kullanıma sunulmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler; Sayısal Arazi Modeli, Ortofoto, Korelasyon Metodu, Eşleştirme, Etkileşimli Düzeltme, Kırılma Çizgisi,

SUMMARY

In last two decades, many new techniques and equipment related with conventional photogrammetry problems have been announced and they bring photogrammetry applications to new and different areas. Basic theories and applications are still valid. But, developments on computers and electronics make more efficiency on producing of DTM and digital orthophotos.

It is difficult to generate unique DTM and digital orthophoto for all technical needs. Optimal specifications should be chosen. By using geodesic and photogrammetric methods, it is possible to generate high precision DTM's. But, production time and cost should be taken into consideration.

In this paper, automatic correlation method; an approved method for automatic terrain extraction (ATE) has been studied for large scale orthophoto production. Different terrain types tested, probable problems and their solutions have been searched. Within ground obscured areas and dense housing areas automatic terrain extraction has not been seen a right method to achieve expected accuracy.

On open areas with slight slope, ATE method has been applied. DTM has been supported with elevation information of break lines and edited interactively on softcopy photogrammetry workstations. Decreasing in production time 70 % with expected quality has been achieved.

Digital orthophoto production has been executed on multi model area and by including information of elevation for artificial details such as buildings and viaducts to DTM the true orthophoto has been produced directly. Radiometric corrections have been applied and digital orthophoto pyramids have been generated. It can be stated that such orthophotos are suitable for large scale map related projects and geographical information systems.

Keywords; Digital Terrain Model, Orthophoto, Correlation Method, Matching, Interactive Editing, Break line, Resolution

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, değerli yardım ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim BAZ hocama, her konudaki katkılarından ötürü Emi Harita Bilgi İşlem Ltd. yönetimine ve uzman kadrosuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Fotogrametri’de İlkler	2
1.2. Ülkemizde Fotogrametrik Çalışmalar Açısından İlkler	2
1.3. Fotogrametrinin Tarihçesi	3
2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI	4
2.1. Fotogrametrinin Matematik Esasları	4
2.1.1. Geometrik ve Analitik Esaslar	4
3. RÖDRESMAN (DÜŞEYE ÇEVİRME)	8
3.1. Sayısal Röдресman	10
3.1.1. Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları	12
3.1.2. Diferansiyel Düşeye Çevirme	14
4. ORTOFOTO	16
4.1. Ortofoto	16
4.2. Sayısal Ortofoto	16
4.2.1. Sayısal Ortofoto Üretiminde Ön İşlemler	18
4.2.2. Ortofotonun Üretimi	25
4.3. Sayısal Ortofotoların Kalitesine Etki Eden Faktörler ve Kalite Kontrolü	31
4.3.1. Kameranın Kalitesi ve Odak Uzaklığı	31
4.3.2. Fotoğraftan Sonuç Ürüne Yapılan Büyütme	32
4.3.3. Görüntü Kalitesi	32
4.3.4. Sayısal Arazi Modelinin Doğrulukteki Rolü	33
4.3.5. SAM Yoğunluğu	34

4.3.6. Kalite Kontrolü	35
5. SAYISAL ARAZİ MODELİ	36
5.1. Tanım	36
5.2. Sayısal Arazi Modellerinin Kullanım Alanları	37
5.3. Sayısal Arazi Modeli Yapıları	38
5.3.1. Raster Yapı	38
5.3.2. Üçgen Yapı	39
5.4. SAM’de Dayanak Noktaları	39
5.5. Genel Olarak Veri Toplama Yöntemleri	40
5.5.1. Jeodezik Yöntemler	41
5.5.2. Kartoğrafik Yöntemler	42
5.5.3. Fotogrametrik Yöntemler	43
5.5.3.1. Klasik Fotogrametri Yöntemi	43
5.5.3.2. Otomatik Korelasyon Yöntemi	44
5.6. Otomatik Korelasyon Yöntemiyle SAM Oluşturulması	45
5.6.1. Eşlenik Noktaların Bulunması (Görüntü Eşleştirme)	47
5.6.2. Görüntü Eşleştirmede Temel Problemler	49
5.6.3. Eşleştirme Yöntemleri	51
5.6.4. Yüzey Oluşturma	56
5.6.5. Kontrol ve Düzeltme	58
5.7. Harita Projelerinde Sayısal Arazi Modeli	59
5.7.1. Sayısal Arazi Modelinden Eşyükseklik Eğrilerinin Enterpolasyonu	59
5.7.2. Ortofoto Harita Üretiminde Sayısal Arazi Modeli	60
5.7.3. Sayısal Haritaların Güncelleştirilmesinde Sayısal Arazi Modeli	62
5.7.4. Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	63
5.7.5. Sayısal Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	65
5.7.6. Sayısal Arazi Modelinin Doğruluğu	67
6. SAYISAL ORTOFOTONUN KULLANIM ALANLARI	69
7. SAYISAL ORTOFOTO VERİTABANLARININ YÖNETİMİ	72
7.1. Ortofoto Havuzu (Tabaka Mozaik)	75
8. ORTOFOTO BASKI İŞLEMLERİ	77
9. KULLANILAN YAZILIM ve DONANIMLAR	78

9.1. SocetSET ATE (3.2.) Otomatik Sayısal Arazi Modeli Üretim Programı	78
9.2. SocetSET Programı İçin Donanım Konfigurasyon Örneği (NT)	80
10. UYGULAMA	81
10.1.Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi	97
11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER	
EK-1	
EK-2	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
SAM	Sayısal Arazi Modeli
ATE	Automated Terrain Extraction
ITE	Interactive Terrain Extraction
ISPRS	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1. Merkezi İzdüşüm	5
3.1. Arazideki Yükseklik Farkları Nedeniyle Işınsal Ötelemeler	12
4.1. Sayısal Ortofoto Üretimi Akış Şeması	18
4.2. Fotogrametrik Projelerde Kullanılan Yüksek Performanslı Tarayıcılar	19
4.3. Hava Fotoğraflarının Fotoğraf Çekim Anındaki Durumları ve SAM Kullanılarak Piksellerin Gerçek Konumlarına Çekilmesi	24
4.4. Bir Hava Fotoğrafı ve Harita Farklı İzdüşümlere Sahiptir	25
4.5. Sayısal Ortofoto Geometrik Düzeltme İşlem Adımları	26
4.6. Sayısal Fotoğraf Pikselini Ortofoto Pikseline Dönüştürme İşlemi	27
4.7. Sabit Nokta Hesaplama Prensipleri ve Orta Dereceli Nokta Enterpolasyonu	28
4.8. Ortofoto Pikselinin Fotoğraf Piksellerinden Yeniden Elde Edilmesi.	29
5.1. Arazi Modelinde Breakline Etkisi	36
5.2. Sayısal Arazi Modeli Yapıları: (A) Raster, (B) Üçgen Yapılı SAM	38
5.3. Hiyerarşik Görüntü Piramitleri	44
5.4. Epipolar Düzlem ve Epipolar Çizgi	45
5.5. SAM Noktalarının Stereo Modelden Otomatik Olarak Elde Edilmeleri Görüntü Eşleştirmesi Yöntemleri ile Mümkündür	49
5.6. Belirlenen Şablonun Eşleştirme Penceresi Üzerinde Değişimi	52
5.7. Görüntü Eşleştirmesinde Tüm Kenarların Eşzamanlı Eşleştirilmesi	56
5.8. Rölyef Gösterimli Sayısal Arazi Modeli (GYTE Çayırova Kampüsü)	57
5.9. Yükseklik Noktalarından Arazi Modeli Noktalarının Enterpolasyonu	57
5.10. Yatay Paralaks ve Yükseklik Doğruluğu	61
5.11. Yükseklik Doğruluğu	63
7.1. Ortofoto Havuzu Olarak İsimlendirilebilecek Görüntü Veritabanı	75
7.2. “Ortofoto Havuzu’nda İşlem Adımları	76
10.1a. Mozaik Oluşturulurken “Seamline Editor” İle Ortak Bölgelerde Hangi Görüntülerin Kullanılacağı Seçilmelidir	83
10.1.b. Düzeltilmiş “Seamline” ile Elde Edilen Ortofoto.	83
10.2.a. Radyometrik Düzeltme Uygulanmamış Ortofoto.	84
10.2.b. Yapılan Radyometrik Düzeltmenin Ortofotonun Görünümüne Etkisi	84

10.3. Bitki Örtüsü ve Bina Üzerlerinden Geçen SAM Özel Projelerde Kullanılabilir.	85
10.4. Açık Arazide Arazi Yüzeyinden Geçen Korelasyon Yüzeyi, Binaların Olduğu Bölgede Bina Üzerinden Geçerek 15 m’lik Sapma Oluşturmuştur	86
10.5. Açık Arazide Oto korelasyon İle Üretilen SAM’in Kıymetlendirme Operatörünün Derlediği Sayısal Harita İle Uyumlu Olduğu ve Doğru Ortofoto Elde Edildiği Görülmektedir.	86
10.6. Beşiktaş Ortaköy Viyadükünün True Ortofoto Öncesi Hali SAM Hatasının Ortofoto Üzerindeki Etkisi.	87
10.7. a.Bina ve Viyadük Gibi Yapılara Ait Yükseklik Bilgileri Ortofoto Programa Girildiğinde “True Ortophoto” Elde Edilir.	88
10.7.b. “True Ortophoto” İşleminde % 90 İleri Bindirme ile Çekilmiş Fotograflara İhtiyaç Vardır.	89
10.8. Birinci Çalışma Bölgesine Ait Sonuç Ortofoto	90
10.9. İkinci Uygulama Bölgesinin Rölyef Gösterimli Arazi Modeli	91
10.10. Otomatik Korelasyon Metoduyla Oluşturulan SAM Kullanılarak Üretilen Ortofoto Haritanın Kartografik Detaylarla Uyumu.	93
10.11. Otomatik Korelasyon Metoduyla Elde Edilen ve Gerekli Düzeltme Aşamalarından Geçen SAM ile Üretilen Ortofoto.	94
10.12. Üzerine Seçilmiş Kartografik Bilgilerin Eklendiği Ortofoto Harita	95
10.13. Ortofotoda Çözünürlük	96

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
3.1. Düşeye Çevirmede Olabilecek Maksimum Yükseklik Farkları	14
4.1 Farklı Tarama Çözünürlüklerinde, 23×23 Cm Boyutlarındaki Fotoğrafların Karşılaştırılması.	21
4.2. Renkli Tarama Yapılması Durumunda Piksel ve Dosya Boyutlarının Karşılaştırılması	21
5.1 Elektronik Takeometrelerde Doğruluk	41
5.2 Karşılaştırma Yöntemleri, Benzerlik Ölçmeleri ve Karşılaştırma Olguları Arasındaki İlişki.	49
5.3. Çeşitli Ölçeklerde Eşyükseklik Eğrisi Aralıkları	60
5.4 Nokta Nokta Sayısallaştırmada Yükseklik Doğrulukları	65
5.5. Çeşitli Kameralar İçin Seçilebilecek Piksel Boyutları ve Bir Resmin Kaplayacağı Alan	66
9.1. Otomatik Arazi Modeli Çıkarımı ve Ortfoto Üretimi Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar	78
10.1. Otomatik Korelasyon Metodu (ATE) ile Sayısal Arazi Modeli Çıkarılmasında İşlem Adımları ve Zamanlama	97

ÖZET

Geleneksel fotogrametri problemlerine yönelik olarak, son yirmi yılda ortaya çıkan teknikler ve pek çok yeni ekipman fotogrametrinin uygulama alanını yeni ve farklı sahalara yaymıştır. Temel teoriler ve uygulamalar hala geçerlidir. Ancak, bilgisayar ve elektronik alanındaki gelişmeler, geleneksel problemlerin, özelden sayısal arazi modeli ve sayısal ortofoto üretimi probleminin daha etkin biçimde çözümüne imkan vermiştir.

Tüm beklentileri karşılayacak nitelikte tek bir sayısal arazi modelinden ve ortofoto haritadan bahsetmek mümkün değildir. Beklentileri karşılayacak ürünü elde etmek için en uygun yöntem seçilmelidir. Jeodezik ve fotogrametrik teknikler kullanarak yüksek kalitede bir sayısal arazi modeli oluşturmak mümkündür. Ancak bunlar, üretim süresi ve maliyet açısından da değerlendirilmek durumundadırlar.

Bu çalışmada, sayısal arazi modeli üretiminde, kabul görmüş bir teknik olan otomatik korelasyon metodunun, arazi türüne bağlı olarak, büyük ölçekli ortofoto üretiminde kullanılabilirliği ele alınarak, karşılaşılabilecek olası problemler ve çözümleri incelenmiştir. Zemini iyi görebilmenin mümkün olmadığı çalılık, ağaçlık ve yoğun yerleşimli bölgelerde istenen doğrulukta sonuçlar için otomatik korelasyon yöntemi uygun metot olarak gözükmemiştir.

Açık ve fazla eğimli olmayan arazilerde de otomatik korelasyon yöntemi denenmiş, ‘breakline’lar ile desteklenen arazi modelinin, sayısal fotogrametrik sistemlerde üç boyutlu kontrolü ve düzeltilmesi ile sonuç üründe kaliteden ödün vermeksizin üretim süresinin yaklaşık % 60-70 oranında azaldığı görülmüştür.

Ortofoto üretimi birden fazla model alanı için aynı anda yapılmış, doğal arazi yüzeyinden farklı yüksekliklere sahip san’at yapılarına ait yükseklik bilgilerinin “feature” olarak programa girilmesi ile gerekli bölgenin “true ortofoto”su doğrudan elde edilmiştir. Radyometrik düzeltmeler yapılmış, sonuç ürüne ait ortofoto piramitleri oluşturularak ortofotoların büyük ölçekli harita kullanımı gerektiren projelerde ve konuma dayalı bilgi sistemlerinde etkin olarak kullanıma sunulmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler; Sayısal Arazi Modeli, Ortofoto, Korelasyon Metodu, Eşleştirme, Etkileşimli Düzeltme, Kırılma Çizgisi,

SUMMARY

In last two decades, many new techniques and equipment related with conventional photogrammetry problems have been announced and they bring photogrammetry applications to new and different areas. Basic theories and applications are still valid. But, developments on computers and electronics make more efficiency on producing of DTM and digital orthophotos.

It is difficult to generate unique DTM and digital orthophoto for all technical needs. Optimal specifications should be chosen. By using geodesic and photogrammetric methods, it is possible to generate high precision DTM's. But, production time and cost should be taken into consideration.

In this paper, automatic correlation method; an approved method for automatic terrain extraction (ATE) has been studied for large scale orthophoto production. Different terrain types tested, probable problems and their solutions have been searched. Within ground obscured areas and dense housing areas automatic terrain extraction has not been seen a right method to achieve expected accuracy.

On open areas with slight slope, ATE method has been applied. DTM has been supported with elevation information of break lines and edited interactively on softcopy photogrammetry workstations. Decreasing in production time 70 % with expected quality has been achieved.

Digital orthophoto production has been executed on multi model area and by including information of elevation for artificial details such as buildings and viaducts to DTM the true orthophoto has been produced directly. Radiometric corrections have been applied and digital orthophoto pyramids have been generated. It can be stated that such orthophotos are suitable for large scale map related projects and geographical information systems.

Keywords; Digital Terrain Model, Orthophoto, Correlation Method, Matching, Interactive Editing, Break line, Resolution

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, değerli yardım ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim BAZ hocama, her konudaki katkılarından ötürü Emi Harita Bilgi İşlem Ltd. yönetimine ve uzman kadrosuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Fotogrametri’de İlkler	2
1.2. Ülkemizde Fotogrametrik Çalışmalar Açısından İlkler	2
1.3. Fotogrametrinin Tarihçesi	3
2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI	4
2.1. Fotogrametrinin Matematik Esasları	4
2.1.1. Geometrik ve Analitik Esaslar	4
3. RÖDRESMAN (DÜŞEYE ÇEVİRME)	8
3.1. Sayısal Röдресman	10
3.1.1. Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları	12
3.1.2. Diferansiyel Düşeye Çevirme	14
4. ORTOFOTO	16
4.1. Ortofoto	16
4.2. Sayısal Ortofoto	16
4.2.1. Sayısal Ortofoto Üretiminde Ön İşlemler	18
4.2.2. Ortofotonun Üretimi	25
4.3. Sayısal Ortofotoların Kalitesine Etki Eden Faktörler ve Kalite Kontrolü	31
4.3.1. Kameranın Kalitesi ve Odak Uzaklığı	31
4.3.2. Fotoğraftan Sonuç Ürüne Yapılan Büyütme	32
4.3.3. Görüntü Kalitesi	32
4.3.4. Sayısal Arazi Modelinin Doğrulukta Rölü	33
4.3.5. SAM Yoğunluğu	34

4.3.6. Kalite Kontrolü	35
5. SAYISAL ARAZİ MODELİ	36
5.1. Tanım	36
5.2. Sayısal Arazi Modellerinin Kullanım Alanları	37
5.3. Sayısal Arazi Modeli Yapıları	38
5.3.1. Raster Yapı	38
5.3.2. Üçgen Yapı	39
5.4. SAM’de Dayanak Noktaları	39
5.5. Genel Olarak Veri Toplama Yöntemleri	40
5.5.1. Jeodezik Yöntemler	41
5.5.2. Kartoğrafik Yöntemler	42
5.5.3. Fotogrametrik Yöntemler	43
5.5.3.1. Klasik Fotogrametri Yöntemi	43
5.5.3.2. Otomatik Korelasyon Yöntemi	44
5.6. Otomatik Korelasyon Yöntemiyle SAM Oluşturulması	45
5.6.1. Eşlenik Noktaların Bulunması (Görüntü Eşleştirme)	47
5.6.2. Görüntü Eşleştirmede Temel Problemler	49
5.6.3. Eşleştirme Yöntemleri	51
5.6.4. Yüzey Oluşturma	56
5.6.5. Kontrol ve Düzeltme	58
5.7. Harita Projelerinde Sayısal Arazi Modeli	59
5.7.1. Sayısal Arazi Modelinden Eşyükseklik Eğrilerinin Enterpolasyonu	59
5.7.2. Ortofoto Harita Üretiminde Sayısal Arazi Modeli	60
5.7.3. Sayısal Haritaların Güncelleştirilmesinde Sayısal Arazi Modeli	62
5.7.4. Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	63
5.7.5. Sayısal Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	65
5.7.6. Sayısal Arazi Modelinin Doğruluğu	67
6. SAYISAL ORTOFOTONUN KULLANIM ALANLARI	69
7. SAYISAL ORTOFOTO VERİTABANLARININ YÖNETİMİ	72
7.1. Ortofoto Havuzu (Tabaka Mozaik)	75
8. ORTOFOTO BASKI İŞLEMLERİ	77
9. KULLANILAN YAZILIM ve DONANIMLAR	78

9.1. SocetSET ATE (3.2.) Otomatik Sayısal Arazi Modeli Üretim Programı	78
9.2. SocetSET Programı İçin Donanım Konfigurasyon Örneği (NT)	80
10. UYGULAMA	81
10.1.Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi	97
11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER	
EK-1	
EK-2	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
SAM	Sayısal Arazi Modeli
ATE	Automated Terrain Extraction
ITE	Interactive Terrain Extraction
ISPRS	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1. Merkezi İzdüşüm	5
3.1. Arazideki Yükseklik Farkları Nedeniyle Işınsal Ötelemeler	12
4.1. Sayısal Ortofoto Üretimi Akış Şeması	18
4.2. Fotogrametrik Projelerde Kullanılan Yüksek Performanslı Tarayıcılar	19
4.3. Hava Fotoğraflarının Fotoğraf Çekim Anındaki Durumları ve SAM Kullanılarak Piksellerin Gerçek Konumlarına Çekilmesi	24
4.4. Bir Hava Fotoğrafı ve Harita Farklı İzdüşümlere Sahiptir	25
4.5. Sayısal Ortofoto Geometrik Düzeltme İşlem Adımları	26
4.6. Sayısal Fotoğraf Pikselini Ortofoto Pikseline Dönüştürme İşlemi	27
4.7. Sabit Nokta Hesaplama Prensipleri ve Orta Dereceli Nokta Enterpolasyonu	28
4.8. Ortofoto Pikselinin Fotoğraf Piksellerinden Yeniden Elde Edilmesi.	29
5.1. Arazi Modelinde Breakline Etkisi	36
5.2. Sayısal Arazi Modeli Yapıları: (A) Raster, (B) Üçgen Yapılı SAM	38
5.3. Hiyerarşik Görüntü Piramitleri	44
5.4. Epipolar Düzlem ve Epipolar Çizgi	45
5.5. SAM Noktalarının Stereo Modelden Otomatik Olarak Elde Edilmeleri Görüntü Eşleştirmesi Yöntemleri ile Mümkündür	49
5.6. Belirlenen Şablonun Eşleştirme Penceresi Üzerinde Değişimi	52
5.7. Görüntü Eşleştirmesinde Tüm Kenarların Eşzamanlı Eşleştirilmesi	56
5.8. Rölyef Gösterimli Sayısal Arazi Modeli (GYTE Çayırova Kampüsü)	57
5.9. Yükseklik Noktalarından Arazi Modeli Noktalarının Enterpolasyonu	57
5.10. Yatay Paralaks ve Yükseklik Doğruluğu	61
5.11. Yükseklik Doğruluğu	63
7.1. Ortofoto Havuzu Olarak İsimlendirilebilecek Görüntü Veritabanı	75
7.2. “Ortofoto Havuzu’nda İşlem Adımları	76
10.1a. Mozaik Oluşturulurken “Seamline Editor” İle Ortak Bölgelerde Hangi Görüntülerin Kullanılacağı Seçilmelidir	83
10.1.b. Düzeltilmiş “Seamline” ile Elde Edilen Ortofoto.	83
10.2.a. Radyometrik Düzeltme Uygulanmamış Ortofoto.	84
10.2.b. Yapılan Radyometrik Düzeltmenin Ortofotonun Görünümüne Etkisi	84

10.3. Bitki Örtüsü ve Bina Üzerlerinden Geçen SAM Özel Projelerde Kullanılabilir.	85
10.4. Açık Arazide Arazi Yüzeyinden Geçen Korelasyon Yüzeyi, Binaların Olduğu Bölgede Bina Üzerinden Geçerek 15 m’lik Sapma Oluşturmuştur	86
10.5. Açık Arazide Oto korelasyon İle Üretilen SAM’in Kıymetlendirme Operatörünün Derlediği Sayısal Harita İle Uyumlu Olduğu ve Doğru Ortofoto Elde Edildiği Görülmektedir.	86
10.6. Beşiktaş Ortaköy Viyadükünün True Ortofoto Öncesi Hali SAM Hatasının Ortofoto Üzerindeki Etkisi.	87
10.7. a.Bina ve Viyadük Gibi Yapılara Ait Yükseklik Bilgileri Ortofoto Programa Girildiğinde “True Ortophoto” Elde Edilir.	88
10.7.b. “True Ortophoto” İşleminde % 90 İleri Bindirme ile Çekilmiş Fotograflara İhtiyaç Vardır.	89
10.8. Birinci Çalışma Bölgesine Ait Sonuç Ortofoto	90
10.9. İkinci Uygulama Bölgesinin Rölyef Gösterimli Arazi Modeli	91
10.10. Otomatik Korelasyon Metoduyla Oluşturulan SAM Kullanılarak Üretilen Ortofoto Haritanın Kartografik Detaylarla Uyumu.	93
10.11. Otomatik Korelasyon Metoduyla Elde Edilen ve Gerekli Düzeltme Aşamalarından Geçen SAM ile Üretilen Ortofoto.	94
10.12. Üzerine Seçilmiş Kartografik Bilgilerin Eklendiği Ortofoto Harita	95
10.13. Ortofotoda Çözünürlük	96

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
3.1. Düşeye Çevirmede Olabilecek Maksimum Yükseklik Farkları	14
4.1 Farklı Tarama Çözünürlüklerinde, 23×23 Cm Boyutlarındaki Fotoğrafların Karşılaştırılması.	21
4.2. Renkli Tarama Yapılması Durumunda Piksel ve Dosya Boyutlarının Karşılaştırılması	21
5.1 Elektronik Takeometrelerde Doğruluk	41
5.2 Karşılaştırma Yöntemleri, Benzerlik Ölçmeleri ve Karşılaştırma Olguları Arasındaki İlişki.	49
5.3. Çeşitli Ölçeklerde Eşyükseklik Eğrisi Aralıkları	60
5.4 Nokta Nokta Sayısallaştırmada Yükseklik Doğrulukları	65
5.5. Çeşitli Kameralar İçin Seçilebilecek Piksel Boyutları ve Bir Resmin Kaplayacağı Alan	66
9.1. Otomatik Arazi Modeli Çıkarımı ve Ortfoto Üretimi Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar	78
10.1. Otomatik Korelasyon Metodu (ATE) ile Sayısal Arazi Modeli Çıkarılmasında İşlem Adımları ve Zamanlama	97

ÖZET

Geleneksel fotogrametri problemlerine yönelik olarak, son yirmi yılda ortaya çıkan teknikler ve pek çok yeni ekipman fotogrametrinin uygulama alanını yeni ve farklı sahalara yaymıştır. Temel teoriler ve uygulamalar hala geçerlidir. Ancak, bilgisayar ve elektronik alanındaki gelişmeler, geleneksel problemlerin, özelde sayısal arazi modeli ve sayısal ortofoto üretimi probleminin daha etkin biçimde çözümüne imkan vermiştir.

Tüm beklentileri karşılayacak nitelikte tek bir sayısal arazi modelinden ve ortofoto haritadan bahsetmek mümkün değildir. Beklentileri karşılayacak ürünü elde etmek için en uygun yöntem seçilmelidir. Jeodezik ve fotogrametrik teknikler kullanarak yüksek kalitede bir sayısal arazi modeli oluşturmak mümkündür. Ancak bunlar, üretim süresi ve maliyet açısından da değerlendirilmek durumundadırlar.

Bu çalışmada, sayısal arazi modeli üretiminde, kabul görmüş bir teknik olan otomatik korelasyon metodunun, arazi türüne bağlı olarak, büyük ölçekli ortofoto üretiminde kullanılabilirliği ele alınarak, karşılaşılabilecek olası problemler ve çözümleri incelenmiştir. Zemini iyi görebilmenin mümkün olmadığı çalılık, ağaçlık ve yoğun yerleşimli bölgelerde istenen doğrulukta sonuçlar için otomatik korelasyon yöntemi uygun metot olarak gözükmemiştir.

Açık ve fazla eğimli olmayan arazilerde de otomatik korelasyon yöntemi denenmiş, ‘breakline’lar ile desteklenen arazi modelinin, sayısal fotogrametrik sistemlerde üç boyutlu kontrolü ve düzeltilmesi ile sonuç üründe kaliteden ödün vermeksizin üretim süresinin yaklaşık % 60-70 oranında azaldığı görülmüştür.

Ortofoto üretimi birden fazla model alanı için aynı anda yapılmış, doğal arazi yüzeyinden farklı yüksekliklere sahip san’at yapılarına ait yükseklik bilgilerinin “feature” olarak programa girilmesi ile gerekli bölgenin “true ortofoto”su doğrudan elde edilmiştir. Radyometrik düzeltmeler yapılmış, sonuç ürüne ait ortofoto piramitleri oluşturularak ortofotoların büyük ölçekli harita kullanımı gerektiren

projelerde ve konuma dayalı bilgi sistemlerinde etkin olarak kullanıma sunulmasının mümkün olduğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler; Sayısal Arazi Modeli, Ortofoto, Korelasyon Metodu, Eşleştirme, Etkileşimli Düzeltme, Kırılma Çizgisi,

SUMMARY

In last two decades, many new techniques and equipment related with conventional photogrammetry problems have been announced and they bring photogrammetry applications to new and different areas. Basic theories and applications are still valid. But, developments on computers and electronics make more efficiency on producing of DTM and digital orthophotos.

It is difficult to generate unique DTM and digital orthophoto for all technical needs. Optimal specifications should be chosen. By using geodesic and photogrammetric methods, it is possible to generate high precision DTM's. But, production time and cost should be taken into consideration.

In this paper, automatic correlation method; an approved method for automatic terrain extraction (ATE) has been studied for large scale orthophoto production. Different terrain types tested, probable problems and their solutions have been searched. Within ground obscured areas and dense housing areas automatic terrain extraction has not been seen a right method to achieve expected accuracy.

On open areas with slight slope, ATE method has been applied. DTM has been supported with elevation information of break lines and edited interactively on softcopy photogrammetry workstations. Decreasing in production time 70 % with expected quality has been achieved.

Digital orthophoto production has been executed on multi model area and by including information of elevation for artificial details such as buildings and viaducts to DTM the true orthophoto has been produced directly. Radiometric corrections have been applied and digital orthophoto pyramids have been generated. It can be stated that such orthophotos are suitable for large scale map related projects and geographical information systems.

Keywords; Digital Terrain Model, Orthophoto, Correlation Method, Matching, Interactive Editing, Break line, Resolution

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, değerli yardım ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim BAZ hocama, her konudaki katkılarından ötürü Emi Harita Bilgi İşlem Ltd. yönetimine ve uzman kadrosuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Fotogrametri’de İlkler	3
1.2. Ülkemizde Fotogrametrik Çalışmalar Açısından İlkler	3
1.3. Fotogrametrinin Tarihçesi	4
2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI	5
2.1. Fotogrametrinin Matematik Esasları	5
2.1.1. Geometrik ve Analitik Esaslar	5
3. RÖDRESMAN (DÜŞEYE ÇEVİRME)	9
3.1. Sayısal Röдресman	11
3.1.1. Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları	13
3.1.2. Diferansiyel Düşeye Çevirme	15
4. ORTOFOTO	17
4.1. Ortofoto ve Üretim Aşamaları	17
4.2. Sayısal Ortofoto	17
4.2.1. Sayısal Ortofoto Üretiminde Ön İşlemler	19
4.2.2. Ortofotonun Üretimi	26
4.3. Sayısal Ortofotoların Kalitesine Etkiyen Faktörler ve Kalite Kontrolü	32
4.3.1. Kameranin kalitesi ve odak uzaklığı	32
4.3.2. Fotoğraftan sonuç ürüne yapılan büyütme	33
4.3.3. Görüntü kalitesi	33
4.3.4. Sayısal Arazi Modelinin Doğrulukdaki Rolü	34
4.3.5. SAM Yoğunluğu	35
4.3.6. Kalite Kontrolü	36

5. SAYISAL ARAZİ MODELİ	37
5.1. Tanım	37
5.2. Sayısal Arazi Modellerinin Kullanım Alanları	38
5.3. Sayısal Arazi Modeli Yapıları	39
5.3.1. Raster yapı	39
5.3.2. Üçgen yapı	40
5.4. Dayanak Noktaları	40
5.5. Genel Olarak Veri Toplama Yöntemleri	41
5.5.1. Jeodezik Yöntemler	42
5.5.2. Kartoğrafik Yöntemler	43
5.5.3. Fotogrametrik Yöntemler	44
5.5.3.1. Klasik Fotogrametri Yöntemi	44
5.5.3.2. Otomatik Korelasyon Yöntemi	45
5.6. Otomatik Korelasyon Yöntemi ile SAM Oluşturulması	46
5.6.1. Eşlenik Noktaların Bulunması (Görüntü Eşleştirme)	48
5.6.2. Görüntü Eşleştirmede Temel Problemler	50
5.6.3. Eşleştirme Yöntemleri	52
5.6.4. Yüzey Oluşturma	57
5.6.5. Kontrol ve Düzeltme	59
5.7. Harita Projelerinde Sayısal Arazi Modeli	60
5.7.1. SAM'nden Eşyükseklik Eğrilerinin Enterpolasyonu	60
5.7.2. Ortofoto Harita Üretiminde Sayısal Arazi Modeli	61
5.7.3. Sayısal Haritaların Güncelleştirilmesinde Sayısal Arazi Modeli	63
5.7.4. Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	63
5.7.5. Sayısal Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu	66
5.7.6. Sayısal Arazi Modelinin Doğruluğu	68
6. SAYISAL ORTOFOTONUN KULLANIM ALANLARI	70
7. SAYISAL ORTOFOTO VERİTABANLARININ YÖNETİMİ	73
7.1. Ortofoto Havuzu (Tabaka Mozaik)	76
8. ORTOFOTO BASKI İŞLEMLERİ	78
9. KULLANILAN YAZILIM ve DONANIMLAR	79
9.1. SocetSET ATE Otomatik Sayısal Arazi Modeli Üretim Programı	79
9.2. SocetSET Programı İçin Donanım Konfigurasyon Örneği (NT)	81

10. UYGULAMA	82
10.1.Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi	95
11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	101
EKLER	103
EK-1	104
EK-2	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
SAM	Sayısal Arazi Modeli
ATE	Automated Terrain Extraction
ITE	Interactive Terrain Extraction
ISPRS	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1. Merkezi İzdüşüm	6
3.1. Arazideki Yükseklik Farkları Nedeniyle Işınsal Ötelemeler	13
4.1. Sayısal Ortofoto Üretimi Akış Şeması	19
4.2. Fotogrametrik Projelerde Kullanılan Yüksek Performanslı Tarayıcılar	20
4.3. Hava fotoğraflarının fotoğraf çekim anındaki durumları ve SAM kullanarak piksellerin gerçek konumlarına çekilmesi	25
4.4. Bir Hava Fotoğrafı Ve Harita Farklı İzdüşümlere Sahiptir	26
4.5. Sayısal Ortofoto Geometrik Düzeltme İşlem Adımları	27
4.6. Sayısal Fotoğraf Pikselini Ortofoto Pikseline Dönüştürme İşlemi	28
4.7. Sabit Nokta Hesaplama Prensipleri ve Orta Dereceli Nokta Enterpolasyonu	29
4.8. Ortofoto Pikselinin Fotoğraf piksellerinden Yeniden Elde Edilmesi.	30
5.1 Arazi Modelinde Breakline Etkisi	37
5.2.Sayısal Arazi Modeli Yapıları: (A) Raster, (B) Üçgen Yapılı SAM	39
5.3 Hiyerarşik Görüntü Piramitleri	45
5.4. Epipolar düzlem ve Epipolar çizgi	46
5.5. SAM Noktalarının Stereo Modelden Otomatik Olarak Elde Edilmeleri Görüntü Eşleştirmesi Yöntemleri ile Mümkündür	50
5.6. Belirlenen şablonun eşleştirme penceresi üzerinde değişimi	53
5.7 Görüntü Eşleştirmesinde Tüm Kenarların Eşzamanlı Eşleştirilmesi	56
5.8 Rölyef Gösterimli Sayısal Arazi Modeli (GYTE Çayırova Kampüsü)	58
5.9. Yükseklik Noktalarından Arazi Modeli Noktalarının Enterpolasyonu	58
5.10 Yatay Paralaks Ve Yükseklik Doğruluğu	62
5.11 Yükseklik Doğruluğu	64
7.1. Ortofoto Havuzu Olarak İsimlendirilebilecek Görüntü Veritabanı	76
7.2. “Ortofoto Havuzu”nda İşlem Adımları	77
10.1a. Mozaik Oluşturulurken “Seamline Editor” İle Ortak Bölgelerde Hangi Resimlerin Kullanılacağı Seçilmelidir	84
10.1b. Düzeltilmiş “Seamline” ile Elde Edilen Ortofoto.	84
10.2.a. Radyometrik Düzeltme Uygulanmamış Ortofoto.	84
10.2. b.Radyometrik Düzeltmenin Ortofotonun Görünümüne Etkisi	84

10.3. Bitki Örtüsü ve Bina Üzerlerinden Geçen SAM Özel Projelerde Kullanılabilir.	85
10.4. Açık Arazide Arazi Yüzeyinden Geçen Korelasyon Yüzeyi, Binaların Olduğu Bölgede Bina Üzerinden Geçerek 15m’lik Sapma Oluşturmuştur	86
10.5. Açık Arazide Oto korelasyon İle Üretilen SAM’in Kıymetlendirme Operatörünün Derlediği Sayısal Harita İle Uyumlu Olduğu ve Doğru Ortofoto Elde Edildiği Görülmektedir.	86
10.6. Beşiktaş Ortaköy Viyadükünün True Ortofoto Öncesi Hali SAM Hatasının Ortofoto Üzerindeki Etkisi.	87
10.7. Bina ve Viyadük Yükseklik Bilgileri “Feature” Olarak Programa Girildiğinde “True Ortophoto” Elde Edilir.	88
10.8. Birinci Çalışma Bölgesine Ait Sonuç Ortofoto	89
10.9. İkinci Uygulama Bölgesinin Rölyef Gösterimli Arazi Modeli	90
10.10. Otomatik Korelasyon Metoduyla Oluşturulan SAM Kullanılarak Üretilen Ortofoto Haritanın Kartografik Detaylarla Uyumu.	91
10.11. Otomatik Korelasyon Metoduyla Elde Edilen ve Gerekli Düzeltme Aşamalarından Geçen SAM ile Üretilen Ortofoto.	92
10.12. Üzerine Seçilmiş Kartografik Bilgilerin Eklendiği Ortofoto Harita	93
10.13. Ortofotoda Çözünürlük	94

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
3.1. Düşeye çevirmede olabilecek maksimum yükseklik farkları	15
4.1 Farklı Tarama Çözünürlüklerinde, 23×23 Cm Boyutlarındaki Fotoğrafların Karşılaştırılması.	22
4.2. Renkli Tarama Yapılması Durumunda Piksel ve Dosya Boyutlarının Karşılaştırılması	22
5.1 Elektronik Takeometrelerde Doğruluk	42
5.2 Karşılaştırma yöntemleri, Benzerlik Ölçmeleri ve Karşılaştırma Olguları Arasındaki İlişki.	49
5.3. Çeşitli Ölçeklerde Eşyükseklik Eğrisi Aralıkları	60
5.4 Nokta Nokta Sayısallaştırmada Yükseklik Doğrulukları	66
5.5. Çeşitli Kameralar İçin Seçilebilecek Piksel Boyutları ve Bir Resmin Kaplayacağı Alan	67
9.1. Otomatik Arazi Modeli Çıkarımı ve Ortfoto Üretimi Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar	79
10.1. Otomatik Korelasyon Metodu ile Sayısal Arazi Modeli Çıkarılmasında İşlem Adımları	95

1. GİRİŞ

Son yirmi yılda teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği uygulamalarında sayısal yöntemlerin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Sayısal yöntemlerin sunduğu olanaklar, sağladığı teknik ve ekonomik avantajlar kullanıcıları bu yöntemden giderek daha büyük ölçüde faydalanmaya yöneltmiştir. Bu bağlamda, havai nirengide görüntü eşleştirme, otomatik nokta ölçümü, arazi modeli çıkarımı uygulamaları ve sayısal ortofotolar gibi konular, konuma dayalı bilgilere ihtiyaç duyanların ilgi odaklarını oluşturmuş ve bu sahadaki gelişmeler merakla izlenmiştir.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak, bilgisayar yazılım ve donanım olanakları diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği uygulama alanlarında da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Hava fotoğraflarının sayısal hale dönüştürülmesini mümkün kılan tarayıcı sistemler, bunların görüntülenmesini sağlayan grafik görüntü ekranları, otomatik çizim sistemleri, veri sıkıştırma ve depolama tekniğindeki gelişmeler neticesinde özellikle fotogrametri alanındaki kıymetlendirme çalışmalarında sayısal kıymetlendirme aletleri analitik değerlendirme aletlerinin yerini almaya başlamış ve otomatik korelasyon tekniği havai nirengi ve otomatik arazi modeli oluşturulması çalışmalarında kullanılır hale gelmiştir.

Bu gelişmeler sonrasında sayısal kıymetlendirmenin bir ürünü olan sayısal ortofoto haritalar bir çok ülkede, özellikle konuma bağlı planlama ve yönetim disiplinlerinde standart bir ürün olarak ve coğrafi bilgi sistemlerinin vazgeçilmez grafik altlıkları olarak kabul görmeye başlamıştır.

Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen kullanıcıların her türlü beklentisine cevap verebilecek nitelikte tek bir sayısal arazi modeli oluşturulabilirliğinden ve sayısal ortofoto haritaların üretilebilirliğinden bahsetmek mümkün değildir.

Bu çalışmada, fotogrametri biliminin tarihçesiyle ilgili kısa bilgiler verilerek, sayısal arazi modeli üretiminde, kabul görmüş bir teknik olan otomatik korelasyon metodunun, arazi türüne bağlı olarak, büyük ölçekli ortofoto üretiminde

kullanılabilirliği ele alınmakta, karşılaşılabilecek olası problemler ve bunlarla ilgili çözüm önerileri üzerinde durulmaktadır.

1.1. Fotogrametri’de İlkler

Fotogrametri terimi ilk kez 1855 ’de coğrafyacı Kersten tarafından kullanılmıştır. Bu terim Meydenbaver tarafından 1867 ’de uluslararası literatüre kazandırılmıştır. İlk başvuru kitabı, 1899 ’da Koppe tarafından Almanca olarak yayınlanmıştır. İlk fotoğrafik plançete aleti 1858 ’de Chevallier tarafından; ilk Fototeodolit aleti 1884 ’de Paganini ve daha sonra da 1888 ’de Koppethiele tarafından; ilk stereo değerlendirme aleti de 1908 ’de V.Orel tarafından tasarlanarak üretilmiştir. Anaglif yöntemle stereo görüş ilk kez, 1851 ’de, D’almeida; polarizasyon yöntemi ilk kez, 1891 ’de; stereoskopik ölçme lekeleri ilk kez 1901 ’de C. Pulfrich tarafından gerçekleştirilmiştir. Uçakla havadan fotoğraf çekimi de ilk kez 1909 ’da İtalyanlar tarafından gerçekleştirilmiştir. 1911 ’de Ruslar, İstanbul Boğazının uçakla fotoğraflarını çekmiştir [Yaşayan A.,1997].

1.2. Ülkemizde Fotogrametrik Çalışmalar Açısından İlkler

1927 yılında Almanya dan bir uzman getirilmiş, Zeiss firmasından satın alınan bir stereo autograph, bir rödresman ve bir stereokomparatör aleti ile ilk kez çalışmalar yapılmıştır.

Hava fotogrametrisi yöntemi ile ilk kez 1929 ’da Bonn projeksiyonunda Bergama-Çandarlı paftası üretilmiştir.1936 yılında hava fotogrametrisi uygulamaları genişletilmiş, İstanbul kenti imar planları için gerekli altlıkları sağlamak üzere 1/2500 ölçekli fotoğraflar çekilmiş ve 140km² ’lik bir alanın 1/2000 ölçekli fotoplanları yapılmıştır. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü 1952 yılında Wild firmasından dört adet fotogrametri aleti satın almıştır. Fotogrametrinin özel sektör tarafından da uygulanabilmesi, 203 sayılı yasanın 1986 ’da ki değişikliği ile mümkün olabilmektedir [Yaşayan A.,1997].

1.3. Fotogrametrinin Tarihçesi

1940 yılından başlayıp 1990'a kadar devam eden süreç içinde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin, gereksinim duydukları seri haritalar fotogrametri yöntemi ile üretilmeye başlanmıştır. Arazisi düz olan ülkelerde tek resim değerlendirmesi önem kazanırken, hemen hemen tüm ülkelerde, çizgi-harita üretimi için, analog stereo değerlendirme yöntemi rakipsiz bir yöntem olarak kabul görmüştür. Bu yöntemde, fotoğraf çekim anındakine benzer bir geometri, fotoğraf tarayıcıları ya da projektörlerin üç eksen etrafında döndürülmesiyle (optik mekanik çözümlerle) oluşturulmaktadır. Analog stereo değerlendirme aletlerinden bazılarında, örneğin Topocart 'da söz konusu fotoğraf çekim anı geometrisi fotoğrafların bir düzlem üzerine yerleştirildiği düzenekle ve uzay iz düşüm çubukları yerine iki düzlemdeki bileşenleri kullanılarak sağlanabilmektedir. Bunun için Topocart, analog çözümlü olmasına rağmen yarı analitik alet olarak kabul edilmektedir.

Zaman içinde, teknolojik gelişmelere paralel olarak, analog çözüm yerine analitik çözümün geliştiğini görüyoruz. Bu yöntemde, fotoğraf noktaları ile arazi noktaları arasında matematik ilişkiler kurularak bundan yararlanma yoluna gidilmektedir. Burada doğrusallık ve düzlemsellik şartlarının sağlanacağı izdüşüm denklemleri veya matematiksel ifadelerle fotoğraf çekim anındaki geometri analitik olarak sağlanmakta, dolayısı ile fotoğrafların döndürülmesinin gerekeceği optik-mekanik düzenlemeye gerek kalmadan fotoğrafların bir düzlem üzerinde sabit veya hareketli olacağı bir düzenleme yeterli olabilmektedir. [Baz İ.,2002].

Fotogrametrik çözümlerle ilgili yaşanan bu süreç içerisinde tek ve çift resim değerlendirme için gerekli olan kontrol noktalarının koordinatlarının fotogrametrik yöntemle elde edilmesi yöntemi olan Fotogrametrik Nirengi yönteminde büyük aşamalar kaydedilmiş ve konuyla ilgili tüm teorik ve teknik problemler çözüme kavuşturulmuştur. Bu dönemin sonunda çizgi-harita, artık tek ürün biçimi olmaktan çıkmış, yerini sayısal haritalara bırakmıştır. Ortofoto haritalar da yine bu dönemde ortaya çıkan çok önemli bir sonuç ürün türüdür [Yaşayan A.,1997].

2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI

Fotogrametri, fotografik görüntüleri, elektromagnetik enerji ve diğer fiziksel olayları kayıt, ölçme ve yorumlama suretiyle nesneler ve çevre hakkında güvenilir bilgiler elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisidir diye tanımlanabilir. Bu tanım, son yıllarda büyük gelişmeler gösteren Uzaktan Algılama teriminin ifade ettiği kavramı da büsbütün içermektedir [Yaşayan A.,1997].

Fotogrametri tekniği ile ölçülmek istenen nesnenin ve yakın çevresinin ya da arazinin fotoğrafları çekilmekte, bunların fotoğraf üzerindeki görüntüleri ölçülerek istenen geometrik bilgiler sağlanabilmekte ya da özel aletlerde bu görüntüler harita biçimine dönüştürülebilmektedir.

Fotografik görüntüler metrik bilgilerden başka nesnenin ve yakın çevresinde bulunan arazinin yapısal özellikleri, yüzey örtüsü gibi topoğrafik bilgilerde sağlamaktadır. Ancak bu bilgiler fotografik dokunun yorumlanması ile anlaşılabilir. Bu yorumlama sonucu ortaya çıkan bilgilerde metrik bilgiler kadar önemlidir.

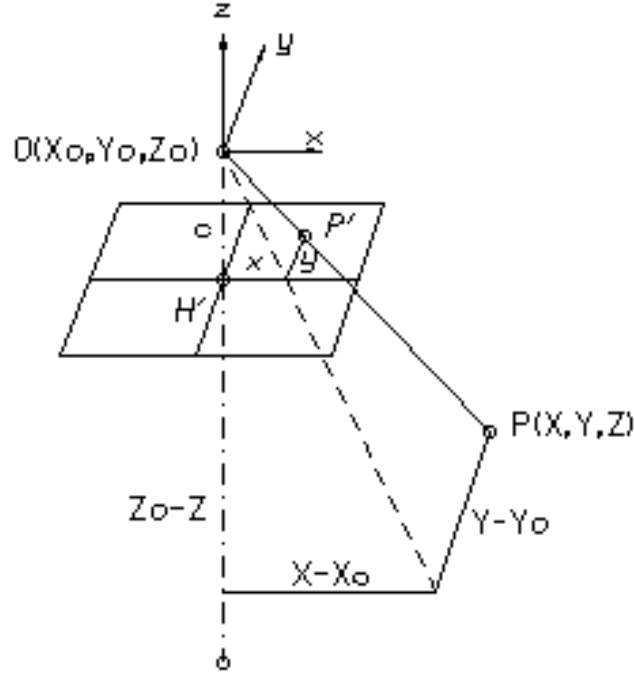
2.1. Fotogrametrinin Matematik Esasları

Normal görüşte olduğu gibi fotoğraf çekimi de fiziksel bir olaydır. Matematiksel bir inceleme için geometri ve analiz yöntemleriyle tanımlanabilen bir modelin kurulması gerekir [R.Finsterwalder, 1955].

2.1.1. Geometrik ve Analitik Esaslar

Fotografik izdüşümün esası merkezi izdüşüme dayanmaktadır. Merkezi izdüşüm, uzaydaki noktaların bir düzleme bu düzlem dışındaki bir noktadan geçen, izdüşüm ışınları olarak tanımlanan doğrular yardımı ile izdüşümüdür. İz düşüren noktalar izdüşüm

ışınları adını almaktadır. Bu ışınlar, Şekil 2.1’de görüleceği gibi, fotoğraf düzlemini P' fotoğraf noktalarında kesmektedir.



Şekil 2.1 Merkezi İzdüşüm

Merkezi izdüşümün analitik tanımlanması için P' fotoğraf noktaları ve bu noktalara karşılık gelen P uzay noktaları arasındaki ilişki belirlenmektedir. Fotoğrafik izdüşümün (merkezsel izdüşümün) özelliklerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür. Bunlar:

- Üç boyutlu uzaydaki bir P noktasına karşılık izdüşüm düzleminde tek bir P' noktası vardır. İzdüşüm düzlemindeki bir P' noktasına karşılık ise $P'O$ izdüşüm ışını üzerinde bulunan sonsuz sayıda nokta karşılık gelir.
- Üç boyutlu uzaydaki bir d doğrusuna karşılık izdüşüm düzleminde bir tek d' doğrusu vardır. İzdüşüm düzlemindeki bir d' doğrusuna karşılık ise d

doğrusu ve O izdüşüm merkezinin belirlediği düzlem üzerindeki sonsuz sayıda doğru parçası karşılık gelir.

Bu iki özellik, tek bir merkezsel izdüşüm ile üç boyutlu uzayın noktalarının bulunamayacağını göstermektedir. Ancak iki boyutlu bir uzayın (bir düzlemin) merkezsel izdüşümü söz konusu ise yukarıdaki iki özelliğin tersleri de geçerlidir. Yani izdüşüm düzlemindeki bir noktaya karşılık bir nokta, bir doğru parçasına karşılıkta bir doğru parçası karşılık gelir.

Buradan şu sonuçları çıkarmak mümkündür;

- 1) Ölçme noktalarının bulunduğu uzay, sözgelimi arazi, üç boyutludur. Öyleyse bu noktaların konumları, (X, Y, Z koordinatları) tek bir fotoğraftan elde edilemez.
- 2) Ölçme uzayındaki noktalar bir düzlemde bulunuyorsa, ölçüm için tek bir fotoğraf yeterlidir. Sözgelimi düz ve yatay bir arazide tek bir hava fotoğrafı ölçmeler için yeterli olacak ve buradan noktaların X, Y koordinatları bulunabilecektir; üçüncü koordinat Z = sabit ve bilinmiyor. Aynı şekilde bir binanın cephesi üzerinde yapılacak ölçümler için de bir tek fotoğraf yeterli olacaktır.
- 3) Ölçüm uzayındaki noktaların konumlarının yani X, Y, Z koordinatlarının bulunması için ikinci bir fotoğraf gereklidir. Böylece aynı noktaya ait iki izdüşüm ışını nesne noktasında kesiştirilir.

Denklem (2.1) ve (2.2) izdüşüm denklemlerinin genel bir durumunu göstermektedir.

$$x_i = -c \frac{a_{11}(X_i - X_o) + a_{12}(Y_i - Y_o) - a_{13}(Z_i - Z_o)}{a_{31}(X_i - X_o) + a_{32}(Y_i - Y_o) - a_{33}(Z_i - Z_o)} \quad (2.1)$$

$$y_i = -c \frac{a_{21}(X_i - X_o) + a_{22}(Y_i - Y_o) - a_{23}(Z_i - Z_o)}{a_{31}(X_i - X_o) + a_{32}(Y_i - Y_o) - a_{33}(Z_i - Z_o)} \quad (2.2)$$

Burada;

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$

; Fotoğraf ω, ϕ, κ dönüklük açılarının trigonometrik fonksiyonlarından ibaret dönüşüm matrisi elemanlarını,

x_i, y_i

; nesne noktası fotoğraf koordinatlarını,

X_i, Y_i, Z_i

; nesne noktası uzay (arazi) koordinatlarını,

X_0, Y_0, Z_0

; fotoğraf izdüşüm merkezi koordinatlarını,

c

; kamera asal uzaklığını ifade etmektedir.

3. RÖDRESMAN (DÜŞEYE ÇEVİRME)

Bir nesnenin tek bir fotoğraftan tersine merkezsel izdüşüm uygulanarak yeniden elde edilmesi nesnenin ancak iki boyutlu nokta dağılımına sahip olduğu bir durum için mümkün olmaktadır. Bir başka ifadeyle bunlar, nesnenin herhangi bir şekilde tam veya parça parça sürekli analitik fonksiyonlar yardımıyla tasvir edilebilen bir yüzeye sahip olması durumunda geçerli olabilmektedir. Bu türden en basit durum nesnenin düzlem olması şeklidir.

Fotogrametrik uygulamalarda bu durumla yatay veya yataya yakın arazinin, düşey veya eğik fotoğraflarının alınması halinde karşılaşılır. Fotoğrafların çekim eğikliğinin giderilerek yataylanmasıyla arazinin plan konumunu veren görüntüye ve dolayısı ile araziye temsil eden haritaya sonuç olarak ulaşabilmek mümkün olabilmektedir. Bununla arazi düzleminin merkezi izdüşümünün perspektif bozulmaları ortadan kaldırdığından bu işleme rödresman (düşeye çevirme) adı verilmektedir. Bu işleme literatürde tek resim değerlendirmesi olarak da rastlamak mümkündür.

Fotogrametri’de değerlendirme sözcüğü, fotoğraflardan harita çizmek, ya da daha önceden yapılmış haritaları bütünlemek, güncelleştirmek anlamına gelir. Fotoğraflardan harita benzeri ürünler üretmek (fotoplan, ortofoto gibi), ya da fotoğraflardan sayısal bilgiler elde etmek değerlendirme kavramı içinde düşünülebilir. Bu değerlendirme işleminin fotoğraflardan tek tek yapılmasına rödresman (düşeye çevirme) adı verilir [Yaşayan A.,1997].

Tamamıyla düz olan arazi yüzeyleri dünya üzerinde hiç bir yerde mevcut değildir. Yer yüzeyinin bir çok bölgesi genellikle çok az olarak ortalama bir arazi düzleminin saptığından, bu sapmaların rödresmandaki tesiri ihmal edilebilir. Bu nedenlerden dolayı rödresman işlemi yalnız nitelik yönünden fotogrametrik harita çiziminin en önemli, yöntemidir. Bu işlem esnasında hava fotoğrafının son derece fazla bilgi hazinesi nokta nokta yeniden elde edilmemekte, bir bütün olarak ele alınıp, optik fotografik olarak iz düşürülmektedir.

Hava fotogrametrisinde, nesnenin düzlem olması arazinin düzlem olması anlamına gelmektedir. Yer yüzeyinde tam düzlem olmasa da, düzleme çok yakın yüzeyler bulunabilir. Bu tür alanlarda tek bir hava fotoğrafı kullanarak, arazinin (X,Y) koordinatları elde edilebilir. Böyle bir değerlendirmenin yapılabilmesi içinde, ilgili hava fotoğrafının dış yöneltme elemanlarının bilinmesi gerekir. Bunlar genelde bilinmediğinden bunların yerine fotoğrafın uygun yerlerine dağılmış, üç yada dört kontrol noktası kullanılır. Kontrol noktaları (X,Y,Z) arazi koordinatları bilinen ve fotoğraf üzerinde seçilebilen belirgin noktalardır. Bu koordinatlar jeodezik yöntemlerle arazide yapılan ölçülerle bulunabileceği gibi, fotogrametrik nirengi yöntemi uygulanarak fotogrametrik yöntemle de bulunulabilir.

Tek fotoğraf değerlendirilmesi (röдресman) şu yöntemlerle yapılmaktadır;

- Çizimsel (grafik) Yöntem / Kağıt-Şerit Yöntemi
- Basit Optik Yöntem
- Optik-Fotografik Yöntem / Optik-Mekanik Röдресman
- Sayısal (analitik) Yöntem

Hangi yöntem uygulanırsa uygulansın aşağıdaki iki koşul muhakkak sağlanmalıdır.

- Arazi düz olmalıdır.
- Fotoğraf üzerinde en az üç kontrol noktası (tercihen fotoğrafın köşelerinde birer kontrol noktası) bulunmalıdır [Yaşayan A.,1997].

Burada sadece bu yöntemlerden günümüze daha yakın olan sayısal röдресman işleminden bahsedilecektir.

3.1. Sayısal Rödresman

Fotoğraf üzerindeki noktaların koordinatlarının ölçülmesi ve bu koordinatlardan arazi koordinatlarının hesaplanması temeline dayanmaktadır.

Fotoğraf koordinatları, fotoğrafın koordinatlarını ölçmek amacıyla üretilmiş komparatör aletleri ile ölçülebileceği gibi, hassasiyeti yeterli olan herhangi bir koordinat ölçme aletinde de ölçülebilir. Ölçülen koordinatlardan X ve Y arazi koordinatlarının bulunabilmesi için kontrol noktalarının da koordinatları ölçülmelidir. Burada, fotoğraf ölçeğinin de arazi noktalarının koordinatlarının belirlenmesinde hassasiyeti etkileyen önemli faktörlerden birisi olduğunu unutmamak gerekir. Sayısal olarak ölçülen koordinatlardan arazi koordinatlarının hesaplanmasında iki farklı yöntem söz konusudur.

- **İzdüşüm denklemleri yardımıyla çözüm**

Denklem (2.1) ve (2.2)' de ifade edilenleri aşağıdaki şekilde yazılabilmek mümkündür.

$$X_i = X_o + (Z_i - Z_o) \frac{a_{11}x_i + a_{12}y_i - a_{13}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (3.1)$$

$$Y_i = Y_o + (Z_i - Z_o) \frac{a_{21}x_i + a_{22}y_i - a_{23}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (3.2)$$

Bu denklemde arazi düz varsayılacağı için, $(Z - Z_o)$ ifadesi uçuş yüksekliği değerine eşit olarak kabul edilebilir. Bu durumda (3.1) ve (3.2) ifadelerini

$$X_i = -h \frac{a_{11}x_i + a_{12}y_i - a_{13}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (3.3)$$

$$Y_i = -h \frac{a_{21}x_i + a_{22}y_i - a_{23}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (3.4)$$

olarak yeniden düzenlemek mümkündür.

Bir fotoğrafta dış yöneltme elemanlarının bilinmesi halinde eşitliğin sağ tarafındaki (x, y) dışındaki tüm katsayılar biliniyor demektir. Böylece fotoğraf koordinatları (x, y) için verilen her noktanın arazi koordinatları (X, Y) hesaplanabilir. Ancak buradaki fotoğraf koordinatları, başlangıç noktası veya merkezsel izdüşüm merkezi (O) olan tanımlanmış özel bir koordinat sistemidir. Bu koordinat sisteminde bir noktanın koordinatları $(x_i, y_i, -c)$ ile ifade edilir. Asal uzaklığın (c) önündeki $(-)$ işareti pozitif fotoğraf durumu içindir. Negatif fotoğraf da bu $(+c)$ ' dir. Eğer iki boyutlu bir fotoğraf koordinatı söz konusu ise, bu koordinat sisteminin başlangıç noktası da H' asal noktasıdır. Bu da şu anlama gelmektedir. Fotoğraf üzerinde ölçülen (u, v) koordinatlarını izdüşüm denklemlerinde kullanabilmek için (x, y) fotoğraf koordinatlarına dönüştürmek gerekir. Bunun içinde her iki sistemde koordinatları bilinen ortak noktalara ihtiyaç vardır. Bu ortak noktalar fotoğraf çerçeve işaretleridir. Metrik kameraların kalibrasyon raporlarında çerçeve işaretlerinin fotoğraf koordinatları verilir. Bunların (u, v) koordinatları da diğer noktalar ile birlikte ölçülürse bu iki sistem arasında “affin” veya “benzerlik” transformasyonu kullanılarak, fotoğrafta ölçülen tüm noktaların (x, y) fotoğraf koordinatları bulunabilir.

Fotoğrafın dış yöneltme elemanları, bir veya iki özel durum dışında genel olarak bilinmez. Bunun için önce bu elemanların hesaplanması gerekmektedir.

(3.1) ve (3.2) denklemlerinde altı dış yöneltme bilinmeyeninin $(X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa)$ çözülebilmesi için en az altı denklemin yazılması gerekmektedir. Üç kontrol noktası ile bu altı denklem oluşturulabilir ve çözüme ulaşılabilir.

- **Projektif dönüşüm formülleri ile çözüm**

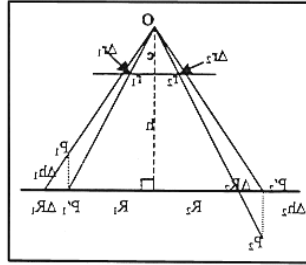
Fotoğraf üzerindeki noktaların ölçülen (u, v) koordinatları ile bu noktaların (X, Y) arazi koordinatları arasındaki matematiksel ilişki başka dönüşüm formülleri ile de sağlanabilir. Ancak bu dönüşüm formüllerinin merkezsel izdüşümünün özelliklerini koruması gerekir. Projektif dönüşüm formülleri ile bu husus sağlanabilmektedir. Fotoğraf koordinatlarından arazi koordinatlarına olan perspektif dönüşümü aşağıdaki bağıntılarla ifade etmek mümkündür.

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{c_1 u + c_2 v + c_3}{c_7 v + c_8 v + 1} \\
 Y &= \frac{c_4 u + c_5 v + c_6}{c_7 u + c_8 v + 1}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Burada önce bilinmeyen parametrelerin ($c_1, c_2, c_3, \dots, c_8$) hesaplanması gerekmektedir. Hesaplanmış en az dört kontrol noktası ile matematiksel olarak, dörtten fazla kontrol noktası ile de dengelemeli olarak çözüme kavuşturulabilmektedir. Bu formüllerde fotoğrafın iç yöneltme elemanlarının da bilinmesine gerek yoktur. Bu da fotoğrafın metrik bir kamera ile çekilme zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır [Yaşayan A.,1997].

3.1.1. Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları

Bir hava fotoğrafının önceden verilen kontrol noktalarına yerleştirilmesindeki belirsizlik ve hataların ana kaynağı, yatay bir arazi düzleminde yükseklik farklarının meydana gelmesidir. Bu durum plan düzlemindeki noktalara göre fotoğraf noktalarının ıııısal olarak ötelenmelerine yol açmaktadır. Şekil 3.1’de karşılaşıması muhtemel durumlar ifade edilmektedir.



Şekil.3.1. Arazideki Yükseklik Farkları Nedeniyle Işııısal Ötelemeler

r ıııısal uzaklığında herhangi bir fotoğraf doğrultusu için ıııısal öteleme değeri

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = (\Delta h / h) * \sqrt{x^2 + y^2} = \Delta h * (r / h)
 \tag{3.6}$$

olarak bulunur.

M_k ölçeği ile düşeye çevirme düzleminde $\Delta r'$ öteleme hatası için;

$$\Delta r' = \Delta h \frac{r'}{h} \quad (3.7)$$

$$r' = \frac{r}{c} M_k h \quad (3.8)$$

$$\Delta r' = \frac{r}{c} M_k \Delta h \quad \text{şekline dönüştürülebilir.} \quad (3.9)$$

Eğer düşeye çevirme düzleminde $\Delta r'_{\max}$ (mm) değerindeki bir maksimum nokta ötelemesine izin verilecek olursa, (3.9)' dan arazide izin verilebilecek maksimum yükseklik farkı $\Delta h_{\max(m)}$ olarak

$$\Delta h_{\max} = \frac{m_k}{1000} \frac{c}{r} \Delta r'_{\max} \quad \text{bulunur.} \quad (3.10)$$

$$\Delta r'_{\max} = 1 \text{ mm ve } \frac{c}{r} \approx 2 \quad \text{için, (normal açılı bir kamera için)}$$

$$\Delta h_{\max} \approx \frac{M_k}{500} \quad \text{ve}$$

$$\frac{c}{r} \approx \frac{3}{2} \quad \text{hali, (geniş açılı bir kamera için)}$$

$$\Delta h_{\max} \approx \frac{M_k}{700} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Düşeye çevirmede normal ve geniş açılı kamera alımları için söz konusu olabilecek maksimum yükseklik farkları örnekleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Düşeye Çevirmede Olabilecek Maksimum Yükseklik Farkları

M_k	$\Delta h_{\max}$	
	Normal açı	Geniş açı
1:5000	10m	7m
1:10000	20m	15m
1:25000	50m	37m
1:50000	100m	75m

Bu tablodan da görülebileceği gibi, düşeye çevirme tekniği yönünden büyük odak uzaklıklı kameralarla alım yapılmış fotoğraflar, geniş açılı kameralarla alım yapılmış olanlara göre daha görülmektedir.

Düşeye çevirmedeki diğer hatalar çekim ve düşeye çevirme objektifi arasındaki distorsiyon farklarından, yöneltmelerin hassasiyetinden veya fotoğraf tabakası taşıyıcısının üniform olmayan büzülmelerinden meydana gelebilir. Bu hataların her birinin aynı anda etkimesi durumunda arazi yükseklik farkları nedeniyle oluşacak ötelenme hatalarını geçmemesi ve sonuçta fotoğraf planında 0.1 mm' den 1.0 mm kadar olan konum doğruluğunun aşılması gerekir.

3.1.2. Diferansiyel Düşeye Çevirme

Genellikle düşeye çevirme yöntemleri yaklaşık olarak düz olan arazinin hava resminin düşeye çevrilmesi ile sınırlandırılmış ve bu yöntemler engebeli bir arazi söz konusu olduğu zaman geçerliliğini kaybetmektedir. Bu nedenle arazilerin tekrar elde edilmesi yani düz olmayan arazinin de aynı fotogrametrik bilgi sıklığı, tamamlılığı ile çabuk ve basit bir şekilde optik olarak düşeye çevrilmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Bu doğrultuda atılan ilk adım, arazi yüzeyinin farklı konum ve eğimde kısmi parçalara ayrılması yaklaşımıdır. Bu şekilde oluşturulan arazi çok yüzlüsü kutu şeklindeki kısmi parçalar halinde tek tek kendi başlarına düşeye çevrilmiş ve bu kısmi

düşeye çevirmelerde fotogrametrik olarak bir planda biraraya getirilmiştir. Her kısmi düşeye çevirme için en azından dört kontrol noktası gereklidir. Bunların komşu kısmi parçalarda da kullanılabilmeleri amacıyla çok yüzlülerin köşe ve kenarlarında bulunması daha uygun bir çalışma olmaktadır. Buna karşılık arazi çalışması son derece artmaktadır. Kutu yöntemi (Facet-Yöntemi) olarak da bilinen bu kısmi düşeye çevirme yöntemi Fransa' da büyük çaptaki kadaströ ön bilgilerinin hazırlanması sırasında kullanılmıştır.

Bu yöntemde, tüm fotoğrafın her defasında küçük parçalarının düşeye çevirme düzlemine iz düşürülmesi gerektiğinden problem optik izdüşüme dönüşmektedir. Hava fotoğrafının iç ve dış yöneltmesi yeniden elde edilebilmektedir. Değişken odak uzaklığı ile her defasında gerekli projeksiyon uzaklığına uydurulan ön sistem, düşeye çevrilmesi gerekli fotoğraf parçasının izdüşümünü sağlamaktadır.

Diferansiyel düşeye çevirme her defasında geçerli projeksiyon ölçeğı, projeksiyon objektifi ve düşeye çevirme düzlemi arasındaki rölatif uzaklığı göre değişken h' uçuş yüksekliğinin ayarlanmasıyla elde edilir. Bu nedenle diferansiyel düşeye çevirme arazi yüksekliklerinin bilinmesini şart koşar. Arazi modelinin diferansiyel olarak ele alınması sistematik bir şekilde paralel şeritlerle yapılır. Düşeye çevirmede bunlara genişlikleri arazi kesitine eşit olan izdüşüm şeritleri karşılık gelir.

Diferansiyel düşeye çevirme işleminde yapılan, fotoğrafın küçük bir parçasını birim eleman olarak kabul edip, düşeye çevirme işlemini bu birimler üzerinde birbirini arkasına gerçekleştirmek ve düzlemdeki veya izdüşüm cismi elemanındaki yükseklik değişimlerine bağılı olarak düşey olarak hareket ettirmektir. En çok rastlanan yapı çizgi şeklinde olandır. Bu da uzunluğu tanımlanmış bir yarıktır. Her eleman için ayrı düşeye çevirme uygulanabilir. Elemana ait arazi yaklaşık olarak eğik bir düzlem olarak kabul edilir.

4. ORTOFOTO

4.1. Ortofoto

İnsan yapımı veya doğal nesne veya detayların yer aldığı geniş arazi kitlelerinin fotoğraflarının / görüntülerinin rektifiye edilmesiyle (düşeylenmesiyle) fotoğraf / görüntü harita oluşturma yöntemine ortofoto denilmekte olup, üretilen haritalara da ortofoto harita denilmektedir [Baz, İ. 2002]. Bir başka deyişle ortofoto; perspektif fotoğraflardaki, fotoğraf eğikliği ve arazideki yükseklik farklarından dolayı görüntü kaymalarının giderilmesi sonucu elde edilmiş, harita gibi belirli bir ölçeği olan fotografik görüntü olarak da tanımlanabilir.

Günümüzde analog ortofoto tekniği, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sebebiyle, yerini sayısal ortofotolara bırakmıştır. Böyle olmakla birlikte, ortofoto kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için kısaca analog yöntemle ortofoto üretimine değinmekte yarar vardır.

Stereo değerlendirme aletinde, stereo model x veya y yönünde belirli bir hızla hareket eden bir fotoğraf kamerası ile sistematik olarak taranır. Bu esnada, ölçü markasının stereo model görüntüdeki arazi yüzeyine teğet olarak hareketi operatör tarafından sağlanmakta, düşeylenmiş ve yükseklik bilgileri kaydedilmiş olan mm^2 ebatlarında küçük alanların fotoğrafları tarama yapan kamera tarafından emisyonlu bir yüzey üzerine çekilmektedir.

Tüm stereo model görüntü bu şekilde taranarak, model alanının düşeylenmiş yeni bir fotografik görüntüsü elde edilebilmekte, gerektiğinde bu görüntü üzerine eş yükselti eğrileri çizilebilmektedir.

4.2. Sayısal Ortofoto

Sayısal ortofotolar, genellikle, arazi yüzeyi yükseklik farklılıkları ve fotoğraf eğiklikleri nedeniyle oluşması muhtemel görüntü distorsiyonlarından arındırılmış veya geometrik olarak düzeltilmiş, bilgisayar uyumlu hava fotoğrafları olarak

tanımlanmaktadır [Baz, İ. 2002]. Bu nedenle sayısal ortofotolar Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veya bilgisayar destekli veri işletimi ve görüntüleme, analiz, güncelleştirme vb. işlemlerinde doğrudan harita katmanı olarak kullanılabilir.

Sayısal ortofoto, esnek, ucuz ve yüksek kaliteli çıktılar vermektedir. Analog teknikte olduğu gibi görüntünün kalitesinde bir azalma olmamaktadır. Analog yöntemde, özellikle renkli görüntülerde karşılaşılan, çözülme kayıpları, doğruluk ve mozaik oluşturmadaki zorluklar sayısal ortofotolarda ortadan kalkmaktadır. Sayısal ortofotolar elektronik olarak hızlı ve kolayca kullanıma sunulabilmektedir.

Bir sayısal ortofoto haritanın, tek bir hava fotoğrafından oluşması tercih edilir. Bu yüzden fotoğraf çekim noktasının pafta merkezinde olması planlanır. Bu uçuş planları, uçuş doğrultusundan olan sapmalar ve hava kamerasının ω , ϕ ve κ dönüklük açıları dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Bazı durumlarda önceden çekilmiş fotoğraflar ortofoto üretimi için kullanılabilirse de genellikle aşağıda belirtilen sınırlamalardan dolayı özel bir uçuş yapmak gerekli olabilir. Bu sınırlamaları;

- Fotoğraf çekme noktalarının coğrafi konumu,
- Düzgün güneş açısı ve film,
- Bilinen odak uzaklığı sınırlandırmaları,
- Uçuş yüksekliği,
- Enine ve boyuna örtü oranı olarak sıralamak mümkündür.

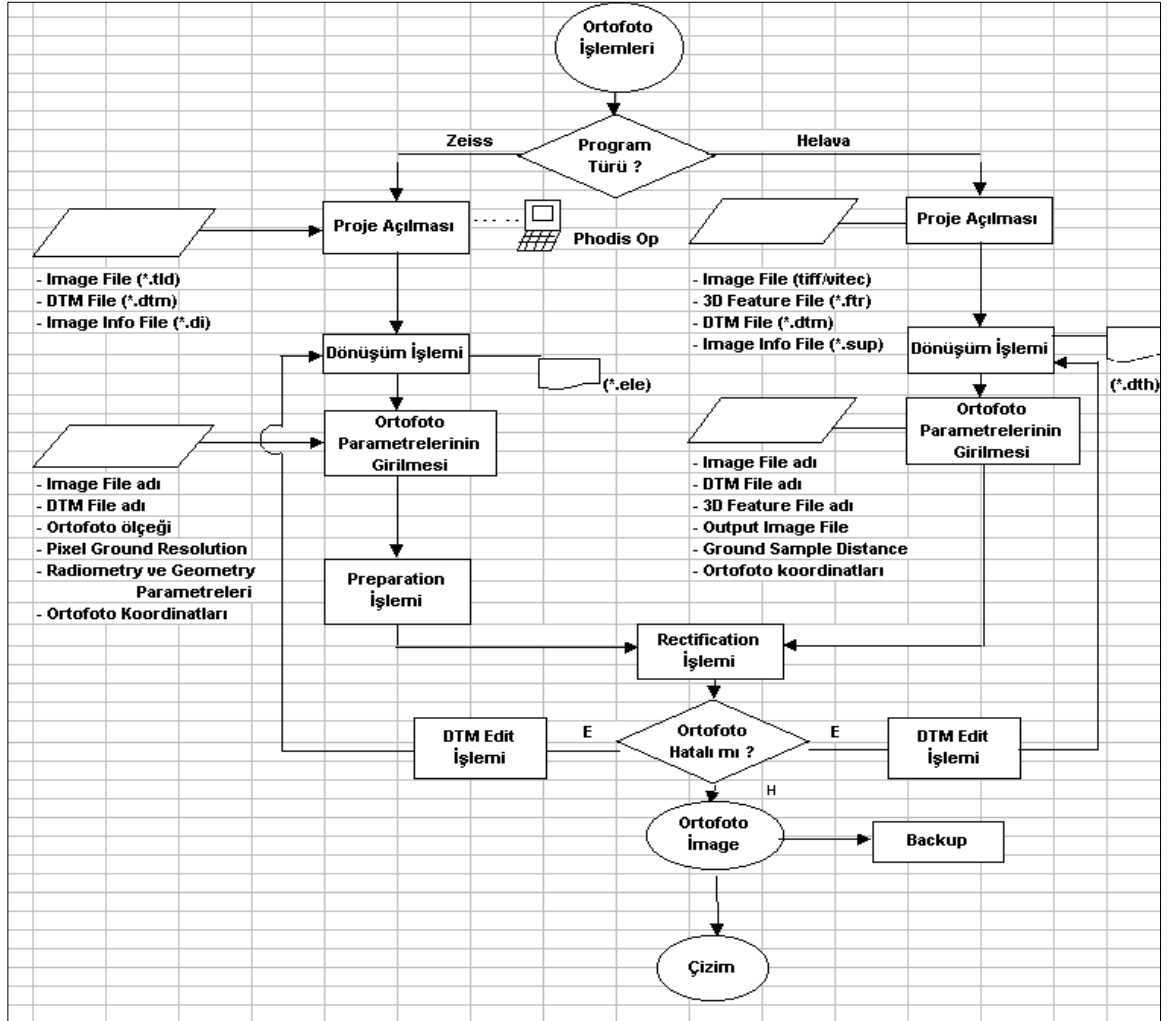
Alışlagelmiş fotogrametrik değerlendirmedeki fotoğraf çekimi bindirme oranları ortofotolarda da kullanılabilir. Eğer arazi topoğrafik olarak engebeli bir konuma sahipse, bu durumda %90 bindirmeli hava fotoğraflarının çekilmesi önerilebilir. Bu sayede alanların birbirine göre olan büyük farkları ve köşelere gelen modeller en aza indirgenmiş olacaktır.

4.2.1. Sayısal Ortofoto Üretiminde Ön İşlemler

Sayısal ortofoto üretimine başlayabilmek için yapılması gereken ön işlemleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür. Bunlar;

- Fotoğrafların taranması,
- İç Yönelme,
- Dış Yönelme,
- Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturma işlemleridir.

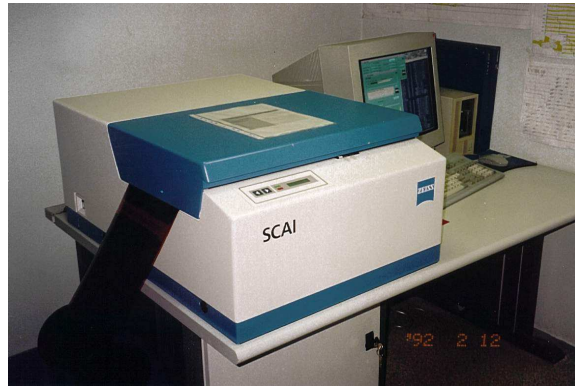
Uygulamalarda sıklıkla kullanılmakta olan ZEISS - Phodis OP ve SOCET SET – Helava programlarında sayısal ortofoto üretimindeki işlem adımları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sayısal Ortofoto Üretimi Akış Şeması

a) Fotoğrafların taranması

Değerlendirmeye tabii tutulacak fotoğraflar, analog formda ise bunların mutlaka sayısal forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüştürme işlemi, fotogrametrik amaca uygun tarayıcılarla yapılmakta ve görüntü çizgi çizgi kayıt edilmektedir. Tarama işleminde en önemli hususlardan birisi uygun tarama aralığını (tarama büyüklüğünü) belirlemektir. Piksel büyüklüğü olarak da ifade edilen bu büyüklük ortofoto kalitesi için çok önemlidir. Piksel büyüklüğü ile ortofoto kalitesi ters orantılı olup, piksel büyüklüğü küçüldükçe ortofoto kalitesi artacaktır. Şekil 4.2 'de hava fotoğraflarının taranmasında kullanılan tarayıcılara bir örnek gösterilmektedir. Yüksek kalitede fotoğraf bilgisi elde etmek için tarama işleminin mümkün olduğu kadar yüksek çözünürlükte yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.2. Fotogrametrik Projelerde Kullanılan Yüksek Performanslı Tarayıcılar

Tarama esnasında kullanılacak tarayıcıların sahip oldukları teknik özellikler tüm projenin kalite ve doğruluğunu etkilemektedir. Bundan dolayı fotogrametrik amaçlı projelerde kullanılacak tarayıcıların önceden öngörülecek bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu kriterleri geometrik doğruluk ve tarama çözünürlüğü olarak iki ana başlıkla ele almak mümkündür.

Geometrik doğruluk

Büyük ölçekli harita üretimine yönelik fotogrametrik projelerde fotogrametrik nirengi işlemleri ve aynı zamanda analitik çiziciler için $\pm 2\mu\text{m}$ doğruluk aranmaktadır. Bu nedenle, bu amaç için kullanılacak tarayıcıların mutlaka bu hassasiyete ulaşması gerekmektedir.

Tarama çözünürlüğü

Tarama çözünürlüğü; istenilen ortofotonun çözünürlüğüne, buna bağlı olarak ölçeğine, hava fotoğrafının fotoğraf ölçeği ve kalitesine bağlıdır. 1/1000 ölçekli bir proje için uygun görülen piksel büyüklüğü, siyah-beyaz fotoğraflar için $10 \times 10\mu\text{m}$, renkli fotoğraflar için $15 \times 15\mu\text{m}$ dir. Daha yüksek çözünürlük için varsa çok kaliteli filmlerin kullanılması veya araştırılması gerekmektedir. Girdi fotoğraflardaki detayları ayırt edebilmek, insan gözünün ayırma gücü ile ilgilidir. Bu değer, $R_{\text{orto}} = 0.1 \text{ mm}$ olarak alınabilir. Ortofoto ve tarama çözünürlüğü arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$R_{\text{tarama}} = R_{\text{orto}} \times \frac{M_{\text{resim}}}{M_{\text{orto}}} \quad (4.1)$$

Bu ilişkiyi bir örnekle açıklamak için,

1:18000 ($M_{\text{fotoğraf}}$) ölçekli fotoğrafların çekildiği ve 1:5000 (M_{orto}) ölçekli ortofotoların üretileceği fotogrametrik bir projenin olduğunu varsayalım. Bu durumda, ortofoto çözünürlüğünün 0.1 mm (100 μm) kabul edilmesi halinde, tarama çözünürlüğünü 28 μm olarak seçmenin bu proje için yeterli olacağı sonucu çıkarılabilir.

Ortofotonun yeryüzündeki çözünürlüğü ise şu şekilde hesaplanabilir,

$$R_{\text{cisim}} = R_{\text{orto}} \times \frac{1}{M_{\text{orto}}} \quad (4.2)$$

Buradan, 1:18000 fotoğraf ölçeğinden üretilen 1:5000 ölçeğindeki ortofoto üzerinden arazideki gerçek büyüklüklere uygun bir tespit yapılması veya konum belirlenmesi söz konusu olduğunda, ortofoto yeryüzü çözünürlüğünün 0.50 m olduğu sonucunu çıkarmak gerekir.

Yeryüzündeki çözünürlüğü bir başka açıdan da hesap etmek de mümkündür,

$$R_{cisim} = R_{tarama} \times \frac{1}{M_{resim}} \quad (4.3)$$

Çözünürlüğün 1 inch'e tekabül eden yoğunluk (DPI) ile ilişkisi ise,

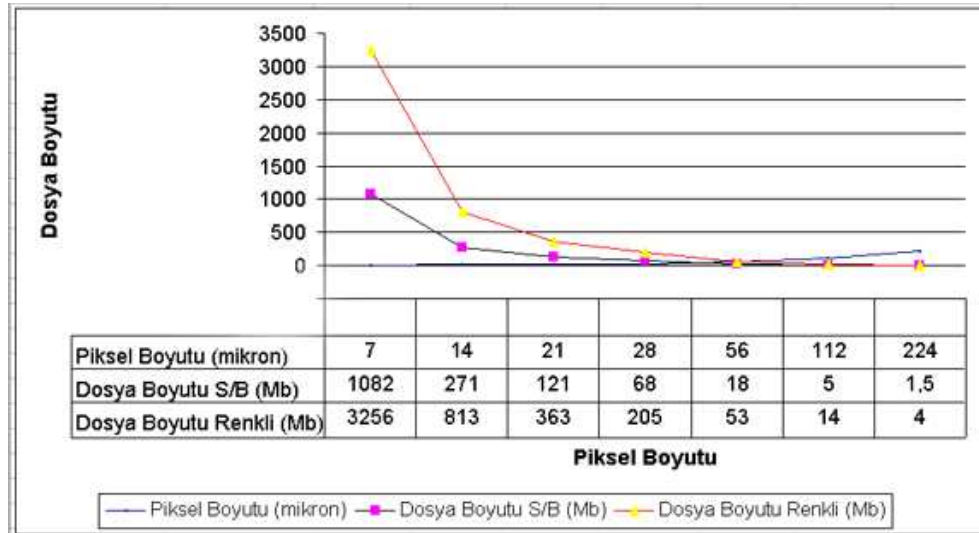
$$R_{cisim} = DPI \times \frac{1}{M_{orto}} \quad \text{ile ifade edilir.} \quad (4.4)$$

Tablo 4.1'de 23*23cm boyutunda bir hava fotoğrafının tarama çözünürlükleri, bunun DPI değeri, bir kenarda oluşan piksel sayısı ve oluşacak dosya büyüklüğü ile Tablo 4.2'de aynı durumdaki renkli tarama işlemleri için oluşan değerler verilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı Tarama Çözünürlüklerinde, 23*23cm Boyutlarındaki Fotoğrafların Karşılaştırılması.

$R_{tarama} (\mu m)$	$R_{tarama} (dpi)$	Kenar (piksel)	Büyüklik (Mb)
7	3629	32857	1080.0
14	1814	10428	270.0
21	1210	10952	120.0
28	907	8214	67.5
56	454	4107	12.9
112	226	2053	4.2
224	181	1643	2.7

Tablo 4.2. Renkli Tarama Yapılması Durumunda Piksel ve Dosya Boyutlarının Karşılaştırılması



Taranan filmin piksel büyüklüğü ile sonuç ürünün ölçeğinde gerekli duyulan piksel büyüklüğü arasındaki ilişki hep merak konusu olmuştur. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, fotoğraf ölçeğinden yapılan büyütme miktarının 240 katı bize gerekli olan dpi miktarını vermektedir. Örneğin 5 kez büyütme yapılmış ise $5 \times 240 = 1200$ dpi'lık veya daha iyi bir taramaya ihtiyacımız var demektir. Bu hassasiyete devamlı ulaşmak imkansız olmakla birlikte, yüksek kalitede ürün elde edilmesi isteniyorsa en azından bu değerlere yaklaşık değerlerle çalışmamız gerekmektedir [Manzer G., 1994].

Arazi yüzeyini temsil eden piksel büyüklüğü bir kaç faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlisi büyütme değeridir. Örneğin 30cm büyüklüğünde tarama yapıp, bunun yeniden örnekleme ile piksel büyüklüğü 45cm yapılmamalıdır. Bunlar arasındaki büyütme faktörü 1.2 veya biraz daha büyük olmalıdır. Bir başka deyişle sonuç ortofoto yaklaşık 36cm büyüklüğünde piksellerden oluşmalıdır. Ortofotolarda doğruluk ölçeğe bağlı olarak farklılık göstermekte olup, bunlar 1:600 ölçeği için 7.5 cm, 1:1200 ölçeği için 15 cm, 1:4800 için 60cm olmalıdır [Manzer G., 1994].

Tarama ile dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus da taramanın yapılacağı ortam ve cihazların fiziksel özellikleridir. Tarama işlemi temiz bir ortamda yapılmalı, negatifler ya da diyapozitifler tozsuz, lekesiz, kazınmamış olmalıdır. Tarayıcı geometrik ve radyometrik kalite için düzenli olarak kalibre edilmeli, veri sıkıştırma ve depolama işlemlerine imkan vermelidir.

Görüntü kirliliğinin kontrol edilmesi, tarama işleminin belirlenen radyometrik alan içinde yapılması da tarama işleminde dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Radyometrik düzeltmeler, sayısal görüntü işlemlerinin her aşamasında göz önünde tutulması gereken bir konudur.

Fotogrametrik tarayıcıların performans analizleri

Tarayıcıların görüntü gürültü miktarı, dinamik dağılımı, modülasyon transfer fonksiyonu gibi karakteristik bilgileri satıcılar tarafından nadiren yayınlanmaktadır. Kullanıcılar veya satıcılar ani bir problemle karşılaştıkları zaman bu karakteristik bilgilere ihtiyacı olmakta, ellerinde de gerekli bilgiler olmadığından basit testlerle

çözüme ulaşmaya çalışmaktadırlar. Bunun için önerilebilen herhangi bir uygulama yöntemi olmamasına karşın, prensipte bu çok çeşitli parametrelerin hesaplanması için bir takım spesifik testlerin yapılması gerekmektedir. Bu spesifik testler için oluşturulacak prosedürü yani tarayıcının modülasyon transfer fonksiyonunu, dinamik dağılımını ve görüntü çözünürlüğünü bilmek, görüntü kalitesi açısından çok önemlidir.

b) İç yöneltme

Kameraların kalibrasyon raporları, iç yöneltme elemanlarının (x_0 , y_0 , c) elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle rapor bilgileri içinde yer alan içinde kameranın odak uzaklığı ve mercek distorsiyonu bilgileri fotoğraf çekim anındaki ışın destesini yeniden oluşturulması için büyük önem arz etmektedir.

c) Dış yöneltme

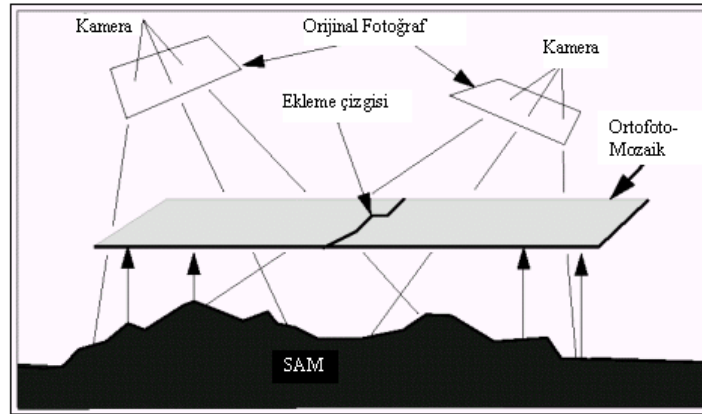
Fotogrametrik değerlendirme yapılabilmesi için fotoğrafların çekim anındaki konumlarının, bir başka ifadeyle hava fotoğrafının çekim anındaki yöneltme parametrelerine ihtiyaç vardır. Dış yöneltme elemanları olarak bilinen bu parametreler arazi ve resim koordinatı bilinen yeterli sayıda kontrol noktasının bulunması halinde, uzaysal geriden kestirme yöntemi ile hesaplanabilmektedir. Kontrol noktalarının yeterli sayıda mevcut olmadığı hallerde bazı yöntemlerle kontrol noktalarını belirlemek ve hesaplamak gerekmektedir. Bu yöntemler:

- Kinematik GPS destekli uçuşla projeksiyon merkezi koordinatlarının hesabı,
- Fotogrametrik nirengi,
- GPS alıcısı ile arazide fotoğraf üzerinde net görülen noktaların ölçülen koordinatlarının kontrol noktası olarak kullanılması,
- Hava fotoğrafına ait daha önceden yapılmış ortofotolar ya da topoğrafik haritalardan yararlanmak suretiyle kontrol noktaları bulunabilmektedir.

Yöneltme bilinmeyenlerinin doğruluğu, buna bağlı olarak ortofotonun konum doğruluğu, çakıştırma yönteminin yanında yer kontrol noktalarının sayısına ve hassasiyetine de bağlıdır.

d) Sayısal Arazi Modeli (SAM) Oluşturma

Hava fotoğraflarındaki, fotoğraf eğikliği ve arazideki yükseklik farklarından dolayı görüntü kaymalarının giderilmesi işlemi olan ortofoto üretiminde SAM kullanımı ve eğer mevcut SAM yok ise üretimi temel bir iş adımıdır. SAM üretimi Bölüm 5'te ayrıntıları ile anlatılacaktır. Şekil 4.3, fotoğrafların konumu ve SAM kullanılarak piksellerin gerçek konumlarına çekilmesini göstermektedir.



Şekil 4.3. Hava Fotoğraflarının Fotoğraf Çekim Anındaki Durumları ve SAM Kullanılarak Piksellerin Gerçek Konumlarına Çekilmesi

4.2.2. Ortofotonun Üretimi

Ortofotonun ön işlemlerinin tamamlanmasından sonra, geometrik düzeltme, bir başka ifadeyle düşeye çevirme işlemi ve radyometrik düzeltmeler yapılır.

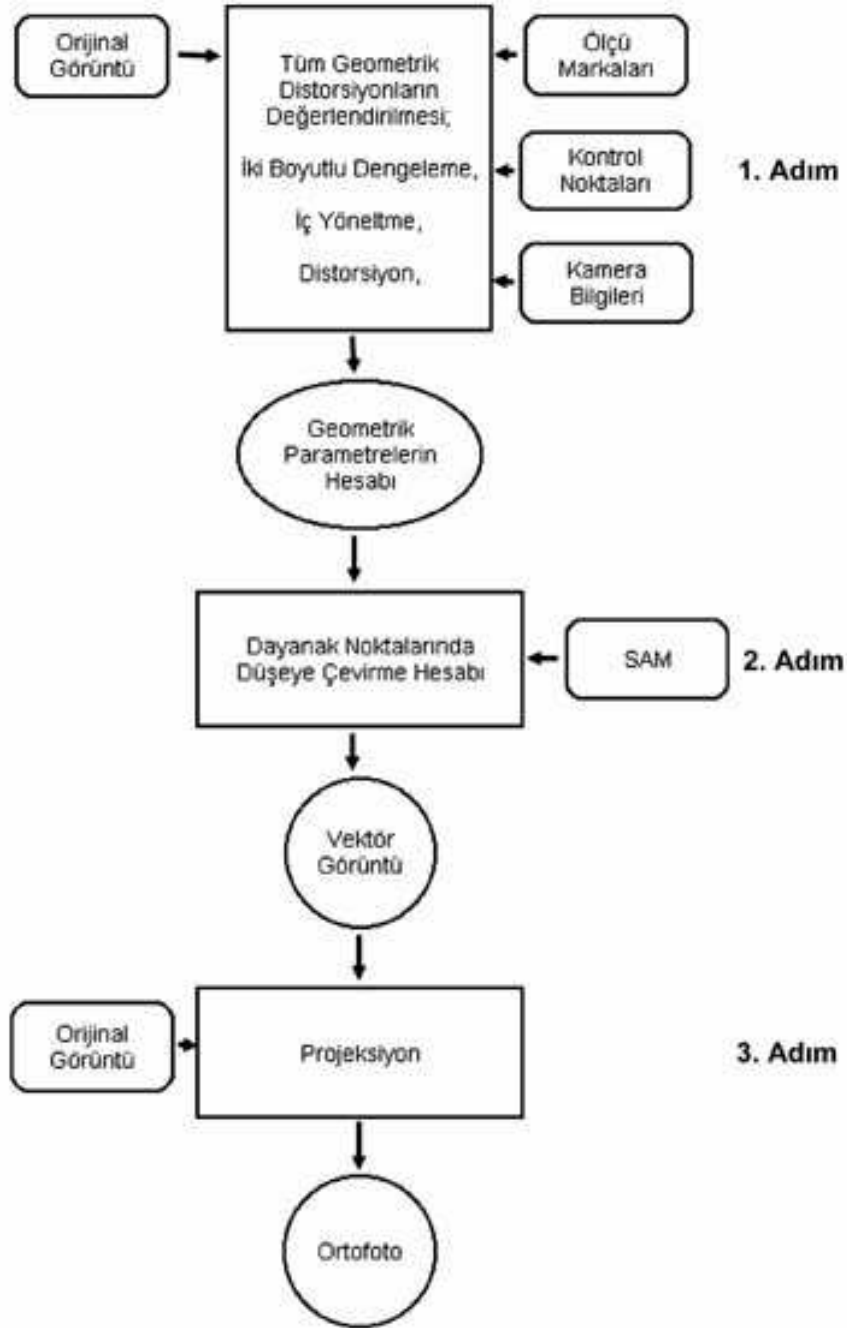
- **Geometrik düzeltme**

Harita, yeryüzünü dik izdüşümüyle her noktada sabit ölçekle temsil eder. Hava fotoğrafı ise, nesnelerin kameraya olan uzaklıklarına göre sürekli değişen ölçekte merkezi bir izdüşümdür. Bu nedenle hava fotoğraflarında konum bilgileri haritalarda olduğu gibi direkt olarak ölçülemezler. Bilindiği gibi kameranın eğikliği nedeniyle ortaya çıkan distorsiyon izdüşümsel bir bozulma, yükseklik farkları dolayısıyla meydana gelen bozulma ise perspektif bir bozulmadır. İzdüşümsel bozulma, sabit ölçek değişikliklerine neden olurken, perspektif bozulma düzensiz ölçek bozukluklarına sebep olmaktadır. Şekil 4.4’de çizgisel detaylar ile noktasal olarak çakıştırılan hava fotoğrafındaki yol sınırlarının, çakışma noktasından uzaklaştıkça ölçeksizlik nedeni ile çizgisel yol sınırlarından ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 4.4. Bir Hava Fotoğrafı ve Çizgisel Harita Farklı İzdüşümlere Sahiptir.

Geometrik düzeltme işlemi, Şekil.4.5’ de görüldüğü gibi üç kısma ayrılabilir.



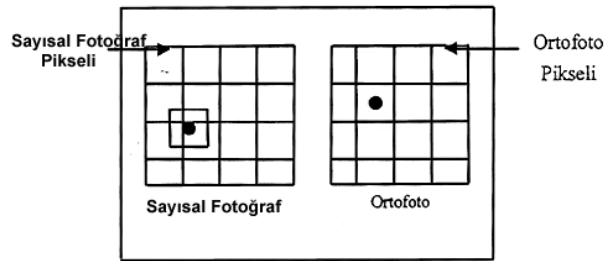
Şekil 4.5. Sayısal Ortofoto Geometrik Düzeltme İşlem Adımları

Birinci adımda; geometrik parametrelerin hesaplanması için, ölçü markaları ve görüntüdeki kontrol noktaları operatör tarafından belirlenir. Bütün girdi verilerinin değerlendirilmesi ile kamera, taranmış görüntü ve fotoğraf baskı arasındaki transformasyonlar belirlenebilir ve bu bilgiler hava kamerasının dış yöneltme elemanları ilgili işlem adımına verilebilir.

İkinci adımda, dış yöneltme elemanları ve sayısal arazi modeli kullanılarak görüntüler düşeye çevrilir. Tüm işlemler içinde en zaman alıcı kısım burasıdır. Bununla ilgili olarak, piksel piksel düşeye çevirme ve sabit nokta ile düşeye çevirme yöntemi kullanılmaktadır.

- **Piksel piksel düşeye çevirme**

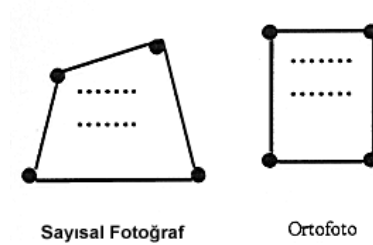
Piksel piksel diferansiyel düşeye çevirmede, ortofotolardaki her pikselin konumu ve merkezi sayısal görüntüde belirlenir. Piksellerin ifade ettiği noktaların arazi yükseklikleri Z , komşu SAM noktalarının bilineer enterpolasyonu sonucu elde edilir. Görüntü koordinatları (x', y') , (2.1) ve (2.2) izdüşüm denklemleri yardımıyla arazi koordinatlarından (X, Y, Z) hesaplanır. Piksel koordinatları (r, c) ; (sıra, sütun), affin transformasyonu kullanılarak, (x', y') görüntü koordinatlarından elde edilir. Konumlandırılmış ortofoto matrisi haline getirilmiş görüntü değerleri elde edilir. Şekil 4.6'da sayısal fotoğraf pikselinin ortofoto pikseline dönüşümü gösterilmektedir. Bu işlem, tüm ortofoto pikselleri için uygulanacağından, yöntemin hızı kullanılan bilgisayarın kapasitesine bağlıdır.



Şekil 4.6. Sayısal Fotoğraf Pikselini Ortofoto Pikseline Dönüştürme İşlemi

- **Sabit Nokta Yöntemi ile Diferansiyel Düşeye Çevirme**

Bu yöntemde sabit noktalar ağı ortofoto üzerine yerleştirilir. Basit olması amacı ile SAM gridleri ağ olarak kullanılabilir. Ortofotoların görüntü koordinatları iki adımda hesaplanır. Birinci adımda SAM noktaları izdüşüm denklemleri kullanılarak, görüntü üzerine iz düşürülür. İkinci adımda, bilinear dönüşüm denklemleri kullanılarak, Şekil 4.7' de görülmekte olan sabit noktalar ağı üzerindeki tüm pikseller sayısal ortofoto piksellerine dönüştürülür.

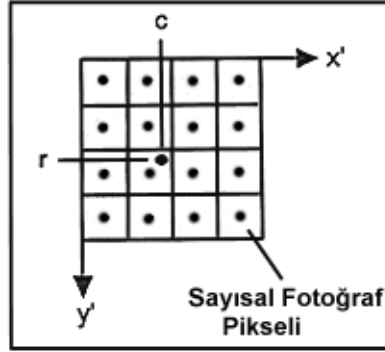


Şekil 4.7. Sabit Nokta Hesaplama Prensipli ve Orta Dereceli Nokta Enterpolasyonu

Sabit noktalar yöntemi ve piksel piksel diferansiyel düşeye çevirme yöntemi karşılaştırıldığında, sabit noktalar yöntemi basit bir yöntemdir. Basit düzlem ilişkiler kullanılır. Bu yaklaşım, SAM grid aralığına, grid köşeleri arasındaki yükseklik farkına, ilgili gridin izdüşüm merkezine ve görüntü ölçeğine bağlıdır. Piksel piksel diferansiyel düşeye çevirme yöntemi, sabit noktalar yöntemine göre ek bazı hesaplamalar gerektirdiğinden, diferansiyel düşeye çevirme iki kat daha fazla zaman almaktadır. Böyle olmasına rağmen yöntem daha hassas olduğu için eğimli arazilerde tercih edilmelidir. Düz arazilerde sabit noktalar yöntemi yeterli hassasiyette sonuçlar vermektedir.

Üçüncü adımda ise, sayısal fotoğraf pikselleri ve ortofoto pikselleri elde edilen gri seviye değerleri bakımından tam olarak çakışmadığından yeni oluşan ortofoto

pikselleri için gerçek gri değerler hesaplanır. Şekil 4.8’da radyometrik enterpolasyon prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ortofoto Pikselinin Fotoğraf piksellerinden Yeniden Elde Edilmesi.

Yeniden örnekleme için dört farklı enterpolasyon yöntemi bulunmaktadır;

En Yakın Komşu Enterpolasyonu

En yakın sayısal fotoğraf pikselinin gri değeri, direkt olarak ortofoto pikselinin gri değeri olarak alınmakta ve üzerinde hiçbir hesaplama yapılmamaktadır. Bu yöntemin sakıncası orijinal görüntünün kontrast değeri hiç değiştirilmeden aynen alınmakta ve tesadüfi planimetrik yer değiştirmelerden dolayı ortofoto pikselleri olması gerekenden farklı komşu piksellere sahip olabilmektedir.

Bilineer Enterpolasyon

Çevredeki komşu dört adet fotoğraf pikselinin gri değeri alınarak, ortofoto pikselinin gri değeri bilineer enterpolasyon yapılarak hesaplanır. Bilineer enterpolasyon boyunca yaklaşık on adet aritmetik işlem yapılır. Planimetrik yer değiştirme söz konusu değildir.

Bikübik Enterpolasyon

Çevredeki komşu 4*4 fotoğraf pikselinin gri değerleri alınarak, ortofoto pikselinin gri değeri kübik eğriler kullanılarak hesaplanır. Bikübik enterpolasyon boyunca yaklaşık 120 aritmetik işlem yapılır. Bu metot teoride ortofotoya zarar vermektedir fakat orijinal görüntüyle karşılaştırıldığında hiç bir kalite kaybı olmadığı görülmektedir.

Lagrange Enterpolasyonu

Lagrange enterpolasyonunda bikübik enterpolasyonu ile benzer sonuçlar vermekte ve yine yaklaşık 120 aritmetik işlem, gri değer belirlemek için kullanılmaktadır.

Enterpolasyon Metotlarının Karşılaştırılması

Uygulamada genel olarak, diğer iki yöntemdeki işlem yoğunluğu nedeniyle, en yakın komşu enterpolasyonu ve bilineer enterpolasyon tercih edilmektedir. Ortofotoların birleştirilmesi (mozaik) işlemi yapılıyor ise en yakın komşu yöntemi kullanılabilir, aksi durumlarda tavsiye edilmemektedir [Helava Programı, User's Manual].

- **Radyometrik düzeltme**

Radyometrik işlemler, Bölüm 4.2.1'de değinildiği gibi fotogrametrik çalışmalarda, daha hava fotoğraflarının çekimi aşamasında, film banyo işlemlerinde, tarama sırasında, her bir sayısal fotoğraf üzerinde dikkate alınması gereken bir konudur. Çünkü, hava fotoğrafları her fotoğraf çekiminin birbirinden farklı olması sebebiyle genelde radyometrik olarak homojen olmayan bir yapıdadır. Yüksek kalitede radyometrik standart elde edebilmek için hava fotoğrafları üzerinde kontrast ve parlaklık iyileştirmesi yapılmaktadır. Radyometri kısa ve uzun dönemli olarak birtakım değişkenlere bağlıdır. Bunlar;

- i) Güneşin konumuna bağlı olarak aydınlatma yönü,
- ii) Kamera odak uzaklığı,

- iii) Hava durumu, bulut yoğunluğunun yükseklik ve şiddeti, pus ve ışıklandırma,
- iv) Hava kirliliği, aerosol miktarı,
- v) Farklı topoğrafik cisimlerin yansımaları olarak sıralanabilir.

Kontrast aralığı ve parlaklığı fotoğraf çekim anındaki ışıklandırma şartlarına ve nesnenin alandaki yansıtmasına bağlıdır. Kontrast uyumu yöntemiyle resmin kontrast aralığı, sayısal sistemin mevcut aralığına (256 adet gri değeri) dönüştürülür.

Hava fotoğraflarının açık olan bölgelerinde detaylar çoğunlukla daha az tanınabilir. Böyle bölgelerde daha çok detaya inmek için kontrastın artırılması gerekmektedir.

4.3. Sayısal Ortofotoların Kalitesine Etki Eden Faktörler ve Kalite Kontrolü

Üretim boyunca sayısal ortofotonun kalitesini etkileyen unsurları aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür. Kontrol noktalarının seçimi, kamera kalitesi, kamera odak uzaklığına bağlı olarak yer yüzeyi ve binalardaki değişim, tarayıcıların işlenmemiş ham veri tarama kalitesi ve geometrik doğruluğu, sayısal görüntünün kalitesi, tarama büyüklüğü (mikron veya dpi olarak), fotoğraftan sonuç ürüne yapılan büyütme, diferansiyel düşeye çevirme işlemleri, arazi birimlerinde ifade edilen sonuç piksellerin büyüklüğü, sayısal arazi modelindeki veri yoğunluğu ve kalitesi, diferansiyel düşeye çevirmeden sonra yapılan radyometrik enterpolasyondur [Manzer G., 1994].

Bu unsurlardan bazılarını daha detaylı olarak açıklamakta fayda vardır.

4.3.1. Kameranın Kalitesi ve Odak Uzaklığı

152mm odak uzaklığına sahip, geniş açılı kameralar ortofoto üretimine en uygun kameralardır. Odak uzaklığı 152mm' den büyük olan kameralar ile daha iyi yatay doğruluklar elde edilebilirliği söz konusu olmakla birlikte, ortofoto üretimi için

kullanılan bazı aletlerin sadece 152 mm odak uzaklıklı kameralar ile verimli çalışabilmesi sorun yaratmaktadır. Büyük odak uzaklı kameralar aynı zamanda stereo görüş olanağını azaltır ve yeryüzünü gizler [Manzer G., 1994].

4.3.2. Fotoğraftan Sonuç Ürüne Yapılan Büyütme

Yeni sayısal sistemlerin çok fazla esneklik sağlamasına karşın, büyütme için bazı limitlerin uygulanmasında yarar bulunmaktadır. Genellikle hava fotogrametrisinde 8 veya 9 kattan fazla büyütme tavsiye edilmemektedir. Örnek olarak, ortofotosu 1':50" (1:600) ölçekli basılacak bir paftanın fotoğraf ölçeği 1':450" (1:5400)' den küçük olmalıdır. Aynı zamanda daha küçük büyütme daha iyi görüntü kalitesi sağlamaktadır. 5 kattan daha az büyütme maliyet çok fazla artmasına karşın, görüntü kalitesinde gözle görülebilir bir değişiklik olmamaktadır. Bu sebepten dolayı ekonomi ve kalite bakımından büyütme 5 ile 9 kez arasında olmalıdır [Manzer G., 1994].

4.3.3. Görüntü Kalitesi

Ton eşleştirme iki fotoğraf için çok karmaşık olabilmektedir. Çekim anındaki ışık durumlarındaki değişiklikler bunu büyük ölçüde etkilemektedir. Işık değişimleri bilgisayar ortamında ortofotoların nasıl gözükeceğini direkt olarak etkilemektedir. Özellikle, komşu paftaların ekranda aynı zamanda gösterilmeleri halinde bu durum çok daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Çoğu görüntü gösteren yazılımlarda 8 bitlik 256 gri renk skalası kullanılmaktadır. Hava fotoğrafları ise 256 gri renk tonundan daha fazla renk alanına sahiptir. Bu durumda sayısal ortofotodaki olası değerleri 8 bitlik alana sıkıştırmak için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen birinci yöntemde; bir ortofoto diyapozitif, elektronik bağlantılı yazıcı sayesinde özel olarak yoğunluk sınırlandırılması yapılmış negatiftan üretilmektedir. Bu işlemde yoğunluk alanı taranmış görüntü 256 gri renk tonunda temsil edilecek şekilde seçilmektedir. İkinci yöntemde, negatiflerin kendileri daha geniş bir yoğunlukta, örneğin 10 bit veya 12 bit piksel, 1024 veya 4096 renk tonunda taranmaktadır. Daha sonra, sonuç çıktısı 256 renk tonunda sınırlamak için bir ara yazılım kullanılmaktadır. Kimi yazılımlar direkt olarak renk tonunu 256'ya

yuvarlamakta, kimileri ise, veriler üzerinden bir logaritmik fonksiyon geçirmekte ve verileri 256 renk tonuna getirmektedir. Bunun sonucunda ortodiyapozitifler oluşturulmaktadır.

Kaliteli bir görüntü elde etmek için, detayların çakışıp çakışmadığını kontrol etmek amacıyla komşu ortofotolar beraberce ekrana getirilmeli ve bununla birlikte görüntüler arası renk dengesi de kontrol edilmelidir. Renkle ilgili herhangi bir dengesizlik bulunuyorsa radyometrik düzeltme ile bunu gidermeye çalışmak gerekmektedir.

4.3.4. Sayısal Arazi Modelinin Doğrulukta Rolü

Sayısal ortofotoların mutlak doğruluğu, büyük ölçüde sayısal arazi modeli ve kontrol noktalarının kalitesine ve doğruluğuna bağlıdır. Büyük ölçekli haritaların kontrolü ve fotoğrafların sayısal arazi modeli ile referanslandırılabilmesi için yer kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Bunların sayıca ve konumca yetersiz olmaları halinde hava nirengi noktalarının oluşturulması gerekir. Bu noktaların koordinatları sonuç ortofoto üzerinde de ölçülerek ortofotoların kontrolü yapılabilir.

Sayısal ortofotolar SAM' in geniş yelpazesi sayesinde doğruluk ve içerik bakımından pek çok biçimde elde edilebilir. SAM, sayısal ortofoto işleminin çok önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. SAM' in uygunluğu; ortofoto ölçeğine, yeryüzü topoğrafyasına, hava kamerasının odak uzaklığına ve büyütme gücüne bağlıdır. Ortofoto üretim işlemindeki en pahalı bileşeni SAM oluşturmaktadır. Yüksek doğrulukta modelleme amaçları için kullanılan SAM, yeryüzü topoğrafyasını temsil eden karakteristik üç boyutlu noktalardan ve üç boyutlu kırık çizgilerden oluşur. Bu bilgilerin çok amaçlı kullanımlar için toplanması gerekmektedir.

Sayısal fotoğrafların düşeye çevrilmesi için gereken SAM' in doğruluğu, detayların çok açık olarak gözüktüğü ve yatay kaymanın kolayca belirlenebildiği bir harita ölçeğinde 1/50" (1/500) hesaplanabilir.

Ortofoto üretimine SAM' in etkisini bir örnekle açıklayalım.

1" = 100 (1:1200) ölçekli bir ortofoto üretirken, net olarak tanımlanabilen bir nesnenin konum hatası, 24"(1/50"*100') değerinden büyük olmamalıdır. Bu örnekte 152mm odak uzaklıklı kamera kullanıldığı ve 23*23 cm hava fotoğrafları elde edildiği var sayılırsa, hava fotoğrafının en uç bölgesinde SAM' deki 22.5" hata, düşeye çevirme sırasında 24" lik bir yatay hataya sebep olacaktır. Sonuç olarak, düşeye çevrilecek alan fotoğraf merkezine yaklaştıkça SAM' deki kabul edilebilir hata sınırı o kadar artacaktır. Hava kamerasının 304 mm odak uzaklığına sahip olması durumunda, SAM' de ki kabul edilebilir hatalar iki katına çıkar. Bu yüzden büyük odak uzaklıklı kameralar, küçük odak uzaklıklı kameralara göre SAM' de daha fazla hata tolere edebilir.

Sayısal ortofotoda SAM nedeniyle oluşan konumlandırma hatası;

$$e(o) = e(SAM) * \tan A \quad (4.5)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Burada,

e(o): Ortofotonun konumlandırma hatası,

e(SAM): SAM' deki düşey hata,

A: Fotoğrafın merkezinden kenara doğru derece cinsinden görüş açısı (arazi noktalarının fotoğraf çekim merkezinden radyal uzaklığının, kamera odak uzaklığı ile bölünmesi ile elde edilen değer) şeklinde tanımlanabilir [Manzer G., 1994].

4.3.5. SAM Yoğunluğu

Sayısal arazi modeli için oluşturulan grid ara mesafelerinin tüm ortofoto alanı için tek bir değer olması gerekmemektedir. Düz arazilerde bu mesafe artarken, ani değişim gösteren arazilerde bu değer azalabilmektedir.

4.3.6. Kalite Kontrolü

Ortofotolarda güvenilir bir diferansiyel düşeye çevrilmenin yapıldığına kanaat getirilebilmesi için, aşağıda belirtilen unsurlar dikkate alınarak sayısal ortofotolarının kontrolünün yapılması gerekmektedir [Manzer G., 1994].

Görüntü Bütünlüğü (Image Completeness): İstenilen ortofoto alanı SAM ile tam olarak kaplanmamış ise, oluşturulan görüntü doğru olmaz ve sayısal ortofoto eksik kalabilir. Bu sebepten dolayı görüntü bütünlüğünün sağlanması şarttır.

Görüntü Bulanıklığı (Blurring): Görüntü bulanıklığının başlıca sebebi SAM üzerindeki anomaliler, bozucu hatalar ve fotoğraf kenarlarındaki kabarma veya ötelemelerdir. Örnek olarak, fotoğrafın kenarındaki bir dağın durumunu ele alalım. Burada dağın kameraya bakan kısmındaki yüzü iyi bir şekilde düşeye çevrilebilir. Fakat, kameraya bakmayan ve uzakta olan diğer yüzde ise dağın yer değiştirmesinden dolayı boşluk oluşacak ve buradaki kullanılabilir fotoğraf bilgisi yeterli olmayacaktır. Bu sebepten dolayı, bu kısmın ortogonal projeksiyona dönüşümü istenilen düzeyde yapılamayacak ve görüntüde bulanıklık oluşabilecektir.

Çift Görüntü (Double Image): İki komşu ortofoto göz önüne alındığında aynı objelerin iki görüntüde de olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de uygunsuz yöneltme veya uygun olmayan Sayısal Arazi Modeli' dir.

Kayıp Görüntü (Missing Image): Kolayca anlaşılmayan bir hatadır. Bunun tespitindeki en kolay yöntem çizgisel veri karşılaştırmasıdır. Bu hata da çift görüntü hatası kadar sıklıkla ortaya çıkabilmektedir. Hata kaynağı çift görüntüde olduğu gibidir.

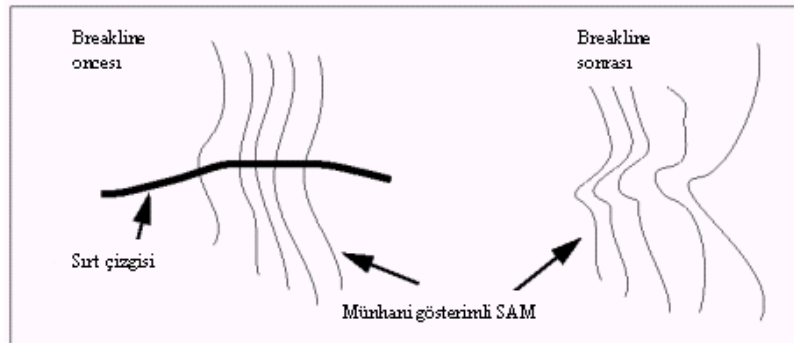
Doğru Olmayan Planimetri: Sayısal ortofotolarda görülebilen yer kontrol noktalarının koordinatları mutlaka gerçek koordinatları ile karşılaştırılmalıdır. Bunun yapılması ile görüntünün model üzerinde doğru yerde olup olmadığı görülecektir.

5. SAYISAL ARAZİ MODELİ

5.1. Tanım

Yeryüzünün sayısal gösterimini ifade eden Sayısal Arazi Modeli kavramı ilk kez 1950'li yıllarda Miller ve Laflamme tarafından yol çalışmalarının bilgisayar yardımı yapılması sırasında ortaya atılmıştır [F.Ackermann, 1996]. Miller'in "Sayısal Arazi Modeli, topoğrafik yüzeyin sayısal gösterimidir." şeklindeki tanımı çeşitli yayınlarda farklı şekillerde ifade edilmektedir. Bu tanımlarda, sadece (x,y) değerleri belli noktaların yükseklik değerlerinin ifade edilmek istenildiği modeller için Sayısal Arazi Modeli (SAM) kavramının kullanıldığı görülmektedir. SAM kavramı, geniş anlamda, yeryüzündeki doğal ve yapay ayrıntıların konum ve yükseklik bilgilerini içerirken, daha dar anlamda sadece yükseklik verilerini içerir.

SAM, fiziksel yeryüzünün topoğrafik yapısını sayısal anlamda temsil etmeyi amaçlayan belli yapıda organize edilmiş ve bilgisayar tarafından işlenebilir bir formata sahip yükseklik veri kümesi şeklinde tanımlanabilir [Özer H., 1995]. Çoğu organizasyonlarda SAM ile sayısal yükseklik modeli (SYM) eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. SAM'nin SYM'lere benzer olmakla birlikte arazide rasgele dağılmış bulunan topoğrafik yüzeye ait önemli karakteristik noktaları ve değişim noktalarını (breakline) da içerdiği söylenebilir. "Breakline"lar arazinin sürekliliğindeki değişimi belirleyen çizgi detaylardır. Şekil 5.1'de breakline'ların arazi modeline etkisini görmek mümkündür.



Şekil 5.1. Arazi Modelinde Breakline Etkisi

5.2. Sayısal Arazi Modellerinin Kullanım Alanları

Bilgisayar dünyasındaki yazılım ve donanımlardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak sayısal fotogrametrinin uygulama alanlarına girmesiyle birlikte sayısal harita çok geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşabilmektedir. Sayısal arazi modeli yeryüzüne ait yükseklik bilgilerinin bilgisayar ortamındaki şekli olup, sayısal haritanın önemli bir bileşeni durumundadır. SAM'lerini ortofoto üretiminden, su akış hatlarının hesabına, eğim hesaplarından her hangi bir noktadaki güneş ışığı şiddetinin hesabına kadar değişik yerlerde kullanılırlar. Sayısal arazi modellerini dolaylı veya direkt olarak sayısal haritanın kullanıldığı birçok alanda görebilmek mümkündür. Bunları aşağıdaki şekilde özetle sıralamak mümkündür.

- Kartografik amaçlı kullanımlar ve görüş analizleri
 - Eşyükseklik eğrilerinin otomatik çizdirilmesi
 - Eşyükseklik eğrilerinin genelleştirilmesi
 - Sayısal ortofoto haritaların üretilmesi
 - Eğim haritalarının üretilmesi
 - Görüntü haritalarının üretilmesi
 - Perspektif görüntüler
 - Gölgeleme haritaları
- Bilgi sistemlerinde yükseklik veri tabanı oluşturulması
- Sayısal haritaların güncelleştirilmesi
- Mühendislik hizmetleri
 - Yol ağı planlaması
 - Sulama ağı planlaması
 - Hacim,tesviye ve drenaj hesaplamaları
 - Madenlerde rezerv hesaplamaları
 - Baraj ve koruma havzalarının belirlenmesi
- Doğal kaynakların araştırılması,erozyon ve toprak kullanım çalışmaları

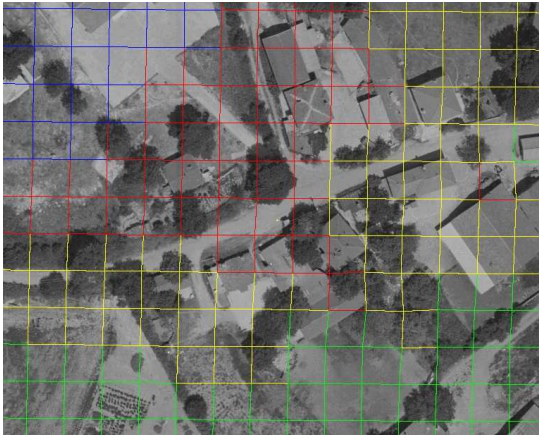
- Haberleşme (İletişim) ağı planlamaları
- Gravite ölçümlerinin enterpolasyonu
- Askeri ya da sivil güvenlik çalışmaları ile ilgili uygulamalar

5.3. Sayısal Arazi Modeli Yapıları

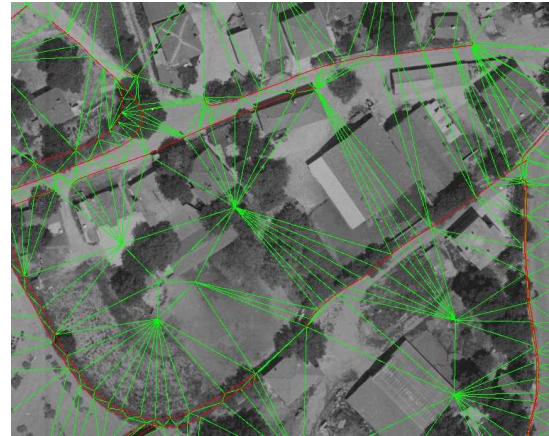
Sayısal arazi modelleri raster veya üçgen yapıda olabilmektedir.

5.3.1. Raster Yapı

Raster yapıda, arazi Şekil 5.2.a’da görüleceği gibi kare ya da dikdörtgen gridlere bölünür. Grid (düğüm) noktalarının yükseklikleri bulunur. Bunun için grid noktalarının yükseklikleri ya doğrudan ölçülür ya da arazide rasgele dağılmış bulunan ve koordinatları bilinen dayanak noktalarından uygun enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanır [Alkış A.,1987]. Sayısal fotogrametrik sistemlerde otomatik korelasyon tekniği ile ölçüm ve enterpolasyon işlemleri otomatik yapılır. Dayanak noktaları kullanıldığında grid köşelerinin yüksekliklerinin enterpolasyonla hesabı için dayanak noktalarının dağılımının ve sıklığının uygun olması gerekir.



(a)



(b)

Şekil 5.2.Sayısal Arazi Modeli Yapıları: (a) Raster, (b) Üçgen Yapılı SAM.

5.3.2. Ü ç g e n Yapı

Üçgen yapılı SAM'de, arazi Şekil 5.2.b'de görüleceği gibi rasgele veya düzgün dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesiyle oluşan düzlem üçgenlerle kaplanır. Üçgenlerin oluşturulmasında dayanak noktalarının rasgele dağılmış olması nokta ölçümünü kolaylaştırır. Bellek gereksinimi raster yapıya göre daha az olup organizasyon karmaşıktır. Günümüzde bilgisayar teknolojilerinde erişilen gelişmişlik düzeyi ile bu sorunlar aşılmış bulunmaktadır [Steidler,1986]

5.4. SAM'de Dayanak Noktaları

SAM' ni oluşturmak üzere koordinatları (x,y,z) önceden bilinen noktalara gerek vardır. Yersel ölçmelerden, topoğrafik haritalardan, fotogrametrik ölçmelerden elde edilebilen bu noktalara dayanak noktaları denir. SAM'in iskeletini oluşturan bu verilerin toplanmasına örnekleme (sampling) adı verilir [Güler, 1987].

Seçilen veri toplama yöntemine göre dayanak noktaları:

- karakteristik, ancak rasgele yapıda,
- grid yapısında,
- profil yapısında,
- eşyükseklik eğrileri üzerinde olabilir.

Rasgele yapıda dayanak noktaları belli bir düzen içinde bulunmazlar. Araziyi en iyi, en az sayıda nokta ile temsil edebilecek noktalar dayanak noktası olarak seçilir. Bu noktaların tepe,sırt, boyun, su toplama çizgisi vb. üzerinde karakteristik noktalar olması veya eğim değişimlerindeki noktalar olması arzu edilir. Bu noktaların yerleri ya önceden tespit edilir ya da ölçüm anında yorumlanarak belirlenir.

Şekil 5.2.a'daki grid yapısında, dayanak noktaları eşit aralıklı bir grid ağının düğüm noktalarıdır. Nokta konumları arazinin şeklinden tamamen bağımsızdır.

Genellikle noktalara ait yükseklik değerleri toplanırken veya depolanırken başlama noktasının koordinatları (x,y), grid aralığı, satır ve sütun numaraları kaydedilir. Grid yapısı analitik ya da bilgisayar destekli mekanik stereo değerlendirme aletleri için uygun bir veri toplama yöntemidir.

Profil yapısında, ölçümler eşit aralıklı profiller üzerinden mesafe ya da zaman artımlı mod'da yapılabileceği gibi, profil üzerinde eğim değişim yerlerinde de yapılabilir.

Eşyüksekti eğrileri üzerinde belli aralıklarda veya eğrinin kırılma ve bükülme noktalarında dayanak noktaları ölçülebilir. Eşyüksekti eğrisinin yükseklik değeri ile bu eğri üzerinde seçilen dayanak noktalarının yatay (x, y) koordinatları depolanır.

5.5. Genel Olarak Veri Toplama Yöntemleri

SAM oluşturmak için yapılan çalışmalarda, SAM'den beklenen kalite ve doğruluğun yanında zaman ve ekonomi faktörleri de göz önüne alınarak verilerin hangi yöntemle toplanacağına karar verilir. Veri toplama işlemi arazi yüzeyini en iyi temsil eden dayanak nokta kümesinin seçim ve ölçümünü içerir. Otomatik korelasyon tekniği ile SAM'lerin otomatik üretimi mümkündür. SAM'lerin otomatik üretimi "softcopy fotogrametri"nin ana üretim elemanlarından biridir [Krzystek, P. Ackermann, F. 1995].

Bölgesel, ülke ve uluslararası düzeyde değişik amaçlar için değişik doğruluklarda SAM üretilmektedir. Otomatik korelasyon tekniği kullanılmıyorsa SAM'nin doğruluğu dayanak noktalarının doğruluğuna sıkı sıkıya bağlıdır.

SAM üretimi için verilerin toplanması jeodezik yöntem, kartografik yöntem veya klasik fotogrametri yöntemi ve otomatik korelasyon yöntemi gibi fotogrametrik yöntemler ile gerçekleştirilir.

5.5.1. Jeodezik Yöntemler

Dayanak noktaları arazide çeşitli yersel ölçmelerle belirlenir. Elektronik takeometrelerle, dere, sırt, boyun gibi arazi üzerinde veya ani eğim değişimleri gösteren yerlerde arazi yorumlanarak Rasgele yapıda dayanak noktaları ölçülebilir.

Profil ve grid yapısında ölçümler için ölçülecek noktaların yerleri ile üzerinde ölçüm yapılacak kesitlerin doğrultuları, başlangıç ve bitim noktaları arazide önceden belirlenir. Jeodezik ölçmelerle, doğruluk bakımından oldukça iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Elektronik takeometrelerle ölçülen mesafe ve düşey açılara bağlı olarak Tablo 5.1'deki doğruluk değerlerini elde etmek mümkündür [Uzel T., 1985].

Tablo 5.1 Elektronik Takeometrelerde Doğruluk

(a) Konum Doğruluğu			(b) Yükseklik Doğruluğu			
Uzunluk (m)	m (m)		Düşey Açı Uzunluk	90	80	70
100	0.003		100	0.003	0.003	0.003
200	0.006		200	0.006	0.006	0.006
400	0.013		400	0.012	0.012	0.011
600	0.019		600	0.019	0.018	0.017
800	0.028		800	0.025	0.024	0.022
1000	0.031		1000	0.031	0.030	0.028

Elektronik takeometrelerin yerini alan, uydulardan alınan sinyaller yardımıyla herhangi bir yerde konum, hız ve zaman belirlemeye yarayan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS-Global Positioning System) ile yüksek doğrulukta, hızlı ve ekonomik ölçümler yapmak mümkündür.

Jeodezik yöntemler çok yüksek doğruluk isteyen dar bir alanda yürütülecek çalışmalar için tercih edilir. Proje alanı büyüdükçe ekonomik olma özelliği azalır.

5.5.2. Kartografik Yöntemler

Özellikle beklenen doğruluğu karşılayacak düzeyde eşyükseklik eğrilerini içeren harita ya da belgelerin mevcut olması durumunda, bunların sayısallaştırılmasıyla SAM için gerekli veriler toplanabilir. Harita ya da belgelerin sayısallaştırılması el ile (manuel) ya da otomatik olarak yapılır. Kartografik yöntemler genellikle yüksek doğruluğun beklenmediği, orta ve küçük ölçekli çalışmalarda mevcut harita ve belgelerden yararlanarak büyük alanlar için hızlı bir şekilde SAM üretiminde tercih edilir. Otomatik sayısallaştırma, kaynak materyalin taranması sonucunda bilgisayarın kullanabileceği raster formatta verilerin elde edilmesi ve bu verilerin tekrar bilgisayar ortamında uygun yazılımlar kullanılarak vektörel konum verilerine döndürülmesi işlemleridir. Tarayıcı olarak siyah-beyaz tonda tarama ve RLE (Run Length Encoding) formatında tarama yapan silindir tipli veya masa tipli tarayıcılar kullanılır. Kartografik yöntemle elde edilen verilerin doğruluğu:

- kullanılan kaynak materyalin doğruluğuna ve çizgi kalitesine,
- kullanılan kaynak materyaldeki deformasyona,
- sayısallaştırma masasının ve tarayıcının prezisyonuna,
- raster taramada seçilen piksel büyüklüğüne,
- grafik ekranın ayırma gücüne ve
- operatörün deneyimine bağlıdır.

5.5.3. Fotogrametrik Yöntemler

Doğru, hızlı ve ekonomik olma özelliğine göre değerlendirildiğinde SAM oluşturmada fotogrametri yöntemleri birçok avantajlar sağlar. Sayısal fotogrametrinin sunduğu görüntü eşleştirme tekniği ayrı bir yöntem olarak ele alınacağından fotogrametrik yöntem olarak klasik fotogrametri ile SAM üretiminden söz edilecektir.

5.5.3.1. Klasik Fotogrametri Yöntemi

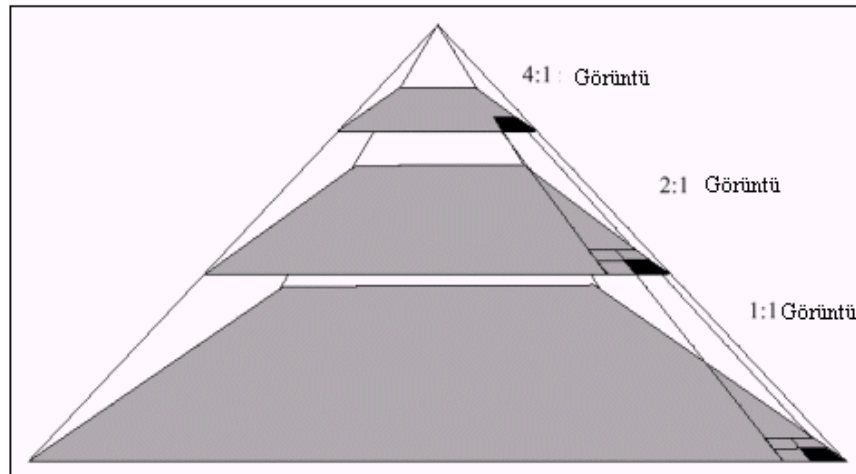
Fotogrametrik yöntem ile SAM oluşturmak üzere kullanılan nokta ya da çizgi tipi detaylar stereo modeller üzerinde 3D (üç boyutlu) olarak ölçülürler. Dayanak noktası olarak adlandırılan nokta tipi verilerin ölçülmesinde bilgisayar destekli analog değerlendirme aletleri, analitik aletler veya sayısal fotogrametri aletleri kullanılır. Grid ya da profil yapısında veya eşyükseklik eğrileri boyunca zaman ya da mesafe artımlı modda nokta ölçümleri yapılır. Nokta moduna geçilerek uygun görülen yerlerde tek nokta ölçümü yapmak mümkündür.

Dayanak noktaları analitik veya dijital aletlerde ölçülüyor ise, yukarıda belirtilen yöntemlerden biri ya da bunların kombinasyonu kullanılarak dayanak noktaları ve çizgi detaylar ölçülür. Önceleri eşyükseklik eğrisi üretmek amacıyla yapılan enterpolasyonda sadece rasgele yapıda dağılmış tek (single) nokta ölçümleri kullanılırken artık break-line, form line, border line gibi çizgi detay özelliğinde bilgiler ile yerleşik alan, ormanlık alanlar gibi (cut-out area) olarak adlandırılan alanların sayısal bilgilerinin de dikkate alındığı yüksek kalitede bir SAM üretmek mümkün olmuştur. Model üzerine iz düşürme (Superimpositon) olanağı ölçülen noktaların stereo modelde 3D görüntülenmesini sağlar. Modelde büyültme-küçültme olanağı modelin genel kontrolünü ve gereken yerlerde yeni noktalar ölçülmesini mümkün kılar. Grid yapısında veya profil yapısında istenilen grid aralığında ölçümler yapılarak direkt olarak SAM elde edilebileceği gibi bu ölçümlerden yararlanarak çeşitli SAM yazılımları ile istenilen grid aralıklı yeni SAM' ler de üretilebilmektedir.

5.5.3.2. Otomatik Korelasyon Yöntemi

Dijital fotogrametrik sistemlerde uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen sayısal veriler veya sayısallaştırılmış hava fotoğrafları kullanılarak sayısal arazi modelleri otomatik olarak üretilmektedir. Sayısal çalışma istasyonları otomatik veya operatör destekli olarak sayısal görüntüler ile SAM üretiminde kullanılmaktadır. Kırık hatlar (break-lines), yerleşim alanları, orman veya su ile kaplı alanlar (cut-out area) ve belirli nokta yüksekliklerinin tanıtılmasıyla oldukça duyarlı sonuçlar almak mümkün olmaktadır.

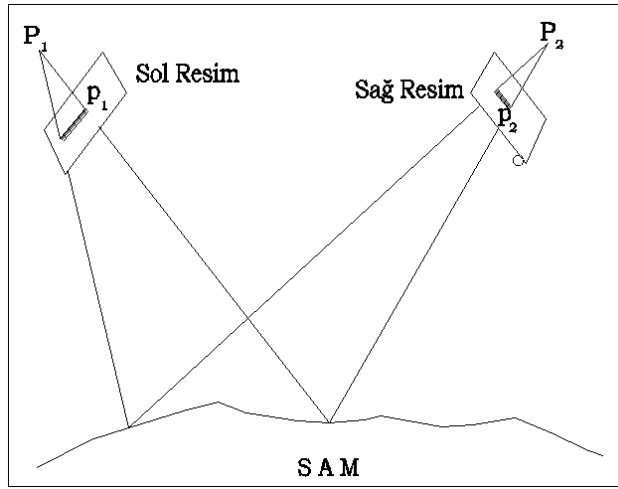
SAM'lerin stereo model üzerinde kontrol edilerek kritik olan grid ağı köşelerinin düzeltilmesiyle doğru bir SAM üretim süresi oldukça azalmaktadır. Kullanılan yöntemler alan bazlı veya detay bazlı eşleştirme tekniği, Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilmekte olan hiyerarşik görüntü piramitleri, (robust) istatistikler ve yeniden yüzey oluşturma teknikleri olarak sıralanabilir. Yöntemler arasında doğruluk, hız ve başarı oranları bakımından farklılıklar bulunsa da, otomatik SAM üretimi yapılmakta ve uygulamada kullanılmaktadır. Bölüm 5.6'da otomatik SAM üretimi ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 5.3. Hiyerarşik Görüntü Piramitleri

5.6.Otomatik Korelasyon Yöntemiyle SAM Oluşturulması

Otomatik SAM oluşturulmasının açıklanmasından önce epipolar düzlemi ve epipolar çizgisi' nin tanımlanması gerekmektedir. Arazi üzerindeki bir noktaya ait ışınların, diğer deyimle bir noktanın fotoğraflar üzerinde oluşturduğu pikselden geçen ışınların oluşturduğu düzlem epipolar düzlemdir. Bu düzlemin resimler üzerindeki ara kesitleri Şekil 5.4'de yer alan (p_1 ve p_2) ise epipolar (eşlenik) çizgilerdir. Epipolar çizgilerin en önemli özelliği, bu çizgiler üzerindeki araziye ait noktalara ilişkin piksellerin sadece kolon numaralarının değişmesi, diğer bir deyimle en uygun eşleştirme sonucu elde edilen farkların, noktaların yüksekliklerine ait paralaks farkları olmasıdır.



Şekil 5.4. Epipolar düzlem ve Epipolar çizgi

Böylece otomatik SAM elde etmeden önce her piksele ait paralaks farkları elde edilir. Paralaks farkları ile yükseklikler arasında ilişki bulunduğundan yükseklik farkları hesaplanır. Son olarak modelde bulunan kontrol noktalarının yükseklikleri girilerek, yükseklik farklarından mutlak yüksekliklere geçilir. Bu konudaki çalışmalar içerisinde, özellikle gölgeli ve şehir alanlarında algoritma sırasında yanlış eşleştirmeden (Mismatching) dolayı anormal yükseklikler çıkabilmektedir. Anormal yükseklikleri önlemede korelasyon analizleri veya önceden yapılacak bir ön işlem etkili olmaktadır. Oluşturulan SAM üzerinde de etkileşimli düzeltme işlemleri yapılmaktadır [Ölçücüoğlu, N. 1989].

Görüntü korelasyonu eşlenik (epipolar) hatlar boyunca oluşturulan kenar veya detay (feature) noktalarını esas alır. Görüntülerinden otomatik korelasyon tekniği ile SAM oluşturmada üç ana işlem aşaması bulunmaktadır. Bunlar: iki görüntünün stereo eşleştirilmesi (matching), üç boyutlu yer kontrol noktalarını oluşturmak için uzay geriden kestirmesi ve düzenli SAM matrisini elde etmek için enterpolasyon işlemidir.

Otomatik korelasyon tekniği üç tür eşleştirme algoritması kullanmaktadır. Birinci teknik, görüntüdeki detayları seçecek operatörü ilgilendirmektedir. Görüntüde belli başlı noktaları tanımlamak için istatistiksel yöntemler kullanılmakta ve özellikle kolay tanımlanabilen sınırlar ile homojen yüzeyli görüntülerde başarılı olunmaktadır.

İkincisi, görüntüdeki kenarları tanımlayan kenar bazlı eşleştirme olup stereoskopik görüntü çiftlerinde bunlar ilişkilendirilir. Üçüncü teknik ise, iki görüntüde birbirine karşılık gelen parçaları eşleştirmek için en küçük kareler yöntemini kullanan alan bazlı eşleştirme işlemidir. Görüntü eşleştirmede bu üç yöntem çoğu kez birlikte kullanılır [Önder, M. 1993]

Aşağıda görüntü eşleştirme yollarından en göze çarpanları karşılaştırılarak otomatik olarak eşleştirilmiş noktaların sıklaştırılması ve kalite kontrol sorunu üzerinde durulmaktadır.

SAM noktalarının otomatik olarak oluşturulması, yüzeylerin yeniden oluşturulması sorunun bir parçası olarak düşünülebilir. SAM noktalarının oluşturulması fotogrametride önemli bir işlemdir. SAM tek başına bir ürün olmasının yanı sıra ortofoto gibi ürünlerin oluşturulmasında da kullanılır. Sayısal fotogrametri, SAM üretilmesi için ideal bir ortamdır.

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler neticesinde, kullanılabilecek duruma gelmesinden beri, araştırmacılar SAM noktalarını otomatik olarak üretebilmek için çalışmışlardır. Gözle görülür bir ilerlemeye rağmen, bu sorun hala tümüyle çözülememiştir. Örnek olarak, büyük ölçekte bir kentsel alanda, otomatik olarak SAM üretebilecek hiçbir yöntem hala geliştirilebilmiş değildir. Buradaki “otomatik “

teriminden bilgisayarların, operatörler tarafından yapılan işin aynısını yapması anlaşılmamalıdır. Bu, insan müdahalesi olmadan gerçekleşmeyeceğinden, otomatik SAM oluşturulması daha çok etkileşimli ortamlarda uygulanmaktadır.

SAM noktaları yüzey yeniden oluşturulması gibi daha genel problemlerin bir parçasıdır. Fotogrametriden farklı olarak buradaki hedef, yüzeyleri birebir ve olabildiğince hassas tanımlamak değil ve fakat mümkün olduğunca anlaşılır kılmasıdır. Daha doğrusu, birbiriyle alakasız bir üç boyutlu noktalar kümesiyle uğraşmak yerine, yüzeyi anlaşılabilir ve devamlı nesnelerden oluşan yüzey bölümlerine ayırmaktır. Bu birbirinden farklı hedeflere rağmen, problemin özü hala aynıdır. Yüzeylerin yeniden oluşturulması veya bu çalışmada SAM noktalarının oluşturulması, resim oluşumun tersi bir süreçtir [Schenk F., 1994].

SAM noktalarının stereo modelden otomatik olarak elde edilmeleri, aşağıdaki üç aşamadan oluşur:

1. Nokta çiftlerinin bulunması ; görüntü eşleştirme.
2. Enterpolasyon ve yüzeyin sıklaştırılması.
3. SAM noktalarının kontrolü ve düzeltilmeleri.

Birinci aşamada elde edilen noktalar düzgün dağılımlı değildir ve yüzeyi tamamı ile ifade etmemektedirler. Eğer sadece birinci aşamadaki noktalar seçilirse, yüzeyde bazı delikler oluşacaktır, çünkü eşleştirme her zaman başarılı değildir. Bunun için 3D noktalar her zaman enterpole edilmelidirler. Bir kere başlatıldıktan sonra, ilk iki aşama esnasında herhangi bir insan etkisi gerekmez. Bunun aksine, üçüncü aşama tamamen etkileşimli olarak gerçekleşir.

5.6.1. Eşlenik Noktaların Bulunması (Görüntü Eşleştirme)

Eşlenik olgusu eşlenik nokta kavramından daha genel bir terimdir. Eşlenik olgular, nesnel özellikler alanının, noktaları, çizgileri ve yüzeyleri de kapsayan bir şeklidir.

Karşılaştırma olgusunu başka şekiller içinde eşlenik olgularıyla karşılaştırdığımızda ilk olduğunu görürüz. Bu ilkler gri seviyesi, özellikleri ve sembolse tanımlamaları da içerir.

Benzerliği ölçme, karşılaştırmalı olguların uygunluğunu inceleyen nicel bir ölçmedir. Benzerliğin derecesi, maksimum veya minimum kriterlere göre olabilir, örneğin, korelasyon sabiti veya en küçük kareler yöntemi.

Karşılaştırma yöntemi, karşılaştırma olguları arasındaki benzerlikleri ölçer. Bu yöntemler çoğunlukla karşılaştırmalı olgulardan sonra anılırlar. Örneğin, alan tabanlı karşılaştırma, özellik tabanlı karşılaştırma ve sembolisel karşılaştırma.

Karşılaştırma stratejisi görüntü eşleştirme probleminin çözümünün tasarımıyla ilgilidir. Karşılaştırma yöntemleri, benzerlik ölçmeleri ve karşılaştırma olguları arasındaki ilişki Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Karşılaştırma yöntemleri, benzerlik ölçmeleri ve karşılaştırma olguları arasındaki ilişki.

Karşılaştırma yöntemi	Benzerliğin ölçülmesi	Karşılaştırılanlar
Alan tabanlı	Korelasyon / En küçük kareler	Gri tonlar
Özellik tabanlı	Değer fonksiyonu	Kenarlar
Sembolsel tanımlamalar	Değer fonksiyonu	Sembolsel

Bu tabloda terimlerin birbirleriyle ilişkili olduğu görülmektedir. İlk sütunda en bilinen üç karşılaştırma yöntemi listelenmiştir.

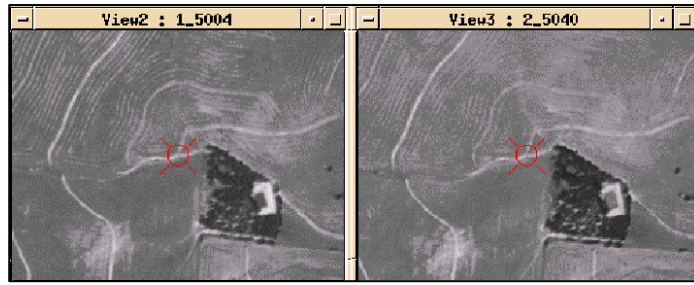
- Alan bazlı karşılaştırma, gri tonların karşılaştırılması ile ilişkilidir. İki resmin küçük alanlarındaki gri tonların dağılımı karşılaştırılır ve benzerlik, korelasyon veya en küçük kareler yöntemi ile ölçülür. Alan tabanlı karşılaştırmaya çoğunlukla *korelasyon* denilir. Benzer biçimde en küçük kareler yaklaşımıyla yapılan karşılaştırmaya da *en küçük kareler yöntemi* denilir. Alan tabanlı karşılaştırma fotogrametride tercih edilen bir yöntemdir.
- Özellik bazlı karşılaştırmalar, tamamen bilgisayar alanında kullanılır. Burada, kenarlar veya orijinal görüntüden alınan diğer özellikler, eşlenik özelliklerinin bulunması için karşılaştırılır.
- Sembolsel karşılaştırma, görüntülerin sembolisel tanımlamalarını karşılaştıran ve değer fonksiyonu ile benzerlikleri bulan yöntemleri kapsar. Sembolsel tanımlamalar,

gri tonları veya derlenmiş özellikleri kapsayabilir. Bunlar, grafikler, ağaçlar veya semantik ağlar ile tamamlanabilir. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, sembol sel karşılaştırma, geometrik benzerlik özellikleriyle sınırlandırılmamışlardır. Şekilsel veya alan benzerlik ölçütlerini kullanmak yerine, topolojik özellikler karşılaştırılır.

5.6.2. Görüntü Eşleştirmede Temel Problemler

Görüntü eşleştirme problemi, aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

1. Görüntü üzerine karşılaştıracak bir olgu seçmek (nokta veya özellik).
2. Diğer görüntü üzerindeki eşlenik noktaları bulmak.
3. Nesnel uzayda seçilen olgunun üçboyutlu yerini hesaplamak.
4. Eşleştirmenin kalitesini belirlemek.



Şekil 5.5. SAM Noktalarının Stereo Modelden Otomatik Olarak Elde Edilmeleri
Görüntü Eşleştirmesi Yöntemleri ile Mümkündür

Şekil 5.5' teki gibi tipik bir görüntü çiftini örnek olarak alalım. Hangi görüntüden karşılaştırma olguları seçilmelidir ve ilk görüntüdeki yeri nasıl belirlenmelidir? Eşlenik kenarların başarıyla karşılaştırıldığını düşünsek bile, hiç eşlenik nokta yok ise bunların yerlerini nesnel alanda nasıl hesaplayabiliriz gibi sorular ile karşılaşmak mümkündür [Schenk F., 1994].

- **Arama alanı, karşılaştırılan olguların tekliği:**

Görüntü üzerinde, piksel koordinatları (r, c) , piksel boyutu P , gri tonu g_p olan bir bölge alalım. Eğer kaba bir yaklaşımla, diğer görüntüyle kesişme noktalarını ararsak, tüm model alanını, g_p deki gri tonu bulmak için incelemeliyiz. Bu işlem, % 60 ileri

bindirmeli bir hava fotoğrafı için $0.6 \times M \times N$ adımda gerçekleşecektir. Burada; $M \times N$ piksel sayısını diğer bir ifade ile çözünürlüğü ifade etmektedir. Eğer, birinci hava fotoğrafındaki bir piksel ile diğer hava fotoğrafındaki tüm pikseller eşleşiyorsa, hesaplanacak alternatiflerin sayısı oldukça fazla olacaktır. Takip edilmesi çok güç olan bu hesap probleminden başka bir de belirsizlik sorunu vardır. Böylece, sadece bir tanesi doğru olan, $(0.6 \times N \times M) / 256$ tane karşılaştırma buluruz. Eğer, görüntü kirliliğini de düşünürsek daha fazla potansiyel karşılaştırma bulunabilir.

Bu örnek iki problem tanımlamaktadır:

- Bilgisayar tarafından tüm görüntü üzerinde karşılaştırılan olgular arasında benzer ölçüler söz konusu olur.
- Eğer karşılaştırılan olgular yeterince tekil, karakteristik değilse belirsizlik ortaya çıkar.

Birinci problem için çözüm, eşlenik noktaların bulunması için araştırılan alanın daraltılmasıdır. İkinci problem ise daha karakteristik olgular seçilerek giderilebilir.

- **Yaklaşımlar, sınırlar ve kabuller:**

Görüntü eşleştirme, yüzeylerin yeniden oluşturulması işleminin bir parçası olarak, sorunlu bir problemdir. Örneğin, yüzeylerin yeniden oluşturulması sırasında her hangi bir eşleştirme yapılamayabilir veya ikinci görüntüde, birden fazla nokta ya da alan ile eşleştirme olasılığı bulunabilir.

Görüntü eşleştirmesinde çözüme ulaşmak için, olası çözümlerin olduğu alanı belli alanlar tanımlayarak daraltmak gerekir. Görüntü eşleştirme işlemine, gerçek çözümün tahmin edildiği alanlardan başlanmalıdır. Aynı hava fotoğrafına ait, daha büyük piksel boyutlu görüntü piramitleri oluşturarak, eşleştirilecek piksel sayılarını azaltmak ve eşleştirme işlemi kademe kademe görüntünün çözünürlüğü daha yüksek piramitleri ile devam etmek hesaplama işlemlerini azaltacaktır. Alan bazlı yöntemlerde, arama işine gerçek eşlenik noktalara çok yakın yerlerden başlanmalıdır. Özellik bazlı eşleştirme ve sembol bazlı eşleştirmede, daha geniş bir yaklaşım çapı bulunmalıdır. Yaklaşımlar ve eşleştirme alanı birbiri ile çok fazla ilişkilidir. En iyi yaklaşımlar, en küçük arama alanında olur. Eşleştirme problemiyle ilgili tahminler de, arama alanını

sınırlamak için ayrı bir nedendir. Hava fotoğraflarındaki %60 bindirme buna iyi bir örnektir. Doğru bir eşleştirme için kullanıcı, görüntü eşleştirme programlarının problemi çözüm yaklaşımını bilmelidir [Schenk F., 1994].

- **Eşleştirme olgularındaki geometrik bozulmalar:**

Belirsizlik problemine getirilebilecek en iyi çözüm, eşleştirilen olguların tek olmasını sağlamaktır. Tek bir pikselin gri seviyesini karşılaştırmak yerine, bir pikseller gurubunun; bir görüntü parçasının gri seviyeleri karşılaştırılmalıdır. Bunun için, her görüntü parçasının grilik seviyesi, $(n \times n)$ piksel boyutunda, diğer görüntüdeki grilik seviyesiyle karşılaştırılmalıdır. İki görüntüdeki arama alanlarının merkezlerinin, eşlenik noktalar olduğu bir durum ele alınabilir. Eğer arama alanının her pikselinde kıyaslanan gri seviyesi özdeş ise, benzerlik ölçmesi bir maksimum verecektir. Bu gerçekte hiçbir zaman gerçekleşemeyecek ideal bir durumdur. Birbirini takip eden iki görüntü arasındaki görüntü kirliliği, ışık şiddetindeki farklılıklar ve yansıma özellikleri grilik seviyelerinde farklılaşmaya sebep olmaktadır.

Gerçek eşlenik konumda olmalarına rağmen, iki görüntü parçasının birbirinden farklı görünmesine sebep olabilecek ikinci bir kaynak da, merkezi projeksiyon ve arazideki yükseklik farklarından kaynaklanan geometrik bozulmalardır. Son olarak, mükemmel bir görüntü çifti teşkil ediyor bile olsalar, tekil olan pikseller kesişmezler. Diğer taraftan, alan bazlı yöntemler geometrik sapmalardan etkilenmekte iken, özellik bazlı yöntemlerin, eşleştirme doğruluğu daha düşüktür. [Schenk F., 1994].

5.6.3. Eşleştirme Yöntemleri

a) Alan Bazlı Eşleştirme

Alan bazlı eşleştirme, iki görüntüde birbirine karşılık gelen parçaları eşleştirme işlemidir. Burada, karşılaştırılan öge karşılıklı gri seviyeleridir. Buradaki asıl düşünce küçük alt görüntülerdeki grilik seviyesini, diğer görüntüdeki eşleniğiyle karşılaştırmaktır. Şekil 5.5' de yer alan ağaçlıklı bölge bir arama alanı olarak düşünülebilir. Şablonlar, görüntülerin birinde sabit pozisyonda bulunan görüntü parçalarıdır. Arama pencereleri de, şablonlarla, görüntü parçalarının karşılaştırıldığı

arama alanlarıdır. Karşılaştırma, birçok farklı benzerlik ölçme kriterine göre gerçekleştirilir. En çok bilinen yöntemler, cross-korelasyon ile en küçük kareler yöntemidir [Schenk F., 1994].

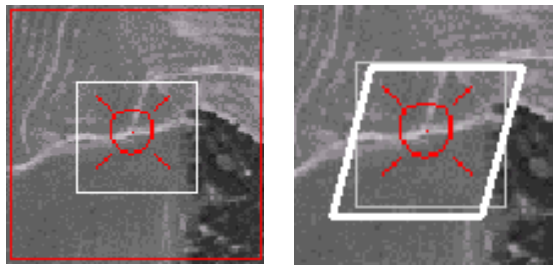
Aşağıda bu yöntemlerle ilgili kısa bilgiler verildikten sonra, şablon ve arama pencereleriyle ilgili vurgulanması gereken hususlara yer verilecektir.

- **Cross-Korelasyon Yöntemi**

Korelasyon tekniği, fotogrametride eşlenik noktaların bulunmasında kullanılan eski bir yöntemdir. İlk analog korelasyon uygulamaları denemeleri 1950'lerde yapılmıştır. Buradaki temel düşünce, eşleştirme penceresiyle, şablon arasındaki benzerliği korelasyon faktörü ile ölçmektir. Cross-korelasyon sabitine, Şekil 5.6'da görülen araştırma penceresindeki eşleştirme penceresinin her (r, s) pozisyonunda karar verilmelidir. Bir sonraki problem ise maksimum korelasyon sabitinin (u, v) belirlenmesidir. Araştırma penceresinin epipolar çizgisine kadar sıkıştırılması halinde, korelasyon katsayısı grafik olarak gösterilebilir iken, maksimum değer korelasyon sabitinin bir polinoma uyarlanmasıyla elde edilmektedir [Schenk F., 1994].

- **En küçük kareler yöntemi**

En küçük kareler eşleştirmesiyle ilgili ilk çalışmalara, Ackerman ve Förstner tarafından 1980'lerin ortalarında Almanya'da başlanmıştır Buradaki temel düşünce, şablon ve eşleştirme penceresi arasındaki grilik seviye farklarını, eşleştirme penceresinin şekli ve yeri yardımıyla, minimize etmektir [Schenk F., 1994].



Şekil 5.6. Belirlenen Şablonun Eşleştirme Penceresi Üzerinde Değişimi

Bundan, sabit şablon ve deforme edilmiş pencere arasındaki gri seviye farklılığı minimuma ulaşana kadar, pencerenin şekli ve yerinin değiştirileceği sonucunu çıkarmak gerekir. Eşlenik pozisyon bulunana kadar, eşleştirme penceresi hareket ettirildiğinde, deformasyonun görünüşü ilk halinden daha az belli olacaktır.

Bilinmeyen yöneltme parametreleri, yana eğilmiş arazi parçaları, engebeli bölgelerdeki arazi parçaları gibi çeşitli nedenlerden oluşan geometrik deformasyonları ele aldıktan sonra, Şekil 5.6'da yer aldığı gibi, penceredeki tüm pikseller karşı şablondaki eşleriyle çakışınca kadar eşleştirme penceresinin şeklinin değiştirilmesi gerektiği görülecektir.

- **Şablonun yeri:** Şablonun merkezi teorik olarak, stereo model alanında herhangi bir yerde olabilir. Gerçekte ise, şablonun merkezi ancak, şablonun yarısının görüntüden küçük olduğu yere konulabilir. Şablonun yeri ve büyüklüğü alan bazlı eşleştirmenin başarısızlıkla sonuçlanmasına sebep olabilmektedir. Örneğin, şablonu diğer görüntüde bulunmayan bir alana oturtmak, yansımanın zayıf olduğu bir alan veya görüntünün tekrarlandığı bölgeler seçmek, kırık çizgiler (breakline) ile dolu bir alan seçmek bu gibi durumlardan bazılarıdır.
- **Şablonun boyutu:** Şablonun boyutu ve karşılaştırma penceresinin boyutu da diğer bir önemli parametredir. Boyutun artırılması, grilik seviyesi fonksiyonun iyileşmesini sağlamaktadır. Ancak bunuyapılması halinde geometrik sapmalar da artmış olmaktadır. Bu hususta bir orta yol bulunabilmesi için farklı şablon boyutlarında ölçmeler yapılması önerilebilir. Bunun yapılmasıyla, aynı zamanda şablonun yerinin kullanışlılığı da kontrol edilmiştir.
- **Arama penceresinin yeri ve boyutu:** Alan bazlı görüntü eşleştirmesi birbirine yakın birçok eşleştirmelere bağlı olduğundan, arama penceresinin yeri önem kazanmaktadır. Eşleştirmede arama penceresinin boyutunun gözle görülür bir rolü yoktur. Burada izlenecek hiyerarşik bir strateji, çoğunlukla, iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Şekil 5.6'da şablon ve arama penceresine ait bir örnek verilmiştir.
- **Kabul ölçütleri:** Şablon ve eşleştirme penceresi arasındaki benzerliklerin ölçümünde elde edilebilen faktörler analiz edilmelidir. Kabul/ret kriterleri tek

görüntü içinde bile değişken olabilmektedir. Bu yüzden eşik kabul/ret değerlerine yerine göre karar verilmelidir.

- **Kalite kontrolü:** Kalite kontrolü, eşleştirme doğruluğunun kabul edilmesine ve eşlenik noktalarının güvenilir yerlerde olmasına bağlıdır. Bundan başka, eşleştirilen noktaların uyumluluğu analiz edilmeli, buna, beklentilerle uyumluluk veya nesnel alanla ilgili bilgiler de eklenmelidir.

b) Özellik bazlı eşleştirme

Başlık adından da anlaşılabilceği gibi, özellik bazlı eşleştirmede (Feature Based Matching) eşlenik olgular, orijinal görüntünün gri seviyelerinden seçilir. Bunlar, nesnelere ait noktalar, kenarlar veya bölgeler olabilir. Kenarlar uzun zamandan beri en çok kullanılan özelliklerdir [Schenk F., 1994].

Görüntülerde kenarlar, parlaklık farklılıklarına karşılık gelir. Bu gibi farklılıklar keskin kenar olabilir veya daha genişletilmiş bir alanda olabilir. İyi bir yazılım bir başka ifade ile işlemci, kenarın keskin veya yumuşak geçişli oluşunu kolaylıkla bulabilmelidir. Kenarlar tüm yönlerde oluşur ki, bu yönden bağımsız işlemci gerektirir. Kenar işlemciler, görüntü kirliliğine (noise) karşı duyarlı olduğundan, bu farklılıkları noise u arttıracak biçimde alabiliriz. Gerekli olan bir başka şey de noise un etkisini azaltmak için görüntüleri düzleştirmektir (smoothing).

• Bağımsız kenar piksellerinin eşleştirilmesi

Özellik bazlı eşleştirme, Marr-Poggio-Grimson algoritması olarak bilinen bir yaklaşımla tamamlanmaktadır. Bu yöntemde zero-crossing eğrileri, ilk olarak piksel seviyesinde eşleştirilmekte, bunu takiben bölgesel kriterleri dikkate alan çoklu eşleştirmeler yapılmaktadır. Burada sayısal görüntü çiftinin (stereopairin) normalleştirildiği kabul edilip, sayısal stereopairin aynı sırasındaki eşlenik olguları bulunmaktadır. Aşağıdakiler bu yaklaşımın bir özeti niteliğindedir [Schenk F., 1994].

Şekil 5.7’de yer alan her hangi bir eşlenik çizgi ile başlayalım. Bu çizgiye ait ilk kenar pikseli p_1 olarak isimlendirilirse, ilk yapmamız gereken, diğer görüntüdeki

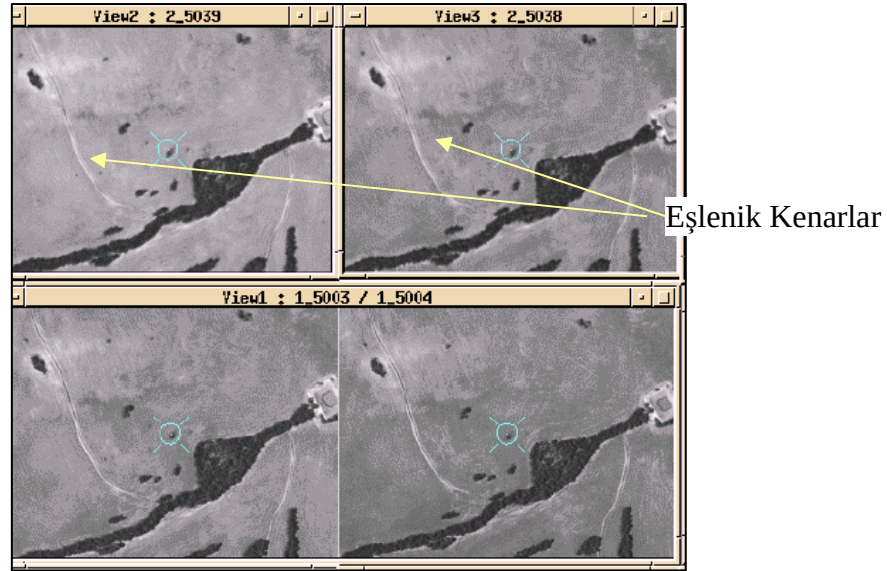
potansiyel kenar piksellerini bulmaktır. Bu durumda, p 'nin tahmini eşleştirme noktası, s arama aralığında sınırlanır. Bu arama aralığında bir çok kenar pikseli bulunur. Fakat, bunların uyumsuz özellikler taşıyanları potansiyel eşleştirme ihtimalinin dışında tutulacaktır. Birinci görüntü, seçilmiş olan kenar piksel p_1 'in solunda daha parlak olarak görünüyorsa, aynı özellik diğer görüntü içinde geçerli olacaktır. Görüntünün (sayısal hava fotoğrafının) yöneltme değerleri ve parlaklığın şiddeti diğer adımlarda kullanılacak özelliklerdir. S arama aralığında p_1 ile aynı özelliği taşıyan tüm pikseller eşleştirmeye aday olabilecektir ve tüm bu pikseller yazılımın hafızasında depolanırlar.

Potansiyel ne kadar çok eşleştirme var ise, doğru olanı bulmak o derecede zorlaşacaktır. Bu nedenle bureadaki en önemli soru, ortalama olarak kaç tane adayın olacağı ve dahada önemlisi bu sayının nasıl en fazla 3 ile 5 arasında tutulabileceğidir. En doğru eşlenik noktalarının seçimi, kesintiler içinde süreklilik prensibine göre yönetilir. Kenarların bir yanı ile öbür yanındaki piksellerin gri seviyeleri kesintiye uğrar, ama gerçek detaylarda olabilen kenarlar boyunca, en az birkaç piksel, gri seviyelerdeki uyum devam edecektir. Sonuç olarak, eşleştirilmiş kenarlar boyunca paralaks ancak yavaş yavaş, zorla değişir ve ama asla beklenmedik bir biçimde değişmez.

- **Tüm kenarların eşzamanlı eşleştirilmesi**

Şekil 5.7' deki görüntüleri ele alalım. Eğer tüm kenarlar eşleştiriliyorsa, aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır.

- Eşlenik kenarlar benzer bölgelerde oluşur. Normal bir hava fotoğraf çifti verildiğinde, sol üstteki kenarın, sağ alttaki kenarla eşleştirilmesi mümkün değildir.
- Eşlenik kenarlar benzer şekil ve yöneltmeye sahiptirler. Yatay bir kenar düşey bir kenarla eşlenik değildir ve S biçiminde bir kenar gene S biçimindeki bir kenar ile eşleniktir.
- Kenarların uzaysal bağlantıları, bunların eşleniklerini güçlü bir biçimde etkilemez. Örneğin sol kenarın topolojik özellikleri başka bir kenarın topolojik özelliklerini etkilemez.



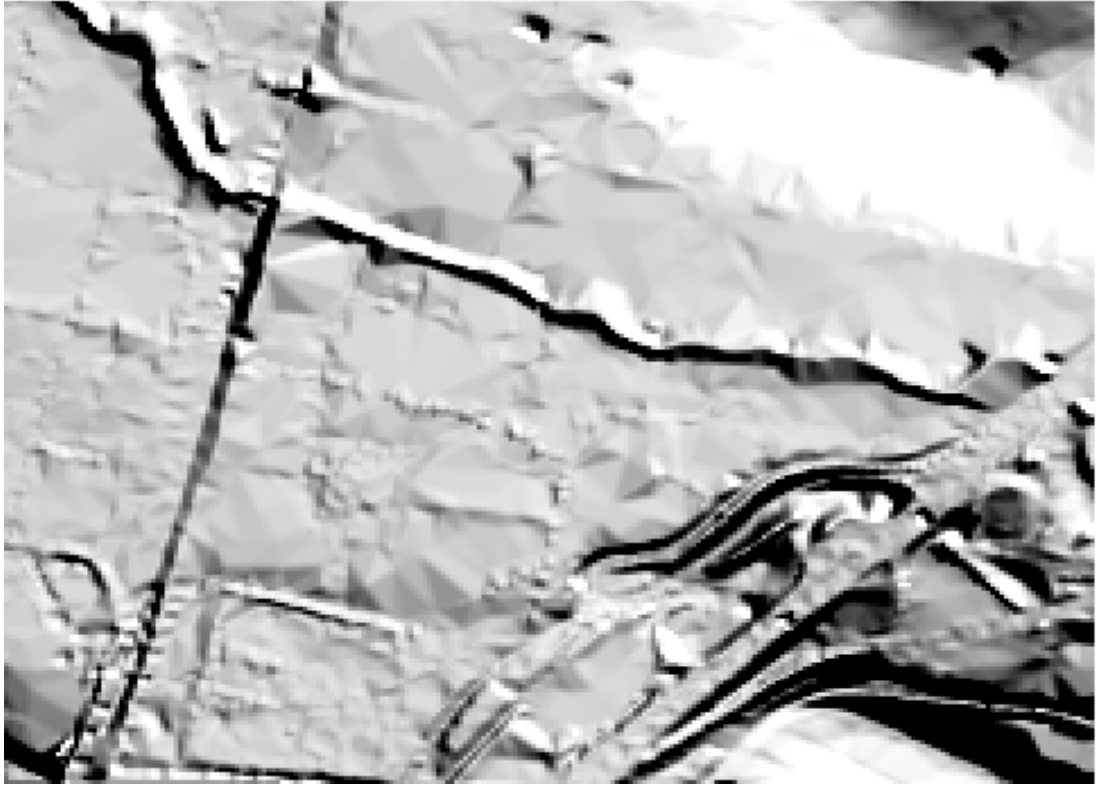
Şekil.5.7. Görüntü Eşleştirmesinde Tüm Kenarların Eşzamanlı Eşleştirilmesi

Bu gözlemler, tüm kenarların eşleştirilmesinde bize yol gösterecek stratejileri belirlerler. Mesela, r_i bir görüntüdeki bir kenar olsun, ve $q_j, j=1, \dots, n$ de diğer resme ait lokalizasyon ölçütüne göre seçilmiş bir grup aday olsun. Buradaki sorun, bir kenar bulmak, kenarın bir bölümünü bulmak veya eşleştirilecek bir çok kenara ait bölümler bulmak, özetle r_i e benzer bir kenar bulmaktır [Schenk F., 1994].

5.6.4. Yüzey Oluşturma

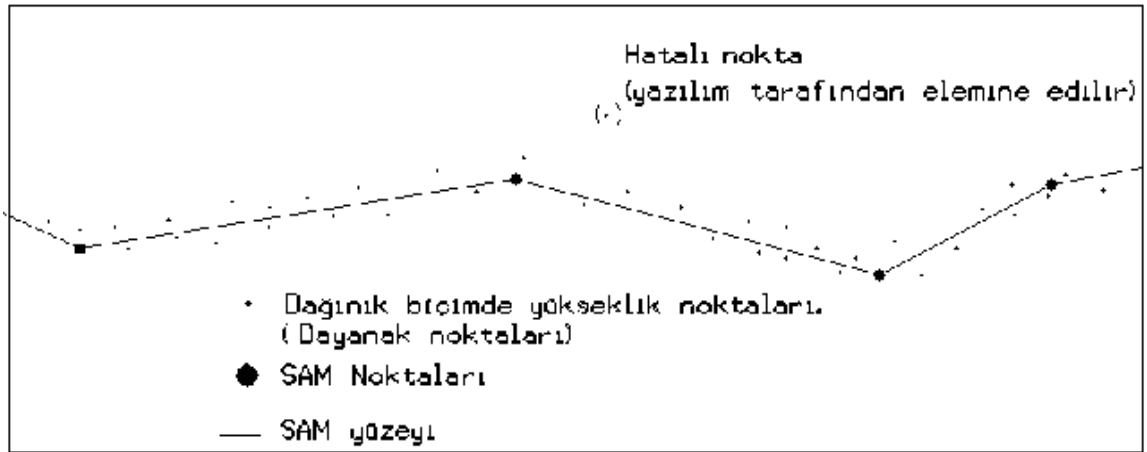
Görüntü eşleştirmesiyle elde edilen noktalar, eşit dağılımlı değildir ve hala tam anlamıyla yüzeyi ifade etmemektedir. Birinci aşamadaki tüm pikseller seçilmiş olsa bile, bazı boşluklar olacaktır, çünkü eşleştirme her zaman başarılı olmayacaktır. Bunun için “3D” noktalar enterpole edilmelidir. Rölyef gösterimli bir yüzey örneği Şekil 5.8’te verilmiştir.

Yüzey uygunluğu terimi, enterpolasyonu içerdiği gibi, diğer yaklaşım yöntemlerini de içeren genel bir ifadedir. Yüzey oluşturma yöntemleri, uyumdaki kalite ve matematik modelin tipine göre sınıflandırılabilirler.



Şekil 5.8. Rölyef Gösterimli Sayısal Arazi Modeli (GYTE Çayırova Kampüsü)

Bunlardan ağırlıklı ortalama yönteminde, herhangi bir yerdeki yükseklik, yol boyu ile ters orantılı olarak, Şekil 5.9’da görülen örnekte olduğu gibi, tüm veri noktaları içerisindeki en ağırlıklı nokta olarak hesap edilir. Hesap kolaylığı sağlaması açısından, lokal ortalama değer için tüm veri noktaları hesaba katılmaz.



Şekil 5.9. Yükseklik Noktalarından Arazi Modeli Noktalarının Enterpolasyonu

Diğer bir yöntem olarak da, polinomlar yüzeylerin enterpolasyonunda kullanılmaktadır. Yoğunlukla kullanılan spline, devam eden parçalar için tanımlanmış bir polinom fonksiyonudur. Türevlerin olduğunu kabul edersek, spline fonksiyonu sürekli ve parçalar arasında yumuşak geçiş sağlayan bir fonksiyondur. İyi bir özellikte bunların yerlerinin tahmin edilebileceğidir, spline'lar veri noktalarının omurgasında bulunurlar.

Arazide kırılmalar var ise; ışık farklılıkları gri ton değişmelerine sebep olduğundan için, kenarlar ve kırılma çizgileri birbiriyle ilişkilidir. Yani kırılma çizgileri, kenarlar gibi düşünülebilir.

5.6.5. Kontrol ve Düzeltme

Çoğu SAM oluşturma sistemlerinde, eşleştirme ve yüzey sıklaştırmaları otomatik işlemlerdir. İnsan müdahalesi sadece işlemin başlatılması aşamasında vardır. İki işlemde de yapılan kontrollere rağmen, SAM' nin doğruluğunun belirlenmesi ve tamamlanmış olması için işlemin bir operatör tarafından kontrolü gerekir. Kalite kontrolü, SAM' nin görüntülenmesi ve etkileşimli olarak gerekli düzeltmelerin yapılmasından oluşan iki aşama ile tamamlanır. Bu işlem, sadece SAM' nin kalitesini etkilemesi açısından değil, aynı zamanda, otomatikleşmiş bu yaklaşımın ekonomisi ile de ilgilidir.

SAM' nin görüntülenmesi, perspektif görüntülenme ve 3D görüntülenme olarak sınıflandırılabilir. SAM' nin çizgisel (wireframe) modelde perspektif görünüşü, hızlı bir biçimde kolay karar vermemize ve kaba hatalarının tespitine olanak tanır. Buna rağmen, doğruluk konusunda bir kanıya varmamız için eksiktir. (Wireframe) modelinin alternatifi, yapay bir ışık kaynağı ile gölgelemektir (rendering). Bu teknik, hataların bulunması için bir dereceye kadar etkilidir, fakat hala doğrulukla ilgili bir yargıya varmamızı sağlamaz [Schenk F., 1994].

SAM' deki güç algılanan hataların tespiti ve doğrulukla ilgili bir kanıya varmak, modelin üzerine “superimpose” edilen 3D görüntüyle mümkündür. Sayısal iş istasyonları bu iş için ideal bir ortamdır. Buna rağmen dikkatli bir kontrol sıkıcı bir

işlemdir. Norvelle (1994), tekrarlı hassas ortofoto adını verdiği, bilgisayar destekli yapılacak bir kalite kontrol tekniğini anlattığı bir araştırma çalışmasında, otomatik olarak, 15 dakikada oluşturulmuş bir verinin kontrolü ve düzeltilmesinin 5 saat sürebileceğini bildirmiştir. Aynı SAM kullanılarak modelin her iki fotoğrafından birer ortofoto üretiminin anlatıldığı, Schenk tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırma sonucuna göre, SAM'nin doğru olması halinde, radyometrik farklılıklar dışında, iki ortofotonun da aynı olacağı; geometrik yanlış yerleşmelerin hatalı SAM noktalarından kaynaklanacağı; bu yanlış yerleşmelerin otomatik olarak eşleştirme işinin iki ortofoto ile tekrarlanmasıyla bulunabileceği, hatta bu yanlış yerleşmelerin SAM' nin düzeltilmesinde de kullanılabileceği ifade edilmiştir [Schenk F., 1994].

5.7. Harita Projelerinde Sayısal Arazi Modeli

Alışlagelmiş harita üretim çalışmalarında eşyükseklik eğrileriyle ve karakteristik noktalardaki yükseklik değerleriyle arazinin ifade edilmesi en sık kullanılan yöntemdir. Bilgisayarla yapılacak çalışmalarda arazinin eşyükseklik eğrileriyle gösteriminden çok belli grid aralıklarında yükseklik değerleri bilinen modeli kullanılır. Böyle bir model sayısal arazi modeli olarak bilinir. SAM mevcut ise çeşitli yazılımlar kullanılarak eşyükseklik eğrileri çizilebilir.

5.7.1. Sayısal Arazi Modelinden Eşyükseklik Eğrilerinin Enterpolasyonu

Topografyaya ait yükseklik bilgileri eşyükseklik eğrileri ve karakteristik noktalarda ölçülen kot değerleriyle ifade edildiğinde, eşyükselti eğrileri yapılacak haritanın ölçeğine göre belirli aralıklarla çizilirler. Arazi eğimine göre eşyükseklik eğrileri arasının 2 cm'den fazla olması durumunda aralarına kesik çizgilerle bir ara eğri çizilir ve gereken yerlerde yükseklik noktası ölçülür. Tablo 5.3'de ölçeklere göre eş yükselti eğrisi aralıkları gösterilmektedir.

Tablo 5.3. Çeşitli Ölçeklerde Eşyükseklik Eğrisi Aralıkları

Harita ölçeği	Eşyükseklik Eğrisi Aralığı		
	Düz	Ara	Kalın
1:500	1m	0.5m	5m
1:1000	1m	0.5m	5m
1:2000	2m	1m	10m
1:5000	5m	2.5m	25m

Eşyükseklik eğrilerinin gerek çiziminde gerekse tersiminde insan faktörünün olumlu etkileri yanında olumsuz etkileri de görülür. İnsan faktörünün olumsuz etkilerinden kurtulabilmek için eşyükseklik eğrilerini SAM’ den otomatik olarak çizdirmek istenir. Yeryüzüne ait kırıkçizgiler (breakline), belirleyici çizgiler (formline) gibi çizgisel özelliklerin eşyükseklik eğrisi çizim programlarına tanıtılmasıyla daha doğru bir eşyükseklik eğrisini otomatik olarak çizdirmek mümkün olabilmektedir. Otomatik çizdirilen haritalarda edit yapılması gerekliliği vardır. Eşyükseklik eğrisi çizimi amacıyla üretilen SAM, ülkemizde uygulamada olan yönetmeliklerde yer alan ve Tablo 5.3’de özetlenen doğruluk değerlerini karşılamalıdır.

5.7.2. Ortofoto Harita Üretiminde Sayısal Arazi Modeli

Ortofoto haritalar resmin eğikliği ve arazinin yüksekliğinden dolayı oluşan fotoğraf hatalarının giderildiği ve üzerindeki her noktada ölçeğin sabit olduğu fotoğraf haritalardır. SAM’ nin beklenen kalite ve doğrulukta olması durumunda, sayısal fotogrametrik sistemler ile çok kısa sürelerde ortofoto haritaların üretimi mümkün olabilmektedir.

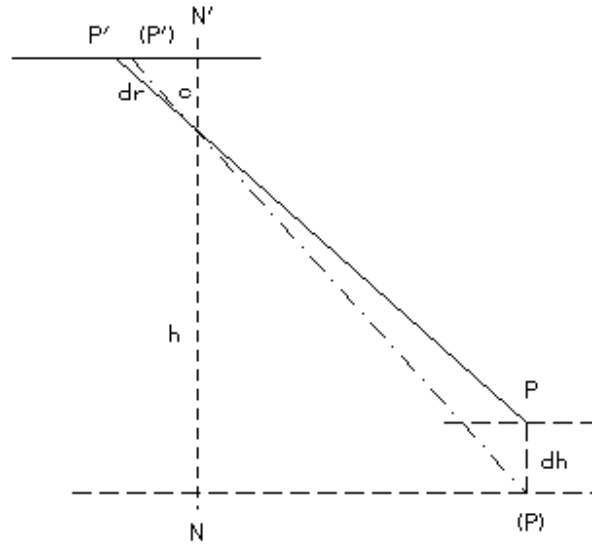
Sayısal formda ortofoto haritaların sağlayacağı yararlardan bazıları şunlardır:

- Sayısal formda ortofoto üzerinden çok çeşitli amaçlar için 3D bilgiler alınabilir.
- Geniş alanlara ilişkin veri kümeleri toplanıp güncel halde tutulabilir.
- Göreceli güncellik sağlanabilir ve değişiklikler çarpıcı bir şekilde ortaya konabilir.
- Her türlü veri tabanlarına kolaylıkla bilgi aktarımı mümkündür.

- SAM' nin doğruluğuna bağlı olarak çeşitli mühendislik çalışmaları yapılabilir.
- Görüntü işleme tekniğinin sunduğu olanaklardan yararlanılabilir.
- Sayısal ortofotolardan çeşitli ölçeklerde haritalar üretilebilecektir.

Ortofoto harita üretiminde, stereo görüntüye imkan veren bir çift sayısal görüntü, bu görüntülerin oluşturduğu modele ilişkin yöneltme bilgileri ve model alanını içeren bir sayısal arazi modeline gereksinim vardır. Çok çeşitli amaçlar için kullanılabilen ortofotoların beklenen doğrulukta bir SAM'ne sahip olması gerekir. Ortofoto üretiminde sayısal arazi modeli, her noktada farklı yükseklikte bir izdüşüm düzlemi geçirebilmek için gereklidir. Sayısal arazi modelinin hatalı olması durumunda ortaya çıkan hata Şekil 5.10'de gösterilmekte ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$N'P' = r ; \quad \Delta r = \frac{\Delta h}{h} r \quad (5.1)$$



Şekil 5.10. Yatay Paralaks ve Yükseklik Doğruluğu

Şekil 5.10'da gösterildiği haliyle, arazideki bir P noktasının fotoğraf üzerindeki görüntüsü P'dür. Δh kadar farklı yükseklikte bir izdüşüm düzleminde bu noktanın

karşılığı (P)'nin fotoğraf düzlemi üzerindeki karşılığı ise (P')'dür. Bu nokta P' noktasından Δr kadar farklıdır. Bu hatanın miktarı (5.1) formülü ile bulunur. Burada r, P noktasının N nadir noktasından uzaklığı olup, bu uzaklık arttıkça görüntüdeki kayma da artacaktır. (5.1) bağıntısından da anlaşılacağı üzere, kayma miktarı Δh yükseklik hatası ile doğru orantılıdır.

Ülkemizde üretimine başlanan sayısal ortofoto haritalar için mevcut yönetmeliklerde SAM' nin oluşturulmasına, doğruluğuna, grid aralıklarının sıklığına ilişkin bir hüküm bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında yer alan uygulamaların gerçekleştirildiği kurumun yüklenicisi olduğu İstanbul ve İzmir illerine ait sayısal ortofoto projelerinde, arazi gurubuna bağlı olarak değişmekle beraber 1: 1000 ölçekli ortofoto haritalarda 10 m ve 1: 5000 ölçekli haritalarda 30 – 50 m grid aralıklı SAM'nin kullanılması, sayısal ortofotolarda ilgili harita ölçeği için gerekli olan konum doğruluğunu sağlamıştır.

5.7.3. Sayısal Haritaların Güncelleştirilmesinde Sayısal Arazi Modeli

Analitik ve sayısal fotogrametrik sistemlerin sağlamış olduğu 3D "superimposition" tekniği, sayısallaştırma sırasında operatöre sayısallaştırdığı detayları obje koduna göre farklı renk gruplarında göstererek unutulma ve yanılmaları önler. Mevcut vektörel bilgilerin güncel stereo model üzerine iz düşürülmesiyle de arazide olan değişimler çarpıcı bir şekilde ortaya konabilir.

Yeryüzü üzerindeki yapay ya da doğal değişikliklerin tespitinin yanı sıra arazinin grid formunda bir SAM varsa, yine stereo model üzerine iz düşürülerek SAM'nin doğruluğu, SAM'deki değişimler kolaylıkla tespit edilerek düzeltilebilir. Taşocağı, maden ocağı, yol, baraj ve dolgu çalışmalarında değişikliğe uğrayan arazide SAM'ni oluşturan grid yükseklikleri operatör etkileşimli edit yoluyla düzeltilerek SAM güncel halde tutulabilir.

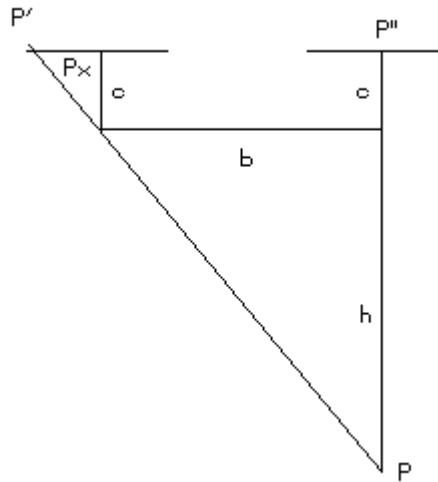
Büyük ölçekli çalışmalar için hazırlanmış olan SAM'lerden ölçek bütünlüğünü sağlamak üzere çeşitli ölçeklerde yeni SAM'ler hazırlanır. Bunun için, çok fazla veriler yerine amaca uygun sayıda grid yükseklik değerleri bulunan SAM'ler kullanılır.

5.7.4. Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu

Fotogrametride doğruluk nokta nokta sayısallaştırma ile sürekli modda çizim için ayrı ayrı incelenmelidir. Sürekli modda çizimin nokta nokta değerlendirmeye göre birkaç kat daha kaba olduğu kabul edilir. Doğruluk ile ilgili bir inceleme ancak arazide işaretli bir nokta veya bina köşesi gibi çok belirgin detaylar üzerinde yapılmalıdır. Belirgin olmayan detaylarda, belirsizlik miktarı dikkate alınarak yükseklik doğruluğu değerlendirilmelidir.

Fotogrametrik yöntem ile belirlenen yüksekliklerin duyarlılığı yatay paralaksın bir fonksiyonudur. Şekil 5.11'den yararlanılarak bu fonksiyon aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$h = \frac{b \times c}{p_x} \quad (5.2)$$



Şekil 5.11 Yükseklik Doğruluğu

Bu bağıntıda, bir fotoğraf çifti için b ve c sabit olduğuna göre, yükseklik doğruluğunu bulabilmek için, p_x 'e göre kısmi türev alınır,

$$dh = \frac{b \times c}{p_x^2} dp_x = \frac{h^2}{b \times c} dp_x \quad (5.3)$$

elde edilir. Buradan fotogrametrik yükseklik verilerinin ortalama hatası,

$$\sigma_h = \sigma_z = \left(\frac{h^2}{b \times c} \right) \sigma_{p_x} \quad (5.4)$$

olarak bulunur.

Yükseklik hatası, fotogrametride, uçuş yüksekliğinin bindesi (%0) cinsinden ifade edilir. Buna göre,

$$\sigma_z / h = (h / b \times c) \times \sigma_{p_x} \quad (5.5)$$

olur. %60 boyuna bindirme için $(h / b \times c) = 0.01$ bulunur. Nokta sayısallaştırmada hassas değerlendirme aletleri ve üniversal aletler için yatay paralaksın ortalama hatası,

$$\sigma_{p_x} = \pm 0.005 \text{ mm veya } \sigma_{p_x} = \pm 5 \mu \text{ alınabilir.}$$

Buradan,

$$\sigma_z = \pm \%0.05 h \quad (5.5)$$

elde edilir.

Deneyimler, başka bozucu etkenlerin de dikkate alınmasıyla yükseklik doğruluğunun verilen rakamın iki katının yani $\sigma_{p_x} = 10 \mu$ alınmasının daha doğru olduğunu göstermiştir [Yaşayan A.,1997].

Burada :

h = Ortalama araziden uçuş yüksekliği,

b = Baz uzunluğu,

c = Çekim kamerasının asal uzaklığı,

$h:c$ = Görüntü ölçek katsayısı,

$h:b$ = Baz : yükseklik oranının tersi ve

px = Kullanılan aletin değerlendirme duyarlılığını ifade eder.

Tablo 5.4’de çeşitli odak uzaklıklı kameralar için nokta nokta sayısallaştırmada elde edilebilecek yükseklik doğrulukları gösterilmektedir.

Tablo 5.4 Nokta Nokta Sayısallaştırmada Yükseklik Doğrulukları

Kamera Türü	f (cm)	s (cm)	h / b	m
Normal Açılı	30	23×23	3	$3 \times m \times m$
Geniş Açılı	15	23×23	1,5	$1,5 \times m \times m$
Çok Geniş Açılı	8,5	23×23	1	$1 \times m \times m$

5.7.5. Sayısal Fotogrametride Yükseklik Doğruluğu

Sayısal fotogrametrik sistemler kullanıldığında görüntülerin taranması işlemi yükseklik doğruluğu için oldukça önem kazanır. Yüksek doğruluğun istenildiği durumlarda tarama esnasındaki piksel büyüklüğü ekonomik olma özelliği de gözetilerek küçük tutulur. İstenilen arazi koordinatları doğruluğuna erişiliyorsa fotoğraf ölçeğinin de olabildiğince küçük olması istenir. Birçok durumda fotoğraf ölçeği istenilen düzey doğruluğa veya arazideki çözünürlük / ayırma gücü miktarına göre belirlenir. Özellikle yüksekliğin fazlaca önemli olmadığı harita güncelleştirmesinde ölçeği çözünürlük miktarı belirler.

Arazideki çözünürlük miktarı harita ölçeğine bağlı olarak 0.1m veya 0.2 m olarak seçilir. Arazi çözünürlüğü (gr), fotoğraf ölçeği ve fotoğraf çözünürlüğü (pr) cinsinden ,

$$gr = \text{Ölçek katsayısı} \times pr \quad \text{şeklinde yazılır.} \quad (5.5)$$

Fotoğraf çözünürlüğü ortalama 40 çizgi / mm. olmakla beraber FMC (Forward Motion Compensation-Resim Sürüklenmesini Önleyen Sistem)’li Zeiss RMK-TOP, Wild RC-30 gibi yüksek teknoloji kullanan kameralarda 60 çizgi / mm’ yi bulmaktadır.

Örnek:

Harita ölçeği = 1:5000, Arazideki çözünürlük = 0.5 – 1.0 m / çizgi ve Görüntü çözünürlüğü = 40 çizgi / mm. = 25 μ /çizgi ise,

$$\text{Ölçek katsayısı} = \frac{0.5 \text{ m / çizgi}}{25 \mu / \text{çizgi}} = 20\,000 \text{ olmalıdır.}$$

Sayısal görüntülerle çalışırken bu bağlamda piksel boyutu belirlenir. Teoride piksel boyutu ve görüntü çözümlemesi arasındaki oran Kell-sabiti; 2.8 ile belirlenebilir, ancak uygulamada bu oran sayısal görüntünün gri değerleri optimize edilebildiğinden iki olarak alınabilir [Jacobsen K. 1995]. Yani görüntü çözümlemesi 40 çizgi / mm ise piksel boyutu 12 μ olarak seçilebilir. Daha küçük piksel boyutunun yararı olmayacaktır. Diğer taraftan 12 μ piksel boyutu ile taranan bir görüntü veri sıkıştırılması yapılmazsa 400 mb yer tutacaktır. Tablo 5.5 ‘de çeşitli kameralar için seçilebilecek piksel boyutları ve bir resmin kaplayacağı disk alanı verilmiştir. Piksel boyutunun 12 μ olması görüntü koordinatlarının standart sapmasının bu olacağı anlamına gelmez. Koordinat ölçümünde teorik olarak ve uygulamada da standart sapmanın piksel boyutunun 1/3’ü olduğu, ancak iyi tanımlanmış noktalarda 0.02 piksel boyutu olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5 Çeşitli Kameralar İçin Seçilebilecek Piksel Boyutları
ve Bir Resmin Kaplayacağı Alan

Kamera cinsi	Ayırma gücü (lp/mm)	Piksel boyu (İm.Proc.olmadan) 1lp=2 2	Piksel boyu (İmage Processing) 1lp= 2	Görüntü’deki pikseller (mb.)
RMK;alçak uçuş	20	18	25	85
RMK;yüksek uçuş	40	9	12.5	338
RMK;yüksek uçuş	30	12	17	183
RMK,TOP	60	6	8	827
(FMC),alçak uçuş	70	4.5	6.5	1252
RMK;yüksek uçuş				

Piksel boyutunun artmasının sonuç ürünlerlere etkisi her zaman aynı derecede olmamaktadır. Örneğin 15µ piksel boyutundaki görüntülerden üretilmiş bir SAM, 30 µ piksel boyutundaki görüntülerden üretilmiş bir SAM'den sadece % 20-30 daha yüksek bir standart sapma artışı sağlar [Jacobsen K. 1995].

Fotogrametrik olarak belirlenen yüksekliklerin doğruluğu, konum belirlemedeki doğrulukta olduğu gibi nokta sayısallaştırma ve sürekli modda sayısallaştırmada ayrı ayrı ele alınmalıdır. Uygulamadaki deneyimler, sürekli çizimin nokta ölçümüne göre 3-4 kez daha kaba olduğunu göstermektedir. Diğer yandan doğruluk nicelikte ayrıntıların belirli yada belirsiz oluşu ile yakından ilgilidir. Belirsiz ayrıntılarda belirsizlik miktarının dikkate alınması gerekir. Stereo model üzerinde herhangi bir noktadaki yükseklik okumaları formül (5-1)'de görüldüğü üzere,

-Fotoğraf ölçeğine,

-Fotoğraf alım kamerasının odak uzaklığına,

-Değerlendirme aletinin duyarlılığına (sayısal çalışmalarda resmin çözümlemesine ve piksel büyüklüğüne) bağlıdır. Ancak bunlara,

-Operatörün okuma hatası,

-Okunan noktanın iyi okunabilir olma özelliği gibi sistematik olmayan hatalarda eklenmelidir.

5.7.6. Sayısal Arazi Modelinin Doğruluğu

SAM'nin (düşey) doğruluğu, enterpolasyonla bulunmuş olan yükseklik değerlerinin gerçek yükseklik değerleri ile olan farklarına dayanarak belirlenir. Gerçek arazi yüksekliği biliniyorsa bu farklara bakılarak mutlak doğruluktan söz edilir. Hassas nivelmanla ya da diğer jeodezik yöntemlerle belirlenen yükseklikler gerçek arazi yüksekliği olarak kabul edilebilir. Çok sayıdaki arazi noktasının yüksekliğini belirlemek için fotogrametrik olarak oluşturulan stereo modelden yükseklik değerleri ölçülerek de göreceli (rölatif) olarak SAM' nin doğruluğu belirlenebilir.

SAM'nin doğruluğu hakkında arazi tipine yada SAM'nin grid aralığına bağlı olarak kabul edilmiş doğruluk kriterleri mevcut değildir. Klasik eşyükseklik eğrisi içeren haritalarda eşyükseklik eğrisi aralığı ile doğruluğu arasında bir ilişki kurulabilir. Benzer bir ilişki SAM' de tespit edilmiş değildir. 5 m grid aralığında düz arazilerde 10-25 cm düz olmayan arazilerde en azından bunun 2 katı doğruluk beklenebilir. Buna bağlı olarak 10 m veya 50 m grid aralığında düz araziler için 0.5 m veya 2.5 m doğruluk kabul edilebilir. SAM'nin düşey doğruluğu için genel olarak grid aralığının düz arazilerde 1:20'i engebeli arazilerde 1:10'i oranında doğruluk beklenebilir [Ackermann F., 1994].

SAM'nin doğruluğunun yanı sıra kalitesi de anlamlıdır. Özellikle arazinin "break-line"lar, özellik arz eden tepecikler vb. detaylarla morfolojik yapısının tam ifade edilmesi, araziye uyum sağlaması, uygun dağılım gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

- **Dayanak Noktalarının Doğruluğu**

SAM'nin doğru olması için dayanak noktalarının SAM'den beklenen doğruluğu sağlaması vazgeçilmez bir gerekliliktir. Dayanak noktalarının olabildiğince iyi okunabilir noktalar olması gerekir. Ancak ormanlık, bulutla kaplı, gölgeli alanlarda, paralaks veya görüntü hatası bulunan bölgelerde eşleştirme sonucu hesaplanan dayanak noktaları sağlıklı olmayacaktır. Yüksek binaların bulunduğu, gölge nedeniyle zeminin iyi görülemediği yerlerde, ağaç veya çalı türü bitki örtüsüyle kaplı bölgelerde dayanak noktaları okumalarının ve otomatik eşleştirmelerin duyarlı olmayacağı ve SAM'nin doğruluğunu direk etkileyeceği açıktır.

Tez konusuyla ilgili uygulama alanı olarak seçilen bölgede, özellikle seçilen 5-6 metre yüksekliğinde ağaçların bulunduğu bölümlerde bu tür sorunlarla karşılaşmış, hatalı değerler etkileşimli düzeltme, Interactive Terrain Editing; "ITE" modülü ile düzeltilmiştir.

6. SAYISAL ORTOFOTONUN KULLANIM ALANLARI

Sayısal görüntülerin diğer verilerle birleştirilmesi ve sayısal harita üretiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında gerçekleştirilmesi olanağı, sayısal ortofotoların kullanım alanını önemli ölçüde arttırmaktadır. Sayısal ortofotoları ihtiyaç gitgide artmakta ve buda bu alanda yeni çalışmalara olanak sağlamaktadır. Çok değişik amaçlarla kullanılabilen ortofoto haritaların kullanım alanlarına çeşitli örnekler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Topoğrafik harita kullanım yerlerinde (askeri amaçlar için),
- Coğrafi bilgi sistemlerinde tabaka ve veri tabanı oluşturmada,
- Coğrafi bilgi sistemi profesyonelleri için yüksek doğrulukta uzaysal veri tabanı üretilebilecek sayısal bir altlık harita oluşturmada,
- Yol, kavşak yapımı projelerinde,
- Jeolojik çalışmalarda,
- Jeofizik çalışmalarında ve petrol aramalarında,
- Şehir planlama çalışmalarında,
- Kadastral çalışmalarda (tasarruf krokilerinin düzenlenmesi),
- Gayri meskun bölgelerde parsellerin sayısallaştırılması,
- Parsel çaplarının oluşturulması,
- Mevcut kadastral planların (çizgisel bilgilerin) ortofoto üzerine çakıştırılmasıyla uyum kontrolü,
- Kaçak yapılaşmanın kontrolü,
- Zamana bağlı mülkiyet problemlerinde delil olarak kullanılması [Ekinci A. 1999],
- Boru hattı ve enerji hattı projelerinin tasarlanması,
- Ormancılık faaliyetleri,
- Güncelleştirme faaliyetleri,
- Çizgisel harita üretimi,
- Deniz ve karayolu trafiği kontrol işlemleri, hava alanlarında uçakların alçalma konisi içinde bulunan engellerin belirlenmesi çalışmaları.

Sayısal ortofotoların CBS ile entegrasyonu, iki yönlü olarak değerlendirilmelidir; Ortofotoların CBS ortamında işlenerek diğer verilerle birleştirilmesi olanağı ve CBS için gerekli verilerin hızlı güvenilir ve ekonomik şekilde elde edilmesi.

CBS çalışmalarında sayısal ortofotoların önemli bir duruma gelmesinin başlıca nedenleri olarak, görüntü işleme tekniklerindeki gelişmeler, görüntü kalitesinin artması ucuz ve hızlı görüntü elde etme tekniklerinin geliştirilmesi sayılabilir. Özellikle sayısal görüntüler depolandığında görüntünün her an yeniden işlenebilmesi olanaklıdır. Bu alandaki çalışmaların henüz yeni durumda olması nedeniyle bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin başında, bu çalışmalarda kullanılan aletlerin pahalı olması, mevcut işlemcilerin gücü ve kapasitesinin yetersiz olması ve bu görüntülerin depolanmasında karşılaşılan problemlerdir. Ancak bilgisayar teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler, bu sorunların kısa zamanda çözülebileceğini bize göstermektedir.

Sayısal ortofotoların CBS ile entegrasyonunda bazı önemli noktaların göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlar CBS içinde yer alan, raster veriler ve SAM için bir çok veri formatı mevcuttur ve yakın bir gelecekte buna bir standart getirilebilmesi mümkün görünmemektedir. Görüntü formatı seçilirken veya yeni bir format oluşturulurken belli gereksinimlerin karşılanması ve diğer formatlara dönüşüm yapılabilmesine dikkat edilmelidir. Veri karışıklığının önlenmesi ve zaman alıcı dönüşümlerden kurtulmak için yaygın olarak kullanılan formatlar seçilmelidir. Kullanılan görüntü formatı temel olarak şunları içermelidir;

- Görüntüye ait bilgilerin eksiksiz olarak verilmesi,
- Görüntülerin parça parça saklanarak birleştirilmesi,
- Görüntü sıkıştırma işlemine imkan tanınması,

CBS uygulamalarında sayısal ortofotolar şu amaçlarla kullanılabilir;

- **Veri kalitesinin kontrolü;** Vektörel veya raster verilerin geometrik doğruluklarının sayısal ortofotolarla kontrol edilmesi ve hataların düzeltilmesi,

- **İşleme ve analiz;** Raster yapıdaki veriler, birtakım istatistiksel analizler, komşuluk ilişkileri ve bağlantıların belirlenmesi için uygun olduğundan sayısal ortofotolar CBS çalışmalarında bu amaçla kullanılabilirler.

- **Diğer görüntü verileriyle birleştirme;** SPOT ve LANDSAT görüntüleri orto-görüntülerle belirtilerek, daha basit ve doğru görüntüler elde edilebilir.

- **Sınıflandırma tekniklerinin geliştirilmesi;** Sayısal ortofotolar, diğer kodlanmış raster verilerle birleştirilmesi ile CBS’ de yer alan verilerin sınıflandırma ve analizinde kolaylıklar sağlanır.

- **Değişikliklerinin araştırılması;** CBS’ de yer alan verilerde ortaya çıkan değişiklikler, sayısal ortofotolarla tespit edilebilir. Bu değişimler özellikle planlama çalışmalarında önemlidir.

- **Sayısal ortofotoların ulusal temel harita olarak kullanımı;** Günümüzde CBS çalışmalarında, jeodezik veya fotogrametrik yöntemler ile ya da mevcut halihazır veya kadastral haritaların sayısallaştırılması gibi yöntemler ile elde edilen verilerle grafik veri tabanı oluşturma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde farklı yöntemler kullanılması, çok çeşitli ve farklı yapıdaki verilerin içinden gerekli olanı ayıklama gibi bir problemi ortaya çıkarmaktadır. Sayısal ortofotoların ulusal temel harita olarak kullanılması şeklindeki bir yaklaşım böyle sorunları ortadan kaldıracaktır.

7.SAYISAL ORTOFOTO VERİTABANLARININ YÖNETİMİ

Sayısal ortofotolar raster formatta fotoğraflar olduğundan CBS ortamında çizgisel harita bilgileriyle birlikte görüntülenebilirler. Ortofotoların CBS ortamının en önemli bileşeni olduğu söylenebilir. Ortofoto üzerinde her bir kullanıcı kendi ilgi alanına giren arazi bilgilerini görebilecektir [Thorope A., 1984].

Bir çok ülkede CBS projelerinde ortofotolar ana arazi bilgileri katmanı olarak seçilmişlerdir. Kent bazında 1:1000 ölçekli ve 0.25 m piksel çözünürlüğü, kırsal alanlarda ise 1:5000 ölçekli 0.50 m piksel çözünürlüğü kabul edilebilir. Bir pikselin 256 gri tonunu depolamak için sekiz bit veya bir byte kullandığı, bunun renkli görüntüler için, kırmızı, yeşil ve mavi için üç katı olduğu açıktır. Buradan hareketle ortofoto projeleri planlanırken amaca uygun renk, ölçek, yazılım ve donanım sorgulamaları yapılmaktadır. Yurdumuzda, örneğin, İstanbul il sınırları içinde üretilen 1:5000 ölçekli ve 0.40 cm piksel çözünürlüklü yaklaşık 1000 adet renkli ortofoto - 105 Gb (1 adet 5000 ölçekli pafta alanı 105 Mb) ve İzmir ile mücaviri için üretilen 200 adet 1:5000 ölçekli ve 0.40 cm piksel çözünürlüklü siyah/beyaz ortofoto - 7 Gb (1 adet 5000 ölçekli pafta alanı 35 Mb) mevcuttur. Bu verilerin yaygın olarak kullanılmakta olan CBS yazılımlarından Arc/Info ve Intergraph gibi yazılımlarla görüntülenmesi ve kullanıcı ihtiyaçlarına dayalı olarak geliştirilecek özel uygulamalara altlık teşkil etmesinin gerekliliği ortadadır [Thorope A., 1984].

Günümüzde kullanımda olan bilgisayarlar çok büyük boyuttaki verileri depolayabiliyor olsa bile piksel boyutundan bağımsız olarak ekran kartları bir - dört Mb veriyi aynı anda görüntüleyebilmektedir. Bu yüzden veri tabanından her seferinde büyük verileri alarak görüntülemeye çalışmak anlamlı değildir.

Birden fazla fotoğrafın yer aldığı çalışma alanlarında radyometrik düzeltmeler gereklidir. Hava fotoğraflarının pozlanma şiddeti, güneşin arazi yükseltilerinden ve eğimli yüzeylerden geliş açısı fotoğraftan fotoğrafa hatta fotoğrafın farklı bölgelerinde

değişkendir. Bu görüntü parlaklık değesinde değışikliklere neden olacaktır. Örneğin, bir akarsu resmin farklı bölgelerinde açık ya da koyu olabilecektir. “Hot spots” olarak nitelenen aynı resmin daha koyu ve açık bölgeleri de sorun kaynağıdır. Bu nedenle iki ortofoto aynı anda ekrana alındığında sınırları derhal fark edilmektedir. Bu doğal olmayan radyometrik farklılıklar istenmeyen durumlardır. Mozaik işlemlerinde bu düzeltilmeler yapılıyor olsa bile tüm proje alanının tek bir Mozaik ya da ortofotodan oluşması beklenemez. Özel bir işlem ile belirlenecek olan geçiş koridorlarında radyometrik uyumun sağlanması gereklidir.

Tüm aşamalarda gözetilmesi gereken toplam kalite yönetimi mantığından hareketle burada da radyometrik kalite daha fotoğraflar sayısal ortama aktarılmadan önce gözetilmeli ve fotoğraflar seçilen histogramlara uygun olarak taranmalıdır. Bu sağlanmadığı takdirde daha sonraki düzeltmeler ancak genel bir başarı temin eder. Proje alanında genel bir radyometrik düzeltme yapılabilmesi için birbirlerine bindirmeli alanlara sahip birinci aşama ortofotoların bir veri tabanında tutulması gerekir. Daha sonra ortak alanlardan elde edilecek doğrusal ağırlıklı fonksiyonlar ile radyometrik düzeltmeler getirilebilecektir.

Komşu ortofotolar arasında bir diğer problem de ortofotoların sadece yer yüzeyindeki pikselleri gerçek konumlarına çekmesinden kaynaklanır. Bir ortofotoda koyu renkli bina çatısına ait piksellerin hemen yanında yer alan komşu ortofotoya ait pikseller açık renkli bir kaldırıma ait olabilir. Mozaik yapımında “seamline editör” kullanılarak bertaraf edilen bu durum farklı ortofotolar için “blurring” işlemi ile giderilmeye çalışılabilir. Bu işlemin yapımında ölçek ve kontrast faktörlerine dikkat edilmelidir.

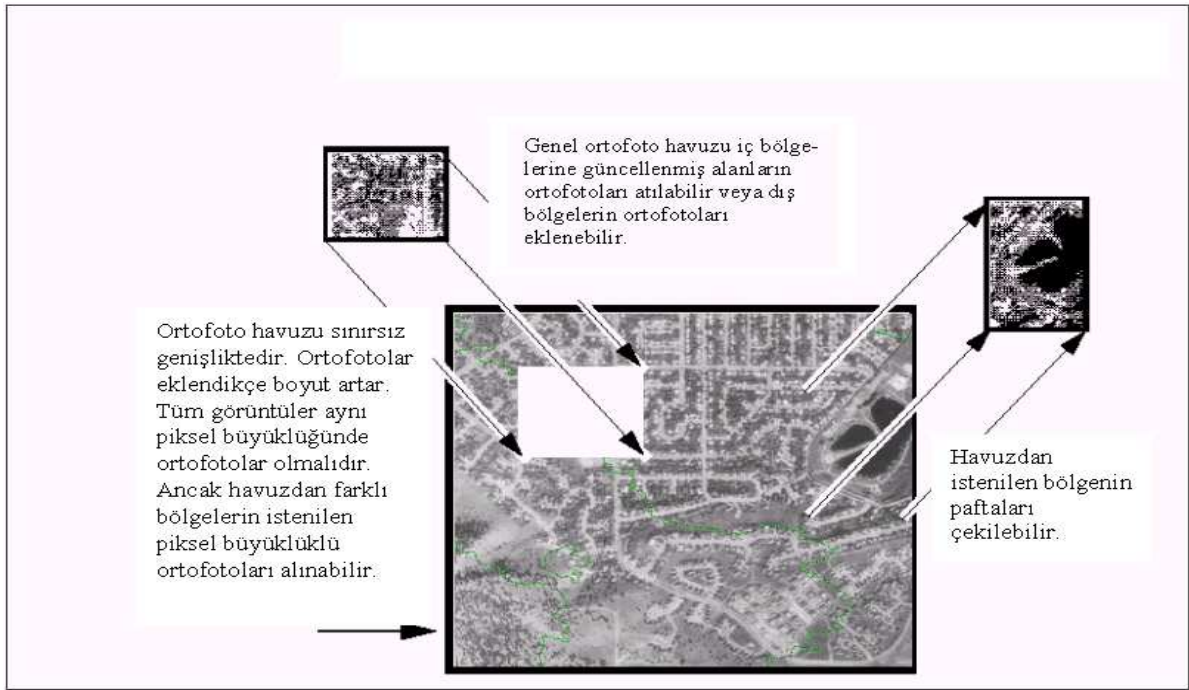
Ortofoto projelerinde üretim birimi pafta olabilir. Ancak kullanıcı paftadan bağımsız olarak istediğinde tüm bir şehri hızlı bir şekilde ekrana getirebilmeli ve gerektiğinde de bir bölgede 0.25 m piksel çözünürlüğünde sayısallaştırma veya planlama yapabilmelidir. Bunu sağlamak üzere proje alanı daha geniş boyutlarda birbiri ile örtüşmeyen dikdörtgenlere ayrılabilir ve yalnızca gerekli bölge görüntülenebilir. Alan bazlı bölümlenmenin yanı sıra ölçek bazlı bölümleme de kullanılmaktadır. Proje bölgesinin 0.20m, 0.40m, 1.0m, 2.0m 5.0m vb. gibi farklı piksel çözünürlüğünde

ortofoto piramitleri oluşturulmalıdır. Bu, en yüksek çözünürlükteki depolama alanının %30 kadar daha fazla yer demektir ancak, görüntüleme yazılımlarının hızını çok büyük oranda azaltacaktır [Thorope A., 1984].

Sabit disklerde çok büyük miktarda yer işgal eden ortofotoların kullanımıyla ilgili bir diğer konu da ağ (network)'dır. Büyük ortofoto veri tabanlarının bir tür istemci-sunucu (client-server) yapısı içinde paylaşımına sunulması uygun olacaktır. Network teknolojisinde veri aktarım hızının 100 mbit/saniye mertebesine ulaşması fiber optik kabloların kullanılmaya başlanması ve akıllı "hub"lar sorunun etkisini azaltmaktadır. Ancak, networkte yer alan bilgisayarların konfigürasyonuna dikkat edilmelidir ki, network maksimum hızda çalışabilsin. Network aktarım hızındaki artış, ortofotoların farklı sistemlerde depolanmasının olumsuz etkisini azaltabilecektir. Günümüzde CBS kapsamında ortofoto veri tabanlarına ulaşması gereken kullanıcılar tek mekanda olmayıp binalara ve hatta şehirlere dağılmış durumdadır. LAN/WAN ve internet ortamından erişim imkanlarının kullanıcılara açılması bu aşamada önemlidir.

7.1. Ortofoto Havuzu (Tabaka Mozaik)

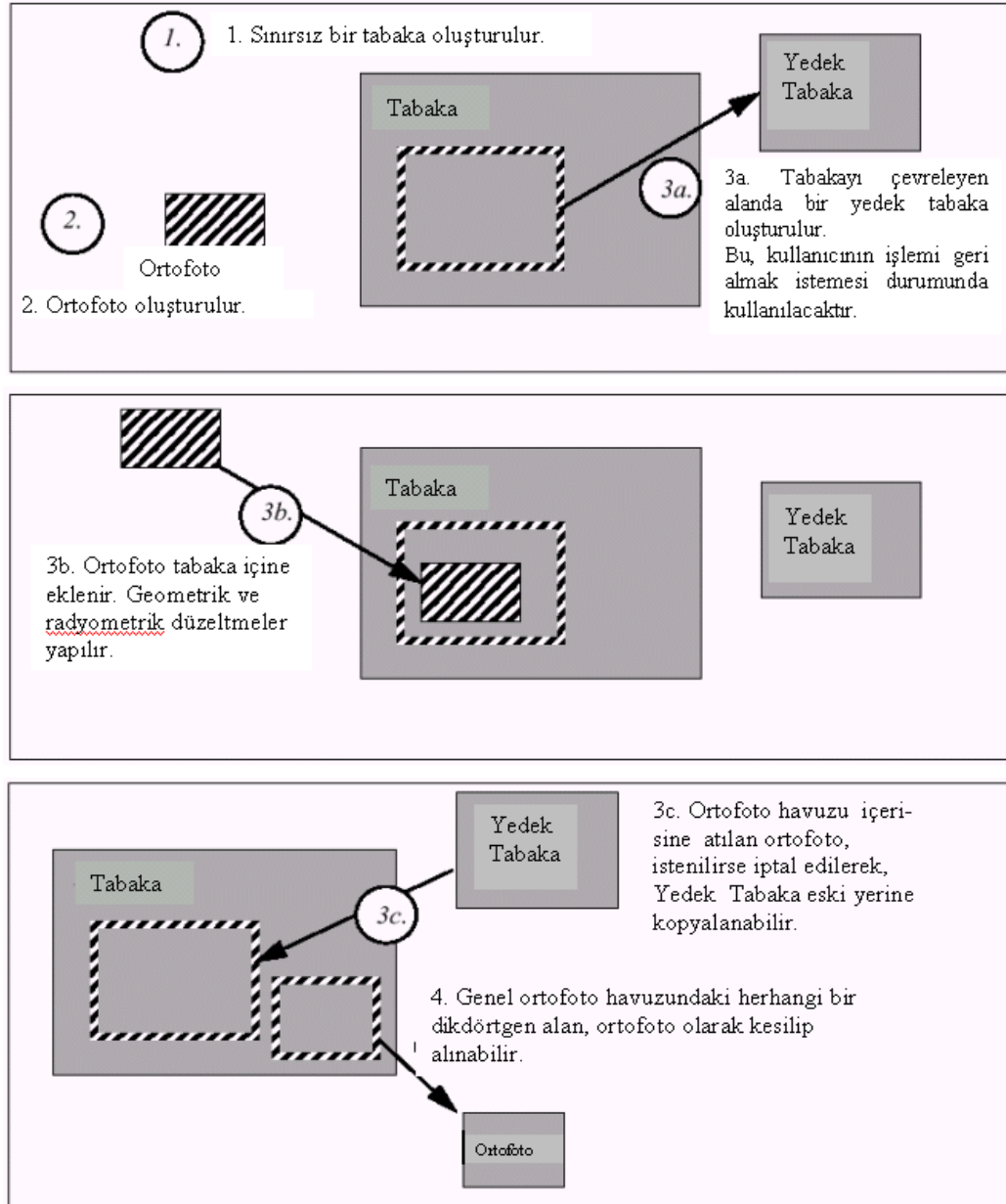
Ortofoto veri tabanlarının kullanımına ilişkin bir model aşağıda açıklanmıştır: Tabaka mozaik yapısı içinde iki ya da daha fazla ortofotodan oluşan bir mozaik vardır. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, her hangi bir boyut ve büyüklük ile sınırlı olmayan, bir tür boş havuz oluşturularak içerisine istenilen bölgelerin ortofotosu atılmaktadır.



Şekil 7.1. Ortofoto Havuzu Olarak İsimlendirilebilecek Görüntü Veritabanı

Bu alanlar örtüşebilir, bu sayede bu ortofotolar o bölgenin revizyonu için kullanılabilir veya ayrı bölgelerin ortofotoları aynı havuza atılarak alan genişletilebilir. Ortofotoların ek yerlerinde geometrik ve radyometrik düzeltmeler yapma imkanı vardır. Çoklu kullanıcı ortamlarda, farklı bölgelerde çalışmak koşulu ile aynı havuz kullanılabilir. Şekil 7.2 de verilen grafik destekli açıklamalarda da görüleceği gibi, yeni bir ortofoto havuza atılacağı zaman bu alanı çevreleyen bölge kilitlenerek diğer kullanıcıların o bölgeye müdahalesi önlenir. Aynı havuza atılacak görüntülerin hepsinin ortofoto olması ve bu ortofotoların arazi çözünürlüklerinin (Ground Sample Distance),

pixel büyüklüğünün ve görüntü band sayısının aynı olması gerekir. Ancak havuzdan farklı piksel büyüklüğünde ortofotolar kesilip alınabilir:



Şekil 7.2. “Ortofoto Havuzu”nda İşlem Adımları

8. ORTOFOTO BASKI İŞLEMLERİ

Eğer üretilen ortofotolar çıktı olarak alınmak istenirse inkjet veya lazerjet çiziciler ortofoto için uygun çizicilerdir. Bu çiziciler 300 veya 600 dpi çözünürlükte çıktı alma kapasitesine sahiptirler. Harita üretiminde tercih edilen inkjet çiziciler geniş formatlı olanlarıdır. Hewlett Packard DesignJet çiziciler bunlar arasında en yaygın olanlarıdır. Bu çizicilere kesilerek kağıt veya film yüklenebileceği gibi 60 cm veya 90 cm rulolarda takılabilmektedir. Bunların çizim çözünürlüğü en fazla 600 dpi'dır. ENCAD Novajet çizicilerde hemen hemen aynı özelliklere sahiptir ve bu çizici de yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, bu tip çizicilerin birtakım avantajları bulunmaktadır. Ucuz, kabul edilebilir hız ve performans ile görüntü haritaları ve vektör haritaları istenen kalite ve güvende çizebiliyor olmaları bunların sıralanabilecek özelliklerindendir.

Sayısal ortofotoların yaygınlaşmasıyla orijinal görüntünün çözünürlüğünü artırma noktasında film çizicilerin önemi artmıştır. Bu tip film çizilere, Kodak (LTV), SEP (Vizir) ve Intergraph/Optronics, Macdonald Detwiler/Cymbolic Sciences Fire örnek olarak verilebilir. Bu çiziciler yüksek çözünürlük sağlamalarına karşın (2500 dpi gibi), çizim alanları küçüktür (genelde 25×30 cm). Bu çizicilerde yüksek kalitede çıktı alabilmek için fotogrametrik film veya kağıt kullanılmalıdır.

Bu çizilere alternatif olarak raster film çizicilerde kullanılabilir. Bu tip çizicilere Barco's MegaSetter, BG-3800, Agfa SelectSet, Intergraph's Mapsetter örnek olarak verilebilir. Bu tür çiziciler argon veya neon lazer kullanmaktadır. Bu çiziciler 4000 dpi çözünürlükte ürünler verebilmektedir.

9. KULLANILAN YAZILIM ve DONANIMLAR

Tablo 9.1’de Otomatik arazi modeli çıkarımı ve ortofoto üretimi uygulamalarında kullanılmakta olan yazılımlardan örnekler verilmektedir. Bunlardan Socet Set-Helava ATE yazılımıyla ilgili detaylı bilgi ise aşağıda verilmektedir.

Tablo 9.1. Otomatik Arazi Modeli Çıkarımı ve Ortfoto Üretimi Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar

Üretici Firma	Ürün Adı
GDE Systems Inc.	Socet Set-Helava
Z/I Imaging	ImageStation Match T / OrthoPro
ERDAS	Imagine OrthoBASE
Zeiss	TopoSurf / Phodis OP
PCI Geomatics	OrthoEngine
Vexcel	FotoG-PRO

9.1. SocetSET ATE (3.2) Otomatik Sayısal Arazi Modeli Üretim Programı

SocetSET ATE, sayısallaştırılmış hava fotoğraflarından otomatik olarak SAM üreten bir programdır. Fotoğrafların yöneltme parametreleri fotogrametrik nirengi dengelemesi sonucu elde edilebileceği gibi sistem içindeki model oluşturma programlarıyla da elde edilebilir. Otomatik olarak üretilen SAM, programın dışında yapılmış ölçüler kullanılarak, “breakline”ların birleştirilmesi (merge) ile tamamlanabilir ve ayrıca “ITE” etkileşimli edit modülü ile editlenebilir.

Görüntü işleme yöntemlerinin, istatistik yöntemlerinin ve “Robust” (kestirim) yöntemlerinin kullanılması ile tam otomatik olarak bir SAM üretilir. Alışılmış

enterpolasyon yöntemlerinin aksine her bir SAM gridinin hesaplanmasında çok sayıda üç boyutlu noktalar kullanılır. "Robust" yönteminin kullanılmasıyla tek bozucu yüzey objelerinin (evler,ağaçlar vb.) elemine edilmesi sağlanır. Sayısal görüntülerin çeşitli basamaklarında (görüntü piramitleri) SAM belirlenebildiğinden, yaklaşık bir SAM olmadan program başlatılabilir. İşlemin başlaması için sol alt ve sağ üst köşelerin yükseklik değerlerinin girilmesi gerekir.

SocetSET ATE Otomatik SAM üretim tekniğinin sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çok küçük grid aralığında otomatik olarak yoğun bir SAM grid ağı üretilebilir. Uçuş yüksekliğinin 1/10 000' i oranında yükseklik doğruluğuna ulaşılabilme mümkündür.
- Çok kısa sürede SAM üretilebilir.
- Tek tek bozucu etkisi olan yüzey objeleri tanınıp elemine edilebilir.
- Kırık çizgiler, ormanlık, çalılık gibi ihmal edilecek alanlar SAM hesabında dikkate alınabilir.
- Fotogrametrik ya da yersel ölçümlerin de kullanılmasıyla yeniden SAM üretmek mümkündür.
- SAM'nin zayıf olduğu yerlerde istatistik bilgilerle sonradan yapılacak kalite kontrol işlemine imkan sağlar.
- SAM'ni görüntü üzerine iz düşürerek kontrol olanağı vardır.
- ASCII, DGN ve DXF formatında SAM verilerini sunma olanağı vardır.

9.2. SocetSET Programı İçin Donanım Konfigurasyon Örneği (NT)

Söz konusu yazılım için, üretici firma tarafından önerilen donanım konfigürasyon örneği aşağıda sunulmaktadır.

- Dell Precision 420 veya 620 iş istasyonu
- Dual CPU Processor PII veya PIII 400 MHz veya stereo-scopic system için daha yüksek
- En az 256MB RAM (512MB uygundur)
- Monoscopic sistem için AGP veya PCI 24-bit grafik
- Monoscopic sistem için 19" veya daha büyük monitor
- Stereoscopic sistem için 3Dlabs video kartı: Oxygen GVX210 veya Matrox G400 monitor, StereoGraphics EPC 2
- 21" Cornerstone P1700 monitor, Built in 10/100 MB networking, SCSI diskler
- 3D Controller, trackball(s), ve/veya handwheels/footdisk
- Stereo görüş için StereoGraphics Z2000i veya CrystalEyes active veya CrystalEyes Wired

10. UYGULAMA

Otomatik korelasyon tekniğinin büyük ölçekli ortofoto yapımında kullanılabilirliğinin ve karşılaşılabilecek sorunların incelemesi amacıyla iki ayrı bölgede uygulama gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisinde, yoğun yapılaşma, bitki örtüsü, viyadüklerin yer aldığı E-5 Karayolu, Boğaziçi Köprüsü Avrupa girişinde yer alan bölge incelenmiştir. Uygulama alanı ile ilgili bilgiler aşağıda sıralanmakta olup, bölgeye ilişkin ortofoto görüntü Şekil 10.8.' de sunulmaktadır.

1 No'lu Uygulama Alanı Bilgileri:

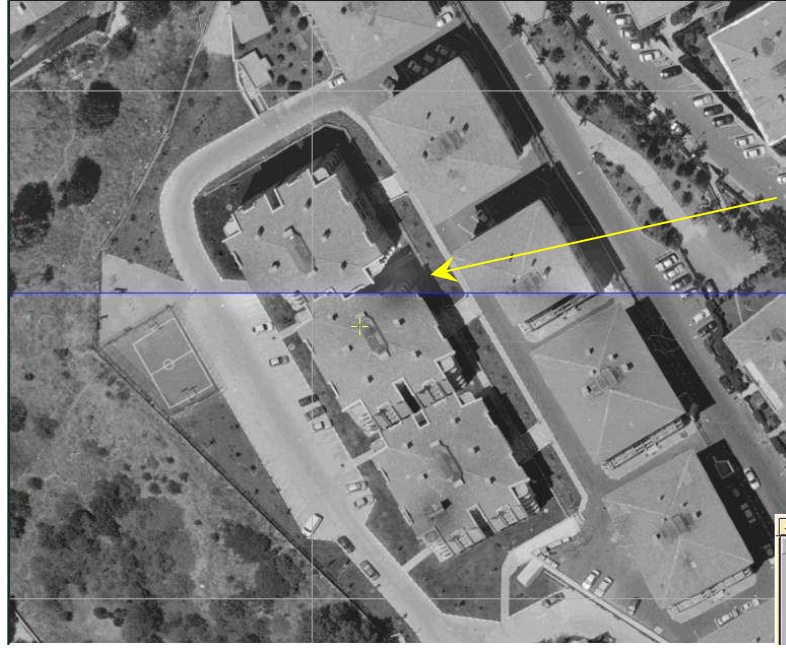
Pafta İsimleri	: F22D16D2C-2D, F22D16D3A-3B
Pafta Ölçeği	: 1/1000
Fotoğraf Ölçeği	: 1/4000
Kamera odak uzaklığı	: 304.65 mm
Ortalama Uçuş Yüksekliği	: h=1200 m
Çalışma Ortamı	: Silicon Graphics, Indigo – EMİ Harita Ltd.
Kullanılan Yazılım	: SocetSET, Helava
Tarayıcı	: Zeiss SCAI
Piksel Boyutu	: 21 mikrometre
Yükseklik Değişim Aralığı	: 21m-120m

Yukarıda genel olarak tanımlanan bölgenin kıymetlendirmesi, Silicon Graphics iş istasyonlarında SocetSET Helava yazılımı kullanılarak, EMİ Harita Bilgi İşlem Ltd. Şti. fotogrametri operatörlerince yapılarak sayısal fotogrametrik paftaları daha önceden oluşturulmuş bulunmaktadır. Bu paftalardan arazi topoğrafyasını temsil eden, yer kotları, münhaniler, dereler, şev alt ve üst sınırları, yollar alınarak “şablon” arazi modeli oluşturulmuş ve otomatik korelasyon ile elde edilen SAM’nin doğruluğunun incelenmesinde kullanılmıştır. Viyadükler ve köprülere ait noktalar SAM üretimine dahil edilmemiş fakat Socet Set-Helava ATE programının SAM’ni güçlendirmek için kullanmakta olduğu, özel detaylara ait yükseklik bilgilerinin hesaplamalarda dikkate alınmasını sağlayan "Feature Merge" işlemi uygulanmış ve sonuçlar “feature” olarak tanıtılmak üzere ayrıca hazırlanmıştır.

Hava fotoğraflarına ait iç yöneltme işlemi yapılarak, yöneltme bilinmeyenleri programa girilmiş ve görüntü piramitleri oluşturulmuştur. Renkli ortofoto üretimi amaçlı uygulamada kullanılan program görüntü formatı olarak ViTEC formatı kullandığından tüm sayısal hava fotoğrafları bu formata dönüştürülmüştür.

Ortofoto üretimi genelde fotoğraf bazlı yapılır. Bu uygulamada ise, programın sağladığı avantajla, çalışma alanı olarak altı adet hava fotoğrafının oluşturduğu dört modellik alan seçilerek, direkt olarak mozaik oluşturulması hedeflenmiştir. Kaynak görüntülerin piksel boyutu 10 cm iken ortofoto üretimi için arazi piksel boyutu (GSD), 20 cm alınmıştır. Başlangıç aşamasında, Mozaik ortofotonun hangi bölgelerinde hangi resmin kullanılacağına müdahale edilmemiştir.

Oluşan birinci versiyon mozaik üzerinde, Şekil 10.1.a.' da görüldüğü üzere “seamline” ın kestiği binalar vardır. Bu binaların kenarlaşmadığı görülmektedir. Çünkü, sayısal arazi modeli, sadece topoğrafyayı temsil ettiğinden viyadük ve bina gibi yapıların arazi yüzeyinden olan yükseklik değerleri sıfır olarak geometrik düzeltme işlemine girerler. Bu durumda, sözgelimi binaların çatıları arazi yüzeyine yapışıkmiş gibi işlem göreceklere bina çatılarını temsil eden pikseller gerçek konumlarına ötelenmeyeceklerdir. Hava fotoğraflarının kenarlaştığı “seamline” boyunca belirgin olarak göze çarpan bu durum, “Seam Line Editor” ile bu bölgelerde “seamline” üzerinde gerekli düzeltmelerin yapılması ile giderilir. Şekil 10.1.b. de görülen şekil, ancak görsel bir düzeltmeyi ifade eder. Gerçek anlamda bir öteleme, Şekil 10.7.'de görüleceği gibi Şekil.10.7.(a) “True Orthophoto” olarak adlandırılan işlem ile viyadük ve bina gibi yapılara ait yükseklik bilgilerinin ortofoto oluşturan yazılıma girilmesi ile elde edilecektir.



Ekleme Çizgisi
“Seamline”

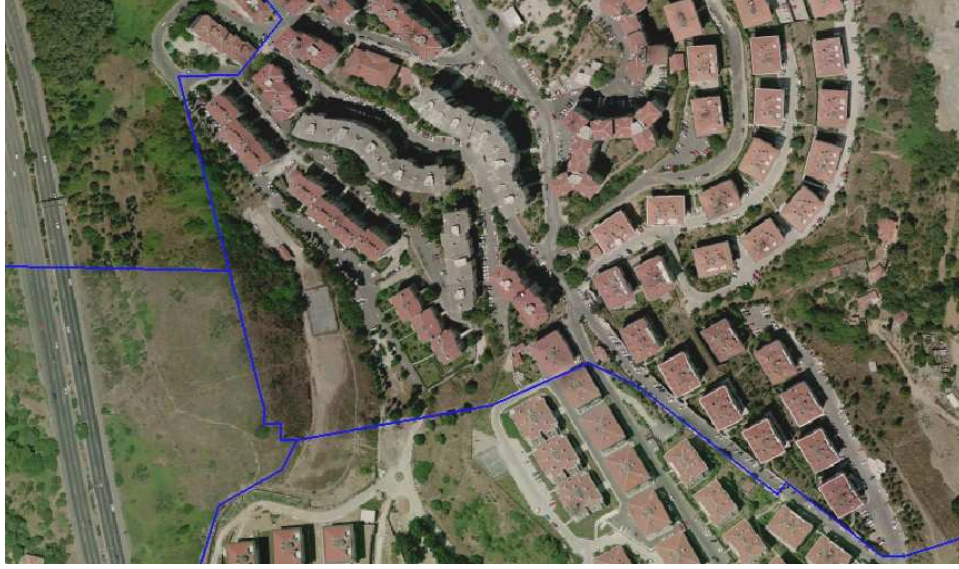
Şekil 10.1.a. Mozaik Oluşturulurken “Seamline Editor” İle Ortak
Bölgelerde Hangi Görüntülerin Kullanılacağı Seçilmelidir.



Düzeltilmiş
Ekleme Çizgisi
“Seamline”

Şekil 10.1.b. Düzeltilmiş “Seamline” ile elde edilen ortofoto.

“Seamline” boyunca bir band genişliği verilerek radyometrik olarak düzeltilmiş mozaik elde etmek mümkündür; şekil 10.2.a. ve şekil 10.2.b’de radyometrik düzeltmenin ortofoto görünümüne etkisi görölmektedir.



şekil 10.2.a. Radyometrik Düzeltilme Uygulanmamış Ortofoto.



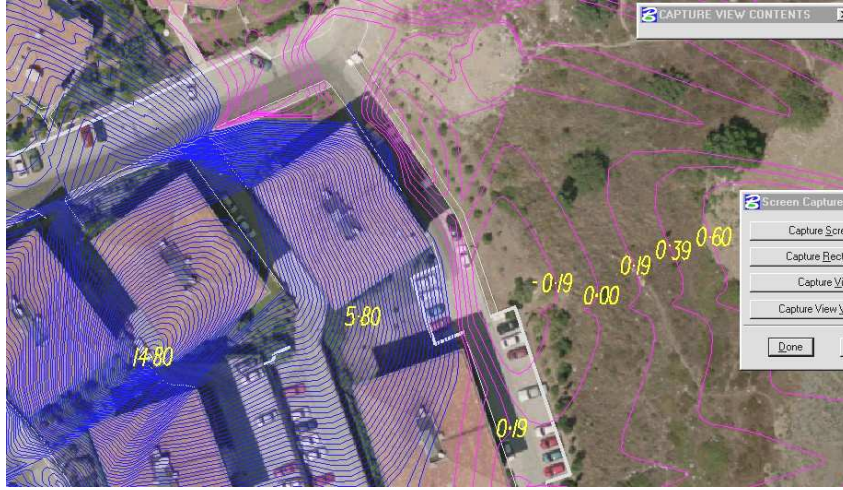
şekil 10.2. b.Yapılan Radyometrik Düzeltilmenin Ortofotonun Görünümüne Etkisi

Otomatik korelasyon ile oluşturulan SAM, münhane formunda stereo model üzerine superimpoze edilerek incelenmiştir. Beklenildiği gibi; SAM'nin ağaçlıkların, binaların üzerinden geçtiği görülmüştür. 2m aralık verilerek çalıştırılan programda binaların üçboyutlu formunun yakalandığı, ağaçlık alanların yükseklikleriyle beraber ortaya çıktığı görülmüştür. Bu tür arazi tiplerinde elde edilen SAM, bina yüksekliklerinin tespiti gibi, enerji nakil hattı inşasında bitki örtüsü üst yüksekliklerinin tespiti gibi amaçlar için kullanılabilecektir. SAM'nin rölyef gösterimi Şekil 10.3'te verilmiştir.

Buradaki sorun korelasyonun başarısızlığından olmayıp, elde edilen yükseklik modelinin arazi yüzeyinden geçmemesinden kaynaklanmaktadır. Uygulama bölgesinde yer alan açık alanlarda ve asfalt yüzeyinde ise, fotogrametrik kıymetlendirme operatörünün derlediği yükseklik bilgileri ile korelasyon yöntemiyle bulunanların uyumlu olduğu gözlenmiştir. Şekil 10.4 ve 10.5'te bu durum görülebilmektedir:



Şekil 10.3. Bitki Örtüsü ve Bina Üzerlerinden Geçen SAM Özel Projelerde Kullanılabilir.



Şekil 10.4. Açık Arazide Arazi Yüzeyinden Geçen Korelasyon Yüzeyi, Binaların Olduğu Bölgede Bina Üzerinden Geçerek 15m’lik Sapma Oluşturmuştur.



Şekil 10.5. Açık Arazide Oto korelasyon İle Üretilen SAM’in Kıymetlendirme Operatörünün Derlediği Sayısal Harita İle Uyumlu Olduğu ve Doğru Ortofoto Elde Edildiği Görülmektedir.

Arazi modelinin elde edilmesi için, Şekil 10.3'teki gibi bölgelerde, etkileşimli model düzeltme; "ITE" aracının kullanılması zaman/maliyet açısından tercih edilir gözükmemiştir. Çünkü, 10 m aralıklı karelej biçiminde SAM oluşturulması hedeflendiğinde dört paftalık uygulama alanında 15000 adet SAM noktası oluşmaktadır. Uygulama sırasında bir noktanın ortalama üç ile beş saniyelik sürede düzeltildiği tespit edilmiştir. Etkileşimli SAM düzeltme işlemi 15 saatlik bir sürede tamamlanabilecektir. Bu nedenle; birinci uygulama bölgesinde fotogrametrik olarak derlenen yükseklik bilgileri kullanılarak ortofoto mozaik üretimine devam edilerek karşılaşılabilecek diğer problemlerin incelenmesine devam edilmiştir.

Köprü, viyadük ve bina gibi doğal arazi yüzeyinden yukarıda olan yapılar ortofoto üzerinde gerçek konumunda değildir. Bu tür yapılara ait “feature”lar oluşturulup, programa girildiğinde “True Orthophoto” olarak adlandırılan ürün elde edilmektedir. Uygulama bölgesinde yer alan viyadüklere bu işlem uygulanmıştır. Şekil 10.6, Beşiktaş Ortaköy viyadükünün True Orthofoto öncesi halini göstermektedir.



Şekil 10.6. Beşiktaş Ortaköy Viyadükünün True Ortofoto Öncesi Hali. SAM Hatasının Ortofoto Üzerindeki Etkisi.

Şekil 10.6. aynı zamanda SAM hatasının, ortofotonun geometrik doğruluğuna etkisine de iyi bir örnek teşkil etmektedir. Yapılan incelemede viyadük ile arazi arasındaki 40 m.'lik yükseklik farkının, piksellerin konumunda 10m lik bir hataya neden olduğu gözlenmiştir. Bu bozulma, hatalı bölgenin görüntü içindeki konumuna göre değişmektedir.

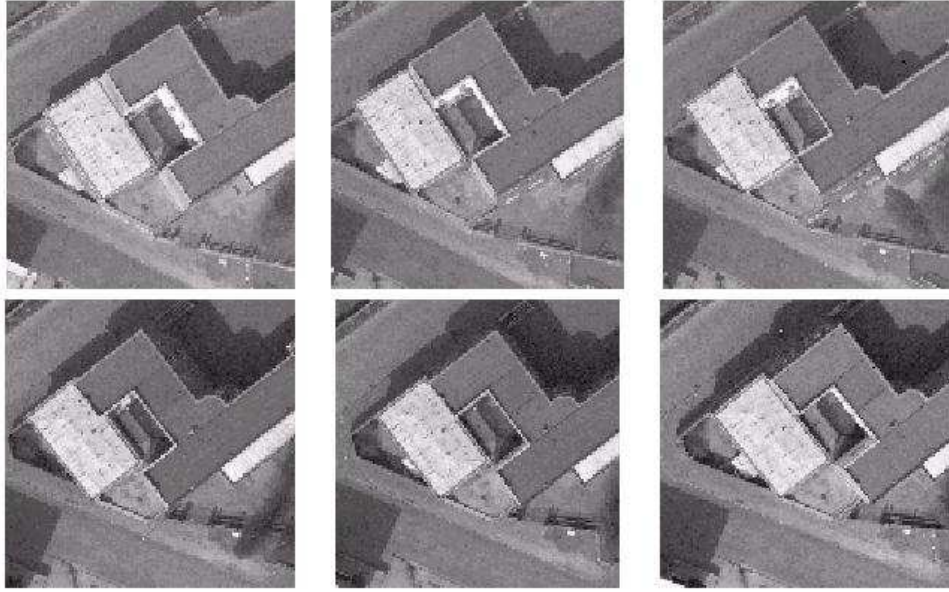
“True Orthophoto” olarak adlandırılan; proje alanındaki tüm bina, viyadük gibi yapılara ait yükseklik bilgilerinin ortofoto üretim yazılımına girilerek, bu yapılara ait piksellerin gerçek konumlarına ötelenmesi işleminde ise Şekil 10.7.a.'da görülmekte olan sorun ortaya çıkmaktadır. Burada gerçek konumlarına ötelenen piksellerin yer boş kalmaktadır. Şekil 10.7.a.'da viyadükün altındaki beyaz pikseller ve küçük resimdeki çatı çevresindeki beyaz pikseller sözü edilen boşluklardır. Bu bölgeler hava fotoğrafının çekim; anında yapıların örttüğü bölgelerdir. Bu şekilde oluşan bölgeleri, mevcut olması durumunda, diğer hava fotoğraflarından yapılan ortofotolar ile tamamlamak mümkündür.



Şekil 10.7.a. Bina ve Viyadük Gibi Yapılara Ait Yükseklik Bilgileri Ortofoto Programına Girildiğinde “True Orthophoto” Elde Edilir.

“True Orthophoto” üretebilmek için SAM’nin yanı sıra, tüm yapılar için, yapıları oluşturan geometriye ait noktaların x,y,z bilgilerinin (feature bilgilerinin) temini gerekmektedir. Bu ise, bölgenin sayısal haritasının mevcut olmasına bağlıdır ki, her zaman için mümkün olmamaktadır. Ayrıca, “boş” kalan alanların ortofotosunun üretilmesi için, Şekil 10.7.b. ‘de görüldüğü gibi %90 ileri bindirmeli fotoğraf alımı gerekmektedir. Bunun dahi yeterli olmadığı bölgelerle karşılaşılması muhtemeldir.

Burada da, proje açısından fayda/maliyet değerlendirmesi yapılmalıdır.



Şekil 10.7.b. “True Orthophoto” İşleminde % 90 İleri Bindirme ile Çekilmiş Fotoğraflara İhtiyaç Vardır.

Şekil 10.8’de birinci çalışma bölgesine ait sonuç ortofoto verilmiştir.



Şekil 10.8. Birinci Çalışma Bölgesine Ait Sonuç Ortofoto.

Uygulama alanı olarak ikinci seçimde ise, genel anlamda açık arazi niteliğinde, yer yer ağaçla kaplı ve dağınık yapıda binaların olduğu bölge tercih edilmiştir. Uygulama alanı ile ilgili bilgiler aşağıda verilmekte olup, bölgeye ilişkin arazinin rölyef görünümü Şekil 10.9.'da sunulmaktadır.

2 No'lu Uygulama Alanı Bilgileri:

Pafta İsimleri	: F21A23C3B, F21A24D4A
Pafta Ölçeği	: 1/1000
Fotoğraf Ölçeği	: 1/4000
Kamera odak uzaklığı	: 304.65 mm
Ortalama Uçuş Yüksekliği	: h=1200 m
Çalışma Ortamı	: Silicon Graphics, Indigo – EMİ Harita Ltd.
Kullanılan Yazılım	: SocetSET, Helava
Tarayıcı	: Zeiss SCAI
Piksel Boyutu	: 21 mikrometre
Yükseklik Değişim Aralığı	: 21m-120m



Şekil 10.9. İkinci Uygulama Bölgesinin Rölyef Gösterimli Arazi Modeli.

Bölgenin SAM'i, SocetSET-Helava programının kullanılması ile 10m aralıklı olarak üretilmiştir. Otomatik korelasyon ile elde edilen SAM, stereo modelden fotogrametrik olarak toplanan “breakline”lar ile “merge” edilerek, düzeltilmiş arazi

modeli elde edilmiştir. Daha sonra stereo model üzerine “dot” ve “contour” olarak superimpoze edilen arazi modeli “ITE” modülü ile etkileşimli düzeltme işlemine alınmıştır. Stereo model üzerinde batık ya da havada gözüken hatalı noktalar gerçek yüksekliğe çekilmiştir. Bina veya ağaçlık bölgelerde açık arazideki sorunsuz kotlar çit ile çevrilerek çit içindeki SAM noktalarının çevreye göre enterpolasyonu yapılmış, yeni oluşan noktaların modele uyumu kontrol edilmiştir. Şekil 10.10 otomatik korelasyon metoduyla oluşturulan SAM kullanılarak üretilen ortofoto haritanın kartografik detaylarla uyumunu göstermektedir. Daha sonra “contour” olarak model üzerine iz düşürülen SAM’nin stereo modele uyumu tekrar gözden geçirilmiştir.

Aynı bölgede fotogrametrik kıymetlendirme operatörü tarafından oluşturulan sayısal fotogrametrik haritanın arazi yüzeyini ifade eden detaylarından elde edilen SAM esas alınarak, programda yer alan “quality statistic” kalite kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Kontrol işleminde, “check point file” olarak isimlendirilen ana dosyadaki her bir koordinatın, korelasyon yöntemi ile oluşturulan SAM’nde karşılığı hesaplanmakta ve ilgili noktada tespit edilen yükseklik farkı listelenmektedir. Örnek rapor dosyası EK-1’de verilmiştir. Üretilen ortofotonun kartografik detaylarla uyumu Şekil 10.10.’da sunulmuştur. Yapılan incelemede, her iki yüzey arasındaki fark 0.03m ve genel karesel ortalama hata 0.20m olarak bulunmuştur.

SAM noktalarının MicroStation CAD programında ekrana alınarak ve sayısal fotogrametrik harita ile karşılaştırılarak yapılan incelemesinde ise, hataların daha çok “breakline” özellikli bölgelerde yoğunlaşmakla birlikte, az miktarda zayıf görüntü eşleştirmesinden de kaynaklandığı görülmüştür.

Karesel ortalama hatanın yüzeyler arası farka oranla oldukça farklı çıkması, gerekli yerlerde daha fazla breakline oluşturularak SAM’ne katılması gereğine işaret etmekte olup çalışma kapsamında en farklı değer 0.6186 olarak bulunmuştur.



Şekil 10.10. Otomatik Korelasyon Metoduyla Oluşturulan SAM Kullanılarak Üretilen Ortofoto Haritanın Kartografik Detaylarla Uyumu.

Otomatik korelasyon metodu ile elde edilen ve gerekli düzeltme aşamalarından geçen SAM ile ikinci uygulama bölgesinin üretilen ortofotosu Şekil 10.11’de gösterilmektedir.



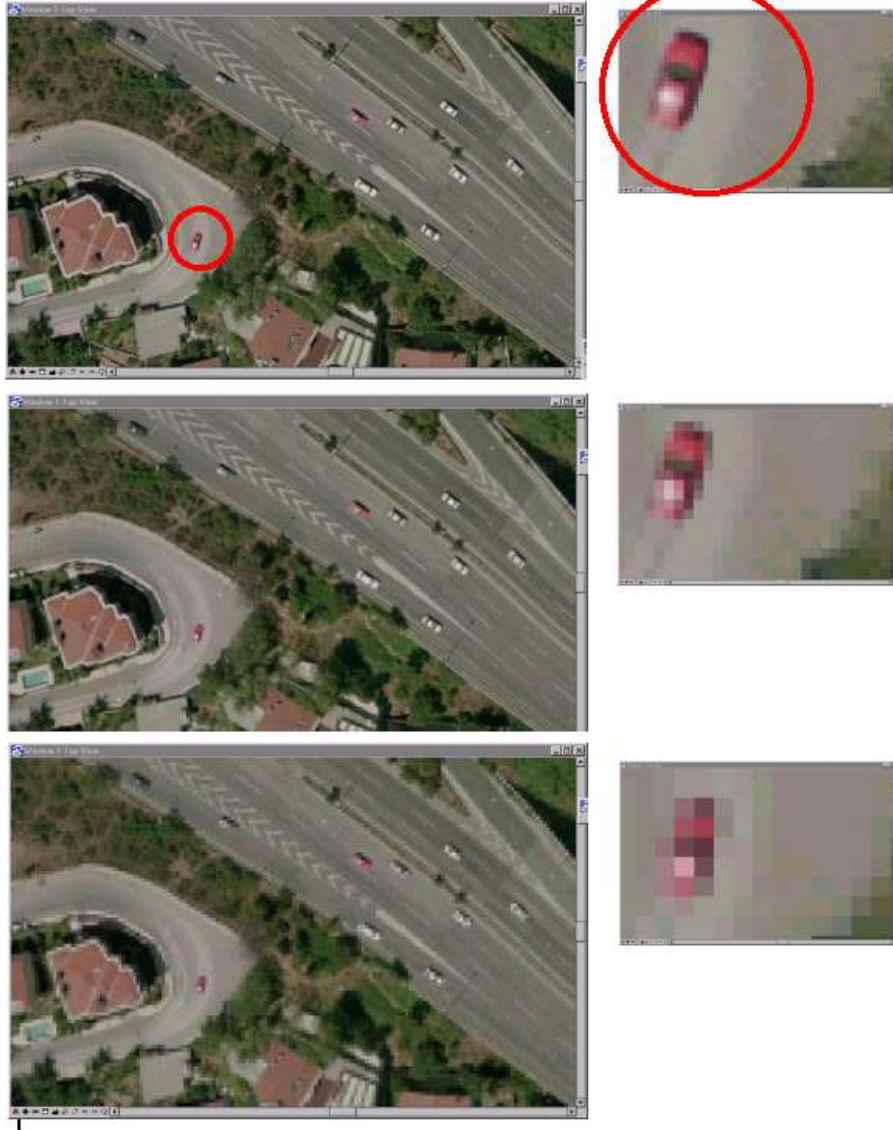
Şekil 10.11. Otomatik Korelasyon Metoduyla Elde Edilen ve Gerekli DüzeltmeAşamalarından Geçen SAM ile Üretilen Ortofoto.

Ortofoto projelerinde üretilen ortofoto üzerine bir takım çizgisel, sözel ve lejant bilgileri eklenebilir. Birinci uygulama alanına ait ortofotonun, Şekil 10.12’de verilen bölümü bu bağlamda hazırlanmıştır. Ülke sisteminde pafta taksimatına göre kesilen ortofotolar, standart bir harita olarak kullanıma sunulabilir.



Şekil 10.12. Üzerine Seçilmiş Kartografik Bilgilerin Eklendiği Ortofoto Harita.

Ortofoto haritaların kullanımında karşılaşılan diğer bir sorun da kullanım amacına uygun çözünürlüktür. Bölüm 7 'de açıklandığı üzere proje bölgesinde üretilen ortofotolar önceden belirlenen farklı çözünürlüklerde depolanmalıdırlar. Çözünürlüğün ortofoto üzerinde yapılacak çalışmalara etkisi Şekil 10.13 ' de verilmiştir.



Şekil 10.13. Ortofotoda Çözünürlük.

Şekil 10.13.'de, en üstte yer alan görüntülerin piksel boyutu 0.20 m, diğerleri sırasıyla 0.40m ve 0.80m dir. Çözünürlükte azalma, veri büyüklüğünün de azalması anlamındadır (Bkz: Tablo 4.2).

10.1.Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi

Sayısal fotogrametrik sistemlerin sayısal bilgilerin toplanmasında ve editlenmesinde pek çok avantajlar sağladığı görülmüştür. Sayısal arazi modellerinin doğruluğuna etki eden faktörlerin başında dayanak noktalarının sıklığı ve dağılımı gelir. Açık ve fazla eğimli olmayan araziler için otomatik korelasyon yöntemi çok başarılı sonuçlar vermiştir. Sadece 45 dakikalık üretim süresi ile doğru bir SAM oluşturmakta ve buradan ortofotolar üretilebilmektedir. SAM'ndeki hataların sayısal fotogrametrik sistemlerde üç boyutlu editlenebilmesi sonuç üründe kaliteden ödün vermeksizin üretim süresini yaklaşık % 50-60 oranında azaltmaktadır. Uygulama sırasında yapılan testler ile genel bir yaklaşımla aşağıdaki gibi bir zaman tablosu oluşmaktadır.

Tablo 10.1. Otomatik Korelasyon Metodu (ATE) ile Sayısal Arazi Modeli Çıkarılmasında İşlem Adımları ve Zamanlama

No	ATE İşlem Adımları	Çalışma	Zaman
1	Model Oluşturma	Manual	10 dk
2	Feature Datalarının Toplanması	Manual	40 dk
3	Automatic Terrain Extraction	Batch	40 dk
4	Feature&DTM Merge	Batch	10 dk
5	Interactive Edit	Manual	45 dk
6	Stereo Edit ve kontrol (operatör tarafından)	Manual	75 dk
	Toplam		220 dk

Üretilmiş olan sayısal ortofotonun geometrik ve radyometrik açıdan kontrolü yapılmalıdır.

11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Otomatik korelasyon tekniğinin büyük ölçekli ortofoto yapımında kullanılabilirliği ve karşılaşılabilecek sorunlar inceleme konusu olduğundan uygulama kapsamına iki farklı arazi tipi test alanı olarak alınmıştır. Önce, yoğun yapılaşma, bitki örtüsü, viyadüklerin yer aldığı bir bölge (E-5 Karayolu, Boğaziçi Köprüsü Avrupa girişinde yer alan bölge) birinci uygulama alanı olarak seçilmiştir.

Bu bölgede otomatik korelasyon ile oluşturulan SAM, münhane formunda stereo model üzerine superimpoze edilerek incelenmiştir. Beklenildiği gibi, SAM'nin ağaçlık alanların, binaların üzerinden geçtiği görülmüştür. 2m aralık verilerek çalıştırılan programda binaların üçboyutlu formunun yakalandığı, ağaçlık alanların yükseklikleriyle beraber ortaya çıktığı görülmüştür. Buradan hareketle ağaçla kaplı alanlar, yoğun yapılaşma veya viyadükler nedeniyle, standart ortofoto üretiminde kullanılabilir nitelikte, otomatik SAM oluşturmak mümkün olmayan bölgelerde dahi bina yüksekliklerinin tespiti, enerji nakil hattı inşasında bitki örtüsü üst yüksekliklerinin tespiti gibi amaçlar için otomatik yöntemin hala kullanılabilir durumda olduğu kanısına varılmıştır.

Birinci uygulama bölgesinin bitki örtüsü bakımından tamamen çıplak, yerleşim alanı bulunmayan, topoğrafik açıdan kırıklı olmayan, uygulamaya ait Şekil 10.4 ve Şekil 10.5'de yer alan türdeki kısımlarında, otomatik korelasyon ile nokta ölçümü için uygun bir arazi olduğundan, sağlıklı bir SAM üretimi mümkün olmuştur. Ancak genel anlamda, yukarıda sözü edilen nedenlerle arazi yüzeyinden oluşan yoğun sapmalar nedeni ile operatör destekli bir SAM düzeltme işlemi ekonomik bulunmamıştır.

Daha sonra, ikinci uygulama alanı olarak, açık arazi niteliğinde olan, yer yer ağaçla kaplı ve dağınık yapıda binaların yer aldığı, Şekil 10.11'de yer alan bölgede 10m aralıklı oluşturulan SAM incelenmiştir. Gerekli yerlerde, stereo model üzerinde ölçülen

yer kotları ve breakline bilgilerinin uygun formata dönüştürülerek SAM hesabında kullanılması yoluna gidildiği bu uygulamada, stereo model üzerinde yapılan kontroller sonucu sağlıklı bir SAM oluşmayan bölgelerde, etkileşimli düzeltme işlemi yapılmıştır. Tüm bu yapılanlar SAM'nin model üzerine iz düşürülerek editlenmesi, düzeltilmesinin kaçınılmaz bir işlem adımı olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Ortofoto üretiminin, birinci uygulama çalışmasında olduğu gibi birden fazla model alanı için aynı anda yapılabilmesi, doğal arazi yüzeyinden farklı yüksekliklere sahip sanat yapılarına ait yükseklik bilgilerinin programa girilmesi ile gerekli bölgenin, Şekil 10.7.a'da verilen "true orthophoto"sı doğrudan elde edilebilmiştir. Üretim aşamasında toplu işlem (batch) dosyaları oluşturulabilmekte, ortamın sabit disk kapasitesi izin verdiği ölçüde modelin ortofotosu toplu olarak üretilebilmektedir. "True ortofoto" üretimi durumunda piksellerin düşeye çevrilmesi işlemi için daha fazla süreye ihtiyaç olmaktadır. Bu süre "true ortofoto"ya esas bina sayısı ile orantılıdır.

Uygulamalar süresince her aşamada orijinal hava fotoğrafı üzerinde ve üretilen ortofoto üzerinde ve ayrıca Şekil 10.2.a ve Şekil 10.2.b de yer aldığı gibi mozaik içerisinde yer alan komşu ortofotolar üzerinde radyometrik düzeltmeler yapılmıştır. Sonuç ürüne ait ortofoto piramitleri oluşturularak ortofotoların konuma dayalı bilgi sistemlerinde etkin olarak kullanıma sunulmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Üretilen ortofotoların kartografik detaylarla uyumu "superimpoze" edilmiş görüntüler ile verildiği gibi, SAM'ne ait 6305 noktadan hesaplanan karesel ortalama hata 0.20 m olarak, EK-1'de verilmiştir.

Hava fotoğraflarının sayısal hale dönüştürülmesini mümkün kılan tarayıcı sistemler, bunların görüntülenmesini sağlayan grafik görüntü ekranları, otomatik çizim sistemleri, veri sıkıştırma ve depolama tekniğindeki gelişmeler neticesinde özellikle fotogrametri alanındaki kıymetlendirme çalışmalarında sayısal kıymetlendirme aletleri analitik değerlendirme aletlerinin yerini almaya başlamış ve otomatik korelasyon tekniği havai nirengi ve otomatik arazi modeli oluşturulması çalışmalarında kullanılır hale gelmiştir. Ancak ülkemizde, sayısal ortofoto haritala üretimim için, mevcut

yönetmeliklerde SAM' nin oluşturulmasına, doğruluğuna, grid aralıklarının sıklığına ilişkin bir hüküm bulunmamaktadır.

Sayısal Arazi Modeli oluşturmada otomatik korelasyon metodu kullanılarak, büyük ölçekli haritalar için gerekli olan doğruluk değerine ulaşmak, belli şartların gözetilmesi dahilinde mümkündür. Ülkemiz kadastral, konuma bağlı planlama ve yönetim ihtiyaçlarının karşılanması için hızlı, doğru ve ekonomik bir harita üretim yöntemi olan sayısal ortofoto tekniğine dair standartlar oluşturulmalı ve yaygın olarak üretim süreci başlamalıdır.

Günümüzde CBS çalışmalarında, jeodezik veya fotogrametrik yöntemler ile ya da mevcut halihazır veya kadastral haritaların sayısallaştırılması gibi yöntemler ile elde edilen verilerle grafik veri tabanı oluşturma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde farklı yöntemler kullanılması, çok çeşitli ve farklı yapıdaki verilerin içinden gerekli olanı ayıklama gibi bir problemi ortaya çıkarmaktadır. Sayısal fotogrametrinin en önemli ürünlerinden biri olan sayısal ortofoto haritaların ulusal temel harita olarak kullanılması şeklindeki bir yaklaşım böyle sorunları ortadan kaldıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Ackermann, F., dijital Photogrammetry, An Addendum to the Manuel of Photogrammetry, 1996.
2. Alkış, A., Sayısal Arazi Modeli Ders Notları, 1987.
3. Baz, İ., Fotogrametri Ders Notları, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, 2002.(Basılmadı)
4. Ekinci A., Doğu Karadenizde Kadastro ve Mülkiyet Sorunları Sempozyumu KTÜ, 1999.
5. Finsterwalder R., Fotogrametri Çeviri: M.Aytaç İ.T.Ü., 1955.
6. Güler, A., Sayısal Arazi Modellerinde İnterpolasyon Yöntemi, Harita Dergisi, Sayı 85, 1987.
7. Jacobsen, K., Data Capture in Photogrammetry, Paper, Institute für Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover, 1995.
8. Krzystek, P., Ackerman, F., New Investigations into the practical performance of Automatic DEM Generation, ACSM/ASPRS Conference, 1995.
9. Manzer, G., dijital Photogrammetry, An Addendum to the Manuel of Photogrammetry, 158-162, 1994.
10. Ölçücüoğlu, N., XVI ISPRS Kongresi Işığında Fotogrametrideki Gelişmeler, Harita Dergisi, 1989
11. Önder, M. Sayısal Yükseklik Modellerinde Gelişmeler, Harita Dergisi, 1993
12. Özer, H., Ülke Boyutunda Sayısal Yükseklik Modeli Üretimine Yönelik Topoğrafik Veri Tabanı Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi , Y.T.Ü., 1995.
13. Schenk, A. F., dijital Photogrammetry, An Addendum to the Manuel of Photogrammetry, 145-150, 1994.
14. Steidler,F., CIP-Ein allgemeines Programmpaket zur DGM- Interpolation unter Verwendung der Dreieckvermaschung, BuL, 54. Jg., Heft 1, S: 5-16, 1986.
15. Thorope A., Thorope J., Klimiuk A., ISPRS Mapping and GIS Symposium, Georgia USA, 457- 459,1984.
16. Uzel, T., Elektronik Takeometreler ve Otomatik Çizim, Y. T. Ü. FBE, 1985.
17. Yaşayan, A., Fotogrametri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 1997. (Basılmadı)

ÖZGEÇMİŞ

- 01.02.1963 Ordu’da doğum,
1968-1972 Ordu’da ilköğretim,
1972-1975 Ordu’da ortaöğretim,
1975-1978 Trabzon’da lise öğrenimi,
1978-1983 İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimi,
1983-1994 Türkiye, Libya ve Rusya’da arazi ölçümleri, hafriyat, altyapı, yol, sanayi tesisleri ve konut projelerinde Harita Mühendisi ve Ölçme Gurup Müdürü olarak mesleki hizmet,
1994-1995 İstanbul, Ömerli-Elmalı Barajları Altyapı ve Çevre Düzenleme Projesi’nde Teknik Ofiste hesap ve CAD ortamında proje üretim konusunda mesleki hizmet,
1995-2002 İstanbul, Emi Harita Bilgi İşlem Ltd. Şti.’de mesleki hizmet.

EKLER

KALİTE KONTROL RAPORU

EK - 1

Otomatik Korelasyon Yöntemi ile Oluşturulup "ITE", Etkileşimli Arazi Modeli Düzeltmesi işlemiyle Oluşturulan SAM'nin Doğruluk Kontrolü.

COMPARISON OF CHECK POINT FILE TO DTM FILE

Project Name: /usr/geoset/data/ates.prj
 Check Point File: /usr/geoset/data/TST2_1.gpf
 DTM File: /usr/geoset/data/ates/b3501mrgtnson.dth

Point#	Point ID	Z Diff
1	1	-0.0018
2	2	-0.0032
3	3	0.0009
4	4	-0.0022
5	5	0.0016
6	6	-0.0003
7	7	0.0016
8	8	0.0037
9	9	0.0049
10	10	-0.0030
11	11	0.0036
12	12	0.0004
13	13	-0.0006
14	14	-0.0016
15	15	-0.0002
16	16	0.0049
17	17	-0.0012
18	18	-0.0007
19	19	0.0039
20	20	0.0040
21	21	-0.0024
22	22	-0.0042
23	23	0.0029
24	24	-0.0006
25	25	0.0005
26	26	-0.0025
27	27	-0.0043
28	28	-0.0051
29	29	0.0049
30	30	-0.0025
31	31	0.0069
32	32	-0.0010
33	33	0.0001
34	34	-0.0024
35	35	0.0055
36	36	0.0011
37	37	0.0048
38	38	-0.0036
39	39	0.0051
40	40	-0.0074
41	41	-0.0044
42	42	-0.0026
43	43	-0.0046
44	44	-0.0010
45	45	0.0004

46	46	0.0016
47	47	0.0050
48	48	0.0015
49	49	-0.0033
50	50	-0.0002
51	51	0.0026
52	52	-0.0005
53	53	-0.0003
54	54	-0.0054
55	55	-0.0019
56	56	-0.0054
57	57	0.0009
58	58	0.0010
59	59	0.0007
60	60	-0.0033
61	61	0.0025
62	62	-0.0024
63	63	0.0009
64	64	-0.0019
65	65	-0.0092
66	66	-0.0030
67	67	0.0004
68	68	0.0002
69	69	0.0048
....		
1358	1358	-0.1585
1359	1359	-0.1045
1360	1360	0.0598
1361	1361	0.1372
1362	1362	0.0609
1363	1363	-0.1726
1364	1364	-0.0022
1365	1365	0.0007
1366	1366	-0.0022
1367	1367	0.0007
1368	1368	-0.0693
1369	1369	-0.0031
1370	1370	0.0034
1371	1371	-0.0031
1372	1372	0.0034
1373	1373	-0.1755
1374	1374	-0.0056
1375	1375	-0.0040
1376	1376	0.0027
1377	1377	-0.0039
1378	1378	-0.1249
1379	1379	-0.0006
1380	1380	-0.0011
1381	1381	-0.1105
1382	1382	-0.0026
1383	1383	-0.1214
1384	1384	-0.0932
1385	1385	0.0016
1386	1386	0.0004
1387	1387	-0.0037
1388	1388	-0.1094
1389	1389	-0.1454
1390	1390	-0.1645

1391	1391	-0.0021
1392	1392	0.1097
1393	1393	0.0632
1394	1394	0.0346
1395	1395	-0.0883
1396	1396	0.0448
1397	1397	-0.0021
1398	1398	-0.0028
1399	1399	0.0042
1400	1400	-0.2553
1401	1401	-0.0018
1402	1402	0.0019
1403	1403	-0.0030
1404	1404	-0.0861
1405	1405	-0.1890
1406	1406	0.4702
1407	1407	0.0015
1408	1408	0.0676
1409	1409	0.0015
1410	1410	-0.0036
1411	1411	0.1030
1412	1412	0.5119
1413	1413	-0.0004
....		
3880	3880	-0.0050
3881	3881	-0.1258
3882	3882	-0.5853
3883	3883	0.0019
3884	3884	-0.0010
3885	3885	-0.0007
3886	3886	-0.0027
3887	3887	0.0039
3888	3888	0.5889
3889	3889	0.4348
3890	3890	-0.4618
3891	3891	0.0030
3892	3892	-0.1367
3893	3893	-0.0056
3894	3894	-0.0024
3895	3895	0.3951
3896	3896	-0.0040
3897	3897	-0.0039
3898	3898	0.0355
3899	3899	0.0032
3900	3900	0.0042
3901	3901	-0.3248
3902	3902	0.0443
3903	3903	0.0040
3904	3904	-0.0015
3905	3905	-0.0057
3906	3906	0.0017
3907	3907	0.0031
3908	3908	0.0005
3909	3909	0.0031
3910	3910	0.0005
3911	3911	0.1918
3912	3912	-0.0032
3913	3913	0.3380

3914	3914	0.0028
3915	3915	-0.2599
3916	3916	-0.0544
3917	3917	0.0018
3918	3918	-0.0582
3919	3919	0.0018
3920	3920	-0.0582
3921	3921	0.3595
3922	3922	0.5371
3923	3923	-0.0040
....		
4797	4797	0.0043
4798	4798	0.0020
4799	4799	0.0020
4800	4800	0.4606
4801	4801	-0.0182
4802	4802	-0.0046
4803	4803	-0.0027
4804	4804	0.0039
4805	4805	0.0893
4806	4806	0.0611
4807	4807	0.0824
4808	4808	0.0542
4809	4809	-0.0036
4810	4810	0.0028
4811	4811	-0.0074
4812	4812	0.2867
4813	4813	0.2267
4814	4814	0.0276
4815	4815	0.0029
4816	4816	-0.0030
4817	4817	0.1846
4818	4818	-0.0030
4819	4819	0.2237
4820	4820	0.0311
4821	4821	-0.0039
4822	4822	-0.0021
4823	4823	-0.0039
4824	4824	-0.0003
4825	4825	0.1047
4826	4826	-0.0003
4827	4827	-0.0030
4828	4828	-0.0043
4829	4829	-0.0043
4830	4830	0.1420
4831	4831	0.0790
4832	4832	0.0490
....		
5776	5776	0.0007
5777	5777	-0.3693
5778	5778	0.0007
5779	5779	-0.3693
5780	5780	0.2496
5781	5781	0.1977
5782	5782	-0.0023
5783	5783	0.3192
5784	5784	0.4978
5785	5785	0.1588

5786	5786	-0.1985
5787	5787	-0.2690
5788	5788	-0.3357
5789	5789	0.0634
....		
6296	6296	-0.0032
6297	6297	-0.0010
6298	6298	-0.0027
6299	6299	0.0045
6300	6300	-0.0017
6301	6301	-0.0037
6302	6302	-0.0007
6303	6303	0.0036
6304	6304	0.0030
6305	6305	-0.0010

Number of Points= 6305

ave Z diff = 0.0036, Max Z diff = 0.6186, rms = 0.1918, std = 0.1917

NOTE: Z diff = ground points - dtm

EK-2

KONUyla İLGİLİ TANIMLAR

Sayısal Ortofoto : Bir hava fotoğrafının, açısal distorsiyon, mercek distorsiyonu, ω , ϕ , κ dönüklükleri ve arazi yüksekliğindeki değişimlerden kaynaklanan yer değiştirmelerin giderildiği sayısal görüntüsüdür. Bir fotoğrafın yüksek görüntü karakteristiği ile bir haritanın geometrik kalitesini birleştiren ürün.

Sayısal Harita : Yeryüzündeki nokta ve kümelerinden oluşan çizgilerin koordinatları, özel işaretleri ve ilgili diğer bilgileri ile bilgisayar ortamında saklanan, gerektiğinde bilgisayar ekranında görüntülenebilen harita türü.

Sayısal Fotogrametri : Sayısal fotoğraflar ile çalışan fotogrametri.

Eşleştirme : Kare ya da dikdörtgen biçimindeki piksel kümesinin oluşturduğu görüntü parçasının diğer fotoğraflarda karşılıklarının, eşlerinin bulunması, otomatik olarak yatay ve düşey paralaksların korelasyon vb. algoritmalar ile giderilmesi.

SAM (Sayısal Arazi Modeli) : Arazinin topoğrafik yapısını, eşit koordinat aralıklı kareler ağının köşe noktalarındaki yüksekliklerle tanımlayan model.

Fotogrametrik Nirengi : Diyapozitiflerin sayısal biçime dönüştürülmesinden tüm fotoğrafların dış yöneltme elemanlarının bulunmasına kadar olan işlemlerdir.

Stereo sayısallaştırma : Fotogrametrik nirengi ile mutlak yöneltme elemanları bulunan stereo modellerden sayısallaştırmanın yapılması, paftaların oluşturulması işlemleridir.

Yer Kontrol Noktası : Koordinatları jeodezik yöntemlerle elde edilen nokta.

Diyapozitif : Saydam altlığa basılmış hava fotoğrafı, pozitif film.

Dış Yöneltme Elemanları : Fotoğraf çekim noktalarının (İzdüşüm Merkezlerinin) üç koordinatı ile fotoğrafın üç eksen çevresindeki dönüklük açıları: X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ .

Mutlak Yöneltme Elemanları : Karşılıklı yöneltmesi yapılan bir stereo modelin, arazi koordinat sistemine dönüştürülebilmesi için gerekli olan yedi parametre: 1 ölçek (λ), 3 öteleme (X_0 , Y_0 , Z_0), 3 dönüklük (ω , ϕ , κ).

Çerçeve İşaretleri : Fotogrametrik kameraların köşelerinde, kenar ortalarında bulunan ve fotoğraf orta noktasını bulmağa, fotoğraf koordinat sistemini oluşturmaya yarayan işaretler, çerçeve markaları.

Kontrast : Yansıtması en yüksek ve en düşük olan nesneler arasındaki yansıtma farkı, siyah / beyaz fotoğrafta en açık gri ile en koyu gri arasındaki aralığın genişliği. Bu fark çok fazla ise, beyaz ve siyahın birlikte bulunduğu nesneler grubu, yada fotoğraf **Yüksek Kontrast** lı aksi durumda **Düşük Kontrast** lıdır.

Ayrırma Gücü : Fotoğraflardan seçilebilecek en küçük nesnelerin boyutu ile ilgili bir niteleme, fotoğraflarının ayırt edebilme yeteneği; Çözünürlük.

Tarayıcı : Fotoğrafların sayısal biçime dönüştürülmesini sağlayan sayısallaştırma aleti.

Fotogrametrik Tarayıcı : Piksel koordinatlarını bir-iki mikron doğruluğunda elde edebilen, yüksek ayırma güçlü, özel türden tarayıcılar.

Fotoğrafın Sayısallaştırılması : Siyah / Beyaz yada renkli analog fotoğrafların fotogrametrik tarayıcılarda taranarak sayısal biçime dönüştürülmesi, fotoğrafın taranması.

Piksel : En küçük fotoğraf elemanı. Bir kenarı 10-15 mikrometre ve daha büyük olan kare biçiminde, merkezinin koordinatları fotoğraf alanında sütun ve satır numaraları ile belirtilen, gri düzeyi de bir sayı ile gösterilen küçük bir fotoğraf parçası.

Tarayıcının Geometrik Doğruluğu : Piksel koordinatlarının olması gereken konuma uzaklığı-yakınlığı ile ilgili durumu açıklayan bir nitelik. Kareli film ilgili tarayıcıda sayısallaştırılarak karelerin köşe noktalarının bilinen koordinatları ile bunların sayısallaştırıcı ile elde edilen koordinatları arasındaki farklar ile tanımlanan ve aletin geometrik niteliğini belirten özellik.

Radyometrik Çözünürlük : Tarayıcının gri düzeylerini ölçme yeteneği, gri skalasının genişliği. 8 bit' lik bir çözünürlük 256 (0-255) gri düzeyine karşılık gelir.

Ortalama Hata, Standart Sapma : En küçük kareler dengelemesi sonucu elde edilen düzenlemelerden ya da artık hatalardan hesaplanan ölçüt. Düzeltmelerin karelerinin toplamının fazla ölçü sayısına bölünerek ve kare kökü alınarak bulunacak büyüklük. Bir geometrik büyüklüğün ölçülen değeri ile verilen değer arasındaki farklardan da benzer şekilde hesaplanacak büyüklük; Karesel Ortalama Hata

Artık Hata : Koordinat dönüşümü ya da en küçük kareler uygulaması sonucu verilen koordinat değerleri ile dengelenmiş değerler arasındaki fark kalıntı hata.

Maksimum Artık Hata : Artık hatalar kümesindeki, en büyük değer.

Otomatik Fotogrametrik Nirengi Yöntemi : Program denetiminde fotogrametrik nirengi ölçmelerinin operatör karışması olmaksızın ya da çok az yardımla yapılması, çerçeve işaretlerinin bulunarak ölçülmesi, fotoğrafların, modellerin ve kolonların ortak alanlarındaki bağlama noktalarının otomatik seçilmesi ve diğer fotoğraflarda bulunması ve koordinatlarının otomatik ölçülmesi yöntemi. Bu görevlerin bir bölümü operatör tarafından yapılıyorsa bu yaklaşım **Yarı Otomatik Fotogrametrik Nirengi Yöntemi** olarak adlandırılmıştır.

İç yöneltme : Çerçeve işaretlerinin koordinatlarının ölçülmesi, bu işaretler ile tanımlanmış fotoğraf koordinat sistemine dönüşüm parametrelerinin bulunması.

Karşılıklı Yöneltme : Bir çift fotoğrafın on iki dış yöneltme elemanından uygun beşini kullanarak karşılıklı izdüşüm ışınlarının kesiştirilmesi, düşey paralaksların yok edilmesi.

Model Bağlama Noktası :Komşu iki stereo modelin ortak alanında bulunan ve bu iki modeli birbirine bağlayan nokta.

Kolon Bağlama Noktası :Komşu iki kolonu, ya da çapraz kolonlar ile paralel kolonları birbirine bağlayan nokta.

Işın Desteleri Yöntemi (Işın Demetleri Yöntemi) : Düzeltmelerin getirildiği ölçü değerleri olarak fotoğraf koordinatlarının alındığı blok dengeleme yöntemi.

Duyarlılık : Ölçü grubunun iç tutarlılığı, ölçülerin birbirine yakınlığını tanımlayan bir nitelik.

Doğruluk :Ölçülerin gerçek ya da gerçek olduğu varsayılan değere yakınlık ve uzaklığını tanımlayan bir nitelik.

Düşey Paralaks :Karşılıklı izdüşüm ışınlarının kesiştirilmesi sırasında ilgili yatay düzlemde oluşan göz bazına dik yöndeki farklılık. Karşılıklı yöneltmede stereoskopik görüşün sağlanabilmesi için yok edilen düşey yöndeki farklılık.

Band : Elektromanyetik ışıının dalga boylarının genişliği. Aynı zamanda bu dalga boyunda toplanan görüntü bilgisi.

Bi-linear Enterpolasyon : Bilinmeyen değerin, en yakın dört noktadan doğrusal olarak ve ağırlıklı ortalama kullanılarak hesabı. Piksel değeri ya da yüksekliklerin hesabında kullanılabilir.

Dodging : Bir görüntünün seçilen belli bölümlerinde gölgeleme veya maskeleme ile yoğunluk üzerinde yapılan değişiklikler.

Mikron / mikrometre : milimetrenin binde biri olarak tanımlanan uzunluk birimi.

En yakın komşu : En yakın komşu pikselin değerini seçerek gerçekleşen bir görüntü örnekleme metodu.

Fotogrametrik geriden kestirme : Kamera ya da hava fotoğrafının konum ve yüksekliğinin üç boyutlu olarak belirlenmesi.