

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VERİ TÜRÜ, KALİTESİ VE ÜRETİM YÖNTEMİNE GÖRE SAYISAL
YÜKSEKLİK MODELİ (SYM) STANDARTLARININ BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Mustafa ERDOĞAN**

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2007

**VERİ TÜRÜ, KALİTESİ VE ÜRETİM YÖNTEMİNE GÖRE SAYISAL
YÜKSEKLİK MODELİ (SYM) STANDARTLARININ BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Mustafa ERDOĞAN
501012181**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Haziran 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Aralık 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Gönül TOZ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Orhan ALTAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Zübeyde ALKIŞ (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Mustafa YANALAK (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Fatma Gül BATUK (Y.T.Ü.)**

ARALIK 2007

ÖNSÖZ

“Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi” konulu bu doktora çalışmasının her aşamasında bana yardım ve desteğini esirgemeyen, tez yürütücülüğümü üstlenen sayın hocam Prof.Dr. Gönül TOZ başta olmak üzere, Prof.Dr. Onur GÜRKAN’a ve Doç.Dr. Mustafa YANALAK’a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmamda verilerinden faydalandığım Harita Genel Komutanlığına, çalışmam boyunca beni destekleyen tüm Fotogrametri Dairesi Başkanlığı personeline ve mesai arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında gece gündüz sürekli yanımda olan, bana her türlü desteği veren sevgili eşim Özlem’e ve beni hiç üzmeyen bir tanecik kızım Sinem ve canım oğlum Kaan’a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Aralık 2007

Mustafa EROĞAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI	1
2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ	6
3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ	10
3.1. Giriş	10
3.2. Matematiksel Model	10
3.3. SYM Üretim Yöntemleri	14
3.3.1. Fotogrametrik Değerlendirme	15
3.3.2. Otomatik Görüntü Eşleme	16
3.3.2.1. Alana Bağlı Eşleme	19
3.3.2.2. Detaya Bağlı Eşleme	19
3.3.2.3. Sembolik Eşleme	20
3.3.2.4. Epipolar Kısıtlamalar	20
3.3.2.5. Çok Görüntü Eşleme	22
3.3.3. IfSAR (InSAR)	22
3.3.4. LIDAR	24
3.3.5. Jeodezik Ölçümler	25
3.3.6. Topoğrafik Haritalar	25
3.4. SYM Yapıları	26
3.4.1. Raster Yöntemi	27
3.4.2. Üçgenleme Yöntemi	28
3.5. SYM Doğruluğu	29
3.5.1. Yükseklik Bilgisinin Doğruluğu	33
3.5.2. SYM Hata Kaynakları	36
3.5.3. Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalite Kontrolü ve Editlenmesi	40
4. UYGULAMA	43
4.1. Giriş	43
4.2. Uygulamada Kullanılan Yazılımlar	43
4.3. Uygulamada Kullanılan Veriler	45
4.3.1. 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	45
4.3.2. 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	46
4.3.3. 1 metre Çözünürlüklü Stereo IKONOS Uydu Görüntüleri	47
4.3.4. 10 metre Çözünürlüklü Stereo SPOT Uydu Görüntüleri	47

4.4. İş Akışı	48
4.5. 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi	49
4.5.1. Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi	49
4.5.2. Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme ile SYM Üretimi	51
4.5.3. Doğruluk Araştırması	53
4.5.4. Doğruluğun Çözünürlük ve Eğime Göre Modellenmesi	58
4.6. 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi	62
4.6.1. Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi	62
4.6.2. Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme ile SYM Üretimi	64
4.6.3. Doğruluk Araştırması	65
4.6.4. Doğruluğun Çözünürlük ve Eğime Göre Modellenmesi	70
4.7. Stereo IKONOS Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi	74
4.7.1. Farklı Çözünürlüklerde SYM Üretimi	74
4.7.2. Farklı Korelasyon Parametreleriyle SYM Üretimi	76
4.7.3. Doğruluk Araştırması	77
4.8. Stereo SPOT Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi	79
4.8.1. Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi	79
4.8.2. Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme İle SYM Üretimi	81
4.8.3. Doğruluk Araştırması	82
4.9. SYM Üretimi Maliyet Analizi	87
4.9.1. Uydu Görüntüsü ve Hava Fotoğrafları Maliyet Analizi	88
4.9.1.1. 1:16.000 ve 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	88
4.9.1.2. IKONOS Uydu Görüntüleri	90
4.9.1.3. OrbView Uydu Görüntüleri	90
4.9.1.4. SPOT Uydu Görüntüleri	91
4.9.1.5. Maliyet Analizi	92
4.9.2. Görüntü Maliyetleri	94
4.9.3. Nirengi Maliyetleri	94
4.9.3.1. 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	94
4.9.3.2. 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	95
4.9.3.3. IKONOS Uydu Görüntüleri	95
4.9.3.4. SPOT Uydu Görüntüleri	96
4.9.4. SYM Üretim Maliyeti	96
4.9.4.1. 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	96
4.9.4.2. 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları	97
4.9.4.3. IKONOS Uydu Görüntüleri	97
4.9.4.4. SPOT Uydu Görüntüleri	98
4.9.5. Toplam Maliyetler	99
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	107
EKLER	110
ÖZGEÇMİŞ	120

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
EKK	: En Küçük Kareler
EYE	: Eş Yükselti Eğrisi
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
KOH	: Karesel Ortalama Hata
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAYM	: Sayısal Arazi Yükseklik Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SZM	: Sayısal Zemin Modeli
TIN	: Düzensiz Üçgen Ağ Yapısı (Triangulated Irregular Network)
YKN	: Yer Kontrol Noktası

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Eşleme metodları ve eşleme varlıkları arasındaki ilişki 20
Tablo 3.2	Hata olasılıkları 32
Tablo 3.3	Orta ve büyük ölçekli haritalara ilişkin A ve B değerleri 35
Tablo 3.4	10° ve 30° eğimleri için M_h ve M_p değerleri 35
Tablo 4.1	Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'lerin doğrulukları 53
Tablo 4.2	Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları..... 54
Tablo 4.3	1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğrulukları..... 57
Tablo 4.4	1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları..... 59
Tablo 4.5	1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için korelasyon katsayıları..... 59
Tablo 4.6	1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları..... 60
Tablo 4.7	İzmir bölgesine ait SYM'lerin hataları..... 66
Tablo 4.8	İzmir bölgesine ait otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları..... 66
Tablo 4.9	1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğrulukları..... 70
Tablo 4.10	1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları..... 71
Tablo 4.11	1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için korelasyon katsayıları..... 71
Tablo 4.12	1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları..... 72
Tablo 4.13	Dengeleme Sonuçları..... 75
Tablo 4.14	SYM üretim bilgileri..... 75
Tablo 4.15	Otomatik Görüntü eşleme Parametreleri..... 76
Tablo 4.16	Üretim bilgileri..... 77
Tablo 4.17	İkonos uydu görüntülerinden farklı çözünürlüklerde üretilen sayısal arazi modellerinin doğrulukları..... 78
Tablo 4.18	İkonos uydu görüntülerinden farklı korelasyon parametreleri ile üretilen sayısal arazi modellerinin doğrulukları..... 78
Tablo 4.19	İzmir bölgesi SPOT uydu görüntüleri yöneltme doğruluğu..... 79
Tablo 4.20	Edirne bölgesi SPOT uydu görüntüleri yöneltme doğruluğu..... 80
Tablo 4.21	SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin hataları..... 82

Tablo 4.22	Edirne bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden üretilen SYM'lerin hataları.....	87
Tablo 4.23	İzmir bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları.....	87
Tablo 4.24	Farklı büyüklüklerdeki alanların görüntü maliyetleri (YTL).....	94
Tablo 4.25	Uygulamada kullanılan görüntülerin maliyetleri.....	94
Tablo 4.26	Yaklaşık SYM maliyetleri.....	99
Tablo A.1	Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları.....	111
Tablo B.1	Farklı eğim gruplarındaki SYM'lerin doğrulukları.....	112
Tablo D.1	Eğim ve çözünürlüğe göre yükseklik hataları.....	114
Tablo E.1	Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları.....	116
Tablo F.1	Eğim grupları ve çözünürlüklere göre SYM'lerin doğrulukları.....	117

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Fotogrametrinin gelişim evreleri	8
Şekil 3.1 : SYM Akış Diyagramı.....	12
Şekil 3.2 : Çapraz korelasyon tekniği.....	18
Şekil 3.3 : Epipolar kısıtlamalar	21
Şekil 3.4 : Elektromanyetik sinyal özellikleri (Cihangir ve Maktav, 2006).	23
Şekil 3.5 : İnterferometrik SAR geometrisi (Cihangir ve Maktav, 2006).....	24
Şekil 3.6 : Ortogonal raster SYM.....	27
Şekil 3.7 : Araziyi örten bir üçgen ağı SYM (TIN).....	28
Şekil 3.8 : Normal dağılım eğrisi.....	32
Şekil 3.9 : A çizgisi: fotogrametrik yöntemler gibi yüksek doğruluklu yöntemlerle üretilen eş yükseklik eğrisi, B çizgisi: aynı eş yükseklik eğrisinin bir SYM'den enterpolasyon ile üretilmiş daha yumuşak bir şekli	34
Şekil 3.10 : Yumuşak eğimlerde yükseklik hatası M_h , dik eğimlerde oluşan hatalara oranla küçüktür. Buna rağmen, planimetrik hata M_p yumuşak eğimlerde daha büyüktür.....	35
Şekil 3.11 : SYM'deki hataların ortogörüntünün planimetrik doğruluğuna etkileri (Erdoğan, 2000).....	37
Şekil 3.12 : Arazi yüzeyi ile Sayısal Yükseklik Modellerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.13 : 10 m. aralıklı eş yükseklik eğrisi kullanılarak üretilmiş 1/5.000 ölçekli ortofoto haritada meydana gelebilecek hatalar	40
Şekil 4.1 : İzmir bölgesine ait 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarının bir parçası.....	45
Şekil 4.2 : Ankara-İ29-c1 paftası içerisinde yer alan Gölbaşı test alanı.....	46
Şekil 4.3 : Ankara-İ29-c1 paftası içerisinde yer alan Ikonos uydu görüntüleri.....	47
Şekil 4.4 : İzmir bölgesine ait SPOT uydu görüntüleri.....	48
Şekil 4.5 : Uygulama iş akışı.....	49
Şekil 4.6 : Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafı bloğu.....	50
Şekil 4.7 : Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM.....	50
Şekil 4.8 : Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrileri kullanılarak üretilen 8 metre çözünürlükte SYM.....	51
Şekil 4.9 : Bursa-G23-c-14-d paftasına ait eş yükselti eğrileri.....	52
Şekil 4.10 : Bursa bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen 1, 8 ve 32 metre çözünürlüklerde SYM'ler.....	53

Şekil 4.11	: Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM ile eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin fark görüntüleri.....	54
Şekil 4.12	: Hatalı bölge.....	55
Şekil 4.13	: Karşılaştırmada kullanılan noktaların hata dağılımı.....	56
Şekil 4.14	: Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları.....	56
Şekil 4.15	: Farklı eğim gruplarındaki SYM'lerin doğrulukları.....	57
Şekil 4.16	: Üretilen Z(X.Y) fonksiyonunun ağ yüzeyi ile gösterimi.....	61
Şekil 4.17	: Üretilen Z(X.Y) fonksiyonunun eş-hata eğrileri ile gösterimi...	61
Şekil 4.18	: Tortum bölgesine ait 8 metre çözünürlüklü SYM ve ilgili istatistik görüntüsü.....	63
Şekil 4.19	: İzmir bölgesine ait otomatik görüntü eşleme ile üretilen 8 metre çözünürlüklü SYM.....	64
Şekil 4.20	: İzmir bölgesine ait eş yükselti eğrilerinden üretilen 8 metre çözünürlüklü SYM.....	65
Şekil 4.21	: Değerlendirilen detaylar.....	67
Şekil 4.22	: Eğim Haritası.....	67
Şekil 4.23	: Karşılaştırmada kullanılan noktaların hata dağılımı.....	68
Şekil 4.24	: Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları.....	69
Şekil 4.25	: Çözünürlük ve eğime göre değişen SYM doğrulukları.....	69
Şekil 4.26	: Üretilen Z(X.Y) fonksiyonunun ağ yüzeyi ile gösterimi.....	73
Şekil 4.27	: Üretilen Z(X.Y) fonksiyonunun eş-hata eğrileri ile gösterimi...	73
Şekil 4.28	: Ikonos uydu görüntülerindeki noktaların dağılımı.....	74
Şekil 4.29	: 2, 8 ve 32 metre çözünürlüklerde üretilmiş sayısal arazi modelleri.....	75
Şekil 4.30	: Standart yöntem, sabit parametre ve yazılım tarafından değiştirilebilir parametre ile üretilmiş sayısal arazi modelleri...	77
Şekil 4.31	: İzmir bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM.....	79
Şekil 4.32	: Edirne bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM.....	80
Şekil 4.33	: SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri.....	81
Şekil 4.34	: SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM.....	81
Şekil 4.35	: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri.....	83
Şekil 4.36	: Edirne bölgesinde üretilen SYM'ler.....	83
Şekil 4.37	: SYM fark görüntüleri.....	84
Şekil 4.38	: Doğu-Batı yönündeki kesit.....	85
Şekil 4.39	: Kuzey-Güney yönündeki kesit.....	85
Şekil 4.40	: Uydu görüntüleri ile hava fotoğrafları maliyet hesabı Excel tablosu.....	88
Şekil 4.41	: %60 ileri ve % 20 yan bindirmeli çekim (Erdas Field Guide, 1997).....	89
Şekil 4.42	: Ikonos uydu görüntüsü fiyatları.....	90
Şekil 4.43	: OrbView uydu görüntüsü fiyatları.....	91
Şekil 4.44	: SPOT uydu görüntüsü fiyatları.....	92
Şekil 4.45	: 200 km ² 'lik alana kadar maliyet analizi.....	93
Şekil 4.46	: 3600 km ² 'lik alana kadar maliyet analizi.....	93

Şekil 4.47	: 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı.....	95
Şekil 4.48	: 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı.....	95
Şekil 4.49	: SYM üretim süreleri.....	100
Şekil 4.50	: SYM birim maliyetleri.....	101
Şekil 4.51	: SYM doğrulukları.....	101
Şekil 4.52	: SYM doğruluk, maliyet ve üretim süresi grafiği.....	102
Şekil G.1	: Doğu-Batı yönündeki kesit.....	118
Şekil H.1	: Kuzey-Güney yönündeki kesit.....	119

SEMBOL LİSTESİ

φ	: Coğrafi Enlem
λ	: Coğrafi Boylam
v_i	: i Noktasındaki Hata
\bar{X}	: Hataların Ortalaması

VERİ TÜRÜ, KALİTESİ VE ÜRETİM YÖNTEMİNE GÖRE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ (SYM) STANDARTLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Hava fotoğrafı ve uydu görüntülerindeki veriler, çok uzun zamandır klasik yollarla ve operatörler tarafından elle çizilmekteydi. Bilgisayar teknolojisi ve dijital görüntü işleme alanlarındaki gelişmeler, günümüzde bu işlemlerin otomatikleşmesine olanak sağlamaktadır. Otomatikleşmenin hedefi hızı arttırmak ve değerlendirme masraflarını azaltmaktır. Bu kapsamda fotogrametri alanında otomatikleşmenin büyük oranda sağlandığı işlemlerden birisi de SYM üretimi olmuştur.

Dijital fotogrametri, stereo modeller üzerinden dijital topoğrafik harita üretiminin yanısıra, otomatik olarak SYM ve dijital ortofoto harita üretimine de olanak sağlamaktadır. Önceleri bazı zorluklarla gerçekleştirilen SYM üretimi, dijital fotogrametri ve görüntü işleme sistemleri yardımıyla daha kolay bir hale gelmiştir.

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

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

Bu çalışmanın amacı, SYM üretiminde yoğun olarak kullanılan kaynak veri türleri ve üretim yöntemlerine göre, üretim kriterleri ve standartlarının belirlenmesi; zaman, maliyet, doğruluk, kullanılabilirlik yönünden bu yöntemlerin test edilmesi ve optimizasyonudur.

Bu çalışmada, SYM üretimi için farklı veri türleri kullanılmıştır. Bunlar 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları ile 10 metre çözünürlüklü SPOT ve 1 metre çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüleridir. Bu verilerden otomatik görüntü eşleme tekniği ile SYM'ler üretilmiş, elde edilen SYM'lerin doğruluğu test edilmiştir. Aynı zamanda bu verilerden bir kısmı için fotogrametrik değerlendirme ile sayısal eş yükseklik eğrisi üretimi yapılmış, sayısal eş yükseklik eğrilerinden SYM üretilmiş, SYM'lerde optimum veri toplama aralığı ve SYM doğruluğu test edilmiştir. Fotogrametrik değerlendirme ve otomatik yöntemle üretilen SYM'ler karşılaştırılarak iki yöntem değerlendirilmiştir. Çözünürlük ve eğim derecesine göre doğruluklar değerlendirilerek, hatanın fazla olduğu bölgeler için öneriler getirilmiştir.

Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının maliyet analizi yapılarak, bu verilerin uygun kullanım şekilleri konusunda önerilerde bulunulmuştur. Üretilen SYM'lerin maliyetleri, üretim süreleri ve doğrulukları analiz edilerek, optimum SYM türü belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda; bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km²'lik bir alanın SYM'sinin üretiminin toplam maliyeti, birim maliyeti ve toplam üretim süresi analiz edilmiş; en uzun süreli üretim tekniğinin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme, en kısa süreli üretim tekniğinin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en pahalı SYM üretim yönteminin IKONOS uydu görüntülerinden eş yükselti eğrisi değerlendirme, en ucuz yöntemin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en yüksek doğruluklu SYM'nin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve en düşük doğruluklu SYM'nin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme olduğu belirlenmiştir.

SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgilerinin beraber analiz edilmesi sonucu 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin optimum çözüm olduğu, ancak maksimum maliyet ve üretim süresi ile minimum doğruluk kriterlerinin önem derecesine göre diğer optimum noktalarında belirlenebileceği görülmüştür.

INVESTIGATION OF DIGITAL ELEVATION MODEL STANDARDS ACCORDING TO SOURCE AND QUALITY OF DATA AND PRODUCTION METHOD

SUMMARY

Aerial photographs and satellite imagery have been evaluated manually by the operators for a long time for the extraction of the vector data. Computer technology and digital image processing technologies have been developed and this development provides to perform these extraction processes automatically or semi-automatically. The aim of making the processes automatic is to increase the speed of collecting the data and to reduce the cost. DEM production has been the one of the most automated process of photogrammetry.

Digital photogrammetry enables the production of digital topographical maps from stereo models and also the production of automated DEM and digital orthophoto production. The production of DEMs, which was difficult before, becomes easier by the usage of the digital photogrammetry and image processing systems.

Although, formats and accuracy for some formats of DEMs are standardized, data sources, quality of data sources and production methods of DEMs to provide or improve the standards are not determined clearly. Nonexistence of standards and production criteria causes loss of time and money and production of DEMs without known standards and accuracies. Also these nonstandard productions cause data loss of DEMs which are needed dense work and source. Many researches are made about the production of DEMs from different data sources and with different methods and the investigation of accuracies of sources and methods to remove the deficiency about this item.

In all of the studies, DEMs having different resolutions and different data sources are produced and the accuracies of DEMs are investigated. The results of these studies vary according to the source data, resolution, ground control point distribution, production method and reference data for the accuracy assessment. On the other hand, the accuracies are investigated in these studies, but the cost and duration of DEM productions are neglected generally. This situation prevents the optimization of production.

The aim of this study is the determination of production criteria and standards for the source data and methods which are used intensively for DEM production and the test and optimization of these methods on the aspect of production time, cost, accuracy and usability.

In this study, different data sources, which are 1:16.000 and 1:35.000 scale aerial photographs, and 10 meter resolution SPOT and 1 meter resolution IKONOS satellite imagery, are used for DEM production. DEMs are produced by automatic image matching from these data sources and the accuracies of DEMs are assessed. Also DEMs are produced from digital contour lines which are compiled from some of these sources. Optimum data collection interval and accuracy of DEMs are investigated. Photogrammetric compilation and automatic image matching methods for DEM production are compared. Accuracies are investigated according to the resolution of DEM and slope of topography. Some solutions are suggested for the areas having high errors.

Costs of satellite imagery and aerial photographs are analyzed and the appropriate usages of the data are suggested. The costs, production times and accuracies of the produced DEMs are also analyzed and the optimum DEM type is tried to be find. To succeed this aim, total cost, unit cost and duration of the DEM production of an area covering a 1:100.000 scale topographic maps, which is approximately 2400 km², are analyzed. The results show that the most time consuming method is the contour line digitizing from 1:16.000 scale aerial photographs and the least is automatic image matching from SPOT satellite imagery, the most costly one is the contour line digitizing from IKONOS imagery and the cheapest is automatic image matching from SPOT satellite imagery, the most accurate is the contour line digitizing from 1:16.000 scale aerial photographs and the least is automatic image matching from SPOT satellite imagery.

By the analysis of approximate accuracy, unit cost and production time of DEMs, the automatic image matching from 1:16.000 scale aerial photographs and contour line digitization from 1:35.000 scale aerial photographs seem to be the optimum methods. But according to the importance of maximum cost and production time and the minimum accuracy criteria, other optimum methods can be determined from the results.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

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

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

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

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

Yer Bilimleri uygulamalarında, genel olarak belli bir arazi yapısının modellenmesi, analizi ve yorumlanmasına odaklanılır. Drenaj ağı, hidrolojik akış modeli,

jeomorfolojik simülasyon ve sınıflandırma, jeolojik harita üretimi buna örnek gösterilebilir. Eğim-bakı haritaları, gölgeli haritalar SYM'lerin kullanıldığı popüler uygulamalardır.

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

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

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

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

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

farklı yöntemlerle SYM üretimi ve bunların doğruluklarının belirlenmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

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

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

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

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

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

Kaczynski (2004) tarafından yapılan çalışmada Ikonos görüntülerinden 10 adet yer kontrol noktası kullanılarak 25 metre çözünürlükte SYM üretilmiş ve 1:26.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM ile karşılaştırılmıştır. Ikonos uydu

görüntülerinden üretilen SYM'nin doğruluğunun düzeltme işlemleri sonrası 1 metre civarında olduğu bulunmuştur.

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

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

Bu çalışmanın amacı, SYM üretiminde yukarıda bahsedilen eksikliklerin giderilebilmesine katkıda bulunmak amacıyla, SYM üretiminde yoğun olarak kullanılan kaynak veri türleri ve üretim yöntemlerine göre, üretim kriterleri ve standartlarının belirlenmesi; zaman, maliyet, doğruluk, kullanılabilirlik yönünden bu yöntemlerin test edilmesi ve optimizasyonudur.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde fotogrametrinin tanımı ve tarihçesi hakkında kısa bir bilgi sunulmuş ve SYM'nin temel kavramları, veri kaynakları ve üretim yöntemleri, SYM doğruluğuna etki eden faktörler üçüncü bölümde anlatılmıştır.

Uygulamada SYM üretimi için farklı veri türleri kullanılmıştır. Bunlar 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları ile 10 metre çözünürlüklü SPOT ve 1 metre çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüleridir. Bu verilerden otomatik görüntü eşleme tekniği ile SYM'ler üretilmiş, elde edilen SYM'lerin doğruluğu test edilmiştir. Aynı zamanda bu verilerden bir kısmı için fotogrametrik değerlendirme ile sayısal eş yükseklik eğrisi üretimi yapılmış, sayısal eş yükseklik eğrilerinden SYM üretilmiş, SYM'lerde optimum veri toplama aralığı ve SYM doğruluğu test edilmiştir. Fotogrametrik değerlendirme ve otomatik yöntemle üretilen SYM'ler karşılaştırılarak iki yöntem test edilmiştir. Çözünürlük ve eğim derecesine göre

doğruluklar değerlendirilerek, hatanın fazla olduğu bölgeler için öneriler getirilmiştir. Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının maliyet analizi yapılarak, bu verilerin uygun kullanım şekilleri konusunda önerilerde bulunulmuştur. Üretilen SYM'lerin maliyetleri, üretim süreleri ve doğrulukları analiz edilerek, optimum SYM türü belirlenmeye çalışılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar dördüncü bölümde sunulmuştur.

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

2. FOTOGRAMETRİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ

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

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

Fotogrametri;

- Resim çekme noktasının konumuna göre;

Hava fotogrametrisi,

Yersel fotogrametri,

- Uygulama alanlarına göre ise;

Topografik fotogrametri,

Topografik olmayan fotogrametri,

Yersel fotogrametri,

Yakın resim fotogrametrisi,

Diğer alanlarda kullanılan fotogrametri olarak sınıflandırılabilir.

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

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

1851 yılında Fransız Binbaşı A.Laussedat ilk yersel ölçme kameralarını yapmış ve bu kameraları ‘Metrographie’ adını verdiği plançete ile arazi alımına benzeyen bir topoğrafik alım yönteminde kullanmıştır. Bu yönteme ‘Plançete Fotogrametrisi’ denilmektedir. Fotogrametrinin geometrik ve analitik esasları genişletilmiştir. Aynı tarihte Almanya’da mimar A.Meydenbauer, Laussedat’tan bağımsız olarak bina ölçmelerindeki problemlere eğilmiştir.

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

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

İlk defa stereo-fotogrametride, yalnız ölçme resmi ile gerçekleştirilebilen bir ölçme ve değerlendirme şekli ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde insan gözünün aynı cisme ait iki düzlem perspektifi uzayda stereoskopik olarak görmesinden faydalanılmıştır. Bu özellik, Almanya’da C.Pulfrich tarafından çizilen, Jena tarafından üretilen stereo-

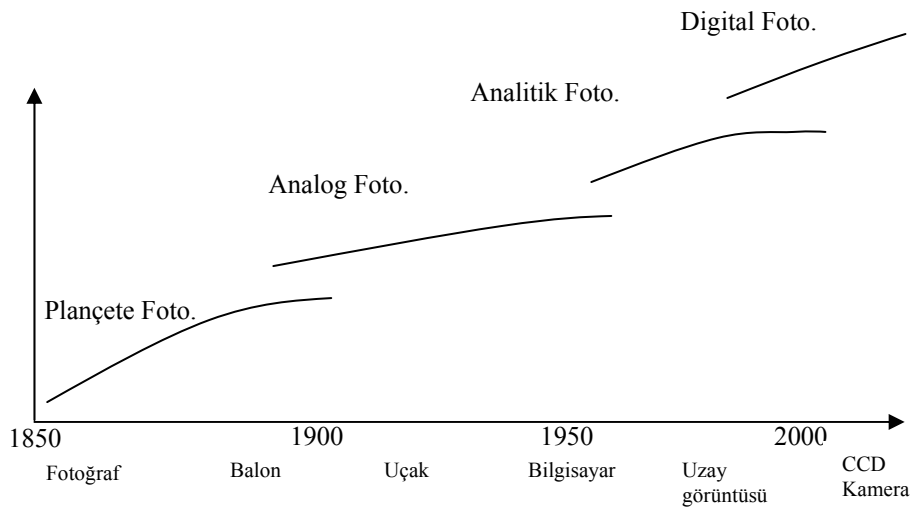
komparatörün ve E.von Orel'in Autograph'ı ölçme tekniğinde kullanılması ile fotogrametriye yeni bir boyut kazandırmıştır.

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

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

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

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



Şekil 2.1: Fotogrametrinin gelişim evreleri.

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

3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ

3.1 Giriş

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

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

3.2 Matematiksel Model

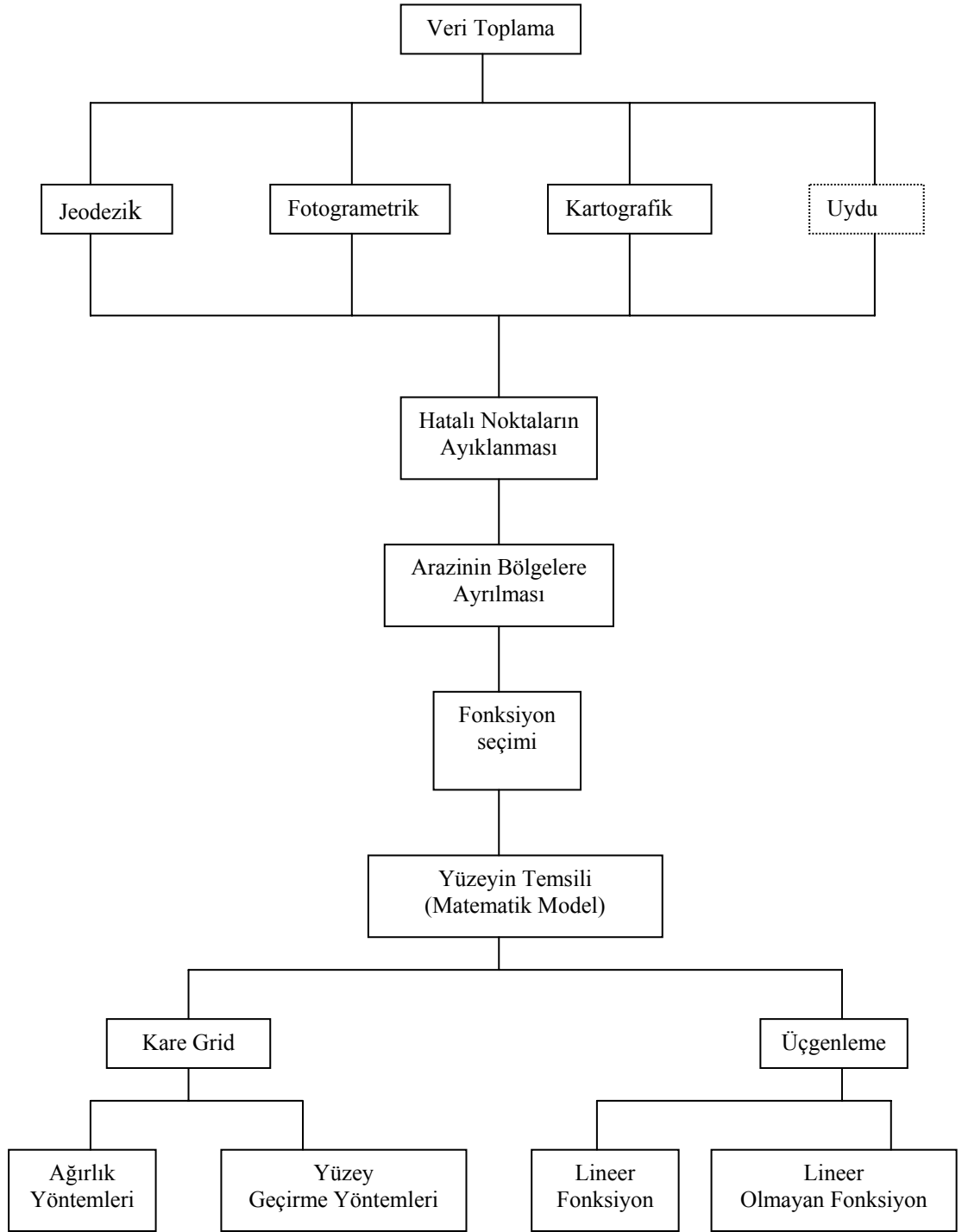
Yeryüzü, matematiksel olarak tanımlanamayacak üç boyutlu düzensiz bir şekildir. Tam olarak tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya gereksinim vardır. Bu da olanaksız olduğundan, belirli sayıdaki nokta kümesi seçilir ve yüzey bu noktalardan yararlanılarak temsil edilmeye çalışılır. Yeryüzünün uygun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

Digital arazi modeli konsepti ilk olarak, 1958 yılında Miller ve Laflamme tarafından yol projelerinin sayısallaştırılması amacıyla ortaya çıkmıştır. Diğer bir çok amaç için uygun olduğu gibi arazi tanımlamasını sağladığının anlaşılmasına kadar, yaklaşık on yıl Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanımını sivil mühendislik uygulamalarında yerini almıştır. İlk başta uygulamalar, eş yükseklik eğrilerinin hesaplandırılması ile sınırlı

kalmıştır. Genel olarak grafik işlemlerden bilgisayar işlemlerine geçilmesi ile SAM veya Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) tek başına bir ürün olmuştur. Burada SYM ve SAM kavramları arasında, Avrupa'da kullanıldığı gibi herhangi bir ayrıma gidilmemiştir. Gerçekte aralarında kalite yönünden herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Yüksek kalitedeki bir SYM'nin verisi kırıklı çizgiler gibi morfolojik detayları da içerdiği anlaşılmaktadır (Özer, 1989).

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

SYM üretimi fotogrametride önemli bir görevdir. SYM'ler tek başına birer ürün olduğu kadar, ortofoto gibi ikinci ürünlerin oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Digital fotogrametri, SYM'lerin otomatik toplanması için ideal bir ortamdır. Bilgisayar kapasitelerinin yeterli olduğu günden itibaren, araştırmacılar otomatik SYM toplama üzerinde çalışmışlardır. Kabul edilebilecek işlemlerin olmasına rağmen bu problem hala tamamen çözümlenmiş değildir. Örneğin büyük ölçekli bir yerleşim alanını düşündüğümüz zaman, mevcut sistemlerden hiçbiri otomatik SYM toplayamamaktadır. Sayısal Arazi Modellerindeki işlemlerin akışı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: SYM Akış Diyagramı

SYM'ler veya SZM'ler, digital anlamdaki nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlarlar. Yumuşak veya sert kırıklı çizgilerle ve noktalarla tanımlanabilen morfolojik detaylarla tamamlanan, düzenli veya düzensiz dağılımdaki noktalarla arazi yüzeyinin temsil edilmesidir. Noktalar ve çizgiler, aralarındaki lokal enterpolasyonlarla birlikte arazi yüzeyini temsil ederler. Çoğu

durumda SYM'ler, lineer enterpolasyon ile bütünlenen kare veya dikdörtgen yapıdaki düzenli grid deseni ile temsil edilir. Fakat, düzensiz üçgen ağ yapısı (TIN) da yaygın olarak kullanılmaktadır (Ackerman, 1996).

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

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

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

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

SYM'leri yüzey tanımlama olarak bilinen genel bir problemin parçasını oluşturmaktadır. Bu konu ile bilgisayar ortamında yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar dünyasındaki önemli paradokslardan biri de

yüzeylerin obje tanıma ve görüntü anlama gibi ardışık görsel görevlerin izlenmesinde önemli bir rol oynadığıdır. Bir robotun dağınık bir ortamda navigasyonu gibi buna benzer bir çok görev yüzey özelliklerinin yoğun bir şekilde kullanımını gerektirmektedir. İnsanoğlunun görüş sistemi şekil bilgilerinin algılanmasında dikkate değer bir şekilde adapte olmuştur ve bu şekilleri anlamlı sembollerle ifade edebilmektedir. Bütün SYM programları çeşitli sistemlerin karşılaştırılmasında yararlı kriterler olan bir takım kabuller ve sınırlandırmalar kullanmaktadır. Digital fotogrametrideki bazı araştırmacılar, en küçük kareler eşlemesi ile radyometrik modelin geometrik modele eklenmesiyle stereo ve gölgelendirmenin bütünleşmesini önermişlerdir. Bununla birlikte SYM üretimindeki geçerli metot stereo olarak kalmıştır (Schenk, 1996).

Stereo modellerden otomatik SYM üretimi aşağıdaki üç görevden oluşmaktadır :

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

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

3.3 SYM Üretim Yöntemleri

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

3.3.1 Fotogrametrik Değerlendirme

Fotogrametri; çeşitli hava araçlarına monte edilmiş olan metrik kamera, algılayıcı ve tarayıcılarla havadan veya uzaydan alınan fotoğraf ya da görüntüler kullanılarak veri elde etmeye ve cisimler hakkında üç boyutlu geometrik bilgiler çıkarmaya yarayan bir ölçme, değerlendirme ve yorumlama tekniğidir. Son yıllarda oldukça geniş bir uygulama alanı bulan uydu görüntülerinden ve uzaktan algılama verilerinden yararlanarak arazinin topoğrafik yapısına ilişkin geometrik, tematik ve öznetelik bilgilerinin çıkarılması konusu, uzaktan algılama ve sayısal görüntü işleme tekniklerinin ilgi alanına girmekle beraber, günümüzde fotogrametri ve uzaktan algılama tekniklerini birbirinden kesin çizgilerle ayırmak olanaklı değildir (Fritsch, 1995).

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

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

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

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

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

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

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

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

Otomatik korelasyonla örnekleme : Sayısal fotogrametrik sistemlerle çalışabilmek için görüntülerin de sayısal olması gerekliliği, 1972 yılından itibaren uzaya gönderilmeye başlanan uzaktan algılama amaçlı Landsat uydularındaki çok bantlı algılayıcılardan elde edilen sayısal görüntüleri, bu alanda ilk uygulama çalışmalarının temelini oluşturmasına neden olmuştur. Ardından SPOT uydusunun stereo görüntülerinin devreye girmesiyle söz konusu teknik, bütünüyle stereo fotogrametrinin esaslarını benimsemiş bir yapıya dönüşmüştür. Sayısal yükseklik bilgilerinin, otomatik korelasyon tekniği kullanarak stereo görüntülerden elde edilmesi yönündeki çalışmalar günümüzde büyük gelişim göstermiştir. Sayısal görüntüleri veri kaynağı olarak alan ve paralaks farklarını belirleyerek sayısal yükseklik modelini elde etme şeklinde kullanılan bu teknik, görüntü çiftlerinin çakıştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu geometrik model, görüntü korelasyonu eşlenik (epipolar) hatlar boyunca oluşturulan kenar veya detay (feature) noktalarını esas alır.

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

3.3.2 Otomatik Görüntü Eşleme

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

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

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

Görüntü eşleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yılların sonlarında (1959, Hobrough) başlamış olmasına rağmen, sonuçlanmasının neden çok uzun zaman aldığı düşünülebilir. Verilecek ilk cevap, piksel olarak adlandırılan en temel görüntü elemanının bilgi içeriği dikkate alınarak ortaya konur. 15 µm ile taranan bir hava fotoğrafı yaklaşık olarak 285 milyon pikselden ve her bir gri tonu da 0 - 255 arasında bir değerden oluşur. Bu değerlerin büyüklüğü; tek tek piksellere dayalı bir eşlemenin imkansız olduğunu göstermektedir.

Daha gerçekçi bir yaklaşım, çapraz korelasyon tekniğidir (Şekil 3.2). İki pencerenin çapraz korelasyon fonksiyonunu hesaplamak için , bir kalıp pencere daha büyük bir araştırma penceresi boyunca piksel piksel gezdirilir ve her bir konum için kalıp pencere ile araştırma penceresinin ilgili bölümü arasında (3.1) eşitliği ile hesaplanan bir ρ çapraz korelasyon katsayısı bulunur.

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

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)(g2(r,c) - \mu2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1) \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g2(r,c) - \mu2)}} ; \quad 1 \leq \rho \leq 1 \quad (3.1)$$

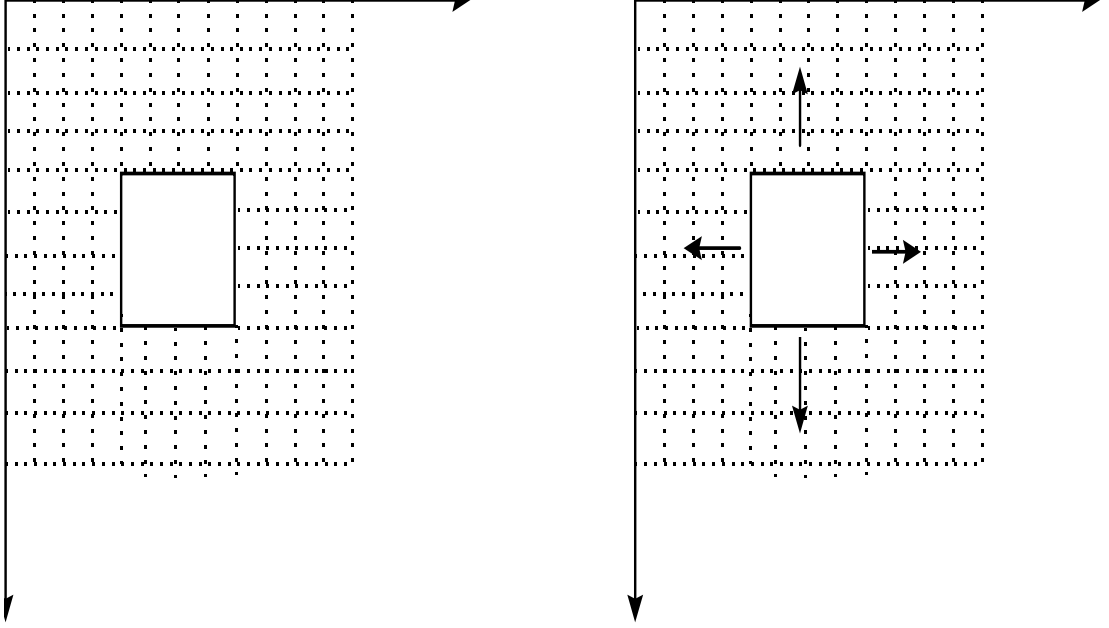
$g1(r,c)$: Kalıp matrisinin tek tek gri tonları

$\mu1$: Kalıp matrisinin ortalama gri tonu

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

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

R,C : Kalıp matrisinin satır ve sütun sayısı



Şekil 3.2: Çapraz korelasyon tekniği

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

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

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

3.3.2.1 Alana Bağlı Eşleme

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

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

3.3.2.2 Detaya Bağlı Eşleme

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

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

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

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

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

3.3.2.3 Sembolik Eşleme

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

Tablo 3.1: Eşleme metodları ve eşleme varlıkları arasındaki ilişki

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

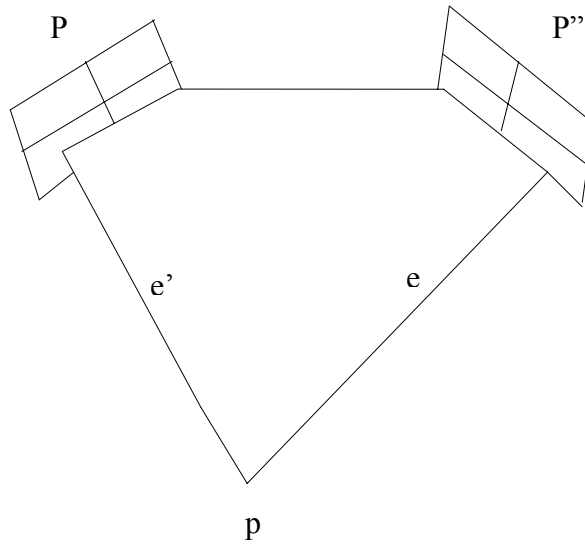
3.3.2.4 Epipolar Kısıtlamalar

(P, P', P'') epipolar düzlemi ve e' , e'' epipolar hatları fotogrametrik görüntülerle işlem yaparken çoğu durumda merkezsiz bir perspektif izdüşüm kabul edilir (Şekil 3.3). Merkezi perspektif izdüşüm, epipolar geometri olarak adlandırılan çok güçlü kısıtlamalar sağlar. Verilen iki görüntüde epipolar düzlem; üç boyutlu uzayda bir nokta ile her iki resim izdüşüm merkezlerini içeren düzlem ile tanımlanır. Bu

düzlem, her iki görüntü düzlemini epipolar hatlar olarak adlandırılan doğru hatlarla ileriden kestirir. Eğer iki resmin karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen bir noktadan diğer görüntüdeki epipolar hat hesaplanabilir ve bu noktaya karşılık gelen diğer görüntüdeki nokta bu hat üzerinde bulunmalıdır. Böylece görüntü eşleme problemi iki boyutludan bir boyutlu duruma indirgenmiş olur.

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

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



Şekil 3.3: Epipolar kısıtlamalar

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

3.3.2.5 Çok Görüntü Eşleme

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

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

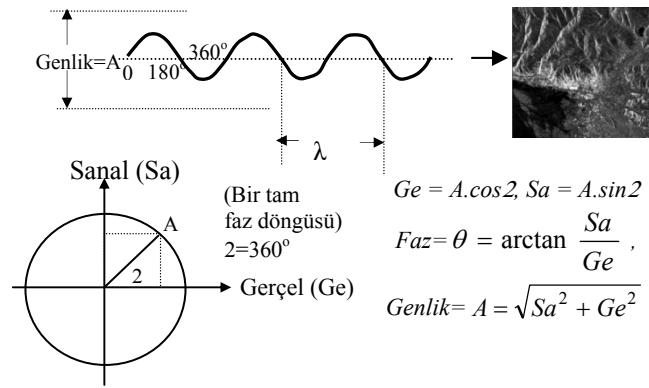
Eğer bütün parçalar aynı anda eşlenirse, her görüntü parçasının bilgi içeriği tamamen kullanılabilir. Agouris ardışık yaklaşımların problemlerini çözen özenli bir çözüm sunmaktadır (Agouris,1992). Diğer yaklaşım; Schenk ve Krupnik tarafından önerilmiştir. Burada, eşleme nesne uzayında uygulanır. Dış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

3.3.3 IfSAR (InSAR)

Kompleks radar sinyallerinin faz bileşenlerinin InSAR tekniğine uygun olarak analiz edilmesi sonucunda yeryüzünün 3 boyutlu bilgilerine ulaşılabileceği konusu 1960'lı yıllara dayanmaktadır. 1986 yılına kadar süren teorik çalışmalardan sonra Zebker ve Goldstein tarafından Jet Propulsion Laboratory (JPL)'de uygulamalı InSAR

çalışmaları yapılmıştır. Uydulara yerleştirilen SAR sistemleri ile görüntülerin elde edilmesi, InSAR tekniğinin daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

SAR algılama sistemleri, göndermiş olduğu elektromanyetik sinyalin hem geri yansıyan kısmının şiddetini, hem de sinyaldeki gecikme zamanlarını kaydeder. Sinüs dalgası şeklinde olan elektromanyetik sinyalin taşımış olduğu genlik ve faz bilgisi Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Genlik bilgisi kullanılarak gri değerlere sahip raster nitelikteki klasik radar görüntüsü oluşturulur. Açısal olarak ifade edilen ve tek başına bir anlam taşımayan faz açısı 360° ye ulaştığında bir tam faz oluşur. InSAR, kompleks radar sinyallerini kullandığı için, temin edilen ham SAR verilerinin kompleks olarak ifade edilmesi gerekir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Elektromanyetik sinyal özellikleri (Cihangir ve Maktav, 2006).

Aynı bölgenin iki farklı noktadan alınmış SAR verilerinin faz bilgilerini kullanarak o bölgedeki yükseklik modeli veya meydana gelen deformasyonlar ölçülebilir (Şekil 3.5).

Kosinüs teoreminden,

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \cos(\theta + 90 - \alpha) \quad (3.2)$$

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 + 2\rho B \sin(\alpha - \theta) \quad (3.3)$$

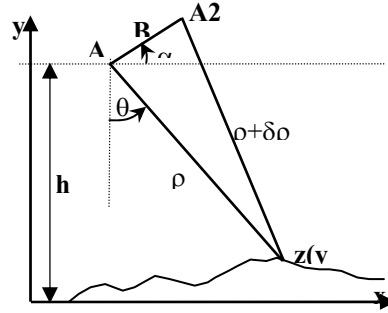
yazılabilir. Buradan,

$$\sin(\alpha - \theta) = \frac{[(\rho + \delta\rho)^2 - \rho^2 - B^2]}{2\rho B} \quad (3.4)$$

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

$$\delta\rho = \frac{\lambda\phi}{4\pi} \quad (3.5)$$

hesaplanır.



Şekil 3.5: İnterferometrik SAR geometrisi (Cihangir ve Maktav, 2006).

Sonuçta noktaya ait yükseklik değeri,

$$z(y) = h - \frac{\left[\left(\frac{\lambda\phi}{4\pi} \right)^2 - B^2 \right] \cos \theta}{2B \sin(\alpha - \theta) - 2 \left(\frac{\lambda\theta}{4\pi} \right)} \quad (3.6)$$

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

3.3.4 LIDAR

Günümüzde SYM üretiminde yoğun olarak kullanılmaya başlayan sistemlerden biri de LIDAR (Light Detection And Ranging) sistemidir. LIDAR lazer darbeleri

kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknolojidir. Radar teknolojisiyle benzerdir. Radarda kullanılan radyo dalgaları yerine ışık, yani lazer darbeleri kullanılır. Uzaklığı ölçülecek nesne ya da yüzeye gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile nesneye çarpıp gelen yansımanın tekrar kaynağa ulaşma vakti arasındaki fark sayesinde uzaklık ölçülür. LIDAR, bugün kullanılan en yeni teknolojilerden biridir. LIDAR teknolojisi ile iyi kontrol edilmiş şartlar altında 15 cm'lik düşey doğruluğa erişilebilmektedir. LIDAR büyük alanların haritalarının üretiminde daha ekonomik bir sistemdir. LIDAR teknolojisinin uydu platformlu (spaceborne) ve hava platformlu (airborne) olmak üzere iki türü vardır.

3.3.5 Jeodezik Ölçümler

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

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

3.3.6 Topoğrafik Haritalar

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

- Nokta ölçü,
- Sürekli ölçü,
- Tarama

şeklinde yapılabilir.

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

Sürekli ölçümde ise; sayısallaştırmaya eş yükseklik eğrilerinin herhangi bir noktasından başlanır ve eğri bitinceye kadar üzerinden gidilmesi gereken

sayısallaştırma, eşit zaman aralığında, eşit mesafe artırımlı, doğrultudan sapma kontrollü, değerlerin manuel olarak manyetik ortama kaydedilmesi şeklinde yapılır.

Tarama şeklinde sayısallaştırmada; kaynak materyalin negatif filmi alınmakta, operatörün bu film üzerinde gösterdiği çizgiler otomatik olarak bir raster tarama şeridi ile izlenerek sayısallaştırılmaktadır. Ayrıca, tarama ile sayısallaştırmanın bir değişik şekli; kaynak materyalin tarayıcılar ile elde edilen raster görüntüsünün bilgisayar ekranında yansıtılması ve operatörün ekranda çizgilerin üzerine belirteci tatbiki ile değerleri manyetik ortama vektör formatta kaydetmesi olarak uygulanmaktadır (Heads-up sayısallaştırma).

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

3.4 SYM Yapıları

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

- Raster yöntemi,
- Üçgenleme yöntemi.

Sayısal yükseklik modellerinin raster yöntemiyle toplanmasının avantajları aşağıda açıklanmıştır.

- Enterpolasyonun hesap tekniği bakımından çok basit organize edilebilmesi ve raster düğüm nokta yüksekliklerinin kolay bir şekilde depolanma olanağı bu yöntemin en önemli üstünlüklerindedir.
- Yol, inşaat ve madencilik alanına yönelik çalışmalarda, iki durumu (örneğin kazıdan önceki ve sonraki durumu) gösteren SYM'de raster ağının aynı düğüm noktalarını seçmek mümkündür. Bu nedenle hacim hesaplarında önem kazanan aynı noktalardaki eski ve yeni yükseklik değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.

- Raster formunda depolanmış bir SYM'den eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu ve çizimi, üçgenleme yöntemine göre daha basit bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Raster formunda SYM'nin tamamı depolanmak zorundadır. Kural olarak bunun yoğunluğu her zaman dayanak nokta yoğunluğundan çok daha yüksektir.
- Düzgün aralıklı bir rasterde kırık çizgiler ya da arazi yapısını gösteren çizgilere ait bilgiler bulunmaz.
- Bunlar ancak raster çizgileri ile kesim noktalarının özel olarak depolanmasıyla dikkate alınabilir. Bu ise hiç de kolay sayılamayacak ek çalışma ve bellek gereksinimini doğurur (Özer, 1989).

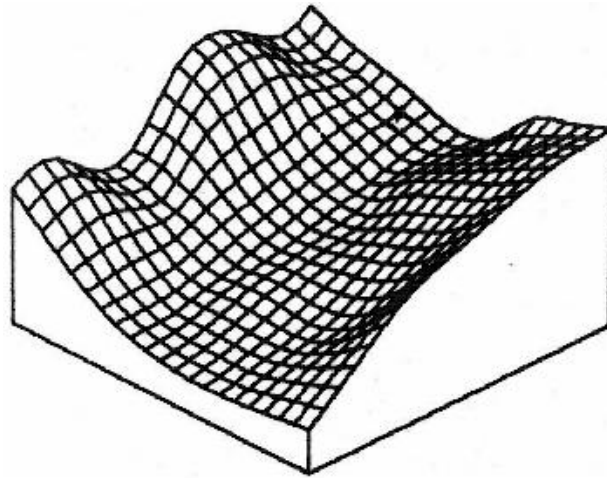
3.4.1 Raster Yöntemi

Raster yönteminde arazi üzerine karesel ya da dikdörtgensel bir grid sistemi yerleştirilir ve grid düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır (Şekil 3.6). Bu, iki şekilde gerçekleştirilir.

(1) Fotogrametrik model üzerinden doğrudan ölçmelerle,

(2) Arazi yüzeyine rastlantısal olarak dağılmış olan dayanak noktalarının

ölçülmesi suretiyle.



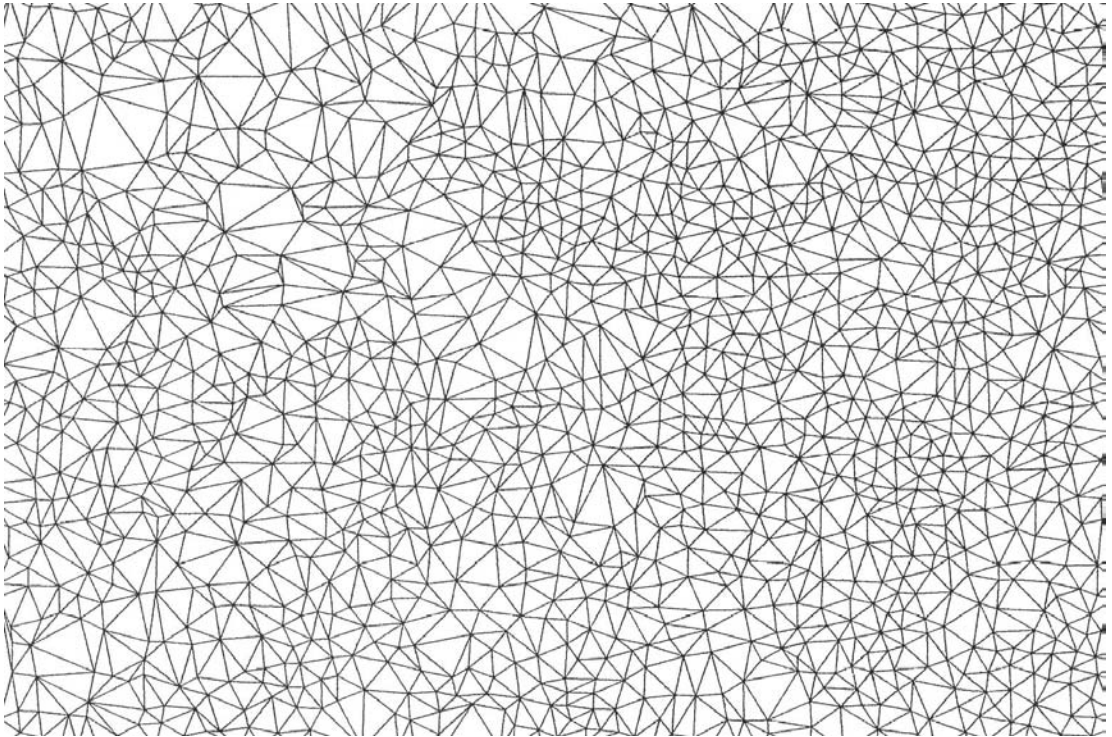
Şekil 3.6: Ortogonal raster SYM

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

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

3.4.2 Üçgenleme Yöntemi

Arazi yüzeyine rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile arazi düzlem üçgenlerden (TIN) oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Araziyi örten bir üçgen ağı SYM (TIN).

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

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

3.5 SYM Doğruluğu

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

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

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

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

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

Hataların Ortalaması

Ortalama ya da tam olarak cebirsel ortalama şöyle hesaplanır:

$$\text{Hataların Ortalaması: } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (3.7)$$

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

İfade, farkların işaretini almaktadır ve eğer benzer pozitif ve negatif büyüklüklere sahip olursa “0” değerini almaktadır. Her bir noktanın yüksekliği, eğer farklar rastgele dağılmışsa $\bar{X}=0$ olacaktır. Bu durum noktalarda oldukça fazla yükseklik farklarının olmadığı anlamına gelmemektedir. Diğer yandan bu hesaplardan belirli bir pozitif veya negatif bir değer çıkarsa, bu durum farklarda sistemik bir hatanın

olduğunu gösterir. Yani, bir yüzey diğerinden sistematik olarak yüksek veya alçaktır (datumla ilişkili olarak).

Mutlak Hatların Ortalaması

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

$$\text{Mutlak Hataların Ortalaması: } \mathbf{OH} = \frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{n} \quad (3.8)$$

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

Standart Sapma

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

$$\text{Standart Sapma: } S = \pm \sqrt{\sum v^2 / (n-1)} \quad (3.9)$$

Genelde n yerine $(n-1)$ kullanılır. Fakat test edilen nokta sayısı çok fazla ise n kullanılması sonucu etkilemeyecektir. $\bar{X}=0$ ve normal dağılım olduğunu kabul edersek; farkların % 68.27’si (yaklaşık 2/3’ü) $-S$ ile $+S$ arasına girecektir. Standart sapma terimi haritacılıkta sık sık bu doğruluk ifadesini tanımlamak için kullanılır.

Karesel Ortalama Hata

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

$$\text{Karesel Ortalama Hata: } \mathbf{KOH} = \pm \sqrt{\sum (v - \bar{X})^2 / (n-1)} \quad (3.10)$$

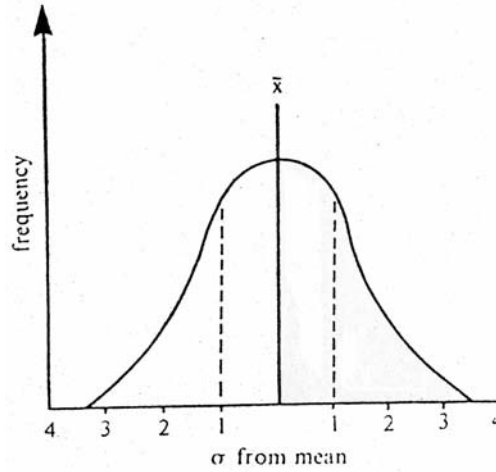
Yine bu ifadenin paydası kesinlikle $(n-1)$ olmalıdır. Test noktalarının sayısının çok fazla olması durumunda paydanın n olması bir fark yaratmayacaktır. Yukarıdaki ifade genellikle aşağıdaki şekilde düzenlenir:

$$\mathbf{KOH} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sum v^2}{n}\right) - \bar{X}^2} \quad (3.11)$$

veya

$$\mathbf{KOH} = \pm \sqrt{S^2 - \bar{X}^2} \quad (3.12)$$

Farkların dağılımı \bar{X} etrafında simetrik olacaktır ve yine değerlerin % 68.27'si $-\text{KOH}$ ile $+\text{KOH}$ arasında olacaktır. $(\pm 3\text{KOH})$ değeri, birkaç değer bu değeri geçse de maksimum ve minimum hata olarak kabul edilebilir (Şekil 3.8 ve Tablo 3.2).



Şekil 3.8: Normal dağılım

Tablo 3.2: Hata olasılıkları

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

Şekil 3.8’de açıkça görülmektedir ki, eğer $\bar{X}=0$ ise $S=KOH$ ’dır ve karesel ortalama hata standart sapmanın yerini alabilir. Bu durumda, Şekil 3.8’de görülen dağılım doğru olmaktadır. Fakat \bar{X} , sifıra eşit olacaktır ve bundan sapma, standart sapma S ’nin değil KOH ’nın katları şeklinde olacaktır. Bu belki de sık sık karıştırılan her iki ifadenin de haritacılıkta standart hata olarak kullanılmalarmını da açıklamaktadır.

3.5.1 Yükseklik Bilgisinin Doğruluğu

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

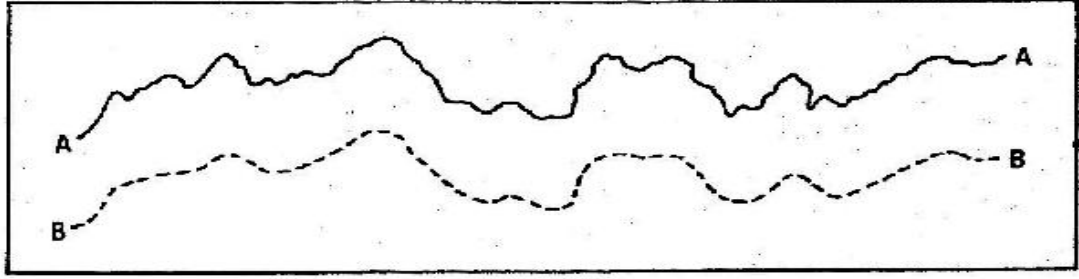
- Nokta yükseklikleri (düzenli veya düzensiz dağılmış), ve
- Amaca uygun haritaya, ölçeğe ve arazi eğimine bağlı olarak seçilen harita ölçeğinin gerektirdiği düşey aralıktaki eş yükseklik eğrileri

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

Nokta yükseklikleri böylelikle, planimetrik ve yükseklikle ilişkili olarak KOH değerleri şeklinde doğruluk için toplanır veya belirlenir. Eş yükseklik eğrileri çizgisel detaylardır ve doğruluklarına nokta veriler gibi kolaylıkla karar verilemez. Bu nedenle, hatalara ve böylelikle KOH değerlerine belirli nokta konumlarında karar verilebilir. Fakat eş yükseklik eğrileri üzerinde böyle noktaları belirlemek imkansızdır. Eş yükseklik eğrisi doğruluğunu sayısal olarak ifade etmek için çeşitli çabalar olmasına rağmen (örneğin Lee, 1985), eş yükseklik eğrisi doğruluğunu belirlemede genellikle kullanılan yöntem şudur: Eş yükseklik eğrilerinde kabul edilebilir hatalar için bir tolerans (KOH) belirlemek ve harita üzerindeki veya araziden ve fotogrametrik olarak elde edilen noktaların bu tolerans içine girip girmediğini kontrol etmektir. Belirlenen doğruluğa; ölçek, arazi eğimi ve düşey aralık faktörleri göz önüne alınarak karar verilir. Doğruluk kullanılan noktaların KOH’sına dayanmaktadır. Normalde, eş yükseklik eğrisi için kabul edilen standart,

ölçülen noktalardan elde edilenin üç katıdır. Düşey aralığa bağlı olarak olasılık terimleriyle ifade edilir. Örneğin, test edilen noktaların % 90'ı gerçek değerlerin düşey aralığının yarısı kadardır.

Eş yükseklik eğrileri ile ilişkili olarak; morfolojik doğrulukları veya arazi yüzeyinin küçük düzensizliklerinin temsili konuları da ele alınmalıdır. Bu, eş yükseklik eğrilerinin genel şeklinden çok detayını ilgilendirir (Şekil 3.9).



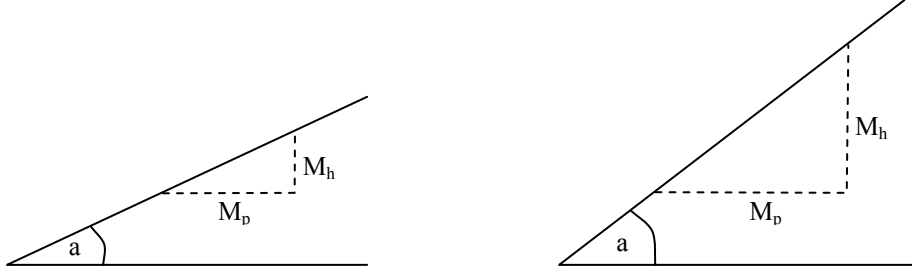
Şekil 3.9: A çizgisi: fotogrametrik yöntemler gibi yüksek doğruluklu yöntemlerle üretilen eş yükseklik eğrisi, B çizgisi: aynı eş yükseklik eğrisinin bir SYM'den enterpolasyon ile üretilmiş daha yumuşak bir şekli

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

$$\text{KOH yükseklikte } M_h = \pm(A+B \tan a) \quad (3.13)$$

$$\text{KOH planimetrik } M_p = \pm(B+A \cot a) \quad (3.14)$$

A ve B, haritanın ölçeğine (ve doğruluk gereklerine) bağlı olarak belirlenmiş sabitlerdir. Koppe bu prensibi ilk ortaya çıkardığından beri 85 yıl geçmiştir ve yıllar boyunca geçerliliği tartışılmıştır. Yine de, formül, çoğu modern haritacılık işlerinde yükseklik hatasının belirlenmesinde temeli oluşturmaktadır. Formül noktalara ilişkindir, fakat eş yükseklik eğrilerinin doğruluğunu belirtmede de kullanılmaktadır (Şekil 3.10 ve Tablo 3.3, 3.4) (Shearer, 1994).



Şekil 3.10: Yumuşak eğimlerde yükseklik hatası M_h , dik eğimlerde oluşan hatalara oranla küçüktür. Buna rağmen, planimetrik hata M_p yumuşak eğimlerde daha büyüktür.

Tablo 3.3: Orta ve büyük ölçekli haritalara ilişkin A ve B değerleri (Burada 'a' eğim açısıdır.).

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

Tablo 3.4: 10° ve 30° eğimleri için M_h ve M_p değerleri

Ölçek	Eş yükseklik eğrisi aralığı (metre)	M_h (metre)		M_p (metre)	
		$a=10^\circ$	$a=30^\circ$	$a=10^\circ$	$a=30^\circ$
1:1 000	1	0.15	0.27	0.86	0.47
1:5 000	5	0.92	2.13	5.26	3.69
1:10 000	10	1.88	3.89	10.67	6.73
1:25 000	10	2.23	5.04	12.67	8.73
1:50 000	20	3.26	7.27	18.51	12.59

3.5.2 SYM Hata Kaynakları

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

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

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

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

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

içinde iyi bilinen doğruluklarda gerçek yüksekliklere sahip olmalıdır (Erdoğan, 2000).

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

SYM'deki hata, bu SYM'yi kullanarak yapılmış ortogörüntüde planimetrik bir hataya sebep olur. Bu hata, yükseklik hatası büyüklüğü, bakış geometrisi, algılayıcı sistem vb. gibi farklı faktörlere bağlıdır. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Erdoğan, 2000):

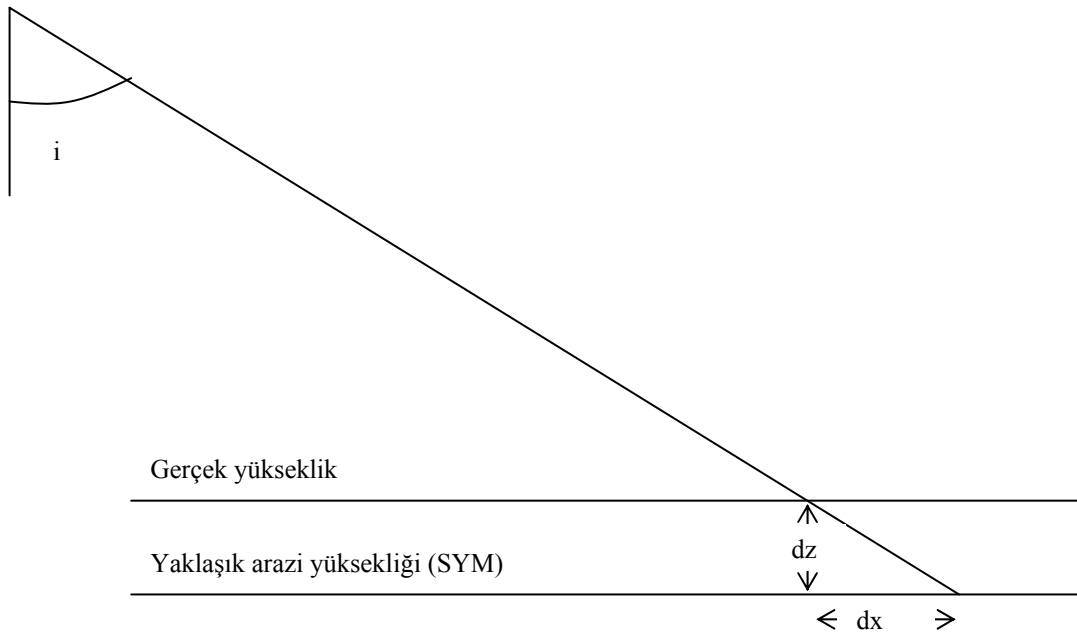
$$dx = dz \cdot \tan(i) \quad (3.15)$$

burada,

dx = planimetrik hata

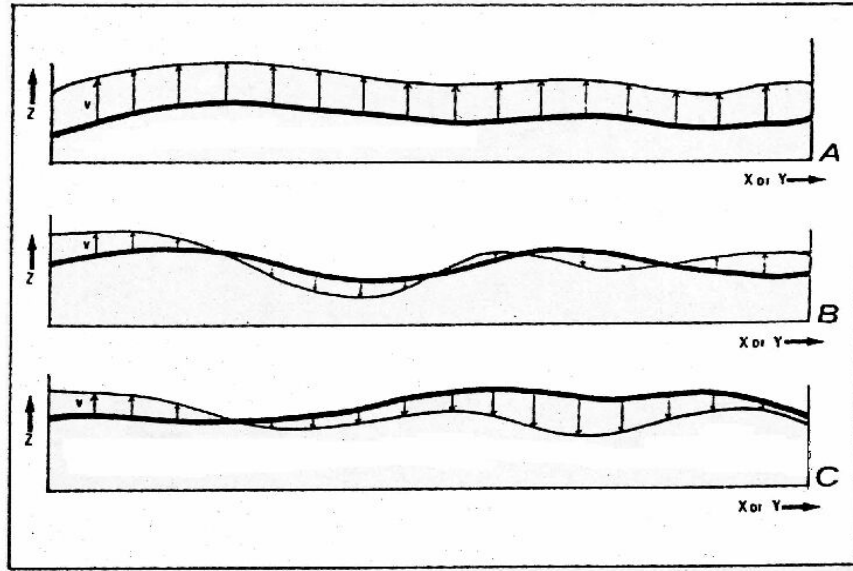
dz = SYM hatası

i = bakış açısı



Şekil 3.11: SYM'deki hataların ortogörüntünün planimetrik doğruluğuna etkileri (Erdoğan, 2000)

Sayısal yükseklik modelleme sistemleri, düzenli bir nokta yükseklikleri grid ağı üretimine dayanmasına veya bu grid ağını kendisi oluşturabilmesine rağmen, bu noktaların doğruluğu, arazi ölçümleri veya fotogrametrik olarak elde edilen bir kontrol grid ağının yükseklikleriyle karşılaştırılması suretiyle kontrol edilebilir. Böyle bir karşılaştırma grid noktaları için standart hata değerlerini verecektir ve enterpole edilmiş yükseklik noktalarında ve/veya eş yükseklik eğrilerinde meydana gelen olası hataları belirlemede bir temel oluşturacaktır. Benzer bir yöntemle, farklı arazi modelleme paketlerinin doğruluğu karşılaştırılıp analiz edilebilir. Bir SYM ve arazi yüzeyini temsil eden gerçek yüksekliklerle karşılaştırmasından elde edilebilecek olası sonuçlar Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Arazi yüzeyi ile Sayısal Yükseklik Modellerinin karşılaştırılması

Şekil 3.12-A, bir yüzeyin diğerinden sabit olarak yüksek olduğu durumu göstermektedir. Her noktadaki v değeri sabittir ve verilen datum seviyesine göre pozitif veya negatif olabilir. Bu durum; bir yüzeyin diğerine göre tamamen kayıklığını yansıtmaktadır ve burada:

$$\bar{X} = \text{OH} = v \quad (3.16)$$

Şekil 3.12-B, hem büyüklük hem de aritmetik işaret olarak v değerinin tamamen rastgele değerlerini göstermektedir. Oldukça büyük bir örnekleme aralığında \bar{X} 'in

değeri sıfıra eşit veya çok yakın olacaktır ve yükseklik farklarının değerlerinin dağılımı ve büyüklüğü karesel ortalama hata ile ifade edilecektir.

Şekil 3.12-C durumunda ise, v 'nin büyüklüğü oldukça fazla değişir, fakat farkların çoğunluğu bir yöndedir. Bu durum hem sistematik hataların, hem de rastgele hataların birlikte bulunduğu durumu göstermektedir. X 'in değeri bu durumda sistematik elemanı belirtecektir ve S de farkların dağılımı ve büyüklüğünü gösterecektir. Burada \bar{X} değerinin SYM yüzeyindeki sistematik hataları gidermek için her grid noktasındaki yüksekliğe uygun şekilde ekleyerek veya çıkartarak kullanılabilmesini belirtmek yerinde olacaktır. Her noktada kalan farklar, artık bütün doğada rastgele dağılmış olacaktır (Shearer, 1994).

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

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

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

Çizgisel haritalar için oluşturulan standartlar SYM'leri için de iyi bir örnek oluşturmaktadır. Yalnız bir problem şudur: Harita standartları daima ölçekle ilişkili olmasına rağmen, bir SYM, verilen hassas koordinat terimleri ile ifade edildiğinden ölçekten bağımsızdır. Ley (1986), SYM'de ölçeğe eş olarak grid nokta ayırımı veya yatay çözünürlüğü önermektedir. Ayrıca 30 m.den 100 m.ye kadar nokta ayırımları 1/50.000' den 1/250.000'e kadar harita ölçeklerine eşittir. Sonra, doğruluğu, grid nokta uzaklığının bir fonksiyonu olarak düşünür. Örneğin; grid nokta yüksekliklerinin standart hatası, birinci sınıf bir doğruluk için grid nokta aralıklarının üçte biri olmalıdır. Bu yaklaşım, sadece grid bazlı SYM'nin , grid yükseklik değerlerinin doğrudan ölçümünden oluşturulduğu yerlerde geçerli olduğu görülmektedir (örneğin, fotogrametrik veya arazi ölçümü yöntemleri ile). Grid nokta değerleri orijinal rastgele dağılmış veriden enterpole edildiği yerlerde çoğu SYM paketi, kullanıcıya nokta aralıklarını seçme olanağını sunmaktadır. Açıkçası bu, girdi verilerinin yoğunluk ve dağılımına bağlı olarak yapılmalıdır. Nokta aralıklarını azaltmanın, doğrulukta bir artışa sebep olmayacağı açıktır (Şekil 3.13) (Ackerman, 1996).



Şekil 3.13: 10 m. aralıklı eş yükseklik eğrisi kullanılarak üretilmiş 1/5.000 ölçekli ortofoto haritada meydana gelebilecek hatalar

3.5.3 Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalite Kontrolü ve Editlenmesi

Bir SYM'nin kalitesinin belirlenmesinde doğruluktan daha başka kriterler de kullanılmalıdır. Yüzeyin yaklaşık morfolojik tanımı ile birlikte SYM verilerinin güvenilirliği, tutarlılığı ve düzgün dağılımı göz önüne alınmalıdır. SYM'nin kalitesinin arttırılması, yüzeyin matematik modellenmesine ve modelleme

doğruluğuna bağlıdır. Genellikle fotogrametrik yöntem ile model üzerinden gerçekleştirilen üç boyutlu SYM sayısallaştırması, yüzeyin matematik olarak modellenmesinde bağımsız noktalar ve çizgi verilerinin kullanılmasına olanak tanımaktadır.

SYM toplama sistemlerinin çoğunda, eşleme ve yüzey yoğunlaştırma tamamen otomatik işlemler olup, insan müdahalesi sadece işlemlerin başlatılmasında gerekmektedir. Bu iki işlemde gerçekleştirilen bütün kontrollerin yanı sıra, SYM'nin doğruluk ve bütünlük açısından operatör tarafından kontrol edilmesi önemlidir. Bu işlem Kalite Kontrol olarak adlandırılabilir. Kalite kontrol, SYM verilerinin görüntülenmesi ve eğer gerekli ise SYM verilerinin editlenmesinden oluşan iki adımın interaktif bir ortamda yapılmasıdır. Bu işlem çok önemlidir, çünkü sadece SYM kalitesinin etkilenmesi ile kalınmayıp, bunun yanında otomatik yaklaşım maliyeti de etkilenmektedir. SYM'lerin görüntülenmesi, Perspektif Görüntüler ve Gerçek Üç Boyut olarak gruplandırılabilir. SYM'lerin kafes yapısı modeli olarak perspektif görüntülenmesi, hızlı müdahalelere ve kaba hataların tespitine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte doğruluğu yakalama kapasitesinden tamamen yoksundur. Yapay bir ışık kaynağından SYM verilerinin gölgelendirilmesi, kafes yapı modeline bir alternatiftir. Rendering olarak bilinen bu teknik, hataların tespit edilmesinde oldukça etkilidir fakat herhangi bir doğruluk sunmamaktadır. Güçlükle fark edilen hataların SYM'de tespit edilmesi ve gerçek üç boyutlu görüntüde doğruluğuna erişilmesi işlemin bir yolu, SYM'nin görüntüler üzerine konulmasıdır. Bu durumda operatör SYM modelini stereo model çifti üzerinde görebilmekte ve SYM verilerinin üç boyutlu görüntüsünü stereo model ile karşılaştırabilmektedir. Bu görev için softcopy çalışma istasyonları ideal bir ortam sağlamaktadır. Bununla birlikte dikkatli bir şekilde kontrol sıkıcı bir işlem olarak kalmaya devam etmektedir. Norvelle, korelasyon tekniği kullanarak stereo modelin 15 dakikada eşlenmesi ile elde edilen verilerin kontrolünün ve editlenmesinin yaklaşık 5 saat gerektirdiğini bildirmiştir. Norvelle, iteratif ortofoto adı verilen bilgisayar destekli kalite kontrolünü gerçekleştirmek için bir metot önermiştir. Shenk ve arkadaşları tarafından da farklı bir şekilde ele alınan bu görüşte, stereo modele ait iki görüntü ve SYM verisi ile birlikte iki tane ortofoto üretimine dayanmaktadır. Eğer SYM verisi doğru ise, radyometrik sapınçlar haricinde iki ortofotonun da bire bir olması gerekmektedir. Geometrik yer değiştirmeler sadece yanlış SYM verisinden

kaynaklanmaktadır. Bu şekildeki yer değiştirmeler, iki ortofotonun tekrarlı olarak eşleme işleminden geçirilmesi sureti ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir. İlave olarak bu yer değiştirmeler SYM verisinin düzeltilmesinde kullanılabilir (Gruen, 1998).

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

4. UYGULAMA

4.1 Giriş

Uygulamada SYM üretimi için farklı veri türleri kullanılmıştır. Bunlar farklı ölçeklerde (1:16.000 ve 1:35.000) stereo hava fotoğrafları, 10 metre çözünürlüklü SPOT ve 1 metre çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüleridir. Bu verilerden otomatik görüntü eşleme tekniği ile SYM'ler üretilmiş, elde edilen SYM'lerin doğruluğu test edilmiştir. Aynı zamanda IKONOS hariç aynı verilerden fotogrametrik değerlendirme ile sayısal eş yükseklik eğrisi üretimi yapılarak, bu sayısal eş yükseklik eğrilerinden SYM'ler üretilmiştir. SYM'lerde optimum veri toplama aralığı ve SYM doğruluğu test edilmiş, fotogrametrik değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'ler karşılaştırılarak iki yöntem değerlendirilmiştir. Çözünürlük ve eğim derecesine göre doğruluklar değerlendirilerek, hatanın fazla olduğu bölgeler için öneriler getirilmiştir. Son olarak elde edilen doğruluklar ve veri türlerine göre SYM üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

4.2 Uygulamada Kullanılan Yazılımlar

Bu bölümde uygulamada kullanılan Windows yazılımlarının dışındaki yazılımlar hakkında kısaca bilgi verilecektir.

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

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

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

Leica Photogrammetry Suite Yazılımı : Gelişmiş modülleri ile bir görüntü işleme ve fotogrametri yazılımıdır. Görüntülerin rektifikasyonu, perspektif görüntülerin oluşturulması, görüntü zenginleştirilmesi, sınıflandırma, görüntülerde vektör işlemleri, raster-vektör ve vektör-raster dönüşümleri, RADAR görüntülerinin işlenmesi, çıktı dosyalarının hazırlanması gibi işlemlere olanak sağlayan modülleri bulunmaktadır.

Surfer Yazılımı : Çeşitli verilerden yüzey veya eğri geçirme, verilerde enterpolasyon vb. işlemleri yapan bir yazılımdır.

Grapher Yazılımı : Çeşitli verilerden grafik hazırlanması için kullanılan bir yazılımdır.

MathLab Yazılımı : Çok geniş matematiksel fonksiyonları bulunan, basit bir programlama mantığı ile bir çok karmaşık ve ardışık matematiksel hesaplamaların hızla yapılabildiği bir yazılımdır.

4.3 Uygulamada Kullanılan Veriler

Çalışmada 1:35.000 ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları ile stereo IKONOS ve SPOT uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu verilere ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.3.1 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile uygulamalar İzmir ve Tortum olmak üzere iki farklı bölgede yapılmıştır.

Birinci bölge İzmir'in batısındadır (Şekil 4.1). Bölge vadi tabanlarındaki yerleşim ve tarım arazileri ile daha sarp ve yüksek yerlerde ormanlık ve maki alanları şeklinde genel Ege Bölgesi karakteristiklerini taşımaktadır. Farklı arazi kullanımlarının bulunması, üretilecek SYM'nin bu tür farklı yerlerdeki doğruluğunun test edilebilmesi açısından bir avantajdır. Bölgede çok farklı eğim grupları ve yükseklikler bulunmaktadır. Bu özellik de yine yapılacak testler için oldukça uygundur. Bölgenin 1996 tarihli Zeiss RMK TOP15 kamerasıyla (odak uzaklığı: 153 mm) alınmış 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları mevcuttur. Hava fotoğrafları siyah-beyazdır ve 21 mikron çözünürlüğünde taranmışlardır.



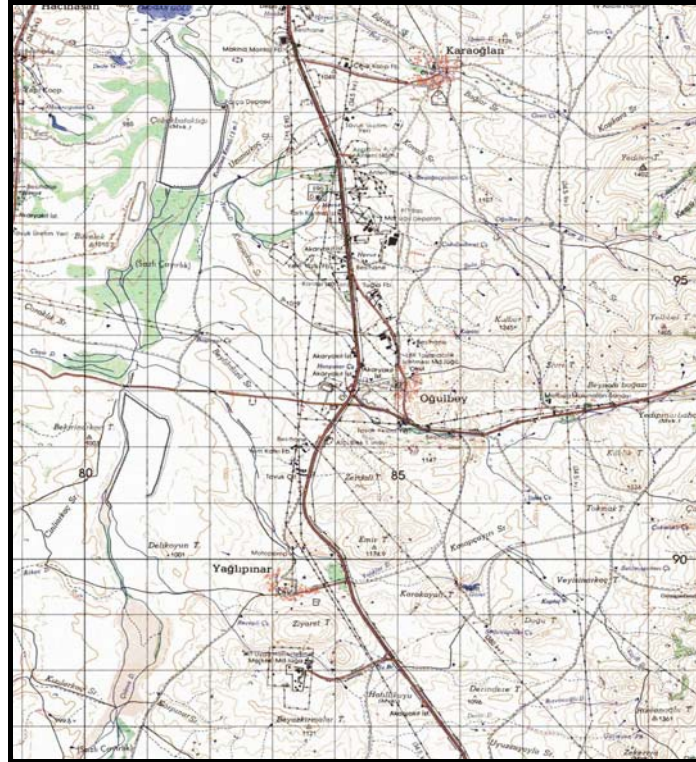
Şekil 4.1: İzmir bölgesine ait 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarının bir parçası

İkinci bölge Tortum'dur. Seçilen bölge oldukça dağlık, eğimin 0 ile 63° ve yüksekliğin 1348.6 ile 2946.5 metre arasında değiştiği bir alandır. Bölge, ormanlık alanlar ve çıplak arazi ile kaplıdır. Bölgenin 2005 tarihli Zeiss RMK TOP15 kamerasıyla (odak uzaklığı: 153 mm) alınmış 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları mevcuttur. Hava fotoğrafları siyah-beyazdır ve 21 mikron çözünürlüğünde taranmışlardır.

4.3.2 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları ile uygulamalar Ankara ve Bursa olmak üzere iki farklı bölgede yapılmıştır.

Birinci bölge Ankara İ-29-c1 paftası içine giren Gölbaşı bölgesidir (Şekil 4.2). Söz konusu bölge yaklaşık olarak 10 km. x 10 km. boyutlarındadır. Bölgede yerleşim alanları, küçük sanayi tesisleri ve tarımsal araziler bulunmaktadır. Uçuşta 153 mm. odak uzaklığına sahip olan Zeiss RMK TOP 15 kamerası kullanılmıştır. Boyuna bindirme oranı % 60, enine bindirme oranı ise % 30 olarak tespit edilen uçuşta kinematik GPS tekniği uygulanarak 40 adet fotoğraf alımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2: Ankara-İ29-c1 paftası içerisinde yer alan Gölbaşı test alanı

İkinci bölge Bursa-G23-c-14-d paftasına giren alandır. Bölgede yükseklik 305 ile 1073 metre, eğim ise 0 ile 60° arasında değişmektedir. Bölgenin 19 Ağustos 1999 depremi sonrası 1:16.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları alınmıştır. Uçuşta 153 mm. odak uzaklığına sahip olan Zeiss RMK TOP 15 kamerası kullanılmıştır. Bölge orman kaplı sarp bir arazidir.

4.3.3 1 metre Çözünürlüklü Stereo IKONOS Uydu Görüntüleri

IKONOS uydu görüntüleri Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları ile aynı alanı kapsamaktadır. Görüntüler İnta Uzay Sistemleri (Türkiye) firmasından ücretsiz olarak temin edilmiştir ve görüntü alım tarihi 4 Ağustos 2002'dir (Şekil 4.3).



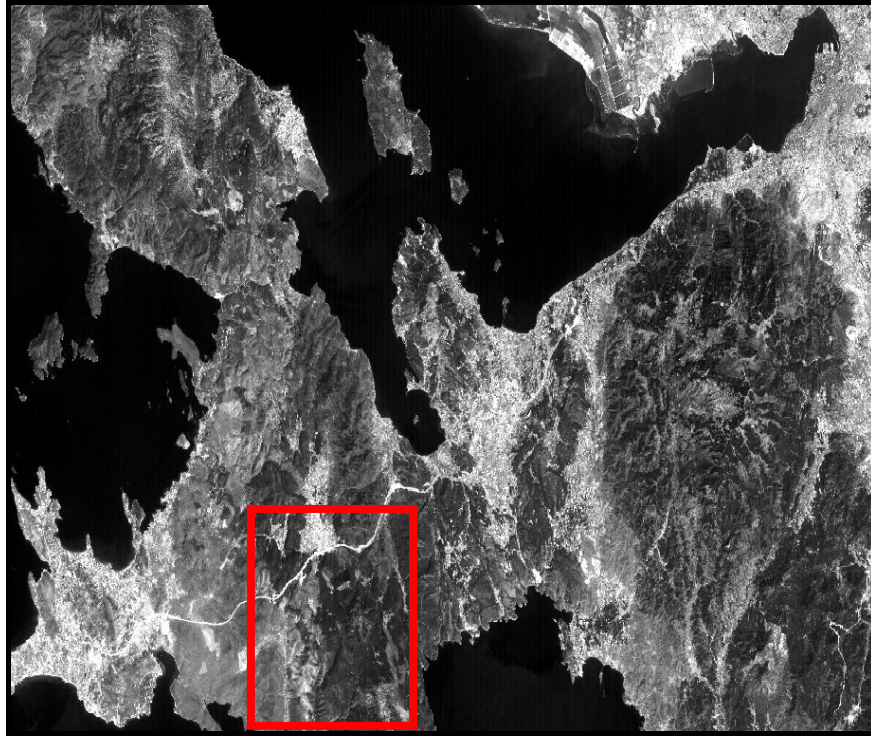
Şekil 4.3: Ankara-İ29-c1 paftası içerisinde yer alan IKONOS uydu görüntüleri

4.3.4 10 metre Çözünürlüklü Stereo SPOT Uydu Görüntüleri

SPOT uydu görüntüleri ile uygulamalar İzmir ve Edirne olmak üzere iki farklı bölgede yapılmıştır.

Birinci bölgedeki görüntüler İzmir-Urla-Çeşme alanını kapsamaktadır (Şekil 4.4). Ancak çalışmada Şekil 4.4'de dikdörtgen ile gösterilen 1:35.000 ölçekli hava

fotoğraflarının mevcut olduğu alan kullanılmıştır. Görüntülerin baz/yükseklik oranı yaklaşık olarak 0.6'dır. Bu değer sayısal görüntü işleme için oldukça uygundur.



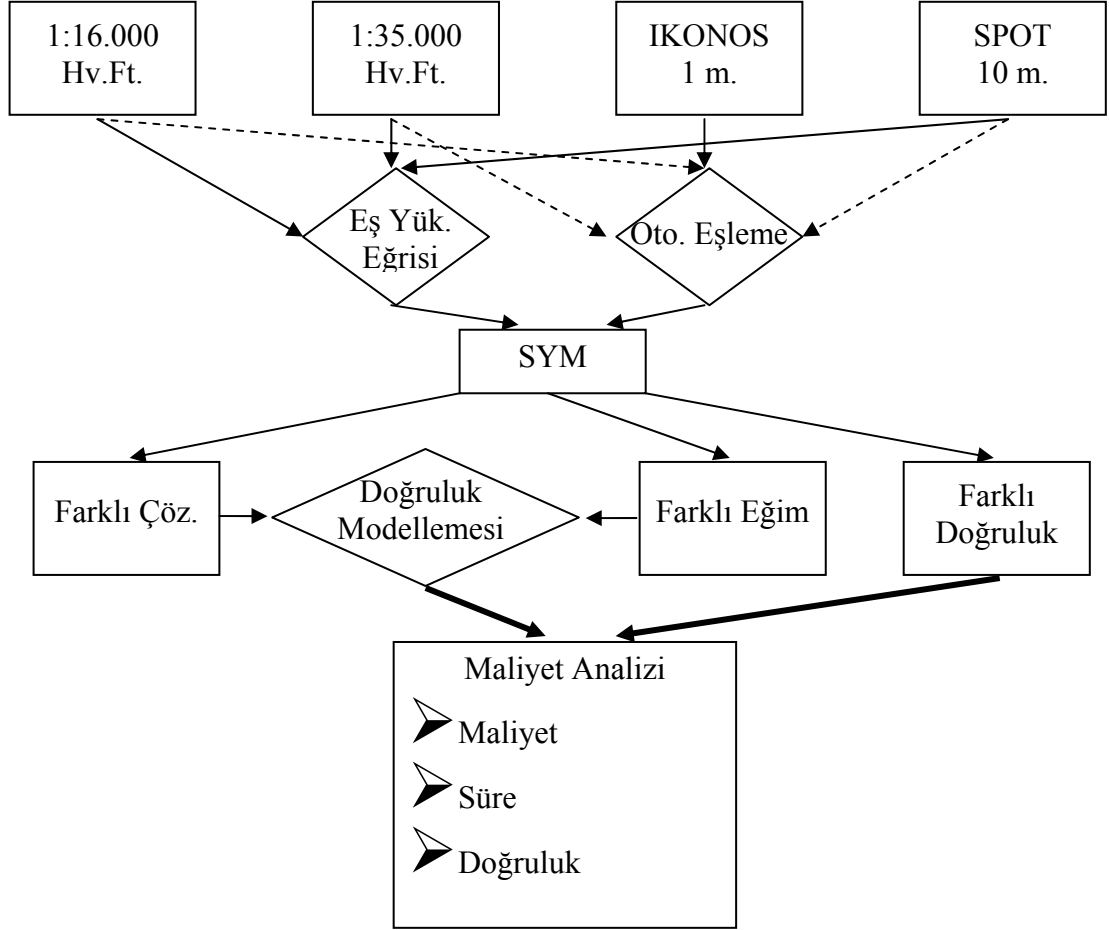
Şekil 4.4: İzmir bölgesine ait SPOT uydu görüntüleri

İkinci olarak Edirne bölgesinde 13 km X 14 km.lik bir alan seçilmiştir. Bölgede yükseklik 34 ile 190 metre arasında değişmektedir. Bölgenin 2000 tarihli 10 metre çözünürlüklü stereo SPOT uydu görüntüleri mevcuttur.

4.4 İş Akışı

Uygulamada kullanılan iş akışı Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Uygulama kapsamında 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları, 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve SPOT uydu görüntüleri kullanılarak Autometrik Softplotter yazılımında fotogrametrik değerlendirme ile eş yükselti eğrisi ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden, PCI Geomatica yazılımında SYM'ler üretilmiştir. IKONOS uydu görüntülerinden stereo fotogrametrik değerlendirme yapabilecek yazılım bulunmaması nedeniyle, bu görüntülerden sadece Leica Photogrammetry Suite (LPS) yazılımında otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi yapılabilmış, eş yükselti eğrisi değerlendirme

gerçekleştirilememiştir. Üretilen SYM'lerin çözünürlük ve eğime göre değişen doğrulukları modellenmeye çalışılmış, SYM'lerin maliyet, üretim süreleri ve doğrulukları analiz edilmiştir.



Şekil 4.5: Uygulama iş akışı

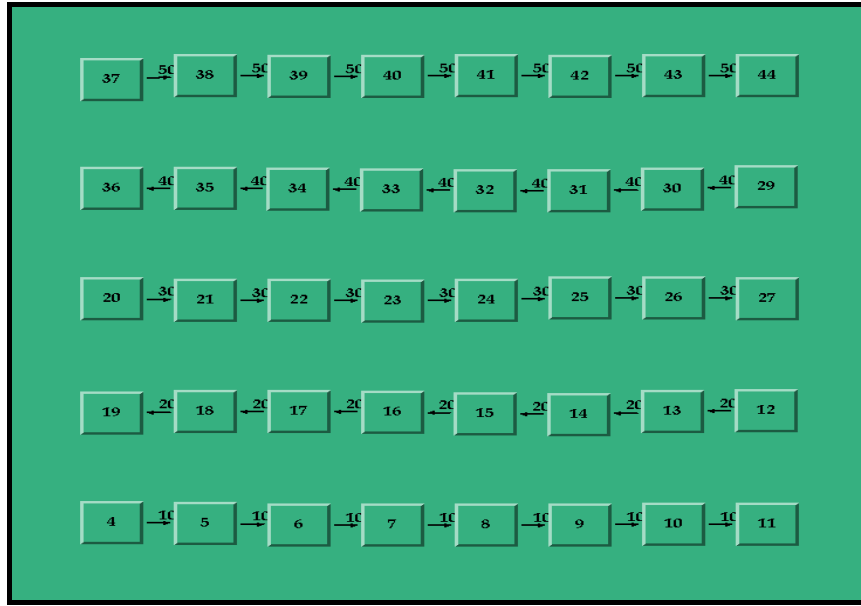
4.5 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi

1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

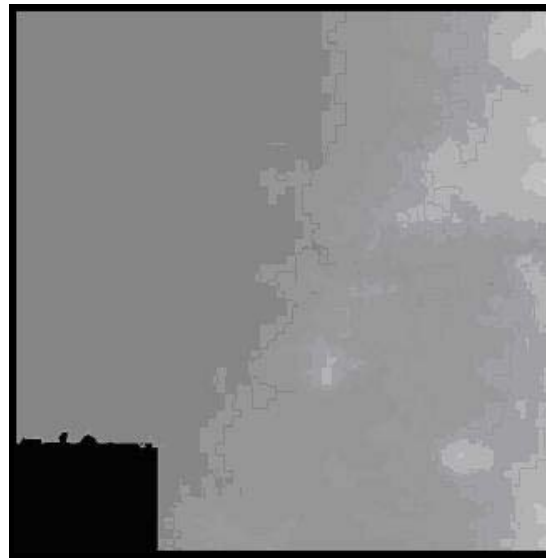
4.5.1 Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi

Otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi, Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gölbaşı'nı kapsayan hava fotoğrafları 29 Ağustos 2002 tarihlidir. Blok 5 kolondan oluşmaktadır ve Şekil 4.6'da

gösterilmiştir. Blok için standart kinematik GPS destekli fotogrametrik nirengi işlemi uygulanmıştır. Dengelenmiş blok bilgileri ve taranmış hava fotoğrafları kullanılarak Autometrik Softplotter yazılımı ile stereo modeller oluşturulmuştur. Modeller vasıtasıyla otomatik görüntü eşleme ile SYM'ler üretilmiş, üretilen SYM'ler stereo modeller kullanılarak düzeltilmiştir. Model bazında oluşturulan SYM'ler bütün bölgeyi kaplayacak şekilde mozaiklenerek tek bir SYM elde edilmiştir. Üretilen SYM Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafı bloğu

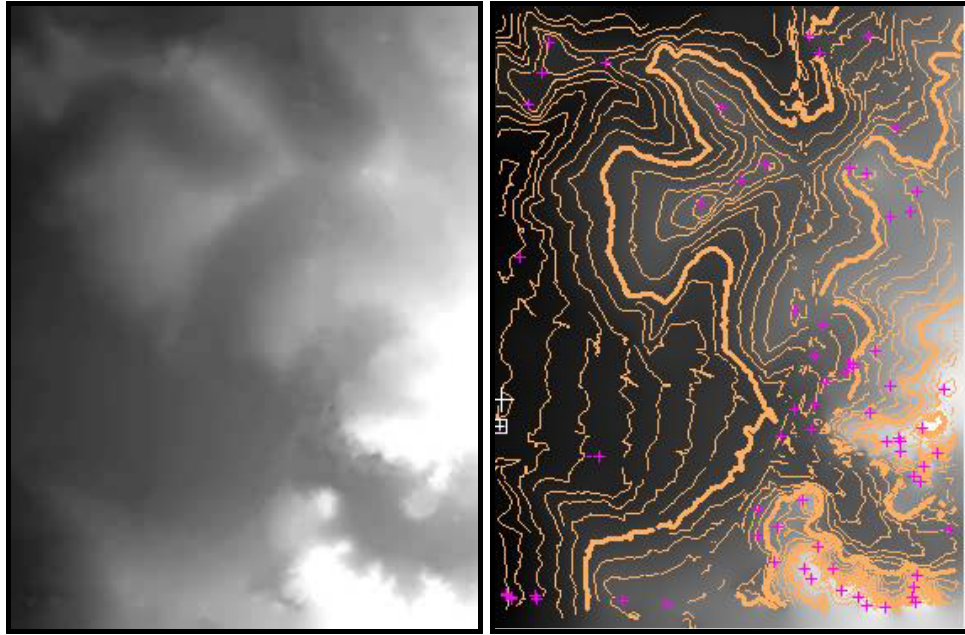


Şekil 4.7: Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM

4.5.2 Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme ile SYM Üretimi

Eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretimi Gölbaşı ve Bursa bölgelerinde gerçekleştirilmiştir.

SYM üretimi için kullanılan yöntemlerden biri basılı topoğrafik haritalardan eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılması ve diğeri stereo modellerden doğrudan eş yükselti eğrisi çizimidir. Eş yükselti eğrisi üretimi zaman alıcıdır, bununla birlikte topoğrafik haritalar için vazgeçilmez bir detaydır. Otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerden de eş yükselti eğrileri üretilir. Ancak bu üretimler dere yatakları, tepe noktaları gibi kritik arazi yapılarında başarılı olamamaktadır. Bu nedenle otomatik görüntü eşleme ile üretilmiş SYM'lerden eş yükselti eğrisi üretimi çok kullanılmayan ve tercih edilmeyen bir yöntemdir. Ancak tersi şekilde eş yükselti eğrilerinden SYM üretimi ise çok yaygındır. Eş yükselti eğrilerinden SYM üretiminde üretilen SYM'nin doğruluğunun eş yükselti eğrisi aralığının 1/3'ü ile 1/5'i arasında olması beklenir. Eş yükselti eğrisi değerlendirmenin çok zaman alıcı bir süreç olması nedeniyle Gölbaşı bölgesinde 1:5.000 ölçekli pafta boyutlarında küçük bir bölgenin eş yükselti eğrileri değerlendirilmiştir. Bu eş yükselti eğrileri kullanılarak PCI OrthoEngine modülünde SYM üretilmiştir. Üretilen SYM Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



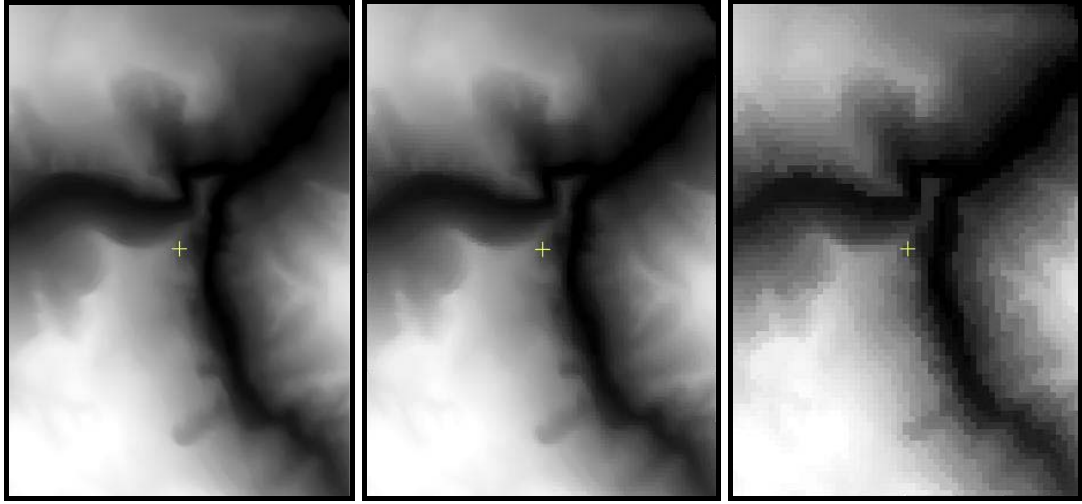
Şekil 4.8: Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrileri kullanılarak üretilen 8 metre çözünürlükte SYM

İkinci olarak Bursa-G23-c-14-d paftasına ait sayısal eş yükselti eğrileri dosyası kullanılmıştır. Bölgede yükseklik 305 ile 1073 metre, eğim ise %0 ile %175 arasında değişmektedir. Bölgenin 19 Ağustos 1999 depremi sonrası 1:16.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları alınmıştır. Bu fotoğraflardan faydalanılarak 5 metre aralıklı eş yükselti eğrileri fotogrametrik değerlendirme ile toplanmış ve düzeltme işlemleri yapılmıştır. Eş yükselti eğrileri Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Bursa-G23-c-14-d paftasına ait eş yükselti eğrileri

Bu eş yükselti eğrilerinden faydalanılarak 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 ve 256 metre çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiştir. Üretim için PCI EASI/PACE yazılımının Orthoengine modülü kullanılmıştır. Üretim esnasında nokta yükseklik verileri de kullanılmıştır. 1, 8 ve 32 metre çözünürlüklerde üretilen SYM'ler Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Bursa bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen 1, 8 ve 32 metre çözünürlüklerde SYM'ler

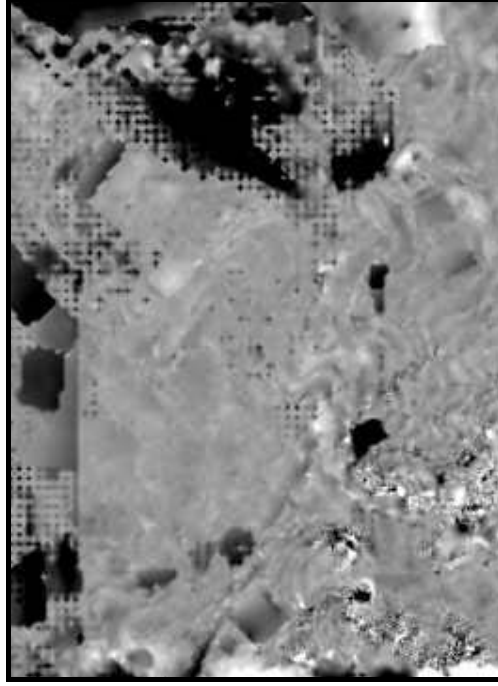
4.5.3 Doğruluk Araştırması

Gölbaşı bölgesinde üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluğu arazide GPS ile ölçülen 27 adet nokta ile kontrol edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin otomatik görüntü eşleme ile üretilene göre belirgin şekilde daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1: Gölbaşı bölgesinde 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'lerin doğrulukları

SYM Kaynağı	Maksimum Hata (metre)	Hataların Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
Eş Yükselti Eğrileri	0.11, 0.80	0.53	± 0.61
Otomatik Eşleme	-5.69, 3.09	-0.34	± 1.73

Eş yükselti eğrilerinden elde edilen SYM'nin daha doğru olduğu düşünüldüğünde diğer SYM eş yükselti eğrilerinden elde edilen SYM ile karşılaştırılabilir. Bu amaçla 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile elde edilen SYM ile eş yükselti eğrilerinden elde edilen SYM'nin farkı alınmıştır. Elde edilen fark görüntüsü aslında hataları göstermektedir. Bu görüntü Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Elde edilen hata görüntüleri değerleri hesaplanmış ve doğruluklar Tablo 4.2'de verilmiştir.

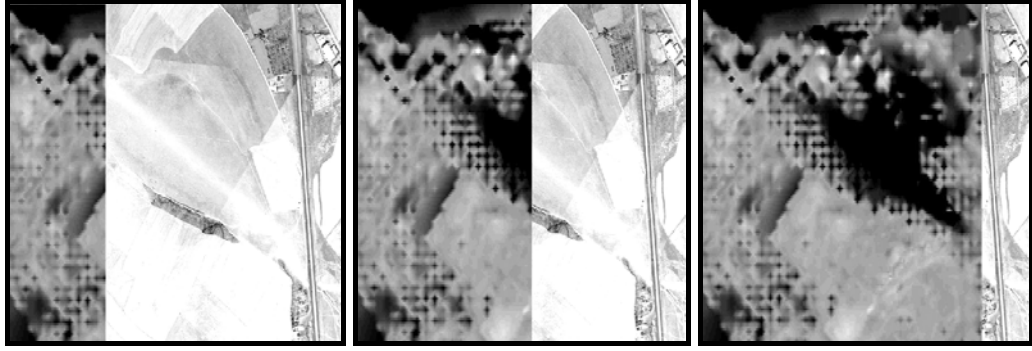


Şekil 4.11: Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM ile eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin fark görüntüleri

Tablo 4.2: Gölbaşı bölgesine ait 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları

	Maksimum Hata (metre)	Hataların Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
Hava Fot. SYM (otomatik eşleme ile)	-68.25, 28.91	-1.32	± 2.98

Şekil 4.11'deki hata görüntüsü incelendiğinde görüntünün üst ortasında hataların toplandığı belirgin bir bölge görülmektedir. Bu bölge Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Bölge incelendiğinde arazide elips şeklinde bir toprak yapısının bulunduğu görülmektedir. Bu yapıda belirgin detaylar bulunmamaktadır. Renklerde homojen bir yapıdadır. Bu tür alanlarda, genelde bütün yazılımlarda kullanılan çapraz korelasyon veya en küçük kareler yöntemiyle otomatik görüntü eşleme başarılı sonuçlar vermemektedir. Bu tür bölgelerde, alan bazlı otomatik görüntü eşleme yöntemleri daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak alan bazlı görüntü eşleme algoritmaları daha karmaşık olmaları nedeniyle görüntü işleme yazılımlarında kullanılmamaktadır.



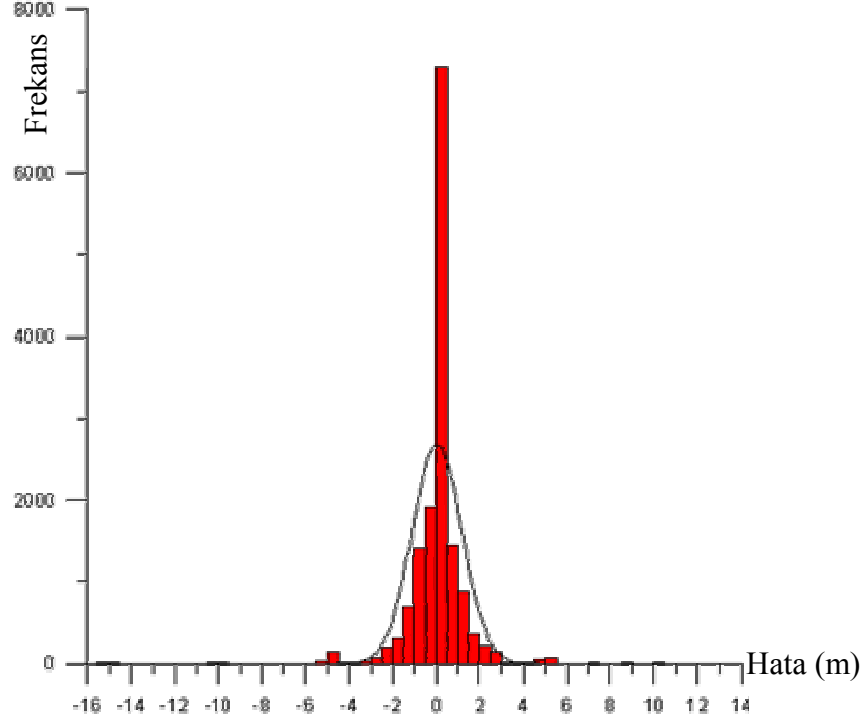
Şekil 4.12: Hatalı bölge

Şekil 4.11 incelendiğinde diğer bir hata olarak da SYM farkının solunda yukarıya doğru hat şeklinde bir yapının oluştuğu görülmektedir. Burası stereo modelin dış hattıdır. Modellerin dışına doğru eğim açılarının yükselmesi nedeniyle görüntüler farklılaşmakta ve otomatik görüntü eşlemenin doğruluğu düşmektedir. Bu nedenle model kenarlarındaki verilerin kullanımından kaçınılmalıdır.

SYM farkları alınarak yapılan bu çalışmanın daha önceki testlere göre daha anlamlı olduğu düşünülebilir. GPS ile ölçülen noktalar yol kavşağı, duvar köşesi gibi detaylardır. Bu detaylar görüntülerde rahatlıkla görülebilen, çevresiyle kontrast oluşturan noktalardır. Bu tür noktalarda doğal olarak otomatik görüntü eşleme algoritmaları daha iyi çalışacaktır. Bu nedenle daha iyi eşleme yapılacak ve bu noktalarda doğruluklar daha yüksek olacaktır. Böylece elde edilen sonuçlar homojen yapı gösteren bölgeleri temsil etmeyecektir.

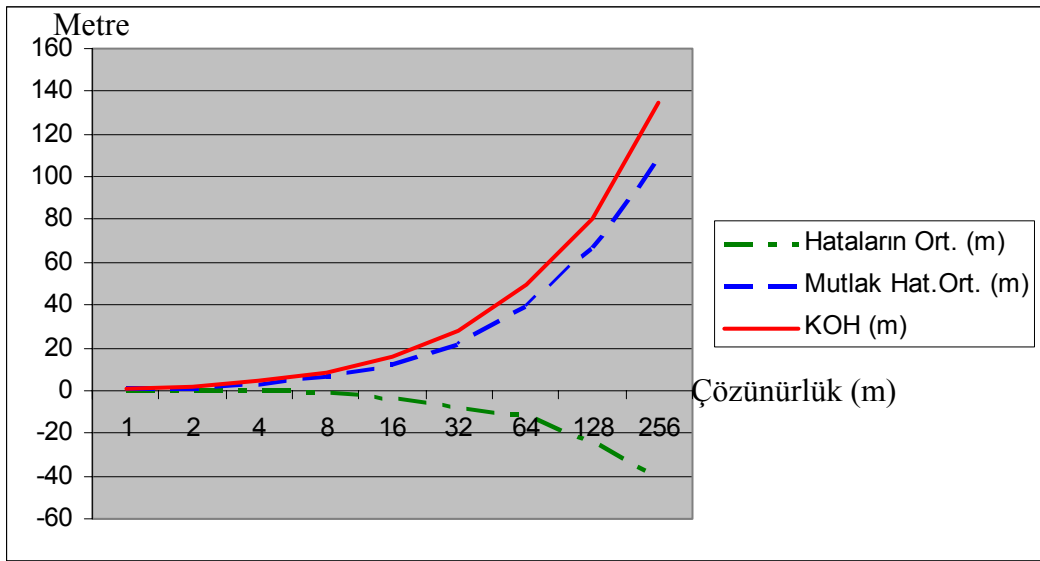
Eş yükselti eğrileri üretiminde ise elde edilen ürün bütün bölgede benzer doğruluktadır. Eş yükselti eğrilerinden elde edilen SYM ile otomatik görüntü eşleme ile elde edilen SYM'nin karşılaştırılması SYM'nin geneli hakkında daha doğru bilgi verecektir.

İkinci bölge olarak seçilen Bursa'da üretilen SYM'ler, ana eş yükselti eğrileri olan ve daha hassas değerlendirilen 25 metre aralıklı eş yükselti eğrileri ile PCI yazılımının ELEVRMS modülü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 15372 nokta kullanılmıştır. Bu noktalara ilişkin hata dağılımı Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

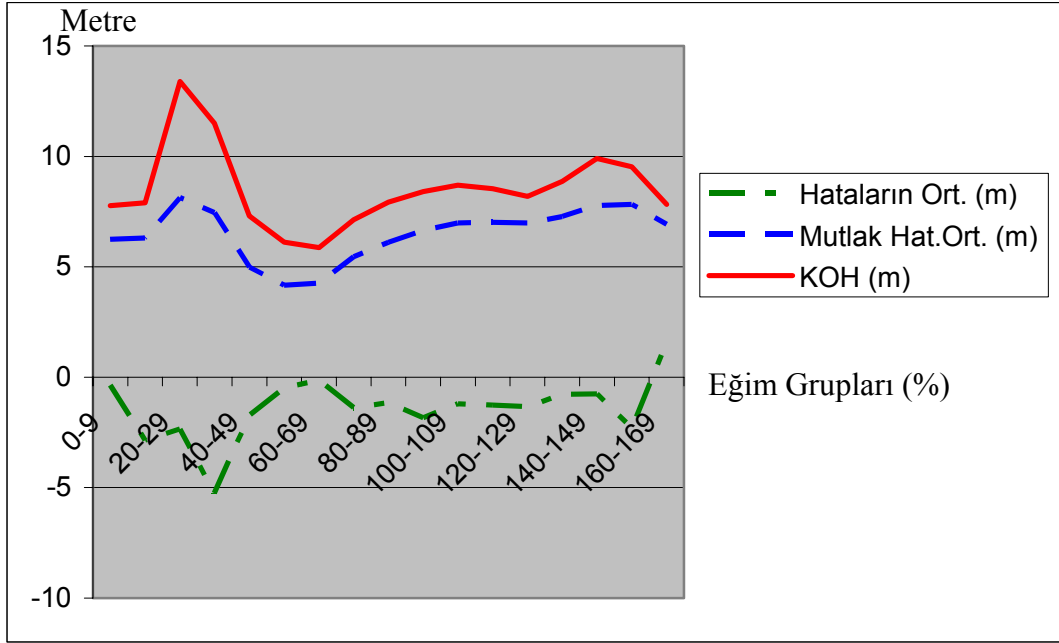


Şekil 4.13: Karşılaştırmada kullanılan noktaların hata dağılımı

Yapılan karşılaştırma sonucu her noktada yükseklik hataları hesaplanmış, bu hatalardan da çözünürlüklere ve eğim gruplarına göre ortalama, standart ve mutlak hatalar hesaplanmıştır. Çözünürlüğe göre değişen hatalar Şekil 4.14’de ve eğime göre değişen hatalar Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Bu hatalara ilişkin değerler Ek-A ve Ek-B’de verilmiştir.



Şekil 4.14: Farklı çözünürlüklerdeki SYM’lerin doğrulukları



Şekil 4.15: Farklı eğim gruplarındaki SYM'lerin doğrulukları

1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen bütün SYM'lerin doğrulukları Tablo 4.3'de verilmiştir. Gölbaşı ve Bursa bölgesinde eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'lerin doğrulukları birbirine oldukça yakın ve otomatik görüntü eşleme ile üretilene göre belirgin şekilde daha iyidir.

Tablo 4.3: 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğrulukları

SYM Kaynağı	Hataların Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
Eş Yükselti Eğrileri (Gölbaşı)	0.53	± 0.61
Otomatik Korelasyon (Gölbaşı)	-1.32	± 2.98
Eş Yükselti Eğrileri (Bursa)	0.04	± 1.10

4.5.4 Doğruluğun Çözünürlük ve Eğime Göre Modellenmesi

Çalışmanın son aşamasında Bursa bölgesinde üretilen SYM'ler kullanılarak çözünürlük ve eğime göre hatalar modellenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada MathLab yazılımı kullanılmıştır. Bu amaçla eğitim ve çözünürlüğe göre hazırlanan veriler, “çözünürlük-eğim-hata” şeklinde sıralı bir ASCII dosyaya çevrilmiştir. Bu dosya Matlab yazılımında hazırlanan bir program (Ek-C) kullanılarak dengelemeye sokulmuş, model katsayıları ve kovaryans matrisinden hesaplanan standart sapmaları dengeleme ile elde edilmiştir. Burada eğim X, çözünürlük Y ve hatalar Z olarak kabul edilmiştir ve $Z=a+bX+cY+dXY+eX^2+fY^2$ şeklinde ikinci dereceden bir polinom hesaplanmıştır. Katsayılar incelendiğinde Y^2 , X^2 ve XY katsayılarının oldukça küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Y^2 , X^2 ve XY değerleri ihmal edilerek $Z=a+bX+cY$ şeklinde katsayılar tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan polinom katsayıları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Polinom katsayılarının anlamlılığını test etmek amacıyla istatistiksel “t” testi uygulanmıştır. “t” testinde tablo değerlerinin hesaplanmasında kullanılan parametreler, dengelemenin serbestlik derecesi ve güven düzeyidir. “t” testi için tablo değerleri %90, %95 ve %99 güven aralığında hesaplanmıştır. %90 güven aralığı için t değeri 1.28, %95 için 1.65 ve %99 için 2.33’ür. Katsayıları ilişkin test değeri (4.1) ile hesaplanmış ve Tablo 4.4’de verilmiştir.

Eğer bütün katsayılar dengelemeye eşit ağırlıklı olarak girilmişse formüldeki $\hat{\sigma}_0 \times \sqrt{c_x} = \hat{\sigma}$ değeri katsayının standart sapmasıdır. Test değeri tablo değerinden büyükse katsayı anlamlı olarak kabul edilir.

Tablo 4.4 incelendiğinde bütün test değerlerinin 2.33’den büyük olduğu görülmektedir. Bu da %99 güven aralığında bütün katsayıların anlamlı olduğunu göstermektedir. Test değerinin büyüklüğü aynı zamanda o katsayı ve ilgili değişkenin hesaplamadaki ağırlığını da göstermektedir. Tablo 4.4’deki test değerleri incelendiğinde, hem birinci hem de ikinci derece polinomlardaki Y, yani çözünürlüğe ait test değerlerinin oldukça büyük değerler olduğu görülmektedir.

$$testdeğ. = \frac{|\delta(i)|}{\hat{\sigma}_0 \times \sqrt{c_x}} \quad (4.1)$$

Tablo 4.4: 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları

	$z=a+bx+cy+dxy+ex^2+fy^2$	Test Değeri	$z=a+bx+cy$	Test Değeri
a	2.887 ± 0.086	33.654	8.231 ± 0.054	152.857
b	0.156 ± 0.002	74.532	0.020 ± 0.001	39.681
c	0.809 ± 0.001	625.456	0.498 ± 0.000	1573.133
d	-5.070e-004 ± 6.412e-006	79.068		
e	-8.659e-004 ± 1.170e-005	74.032		
f	-1.099e-003 ± 4.636e-006	237.069		

Tablo incelendiğinde en güçlü değer Y, yani çözünürlüğün katsayısıdır. X, yani eğimin katsayısı ise daha küçük bir değerdir. Bu katsayılardan anlaşılacağı üzere hatalar sabit bir değer içermekte ve daha çok çözünürlük oranında artmaktadır. Bu değerlerin korelasyon matrisi de hesaplanmış ve Tablo 4.5'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi doğruluk ve çözünürlük birbirleriyle oldukça ilişkilidir.

Tablo 4.5: 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için korelasyon katsayıları

	X (Eğim)	Y (Çözünürlük)	Z (Doğruluk)
X	1.000	0.000	0.024
Y		1.000	0.953
Z			1.000

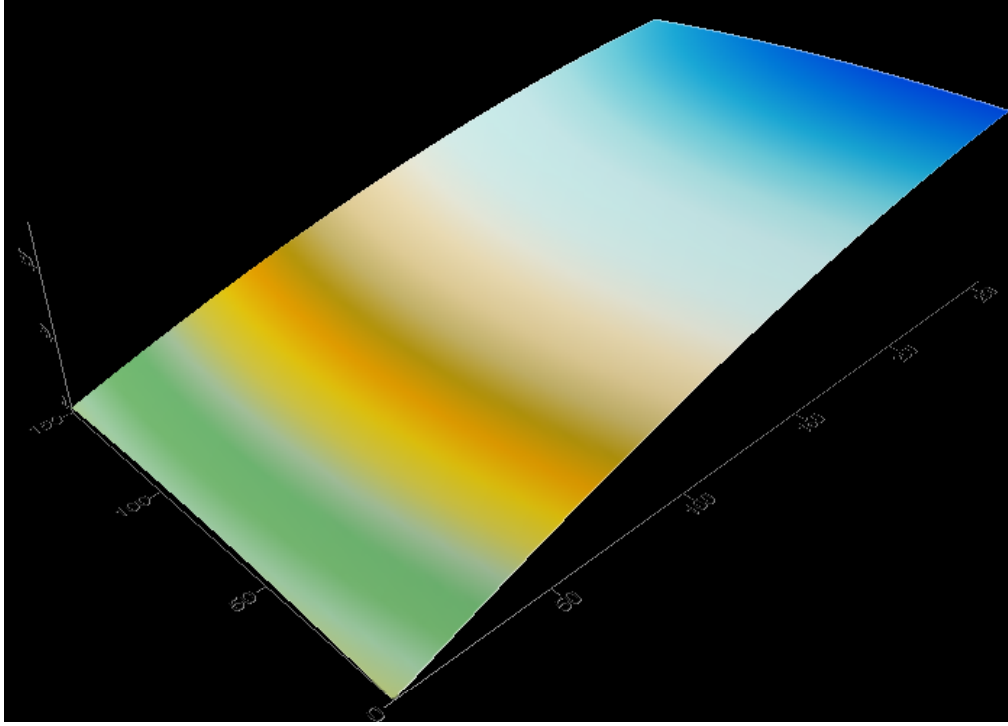
SYM'lerin sadece çözünürlük veya sadece eğime göre değişimini modellemek amacıyla da benzer bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla eğim ve çözünürlüğe göre hazırlanan “çözünürlük-eğim-hata” verileri dosyası kullanılarak, eğime bağlı $Z=a+bX+cX^2$ ve çözünürlüğe bağlı $Z=a+bY+cY^2$ polinomlarının katsayıları MathLab yazılımı ile dengelenerek hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar Tablo 4.6’da verilmiştir.

Polinom katsayılarının anlamlılığını test etmek amacıyla istatistiksel “t” testi uygulanmıştır. Tablo 4.6 incelendiğinde bütün test değerlerinin 2.33’den büyük olduğu görülmektedir. Bu da %99 güven aralığında bütün katsayıların anlamlı olduğunu göstermektedir.

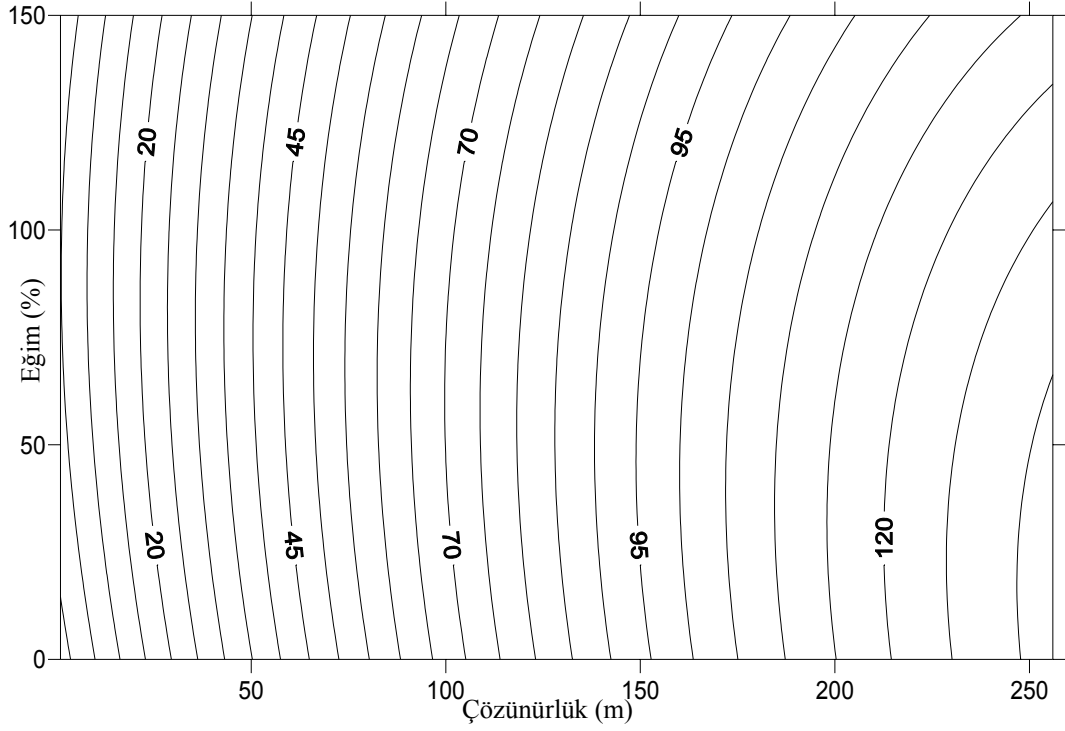
Tablo 4.6: 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM’ler için model katsayıları

	$Z=a+bX+cX^2$ (Eğim değişkenli)	Test Değeri	$Z=a+bY+cY^2$ (Çözünürlük değişkenli)	Test Değeri
a	32.357 ± 0.076	428.076	1.965 ± 0.037	53.733
b	0.127 ± 0.002	61.681	0.766 ± 0.001	652.983
c	$-8.66E-04 \pm 1.17e-05$	74.032	$1.10E-03 \pm 4.64e-06$	237.069

“Çözünürlük-eğim-hata” verilerinden hesaplanan ikinci derece polinoma göre bir grid dosyası üretilmiştir. Bu dosyadan bir ağ yüzey türetilmiş ve Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Bu yüzeyde hataların çözünürlük ve eğim yönünde hemen hemen doğrusal olarak arttığı, ancak çözünürlük yönündeki artışın daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 4.17’de ise çözünürlük ve eğime göre hesaplanan eş-hata eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Üretilen $Z(X,Y)$ fonksiyonunun ağ yüzeyi ile gösterimi



Şekil 4.17: Üretilen $Z(X,Y)$ fonksiyonunun eş-hata eğrileri ile gösterimi

4.6 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi

1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

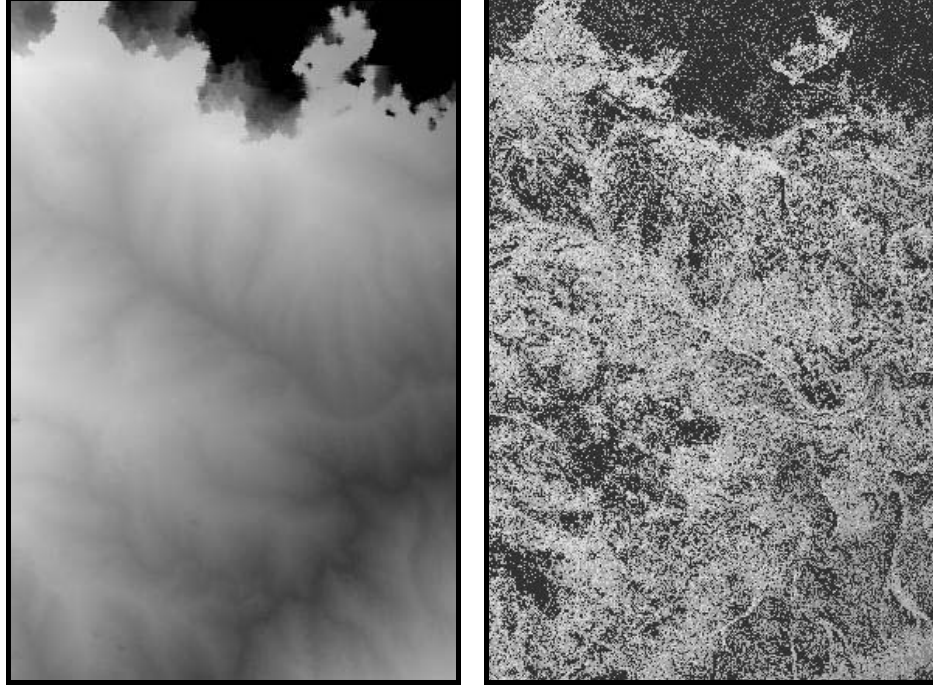
4.6.1 Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi

1:25.000 ölçekli Tortum-G45-d1 paftasına ilişkin 1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğraflarından, otomatik görüntü eşleme ile farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiştir. Seçilen bölge oldukça dağlık, eğimin %0 ile %199 ve yüksekliğin 1348.6 ile 2946.5 metre arasında değiştiği bir alandır. Üretim için Autometric Softplotter yazılımı kullanılmıştır. Stereo modeller üzerinde arazi yapısını temsil edecek şekilde 3 boyutlu vektör veriler toplanmış ve farklı çözünürlüklerde üretilen SYM'ler ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında Autometric Softplotter fotogrametri yazılımının Block Tool modülü kullanılarak fotogrametrik blok oluşturulmuştur. Blok oluşumu esnasında fotoğraf alımında kullanılan kamera, blokta kullanılacak fotoğraflar ve yöneltme parametreleri girilmektedir. Kullanılan görüntüler 153 mm. odak uzaklıklı Zeiss RMK Top15 kamerasıyla alınan 7909 ve 7910 numaralı 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarıdır.

Öncelikle projede datum ve projeksiyon bilgileri tanımlanmıştır. Projeksiyon UTM 37'nci dilim, elipsoit ve datum WGS84 seçilmiştir. İkinci aşamada kamera kalibrasyon bilgileri sistemde tanımlanmış ve 7909 ve 7910 nolu görüntüler projeye import edilmiştir. Üçüncü aşamada fotogrametrik nirengi dengeleme programı PATB-GPS ile elde edilen dosyadan (ORI dosyası) dış yöneltme parametreleri import edilmiştir. Görüntülerin iç yöneltmeleri yapılarak blok oluşumu tamamlanmıştır. Oluşturulan bloktan faydalanılarak Stereo Tool modülü ile 79097910 isimli stereo model oluşturulmuştur. Bu stereo modelden de DEM Tool modülü kullanılarak 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256 çözünürlüklerinde 18 farklı SYM üretilmiştir. Her SYM için yazılım ayrıca eşleme başarısını gösteren bir dosya da oluşturmaktadır.

Üretilen 8 metre çözünürlüklü SYM ve ilgili istatistik görüntüsü Şekil 4.18’de gösterilmektedir. İstatistik görüntüsünde gri değerleri 0 ila 6 arasında değişmektedir. 0 eşleme yapılamayan ve 6 en iyi eşleme yapılan bölgelerdir. Görüntüde koyu bölgeler eşlemenin zayıf ve açık renk bölgeler eşlemenin başarılı olduğu yerleri göstermektedir.

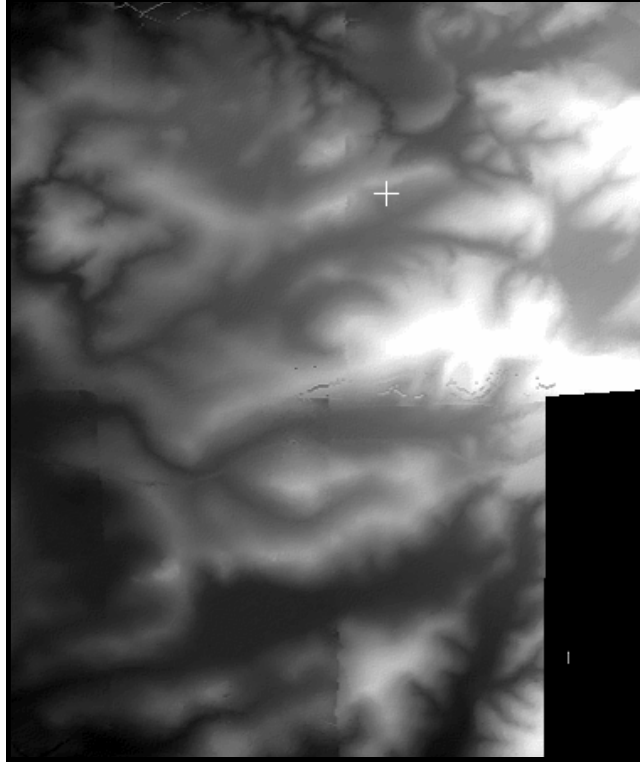


Şekil 4.18: Tortum bölgesine ait 8 metre çözünürlüklü SYM ve ilgili istatistik görüntüsü

İzmir bölgesine ait 8 adet 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafından da otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde Autometric Softplotter 3.0 fotogrametri yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın Block Tool modülü kullanılarak fotogrametrik blok oluşturulmuştur. Burada fotoğraf alımında kullanılan kamera, fotoğraf ve yöneltme parametreleri girilmektedir. Kullanılan görüntüler 153 mm. odak uzaklıklı Zeiss RMK Top15 kamerasıyla alınan 1996 tarihli, 7953, 7954, 7955, 7956, 7997, 7998, 7999 ve 8000 numaralı 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarıdır.

Öncelikle projede datum ve projeksiyon bilgileri tanımlanmıştır. Projeksiyon UTM 35’inci dilim, elipsoit International-1909 ve datum European Datum 1950 (ED50) seçilmiştir. İkinci aşamada kamera kalibrasyon bilgileri sistemde tanımlanmış görüntüler sisteme import edilmiştir. Üçüncü aşamada fotogrametrik nirengi dengeleme programı PATB-GPS ile elde edilen dosyadan (ORI dosyası) dış

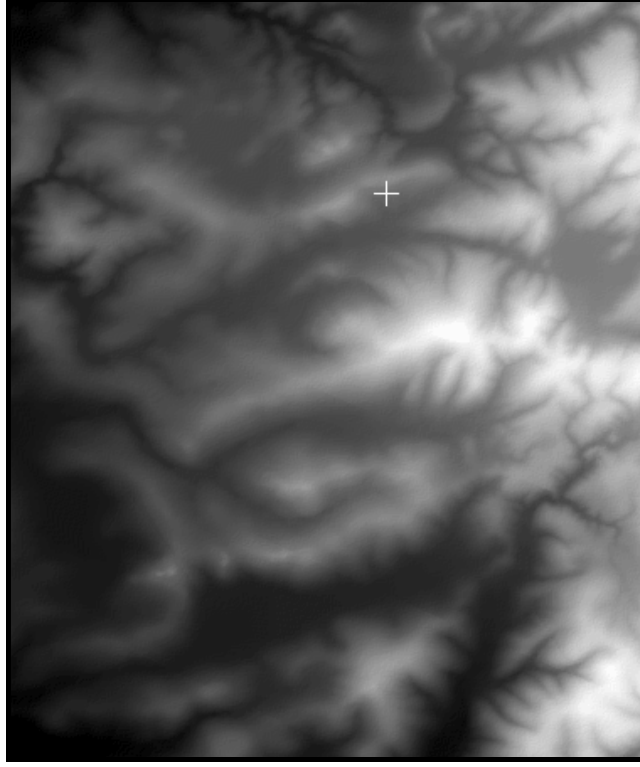
yöneltme parametreleri import edilmiştir. Görüntülerin iç yöneltmeleri yapılarak blok oluşumu tamamlanmıştır. Oluşturulan bloktan faydalanılarak Stereo Tool modülü ile stereo modeller oluşturulmuştur. Stereo modellerden de DEM Tool modülü kullanılarak 8 metre çözünürlüğünde SYM üretilmiştir. Üretilen SYM Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19: İzmir bölgesine ait otomatik görüntü eşleme ile üretilen 8 metre çözünürlüklü SYM

4.6.2 Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme ile SYM Üretimi

Çalışma bölgesi olarak İzmir-Urla bölgesi seçilmiştir. Bölgede yükseklik 0 ile 750 metre arasında değişmektedir. Bölgeye ait 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri 1996 tarihli 1:25.000 ölçekli revizyon amaçlı alınan 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilmiştir. Eş yükselti eğrilerinden PCI yazılımının OrthoEngine modülü kullanılarak 8 metre çözünürlüğünde SYM üretilmiştir. Üretilen SYM Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: İzmir bölgesine ait eş yükselti eğrilerinden üretilen 8 metre çözünürlüklü SYM

4.6.3 Doğruluk Araştırması

İzmir bölgesine ait eş yükselti eğrilerinden ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin doğruluğunu test etmek amacıyla, ilk aşamada bölgeye ait fotoğrafların fotogrametrik nirengi işleminde kullanılan 51 adet nirengi ve bağlama noktasının yükseklikleri kullanılmıştır. Bu 51 noktanın yüksekliklerinin hatalarının ortalaması 0.04 metre ve KOH'sı 0.37 metredir. Bu yükseklik değerleriyle üretilen SYM karşılaştırılmış ve hesaplanan hatalar Tablo 4.7'de verilmiştir. Li (1994) tarafından yapılan bir çalışmada eş yükselti eğrilerinden SYM'ler üretilmiş ve doğrulukları test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar SYM doğruluğunun topoğrafyaya göre eş yükselti eğrisi aralığının 1/3'ü ile 1/5'i arasında değiştiğini göstermiştir. İzmir bölgesine ilişkin 10 metre aralıklı eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin KOH'nın ± 3.19 metre bulunması bu çalışma ile de desteklenmektedir.

Tablo 4.7: İzmir bölgesine ait SYM'lerin hataları

	Otomatik Eşleme	1:25.000 Eş Yükselti Eğrileri
Hataların Ortalaması (m.)	3.28	2.87
Mutlak Hataların Ortalaması (m.)	3.68	2.91
KOH (m.)	± 5.79	± 3.19

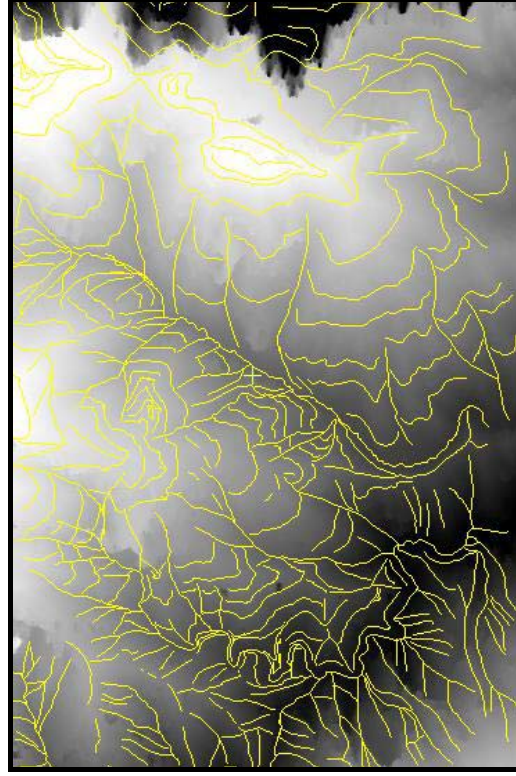
1:25.000 ölçekli eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM daha yüksek doğrulukta olduğundan referans olarak kabul edilmiş ve hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu hatalar hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: İzmir bölgesine ait otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları

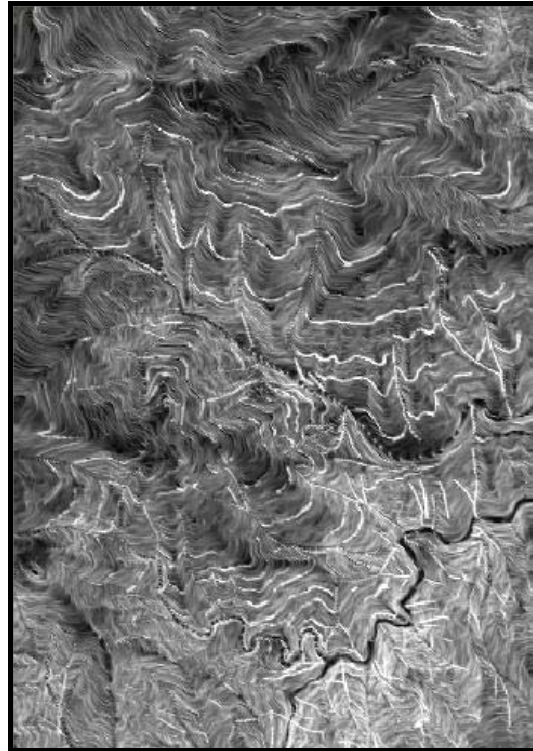
Hataların Ortalaması (m.)	3.96
Mutlak Hataların Ortalaması (m.)	4.15
KOH (m.)	± 7.40

Tortum bölgesine ait hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin çözünürlük ve eğime göre değişen doğruluklarını test edebilmek amacıyla topoğrafyayı iyi şekilde temsil edebilen, bütün bölgeyi kapsayan 3 boyutlu vektör veriler stereo model üzerinde değerlendirilmiştir. Burada 395 adet çizgi detay değerlendirilmiş olup bu çizgiler 7000'e yakın nokta içermektedir. Değerlendirilen detaylar SYM üzerine bindirilmiş olarak Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

Oluşturulan SYM'lerin eğim ve çözünürlüğe göre doğruluklarının belirlenmesi ve modellenmesi amacıyla öncelikle 3 boyutlu değerlendirmesi yapılan vektör verideki her nokta için eğim ve yükseklik doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla bölgenin eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.22). Bölge oldukça dağlık olup, eğim %0 ile %199 ve yükseklik 1348.6 ile 2946.5 metre arasında değişmektedir.



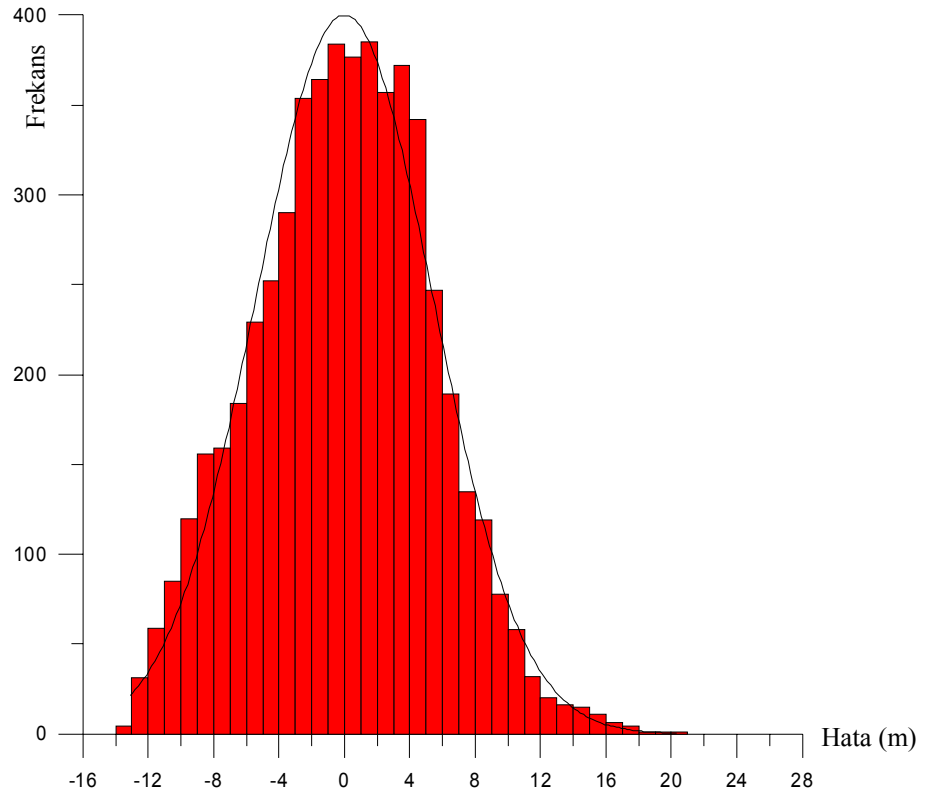
Şekil 4.21: Değerlendirilen detaylar



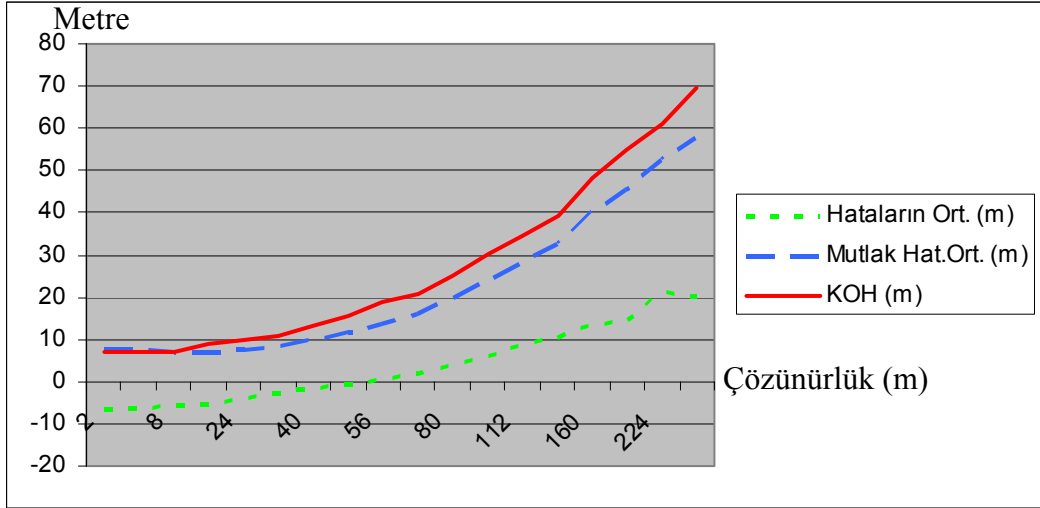
Şekil 4.22: Eğim Haritası

Üretilen SYM'ler ile 3 boyutlu vektör verileri karşılaştırmak amacıyla PCI yazılımının ELEVRMS modülü kullanılmıştır. Bu modül, bir SYM ile referans olarak verilen bir vektör veri veya ASCII verideki yükseklikleri karşılaştırarak, bir rapor hazırlamaktadır. Bu modülle oluşturulan 18 SYM için bir rapor hazırlanmış ve bir EXCEL tablosunda birleştirilmiştir. Aynı modül vasıtasıyla, üretilen eğim haritasından da her nokta için eğim değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de EXCEL tablosuna eklenmiştir. Tabloda eşlenik olmayan noktalar silinmiş ve geriye bütün SYM'lerde ortak olan 6773 nokta kalmıştır. Hazırlanan tablonun bir kısmı Ek-D'de gösterilmiştir.

Tablo incelendiğinde beklendiği şekilde çözünürlükteki artışla beraber hataların yükseldiği görülmektedir. Hataların hesaplanmasında kullanılan 6773 noktaya ilişkin hata dağılımı Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Bu verilerden çözünürlüğe göre değişen SYM doğrulukları hesaplanmış ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Çözünürlüğe göre değişen hatalar Ek-E'de verilmiştir. Yine bu tabloda da çözünürlükteki artışla beraber hataların yükseldiği görülmektedir.

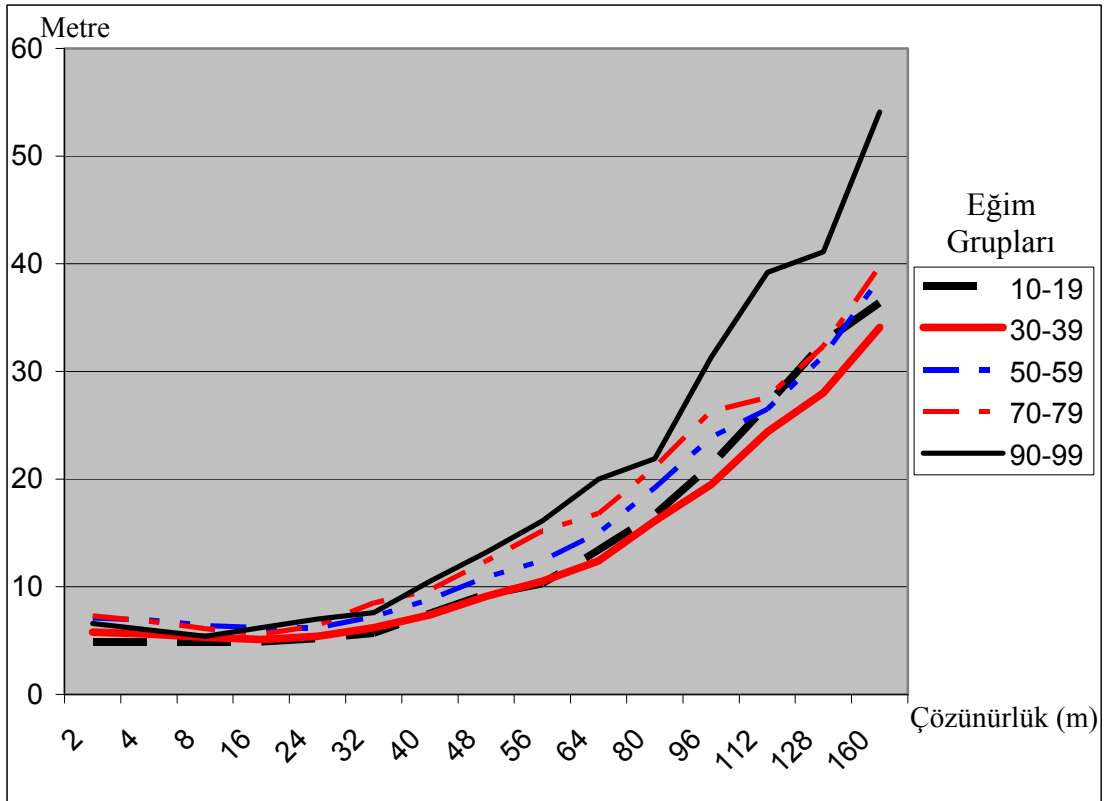


Şekil 4.23: Karşılaştırmada kullanılan noktaların hata dağılımı



Şekil 4.24: Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları

Diğer bir test de veriler eğim gruplarına ayrılarak yapılmıştır. Eğim grupları ve çözünürlüklere göre doğruluklar hesaplanmış ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Bu verilere ilişkin bilgiler Ek-F'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde eğim ve çözünürlükteki artışa paralel, genel olarak hataların da yükseldiği görülmektedir.



Şekil 4.25: Çözünürlük ve eğime göre değişen SYM doğrulukları

1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile 8 metre çözünürlükte üretilen SYM'lerin hataları Tablo 4.9'da gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin otomatik görüntü eşleme ile üretilene göre yaklaşık iki kat daha yüksek doğrulukta olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğrulukları

SYM Kaynağı	Mutlak Hataların Ortalaması (metre)	Hataların Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
Eş Yükselti Eğrileri (İzmir)	2.9	2.9	± 3.2
Otomatik Korelasyon (İzmir)	3.7	3.3	± 5.8
Otomatik Korelasyon (Tortum)	5.7	-4.7	± 5.2

4.6.4 Doğruluğun Çözünürlük ve Eğime Göre Modellenmesi

Çalışmanın son aşamasında Tortum bölgesinde üretilen SYM'ler kullanılarak çözünürlük ve eğime göre hatalar modellenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada MathLab yazılımı kullanılmıştır. Bu amaçla eğim ve çözünürlüğe göre hazırlanan EXCEL dosyası, “çözünürlük-eğim-hata” şeklinde sıralı bir ASCII dosyaya çevrilmiştir. Bu dosya MathLab yazılımında hazırlanan bir program (Ek-C) kullanılarak dengelemeye sokulmuş ve model katsayıları dengeleme ile elde edilmiştir. Burada eğim X, çözünürlük Y ve hatalar Z olarak kabul edilmiştir ve $Z=a+bX+cY+dXY+eX^2+fY^2$ şeklinde ikinci dereceden bir polinom hesaplanmıştır. Diğer taraftan Y^2 ve X^2 katsayılarının oldukça küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle Y^2 ve X^2 değerleri ihmal edilerek $Z=a+bX+cY$ şeklinde katsayılar tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan polinom katsayıları Tablo 4.10'da verilmiştir. Polinom katsayılarının anlamlılığını test etmek amacıyla istatistiksel “t” testi uygulanmıştır.

Tablo 4.10 incelendiğinde XY'nin katsayısı “d” nin test değeri hariç bütün test değerlerinin 2.33'den büyük olduğu görülmektedir. Bu da %99 güven aralığında katsayıların anlamlı olduğunu göstermektedir. “d” nin test değeri de %90 güven aralığı için tablo değeri olan 1.28'den büyüktür. Bu da aslında bu katsayının da büyük oranda anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.10: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için model katsayıları

	$z=a+bx+cy+dxy+ex^2+fy^2$	Test Değeri	$z=a+bx+cy$	Test Değeri
a	0.206 ± 0.084	2.448	0.699 ± 0.049	14.306
b	0.063 ± 0.002	25.663	0.035 ± 0.001	58.106
c	0.224 ± 0.001	202.160	0.213 ± 0.000	751.517
d	-1.192e-005 ± 8.035e-006	1.484		
e	-2.215e-004 ± 1.886e-005	11.743		
f	-4.202e-005 ± 4.034e-006	10.417		

Tablo incelendiğinde en güçlü değer Y, yani çözünürlüğün katsayısıdır. X, yani eğimin katsayısı ise daha küçük bir değerdir. Bu katsayılardan anlaşılacağı üzere hatalar sabit bir değer içermekte ve daha çok çözünürlük oranında artmaktadır. Bu değerlerin korelasyon matrisi de hesaplanmış ve Tablo 4.11'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi doğruluk ve çözünürlük birbirleriyle oldukça ilişkilidir.

Tablo 4.11: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler için korelasyon katsayıları

	X (Eğim)	Y (Çözünürlük)	Z (Doğruluk)
X	1.000	0.000	0.042
Y		1.000	0.659
Z			1.000

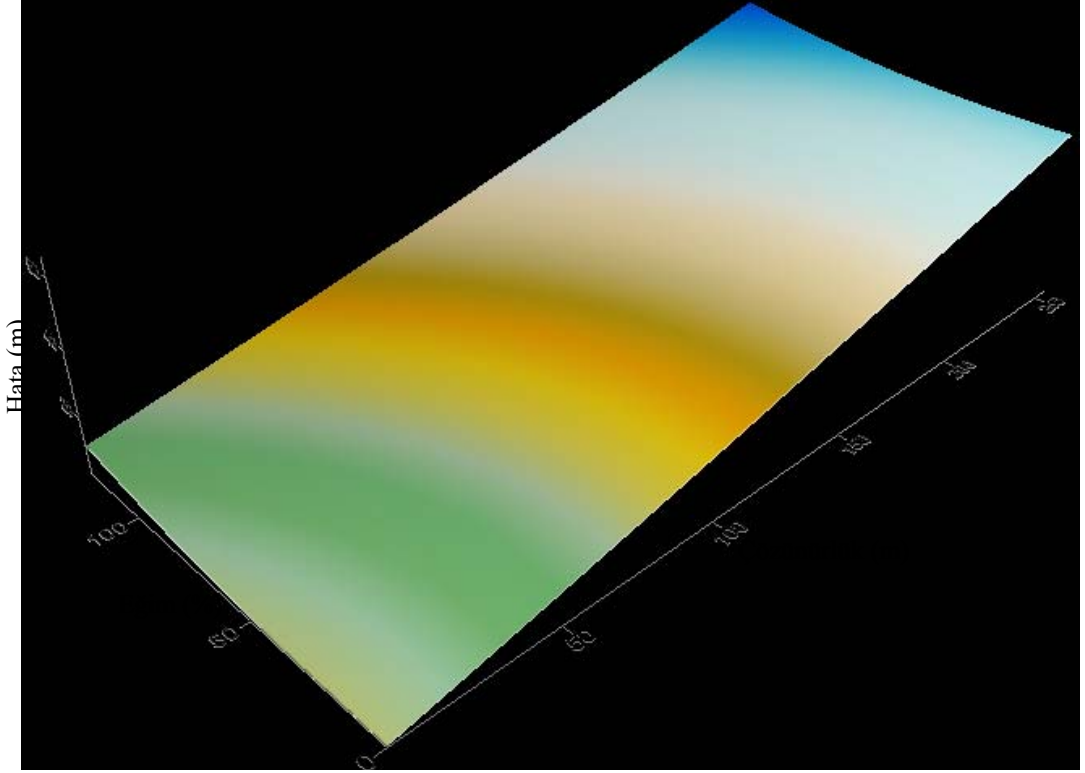
SYM'lerin sadece çözünürlük veya sadece eğime göre değişimini modellemek amacıyla da benzer bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla eğim ve çözünürlüğe göre hazırlanan “çözünürlük-eğim-hata” verileri dosyası kullanılarak, eğime bağlı $Z=a+bX+cX^2$ ve çözünürlüğe bağlı $Z=a+bY+cY^2$ polinomlarının katsayıları MathLab yazılımı ile dengelenerek hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar Tablo 4.12’de verilmiştir. Polinom katsayılarının anlamlılığını test etmek amacıyla istatistiksel “t” testi uygulanmıştır.

Tablo 4.12 incelendiğinde bütün test değerlerinin 2.33’den büyük olduğu görülmektedir. Bu da %99 güven aralığında bütün katsayıların anlamlı olduğunu göstermektedir.

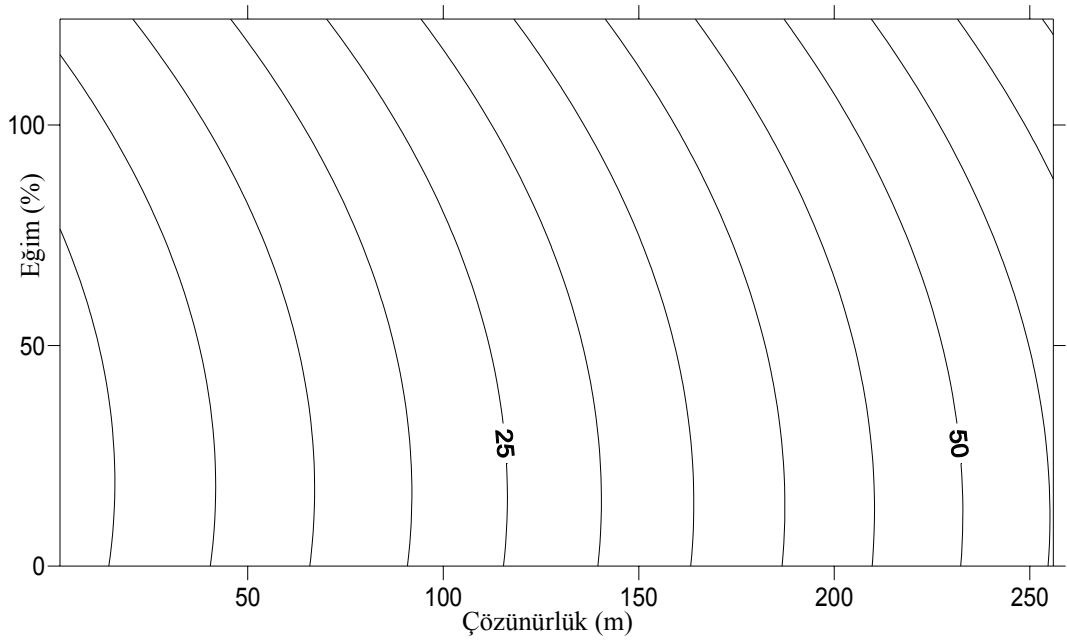
Tablo 4.12: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM’ler için model katsayıları

	$Z=a+bX+cX^2$ (Eğim değişkenli)	Test Değeri	$Z=a+bY+cY^2$ (Çözünürlük değişkenli)	Test Değeri
a	18.408 ± 0.063	293.780	2.521 ± 0.044	57.942
b	0.062 ± 0.002	26.291	0.223 ± 0.001	223.811
c	-2.215E-04 ± 1.886E-05	11.743	-4.20E-05 ± 4.03E-06	10.417

“Çözünürlük-eğim-hata” verilerinden hesaplanan ikinci derece polinoma göre bir grid dosyası üretilmiştir. Bu dosyadan bir ağ yüzey türetilmiş ve Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Bu yüzeyde hataların çözünürlük ve eğim yönünde hemen hemen doğrusal olarak arttığı, ancak çözünürlük yönündeki artışın daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 4.27’de ise çözünürlük ve eğime göre eş-hata eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Üretilen $Z(X,Y)$ fonksiyonunun ağ yüzeyi ile gösterimi



Şekil 4.27: Üretilen $Z(X,Y)$ fonksiyonunun eş-hata eğrileri ile gösterimi

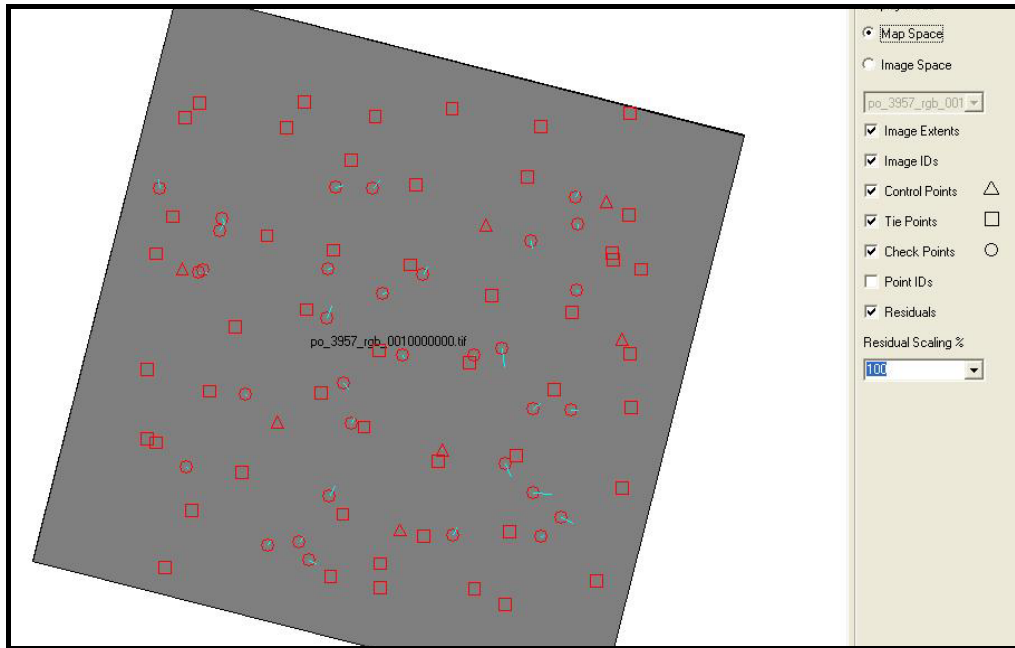
4.7 Stereo IKONOS Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi

IKONOS uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

4.7.1 Farklı Çözünürlüklerde SYM Üretimi

IKONOS uydu görüntülerinden SYM üretimi için Leica Photogrammetry Suite (LPS) yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle bir proje hazırlanmış ve projeksiyonu UTM, elipsoit ve datumu WGS84 seçilmiştir. Bölge UTM 36'ncı dilime girmektedir. Görüntüler projeye import edilmiş, iç yönelmeleri yapılmış ve piramit görüntüleri hesaplanmıştır.

Bölgede bulunan 7 adet yer kontrol noktası her iki görüntü üzerinde de ölçülmüştür. Bu yer kontrol noktaları, görüntü alımından önce araziye işaretlenmiş ve GPS ile ölçülmüş noktalardır. İkinci aşamada 33 bağımsız kontrol ve 50 bağlama noktası ölçülmüştür. Bağımsız kontrol noktaları yol kavşakları, duvar köşeleri, büyük kayalar gibi görüntüde belirgin noktalardır. Bu noktalar arazide GPS ile ölçülmüştür. Bu noktaların dağılımı Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Şekilde üçgenler yer kontrol, kareler bağlama ve yuvarlaklar kontrol noktalarıdır. Noktaların ölçümü sonrası blok dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonuçları Tablo 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28: IKONOS uydu görüntülerindeki noktaların dağılımı

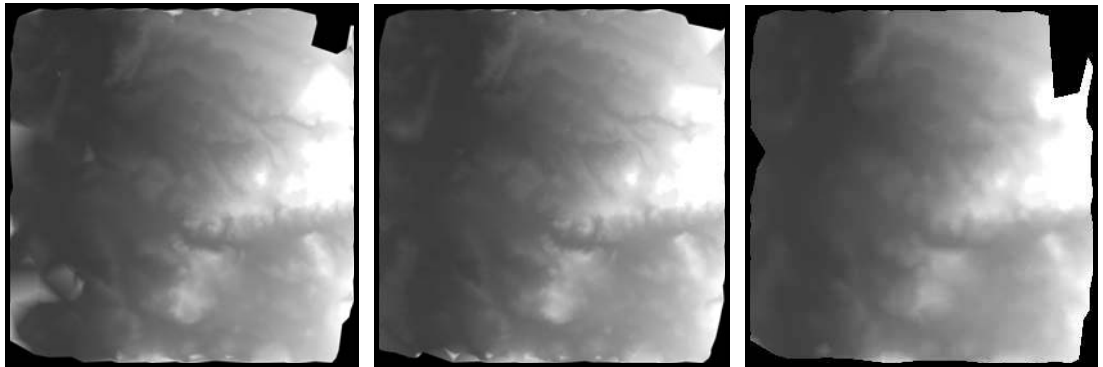
Tablo 4.13: Dengeleme Sonuçları

		m_x (metre)	m_y (metre)	m_{xy} (metre)
Yer kontrol noktaları (8 nokta)	Blok	0.0390	0.0492	0.1599
	1 nci görüntü	0.0552	0.0874	0.1034
	2 nci görüntü	0.1369	0.0885	0.1630
Bağlama noktaları (50 nokta)	1 nci görüntü	0.0287	0.0475	0.0555
	2 nci görüntü	0.0452	0.0476	0.0656

Stereo model kullanılarak 2, 4, 8, 16 ve 32 metre çözünürlüklerde sayısal arazi modelleri üretilmiştir. Üretim süreleri ve başarılı olarak eşleştirilen noktaların oranıyla ilgili bilgiler Tablo 4.14’de verilmiştir. Üretilen sayısal yükseklik modelleri sırasıyla Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

Tablo 4.14: SYM üretim bilgileri

	2 metre SYM	4 metre SYM	8 metre SYM	16 metre SYM	32 metre SYM
Süre	773 saniye	613 saniye	585 saniye	406 saniye	250 saniye
Otomatik eşleme başarısı (%piksel)	87.269	87.269	88.2002	89.377	90.6357

**Şekil 4.29:** 2, 8 ve 32 metre çözünürlüklerde üretilmiş sayısal arazi modelleri

Üretilen SYM'ler incelendiğinde bölgenin kuzeydoğusunda geniş bir alanda görüntü eşleme yapılamadığı görülmektedir. Bu bölge görüntüler üzerinde kontrol edildiğinde, bölgede bulutlar ve bu bulutların gölgelerinin bulunduğu, iki görüntünün alımları arasında geçen süreçte bulutların hareket etmesi nedeniyle görüntülerin farklılaştığı ve otomatik görüntü eşleme yapılamadığı görülmektedir.

4.7.2 Farklı Korelasyon Parametreleriyle SYM Üretimi

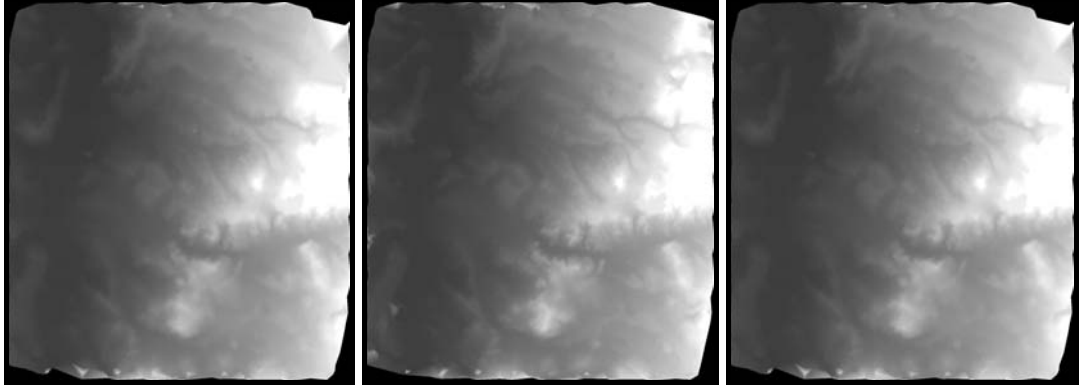
Otomatik görüntü eşleme ile yapılan üretimlerde standart bir eşleme algoritması ve parametreler kullanılmıştır. Bütün görüntü için aynı tarama matrisi, korelasyon matrisi ve korelasyon katsayısı, aynı SYM filtresi kullanılmıştır. Fakat standart bir yöntem her yerde aynı başarıyla eşleme yapamaz. Bu nedenle LPS yazılımına farklı arazi yapıları için farklı eşleme parametrelerinin kullanılabilmesi eklenmiştir. Bu parametreler Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15: Otomatik Görüntü eşleme Parametreleri

Arazi Türü	Tarama Matrisi Boyutu	Korelasyon Matrisi Boyutu	SYM Filtreleme
Standart	21 x 3	7 x 7	Düşük
Yüksek Dağlık	27 x 3	7 x 7	Ortalama
Orta Dağlık	21 x 3	7 x 7	Ortalama
Yumuşak Tepelik	15 x 3	7 x 7	Ortalama
Düz Alan	7 x 3	7 x 7	Yüksek
Yoğun Yerleşim	19 x 3	7 x 7	Düşük
Düşük Yerleşim	11 x 3	7 x 7	Ortalama
Orman	17 x 3	7 x 7	Yüksek

Çalışma bölgesi Tablo 4.15'de verilen arazi türlerine göre gruplanmış ve toplam 18 alan belirlenmiştir. Arazi türlerine göre belirlenen eşleme stratejileri sabit alınabilir veya daha iyi eşleme için bu parametrelerin yazılım tarafından değiştirilmesine izin verilebilir. Bu parametreler sabit ve yazılım tarafından değiştirilebilir alınarak stereo

modelden 8 metre çözünürlükte sayısal yükseklik modelleri üretilmiştir. Üretilen sayısal yükseklik modelleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir. Üretim süreleri ve başarılı olarak eşleştirilen noktaların oranıyla ilgili bilgiler Tablo 4.16’da verilmiştir. Eşleme başarıları arasında büyük bir fark olmamakla birlikte, en yüksek eşleme sabit parametrelili bölgelerle elde edilmiştir.



Şekil 4.30: Standart yöntem, sabit parametre ve yazılım tarafından değiştirilebilir parametre ile üretilmiş sayısal arazi modelleri

Tablo 4.16: Üretim bilgileri

	Standart Üretim	Sabit Parametre	Yazılım Tarafından Değiştirilebilir Parametre
Süre	585 saniye	574 saniye	586 saniye
Otomatik eşleme başarıları (%piksel)	88.2002	90.5971	87.3289

4.7.3 Doğruluk Araştırması

IKONOS uydu görüntülerinden farklı çözünürlüklerde üretilen 7 sayısal arazi modelinin doğruluğu arazide GPS ile ölçülen 27 adet nokta ile kontrol edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.17’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde çözünürlük düştükçe hataların yükseldiği görülmektedir. Bu duruma sadece 16 metre çözünürlükteki SYM istisnadır.

Tablo 4.17: IKONOS uydu görüntülerinden farklı çözünürlüklerde üretilen sayısal arazi modellerinin doğrulukları

	Hataların Ortalaması (metre)	Mutlak Hat. Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
2 metre SYM	-0.64	1.58	± 3.58
4 metre SYM	-0.63	1.58	± 3.58
8 metre SYM	-1.32	2.30	± 7.87
16 metre SYM	-0.51	1.62	± 2.21
32 metre SYM	-1.44	3.97	± 5.61

IKONOS uydu görüntülerinden farklı korelasyon parametreleri ile üretilen SYM'ler yine GPS ile ölçülen 27 nokta ile kontrol edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.18'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sabit parametre ile üretilen SYM'nin diğerlerinden daha doğru olduğu görülmektedir. Yine buradan elde edilen diğer bir sonuç yazılım tarafından parametrelerin değiştirilebilmesinin doğruluğu olumsuz yönde etkilediğidir. Görüntülerin arazi yapısı ve kullanım özelliklerine göre gruplandırılması ve bu gruplara ilişkin özel parametrelerin kullanılması bütün görüntüye uygulanacak standart bir eşleme yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.18: IKONOS uydu görüntülerinden farklı korelasyon parametreleri ile üretilen sayısal arazi modellerinin doğrulukları

	Hataların Ortalaması (metre)	Mutlak Hat. Ortalaması (metre)	Karesel Ortalama Hata (metre)
Standart Üretim	-1.32	2.30	± 7.87
Sabit Parametre	-0.99	1.79	± 6.30
Yazılım Tarafından Değiştirilebilir Parametre	-2.03	3.01	± 7.95

4.8 Stereo SPOT Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi

SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

4.8.1 Otomatik Görüntü Eşleme İle SYM Üretimi

İzmir ve Edirne bölgelerine ait stereo SPOT uydu görüntüleri kullanılarak otomatik görüntü eşleme ile SYM'ler üretilmiştir.

İzmir bölgesinde kontrol noktası ve doğruluk testi amacıyla, 1996 tarihli ve 1:25.000 ölçekli revizyon amaçlı 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen ortofotolar ve sayısal eş yükselti eğrileri kullanılmıştır. SPOT görüntülerinin yöneltmesi amacıyla Autometrik Softplotter yazılımı kullanılmış ve görüntülerde 11 yer kontrol noktası, 4 bağımsız kontrol noktası ve 27 bağlama noktası ölçülmüştür. Yöneltme doğrulukları Tablo 4.19'da gösterilmiştir. Hatalar 1 pikselin (10 metre) altındadır ve SYM üretimi için yeterlidir. Softplotter yazılımının DEMTool modülü kullanılarak otomatik görüntü eşleme ile 20 metre çözünürlükte bir SYM üretilmiştir (Şekil 4.31).

Tablo 4.19: İzmir bölgesi SPOT uydu görüntüleri yöneltme doğruluğu

	$m_x(m)$	$m_y(m)$	$m_{xy}(m)$	$m_h(m)$
Ortalama Hata (m)	6.63	4.61	8.07	1.95
KOH (m)	± 8.20	± 5.14	± 9.84	± 2.11



Şekil 4.31: İzmir bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM

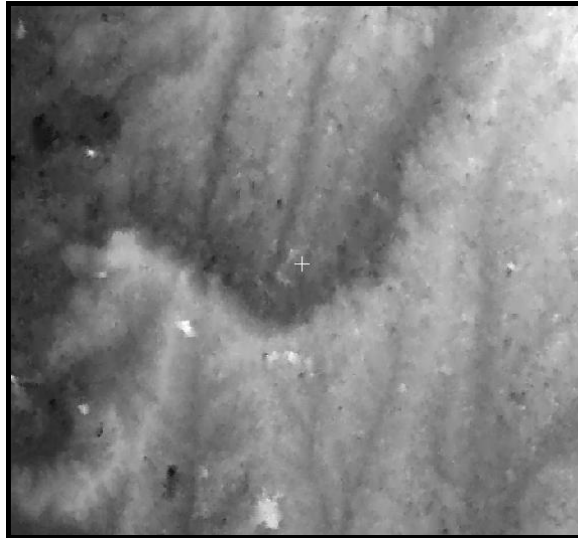
Edirne bölgesinde SYM üretimi için 13 km X 14 km.lik bir bölge seçilmiştir. Bölgede yükseklik 34 ile 190 metre arasında değişmektedir. Bölgenin 2000 tarihli 10 metre çözünürlüklü stereo SPOT görüntüleri mevcuttur.

Kontrol noktası ve doğruluk testi amacıyla bölgeye ait 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır. SPOT görüntülerinin yöneltilmesi amacıyla Softplotter yazılımı kullanılmış ve görüntülerde 17 yer kontrol noktası, 7 bağımsız kontrol noktası ve 63 bağlama noktası ölçülmüştür. Yöneltilme doğrulukları Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20: Edirne bölgesi SPOT uydu görüntüleri yöneltilme doğruluğu

	$m_x(m)$	$m_y(m)$	$m_{xy}(m)$	$m_h(m)$
Hataların Ort. (m)	5.32	3.13	6.17	2.18
KOH (m)	± 6.85	± 4.44	± 8.16	± 1.97

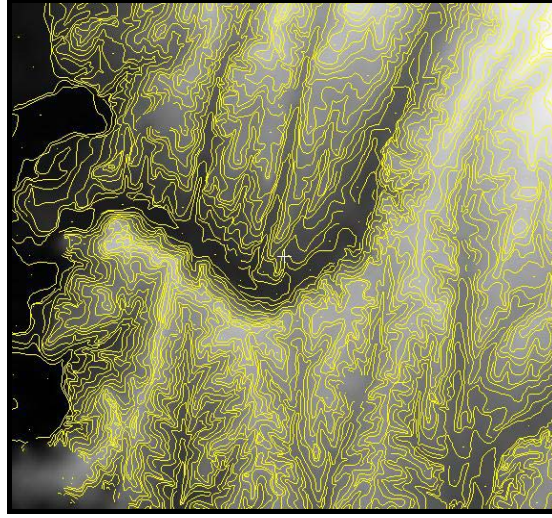
Hatalar 1 pikselin (10 metre) altındadır ve SYM üretimi için yeterlidir. Softplotter yazılımının DEMTool modülü kullanılarak otomatik görüntü eşleme ile 20 metre çözünürlükte bir SYM üretilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32: Edirne bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM

4.8.2 Eş Yükselti Eğrisi Değerlendirme İle SYM Üretimi

Edirne bölgesine ait stereo SPOT uydu görüntülerinden faydalanılarak 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri fotogrametrik değerlendirme ile toplanmış ve düzeltme işlemleri yapılmıştır (Şekil 4.33). Elde edilen eş yükselti eğrilerinden 20 metre çözünürlüklü SYM üretilmiştir. Eş yükselti eğrilerinin değerlendirilmesinde Softplotter yazılımı kullanılmıştır. Eş yükselti eğrilerinden SYM üretiminde ise PCI Geomatica yazılımı kullanılmıştır. Üretilen SYM Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri



Şekil 4.34: SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM

4.8.3 Doğruluk Araştırması

İzmir bölgesine ait SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin doğruluğunu test etmek amacıyla aynı bölgeye ait 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarının fotogrametrik nirengisinde kullanılan 51 adet nirengi ve bağlama noktasının yükseklikleri ile bu fotoğraflardan değerlendirilen 10 metre aralıklı 1:25.000 ölçekli eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM kullanılmıştır. 51 fotogrametrik nirengi noktasının yüksekliklerinin ortalama hatası 0.04 metre, KOH'sı ± 0.37 metre ve 10 metre aralıklı 1:25.000 ölçekli eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin ortalama hatası 2.87 metre, KOH'sı ± 3.19 metredir. Bu yükseklik değerleriyle SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM karşılaştırılmış ve hesaplanan hatalar Tablo 4.21'de verilmiştir.

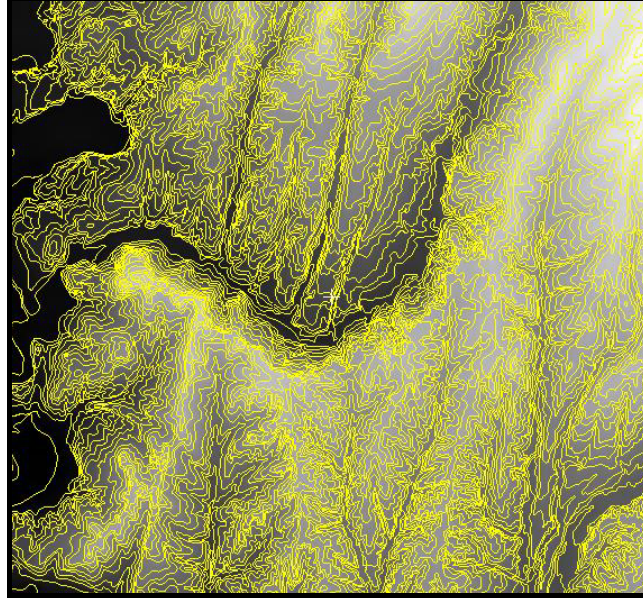
Tablo 4.21: İzmir bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin hataları

	Referans Veri	
	1:25.000 ölçekli eş yükselti eğrileri	Fotogrametrik Nirengi Sonuçları
Hataların Ort. (m)	7.93	4.94
Mutlak Hat.Ort. (m)	8.01	5.05
KOH (m)	± 12.84	± 6.02

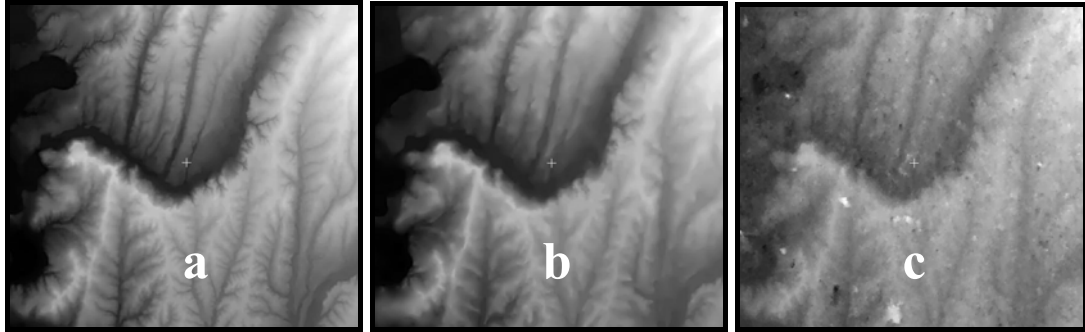
Edirne bölgesinde SPOT görüntülerinden üretilen SYM'nin doğruluğunu test etmek amacıyla, bölgenin 1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğraflarından üretilen 1:25.000 ölçekli eş yükselti eğrileri kullanılmıştır (Şekil 4.35). Bu eş yükselti eğrilerinden de 20 metre çözünürlüklü SYM üretilmiş ve SPOT uydu görüntülerinden üretilen SYM'ler ile karşılaştırılmıştır.

Edirne bölgesine ilişkin üretilen üç SYM (a.1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden, b.SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden, c.SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM) Şekil 4.36'da gösterilmiştir. SYM'ler incelendiğinde hava fotoğraflarından üretilen birinci SYM'nin araziye daha detaylı temsil ettiği, SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen ikinci SYM'nin birinciye benzer olmakla birlikte ince detayların yok olduğu,

SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen üçüncü SYM'nin ise araziye genel olarak temsil etmekle birlikte eş yükselti eğrilerinden üretilenlere göre belirgin şekilde farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35: 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri



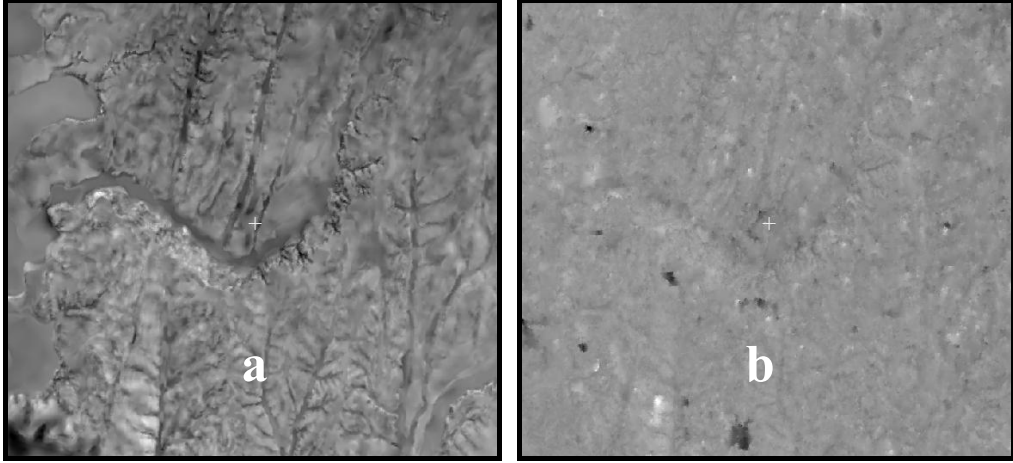
Şekil 4.36: Edirne bölgesinde üretilen SYM'ler

SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrileri ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin doğruluğunu test etmek amacıyla, her iki SYM ile 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin PCI Geomatica yazılımı kullanılarak farkları alınmıştır. Elde edilen fark görüntüleri Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Şekil 4.37 (a) 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM ile SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti

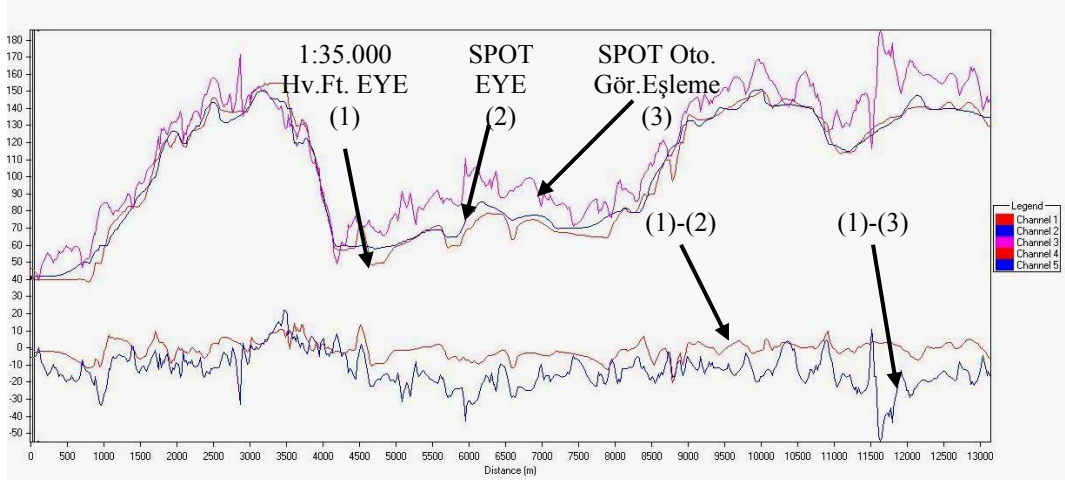
eğrilerinden üretilen SYM'nin, Şekil 4.37 (b) ise 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM ile SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin fark görüntüsüdür. Bu görüntülerde çok beyaz ve çok siyah bölgeler hataların eksi ya da artı yönde fazla olduğu bölgeleri, gri bölgeler ise hataların düşük olduğu bölgeleri ifade etmektedir.

Fark görüntüleri incelendiğinde, SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'nin fark görüntüsünde hataların özellikle küçük dere yatakları ve vadilerde yoğunlaştığı görülmektedir. SPOT uydu görüntüsünün düşük çözünürlüğü nedeniyle küçük dere yatakları görülememekte ve düzgün olarak değerlendirilememektedir.

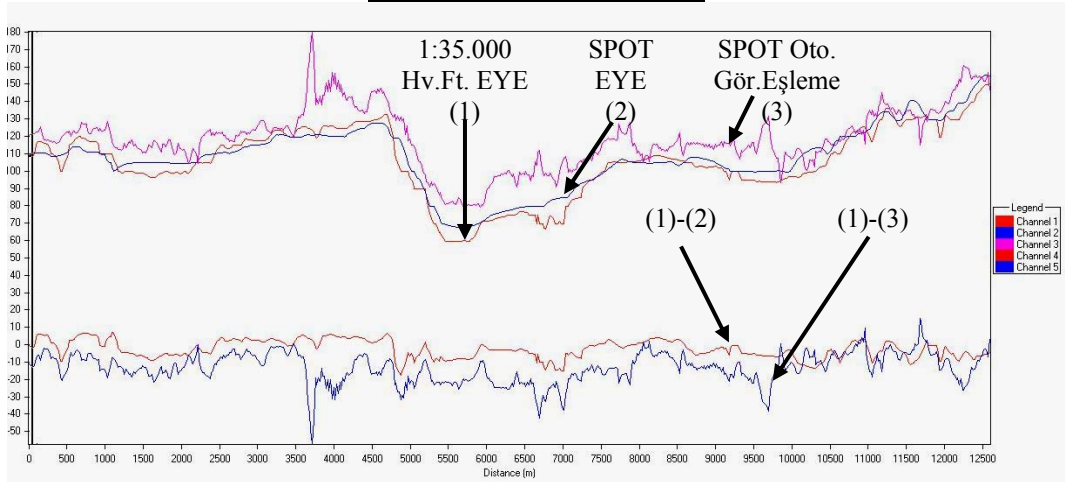


Şekil 4.37: SYM fark görüntüleri

SYM'ler arasındaki farkı daha iyi görebilmek için görüntüler üzerinde doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularında birer adet kesit alınmıştır (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39). Bu kesitlerin üst kısmında kırmızı renkle gösterilen Kanal-1 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'yi, mavi renkle gösterilen Kanal-2 SPOT uydu görüntülerinden değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'yi, eflatun renkle gösterilen Kanal-3 SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'yi temsil etmektedir. Kesitin alt kısmında kırmızı renkle gösterilen Kanal-4 “Kanal-1 ve Kanal-2'nin farkını” (kesit yönündeki hatalar), mavi renkle gösterilen Kanal-5 “Kanal-1 ve Kanal-3'ün farkını” (kesit yönündeki hatalar) göstermektedir. Kesitler ayrıntılı olarak Ek-G ve Ek-H'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38: Doğu-Batı yönündeki kesit



Şekil 4.39: Kuzey-Güney yönündeki kesit

Üretilen kesitler incelendiğinde eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'lerin birbirine benzer karakterde olduğu, SPOT'dan üretilen SYM'nin hava fotoğrafından üretilene göre daha düzgün bir yapıda olduğu ve bu nedenle topoğrafyayı daha az detaylı temsil ettiği tekrar görülmüştür. SPOT'dan otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM ise daha farklı bir karakter göstermekte ve topoğrafyadan oldukça büyük sapmalar göstermektedir.

SPOT uydu görüntülerinden üretilen SYM'ler, PCI Geomatica yazılımının ELEVRMS modülü kullanılarak, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrileri ile de karşılaştırılmıştır. ELEVRMS modülü 3D bir vektör verideki yükseklik değerleri ile verilen bir SYM'nin yükseklik değerlerini karşılaştırarak hata analizlerini yapmaktadır. ELEVRMS modülü çalıştırılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.22'de verilmiştir.

İzmir bölgesinde yapılan çalışmalarda da SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile SYM üretilmiş ve aynı şekilde 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen eş yükselti eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 4.23'de gösterilmiştir.

İki farklı bölgede otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Eş yükselti eğrileri değerlendirme ile elde edilen SYM'nin KOH'sı ise otomatik görüntü eşleme ile elde edilene göre yaklaşık iki kat yüksektir. Hava fotoğraflarında yapılan çalışmalarda elde edilen, "eş yükselti eğrileri değerlendirme ile üretilen SYM'lerin doğruluğu otomatik görüntü eşleme ile üretilenlere göre yaklaşık iki kat daha yüksektir" varsayımı, bu uygulamada elde edilen sonuçlarla da desteklenmektedir.

Heipke ve diğ. (1992) tarafından yapılan bir çalışmada da SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme SYM üretilmiş, İzmir ve Edirne bölgesindeki çalışmalardaki sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen SYM'nin KOH'sı 10.8 metre bulunmuştur.

Tablo 4.22: Edirne bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden üretilen SYM'lerin hataları

	Eş Yükselti Eğrileri	Otomatik Eşleme
Hataların Ort. (m)	-0.37	9.35
Mutlak Hat.Ort. (m)	4.56	10.47
KOH (m)	± 6.22	± 12.70

Tablo 4.23: İzmir bölgesinde SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin hataları

	Otomatik Eşleme
Hataların Ort. (m)	7.93
Mutlak Hat.Ort. (m)	8.01
KOH (m)	± 12.84

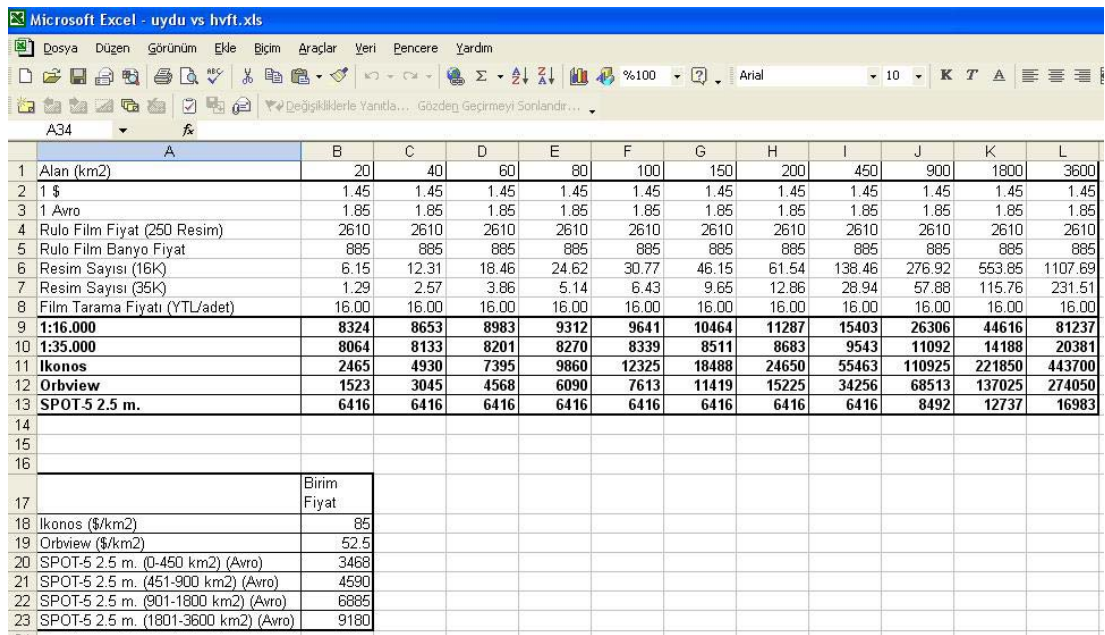
4.9 SYM Üretimi Maliyet Analizi

Maliyet analizi amacıyla 1 adet 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alan örnek seçilmiştir. Bu da yaklaşık 2400 km²'dir. Böyle bir alanda 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile IKONOS ve SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretim maliyetlerinin analizi yapılacaktır.

Maliyet hesabında görüntü, jeodezik nirengi ve fotogrametrik değerlendirmeye ilişkin personel maliyetleri dikkate alınacaktır. SYM maliyet analizinden önce ise, hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinin ayrıntılı bir maliyet analizi yapılarak, hangi büyüklüklerdeki alanlarda uydu görüntüsü, hangi büyüklüklerdeki alanlarda hava fotoğrafı kullanımının daha uygun olacağı belirlenecektir.

4.9.1 Uydu Görüntüsü ve Hava Fotoğrafları Maliyet Analizi

Bu bölümde, SYM üretiminde yoğun olarak kullanılan 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile IKONOS, Orbview ve SPOT uydu görüntülerinin maliyetleri analiz edilmiştir. Hava fotoğraflarına ilişkin hesaplamalarda uçuşu yapılacak bölgenin, kalkış yapılan havaalanına 30 dakika mesafede olduğu, 1 ABD dolarının 1.45 YTL ve 1 Avronun 1.85 YTL olduğu farz edilmiştir. Her bir görüntüye ilişkin ayrıntılı hesaplamalar aşağıda verilmiştir. Bu hesaplamaların otomatik olarak Microsoft Excel'de yapılabilmesi için de tablolar hazırlanmıştır. İlgili Excel tablosu Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



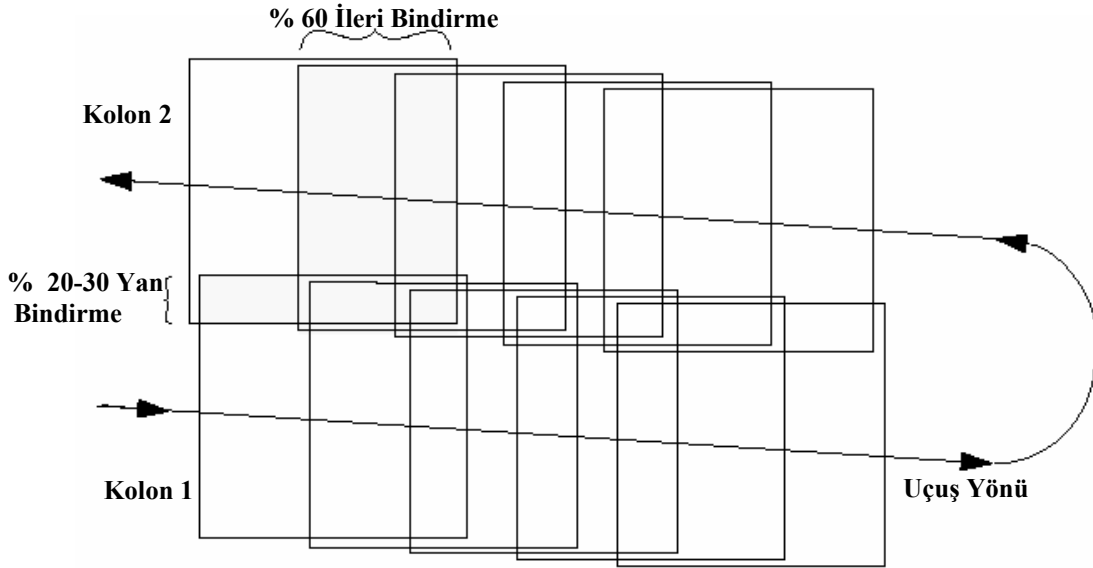
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1 Alan (km2)		20	40	60	80	100	150	200	450	900	1800	3600
2 1 \$		1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
3 1 Avro		1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
4 Rulo Film Fiyat (250 Resim)		2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610
5 Rulo Film Banyo Fiyat		885	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885
6 Resim Sayısı (16K)		6.15	12.31	18.46	24.62	30.77	46.15	61.54	138.46	276.92	553.85	1107.69
7 Resim Sayısı (36K)		1.29	2.57	3.86	5.14	6.43	9.65	12.86	28.94	57.88	115.76	231.51
8 Film Tarama Fiyatı (YTL/adet)		16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
9 1:16.000		8324	8653	8983	9312	9641	10464	11287	15403	26306	44616	81237
10 1:35.000		8064	8133	8201	8270	8339	8511	8683	9543	11092	14188	20381
11 Ikonos		2465	4930	7395	9860	12325	18488	24650	55463	110925	221850	443700
12 Orbview		1523	3045	4568	6090	7613	11419	15225	34256	68513	137025	274050
13 SPOT-5 2.5 m.		6416	6416	6416	6416	6416	6416	6416	6416	6416	6416	16983
14												
15												
16												
17		Birim Fiyat										
18 Ikonos (\$/km2)		85										
19 Orbview (\$/km2)		52.5										
20 SPOT-5 2.5 m. (0-450 km2) (Avro)		3468										
21 SPOT-5 2.5 m. (451-900 km2) (Avro)		4590										
22 SPOT-5 2.5 m. (901-1800 km2) (Avro)		6885										
23 SPOT-5 2.5 m. (1801-3600 km2) (Avro)		9180										

Şekil 4.40: Uydu görüntüleri ile hava fotoğrafları maliyet hesabı Excel tablosu

4.9.1.1 1:16.000 ve 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

%60 ileri ve % 20 yan bindirmeli (Şekil 4.41) 23*23 cm'lik ve Ö ölçeğinde bir fotoğrafın aktif alanı (FAA) (4.2) eşitliği ile hesaplanabilir. Görüntü alınacak bölgenin alanına (Görüntü alanı: GA) göre toplam fotoğraf sayısı (FS) (4.3) eşitliği ile hesaplanabilir. Bir rulo hava filminin yaklaşık fiyatı (HFF) 1800 dolar, bir rulo filmin fotolabaratuar maliyeti (FLM) 750 YTL + KDV ve bir filmin tarama maliyeti (FTM) 13.56 YTL + KDV'dir (www.hgk.mil.tr). Uçağın bir saatlik uçuş maliyeti ise 4500 YTL'dir. Uçuş esnasında yaklaşık 30 saniyede bir resim alınmaktadır. Bu durumda toplam maliyet (TM) (4.4) eşitliği ile hesaplanabilir. Burada dikkat

edilmesi gereken konu bir rulo hava filmi ile yaklaşık 250 adet hava fotoğrafı alınabileceği, ancak 250'den az fotoğraf alınması durumunda da filmin tamamıyla kullanılmış kabul edilerek hesaplamaların yapılmasının gerektiğidir.



Şekil 4.41: %60 ileri ve % 20 yan bindirmeli çekim (Erdas Field Guide, 1997)

$$FAA = (100 - 60) / 100 * 0.23 * \ddot{O} * (100 - (20 + 20) / 100) * 0.23 * \ddot{O} \quad (4.2)$$

$$FS = GA / FAA \quad (4.3)$$

$$TM = (1 + FS * 30 / 3600) * 4500 + FS * FTM + (HFM + FLM) * TAMSAYI (FS / 250 + 1) \quad (4.4)$$

Burada;

FAA=Fotoğraf Aktif Alanı (km²)

Ö=Ölçek

GA= Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km²)

TM=Toplam Maliyet

FS=Fotoğraf Sayısı

FTM=Fotoğraf Tarama Maliyeti

HFM=Rulo Hava Film Maliyeti

FLM= Rulo Hava Film Fotolabaratuar Maliyetidir.

4.9.1.2 IKONOS Uydu Görüntüleri

IKONOS uydu görüntülerinin fiyatı (Şekil 4.42) internetten alınmıştır (www.sieurasia.com/fiyat_ikonos.htm). Fiyatlar USD/km²'dir. Bu durumda görüntü maliyeti (4.5) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$TM = GA * 85 * 1.450 \text{ YTL} \quad (4.5)$$

Burada;

GA= Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km²)

TM=Toplam Maliyet

1 ABD Doları=1.45 YTL' dir

Online arşiv	Ayın imajı	Fiyat listesi	Bağlantılar	
			IKONOS	
			SPOT	İletişim Ana sayfa
			PAN	85
		STANDART STEREO Yatay ±12 metre (RMSE); Dikey ±13 metre (RMSE) Görüntü çiftlerinin her biri 60° den yüksek çekim açısını sağlar.	PSM	90
			PAN	95
		PRECISION STEREO Yatay ±1 metre (RMSE); Dikey ±2 m (RMSE) Görüntü çiftlerinin en az biri 72° den yüksek çekim açısını sağlar. Yer Kontrol Noktaları müşteri tarafından sağlanmalıdır.	PSM	100

Şekil 4.42: IKONOS uydu görüntüsü fiyatları

4.9.1.3 OrbView Uydu Görüntüleri

Orbview uydu görüntülerinin fiyatı (Şekil 4.43) internetten alınmıştır (<http://www.geoserve.nl/productoverview.htm>). Fiyatlar USD/km²'dir. Bu durumda görüntü maliyeti (4.6) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$TM = GA * 52.50 * 1.450 \text{ YTL} \quad (4.6)$$

Burada;

GA= Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km²)

TM=Toplam Maliyet

1 ABD Doları=1.45 YTL'dir



GEOSERVE
ALL OVER THE WORLD

PRODUCTS
NEWS
GALLERY
COMPANY
APPLICATIONS

OrbView Prices
Archived Data and New Tasking
- Minimum order size: 384km² or 6 contiguous imagery scenes

Product	Pan	Multispectral	Stereo (Pan)
OrbView BASIC Express Quick delivery times and less accurate geometric requirements <i>Price USD/km²</i>	19.00	19.00	52.50
OrbView BASIC Enhanced Includes post-processed satellite telemetry data and rational function coefficients	21.00	21.00	52.50

Geoserve B.V.
Geomatics Business
Park
Voorsterweg 28

Şekil 4.43: OrbView uydu görüntüsü fiyatları

4.9.1.4 SPOT Uydu Görüntüleri

SPOT uydu görüntülerinin fiyatı internetten (Şekil 4.44) alınmıştır (<http://www.spotimage.fr>). Fiyatlar Euro/görüntü'dür. SPOT görüntülerinin büyüklüğü yaklaşık 60 km.*60 km. olup toplam görüntü alanı 3600 km²'dir. Bu durumda toplam maliyet (4.7) eşitliği ile hesaplanabilir. Burada da dikkat edilmesi gereken konu bir görüntünün en küçük 1/8 ve katları oranında satın alınabileceği, bundan daha küçük istekler için bile 1/8 görüntü ücretinin ödenmesi gerektiği ve stereo görüntü fiyatının mono görüntü fiyatının ortalama 1.7 katı olduğudur.

$$TM = GA/3600 * SGF * 1.7 * 1.85 YTL \quad (4.7)$$

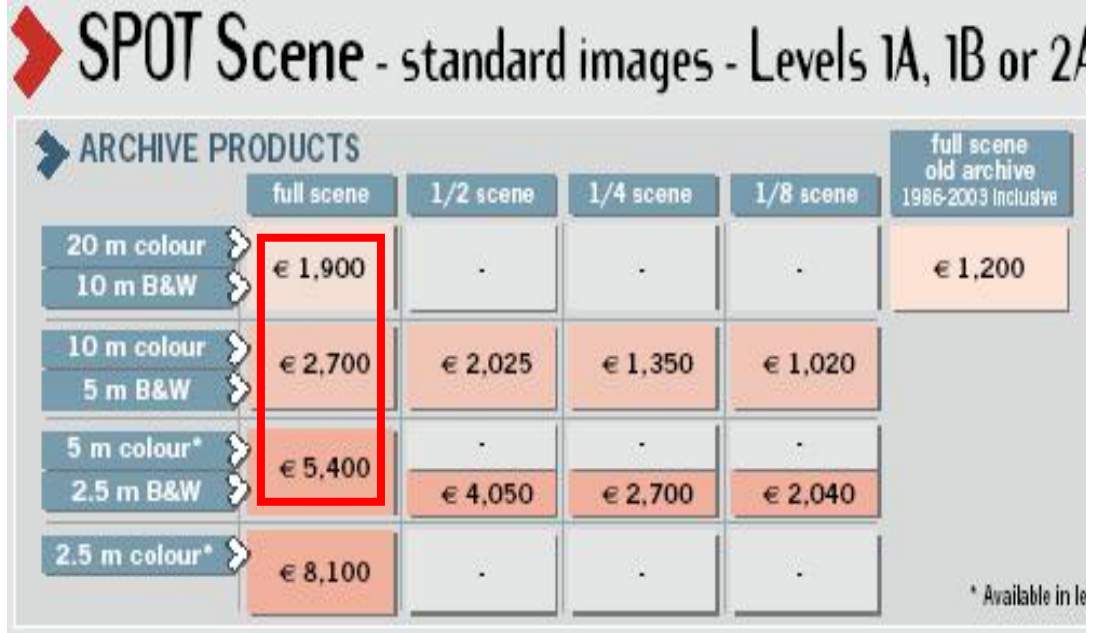
Burada;

GA= Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km²)

TM=Toplam Maliyet

SGF=SPOT Görüntü Fiyatı (Şekil 10)

1 Avro=1.85 YTL'dir.



The image shows a price table for SPOT Scene satellite imagery. The table is titled 'SPOT Scene - standard images - Levels 1A, 1B or 2A' and is categorized under 'ARCHIVE PRODUCTS'. It lists various image resolutions and formats (colour and B&W) for different scene sizes (full scene, 1/2 scene, 1/4 scene, 1/8 scene) and a 'full scene old archive' category. The prices are listed in Euros (€). A red box highlights the price for '10 m B&W' under the 'full scene' column, which is € 1,900.

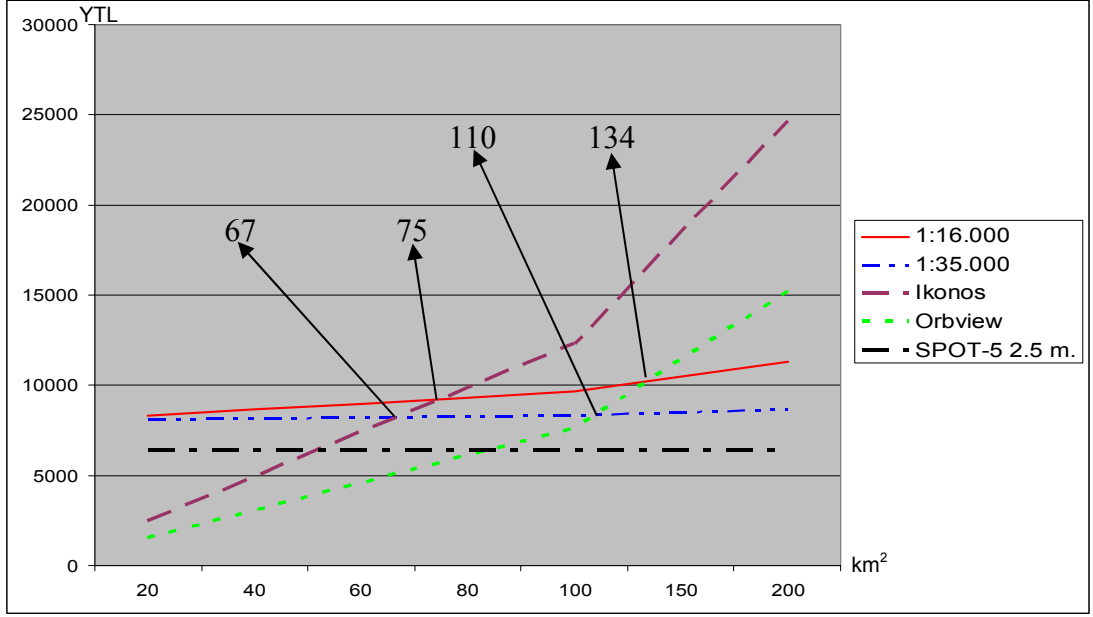
	full scene	1/2 scene	1/4 scene	1/8 scene	full scene old archive 1986-2003 inclusive
20 m colour	€ 1,900	.	.	.	€ 1,200
10 m B&W	€ 1,900	.	.	.	€ 1,200
10 m colour	€ 2,700	€ 2,025	€ 1,350	€ 1,020	
5 m B&W	€ 2,700	€ 2,025	€ 1,350	€ 1,020	
5 m colour*	€ 5,400	.	.	.	
2.5 m B&W	€ 5,400	€ 4,050	€ 2,700	€ 2,040	
2.5 m colour*	€ 8,100	.	.	.	

* Available in le

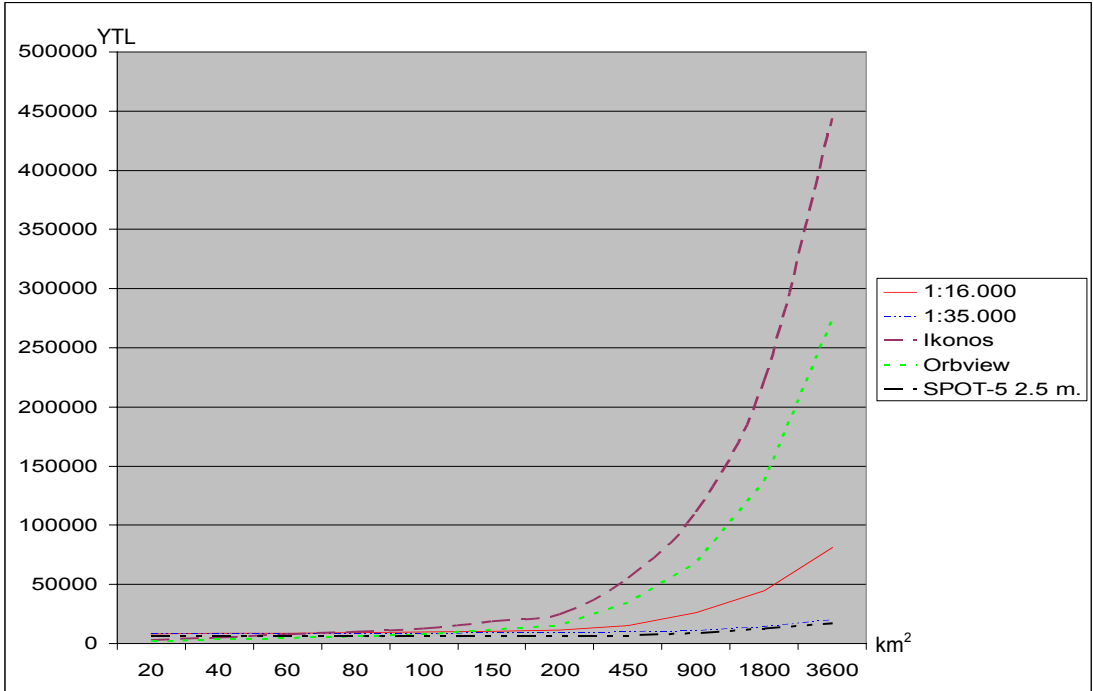
Şekil 4.44: SPOT uydu görüntüsü fiyatları

4.9.1.5 Maliyet Analizi

Farklı büyüklüklerdeki alanlara göre görüntü maliyetleri hesaplanmış, Şekil 4.45'de 200 km²'lik bir alana kadar ayrıntılı olarak, Şekil 4.46'da 3600 km²'lik bir alana kadar daha az detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca maliyetlere ilişkin değerler Tablo 4.24'de gösterilmiştir. Şekil 4.45 incelendiğinde hava fotoğraflarına yaklaşık eş olduğu düşünülebilecek IKONOS ve Orbview uydu görüntülerinin yaklaşık 100 km²'lik bir alan büyüklüğüne kadar hava fotoğraflarına göre daha ucuz, bu aşamadan sonra ise hava fotoğraflarının daha ucuz duruma geldiği görülmektedir.



Şekil 4.45: 200 km²'lik alana kadar maliyet analizi



Şekil 4.46: 3600 km²'lik alana kadar maliyet analizi

Tablo 4.24: Farklı büyüklüklerdeki alanların görüntü maliyetleri (YTL)

Veri Türü	Alan (km ²)								
	40	60	80	100	150	450	900	1800	3600
1:16.000 Hv.Ft.	8653	8983	9312	9641	10464	15403	26306	44616	81237
1:35.000 Hv.Ft.	8133	8201	8270	8339	8511	9543	11092	14188	20381
İkonos Uydu Gör.	4930	7395	9860	12325	18488	55463	110925	221850	443700
Orbview Uydu Gör.	3045	4568	6090	7613	11419	34256	68513	137025	274050
SPOT-5 Uydu Gör.	6416	6416	6416	6416	6416	6416	8492	12737	16983

4.9.2 Görüntü Maliyetleri

Daha önceki bölümlerde uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarına ilişkin yapılan ayrıntılı maliyet analizlerine göre 1 adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan alanın SYM üretimi için gerekli 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile 1 metre çözünürlüklü İKONOS ve 10 metre çözünürlüklü SPOT uydu görüntülerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyetler Tablo 4.25’de verilmiştir.

Tablo 4.25: Uygulamada kullanılan görüntülerin maliyetleri

	1:16.000 Hv.Ft.	1:35.000 Hv.Ft.	İkonos Uydu Gör.	SPOT Uydu Gör.
Maliyet (YTL)	59634	16596	308125	5976

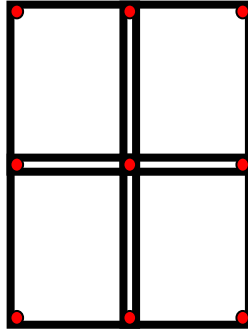
4.9.3 Nirengi Maliyetleri

Çalışmada kullanılan verilerin yöneltilmesi için gerekli nirengi tesis ve ölçüm maliyetleri aşağıda verilmiştir.

4.9.3.1 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

Bölgenin 1:50.000 bazında dört blokta uçuşu yapılabilir. Kinematik GPS yöntemiyle bölgenin uçuşu yapıldığında nirengi dağılımı Şekil 4.47’de gösterilmiştir. İhtiyaç duyulan toplam nirengi sayısı 9’dur. Uçuş öncesi bu nirengilerin her birinin yerde işaretinin yapılarak GPS ile ölçülmesi veya eski nirengiler bulunularak işaretlenmesi

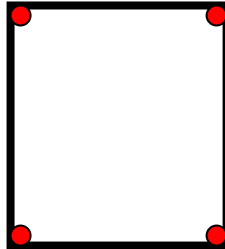
gereklidir. Her nirenginin maliyetini 100 YTL (günde 2 nirengi) olarak düşünürsek nirengi maliyeti $9*100=900$ YTL olacaktır.



Şekil 4.47: 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı

4.9.3.2 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

Bölgenin 1:100.000 bazında tek blokta uçuşu yapılabilir. Kinematik GPS yöntemiyle bölgenin uçuşu yapıldığında, nirengi dağılımı Şekil 4.48'de gösterilmiştir. İhtiyaç duyulan toplam nirengi sayısı 4'dür. Uçuş öncesi bu nirengilerin her birinin yerde işaretinin yapılarak GPS ile ölçülmesi veya eski nirengiler bulunularak işaretlenmesi gereklidir. Her nirenginin maliyetini 100 YTL (günde 2 nirengi) olarak düşünürsek nirengi maliyeti $4*100=400$ YTL olacaktır.



Şekil 4.48: 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı

4.9.3.3 IKONOS Uydu Görüntüleri

Bölge $2400/120=20$ stereo IKONOS uydu görüntüsüyle kapatılabilmektedir. Yöneltilme işlemleri için her görüntü çiftinde ortalama 4 yer kontrol noktasına (YKN) ihtiyaç vardır. Bu durumda 80 YKN gerekecektir. Bu noktalar yol kavşağı, duvar köşesi gibi görüntü üzerindeki belirgin noktaların GPS ile ölçümüyle elde edilebilir. Bu durumda YKN birim maliyeti daha düşük olacaktır. Tek bir nirenginin maliyetininin 50 YTL (günde 4 nirengi) olduğu düşünülürse toplam nirengi maliyeti $80*50=4000$ YTL olacaktır.

4.9.3.4 SPOT Uydu Görüntüleri

Bir SPOT uydu görüntüsü çifti için 8 adet YKN'nin GPS ile ölçümü yeterli olacaktır. Bu durumda toplam nirengi maliyeti $8*50=400$ YTL olacaktır.

4.9.4 SYM Üretim Maliyeti

Hesaplamalarda 1 operatör maliyeti 70 YTL/gün ve 1 mühendis maliyeti 110 YTL/gün kabul edilecektir.

4.9.4.1 1:16.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

Öncelikli olarak hava fotoğraflarının yöneltilmesi gereklidir. 1 operatör günde yaklaşık 20 fotoğrafın ölçümünü yapabilir.

Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi = $738/20=37$ gün

Operatör Maliyeti = $37 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 2590 \text{ YTL}$

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

Blok sayısı = 4 => Müh.Mal. = $4 \text{ gün} * 110 \text{ YTL/gün} = 440 \text{ YTL}$

Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti = $2590+440=3030 \text{ YTL}$

1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarında orta zorlukta bir arazide 1 operatör günde ortalama 1.2 km^2 5 metre aralıklı eş yükselti eğrisi değerlendirmesi yapabilmektedir.

Değerlendirme Süresi = $2400/1.4=2000$ gün

Operatör Maliyeti = $2000 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 140000 \text{ YTL}$

Eğer SYM üretimi otomatik görüntü eşleme ile yapılırsa, 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarında orta zorlukta bir arazide günde 2 modelin SYM üretimi ve kaba hataların düzeltilmesi yapılabilir.

SYM Üretim+Düzeltilme Süresi = $738/2=369$ gün

Operatör Maliyeti = $369 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 25830 \text{ YTL}$

4.9.4.2 1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları

Öncelikli olarak hava fotoğraflarının yöneltilmesi gereklidir. 1 operatör günde yaklaşık 20 fotoğrafın ölçümünü yapabilir.

$$\text{Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi} = 154/20 = 8 \text{ gün}$$

$$\text{Operatör Maliyeti} = 8 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 560 \text{ YTL}$$

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

$$\text{Blok sayısı} = 1 \Rightarrow \text{Müh.Mal.} = 1 \text{ gün} * 110 \text{ YTL/gün} = 110 \text{ YTL}$$

$$\text{Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti} = 560 + 110 = 670 \text{ YTL}$$

1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarında orta zorlukta bir arazide 1 operatör günde ortalama 13 km^2 10 metre aralıklı eş yükselti eğrisi değerlendirmesi yapabilmektedir.

$$\text{Değerlendirme Süresi} = 2400/10 = 185 \text{ gün}$$

$$\text{Operatör Maliyeti} = 185 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 12950 \text{ YTL}$$

Eğer SYM üretimi otomatik görüntü eşleme ile yapılırsa, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarında orta zorlukta bir arazide günde 2 modelin SAM üretimi ve kaba hataların düzeltilmesi yapılabilir.

$$\text{SYM Üretim+Düzeltilme Süresi} = 154/2 = 77 \text{ gün}$$

$$\text{Operatör Maliyeti} = 77 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 5390 \text{ YTL}$$

4.9.4.3 IKONOS Uydu Görüntüleri

Günde 1 operatör ortalama 4 stereo modelin ölçümünü gerçekleştirebilir.

$$\text{Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi} = 20/4 = 5 \text{ gün}$$

$$\text{Operatör Maliyeti} = 5 \text{ gün} * 70 \text{ YTL/gün} = 350 \text{ YTL}$$

Ölçüm sonrası 1 mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta 0.5 gün çalışması gerekir.

Blok sayısı = 1 => Müh.Mal.=0.5 gün * 110 YTL/gün =55 YTL

Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti = 350+55=405 YTL

IKONOS uydu görüntülerinde orta zorlukta bir arazide 1 operatör günde ortalama 1,2 km² 5 metre aralıklı eş yükselti eğrileri değerlendirmesi yapabilmektedir.

Değerlendirme Süresi = 2400/1.2=2000 gün

Operatör Maliyeti=2000 gün * 70 YTL/gün =140000 YTL

Eğer SAM üretimi otomatik görüntü eşleme ile yapılırsa, IKONOS uydu görüntülerinde orta zorlukta bir arazide 10 günde 1 modelin SAM üretimi ve kaba hataların düzeltilmesi yapılabilir.

SAM Üretim+Düzeltilme Süresi =20*10=200 gün

Operatör Maliyeti=200 gün * 70 YTL/gün =14000 YTL

4.9.4.4 SPOT Uydu Görüntüleri

Günde 1 operatör ortalama 2 stereo çiftin ölçümünü gerçekleştirebilir.

Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi =1/2=0.5 gün

Operatör Maliyeti=0.5 gün *70 YTL/gün =35 YTL

Ölçüm sonrası 1 mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta 0.5 gün çalışması gerekir.

Blok sayısı = 1 => Müh.Mal.=0.5 gün *110 YTL/gün =55 YTL

Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti = 35+55=90 YTL

SPOT uydu görüntülerinde orta zorlukta bir arazide 1 operatör günde ortalama 52 km² 20 metre aralıklı eş yükselti eğrileri değerlendirmesi yapabilmektedir.

Değerlendirme Süresi = 2400/52=46 gün

Operatör Maliyeti=46 gün * 70 YTL/gün =3220 YTL

Eğer SAM üretimi otomatik görüntü eşleme ile yapılırsa, IKONOS uydu görüntülerinde orta zorlukta bir arazide 10 günde 1 modelin SAM üretimi ve kaba hataların düzeltilmesi yapılabilir.

$$\text{SAM Üretim+Düzeltilme Süresi} = 1 \times 10 = 10 \text{ gün}$$

$$\text{Operatör Maliyeti} = 10 \text{ gün} \times 70 \text{ YTL/gün} = 700 \text{ YTL}$$

4.9.5 Toplam Maliyetler

Maliyet hesabında kullanılan bütün kalemler toplanarak bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km²'lik bir alanın SYM'nin üretiminin toplam maliyeti, birim maliyeti ve toplam üretim süresi hesaplanmış ve Tablo 4.26'da verilmiştir. Tablodaki tüm değerler YTL ve parantez içindeki değerler üretim süreleridir.

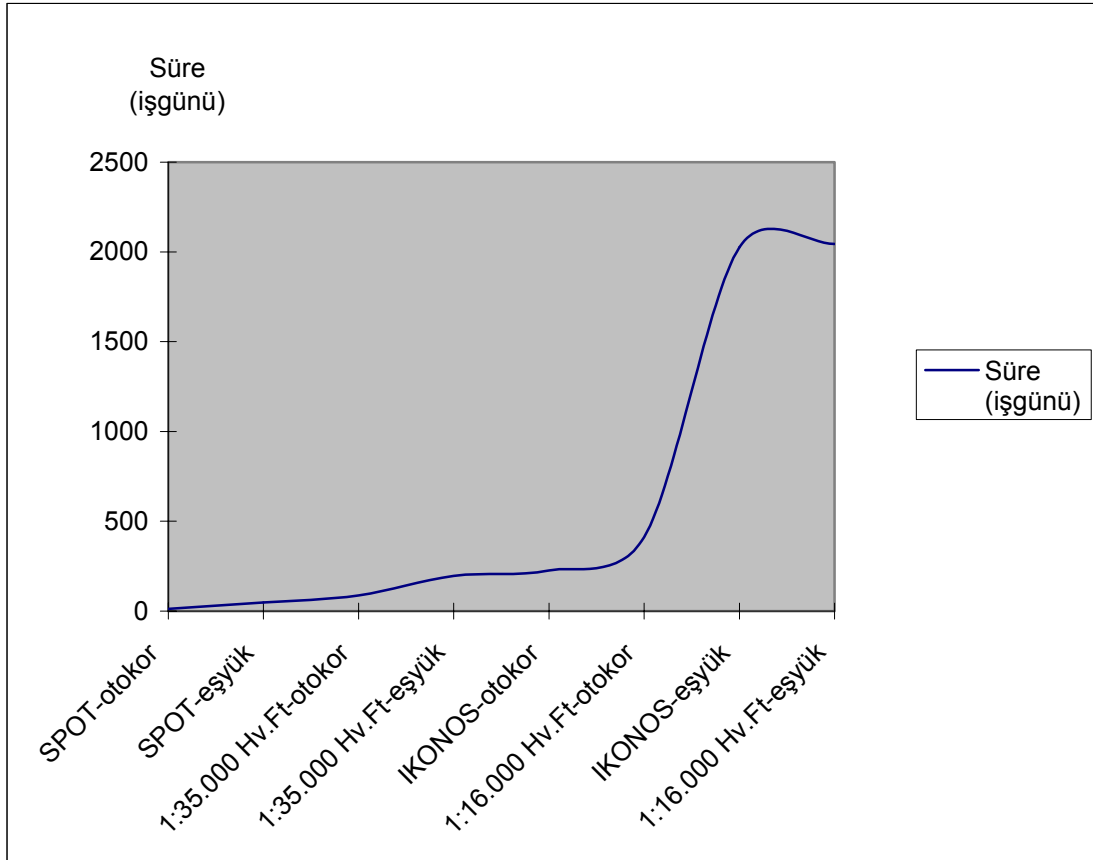
Tablo 4.26: Yaklaşık SYM maliyetleri

	1:16.000 Hv.Ft		1:35.000 Hv.Ft		IKONOS		SPOT	
	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme
Görüntü Maliyeti	59634		16596		308125		5976	
YKN Maliyeti	900 (5)		400 (2)		4000 (20)		400 (2)	
Nirengi Maliyeti	3030 (38)		670 (9)		405 (5.5)		90 (1)	
Değerlen. Maliyeti	140000 (2000)	25830 (369)	12950 (185)	5390 (77)	140000 (2000)	14000 (200)	3220 (46)	700 (10)
Toplam Maliyet	203564	89394	30616	23056	452530	326530	9686	7166
Birim Ma. (YTL/km²)	84.82	37.25	12.76	9.61	188.55	136.05	4.04	2.98
Süre (işgünü)	2043	412	196	88	2025.5	225.5	49	13
Yaklaşık Doğruluk (metre)	1	3	3	7	1.5	3	7	13

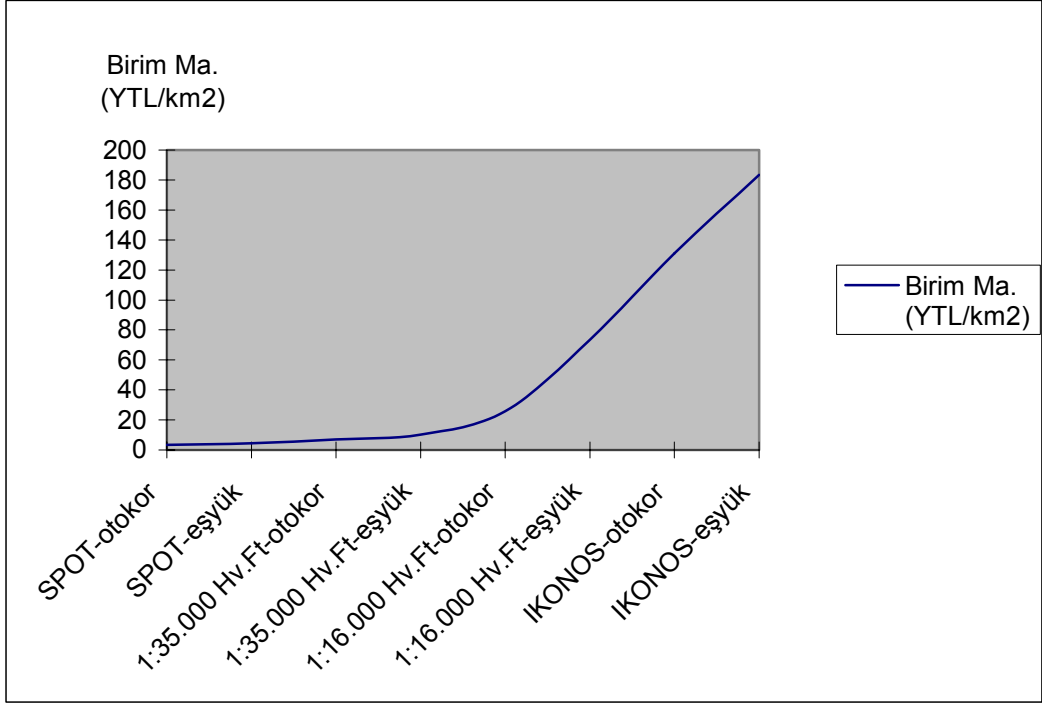
Tablo 4.26 kullanılarak SYM'ler üretim sürelerine göre sıralanmış ve Şekil 4.49'da gösterilmiştir. En uzun süreli üretim tekniği, 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirilmedi ve yaklaşık 2043 işgünü sürmektedir. En kısa süreli üretim ise, SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşlemedir ve yaklaşık 13 işgünü sürede gerçekleştirilmektedir.

SYM'ler birim maliyetlerine göre sıralanarak Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Şekilde en pahalı SYM üretim yönteminin IKONOS uydu görüntülerinden eş yükselti eğrisi değerlendirme, en ucuz yöntemin ise SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme olduğu görülmektedir.

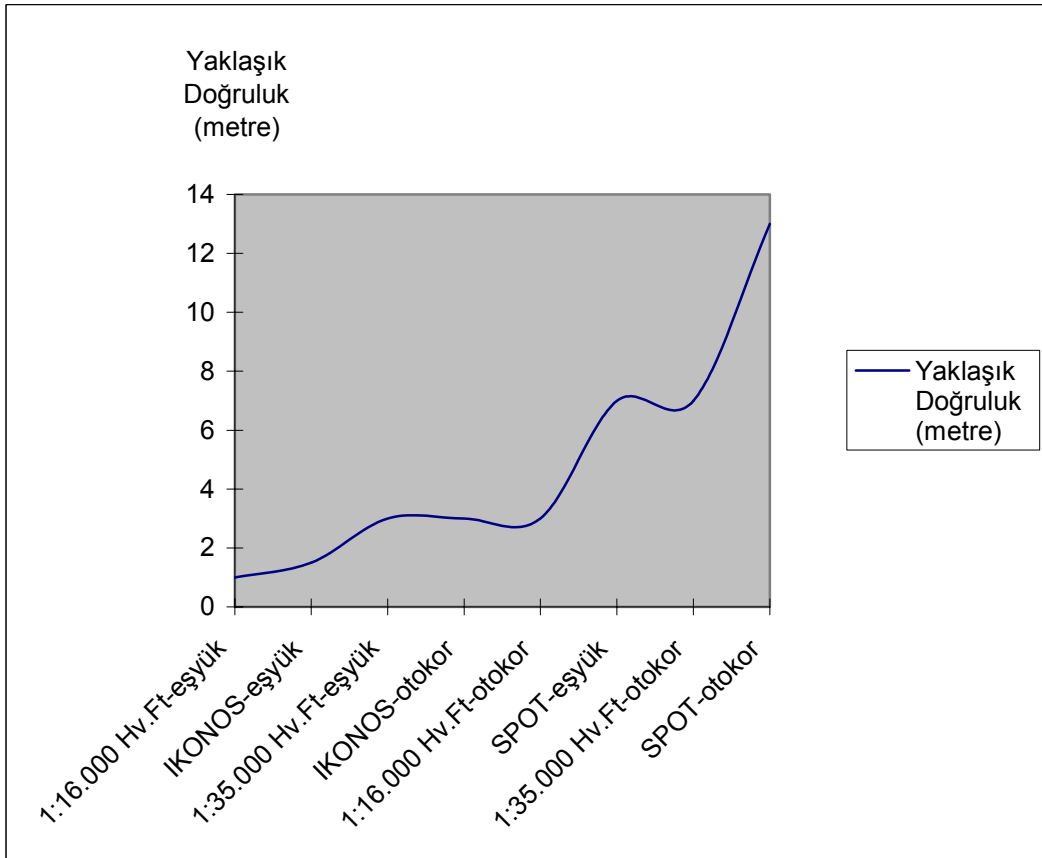
SYM'ler doğruluklarına göre de sıralanarak Şekil 4.51'de gösterilmiştir. En yüksek doğruluklu SYM, 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve en düşük doğruluklu SYM, SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilmektedir.



Şekil 4.49: SYM üretim süreleri

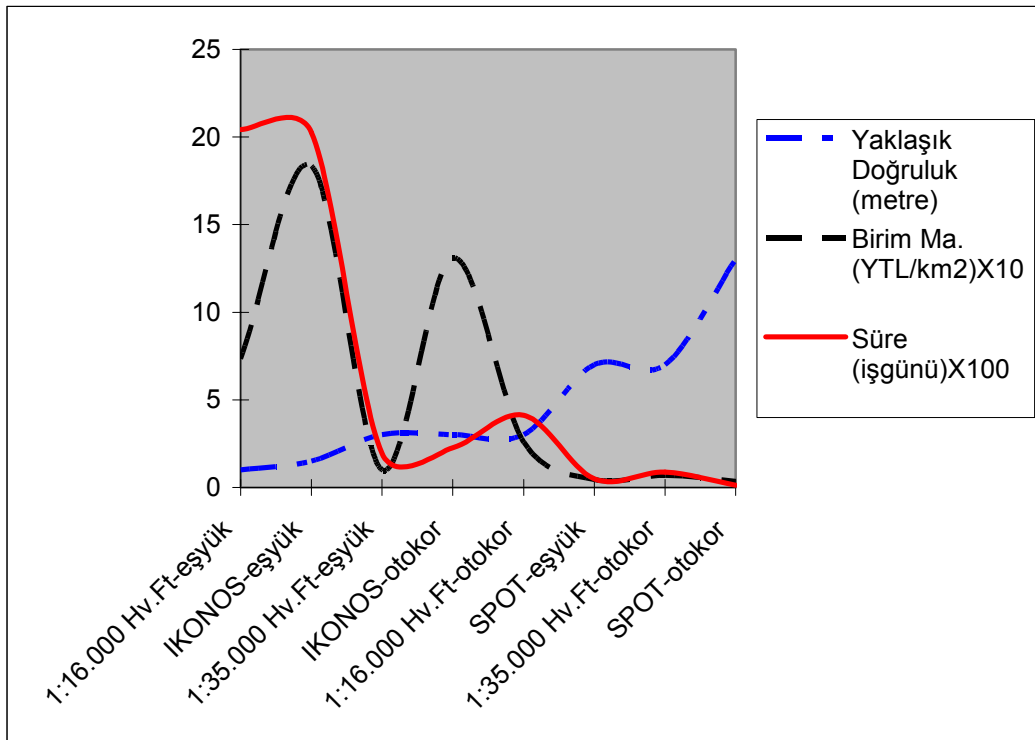


Şekil 4.50: SYM birim maliyetleri



Şekil 4.51: SYM doğrulukları

SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgileri birleştirilerek Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM noktalarında, yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve üretim süresi eğrilerinin alt seviyelerde birbirine yaklaştıkları görülmektedir. Bu noktalar optimum noktaları oluşturmaktadır. Bu şekilden faydalanarak amaçlanan doğruluk, maliyet ve üretim süresi ve bu değişkenlere ilişkin olabilecek kısıtlamalara göre, en optimum veri kaynağının ve üretim yönteminin seçimi mümkündür.



Şekil 4.52: SYM doğruluk, maliyet ve üretim süresi grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amaç ve hedeflerine paralel olarak; kaynak veriler, çözünürlükler, topoğrafik özellikler ve üretim yöntemlerine göre Sayısal Yükseklik Modellerinin maliyetleri, üretim süreleri ve doğruluklarının test edilmesi amacıyla, farklı ölçek ve türdeki hava fotoğrafları ile uydu görüntüleri kullanılarak eş yükselti eğrisi değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak eş yükselti eğrisi değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler eş yükselti eğrisi değerlendirme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının yaklaşık ± 1 metre ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının ise yaklaşık ± 3 metre civarında olduğunu göstermiştir.

1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından değerlendirilen eş yükselti eğrilerinden farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiş ve SYM doğrulukları çözünürlük ve eğime göre modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar SYM hatalarının çözünürlükteki düşüşle beraber arttığını göstermiştir. Eğimdeki değişime göre yapılan çalışmalarda ise farklı sonuçlar elde edilmiştir. Normal koşullarda SYM hatalarının eğimdeki artışa paralel olarak artması beklenmektedir. Ancak testler sonucunda, çok yüksek ve çok düşük eğimli bölgelerde SYM hatalarının daha fazla ve ortalama eğimli bölgelerde SYM hatalarının daha az olduğu görülmüştür. Bu durum fotogrametrik değerlendirmenin temelleri ile açıklanabilir. Fotogrametri operatörlerinin eş yükselti eğrisi değerlendirme esnasında en çok zorlandıkları bölgeler, çok düz ve çok sarp alanlardır. Bu tür alanlarda yükseklik hataları artmaktadır. Operatörler ortalama eğimli bir topoğrafyada ise çok daha rahat ve doğrulukla çizim yapabilmektedirler. Çözünürlük ve eğime göre doğruluğun modellenmesinde doğruluk ve çözünürlüğün yüksek derecede, eğim ve doğruluğun ise daha düşük derecede korelasyonlu olduğu görülmüştür.

1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak eş yükselti eğrisi değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler eş yükselti eğrisi değerlendirme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının yaklaşık ± 3 metre

ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının ise yaklaşık ± 7 metre civarında olduğunu göstermiştir.

1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiş ve SYM doğrulukları çözünürlük ve eğime göre modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarına benzer şekilde SYM hatalarının çözünürlükteki düşüşle beraber arttığını göstermiştir. Otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerde beklendiği şekilde SYM hatalarının eğimdeki artışa paralel olarak arttığı görülmüştür. Düşük eğimli bölgelerde otomatik görüntü eşleme algoritmaları daha iyi çalışmakta ve daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Çözünürlük ve eğime göre doğruluğun modellenmesinde yine 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarına benzer şekilde çözünürlük ve doğruluğun yüksek derecede, eğim ve doğruluğun ise daha düşük derecede korelasyonlu olduğu görülmüştür.

IKONOS uydu görüntüleri kullanılarak otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının yaklaşık ± 3 metre civarında olduğunu göstermiştir.

Son olarak, SPOT uydu görüntüleri kullanılarak eş yükselti eğrisi değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler eş yükselti eğrisi değerlendirme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının yaklaşık ± 7 metre ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin KOH'larının ise yaklaşık ± 13 metre civarında olduğunu göstermiştir..

1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile SPOT uydu görüntülerinden, hem fotogrametrik değerlendirme ile elde edilen eş yükselti eğrilerinden SYM üretimi, hem de otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'lerin otomatik görüntü eşleme ile üretilenlere göre yaklaşık iki kat daha doğru olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışmalarda, 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından 5 metre, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından 10 metre ve SPOT uydu görüntülerinden 20 metre aralıklı eş yükselti eğrileri üretilmiştir. Bu verilerden üretilen SYM'lerin KOH'sı sırasıyla ± 1 , ± 3 ve ± 6 metre civarındadır. Elde edilen sonuçlar eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM'lerin KOH'larının eş yükselti eğrisi aralığının 1/3'ü ile 1/5'i arasında değişeceği tezini desteklemektedir.

SYM'lerin testinde nokta koordinatları ve daha yüksek doğrulukta bir SYM olmak üzere iki tür referans veri kullanılmıştır. Nokta yükseklikleri ile karşılaştırıldığında, 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin KOH'sı ± 1.73 , 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin KOH'sı ± 5.79 ve SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'nin KOH'sı ± 6.02 metre bulunmuştur. Aynı SYM'ler daha yüksek doğrulukta bir SYM ile karşılaştırıldığında KOH'ları sırasıyla ± 2.98 , ± 7.40 ve ± 12.84 metredir. Genelde karşılaştırmalarda kullanılan noktalar, yol kavşağı, duvar köşesi gibi keskin detaylardan seçilmektedir. Bu tür noktalar otomatik görüntü eşlemenin en başarılı olduğu yerlerdir ve bu noktalar ile yapılacak karşılaştırma, SYM'nin tamamı hakkında bilgi vermemektedir. Bu nedenle SYM'lerin doğruluklarının belirlenmesinde daha yüksek doğruluklu bir SYM ile karşılaştırmanın, SYM'nin tamamı hakkında bilgi vereceği ve daha uygun bir yöntem olacağı değerlendirilmektedir.

Hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinin maliyet analiz yapılmış, hava fotoğraflarına yaklaşık eş olduğu düşünülebilecek Ikonos ve Orbview uydu görüntülerinin yaklaşık 100 km²'lik bir alan büyüklüğüne kadar hava fotoğraflarına göre daha ucuz, bu aşamadan sonra ise hava fotoğraflarının daha ucuz duruma geldiği görülmüştür.

Bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km²'lik bir alanın SYM'sinin üretiminin toplam maliyeti, birim maliyeti ve toplam üretim süresi analiz edilmiş; en uzun süreli üretim tekniğinin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme, en kısa süreli üretim tekniğinin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en pahalı SYM üretim yönteminin IKONOS uydu görüntülerinden eş yükselti eğrisi değerlendirme, en ucuz yöntemin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en yüksek doğruluklu SYM'nin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve en düşük doğruluklu SYM'nin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme olduğu belirlenmiştir.

SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgilerinin beraber analiz edilmesi sonucu, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin optimum çözüm olduğu, ancak maksimum maliyet ve üretim

süresi ile minimum doğruluk kriterlerinin önem derecesine göre diğer optimum noktalarında belirlenebileceği görülmüştür.

Çalışma kapsamında SYM doğruluklarının çözünürlük ve eğime göre modellenmesinde polinom fonksiyonları kullanılmıştır. Doğruluk modellemesinde başka tür fonksiyonların da denenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Son yıllarda IfSAR ve Lidar teknolojilerinden SYM verilerinin elde edilmesi konusunda çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. İleriki çalışmalarda, SYM üretimine ilişkin kaynak veri olarak bu tekniklerin de doğruluk ve en uygun kullanım alanları açısından araştırılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ackermann, F. and Tsingas, V.**, 1994. Automatic Digital Aerial Triangulation, *Proceedings of ASPRS/ACSM Annual Convention*, Reno, 1-12.
- Ackerman, F.**, 1996. Techniques and Strategies for DEM Generation, Digital Photogrammetry, *An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, **6**, 135, USA.
- Agouris, P.**, 1992. *Multiple Image Multipoint Matching for Automatic Aerotriangulation, Dissertation*, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University.
- Alp, O.**, 1998. Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydöner, C. ve Maktav, D.**, 2006. Uydu Ve Yersel Veri Entegrasyonu İle Deprem Sonrası Arazi Örtüsü/Kullanımı Analizi, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik* **2**, 35-48.
- Bolstad, P. V. and Stowe, T.**, 1994. An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope and Aspect, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **60**, 1327-1332.
- Eker, O.**, 2000. Digital Topoğrafik Haritalar ile Digital Ortofoto Haritaların Doğruluk, Maliyet ve Üretim Zamanı Açısından Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdas Field Guide**, 1997. ERDAS Inc., Atlanta, USA.
- Erdoğan, M.**, 2000. Investigating The Effect Of Digital Elevation Model Accuracy On The Planimetric Accuracy Of Orthorectified Spot Imagery, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Finsterwalder, F., Çev. Aytaç, M., Altan, M.O., Örmeci, C.**, 1983. Fotogrametri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Fritsch, D.**, 1995. *Journal of Photogrammetry&Remote Sensing*, **49**, 1-118.
- Förstner, W.**, 1995. Matching Strategies for Point Transfer, *Proceedings Photogrammetric Week '95*, 173 – 183.

- Giles, P. T. and Franklin, S. E.**, 1996. Comparison of Derivative Topographic Surfaces of a DEM Generated From Stereoscopic SPOT Images With Field Measurements, *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, **62**, 1165-1171.
- Grodecki, J.**, 2001. Ikonos Stereo Feature Extraction - Rpc Approach, *ASPRS Congress*, St.Louis-Missouri.
- Gruen, A.**, 1988. Digital Photogrammetric Processing Systems Current Status and Prospects, *ISPRS88*.
- Gruen, A.**, 1998. DTM Generation and Visualization, *Symposium on Digital Photogrammetry*, İ.T.Ü., İstanbul.
- Heipke, C.**, 1990. Integration von Bildzuordnung, Punktbestimmung, Oberflächenrekonstruktion und Orthoprojektion innerhalb der digitalen Photogrammetrie, *PhD Thesis*, Institute of Photogrammetry, University of Technology of Munich, Deutsche Geodätische Kommission Volume 366.
- Heipke, C., Kornus, W., Strunz, G., Thiemann, R., Colomina, I.**, 1992. Automatic Photogrammetric Processing of SPOT Imagery For Point Determination and Orthoprojection, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **29**, 465-471.
- Heipke, C.**, 1996. Overview of Image Matching Techniques, *Official Publication*, OEEPE.
- Kaczynski, R., Majde, A., Ewiak, I.**, 2004. Accuracy of DTM and Ortho Generated from Ikonos Stereo Images, *ISPRS-2004 Congress*, İstanbul.
- Koch, K.R.**, 1985. Digitales Geländemodell Und Isolninen Zehehnung und der, *Topographic VR.37 Jg.Heft:1*.
- Kraus, K. and Waldhausl, P.**, 1993. *Photogrammetry*, Volume 1, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Kraus, K., Briese, C., Attwenger, M., Pfeifer, N.**, 2004. Quality Measures for Digital Terrain Models, *ISPRS-2004 Congress*, İstanbul.
- Lee, Y.G.**, 1985. Comparison of Planimetric and Height Accuracy of Digital Models, *Surveying and Mapping*, **45(4)**, 330-340.
- Lee, J., Snyder, P.K., Fisher, P.F.**, 1992. Modeling The Effect Of Data Errors on Feature Extraction from Digital Elevation Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **58**, 1461.
- Li, Z.**, 1994. A Comparative Study of The Accuracy of Digital Terrain Models (DTMs) Based On Various Data Models, *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, **49(1)**, 2-11.

- Özer, H.**, 1989. Sayısal Arazi Modeli Oluşturma Yöntemleri, *Harita Dergisi*, **102**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Sarbanoğlu, H.**, 1991. Coğrafi Bilgi Sistemleri için Veri Toplama Yöntemleri, *Harita Dergisi*, **106**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Schenk, A. F.**, 1996. Automatic Generation of DEM's, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 6, 145, USA.
- Shearer, J.W.**, 1994. The Accuracy of Digital Terrain Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **60**, 315-336.
- Torlegard, K.**, 1988. Some Photogrammetric Experiments with Digital Image Processing, ISPRS88.
- Toz, G.**, 1989. Sayısal Arazi Modelleri, *İTÜ Dergisi*, **47**, 2, İstanbul.
- Wolf, R.P.**, 1974. Elements of Photogrammetry, McGraw-Hill, KOGAKUSHA, LTD, Japan.
- <www.hgk.mil.tr>, Harita Genel Komutanlığı (en son ziyaret edilen tarih; 07 Nisan 2007).
- <www.sieurasia.com/fiyat_ikonos.htm>, İNTA SPACETURK (en son ziyaret edilen tarih; 07 Nisan 2007).
- <<http://www.geoserve.nl/productoverview.htm>>, Geoserve – Satellite Imagery (en son ziyaret edilen tarih; 07 Nisan 2007).
- <http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p336_ba582c667a21f3b7d1108ad9773629fdListePrix_Anglais.pdf>, SPOT Products & Services Price List (en son ziyaret edilen tarih; 07 Nisan 2007).

EKLER

EK-A

Tablo A.1: Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları

Çözünürlük (metre)	Hataların Ortalaması (metre)	Mutlak Hat. Ortalaması (metre)	KOH (metre)
1	0.04	0.61	± 1.1
2	0.01	1.29	± 2.2
4	-0.23	2.92	± 4.4
8	-1.25	6.35	± 8.3
16	-3.51	12.08	± 15.6
32	-7.57	21.63	± 28.0
64	-11.80	38.83	± 49.5
128	-24.48	66.42	± 80.8
256	-41.01	107.57	± 134.4

EK-B

Tablo B.1: Farklı eğim gruplarındaki SYM'lerin doğrulukları

Eğim (%)	Hataların Ortalaması (metre)	Mutlak Hat. Ortalaması (metre)	KOH (metre)
0-9	-0,36	6,25	± 7,76
10-19	-2,85	6,31	± 7,90
20-29	-2,35	8,13	± 13,40
30-39	-5,25	7,45	± 11,50
40-49	-1,73	4,99	± 7,31
50-59	-0,48	4,16	± 6,12
60-69	-0,14	4,25	± 5,87
70-79	-1,38	5,45	± 7,13
80-89	-1,14	6,10	± 7,92
90-99	-1,84	6,64	± 8,41
100-109	-1,21	6,99	± 8,69
110-119	-1,26	7,02	± 8,53
120-129	-1,34	6,99	± 8,18
130-139	-0,79	7,28	± 8,86
140-149	-0,75	7,76	± 9,91
150-159	-2,30	7,82	± 9,53

EK-C

Çözünürlük Ve Eğime Göre Sym Doğruluğunun Modellemesi Amacıyla Mathlab Yazılında Oluşturulan Dengeleme Programı

```
%d =load('16K.dat');  
d =load('35K.dat');  
  
A = [];  
W = [];  
  
for i=1:size(d,1)  
    x = d(i,1);  
    y = d(i,2);  
    z = d(i,3);  
  
    % 2 nci derece  
    A = [ A; 1 x y x*y x^2 y^2];  
  
    % Düzlem  
    % A = [ A; 1 x y];  
  
    W = [ W;-1*z];  
  
end;  
  
Cx = pinv(A'*A)  
  
delta = -1*Cx*A'*W  
  
rcap = A*delta+W;  
  
sdev = sqrt(diag(Cx,0))
```

EK-D**Tablo D.1:** Eğim ve çözünürlüğe göre yükseklik hataları

Nokta Yükseliği (metre)	Nokta Eğimi (%)	2 metre SYM	4 metre SYM	8 metre SYM	16 metre SYM	... metre SYM	160 metre SYM	192 metre SYM	224 metre SYM	256 metre SYM
1926.3	61	-0.68	0.86	3.72	13.5	...	35.68	37.06	-36.4	-0.3
1897.2	60	2.32	2.9	2.94	7.81	...	64.75	66.13	8.09	28.77
1559.2	7	9.82	10.95	11.02	10.45	...	98.06	105.1	96.16	98.29
1557.4	27	13.08	12.85	13.08	11.28	...	76.31	72.41	97.92	100.1
1555.1	5	15.06	15.01	15.02	14.12	...	78.6	74.7	100.2	102.3
1553.7	7	15.77	15.95	15.67	15.4	...	80.01	76.11	87.25	103.8
1534.1	6	5.28	6.04	4.43	7.61	...	109.5	-2.49	100.1	-2.5
1534.1	13	5.26	6.01	4.36	5.56	...	109.5	-2.49	100.1	-2.5
1533.3	11	6.49	6.72	7.25	13.11	...	110.4	-1.61	121	-1.62
1531.0	15	-0.5	-0.78	-0.8	-0.53	...	112.7	8.64	123.3	15.2
1529.9	4	0.3	0.52	-1.48	0.67	...	113.7	9.7	124.4	16.26
1529.9	6	-0.33	0.57	-1.41	-0.64	...	124.4	9.7	124.4	16.26
1529.0	10	0.29	1.19	0.9	1.96	...	125.3	10.58	125.2	17.14
1525.5	17	3.4	4.71	4.13	5.24	...	128.8	14.1	128.8	20.66
1523.2	9	-2.85	-3.15	-3.59	-3.46	...	131.1	16.39	131.1	22.95
1522.2	2	-1.84	-2.31	-1.79	8.06	...	132.2	17.45	132.1	24.01

1517.6	4	2.6	2.47	2.7	12.93	...	24.48	131.9	140.3	128.2
1517.6	3	2.18	2.67	1.13	2.88	...	24.48	131.9	140.3	128.2
1517.6	8	1.82	2.55	1.2	2.73	...	24.48	131.9	140.3	128.2
1516.0	50	3.96	4.23	4.24	4.05	...	26.06	133.5	141.9	129.8
1516.0	90	9.58	9.86	13.63	13.66	...	26.06	133.5	141.9	129.8
1514.2	5	5.16	6.18	3.93	3.07	...	48.91	135.2	143.6	131.6
...
2230.8	29	-12.5	-12.1	-12.7	-9.68	...	-33.1	-44.9	-91.2	109.7
2230.8	38	-13.2	-13.3	-12.5	-11.4	...	12.61	-44.9	37.82	109.7
2222.6	47	-9.02	-8.51	-5.69	-2.99	...	62.47	-15.9	46.06	90.11
2216.5	41	-10.2	-9.5	-7.07	-5.11	...	68.52	110.5	146.8	96.16
2210.5	46	-14.4	-13.8	-11.3	-10.2	...	68.94	109.5	145.2	102.2

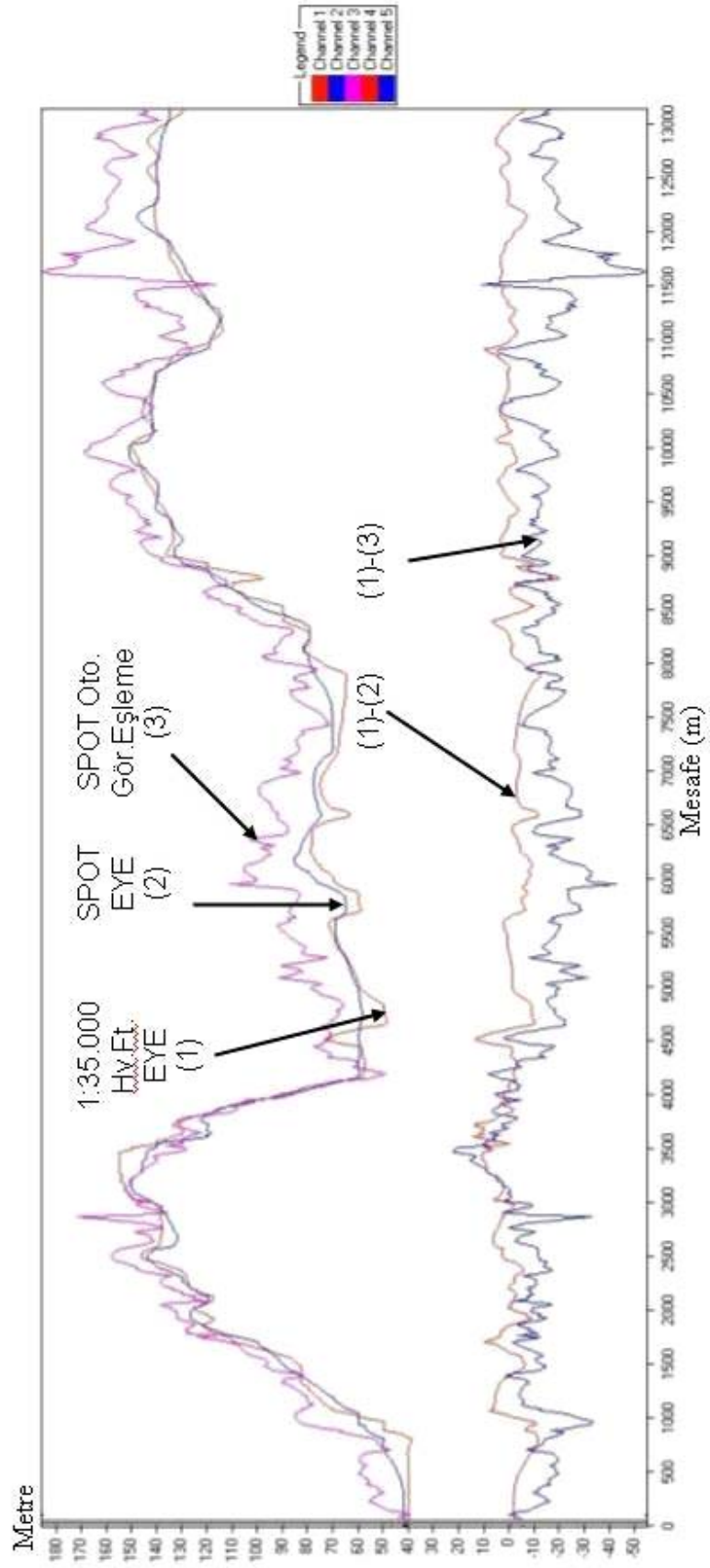
EK-E**Tablo E.1:** Farklı çözünürlüklerdeki SYM'lerin doğrulukları

Çözünürlük (metre)	Hataların Ortalaması (metre)	Mutlak Hat. Ortalaması (metre)	KOH (metre)
2	-6.5	7.4	± 6.8
4	-6.3	7.3	± 6.8
8	-6.0	7.0	± 6.8
16	-5.1	6.9	± 8.7
24	-3.9	7.4	± 10.0
32	-2.8	8.3	± 10.7
40	-1.7	9.9	± 13.1
48	-0.7	11.7	± 15.4
56	0.6	13.7	± 18.9
64	1.7	15.9	± 20.6
80	4.4	19.9	± 25.1
96	6.2	24.2	± 30.4
112	8.8	28.0	± 34.5
128	10.2	32.4	± 39.2
160	13.7	40.1	± 48.1
192	14.3	45.2	± 54.7
224	21.1	52.4	± 61.2
256	20.5	57.8	± 69.4

EK-F**Tablo F.1:** Eğim grupları ve çözünürlüklere göre SYM'lerin doğrulukları

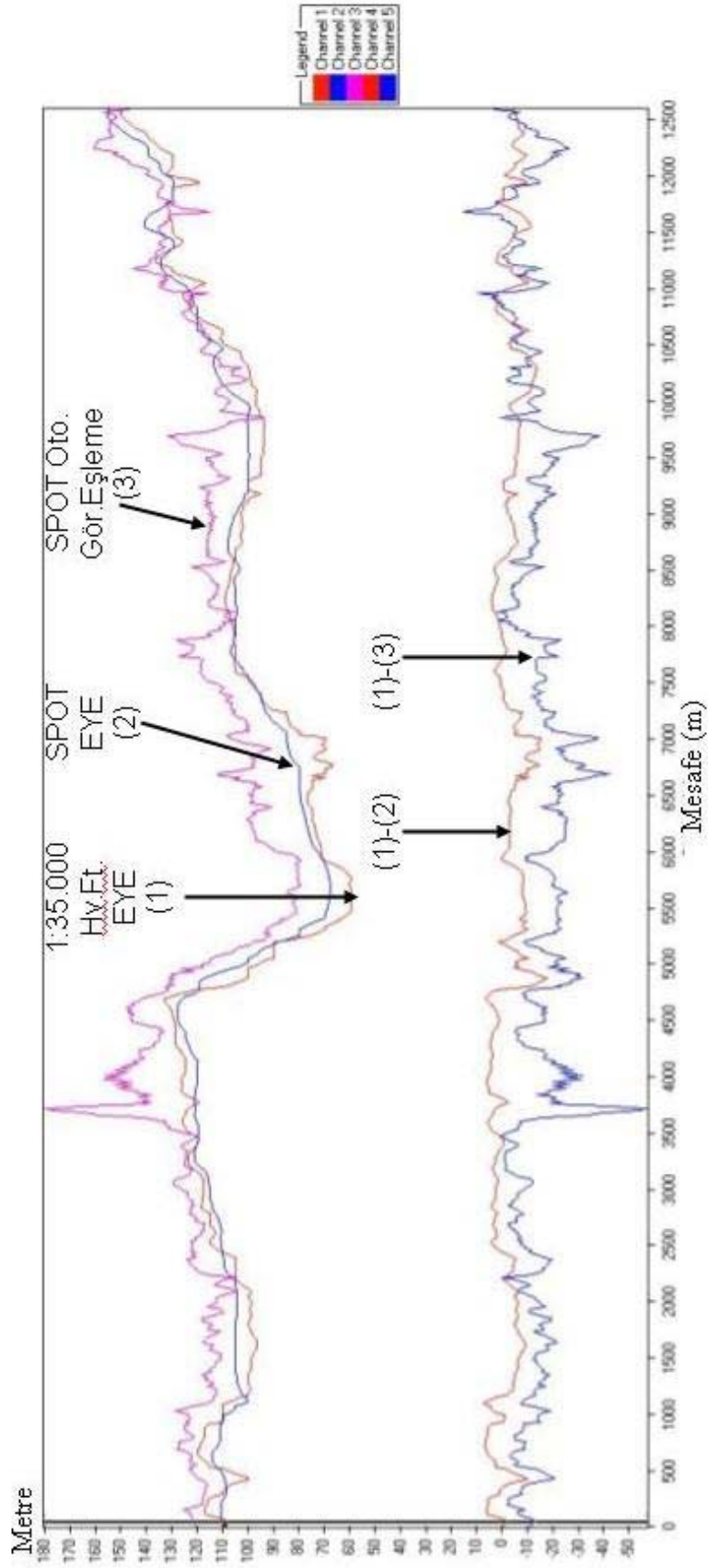
Eğim (%)	Çözünürlük (metre)										
	2	4	8	16	32	48	64	96	128	192	Ort
0-9	4.8	4.8	5.0	5.0	5.4	10.0	12.6	21.9	33.6	44.9	20.6
10-19	4.9	4.9	4.9	4.9	5.7	9.3	13.4	21.3	32.7	43.5	19.6
20-29	5.3	5.3	5.1	5.0	6.1	8.9	11.9	19.2	27.3	42.0	18.3
30-39	5.8	5.6	5.3	5.1	6.2	9.1	12.4	19.5	28.0	41.8	18.6
40-49	6.3	6.0	5.8	5.4	6.9	10.2	13.4	21.8	30.2	41.8	19.8
50-59	7.1	6.9	6.4	6.2	7.2	10.9	15.0	23.9	31.4	42.2	20.8
60-69	7.1	6.8	6.1	5.9	7.8	11.8	15.7	24.7	29.5	41.7	21.4
70-79	7.3	6.8	6.1	5.6	8.5	12.4	16.8	26.3	32.3	43.7	22.0
80-89	7.3	7.0	6.7	6.0	8.1	12.8	18.2	30.1	36.7	49.1	23.6
90-99	6.6	6.0	5.4	6.2	7.6	13.2	20.0	31.3	41.1	47.1	24.8
100-109	6.6	6.3	5.2	5.6	5.4	9.9	14.3	27.1	37.6	55.9	23.0
>109	10.2	9.7	9.7	6.7	8.4	13.7	15.0	19.9	26.5	34.3	20.9

EK-G



Şekil G.1 Doğu-Batı yönündeki kesit

EK-H



Şekil H.1 Kuzey-Güney yönündeki kesit

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ERDOĞAN, 1973 yılında Çorum ilinin Mecitözü ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Mecitözü Cumhuriyet İlkokulu'nda, orta öğrenimini Samsun Gülsüm Sami Kefeli Ortaokulu'nda 1987 yılında tamamladı. Aynı yıl Kuleli Askeri Lisesi'nde öğrenimine başladı ve 1991 yılında buradan mezun olarak Kara Harp Okulu'nda öğrenimine devam etti. 1995 yılında Kara Harp Okulu'ndan Harita Subayı olarak mezun olarak M.S.B. Harita Yüksek Teknik Okulu'nda iki yıl süreyle mühendislik öğrenimi gördü ve Harita Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 2000 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri bölümünde Yüksek Lisansını tamamladı.

1997 yılında Harita Yüksek Teknik Okulu'ndan mezun olduktan sonra Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi'nde göreve başladı, Fotogrametri Dairesi'nin farklı kademelerinde görev yaptıktan sonra halen aynı dairede Araştırma ve Uygulama Kısım Amiri olarak görevine devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babası olup İngilizce bilmektedir.