

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**RADARSAT-2 ULTRAFINE MODUNDAN ÜRETİLEN SAYISAL
YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUKLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Muhammed Ali DEMİR**

Anabilim Dalı : İletişim Sistemleri

**Programı : Uydur Haberleşmesi ve Uzaktan
Algılama**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**RADARSAT-2 ULTRAFINE MODUNDAN ÜRETİLEN SAYISAL
YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUKLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Muhammed Ali DEMİR
(705081010)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Eylül 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Eylül 2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fatmagül BATUK (YTÜ)
Doç. Dr. Elif SERTEL (İTÜ)**

EYLÜL 2010

Demir Ailesine,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama programında gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında, RADARSAT-2 ultrafine modundan elde edilen görüntülerden sayısal yükseklik modelleri üretilmiş ve doğrulukları değerlendirilmiştir.

Çalışmada öncelikle tez danışmanlığımı üstlenen ve tezimin her aşamasında bilgi ve birikimi ile beni yönlendiren, benden hoşgörüsünü ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Veri temini konusunda bana yardımcı olan ve bilgi birikimini benimle paylaşan Doç. Dr. Elif SERTEL'e teşekkür ederim.

Tez süresince benden yardımlarını ve ilgisini eksik etmeyen değerli arkadaşım Aybike SARAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitimim süresince bana her konuda tam destek veren aileme ve bana hayatlarıyla örnek olan tüm hocalarıma saygı ve sevgilerimi sunarım.

Eylül 2010

Muhammed Ali DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	2
1.2 Literatür Özeti	3
2. MATERYAL	9
2.1 Çalışma Alanı.....	9
2.2 Kullanılan Veriler.....	10
2.2.1 Uydu görüntüleri	10
2.2.2 Referans sayısal yükseklik modelleri.....	14
3. YÖNTEM.....	17
3.1 Sayısal Görüntü İşleme Yöntemleri	17
3.1.1 Radyometrik düzeltme	17
3.1.2 Geometrik düzeltme (Rektifikasyon).....	18
3.1.2.1 Rektifikasyon gerektiren durumlar ve rektifikasyon adımları	20
3.1.3 Yeniden örnekleme	21
3.1.3.1 En yakın komşuluk yöntemi	21
3.1.3.2 Bilineer enterpolasyon yöntemi	22
3.1.3.3 Kübik katlama yöntemi	22
3.2 Toutin'in Üç Boyutlu Parametrik Modeli (Toutin Modeli - TM).....	23
3.3 Rasyonel Fonksiyonlar Modeli (Rational Functions Model - RFM)	24
3.4 Stereo Radar Tekniği (Radargrametri)	26
3.5 Karesel Ortalama Hata (KOH)	29
4. UYGULAMA.....	31
4.1 Giriş.....	31
4.2 Geometrik ve Stereo Modellerin Oluşturulması	33
4.2.1 Toutin Modeli ile Geometrik ve Stereo Modelin Oluşturulması	33
4.2.2 Rasyonel Fonksiyonlar ile Geometrik ve Stereo Modelin Oluşturulması	38
4.3 Epipolar Görüntülerin Oluşturulması.....	41
4.4 Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulması	43
4.5 Sayısal Yükseklik Modellerinin Otomatik Olarak Düzeltilmesi.....	48
4.6 Doğrulukların Değerlendirilmesi	51
4.6.1 Yatay doğruluğun değerlendirilmesi.....	51
4.6.2 Düşey doğruluğun değerlendirilmesi	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65

KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model
DGPS	: Differential Global Positioning System
ED	: European Datum
GCP	: Ground Control Point
GPS	: Global Positioning System
GRS	: Geodetic Reference System
HRG	: High Resolution Geometric
HRS	: High Resolution Stereo
HRV	: High Resolution Visible
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging
RFM	: Rasyonel Fonksiyonlar Modeli (Rational Functions Model)
RMSE	: Root Mean Square Error
RPC	: Rational Polynomial Coefficients
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAR	: Synthetic Aperture Radar
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TM	: Toutin Modeli (Toutin's Model)
YKN	: Yer Kontrol Noktası

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : RADARSAT-2 ultrafine ışın modları için mekansal çözünürlük ve bakış açısı bilgileri.	12
Çizelge 2.2 : IKONOS uydusu yörünge özellikleri.	14
Çizelge 2.3 : IKONOS algılayıcı özellikleri.	14
Çizelge 4.1 : Stereo model sonucundaki artık hatalar.	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışma alanının konumu.....	9
Şekil 2.2 : (a) RADARSAT-2 U7 görüntüsü, (b) RADARSAT-2 U26 görüntüsü. ..	11
Şekil 2.3 : RADARSAT-2 ışın modları.....	13
Şekil 2.4 : 1 m çözünürlüklü IKONOS İstanbul görüntüsü.....	13
Şekil 2.5 : (a) İstanbul Avrupa yakası SYM, (b) İstanbul Anadolu Yakası SYM.....	15
Şekil 3.1 : En yakın komşuluk yöntemi ile yeniden örnekleme.	21
Şekil 3.2 : Bilineer Enterpolasyon yöntemi ile yeniden örnekleme.	22
Şekil 3.3 : Kübik katlama yöntemi ile yeniden örnekleme.....	23
Şekil 3.4 : Aynı yönlü stereo SAR görüntüleme geometrisi.	27
Şekil 3.5 : Bir adet yer kontrol noktası için KOH.	30
Şekil 4.1 : SYM oluşturulmasında iş akış diyagramı.	32
Şekil 4.2 : Anadolu Yakası sayısal yükseklik modelinin afin dönüşümü.	35
Şekil 4.3 : (a) U26 görüntüsündeki nokta dağılımı, (b) U7 görüntüsündeki nokta dağılımı.....	38
Şekil 4.4 : Yer kontrol noktası gerektirmeyen RFM.	39
Şekil 4.5 : (a) U26 görüntüsündeki nokta dağılımı, (b) U7 görüntüsündeki nokta dağılımı.....	40
Şekil 4.6 : Epipolar görüntü geometrisi.....	41
Şekil 4.7 : PCI yazılımında epipolar görüntülerin oluşturulması.	42
Şekil 4.8 : PCI yazılımında otomatik SYM oluşturma seçimi.	44
Şekil 4.9 : Otomatik SYM oluşturulurken girilen parametreler.	45
Şekil 4.10 : PCI yazılımında epipolar SYM'nin koordinatlandırılması.	46
Şekil 4.11 : (a) Ham SYM1, (b) Ham SYM2.....	47
Şekil 4.12 : ArcGIS yazılımında İstanbul Boğazı'nın SYM'lerden otomatik olarak çıkartılması.....	49
Şekil 4.13 : (a) Düzeltilmiş SYM1, (b) Düzeltilmiş SYM2.....	51
Şekil 4.14 : Profil 1'in konumu ve yükseklik değerleri.	53
Şekil 4.15 : Profil 2'nin konumu ve yükseklik değerleri.....	54
Şekil 4.16 : Profil 3'ün konumu ve yükseklik değerleri.....	55
Şekil 4.17 : Profil 4'ün konumu ve yükseklik değerleri.....	56
Şekil 4.18 : Profil 5'in konumu ve yükseklik değerleri.....	56
Şekil 4.19 : Profil 6'nın konumu ve yükseklik değerleri.....	57
Şekil 4.20 : Profil 7'nin konumu ve yükseklik değerleri.....	58
Şekil 4.21 : Profil 8'in konumu ve yükseklik değerleri.....	59
Şekil 4.22 : Profil 9'un konumu ve yükseklik değerleri.....	59
Şekil 4.23 : Profil 10'un konumu ve yükseklik değerleri.....	60
Şekil 4.24 : Profil 11'in konumu ve yükseklik değerleri.....	61
Şekil 4.25 : Profil 12'nin konumu ve yükseklik değerleri.....	62
Şekil 4.26 : Profil 13'ün konumu ve yükseklik değerleri.....	63
Şekil 4.27 : Profil 14'ün konumu ve yükseklik değerleri.....	63

Şekil 4.28 : Profil 15'in konumu ve yükseklik değerleri 64

RADARSAT-2 ULTRAFINE MODUNDAN ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yeryüzü topoğrafyasının sayısal temsilidir. SYM'ler uzaktan algılama teknikleri, arazi ölçmeleri ve topoğrafik haritaların sayısallaştırılmasıyla oluşturulabilirler fakat uzaktan algılama teknikleri ile hızlı ve ekonomik veri elde edildiği için bu yöntem geleneksel yöntemlere göre daha niteliklidir. Hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin retrifikasyonu, 3 boyutlu görselleştirme, kabartma haritalarının oluşturulması, su akışı ve yer hareketlerinin modellenmesi, arazi parametrelerinin çıkarımı SYM'lerin yaygın kullanım alanlarındandır.

Bu çalışmanın amacı RADARSAT-2 stereo görüntü çiftinden üretilen radargrametrik SYM'lerin doğruluğunu ve güvenilirliğini araştırmaktır. Bunun için İstanbul bölgesini kapsayan (20x20km), alçalan yörüngede, HH polarizasyonda, SGF formatındaki U7 ve U26 ultrafine modundaki RADARSAT-2 görüntüleri temin edilmiştir. U7 ve U26 görüntüleri sırasıyla yakın-uzak menzillerde 34.00-35.30 ve 48.50-49.50 derecelik bakış açılarıyla 2 Ağustos 2009 ve 30 Temmuz 2009 da algılanmıştır. Çalışmadaki başlıca SYM oluşturma aşamaları; stereo model oluşturma, epipolar görüntülerin oluşturulması, görüntü eşleme ve SYM düzeltme şeklindedir.

Stereo modeli oluşturmak için kullanılan yer kontrol noktalarının yatay (X, Y) koordinatları 1m çözünürlüklü IKONOS ortomozaik İstanbul görüntüsünden, yükseklik değerleri ise 1:5000 ölçekli topoğrafik haritalardan oluşturulan 3 m grid boyutundaki referans SYM'den elde edilmiştir. Radargrametrik SYM'ler, Rasyonel Fonksiyonlar Modeli (RFM) ve Toutin'in 3 boyutlu fiziksel modeli (TM) kullanılarak kurulan stereo modelden sonra otomatik olarak oluşturulmuştur. Sonuç olarak Karesel Ortalama Hata (KOH) değerlerine bakıldığında; TM ile üretilen SYM

yatayda (X-Y) 1.73 m, dūşeyde (Z) 9 m, RFM ile üretilen SYM yatayda 3.04 m ve dūşeyde 42 m dođruluđa sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Yükseklik Modeli, Rasyonel Fonksiyonlar Modeli, Karesel Ortalama Hata, RADARSAT-2.

ACCURACY ASSESSMENT OF RADARGRAMMETRIC DEMs DERIVED FROM RADARSAT-2 ULTRAFINE MODE

SUMMARY

A Digital Elevation Model (DEM) is a digital representation of ground surface topography. DEMs can be generated using remote sensing techniques, land surveying or digitizing of topographical maps, however, remote sensing methods are superior to conventional methods since fast and economic data acquisition are possible with remote sensing. Common uses of DEMs include; rectification of aerial photography or satellite imagery, rendering of 3D visualizations, creation of relief maps, modeling water flow or mass movement, extracting terrain parameters.

The aim of this study is to investigate the accuracy and reliability of radargrammetric DEMs generated from RADARSAT-2 stereo pairs. Two ultrafine mode images U7 and U26 were acquired over an area in Istanbul (20x 20km) from descending orbit, HH polarization, in SGF format. U7 and U26 were taken on August 2, 2009 and July 30, 2009 with view angles of 34.00-35.30 and 48.50-49.50 at the near-far edges, respectively. The main project steps for DEM generation were; stereo model set up, creating epipolar images, image matching and DEM editing.

In order to set up the stereo model, planimetric coordinates (X, Y) of ground control points (GCPs) were obtained from 1m resolution IKONOS orthomosaic İstanbul image and elevation values of GCPs were obtained from a reference DEM created from 1:5000 scaled topographic maps and having 3 m grid size. After the setting up the stereo model with Toutin's 3D physical model (TM) and Rational Functions Model (RFM), radargrammetric DEMs were generated automatically. Root Mean Square Error (RMSE) values show that; DEM derived from TM has 1.73 m horizontal (X-Y) and 9 m vertical (Z) accuracy, DEM derived from RFM has 3.04 m horizontal and 42 m vertical accuracy.

Keywords: Digital Elevation Model, Rational Functions Model, Root Mean Square Error, RADARSAT-2.

1. GİRİŞ

Yeryüzünün şekli, düzensiz 3 boyutlu kapalı bir şekil olmasından dolayı eski çağlardan beri araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bu durumda yeryüzünün şeklinin tanımlanması ancak sonsuz sayıda nokta ile mümkün olabilmektedir. Yerbilimciler belirli sayıda nokta kullanarak yeryüzünün bütünü veya bir bölümünün topoğrafyasının modellenebilmesi için çalışmışlardır (Yanalak ve diğ., 2008). Kısaca, yeryüzünün sayısal temsili olarak tanımlanabilecek Sayısal Arazi Modeli (SAM) çalışmaları ilk olarak 1950'li yıllarda ABD'de karayollarına yönelik olarak en-boy kesitlerinin hesap ve çizimlerinin yapılması gibi dar uygulama alanı içinde kalmakla birlikte, günümüzde bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, haritacılık, tıp, mimarlık, arkeoloji, hidroloji, telekomünikasyon, turizm, inşaat, madencilik, ziraat, morfoloji, çevre ve benzeri birçok disiplin içerisinde yoğun bir şekilde uygulanmaktadır (Yomralıoğlu, 2005).

Literatürde SAM'ler için birçok isim ve tanım yer almaktadır. SAM aynı zamanda Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), sayısal yüzey modeli olarak da bilinmektedir. Farklı disiplinler, yükseklik dışında eklenen bilgilere bağlı olarak Sayısal Kent Modeli, Sayısal Şehir Modeli ve benzeri isimler de kullanmışlardır. Bu çalışmada genellikle Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) terimi kullanılmıştır.

Sayısal yükseklik modelleri konumsal analizlerde kullanılan en önemli verilerdendir. Çünkü sayısal yükseklik modelleri kullanılarak farklı çalışmalarda kullanılacak eğim, bakı, üç boyutlu modeller gibi pek çok alt bilgi kolaylıkla türetilmektedir. Bu yüzden, SYM'ler, mekânsal veri ile ilgilenen pek çok araştırma geliştirme programının önemli bir parçası olmuştur (Toutin, 2002).

Sayısal yükseklik modelleri, genellikle yersel ölçmelerle ve topoğrafik haritaların sayısallaştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Yersel ölçme yöntemi çok zaman alan ve maliyeti yüksek bir yaklaşımdır. Ayrıca büyük ve erişilmesi zor olan alanlar için yetersiz kalmaktadır. Sayısal arazi modeli oluşturmada tüm bu geleneksel yöntemlerin yerini artık uydulardan çekilen stereo görüntülerden oluşturulan

modeller almaktadır. Günümüzde çok sayıda uydu, istenilen bölgelerin stereo görüntülerini çekebilmektedir.

Uydulardan elde edilen stereografik görüntüleri kullanarak global sayısal yükseklik modeli üretilmesi, 1986 yılında the Systeme P'our L'Observation de la Terre (SPOT) uydu serilerinin fırlatılmasıyla birlikte kullanılmaya başlanmıştır. SPOT uydusundan algılanan görüntüler sağladıkları yüksek doğruluk nedeniyle birçok çalışmada kullanılmıştır. Ancak düşük mekânsal çözünürlük nedeniyle bazı durumlarda yetersiz kalmıştır. Daha sonra ASTER uydusu sağladığı daha iyi derecede çözünürlük ve stereo görüntü yeteneği ile birçok çalışmada kullanılmaya başlamıştır (Yanalak ve diğ., 2008). Bunlardan sonra fırlatılan ve mekânsal çözünürlükleri 1 m ve daha yüksek olan uydulardan elde edilen stereo görüntülerle SYM'ler daha hassas bir şekilde üretilmeye başlamıştır. Bu gelişmeler beraberinde radar algılayıcılarından elde edilen görüntüler kullanılarak da sayısal arazi modeli üretilmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. Özellikle RADARSAT-1 uydusunun fırlatılmasından sonra radar görüntüleri ile SYM araştırmaları büyük bir ivme kazanmıştır. Ayrıca RADARSAT-1'in devamı olan ve 3 m'ye kadar mekânsal çözünürlük sağlayan RADARSAT-2 uydusunun fırlatılmasından sonra araştırmacıların radar algılayıcılardan elde edilen görüntülerden SYM oluşturmaya olan ilgileri daha da artmıştır.

Uydu teknolojilerindeki hızlı gelişime bağlı olarak uydu görüntülerinden SYM elde edilmesiyle doğruluk kavramı daha da önem kazanmıştır. Uydu verilerinden üretilen SYM'lerin doğruluğu ve güvenilirliği kullanılabilirliğin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı disiplinler, araziye ait bilgilere farklı doğruluk değerlerinde ihtiyaç duyduğundan, uydu verilerinden elde edilen SYM'lerin doğruluklarının araştırılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, RADARSAT-2 uydusundan elde edilmiş, kapsadığı alan İstanbul il sınırları içerisinde olan, bir çift stereo görüntüden SYM'ler oluşturmak ve doğruluklarını araştırmaktır. Bu amaçla, ilk aşamada görüntülerin rektifikasyonu ve stereo model oluşturulması için görüntüler üzerinde tanımlanabilecek yer kontrol noktaları belirlenmiştir. Bu noktaların yatay (X, Y) koordinatları 1 m çözünürlüklü IKONOS ortomozaik İstanbul görüntüsünden, yükseklik değerleri ise 1:5000 ölçekli

topoğrafik haritalardan oluşturulan, yaklaşık 1 m düşey doğrulukta ve 3 m grid boyutundaki SYM'lerden elde edilmiştir. Geometrik ve stereo model, Toutin'in Kanada Uzaktan Algılama Merkezi'nde geliştirilen üç boyutlu fiziksel modeli ve Rasyonel Fonksiyon Modeli (Rational Functions Model, RFM) kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra SYM'ler oluşturulup otomatik SYM düzeltme teknikleriyle düzeltilmişlerdir. Son aşamada ise oluşturulan SYM'lerin konum doğruluğunu araştırmak için yer kontrol noktalarının ve test noktalarının karesel ortalama hataları (KOH) analiz edilmiştir. Ayrıca yükseklik değerlendirmesi için, oluşturulan SYM'ler, referans olarak kullanılan SYM ile karşılaştırılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Uydu verilerinden üretilen SYM'lerin doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılabilirliğin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gelişen bilgisayar ve uydu teknolojileriyle beraber, hem optik hem de radar uydu görüntülerinden oluşturulan SYM'lerin doğrulukları ve kullanılabilirliği ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, literatürdeki çalışmaların bazıları özetlenmiştir.

Oliveira ve Paradella (2008), Amazon bölgesine ait topoğrafik bilginin üretilmesinde RADARSAT-1, SRTM-3 ve ASTER uydu verilerini kullanmışlardır. Üretilen SYM'lerin doğruluğunun analizi için biri dağlık, biri ise düz arazi yapısında olan iki test alanı seçmişlerdir. DGPS yöntemi ile ölçülen arazi noktalarının bir kısmı SYM üretiminde yer kontrol noktaları olarak, bir kısmı ise doğruluk analizinde test noktaları olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde; düz alanlarda SRTM-3 ve RADARSAT-1 verisi ile üretilen SYM'nin Brezilya harita standartları kapsamında 1:100000 ölçeği için yeterli doğruluğa ulaştığı, dağlık alanlarda ise SRTM-3 ve ASTER verisi ile üretilen SYM'lerin yaklaşık aynı doğruluk derecesinde, ilgili standartları sağladığı sonucuna varılmıştır. Bölgenin yoğun yağış almasından dolayı optik verinin elde etme güçlükleri de göz önünde bulundurarak SRTM-3 verisinin uygun olduğuna karar verilmiş ve daha büyük ölçekli çalışmaların; PALSAR, TerraSAR-X ve RADARSAT-2 gibi verilerle gerçekleştirilmesi tavsiye edilmiştir.

Peng ve diğ. (2005), RADARSAT-1 verisinden ürettikleri SYM'yi kullanarak dağlık karakteristiğe sahip çalışma alanlarına ait eğim, yükseklik ve bakı parametrelerini üretmişlerdir. Bu parametreleri uydu verilerinin sınıflandırılması aşamasında

otomatik yapay sinir ağları sınıflandırıcı algoritmaya tanıtılarak ürettikleri arazi kullanım analizinde doğruluğu % 44 oranında artırdıklarını saptamıştır.

Büyüksalih ve diğ. (2004), TK350 stereo görüntüleri ile ürettikleri SYM üzerinde yaptıkları doğruluk analizinde; yatayda 10 m ve yükseklikte 17 m doğruluk elde etmişlerdir.

Toutin (2004b), 48 bağımsız kontrol noktasının koordinatlarını 1:40000 ölçekli stereo hava fotoğraflarından elde ederek QUICKBIRD stereo uydu görüntülerinden elde edilen SYM ile karşılaştırmıştır. Ayrıca, SYM ile LIDAR verisinden elde edilen SYM karşılaştırılmış, sonuçta yüksekliğe ve detay çeşitlerine göre 3.4-6.7 m arasında farklar ortaya çıkmıştır.

Toutin (2004a), üç boyutlu fiziksel model kullanarak yüksek çözünürlüklü SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II ve QuickBird görüntülerinden sayısal yükseklik modelleri oluşturarak, bu modellerin doğruluklarını test etmiştir. Stereo görüntülerden üretilen yükseklik modelleri LIDAR verisi ile çok ölçekli çapraz korelasyon tekniği kullanılarak kıyaslanmış ve % 68 güven aralığı içerisinde SPOT, EROS, IKONOS ve Quick-Bird görüntülerinin üçüncü boyuttaki doğrulukları sırasıyla 6.5, 20, 6.4, ve 6.7 m olarak hesaplanmıştır.

Koç ve Türker (2005), yüksek konumsal doğrulukta Yer Kontrol Noktalarının (YKN) kullanılması ile IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden karesel ortalama hatası ± 0.5 m ile ± 0.7 m arasında olan SYM oluşturulabildiğini göstermiştir.

Chen ve diğ. (2007), Malezya'nın tropikal ormanlık bölgesi için, RADARSAT-1 verisi ile radargrametri yöntemini kullanarak SYM üretimi gerçekleştirmişlerdir. Wide, standart ve fine olmak üzere üç farklı modda alçalan ve yükselen olmak üzere iki farklı yörüngede elde edilen verilerden üretilen SYM'lerin doğruluğu; algılayıcı modu ve geometrisi, yüzeyin topoğrafik yapısı ve eğim özellikleri göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. Sonuçlar stereo çiftin kesişme açısının sonuç ürünün doğruluğunu etkilediğini, büyük kesişim açısının düz alanlarda doğruluğu artırdığını, yeryüzü eğimi arttıkça doğruluğun azaldığını, bu azalışın büyük kesişim açılarında daha hızlı gerçekleştirdiğini, bu sebeple düz alanlarda yüksek kesişim açılı, orta ve yüksek alanlarda ise düşük kesişim açılı çiftlerin kullanımının uygun olduğu ortaya konmuştur.

Cuartero ve diğ. (2005), otomatik SYM üretim metodu ile ürettikleri SYM'lerde doğruluk araştırması gerçekleştirmişlerdir. SPOT verisi ile üretilen 91 SYM ve ASTER verisi ile üretilen 55 SYM, 315 adet DGPS yöntemi ile ölçülmüş test noktası kullanılarak doğruluk analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlara bakıldığında; SPOT HRV'den üretilen SYM'ler için konum doğruluğu 7.3 m, ASTER verisi ile üretilen SYM'ler için 13 m olarak tespit edilmiştir. Bu ve Z KOH değeri ile 1 pikselden daha iyi doğrulukta SYM oluşturulabileceği ortaya konmuştur.

Yanalak ve diğ. (2008), OrbView-3 ve IKONOS görüntülerinden üretilen SYM'lerin doğruluğunu ve bu doğruluğun karşılık geldiği harita ölçeğini araştırmışlardır. 40 tane yer kontrol noktası kullanarak oluşturdukları SYM'nin doğruluğunu 182 adet test noktası kullanarak araştırmışlardır. OrbView-3 ve IKONOS uydu görüntülerinden üretilen SYM'ler için yükseklik değerlerinin KOH'sını ± 1.0 m olarak bulmuşlardır. Bu değere karşılık gelen harita ölçeğini ise 1:5000 olarak ifade etmişlerdir.

Toutin (2002), Kanada'da yaptığı çalışmada, farklı topoğrafyaya sahip 3 çalışma alanından alınmış 16 tane RADARSAT-1 stereo görüntüsünden elde edilen 11 stereo çiftini (fine, standard, extended) kullanarak 3 boyutlu fiziksel ve otomatikleştirilmiş görüntü eşleme tekniğini ile oluşturulan SYM'lerin doğruluklarını arazinin eğimi ve bakışının bir fonksiyonu olarak değerlendirmiştir. Farklı topoğrafyaya sahip çalışma alanından olan engebeli bölge; yüksekliği ortalama 450 m civarındadır ve eğimi 5-30 derece arasında değişmektedir, dağlık bölge; yüksekliği 1800 m civarındadır, eğimi ise 10-50 derece arasındadır, oldukça yüksek ve dik bölge; yüksekliği 2000 m civarındadır ve eğimi 20-60 derece arasında değişmektedir. Doğruluğu araştırmak için referans topoğrafik SYM'leri 1. ve 2. bölge için; 10 m düşey doğruluğa sahip 1:50000 ölçekli hava fotoğraflarından, 3 bölge için; 10 m düşey doğruluğa sahip 1:20000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulmuştur. Sonuçları araştırmak için 5^0 aralıklarla eğim, 15^0 aralıklarla 24 tane bakı sınıfı oluşturmuştur. Her bir sınıfta, radargrametrik SYM'lerin doğruluğu topoğrafik SYM'lerle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, radargrametrik SYM'lerin doğruluğunun arazinin eğimiyle korelasyonlu olduğunu göstermektedir. Herhangi bir stereo çifti için engebesi az olan yerlerde bakı ile SYM doğruluğu arasında belirli bir eğilim olmadığını saptanmıştır. Arazinin eğimi arttıkça, bakı farklılığına göre de yükseklik doğruluklarının varyasyonlarının

arttığını gözlemlemiştir. Genel olarak arazinin eğiminin çok dik olduğu yerlerde, bakı ne olursa olsun yükseklik doğruluklarının oldukça düştüğünü belirlemiştir.

Toutin ve Chenier (2009), Kanada'nın Quebec şehrinin kuzey bölümünde yaptığı çalışmada, RADARSAT-2 ultrafine modundaki U2 ve U25 (yaklaşık 3 m çözünürlük), alçalan yörüngeden elde edilen görüntülerinden oluşturduğu 3 boyutlu radargrametrik modelin RADARSAT-2'ye uygulanabilirliğini ve doğruluğunu araştırmıştır. Doğruluğu araştırmak için kullandığı referans veriler ise 1 m hassasiyette ve 1 m piksel aralıklı ortofotolar ve 1:20000 ölçekli topoğrafik haritadan oluşturulmuş, düşey doğruluğu yaklaşık 5 m olan SYM'lerden oluşmaktadır. Toutin bu çalışmada geometrik modeli radargrametri modeliyle monoskopik ve stereoskopik olarak farklı sayıda yer kontrol noktası ve test noktasıyla oluşturmuş ve karşılaştırmıştır. Yaptığı tüm testlerde elde ettiği en iyi sonuçlara bakıldığında 2 boyutlu konumlamada, x-y yönünde 2 m civarında, 3 boyutlu konumlamada x-y yönünde 1 m civarı ve z yönünde 2 m civarında tatminkar sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

Toutin (2006), Kanada'nın Quebec şehrinin kuzey bölümünde yaptığı çalışmada, SPOT-5 HRS (10 m çözünürlüklü) ve HRG (5 m çözünürlüklü) görüntülerinden oluşturduğu SYM'leri hassas LIDAR verisiyle değerlendirmiştir. Öncelikle stereo modeli stereo demet dengelemesi modeliyle oluşturmak için HRS ve HRG için sırasıyla 200 ve 105 yer kontrol noktası toplamıştır. Bunların koordinatlarının 1:20000'lik topoğrafik haritadan 3 düzlemde de 2-3 m KOH ile alındığını ve görüntüde işaretlemenin 1 pikselden daha az olduğunu belirtmiştir. Daha sonra modeli iyileştirmek ve veri girişinde yapılan hataları minimize etmek için en küçük kareler demet dengelemesi işlemini 10 tane yer kontrol noktası ve farklı sayıda test noktaları kullanılarak uygulamıştır. Sonuç olarak oluşturulan SYM'ler yatayda 0.2 m, düşeyde ise 0.3 m'lik LIDAR verisiyle karşılaştırıldığında HRS ve HRG için genel yükseklik hatası %68 güven aralığında sırasıyla 5.2 m ve 6.5 m olduğunu göstermiştir.

Toutin (2000), Kanada'nın Rocky Dağlar'ında yaptığı çalışmada, RADARSAT-1 uydusunun fine modundan, 6.25 m çözünürlüklü, alçalan yörüngede 8 derece kesişme açısıyla F1 ve F5, yükselen yörüngede 4 derece kesişme açısıyla F2 ve F4 stereo çiftlerinden oluşturulan SYM'lerin doğruluğunu araştırmıştır. Yer kontrol noktalarının toplanması ve doğruluk karşılaştırılmasının yapılacağı referans veri ise

1:50000'lik hava fotoğraflarından 10 m eşyüksekti eğrili aralıklarla oluşturulan topoğrafik SYM'den sağlanmıştır. Oluşturulan SYM'lere bakıldığında F1-F5 çiftinin daha iyi bir kesişim açısına sahip olmasına karşın diğer çifte göre sadece %10-15 oranında daha doğru olduğu ortaya çıkmıştır. Daha önceden yapılmış araştırmalarda 8 dereceden daha düşük kesişim açılarının kullanılmamaları önerilmesine rağmen, F2-F4 stereo çifti, 60 derece eğime ulaşan yüksek engebeli alanda, %73 güvenilirlik düzeyinde 28 m doğruluk sağlamıştır. Eğimi 20 dereceden az olan yerlerde, radyometrik uyumsuzluklar az ve güçlü geometrinin iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Eğimin 20 dereceden fazla olduğu yerlerde, F1-F5, F2-F4'den çok farklı ya da önemli derecede değişik sonuçlar vermediğini gözlemlemiştir.

Literatürde yapılan bu çalışmalar ve burada ele almadığımız birçok çalışma bulunmaktadır. Uydu ve bilgisayar teknolojileri gün geçtikçe ilerleme gösterdiği için uydulardan üretilen SYM'lerin doğruluğunu araştırmak için her geçen gün farklı yöntemler kullanılarak farklı doğruluk değerlendirme çalışmaları devam etmektedir.

2. MATERYAL

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı İstanbul il sınırları içerisindeki 20x20 km’lik bir alana karşılık gelmektedir (Şekil 2.1). Bu alan içerisinde yükseklik; deniz seviyesinden başlayıp, yaklaşık olarak 320 m’ye kadar ulaşmaktadır. Genel olarak çalışma alanı; kentsel ve kırsal yerleşimlerden, ormanlık ve tarım alanlarından ve su yüzeylerinden oluşmaktadır.

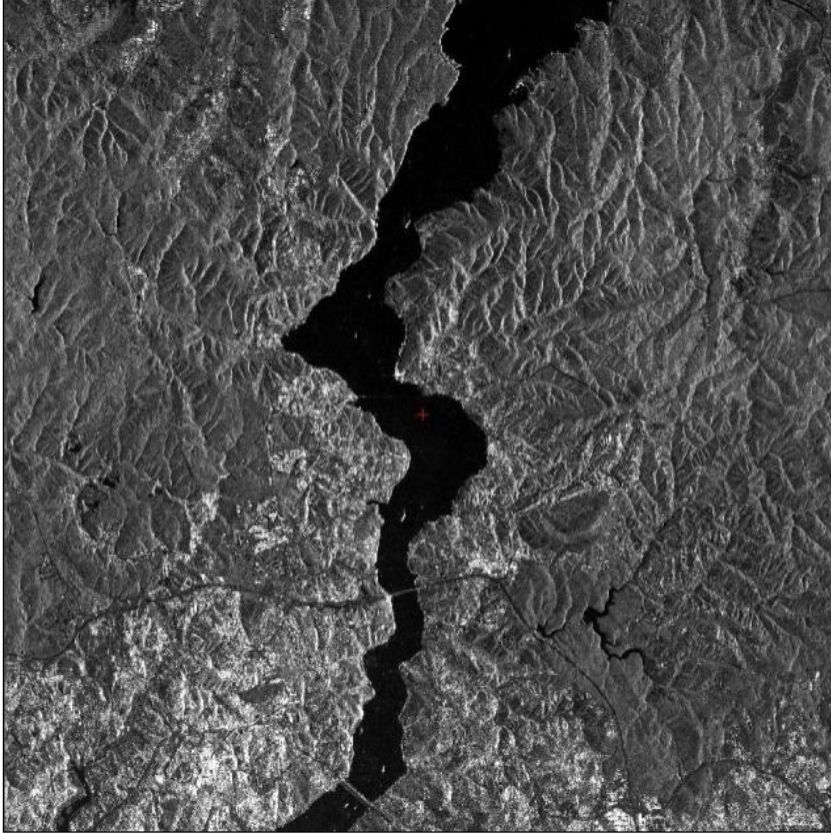


Şekil 2.1 : Çalışma alanının konumu.

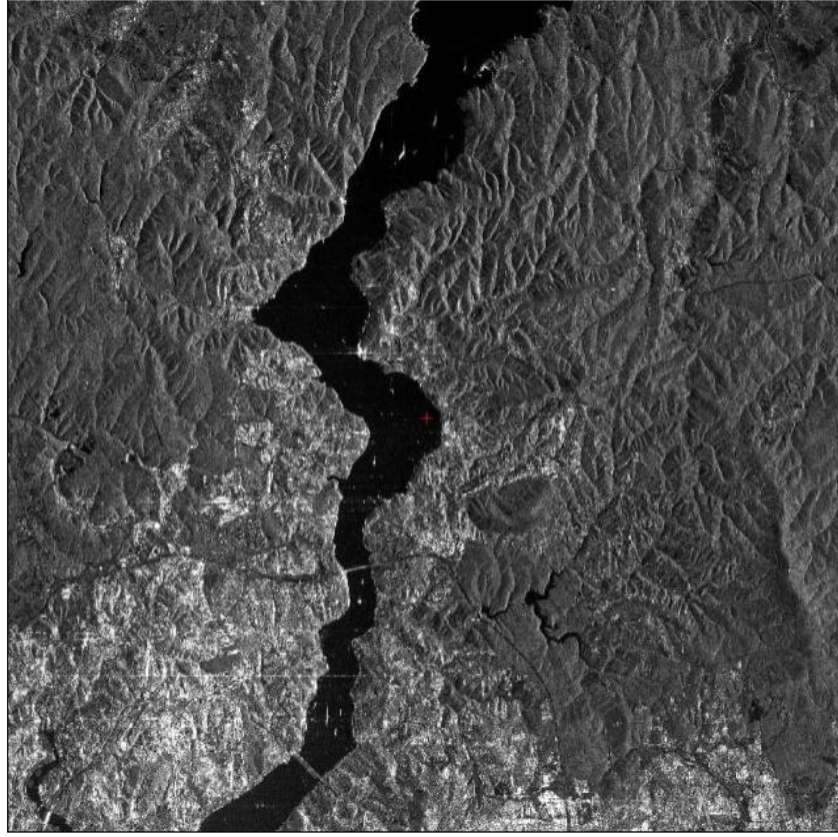
2.2 Kullanılan Veriler

2.2.1 Uydu görüntüleri

Bu çalışmada SYM oluşturmak için; İstanbul şehrinin belli bir bölümünü kapsayan, alçalan yörüngede, HH polarizasyonda, SGF formatındaki U7 ve U26 ultrafine ışın modundaki RADARSAT-2 görüntüleri kullanılmıştır. U7 ve U26 görüntüleri sırasıyla yakın-uzak menzillerde 34.00-35.30 ve 48.50-49.50 derecelik bakış açılarıyla 2 Ağustos 2009 ve 30 Temmuz 2009'da algılanmıştır. Görüntülerin konumsal çözünürlükleri normalde U7 için 2.8 m, U26 için 2.1 m'dir. Fakat görüntüler, piksel aralığı her ikisi için 1.56 m'ye örneklenmiş olarak temin edilmiştir. Görüntülerin kapsadıkları alan her biri için 20x20 km'lik bir alana karşılık gelmektedir. U7 ve U26 görüntüleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. RADARSAT-2'nin ultrafine ışın modu görüntüleri için mekânsal çözünürlük ve bakış açısı bilgileri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Url-1, 2010).



(a)



(b)

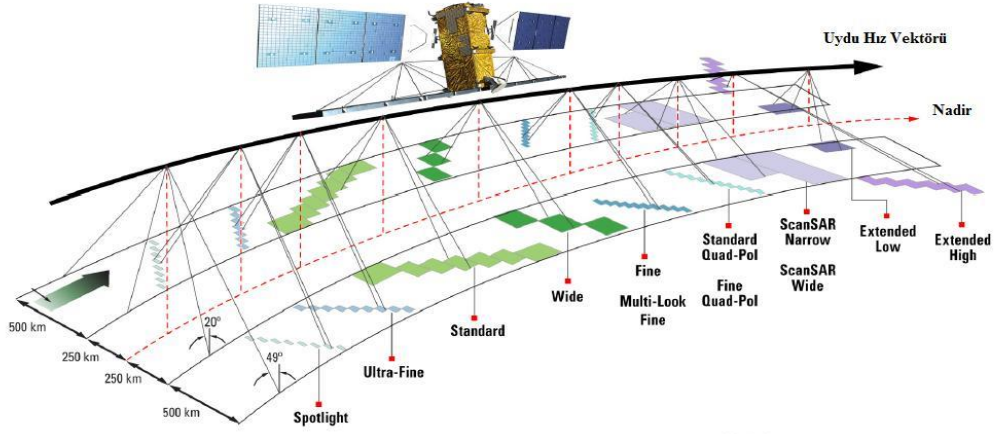
Şekil 2.2 : (a) RADARSAT-2 U7 görüntüsü, (b) RADARSAT-2 U26 görüntüsü.

Çalışmada kullanılan RADARSAT-2 uydusu, Kanada Uzay Ajansı ve MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) tarafından 2007 Mart ayında Kazakistan Baikonur'dan fırlatılmıştır ve görev süresi minimum 7 yıldır. RADARSAT-1'in devamı olan RADARSAT-2 uydusunun farkı tam polarimetrik (VV, VH, HV, HH), sağ bakışın yanı sıra sol bakışa da sahip olmasıdır. Ek olarak, 9 farklı ışın modu (Şekil 2.3) yapısıyla 3 m'den 100 m'ye değişen konumsal çözünürlükte, 20x20 km'den 500x500 km'ye varan yer görüntüleme alanıyla, farklı polarizasyonlarda ve alım açılarında görüntü elde etmek mümkündür. Tekrarlama zamanı 24 gün olup, günde dünyayı 14 kez dolaşmaktadır. Uydunun yörüngesi yakın kutupsal ve güneş senkronizasyonludur (Url-1, 2010).

Çizelge 2.1 : RADARSAT-2 ultrafine ışın modları için mekânsal çözünürlük ve bakış açısı bilgileri.

İşın Modu	Yakın Menzil Bakış Açısı (degs)	Uzak Menzil Bakış Açısı (degs)	Yakın Menzil Çözünürlük (m)	Uzak Menzil Çözünürlük (m)
U70	19.9	21.5	4.6	4.3
U71	20.9	22.5	4.4	4.1
U72	22.0	23.5	4.2	4.0
U73	23.0	24.5	4.0	3.8
U74	24.0	25.5	3.9	3.7
U75	25.0	26.5	3.7	3.5
U76	26.0	27.5	3.6	3.4
U77	26.9	28.4	3.5	3.3
U78	27.9	29.3	3.4	3.2
U79	28.8	30.3	3.3	3.1
U1	29.8	31.2	3.2	3.0
U2	30.6	32.0	3.1	3.0
U3	31.5	32.9	3.0	2.9
U4	32.3	33.7	2.9	2.8
U5	33.2	34.5	2.9	2.8
U6	34.0	35.3	2.8	2.7
U7	34.8	36.1	2.8	2.7
U8	35.6	36.9	2.7	2.6
U9	36.4	37.6	2.7	2.6
U10	37.2	38.4	2.6	2.5
U11	37.9	39.1	2.6	2.5
U12	38.7	39.9	2.5	2.5
U13	39.4	40.6	2.5	2.4
U14	40.1	41.3	2.4	2.4
U15	40.8	42.0	2.4	2.4
U16	41.5	42.7	2.4	2.3
U17	42.2	43.3	2.3	2.3
U18	42.9	44.0	2.3	2.3
U19	43.6	44.6	2.3	2.2
U20	44.2	45.3	2.3	2.2
U21	44.9	45.9	2.2	2.2
U22	45.5	46.5	2.2	2.2
U23	46.1	47.1	2.2	2.2
U24	46.8	47.7	2.2	2.1
U25	47.4	48.3	2.1	2.1
U26	47.9	48.9	2.1	2.1
U27	48.5	49.5	2.1	2.1

Radarla çalışan uydular her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz zaman farketmeksizin alım gerçekleştirebilmektedir. Bu durum acil ihtiyaçları karşılama açısından çok önemlidir ve diğer algılayıcılara göre radarın sağladığı başlıca avantajlardandır. Uygulamaların çeşitliliğine göre radar sistemlerinin avantajları ve dezavantajları değişmektedir.



Şekil 2.3 : RADARSAT-2 ışın modları.

Bu çalışmada yer kontrol noktalarının yatay (X, Y) koordinatlarının temini için 1 m çözünürlüklü IKONOS ortomozaik İstanbul görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 2.4). IKONOS uydusu 24 Eylül 1999'da Kaliforniya'daki Vandenberg Hava Üssü'nden fırlatılmıştır. Bu uydu 680 km irtifada 26,000 km/saat hızla ilerleyerek dünyayı 98 dakikada bir, güneş eş zamanlı bir yörüngede dönmekte ve dünyanın çevresini günde 14 defa dolaşmaktadır (Url-2, 2010).



Şekil 2.4 : 1 m çözünürlüklü IKONOS İstanbul görüntüsü

IKONOS uydusunun yörünge özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Url-2, 2010).

Çizelge 2.2 : IKONOS uydusu yörünge özellikleri.

Özellik	Değer
Yükseklik	423 mil/681 km
Eğim Açısı	98.1 derece
Hız	4 mil/saniye – 7 km/saniye
Ekvator Geçişi	Aılçalma durumunda: öö ~ 10:30
Yörünge Periyodu	98 dakika
Yörünge	Kutupsala yakın, güneş uyumlu

IKONOS uydusunun algılayıcı özellikleri çizelge 2.3’te verilmiştir (Url-2, 2010).

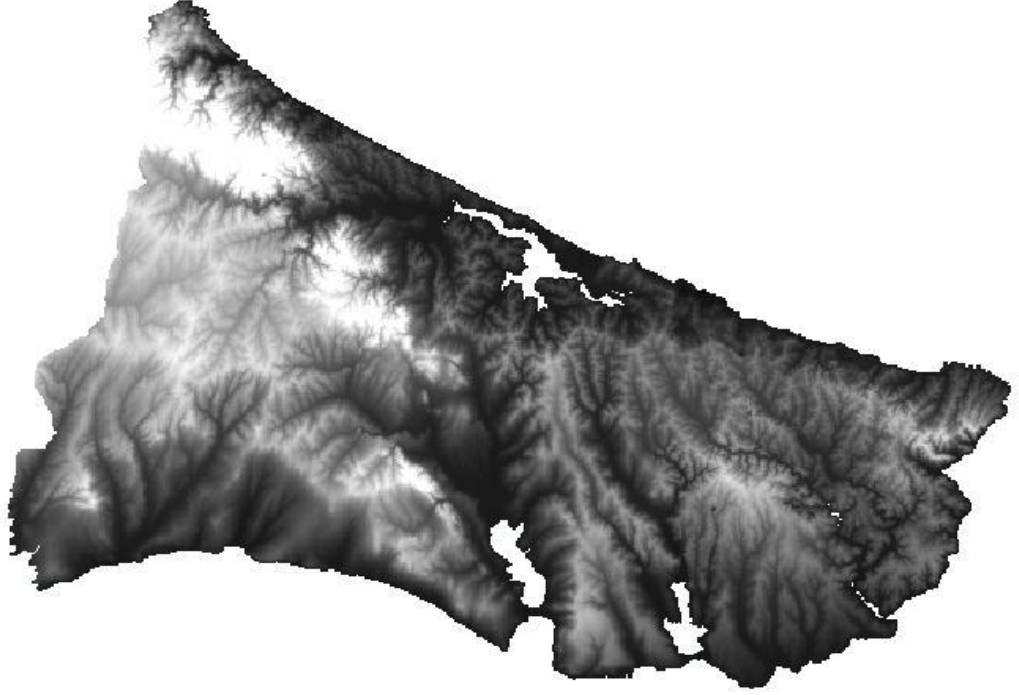
Çizelge 2.3 : IKONOS algılayıcı özellikleri.

Nitelik	Özellik
Algılayıcılar	Pankromatik/Çokbantlı
Mekânsal Çözünürlük	1 m pan, 4m Çokbantlı Pankromatik : 0.45-0.90 mikrometre
Spektral Çözünürlük	Bant 1: 0.45-0.53 mikrometre (Mavi) Bant 2 :0.52-0.61 mikrometre (Yeşil) Bant 3: 0.64-0.72 mikrometre (Kırmızı) Bant 4: 0.77-0.88 mikrometre (Yakın kızılötesi)
Tarama Genişliği	11 km
Görüntü Tekrarlama Aralığı	2.9 gün 1 m çözünürlük için, 1.5 gün 1.5 m çözünürlük için (40 derece paraleli için)
Radyometrik Çözünürlük	11 bit – 8 bit

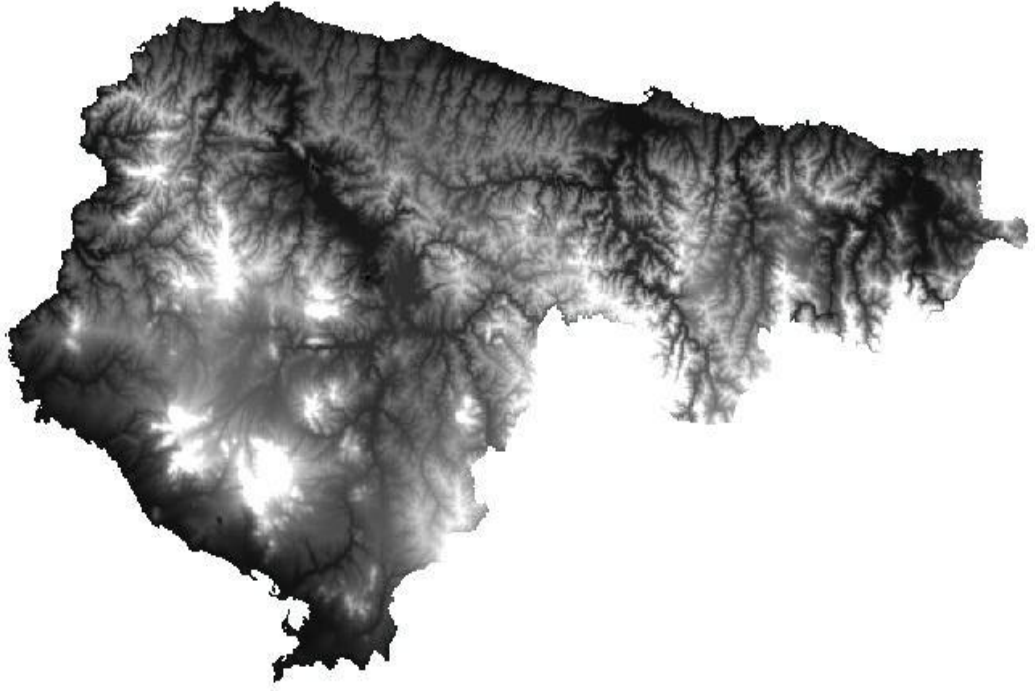
2.2.2 Referans sayısal yükseklik modelleri

Çalışma bölgesine ait RADARSAT-2 stereo çiftinin geometrik ve stereo modelini oluşturmak için seçilen yer kontrol noktalarının koordinatlarının yükseklik değerleri yaklaşık 1 m düşey doğruluğa sahip, 1:5000 ölçekli topoğrafik haritalardan oluşturulan, 3 m grid boyutundaki SYM’lerden elde edilmiştir. SYM’ler İstanbul’un Avrupa ve Anadolu yakasını kapsayacak şekilde iki tanedir (Şekil 2.5).

Bu çalışma amacı doğrultusunda üretilen SYM’lerin yükseklik doğruluğunu araştırmak için, yer kontrol noktalarının yükseklik temini için kullanılan referans SYM’ler kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.5 : (a) İstanbul Avrupa yakası SYM, (b) İstanbul Anadolu Yakası SYM.

3. YÖNTEM

Amacı, İstanbul il sınırları içerisinde, RADARSAT-2 uydusundan algılanan ultrafine ışın modundaki stereo çiftinden oluşturulan SYM'lerin doğruluğunu araştırmak olan çalışma genel olarak; yer kontrol ve test noktalarının temini, uydu görüntülerinin değerlendirilmesi, SYM oluşturulması ve sonuçların analiz edilmesi adımlarından oluşmaktadır.

Bu bölümde, çalışma amacı doğrultusunda yapılacak işlerin temel bilgileri verilmektedir.

3.1 Sayısal Görüntü İşleme Yöntemleri

Algılayıcılar tarafından uydu görüntülerinin kaydedilmeleri esnasında geometrilerinde ve piksellerin parlaklık değerlerinde hatalar meydana gelmektedir. Bunların giderilmesi için görüntüye ön işleme algoritmaları uygulanmalıdır. Ön işleme aşamasında radyometrik ve geometrik olmak üzere iki tür düzeltme yapılır (Sertel, 2004).

3.1.1 Radyometrik düzeltme

Uydu görüntülerinin algılayıcılar tarafından kayıt edilmesi esnasında piksellerin parlaklık değerlerinde meydana gelen hatalara radyometrik distorsiyonlar denir. Radyometrik bozulmalara neden olan etkiler; atmosferik koşullar, görüş geometrisi, algılayıcı düzensizlikleri ve tarama hatalarıdır. Radyometrik distorsiyonlar diğer görüntü işleme aşamalarına geçmeden önce düzeltilmelidir (Sertel, 2004).

Saçılma ve yutulma gibi atmosferik koşullardan dolayı görüntülerde radyometrik distorsiyonlar meydana gelebilir. Görüntüde atmosferik koşullardan dolayı bozulmalar meydana gelirse, sis giderilmesi (haze removal) denilen yöntemle bu bozulmalar giderilir (Mather, 1999).

Veri kayıt sırasındaki hatalar ve algılayıcılardaki düzensizlikler nedeniyle satır düşmesi denilen radyometrik hata meydana gelebilir. Satır düşmesi, sistemden kaynaklı hatalar nedeniyle oluşur ve taranan çizgi boyunca eksik ya da hatalı

piksellerin oluşmasıyla sonuçlanır. Satır düşmesi etkisi, hatalı ya da eksik veri bulunduran satır yerine, altındaki veya üstündeki satırın piksel değerleri ya da alt ve üst satırın piksel değerlerinin ortalaması alınarak düzeltilir (Jensen, 1996). Ayrıca bazı filtreleme işlemleri de kullanılarak radyometrik düzeltme işlemi uygulanabilir.

3.1.2 Geometrik düzeltme (Rektifikasyon)

Uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen görüntüler genellikle geometrik distorsiyonlar (bozulmalar) içerdiğinden doğrudan harita olarak kullanılamazlar. Görüntüleri sağlıklı bir biçimde ve obje uzayına en yakın şekilde kullanabilmek için ham görüntüdeki bu geometrik bozulmalar giderilmelidir. Diğer bir deyişle görüntüler rektifiye edilmelidir.

Görüntüdeki bozulmaların kaynağını iki genel kategori oluşturur; ölçen yada algılayıcı sistem (algılayıcı platform ve görüntüleme algılayıcısı) ve ölçülen (yeryüzü ve atmosfer). Bunlara harita projeksiyonlarını da ekleyebiliriz. Çünkü birçok arazi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulaması bir referans topoğrafik haritaya göre uygulanmaktadır (Toutin ve diğ., 2002).

Platformun neden olduğu bozulmaların temelinde yeryüzü etrafındaki eliptik hareket değişimleri yer almaktadır. Görüntünün boyutuna ve alım zamanına bağlı olarak, eliptik hareket değişimleri görüntü bozulmalarına yol açan bazı etkilere neden olurlar. Bu etkilerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Toutin ve diğ., 2002):

- Odak uzaklığı ve yeryüzünün şekli ile bağlantılı yükseklik değişimleri piksel aralığını değiştirmektedir.
- x, y ve z yönündeki değişimler yüksek çözünürlüklü görüntülerin şeklini ve dönüklüklerini değiştirmektedir.
- Hız değişimleri kolon boşluklarını değiştirmekte veya görüntü üzerinde satır boşlukları oluşturmaktadır.

Görüntüleme algılayıcısı nedeniyle oluşan bozulmalar şunlardır:

- Anlık görüntüleme alanı ve odak uzaklığı gibi kalibrasyon parametreleri,
- Yeryüzünün eğriliği, eğik görüntü alanı ve kolon boyunca pikselin yeryüzü boyutunda meydana gelen yükseklik değişimleri ile bağlantılı olarak oluşan panoramik bozulmalar.

Yeryüzü nedeniyle oluşan bozulmalar şunlardır:

- Enleme bağlı olarak dönme hareketi, kolon yönünde olacak şekilde ve görüntü kolonları arasında yanal kayıklıklar oluşturmaktadır.
- Yeryüzünün eğikliği görüntü pikseli boyutunda değişimlere neden olmaktadır.
- Topoğrafik kabartma, tarama azimutunda bir paralaks meydana getirmektedir.

Harita Projeksiyonları nedeniyle oluşan bozulmalar şunlardır:

- Bir referans elipsoidi sayesinde geoidin yaklaşık olarak belirlenmesi,
- Referans elipsoidinin projeksiyonun bir teğet yüzeyde olması (Yanalak ve diğ., 2008; Toutin ve diğ., 2002).

Görüntülerdeki tüm bu bozulmaların matematiksel olarak modellenmesi ve görüntünün geometrik olarak düzeltilmesi için parametrik ve parametrik olmayan matematiksel modeller mevcuttur. Bu modeller bölgeye ve algılayıcıya bağlı olarak 2 veya 3 boyutlu şekilde ele alınırlar.

Parametrik olmayan yaklaşımlarda, algılayıcı sisteme ait parametreler mevcut değildir ve çözümde sistemin görüntüleme geometrisi dikkate alınmaz. Başka bir ifadeyle distorsiyonların kaynağını tam olarak yansıtamazlar. Parametrik olmayan modellerde 2 veya 3 boyutlu dönüşümler söz konusudur. İki boyutlu parametrik olmayan modellerde, yükseklikten kaynaklanan etki de giderilememektedir. Bu modeller kontrol noktalarının dağılımına bağlı sonuçlar üretirler. Bu modeller genellikle nadir görüntüleri, sistemik olarak düzeltilmiş görüntüler ve düz bir yapıya sahip arazide kullanılabilir (Topan, 2004).

Parametrik modeller ise sistemin görüntü anındaki alım geometrisini esas alarak geometrik dönüşümü gerçekleştirir. Bu modeller algılayıcı platform sistemi, görüntüleme algılayıcısı, dünya, atmosfer ve harita projeksiyonlarından kaynaklanan bozulmaları modelleyebilir. Parametrik olmayan modellere göre üst düzeyde doğru sonuçlar verir. Bu model, YKN verilerinin doğruluğuna bağlı iken dağılımına bağlı değildir ve parametrik olmayan modellerden daha az sayıda YKN'na gereksinim duyar (Toutin, 2003).

3.1.2.1 Rektifikasyon gerektiren durumlar ve rektifikasyon adimlari

Rektifikasyon işlemi, görüntü piksel grid sistemini, bir harita projeksiyon sisteminde ya da referans görüntüde tanımlayabilmek için görüntüye uygulanan matematiksel dönüşüm işlemidir. Rektifikasyon sonucunda sistematik olmayan geometrik distorsiyonlar giderilir. Eğer görüntüde distorsiyon yoksa, rektifikasyon işleminin yapılmasına gerek yoktur. Bu durumda sadece koordinat dönüşümü yapan matematiksel model uygulanması yeterlidir (Sertel, 2004). Rektifikasyon yapılması gereken durumlar:

- Görüntülerin mozaiklenmesinde,
- Aynı bölgeye ait farklı zamanda elde edilmiş görüntülerle değişim analizi yapabilmek amacıyla,
- Görüntüyü standart bir projeksiyon sistemine getirerek harita amaçlı kullanabilmek amacıyla,
- Bilgi sistemlerine entegrasyon sağlanabilmesi nedeniyle,
- Farklı veri türleri ile üst üste çakıştırma yapmak gerektiğinde,
- Farklı lekli görüntülerin karşılaştırılabilmesinde,
- Sınıflandırma işlemi için harita koordinatlarına göre örnekleme alanlarının belirlenebilmesinde,
- Yüksek konumsal hassasiyete ihtiyaç duyulan analizlerde,
- Farklı çözünürlükteki uydu görüntülerini akıştırabilmek maksadıyla,
- Doğru leklendirilmiş görüntü haritalarının oluşturulmasında, şeklinde sıralanabilir (Kaya, 2002).

Rektifikasyon işlemini gerçekleştirebilmek için takip edilmesi gereken üç adım vardır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yer kontrol noktalarının seçilmesi, noktalara ait görüntü, harita ya da GPS koordinatlarının görüntülere girilmesi,
- Uygun matematiksel modelin belirlenip, dönüşüm matrisinin hesaplanması ve uyuşumsuz noktaların elemine edilmesi,
- Piksellerin yeniden rneklemesi (Sertel, 2004).

3.1.3 Yeniden örnekleme

Bir görüntüye geometrik dönüşüm işlemi uygulandığında, görüntü mevcut grid sisteminden başka bir grid sistemine dönüştürülmektedir. Yeni grid sistemindeki piksel değerleri, orijinal değerlerinden farklı olacağından, pikseller yeniden örneklenmelidir. Yeni grid sistemindeki piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında üç farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlar, en yakın komşuluk, bilineer enterpolasyon ve kübik konvülyasyon yöntemleridir (Göksel, 1996).

3.1.3.1 En yakın komşuluk yöntemi

Geometrik düzeltme sonucundaki görüntünün piksel değerleri yerine, orijinal görüntüdeki en yakın pikselin parlaklık değerinin atanmasıyla elde edilir.

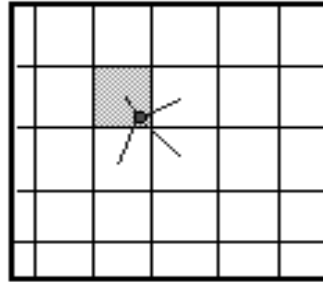
Bu yöntemin avantajları;

- Piksellerin orijinal parlaklık değerleri değişmez,
- Sınıflandırma öncesi kullanım için uygundur,
- En kolay ve en hızlı yöntemdir.

Yöntemin dezavantajları;

- Büyük bir grid boyutundan daha küçük bir grid boyutuna örnekleme yapıldığında diyagonal doğrular ve eğriler etrafında merdiven etkisi yapar,
- Bazı piksel değerleri iki kere tekrar edilirken, bazı piksel değerleri hiç kullanılmaz,
- Yol, nehir gibi lineer verilerin bulunduğu yerlerde bir takım boşluklar meydana gelebilmektedir (Sertel, 2004; Erdas, 1999).

En yakın komşuluk yöntemi ile yeni piksel değeri ile orijinal görüntüdeki piksel değeri arasındaki ilişki Şekil 3.1’de verilmiştir (Sertel, 2004).



Şekil 3.1 : En yakın komşuluk yöntemi ile yeniden örnekleme.

3.1.3.2 Bilineer enterpolasyon yöntemi

Bilineer enterpolasyon yönteminde, geometrik olarak düzeltilmiş görüntüdeki piksele, orijinal görüntüde en yakın olan dört pikselin (2x2'lik pencere) ağırlıklı ortalaması atanır.

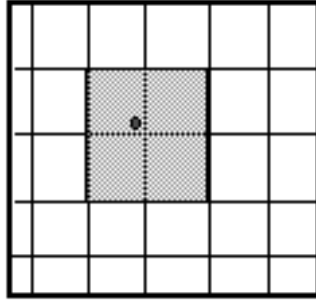
Bu yöntemin avantajları;

- Birinci yöntemdeki merdiven etkisi burada görünmez, ve sonuç görüntü daha düzleşmiştir,
- En yakın komşuluk yöntemine göre konumsal olarak daha doğru ve güvenilirdir,
- Bu yöntem daha çok grid boyutunda değişme olacağı zaman kullanılır.

Yöntemin dezavantajları;

- Piksellerin ortalama değerleri alındığı için bilineer enterpolasyon alçak geçirgen filtre etkisi yapar,
- Sınırlarda düzleşme ve veride kayıp meydana gelir,
- Orijinal piksel değerleri değişir (Sertel, 2004).

Bilineer enterpolasyon yöntemi ile yeniden örnekleme Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Sertel, 2004).



Şekil 3.2 : Bilineer Enterpolasyon yöntemi ile yeniden örnekleme.

3.1.3.3 Kübik katlama yöntemi

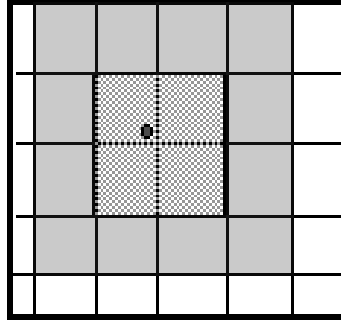
Geometrik dönüşüm uygulanmış görüntüdeki yeni piksel değeri, orijinal verideki piksele en yakın 16 (4x4'lük pencere) pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır.

Bu yöntemin avantajları;

- Çoğu zaman, yeni piksel değerlerinin ortalama ve standart sapması, orijinal piksel değerlerinin ortalama ve standart sapmasına yakındır,
- Bu işlem sonucunda, gürültü etkisi azaltılır,
- Piksel boyutunda büyük değişimler olacağı uygulamalar için uygundur (Örn: Landsat TM ile hava fotoğraflarının çakıştırılması).

Yöntemin dezavantajları;

- Orijinal veri değerleri değişir,
- İşlem yönünden en ağır yeniden örnekleme algoritması olduğu için, uzun zaman alır (Sertel, 2004),
- Kübik katlama yöntemi ile yeniden örnekleme Şekil 3.3'te gösterilmiştir (Sertel, 2004).



Şekil 3.3 : Kübik katlama yöntemi ile yeniden örnekleme.

3.2 Toutin'in Üç Boyutlu Parametrik Modeli (Toutin Modeli - TM)

Daha önce de bahsedildiği gibi uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen görüntüler geometrik hatalar içerdiğinden doğrudan harita olarak kullanılamazlar. Bu hataları düzeltmek içinde parametrik ve parametrik olmayan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller basit anlamda görüntü uzayıyla obje uzayı arasındaki geometrik ilişkiyi ifade etmektedir.

Adından da anlaşılacağı gibi bu model 3 boyutlu fiziksel bir modeldir. Kanada Uzaktan Algılama Merkezi'nde T. Toutin tarafından gerçekleştirilen model orijinal olarak yörünge boyunca (along-track) tarama yapan algılayıcıların ürettikleri uydu görüntülerinin geometrik düzeltmeleri için geliştirilmiştir (Toutin, 1983). Aslında bu geometrik model herkesçe bilinen kolinearite (stereo alımda koplanarite) koşullarını

temsil etmektedir ve görüntüleme geometrisine göre farklı distorsiyonları entegre etmektedir (Light ve diğ., 1980). Daha sonra model geliştirilerek çoklu algılayıcı, yüksek çözünürlüklü tek ve stereo optik-radar uydu görüntülerine uyarlanmıştır. Günümüzde birçok uydu görüntüsünün geometrik dönüşümü, görüntüyle birlikte sunulan uydu efemeris verisi ve minimum 3 ile 6 arasında yer kontrol noktası ile beraber bu modelle gerçekleştirilmektedir.

TM görüntü alım sırasında gerçekleşen algılayıcı platform (pozisyon, hız, yükseklik), algılayıcı (bakış açısı, panoramik etkiler), yeryüzü (elipsoid, engebeli arazi) ve harita projeksiyonu kaynaklı bozulmaları modelleyebilmekte ve buna göre fiziksel bir dönüşüm gerçekleştirmektedir. Geometrik dönüştürme süresince bu bozulmalar tek tek, aşama aşama ya da hepsi birlikte ele alınmaktadır (Toutin, 1995). Bu modelin parametreleri uydunun görüntüyü çektiği andaki konum ve yönelim bilgileriyle hesaplanır. Daha sonra, bu parametreler görüntü üzerinden toplanan YKN'ler ile iteratif en küçük kareler ışın demetleri dengelemesi yöntemi kullanılarak iyileştirilir.

Bu model parametrik modellere göre çok daha az sayıda yer kontrol noktasıyla çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu model yer kontrol noktalarının dağılımına bağlı değildir.

3.3 Rasyonel Fonksiyonlar Modeli (Rational Functions Model - RFM)

Rasyonel Polinom Fonksiyon modeli 3 boyutlu parametrik olmayan bir modeldir ve 3 boyutlu obje koordinatlarıyla 2 boyutlu görüntü koordinatlarını ilişkilendirir. Bu model algılayıcı platform verileri ve 3 boyutlu fiziksel modelin mevcut olmadığı durumlarda kullanılabilir. Model algılayıcı sistemin, yeryüzünün ve atmosferin sebep olduğu etkileri yansıtmadığından, bu parametrelerle ilgili bilgilere gerek duymaz (Toutin, 2004c).

RFM ilk olarak Amerikan ordusunda kullanılmıştır. Fakat son yıllarda fırlatılan yüksek çözünürlüklü sivil uydularla beraber fotogrametri ve uzaktan algılama camiasında ilgi uyandırmıştır. Bu modele olan ilginin en büyük sebeplerinden birisi bazı görüntü sağlayan şirketlerin uydu ve algılayıcı bilgisini vermek istememesidir. 1999 yılında da Open GIS Consortium bu modeli standart görüntü transfer formatı olarak kabul etmiştir. (Hu ve diğ., Toutinve diğ., 2002).

Bu modelin matematiksel temsili aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3.1):

$$R_{3D}(XYZ) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (3.1)$$

Eşitlikte X,Y, Z yeryüzü koordinatlarını, a_{ijk} ve b_{ijk} polinom katsayılarını, m,n ve p polinom derecesini temsil etmektedir. Modeldeki birinci derece katsayıları izdüşüm hatalarını, ikinci derece katsayıları Dünya'nın eğikliğinden oluşabilecek atmosferik kırılma ve lens kaynaklı hataları, üçüncü derece katsayıları ise varsa bilinmeyen veya rastgele oluşan hataları ele alır (Tao ve Hu, 2001). RFM modelindeki polinom katsayıları aynı zamanda "Rational Polynomial Coefficient, Rapid Positioning Capability, Rational Polynomial Camera Data" (RPC) olarak da adlandırılırlar. Bu modelde polinom fonksiyonun derecesi genelde 3'ten azdır çünkü daha yüksek derecede polinomlar sonucu iyileştirememektedir (Toutin ve diğ, 2002). Rasyonel fonksiyon modelinde 2 yaklaşım söz konusudur;

- Modeli daha önceden çözülmüş olan 3 boyutlu fiziksel modelden hesaplama,
- Polinomun tüm bilinmeyenlerini yer kontrol noktalarından hesaplama (Madani 1999).

Yeryüzünden bağımsız olarak da adlandırılan birinci yaklaşım iki aşamada gerçekleşir. İlk olarak görüntülenen yeryüzünün 3 boyutlu düzenli gridi tanımlanır ve tanımlanan bu grid noktalarının görüntü koordinatları daha önceden çözülmüş olan 3 boyutlu parametrik modelden hesaplanır. Daha sonra bu noktalar ve bu noktalara ait 3 boyutlu yer ve 2 boyutlu görüntü koordinatları rasyonel fonksiyonları hesaplamak için yer kontrol noktası olarak kullanılırlar ve böylece polinomun tüm bilinmeyenleri hesaplanmış olur (Madani, 1999). Tüm bunlardan anlaşılan bu yaklaşımda yer kontrol noktasına gereksinim yoktur. Çünkü polinomun çözümü için gerekli tüm parametreler görüntüyle birlikte verilir. Bu yaklaşım daha sonra hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri için geliştirilmiştir (Tao and Hu, 2001). Fakat sonuçların uydu görüntülerinde YKN'lerin dağılıma duyarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca görüntünün boyutları büyük olduğunda görüntülerin alt görüntülere bölünmesi ve RFM'nin her bir alt görüntüye uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden bu model 3 boyutlu parametrik modele göre daha az kullanıcı dostu olarak anılır. Görüntü satışı

yapan şirketler uydu algılayıcı bilgilerini vermemek için bu yaklaşımı değerlendirmişlerdir. Bu yüzden görüntülerle birlikte rasyonel polinom katsayılarını ve polinom için tüm parametreleri sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu yaklaşımla beraber son kullanıcılar ortorektifikasyon ve SYM üretme gibi işlemleri yer kontrol noktası toplamadan gerçekleştirebilirler (Toutin ve diğ., 2002).

Yeryüzü bağlantılı olarak da adlandırılan ikinci yaklaşım, parametrik bir yaklaşım olmayan 2 veya 3 boyutlu polinom eşitliklerindeki gibi aynı işleme tabi tutulurlar. Örneğin eşitlik 3.1 2. ve 3. dereceden hem satır hem de sütun gridini hesaplamak için ele alınacak olursa; sırasıyla 40 ve 80 parametre gerekmektedir. Rasyonel polinomu bu durumda çözmek için sırasıyla 20 ve 40 yer kontrol noktası gerekmektedir. Polinom eşitlikleri gibi rasyonel fonksinlar da görüntü algılama geometrisinin fiziksel gerçekliğini modelleyemezler ve sonuç ürünler veri girişi hatalarına bağlıdır. Hata yayılımını azaltmak için daha fazla YKN'ye ihtiyaç vardır (Toutin ve diğ., 2002; Tao and Hu, 2002).

3.4 Stereo Radar Tekniği (Radargrametri)

Radar stereo görüntü çiftlerinden SYM üretme işlemine radargrametri denilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda stereo SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) da denilmektedir. Stereo SAR tekniği radar görüntülerinden yükseklik bilgisi üretmek için kullanılan ilk yöntemdir (La Prade, 1963).

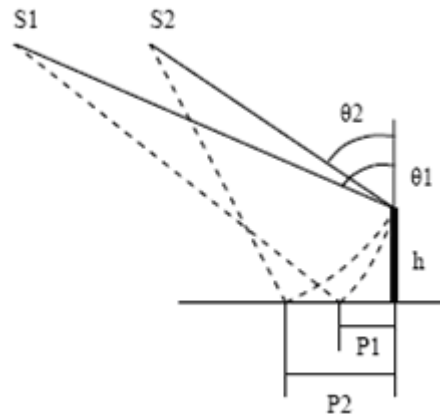
Radargrametri ile SYM üretme işlemleri klasik fotogrametrik yöntem ile SYM üretme işlemlerine çok benzemektedir. Fakat fotogrametrik yöntemler ile hava fotoğrafları ve optik uydu görüntüleri değerlendirilirken, radargrametri yöntemi ile SAR görüntüleri değerlendirilmektedir. Hava fotoğrafları, görünür veya kızıl ötesi bölgede alınmış uydu görüntüleri ile radar görüntüleri arasında birçok farklılıklar vardır. Radarın görüntüleme geometrisi ve elektromanyetik dalga özellikleri bir araya geldiğinde, optik görüntülerden farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle düşey objelerin görüntüleri, radar görüntülerinde elektromanyetik spektrumun diğer bölgelerinde algılanan görüntülere göre farklılık göstermektedir. En belirgin farklılık ise yükseklik farklarından kaynaklanan ötelemenin zıt yönlerde doğru olmasıdır. Bu öteleme, hava fotoğraflarında ve diğer optik uydu görüntülerinde nadir noktasından

uzaklaştıkça artar. Radar görüntülerinde ise objelerin tepesi tabanından önce görüntülenir ve bu durum radarın kısa görüntüleme (foreshortening) hatası olarak adlandırılır. Yükseklik farklarından ileri gelen öteleme, nadir noktasına yaklaştıkça artar (Min-Ho ve Man-Jo, 2001; Şanlı, 2006).

Bir çift hava fotoğrafını ya da uydu görüntüsünü stereo görme, temelde X paralaksına ve paralaktik açılara dayanır. X paralaksı görüntü alımında yapılan konum kayıklığıdır. Bir noktanın paralaksı, o noktanın yüksekliğine ve görüş açısına bağlıdır ve yüksek yerlerdeki paralaks daha fazladır.

Stereo radar tekniği, aynı hedefe iki farklı uydu konumundan gözlem yapılarak, bu noktanın üç boyutlu konumun hesaplanabilmesi olarak da tanımlanabilir. Bu işlem süresince, görüntü koordinatlarından, objenin gerçek koordinatlarının (X, Y, Z) hesaplanması 2 aşamada gerçekleştirilir. Öncelikle arazinin yükseklikleri paralaks ve yükseklik ilişkisine göre hesaplanır. Daha sonra bulunan yükseklik değerleri ve SAR görüntüleme geometrisine göre planimetrik koordinatlar hesaplanır (Min-Ho ve Man-Jo, 2001).

Şekil 3.4'te h yüksekliğindeki hedef obje S1 ve S2 gibi iki farklı uydu konumundan gözlemlenmiştir. Hedefin referans yüzeyine göre yüksekliği, görüntüdeki piksellerde radar anteni boyunca kayıklığa (paralaks) neden olmaktadır. Hedef objenin yüksekliği (h), S1 ve S2 konumlarından elde edilen her bir SAR görüntüsünde farklı kayıklıklara (P1 ve P2) neden olmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi paralaks, hedefin yüksekliğine ve uydunun bakış açısına bağlıdır (Min-Ho ve Man-Jo, 2001).



Şekil 3.4 : Aynı yönlü stereo SAR görüntüleme geometrisi.

Yukarıda sözü edilen yer değiştirmeler (paralaks) aşağıdaki eşitliklerle bulunabilir (Eşitlik 3.2):

$$\begin{cases} p_1 = h \cot \theta_1 \\ p_2 = h \cot \theta_2 \end{cases} \quad (3.2)$$

Eşitliklerde θ_1 ve θ_2 radar ışınlarının geliş açılarıdır.

Buradan yola çıkılarak paralaks farkları ve yükseklik arasındaki ilişki şöyle kurulabilir (Eşitlik 3.3):

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\cot \theta_1 - \cot \theta_2} \quad (3.3)$$

Böylece hedef objenin yüksekliği, farklı iki konumdan elde edilen stereo SAR görüntü çiftinden yukarıdaki eşitlikle (3.3) elde edilmektedir. Eşitlikten de anlaşılacağı gibi yüksekliğin doğruluğu stereo görüntülerin arasındaki bakış açısına ve görüntülerin mekânsal çözünürlüğüne bağlıdır.

Radargrametri ile stereo SAR görüntülerinden objelerin 3 boyutlu koordinatlarını elde etmek için kullanılan matematiksel eşitliklerinin temelini, fotogrametride kullanılan uzay geriden kestirme yöntemi oluşturur. Fotogrametrideki yöntem, uydunun efemeris bilgisi, yeryüzü modeli, harita projeksiyonu ve SAR görüntü parametreleri entegre edilerek bütünleştirilmiş bir SAR görüntüleme geometri modeli oluşturulmuştur ve böylece obje uzayıyla görüntü uzayı ilişkilendirilmiştir (Min-Ho ve Man-Jo, 2001).

Radar için en önemli geometrik parametreler, nadir noktasına olan bakış açısı değerini veren Doppler Merkezi değeri (θ_1 ve θ_2) ve uyduların hedefe kadar olan eğik uzaklık değerleridir. Bu parametreler ve yörünge modeli (platform, algılayıcı, yeryüzü, harita projeksiyonu) kullanılarak hedef objenin 3 boyutlu koordinatları stereo SAR görüntü çiftinden uzay geriden kestirme yöntemiyle elde edilir (Min-Ho ve Man-Jo, 2001).

Günümüzde aynı ve zıt yönlü SAR görüntülerinin stereoskopik değerlendirilmesi olanaklıdır. Farklı yörüngeden alım yaptıkları için zıt yönlü görüntülerde belirsizlikler daha iyi giderilebilir ve bunun sonucunda daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ancak, iki görüntü arasındaki radyometrik farklılıkların çok fazla olması nedeni ile otomatik görüntü eşleme işlemleri çok başarılı sonuçlar verememektedir (Şanlı, 2006). Bunun yanında farklı yörünge ve bakış açısından kaynaklanan farklı görüntü geometrisi, yer kontrol noktası ve bağlantı noktası girişini zorlaştırmaktadır.

Aynı yönlü görüntülerle otomatik görüntü eşleme işlemi, görüntüler arasındaki radar algılayıcıların doğasından kaynaklanan farklılıkların az olması nedeni ile hem daha kolay hem de daha az zaman alan bir işlemdir.

3.5 Karesel Ortalama Hata (KOH)

Bu çalışmadaki tüm doğruluk değerlendirmelerinde karesel ortalama hata ölçütü kullanılmıştır. Karesel ortalama hata, gerçek hataların kareleri toplamının ortalamasının kareköküdür (Aytaç, 1985). Gerçek hata ise bir noktanın yaklaşık değeri ile gerçek değeri arasındaki farktır. Bir geometrik dönüşüm sonucunda noktaların X ve Y yönündeki karesel ortalama hataları, ayrıca dönüşümün toplam karesel ortalama hatası aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir (Eşitlik 3.4, 3.5, 3.6);

$$R_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (XR_i)^2} \quad (3.4)$$

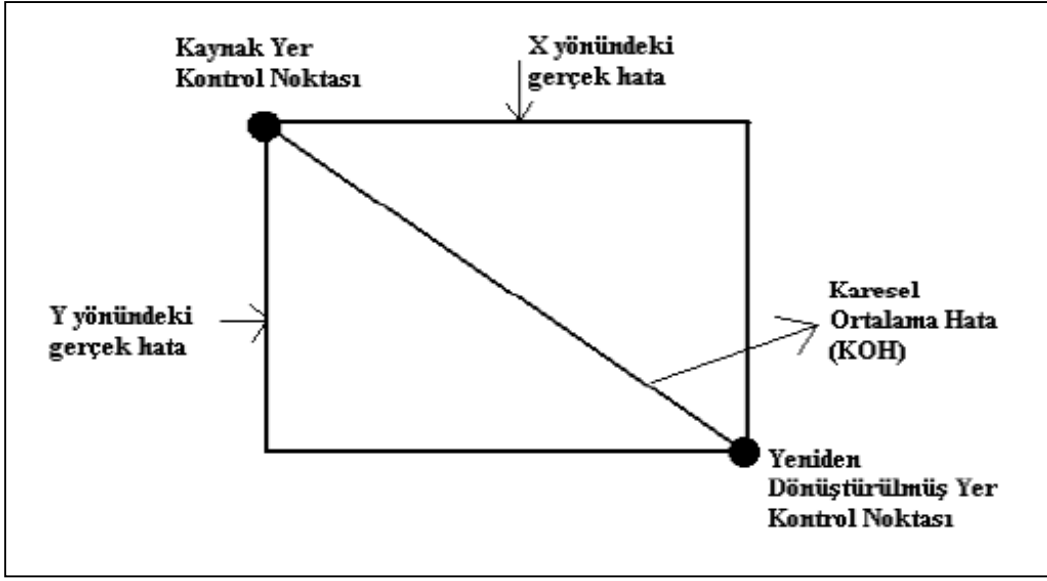
$$R_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (YR_i)^2} \quad (3.5)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (3.6)$$

Burada;

- XR_i : i-nci yer kontrol noktasına ait X yönündeki gerçek hatası,
- YR_i : i-nci yer kontrol noktasına ait Y yönündeki gerçek hatası,
- R_x : X yönündeki karesel ortalama hata,
- R_y : Y yönündeki karesel ortalama hata,
- T: Toplam KOH'dır (Sertel, 2004).

Şekil 3.5'te bir adet yer kontrol noktası için KOH gösterilmiştir (Sertel, 2004).



Şekil 3.5 : Bir adet yer kontrol noktası için KOH.

4. UYGULAMA

4.1 Giriş

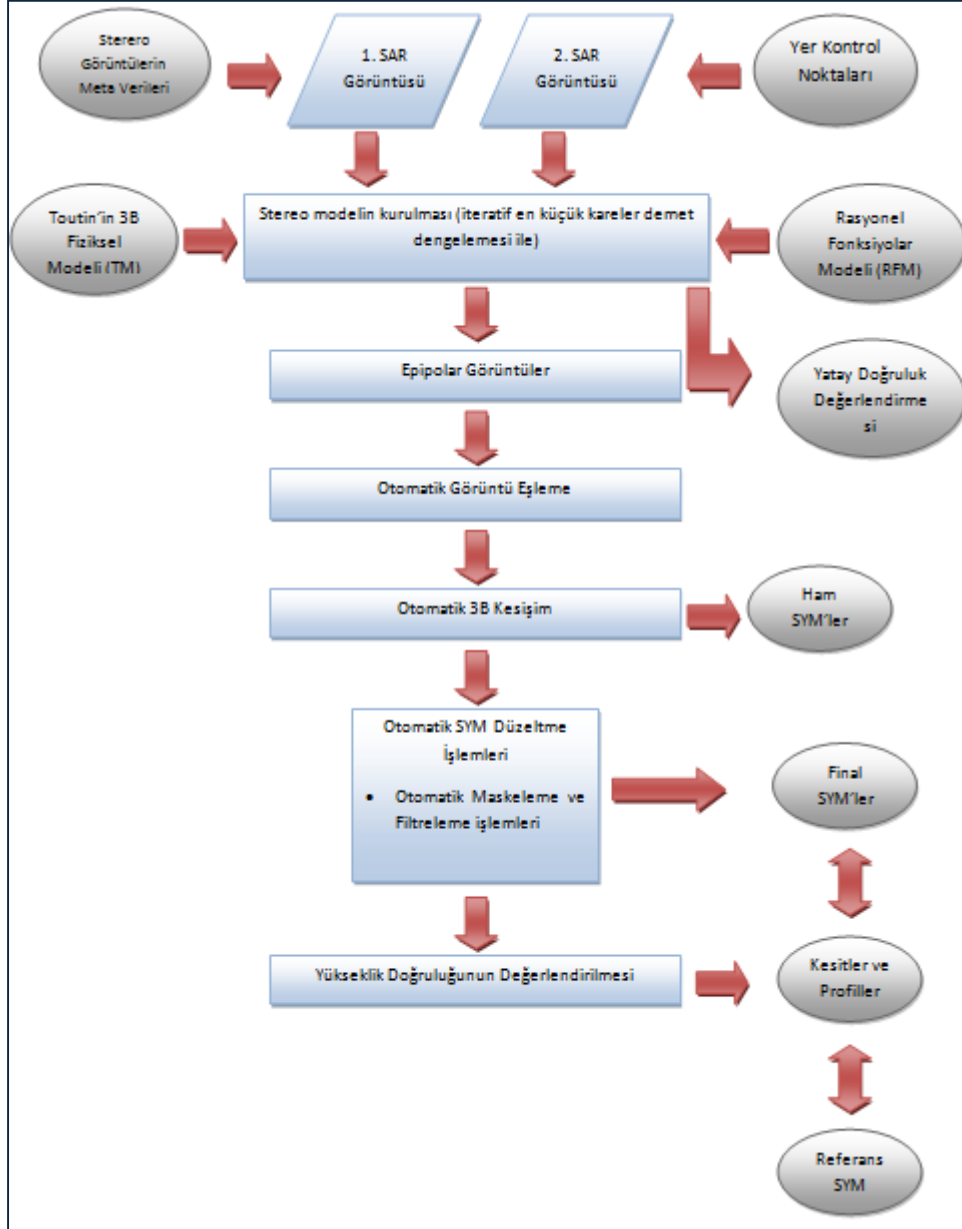
Sayısal yükseklik modelleri mekânsal analizlerde kullanılan en önemli verilerdendir. Sayısal yükseklik modelleri kullanılarak farklı çalışmalarda kullanılacak eğim, bakı, üç boyutlu modeller gibi pek çok alt bilgi türetilmektedir (Toutin, 2002).

Optik görüntülerden sonra, her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz alım yapabilen radar algılayıcılardan da stereo uydu görüntüleri elde edilmeye başladıktan sonra, radargrametri yöntemiyle SYM oluşturma araştırmaları başlamış ve özellikle yüksek çözünürlüğe (3 m) sahip olan RADARSAT-2 uydusunun fırlatılmasından sonra bu araştırmalar daha da ilgi çekici bir hal almıştır.

Radar teknolojisindeki bu gelişimlere bağlı olarak stereo radar görüntülerinden SYM elde edilmesiyle doğruluk kavramı daha da önem kazanmıştır. Radar verilerinden üretilen SYM'lerin doğruluğu ve güvenilirliği kullanılabilirliğin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı disiplinler, araziye ait bilgilere farklı doğruluk değerlerinde ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle radar verilerinden elde edilen SYM'lerin geometrik doğruluklarının araştırılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı RADARSAT-2 uydusunun ultrafine ışın modundan alınmış U7 ve U26 stereo görüntü çiftinden oluşturulan SYM'nin doğruluğunu araştırmaktır. Tüm bu amaç doğrultusunda öncelikli olarak geometrik ve stereo modeller için yer kontrol, test (Check Points) ve bağlantı noktaları (Tie Points) görüntüler üzerinde işaretlenmiştir. Görüntülerin üç boyutlu geometrik dönüşümleri Toutin'nin 3 boyutlu fiziksel modeli (Toutin Modeli-TM) ve rasyonel fonksiyonlar modeline (RFM) göre ayrı ayrı yapılmıştır. Stereo modelleri oluşturmak için, yine bu iki model esas alınarak iteratif en küçük kareler demet dengeleme yöntemiyle yapılmıştır. Otomatik görüntü eşlemesi ve 3B stereo kesişim yapılmadan önce epipolar görüntüler oluşturulmuştur. Tüm bunlar yapıldıktan sonra hem TM hem de RFM kullanılarak ayrı ayrı SYM'ler oluşturulmuştur. Oluşturulan SYM'ler otomatik maskeleme ve

filtreleme işlemleriyle düzeltilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda yatay ve düşey doğruluk değerlendirme analizleri yapılmıştır. Çalışmada sayısal görüntülerin işlenmesinde ve SYM oluşturulmasında PCI Geomatica yazılımının 10.2 versiyonu, yükseklik doğruluğunun değerlendirmesinde ise ArcGIS yazılımının 9.3.1 versiyonu kullanılmıştır. SYM oluşturma işlemi boyunca uygulanan iş akışı genel olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yapılan tüm işlerin detayları ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 4.1 : SYM oluşturulmasında iş akışı diyagramı.

4.2 Geometrik ve Stereo Modellerin Oluşturulması

Bu alışmadaki U7 ve U26 RADARSAT-2 görüntülerinin geometrik ve stereo modellerinin oluşturulması ve bu modellere göre radargrametri yöntemiyle sayısal yükseklik modellerinin elde edilmesi için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri Toutin'in Kanada Uzaktan Algılama Merkezi'nde geliştirmiş olduğu 3B fiziksel yöntem, diğeri ise rasyonel fonksiyonlar modelidir.

4.2.1 Toutin Modeli ile Geometrik ve Stereo Modelin Oluşturulması

TM, görüntü alım sırasında gerçekleşen algılayıcı platform (pozisyon, hız, yükseklik), algılayıcı (bakış açısı, panoramik etkiler), yeryüzü (elipsoid, engebeli arazi) ve harita projeksiyonu kaynaklı bozulmaları modelleyebilmekte ve buna göre fiziksel bir dönüşüm gerçekleştirmektedir. Geometrik dönüştürme süresince bu bozulmalar tek tek, aşama aşama ya da hepsi birlikte ele alınmaktadır (Toutin, 1995). Bu modelin parametreleri uydunun görüntüyü çektiği andaki konum ve yönelim bilgileriyle hesaplanır. Daha sonra, bu parametreler görüntü üzerinden toplanan YKN'ler ile iyileştirilir. Bu modelin temel esaslarıyla ilgili bilgiler bölüm 3.2'de ele alınmıştır.

Toutin modeli parametrik modellere göre çok daha az sayıda yer kontrol noktasıyla oluşturulabildiği ve bozulmaları daha sağlam bir modelle ele aldığından dolayı son yıllarda uydu görüntülerinin geometrik hatalarının düzeltilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca bu model yer kontrol noktalarının görüntü üzerindeki dağılımlarına bağlı olmadığından avantajlıdır.

Bu alışmada SYM oluşturmak için PCI Geomatica yazılımının 10.2 versiyonu kullanılmıştır. SYM oluşturma işlemleri bu yazılımın OrthoEngine modülünde yapılmıştır. OrthoEngine modülü hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin rektifikasyonu, görüntü mozaikleme ve SYM oluşturma gibi birçok işleme olanak sağlamaktadır. Ayrıca RADARSAT 2 “.xml” uzantılı görüntüleri desteklemektedir. Bunun yanında TM bu yazılımın içine entegre edilmiştir ve birçok optik ve radar uydu görüntüsünü desteklemektedir. TM için desteklediği optik uydular; ASTER, AVNIR, CARTOSAT, CBERS, DMC, EOC, EROS, FORMOSAT, GEOEYE, IKONOS, IRS, KOMPASAT-2, LANDSAT, MERIS, ORBVIEW, PRISM, QUICKBIRD, SPOT ve WORLDVIEW'dir. Ayrıca TM modeli için desteklediği

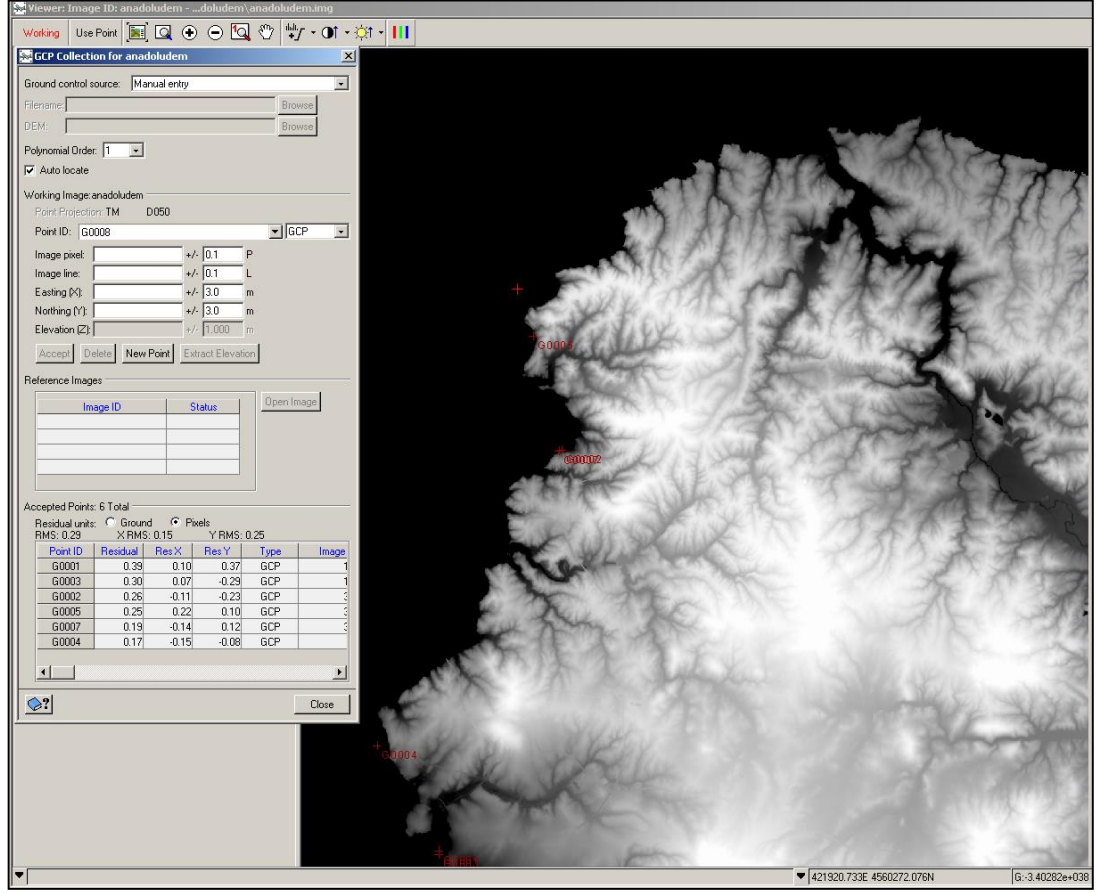
radar uydular; ASAR, COSMO_SKYMED, ERS, JERS, PALSAR, RADARSAT, TerraSAR-X'dir.

Çalışmada, stereo modelin oluşturulması için kullanılan yöntemlerden biri olan TM ile stereo model oluşturma işlemi iteratif en küçük kareler demet dengeleme yöntemiyle yapılmaktadır. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik ya da stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları ve bağlantı noktaları yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir. Bu çalışmada kullanılan tüm YKN'ler monoskopik olarak elde edilmiştir. Modelin hesaplanabilmesi için teorik olarak 6 tane doğru yer kontrol noktası yeterlidir. Ayrıca ışın demetleri ile dengelemede için en az 6 yer kontrol noktası kullanıldığında, görüntüye veri girilirken yapılan hata (görüntü işaretleme ve harita hatası) yayılımı azalır (Toutin ve Chenier, 2009) . Fakat daha fazla kontrol noktası hata yayılımının azalması ve modelin sağlamlığı açısından daha iyi sonuçlar verir.

Çalışmada stereo modeli oluşturmak için kullanılan yer kontrol noktalarının yatay (X, Y) koordinatları 1 m çözünürlüklü IKONOS ortomozaik İstanbul görüntüsünden, yükseklik değerleri ise yaklaşık 1 m düşey doğruluğa sahip, 1:5000 ölçekli topoğrafik haritalardan oluşturulan 3 m grid boyutundaki SYM'lerden elde edilmiştir. Referans SYM'ler İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakasını kapsayacak şekilde iki tanedir. RADARSAT-2 ultrafine ışın modu U7 ve U26 görüntülerinin mekânsal çözünürlükleri sırasıyla 2.8-2.1m olduğu için, yer kontrol noktalarının yatay koordinatlarının, referans olarak 1m çözünürlüklü IKONOS görüntüsünden alınması yeterli görülmüştür.

Referans IKONOS görüntüsü, üç derecelik Transversal Merkator sisteminde ve 1950 Avrupa Datumuna (European Datum-ED50) göre koordinatlandırılmıştır. Diğer taraftan referans SYM'lerden İstanbul Avrupa yakası için olan IKONOS görüntüsüyle aynı projeksiyon sistemindedir. Fakat Anadolu Yakası için olan SYM, üç derecelik Transeversal Merkator sisteminde ve 1980 Jeodezik Referans Sistemindedir (Geodetic Reference System 1980-GRS 1980). Dolayısıyla IKONOS görüntüsüyle üst üste çakışmamaktadır. Bu durumu düzeltmek için ilk önce ArcGIS yazılımında projeksiyon dönüşümü yapılmıştır. Fakat sonuç değişmeyince PCI yazılımında 6 tane yer kontrol noktası ile 1. dereceden polinom eşitlikleri (afin dönüşümü) kullanılarak tüm verilerin aynı sistemde tanımlanması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Dönüşümde kullanılan 6 yer kontrol noktasının yataydaki (X-Y

yönündeki) KOH değeri 0.88 m (0.29 piksel) dir. Dönüşüm sonucunda tüm verilerin birbiriyle entegrasyonu sağlanmıştır.



Şekil 4.2 : Anadolu Yakası sayısal yükseklik modelinin afin dönüşümü.

Bu aşamadan sonra U7 ve U26 radar görüntüleri için yer kontrol noktalarının temini aşamasına geçilmiştir. PCI yazılımı yer kontrol noktaları toplamak için; görüntü üzerinden seçilen YKN'lere manuel olarak koordinat girmek, yataylanmış (koordinatlandırılmış) başka bir görüntüyü referans almak, vektör verilerden, chip veritabanından ve direk olarak text dosyasından yer kontrol noktası temin etmek gibi birçok seçenek sunmaktadır. Bu çalışmadaki YKN'ler, radar görüntüleri üzerinde işaretlendikten sonra koordinat ve yükseklik değerleri manuel olarak elle girilmiştir. YKN'lerin yatay ve yükseklik değerleri ArcGIS yazılımında, referans olarak kullanılan IKONOS görüntüsü ve SYM'lerden okunmuştur.

Yer kontrol noktaları radar görüntüleri üzerinde işaretlenirken resimler üzerinde homojen olarak dağılmasına dikkat edilmemiştir. Çünkü TM yer kontrol noktalarının dağılımına bağlı değildir.

RADARSAT-2 görüntülerinden SYM oluşturmada en çok zaman harcanan kısım yer kontrol noktalarının işaretlenmesi süreci olmuştur. Sürecin uzamasında siyah beyaz renkli ve farklı alım açısına sahip radar görüntüleri büyük rol oynamıştır. Bunun yanında, radar görüntüleme geometrisi optik sistemlere göre daha karmaşık olduğundan, yer kontrol noktası işaretlemeye birçok zorluk teşkil etmektedir. Özellikle görüntüler üzerinde stereo yer kontrol noktası işaretlemeye zorluklarla karşılaşmıştır. Stereo yer kontrol noktaları, bir nevi bağlantı noktası ve klasik yer kontrol noktası işlevi görmektedir. Bu yüzden stereo yer kontrol noktaları, sadece görüntülerle yer arasındaki ilişkiyi değil, aynı zamanda görüntülerin birbirleriyle arasında olan ilişkiyi de tanımlar. Böylece model daha doğru oluşturulur (PCI Geomatics, 2007).

Stereo kontrol noktalarının her iki görüntüde nokta numaraları ve kartoğrafik koordinatları aynıdır fakat görüntüler içindeki piksel koordinatları farklıdır. U7 ve U26 görüntüleri farklı alım açısına sahip oldukları için, bir görüntüde çok iyi derecede görünen bir yol kesişimi diğer görüntüde aynı derecede iyi görünmeyebilir. Bu durum stereo yer kontrol noktası ve bağlantı noktası işaretlemesini olumsuz olarak etkilemiştir. Ayrıca farklı tarihlerde algılanan U7 ve U26 görüntülerinin radyometrik değerlerinin (yansıtma değerleri) farklılık göstermesi bağlantı noktası işaretlenmesi ve görüntü eşleme aşamasında olumsuz bir etkiye neden olmuştur.

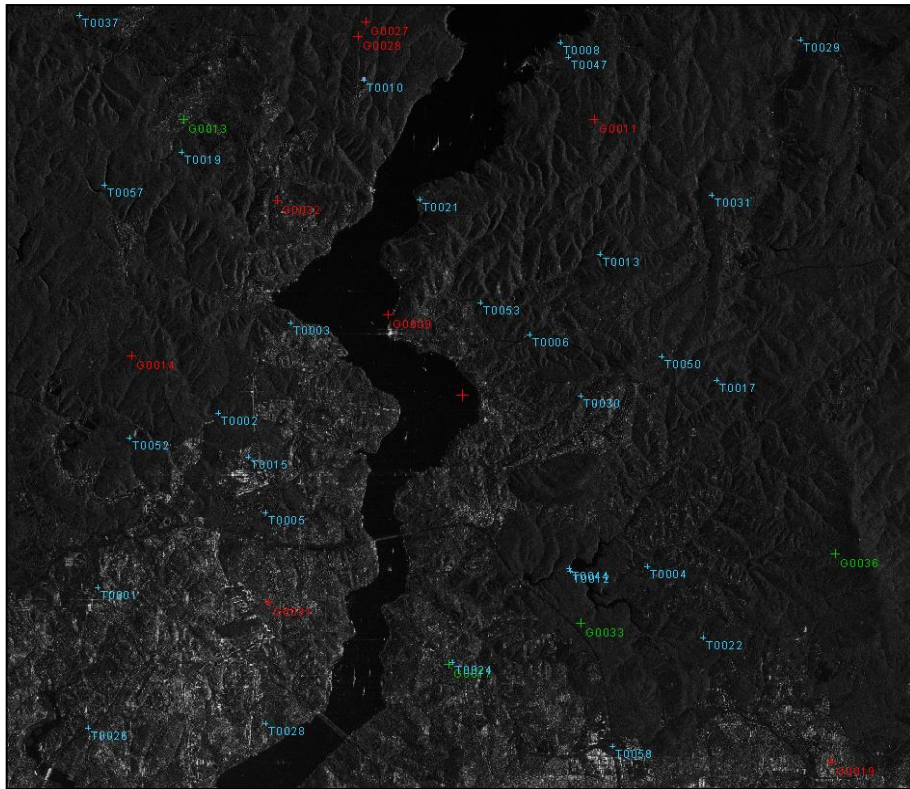
Görüntülerde yer kontrol noktaları seçilirken iyi derecede ayırt edilebilen yerler seçilmiştir. Seçilen tüm YKN'ler yerdedir. Genel olarak yol kesişimleri, kavşaklar ve iskeleler işaretlenmiştir. Ayrıca görüntüler üzerinde yer kontrol noktalarıyla beraber, dönüşümden sonra oluşacak doğruluğu değerlendirmek için test noktaları seçilmiştir. Test noktalarının koordinat ve yükseklik değerleri aynen YKN'de olduğu gibi referans verilerden okunarak girilmiştir. Fakat bu test noktaları model oluşumunda hesaplamaya katılmazlar. Yazılım, model oluşmadan önceki ve model oluşuktan sonraki değerlerle kıyaslama yaparak yapılan hataları göstermektedir.

Tüm bunların yanında stereo model oluşturma, görüntü eşleme ve 3B stereo kesişim için YKN'ler ve test noktalarıyla beraber her iki görüntüde ortak olan bağlantı noktaları işaretlenmiştir. Bağlantı noktaları, görüntüleri birbiriyle ilişkilendirmek için kullanılırlar. Yer kontrol noktalarının aksine bağlantı noktaları koordinatları bilinmeyen noktalardır. PCI yazılımı görüntüler arasındaki korelasyonu kullanarak otomatik olarak bağlantı noktası üretebilmektedir. Fakat bu yöntem iki görüntüdeki

radyometrik farklılıklar nedeniyle sonuç vermemiştir. Her iki görüntüde de ortak ve ayırt edilebilir noktalar elle girilerek bağlantı noktası olarak seçilmiştir. Bağlantı noktalarının görüntüler üzerinde homojen olarak dağılmasına özen gösterilmiştir.

Seçilen YKN'lerle deneme amaçlı birkaç SYM oluşturulmuştur ve SYM oluşturma sonucunda PCI yazılımının hazırladığı rapor dosyasında, çok sıkışık binalar arasındaki yol kesişimleri ve yoğun ağaçların arasında bulunan yol kesişimlerindeki YKN'lerin yüksekliklerinin doğru hesaplanamadığı gözlenmiştir. Birçok YKN noktası bu yüzden görüntülerden çıkarılmıştır. Bu deneyim sonucunda da radar görüntülerine YKN girilirken bu hususlara dikkat edilmesi gerektiği gözlenmiştir.

Seçilen yer kontrol, test ve bağlantı noktalarının sayısına bakıldığında; U26 görüntüsü için toplam 8 yer kontrol noktası ve 4 test noktası, U7 görüntüsü için 9 kontrol noktası ve 3 test noktası seçilmiştir. Yani iki görüntü için toplamda 17 yer kontrol noktası ve 7 test noktası seçilmiştir. Ayrıca toplamda 29 adet bağlantı noktası seçilmiştir. Seçilen 17 yer kontrol noktasının 5 adeti stereo yer kontrol noktasıdır. U26 ve U7 için tüm noktaların görüntü üzerindeki dağılımları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Kırmızı renkli noktalar yer kontrol noktalarını, yeşil renkliler test noktalarını ve mavi noktalar bağlantı noktalarını temsil etmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.3 : (a) U26 görüntüsündeki nokta dağılımı, (b) U7 görüntüsündeki nokta dağılımı.

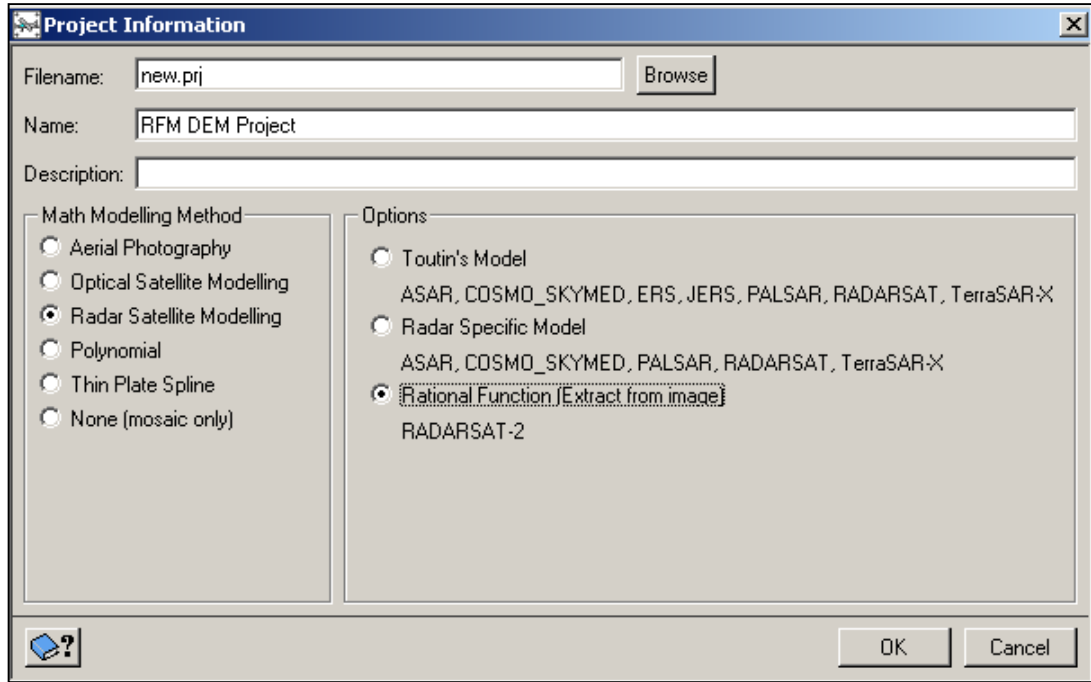
4.2.2 Rasyonel Fonksiyonlar ile Geometrik ve Stereo Modelin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan diğer bir geometrik ve stereo model oluşturma yöntemi rasyonel fonksiyonlar modelidir (Rational Functions Model-RFM). RFM, 3 boyutlu parametrik olmayan bir modeldir. 3 boyutlu obje koordinatlarıyla 2 boyutlu görüntü koordinatlarını ilişkilendirir. Bu model algılayıcı platform verileri ve 3 boyutlu fiziksel modelin mevcut olmadığı durumlarda kullanılabilir. Model, algılayıcı sistemin, yeryüzünün ve atmosferin sebep olduğu etkileri yansıtmadığından, bu parametrelerle ilgili bilgilere gerek duymaz (Toutin, 2004c). Modelin temel esaslarıyla ilgili bilgiler bölüm 3.3'te ele alınmıştır.

Günümüzde SAR görüntülerinin farklı uygulamalarda kullanılabilmesi için bir harita projeksiyonunda tanımlanması gereklidir. Bunun için de kullanıcıların SAR görüntülerini rektifiye etmesi gerekmektedir. Görüntüdeki distorsiyonları gideren rektifikasyon işlemi için hepimizde bildiği YKN'ler ve SYM'ler kullanılmaktadır. Fakat yer kontrol noktasının temini, özellikle daha öncesinden kartoğrafik veri bulunmayan alanlar, ulaşılması zor olan alanlar, çöller ve buzullar gibi yerlerde önemli derecede sorun teşkil etmektedir. Ayrıca bu alanlarda yer kontrol noktası

temini oldukça maliyetlidir. Bunun yanında hızlı yer kontrol noktası temini, sel, yangın, volkanik patlamalar ve deprem gibi olayları izlemede çok önemlidir. Tüm bunlara ek olarak SAR görüntülerin işlenmesi optik görüntüleme göre daha karmaşıktır (Cheng ve Toutin, 2010). Tüm bu etkenlerden dolayı bu çalışmada yer kontrol noktasına gereksinim duymayan RFM'nin araziden bağımsız yaklaşımı ele alınmıştır ve doğruluğu araştırılmıştır.

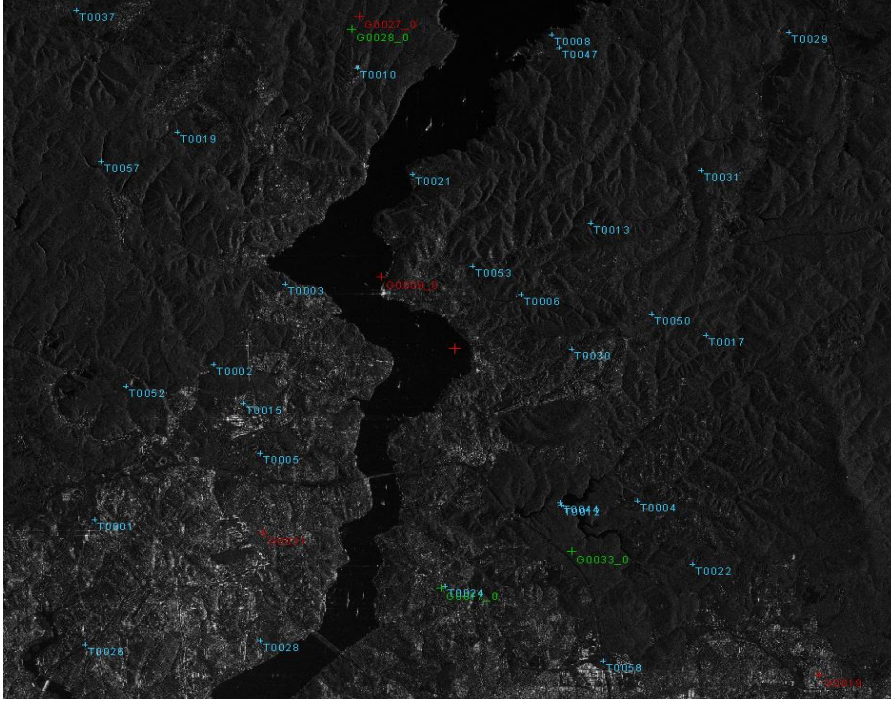
RADARSAT-2 uydu görüntüleri, 3. derecede rasyonel polinomları çözebilmek için 80 tane rasyonel polinom katsayısı (RPC) içermektedir (Cheng ve Toutin, 2010). Bu sayede PCI yazılımının OrthoEngine modülü içindeki radar matematik modelleme yöntemleri kısmındaki "Rational Functions (Extract from image)" sekmesi, rasyonel fonksiyonlar modelini kullanarak yer kontrol noktaları gerekmeden geometrik ve stereo model oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu seçim Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Yer kontrol noktası gerektirmeyen RFM.

Daha önceden de bahsedildiği gibi RFM'nin araziden bağımsız yaklaşımı için YKN'ye gereksinim yoktur fakat model, sonucu YKN'lerle iyileştirmeye olanak sağlamaktadır. Bu iyileştirme işlemi 2 boyutlu polinom fonksiyonlarıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada, sadece oluşturulacak olan SYM'yi koordinatlandırmak amaçlı; U26 için 4, U7 için 4 adet yer kontrol noktası ve sonrasındaki yatay doğruluğu araştırmak için; U26 için 3, U7 için 3 adet test noktası işaretlenmiştir.

Toplamda RFM modeli için 8 adet YKN ve 6 adet test noktası işaretlenmiştir. Ayrıca 29 bağlantı noktası kullanılmıştır. Bağlantı noktalarının görüntüler üzerinde homojen olarak dağılmasına özen gösterilmiştir. Tüm noktaların iki görüntü içindeki dağılımları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



(a)



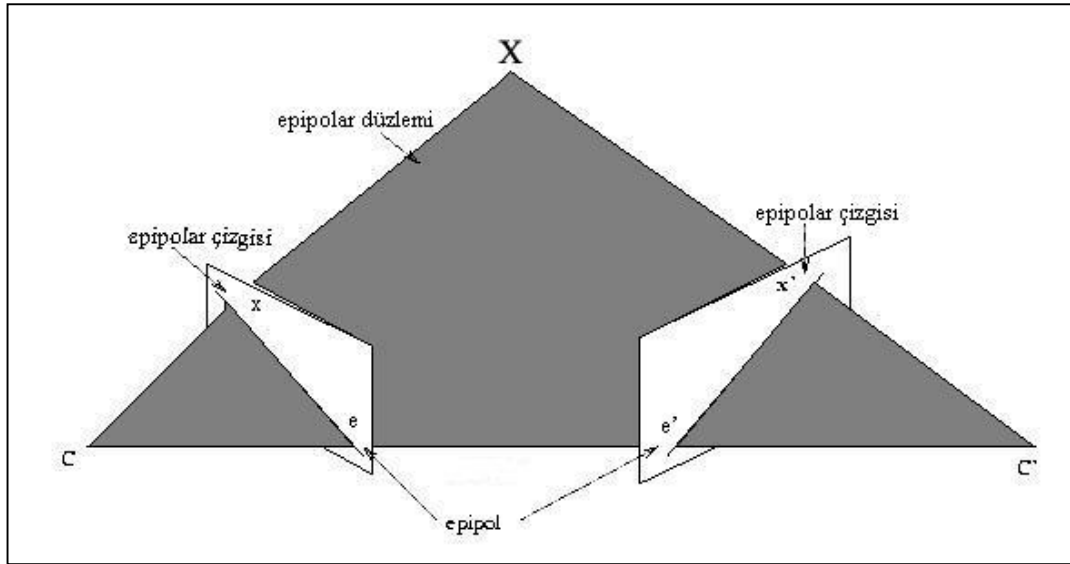
(b)

Şekil 4.5 : (a) U26 görüntüsündeki nokta dağılımı, (b) U7 görüntüsündeki nokta dağılımı.

Stereo model oluşturma aşamasından sonra orijinal görüntülerden epipolar görüntüler oluşturma aşamasına geçilmiştir.

4.3 Epipolar Görüntülerin Oluşturulması

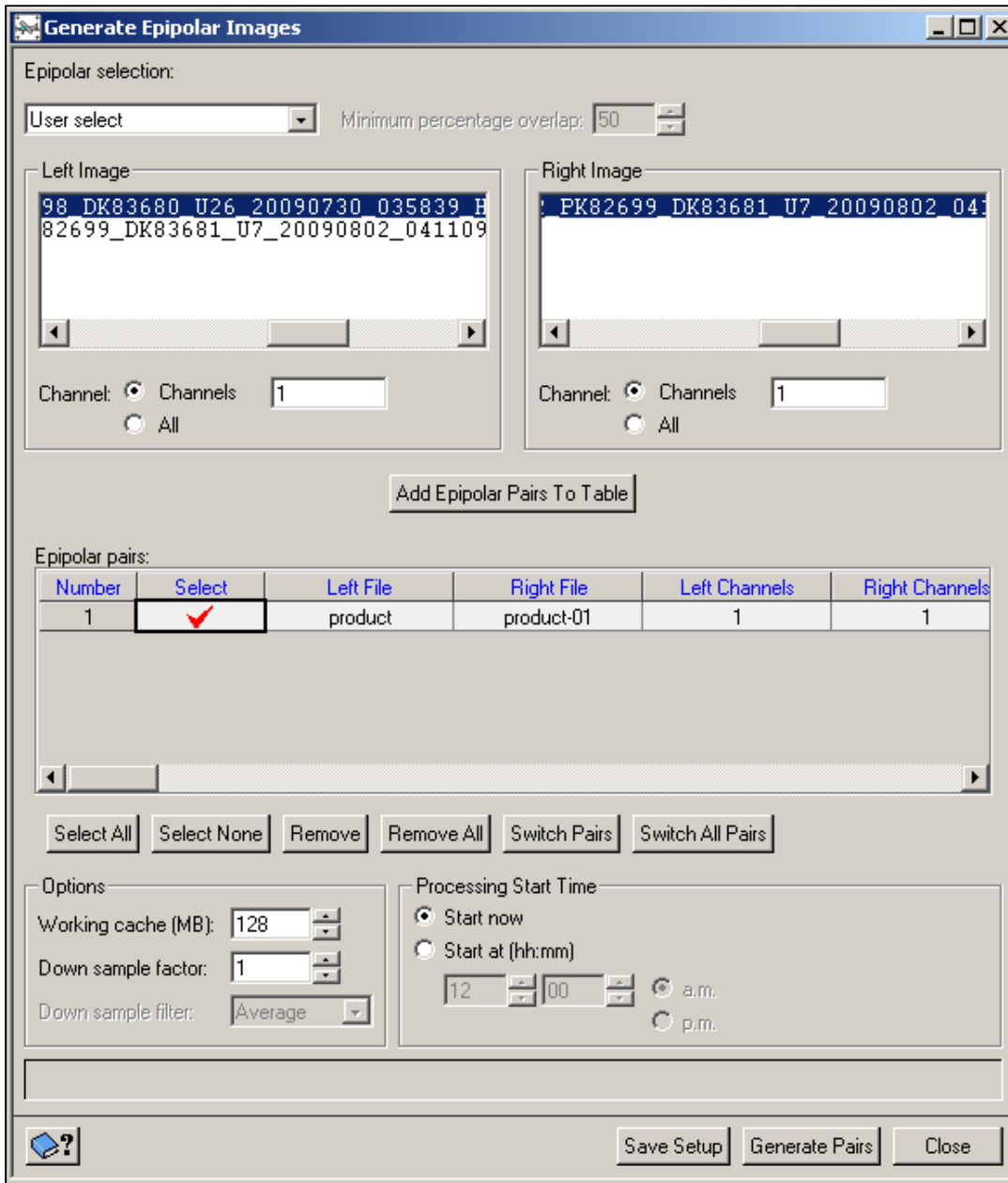
Görüntü eşleme ve 3B keşişim alanı oluşturma işlemleri yapılarak otomatik bir Şekilde SYM üretmeden önce, ham görüntülerden epipolar görüntüler oluşturulmuştur. Bu işlem her iki görüntünün birbiriyle olan eşleme oranını ve hızını artırır. Ayrıca epipolar görüntüler, stereo görüntülerde “y” eksenini yönündeki kaymaları (paralaksları) azaltır. Şekil 4.6’da epipolar görüntü geometrisi gösterilmektedir (Url-3, 2010).



Şekil 4.6 : Epipolar görüntü geometrisi.

Şekil 4.6’da C ve C' görüntülerin kamera merkezleridir. X hedef nesne, x ve x' her iki görüntüdeki görüntü noktalarıdır. X , x , x' , C ve C' aynı epipolar düzlem üzerindedir. x ve x' noktaları X noktasında keşişmektedirler. C ve C' noktalarını birleştiren doğru parçasına da taban çizgisi denir. Epipolar çizgiler ise görüntü noktalarını (x , x') taban çizgisiyle birleştiren çizgidir. Epipolar görüntüler oluşturulduktan sonra, sol görüntüdeki x noktasına karşı gelen x' noktasını bulmak için çalışacak olan algortima bu noktayı sağ görüntünün tamamını içerisinde aramak yerine sadece epipolar çizgisi üzerinde arayacaktır (Url-3, 2010). Bu da görüntü eşleme aşamasını hızlandırır ve güvenilirliği artırır.

Epipolar görüntüler oluşturulurken sağ ve sol görüntülerin seçilmesi gerekmektedir. PCI yazılımının yardım sayfasında RADARSAT için bakış açısı daha büyük olan görüntünün sol resim olarak seçilmesi önerilmektedir. Bu yüzden U26 görüntüsü sol, U7 görüntüsü sağ resim olarak seçilmiştir (Şekil 4.7) . Kanal (channel) kısımlarına 1 yazılmıştır. “Down Sample Factor” kısmına da 1 değeri girilmiştir. Bu kısım epipolar görüntüler oluşturulurken kaç kaçlık bir piksel penceresi kullanılacağını belirlemek içindir. Örneğin değer 1 olduğunda her piksel ayrı ayrı işlenir. Fakat bu değer 2 olduğunda oluşturulan epipolar görüntünün 1 pikseli, orijinal görüntüdeki 2X2’lik bir pencereden yani 4 piksel işlenerek oluşturulacaktır.



Şekil 4.7 : PCI yazılımında epipolar görüntülerin oluşturulması.

Her iki model (TM, RFM) için epipolar görüntüler oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra radargrametri yöntemiyle otomatik SYM üretme aşamasına geçilmiştir.

4.4 Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulması

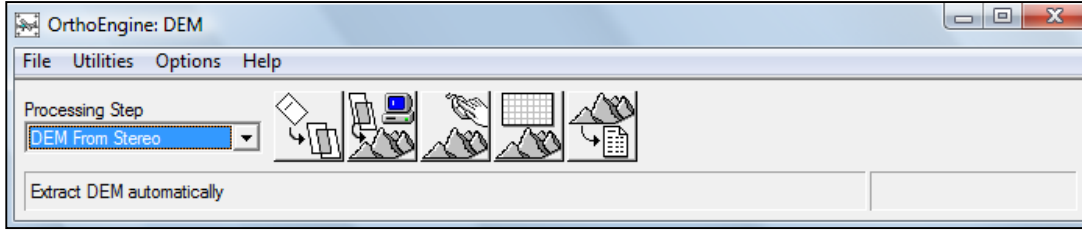
Stereo model ve epipolar görüntüler oluşturulduktan sonra radargrametri yöntemiyle otomatik olarak SYM oluşturma işlemi yapmak için görüntü eşleme ve 3B stereo kesişim alanı oluşturma işlemleri otomatik olarak yapılmıştır.

Görüntü eşleme işlemi temel olarak radyometrik bir konudur (Toutin, 2002). Görüntü eşlemenin amacı 3B stereo kesişim alanı oluşturmak için görüntülerdeki ortak alanları belirleyerek görüntüler arasındaki ilişkilendirmeyi gerçekleştirmektir. Eşleme işlemi yer kontrol ve bağlantı noktalarıyla beraber birçok farklı algoritmayla otomatik olarak yapılabilmektedir. Birçok görüntü eşleme tekniği farklı ilkeleri kullanarak (nokta, kenar, alan) iki görüntü arasındaki korelasyona dayanarak gerçekleştirilir. Fakat maksimum korelasyon katsayı hesabı yapan normalize edilmiş çoklu-ölçekli alan korelasyonu (normalized multi-scale area correlation) yöntemi en uygun ve doğru yöntemlerden biri olarak nitelendirilmiştir (Gülch, 1991; Leberl ve diğ. 1994). Ayrıca bu yöntem SAR görüntüleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Toutin, 2002). Çalışmada da görüntü eşleme işlemi bu modelle PCI yazılımı tarafından otomatik olarak yapılmıştır.

3B stereo kesişim alanını oluşturmak üzere önceden hesaplanmış olan geometrik model kullanılmıştır ve görüntü eşleme işlemi sonucu her iki görüntüde bulunan piksellerin koordinatlarını üç boyutlu veriye dönüştürerek SYM' ler oluşturulmuş ve istenilen projeksiyon sistemine göre koordinatlandırılmıştır.

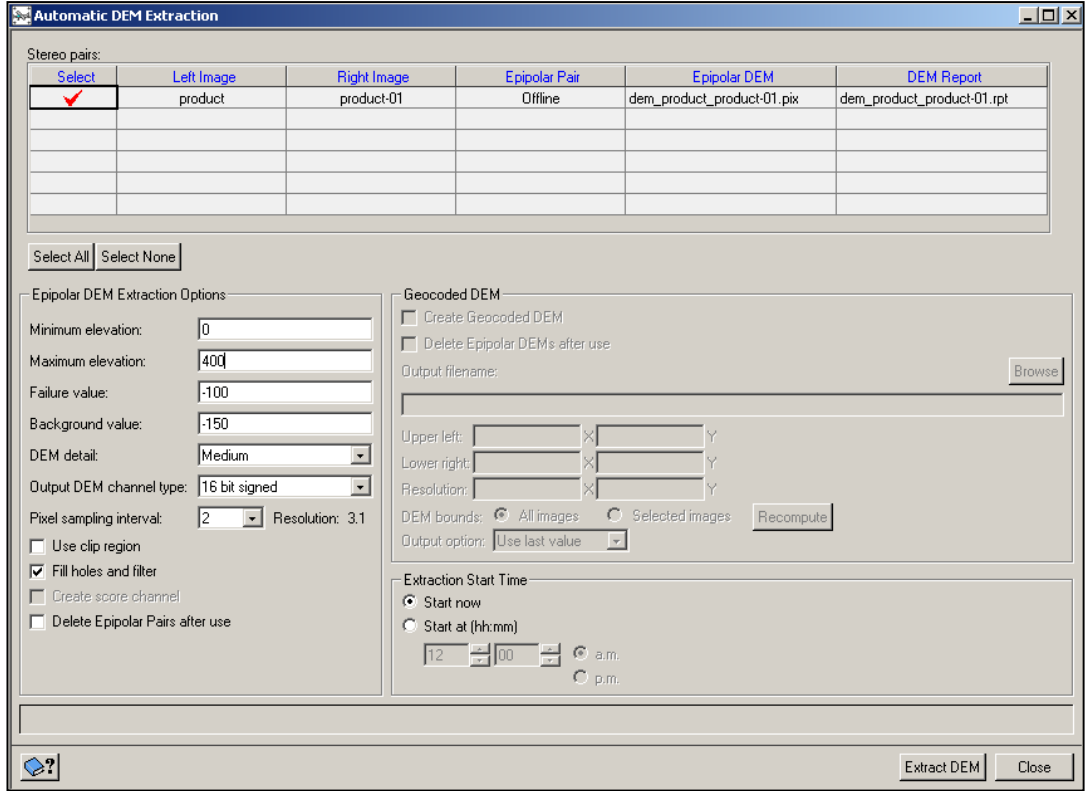
Tüm bunlar PCI yazılımı tarafından otomatik olarak yapılmıştır. Yazılım bunları yapmadan önce elle girilmesi ve dikkat edilmesi gereken parametreler vardır. Bu parametreler oluşturulacak olan SYM'lerin çözünürlüğünü ve kalitesini belirlemektedir. Ayrıca girilen parametreler SYM oluşturma zamanını da etkilemektedir.

PCI yazılımının OrthoEngine modülünde “DEM From Stereo” bölümünden otomatik SYM oluşturma (Extract DEM Automatically) sekmesi seçilmiştir (Şekil 4.8).



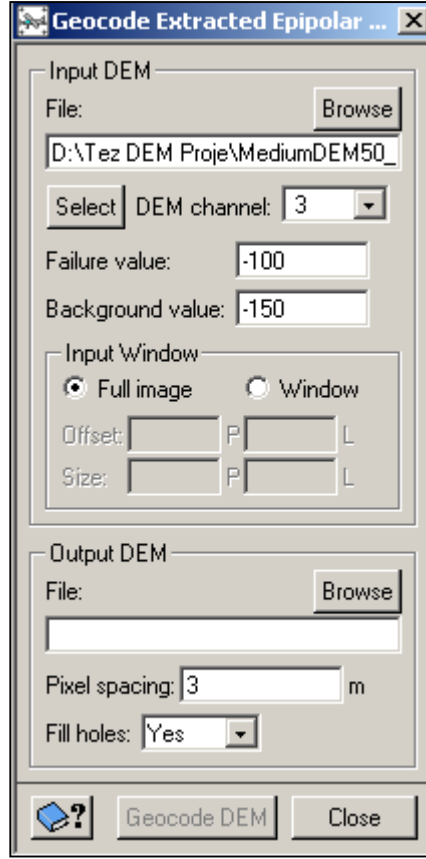
Şekil 4.8 : PCI yazılımında otomatik SYM oluşturma seçimi.

Bu seçimden sonra karşımıza çıkan ekranda daha önceden oluşturmuş olduğumuz epipolar görüntüler seçilmiştir (Şekil 4.9). Sonraki aşamada, yazılım modelin oluşturulacağı alanın yaklaşık minimum ve maksimum yükseklik değerlerinin girilmesini istemektedir. Bu amaçla referans sayısal yükseklik modeline bakılarak minimum yükseklik alanına “0 m” ve maksimum yükseklik alanına “400 m” girilmiştir. Aslında çalışma alanının en yüksek bölgelerinin yükseklik değeri 320 m civarındadır fakat her ihtimale karşı yazılıma 400 değeri girilmiştir. Bu işlemle beraber korelasyonu yapılacak olan alan işlemleri daha hızlı bir şekilde yapılmış olacaktır. Yükseklik değerlerinin hemen altında başarısız piksel değeri (Failure Value) vardır. Bu değer iki görüntü arasındaki eşleme sonucunda yüksekliği hesaplanamayan pikselleri temsil etmektedir. Bu noktalara sabit bir değer atanması daha sonra SYM üzerinde yapılacak olan düzeltme işlemlerinde kolaylık sağlayacaktır. Bu alana, yüksekliği belirlenemeyen piksellere varsayılan değer olan -100 değeri girilmiştir. Bu değer hemen altındaki değer arka plan değeridir (Background value) . Bu kısma da varsayılan değer olan -150 değeri girilmiştir. Bir sonraki adımda oluşturulacak olan SYM nin kalitesi belirlenmektedir. Düşük (low), orta (medium) ve yüksek (high) değerlerinden biri seçilmelidir. PCI yazılımının yardım menüsünde SAR görüntüleri için orta kalite seçimi önerilmektedir. Bu yüzden oluşturulan SYM’ler için orta kalite seçilmiştir. Piksel aralığı (Pixel sampling interval) parametresi ise SYM’nin bir pikselini üretmek için kaç tane orijinal görüntü pikselinin kullanılacağını belirler. Bu seçeneğin, SAR görüntüleri için en az girdi piksel büyüklüğünün iki katı olarak seçilmesi önerilmektedir. Bu alana 2 değeri girilmiştir. Bu işlemden sonra “Fill holes and filter” kutucuğu işaretlenmiştir. Bu işlemle beraber, görüntü eşleşmesi sonucu belirli bir piksel sayısına kadar, yükseklik değeri atanamayan piksellere, çevresindeki piksellerin yükseklik değerlerinden enterpole edilerek ve daha sonrasında filtrelenerek bir yükseklik değeri atanması sağlanır. Girdiğimiz tüm parametreler Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



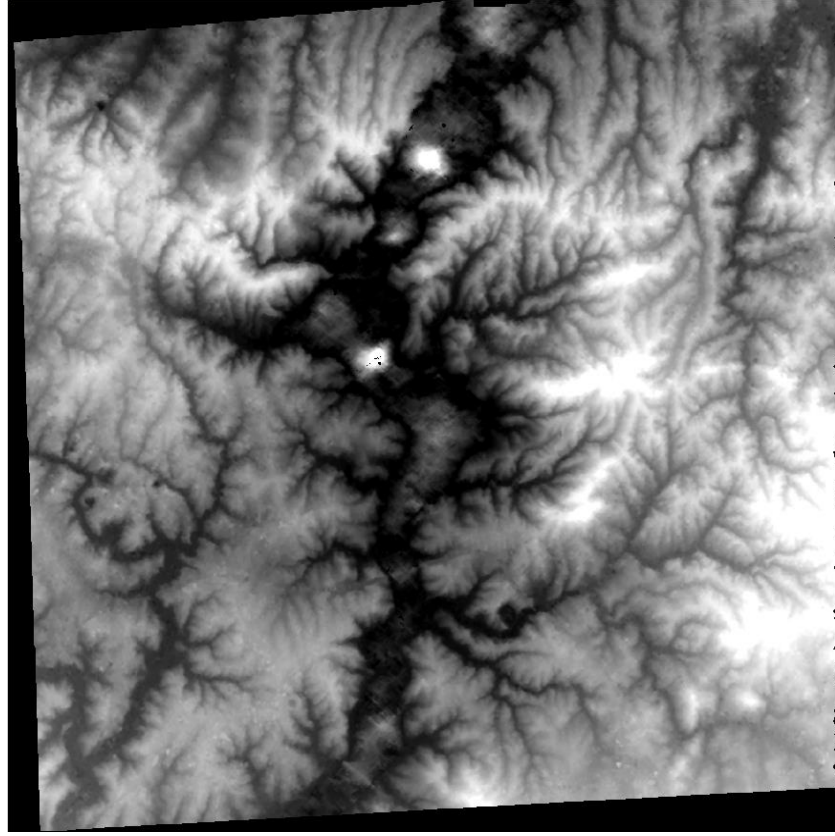
Şekil 4.9 : Otomatik SYM oluşturulurken girilen parametreler.

Parametreler yazılıma girildikten sonra otomatik SYM oluşturma işlemi başlatılmıştır. Bu işlemin sonucunda PCI yazılımı epipolar SYM oluşturmaktadır. Oluşan bu epipolar SYM, kullanıcı istediğine bağlı olarak istenilen bir projeksiyon sistemine göre koordinatlandırılabilir. Bu çalışmadaki yer kontrol noktaları ve referans olarak kullanılan SYM 3 derecelik Transversal Merkator sistemi ve ED50 datumunda olduğundan, epipolar SYM'ler bu sisteme göre koordinatlandırılmıştır. Referans olarak kullanılan SYM'nin grid boyutu 3 m olduğu ve sonuç değerlendirmeleri yine bu referans SYM'ye göre yapılacağı için, oluşturulacak SYM'lerin de grid boyutu 3 m olacak şekilde işlem yapılmıştır (Şekil 4.10).

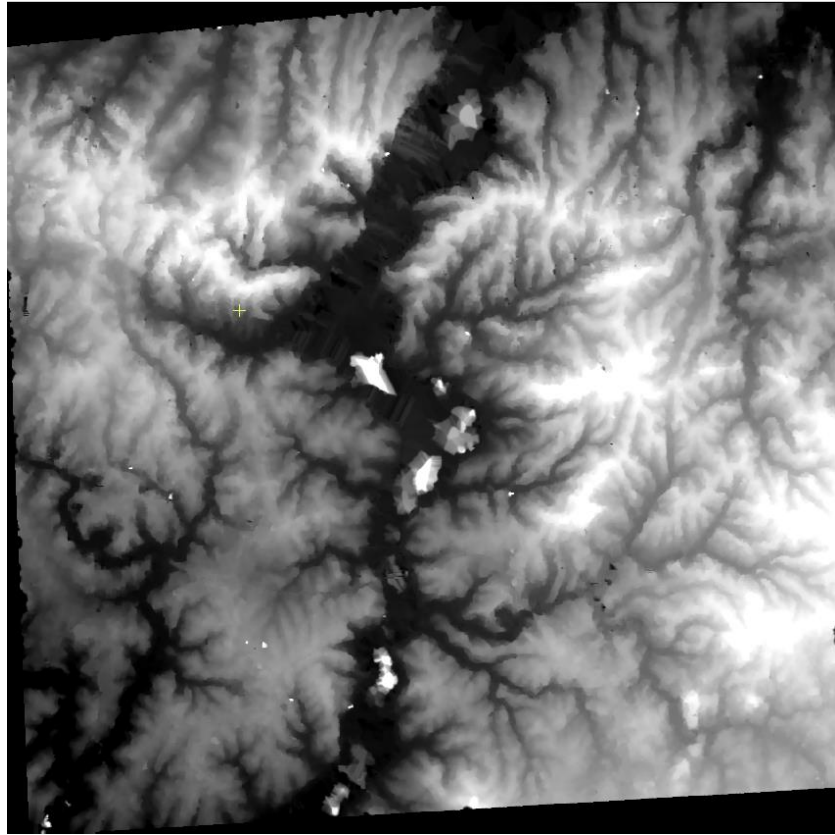


Şekil 4.10 : PCI yazılımında epipolar SYM'nin koordinatlandırılması.

Sonuç olarak, koordinatlandırılmış iki ayrı sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan SYM'lere henüz bir düzeltme işlemi yapılmadığı için bu modellere "ham SYM" denmiştir (Şekil 4.11). Karışıklık olmaması için; TM'den oluşturulan yükseklik modeline SYM1, RFM'den oluşturulan yükseklik modeline de SYM2 ismi verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11 : (a) Ham SYM1, (b) Ham SYM2.

Bu aşamadan sonra oluşturulan SYM'lerin düzeltilmesi işlemine geçilmiştir.

4.5 Sayısal Yükseklik Modellerinin Otomatik Olarak Düzeltilmesi

SYM üretimi sonucunda model üzerinde çeşitli hatalar görülebilir. Özellikle su yüzeyi bulunan bölgelerde, görüntü üzerinde eşleşmeyen ve bunun sonucunda da yüksekliği hesaplanamayan noktalar olabilir, ya da bu noktalara yanlış değerler atanabilir. İşte bu yüzden tüm bu hataları düzeltmek için manuel ve otomatik SYM düzeltme yöntemleri mevcuttur.

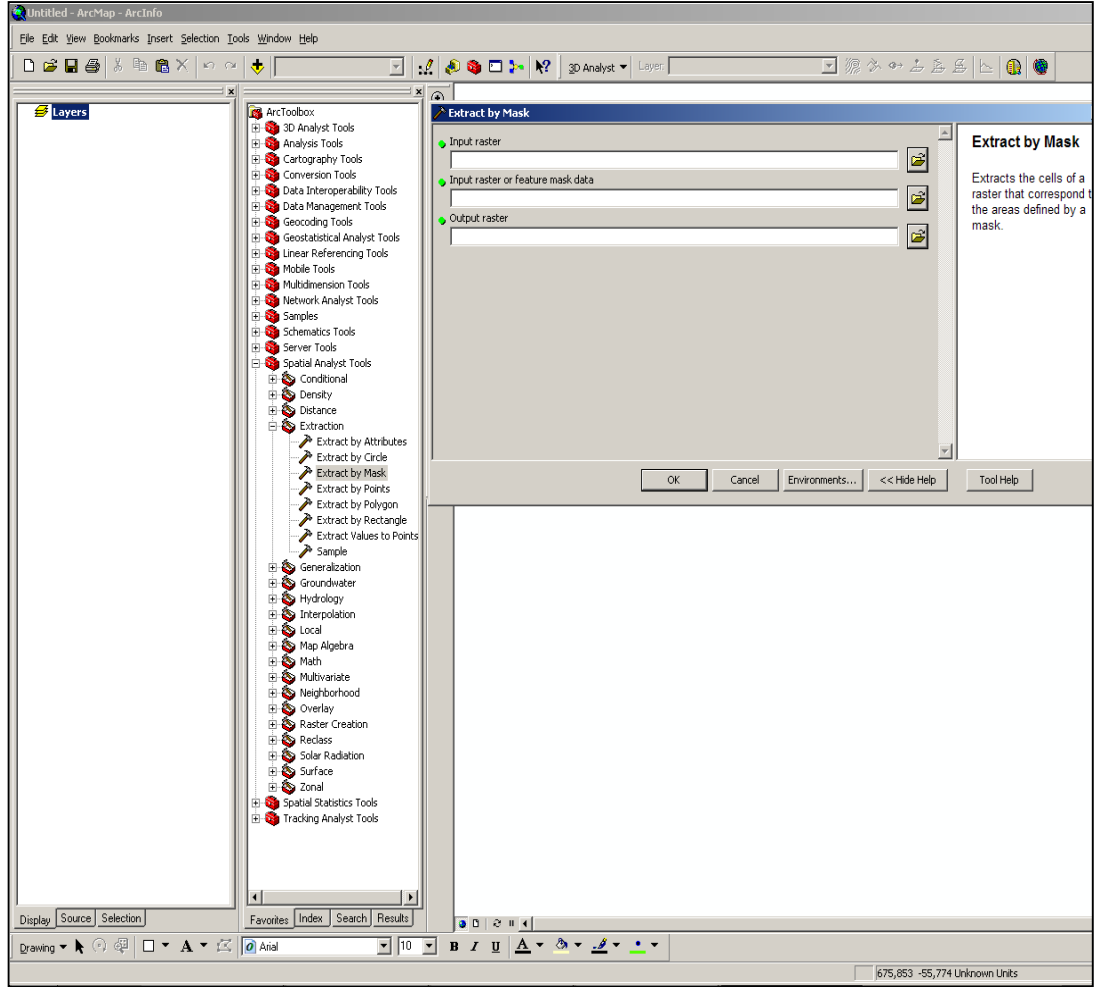
Bu çalışmada otomatik SYM düzeltme işlemleri kullanılmıştır. Çünkü üretilen SYM'lere bakıldığında gözle görünür büyüklükte bir eşlenmemiş alan gözükmemektedir. Fakat piksel bazında eşlenmemiş noktalar olabileceğinden bazı enterpolasyon ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır.

Öncelikli olarak çalışma alanında en büyük su yüzeyi olan İstanbul Boğazı SYM'lerden otomatik olarak çıkartılmıştır. Bu işlem için ArcGIS yazılımının içindeki "ArcToolbox" araç çubuğunun "Spatial Analys Tools" kısmındaki "Extraction" sekmesindeki "Extract by Mask" seçeneği kullanılmıştır (Şekil 4.12).

"Input Raster" kısmına girdi olarak oluşturduğumuz SYM'ler girilmiştir. Hemen altındaki kısma ise elimizde referans olarak bulunan İstanbul Avrupa ve Anadolu yakasının SYM'leri girilmiştir. Bu işlem Avrupa ve Anadolu yakası için ayrı ayrı yapılmıştır. Avrupa ve Anadolu yakasının SYM'lerinde İstanbul Boğazı yer almadığından bu veriler bir referans maske olarak kullanılacak ve kıyı şeridi bu maskelere göre çizilerek İstanbul Boğazı, oluşturmuş olduğumuz SYM'lerden çıkartılmış olacaktır. Bu işlemler sonucunda, içinde İstanbul Boğazı'nı bulundurmayan iki adet SYM oluşmuştur.

Bundan sonra bu iki SYM mozaiklenerek tek bir SYM elde edilmiştir. İstanbul Boğazı'nı otomatik olarak modellerden çıkartma işlemi hem SYM1 hem de SYM2 için ayrı ayrı yapılmıştır (Şekil 4.13).

Bu aşamadan sonra filtreleme ve enterpolasyon işlemlerine geçilmiştir. Bu işlemler için PCI yazılımının "Focus" modülünün "DEM Editing" kısmı kullanılmıştır. Bu kısımda birçok SYM düzeltme işlemi manuel yada otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada sırasıyla otomatik olarak gürültü giderme filtresi (Remove Noise Filter), enterpolasyon (Interpolate) ve düzgün SYM (Smooth DEM) işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 4.12 : ArcGIS yazılımında İstanbul Boğazı'nın SYM'lerden otomatik olarak çıkartılması.

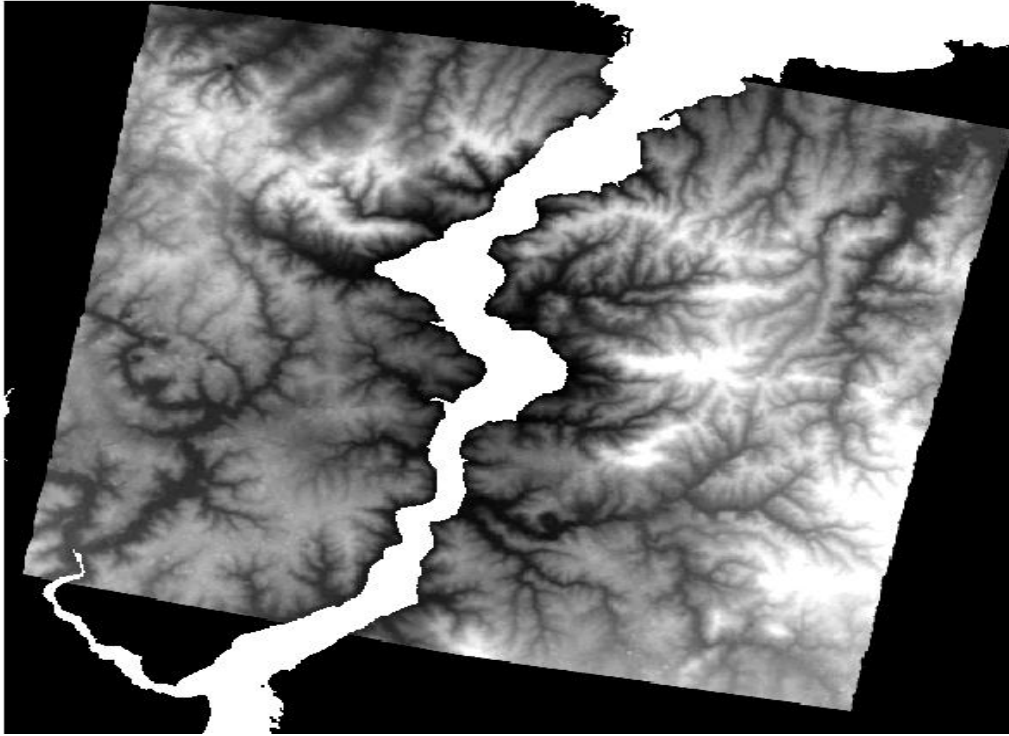
Gürültü giderme filtresi, otomatik olarak kötü sonuç veren pikselleri bulur ve bunları başarısız (failed) piksel olarak atar. Bu filtreleme 2 aşamada gerçekleşir. İlk filtreleme aşamasında, araştırılan pikseli çevreleyen 8 pikselin yükseklik değerlerinin standart sapması hesaplanır. Fakat bu hesaplama varsa başarısız (yükseklikleri hesaplanamayan) ve arka plan piksel değerleri katılmaz. Bu hesaplama sonrası eğer araştırılan pikselin standart sapması hesaplanan ortalama standart sapmanın 2 katından fazla ise bu piksel başarısız piksel olarak atanır. Filtremenin 2. aşamasında, yine araştırılan pikselin etrafındaki piksellere bakılır. Eğer araştırılan piksel 5 yada daha fazla başarısız pikselle çevrilmişse bu piksel de başarısız olarak atanır (PCI Geomatics, 2007). Sonuç olarak bu iki algoritmaya göre otomatik olarak kötü sonuç veren pikseller ayıklanıp başarısız piksel olarak atanmıştır.

Bu aşamadan sonra başarısız piksellere anlamlı değerler atamak için enterpolasyon (Interpolate) işlemi uygulanmıştır. Enterpolasyon işlemi ile yükseklikleri

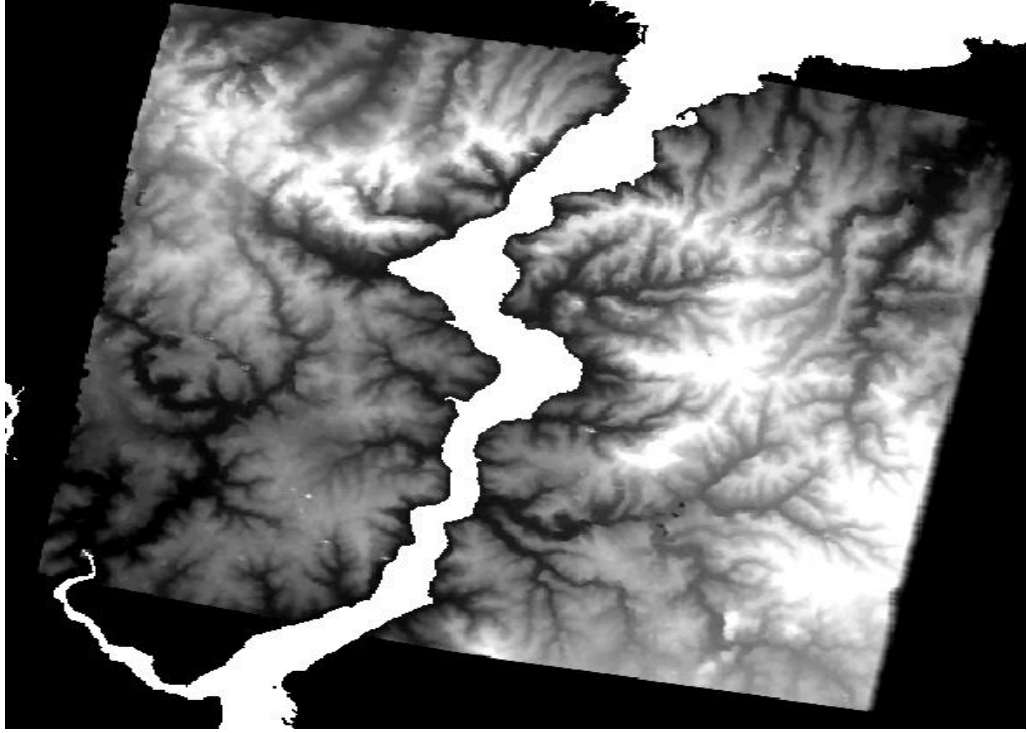
hesaplanamayan (başarısız) piksellere, onları çevreleyen doğru yükseklikli piksellerden yükseklik değeri enterpole edilir. Bu işlem genellikle 200 pikselden büyük alanlar için önerilmemektedir (PCI Geomatics, 2007). Bu işlem sonucunda yüksekliği hesaplanamayan tüm piksellere yükseklik değeri atanmıştır.

SYM düzeltme işlemi için son olarak düzgün SYM (Smooth DEM) işlemi uygulanmıştır. Bu bir Gauss filtresidir ve 3x3'lük bir pencere kullanarak bu pencere içindeki piksellerin yükseklik değerlerinin ağırlıklı ortalamalarını hesaplayarak ortadaki piksele atamaktadır (PCI Geomatics, 2007).

Tüm bu SYM düzeltme işlemleri SYM1 ve SYM2'ye aynı şekilde uygulanmıştır ve sonuç SYM'ler Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.13 : (a) Düzeltilmiş SYM1, (b) Düzeltilmiş SYM2.

4.6 Doğrulukların Değerlendirilmesi

Bu bölümde çalışma sonucu elde edilen bulgular değerlendirilmektedir. Birinci kısımda oluşturulan SYM'lerin yatay doğruluk değerlendirilmesi ele alınmıştır. İkinci kısımda ise SYM'lerden farklı kesitler alınarak yükseklik profilleri oluşturulmuş ve referans SYM ile karşılaştırıldıktan sonra düşeydeki doğrulukları değerlendirilmiştir.

4.6.1 Yatay doğruluğun değerlendirilmesi

Çizelge 4.1'de yer kontrol noktaları, test noktaları ve bağlantı noktaları için stereo model kurulduktan sonra hesaplanan artık hatalar gösterilmektedir. Yataydaki doğruluk değerlendirmesi PCI yazılımının verdiği bu sonuçlara göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme Karesel Ortalama Hata (KOH) ölçütüne göre yapılmıştır.

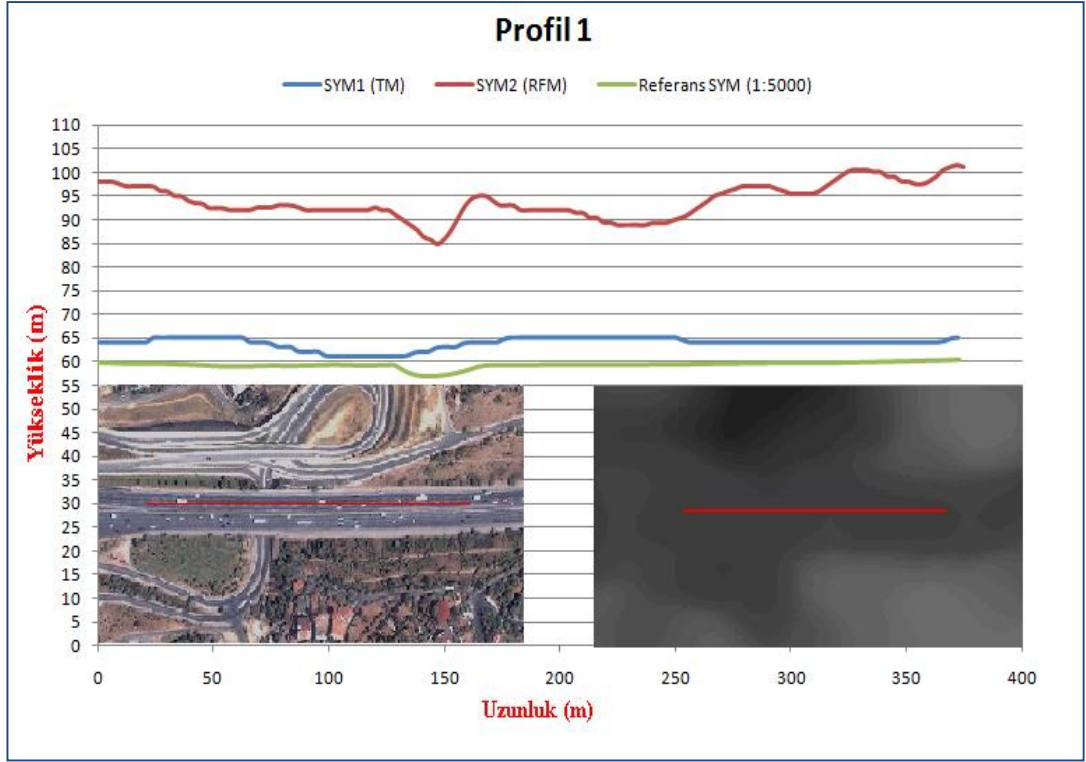
Çizelge 4.1 : Stereo model sonucundaki artık hatalar.

Toutin Modeli (TM) için Artık Hatalar				
	Nokta Sayısı	X_{KOH} (m)	Y_{KOH} (m)	Toplam_{KOH} (m)
Yer Kontrol Noktası	17	0.15	0.39	0.42
Test Noktası	7	1.19	1.25	1.73
Bağlantı Noktası	29	0.09	0.34	0.35
Rasyonel Fonksiyonlar Modeli (RFM) için Artık Hatalar				
Yer Kontrol Noktası	8	0.60	0.43	0.74
Test Noktası	6	2.84	1.08	3.04
Bağlantı Noktası	29	0.57	0.31	0.65

Stereo model sonucundaki yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatalarına bakıldığında; TM için toplamda 0.42 m, RFM için toplamda 0.74 m değerleri elde edilmiştir. Fakat yataydaki (X, Y) doğruluk değerlendirmesi yapılırken genellikle test noktaları baz alınmaktadır. Çünkü bu noktalar geometrik ve stereo model oluşturulurken hesaplamaya dahil edilmezler ve dolayısıyla yatay doğruluk değerlendirmesi için daha özgün bir yaklaşım sergilenir. Yazılım, model oluşmadan önceki ve model oluşuktan sonraki değerlerle kıyaslama yaparak yapılan hataları göstermektedir. Çizelgedeki test noktalarının toplamdaki konum hatalarına bakıldığında; TM yatayda toplam 1.73 m RFM ise 3.04 m'dir. Görüntülerin piksel aralığıyla (1.56) kıyaslandığında yataydaki konum hatası TM için yaklaşık 1 piksel RFM için ise yaklaşık 2 pikseldir. Bu verilere bakıldığında, bu iki model için yataydaki hatalar kabul edilebilecek düzeydedir. Özetlersek, TM, RFM'ye göre yatayda daha iyi sonuçlar vermiştir.

4.6.2 Düşey doğruluğun değerlendirilmesi

Bu bölümde yükseklik doğruluğunu değerlendirmek için oluşturulan SYM'lerden farklı arazi yüzeyleri boyunca kesitler alınıp yükseklik profilleri çıkartılmıştır ve referans SYM (1:5000) ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçlara bakıldığında; TM modeli tutarlı sonuçlar vermiştir fakat RFM modelinde büyük hatalar ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda düşey datumla ilgili bir sorun olabileceği düşüncesiyle SYM2 oluşturulurken kullanılan YKN'lerin yükseklik değerleri 40 m azaltılıp yeni bir SYM oluşturulmuş ve karışıklık olmaması için bu modele SYM3 denilmiştir. Tüm profillerin analizleri yapılmıştır.

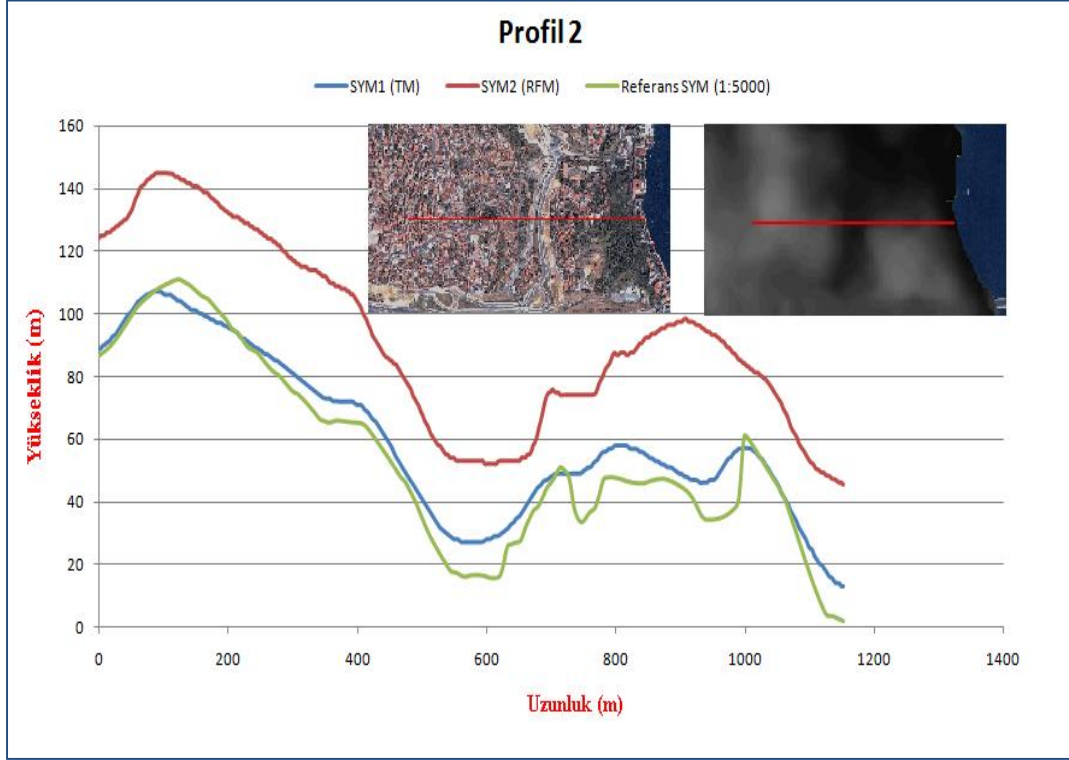


Şekil 4.14 : Profil 1'in konumu ve yükseklik değerleri.

Şekil 4.14'deki kesit, yükseklik değişiminin 3-4 m'den fazla olmadığı bir otoyoldan alınmıştır. SYM1'in yükseklik değerleri referans SYM ile yakınlık göstermektedir. RFM'den oluşturulan SYM2'nin yükseklik değerleri ile referans SYM arasındaki değerler oldukça farklıdır. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 1.61 m, 5.94 m, 4.61 m, SYM2 için 27.85 m, 41 m ve 34.57 m'dir.

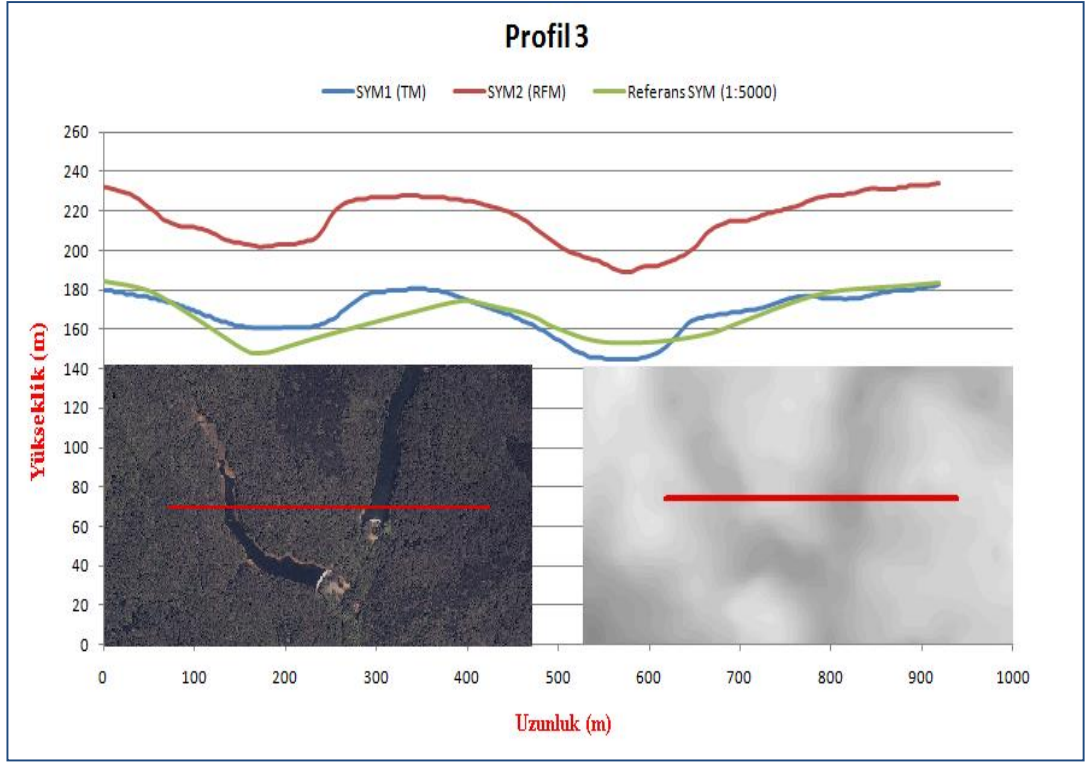
Profil 2'deki kesit, yüksekliği hemen hemen deniz seviyesinden başlayıp 115 m'ye ulaşan ve yerleşim alanlarını içeren bir bölgeden alınmıştır (Şekil 4.15). Bu profilde de SYM1'in yükseklik değerleri referans SYM ile yakınlık göstermektedir. Referans SYM, yerdeki yükseklikleri baz alarak oluşturulduğu için SYM1 ile arasında meydana çıkan farklılıkların bina yüksekliklerinden de kaynaklandığını rahatlıkla söyleyebiliriz. SYM2'nin yükseklik değerlerine bakıldığında, referans SYM'ye göre doğru yükseklik değerleri vermemektedir. Fakat SYM2'nin yükseklik değerlerini temsil eden kırmızı çizginin şekli ile referans SYM'yi temsil eden yeşil çizginin şeklinin benzerliği dikkat çekicidir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla

minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0 m, 17.80 m, 7.56 m, SYM2 için 19.97 m, 60.39 m ve 44.43 m'dir



Şekil 4.15 : Profil 2'nin konumu ve yükseklik değerleri.

Profil 3'deki kesit, içinde su yüzeyleri de bulunduran ormanlık bir alan boyunca alınmıştır (Şekil 4.16). Bu alandaki yükseklik değerleri 140 ile 185 m arasında değişmektedir. SYM1'in yükseklik değerleri referans SYM ile benzerdir. Buradaki kesit alanı, ağaçlar ve su yüzeyleri içerdiğinden dolayı bazı yerlerdeki yükseklik farkları normal olarak karşılanmalıdır. SYM2'nin yükseklik değerlerini temsil eden kırmızı çizginin dağılımı, referans SYM'nin yükseklik değerlerini temsil eden yeşil çizginin dağılımıyla benzerlik gösterse de, yükseklik değerleri kabul edilemez sonuçtur. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.07 m, 15.85 m, 7.22 m, SYM2 için 36.20 m, 64.96 m ve 49.85 m'dir.

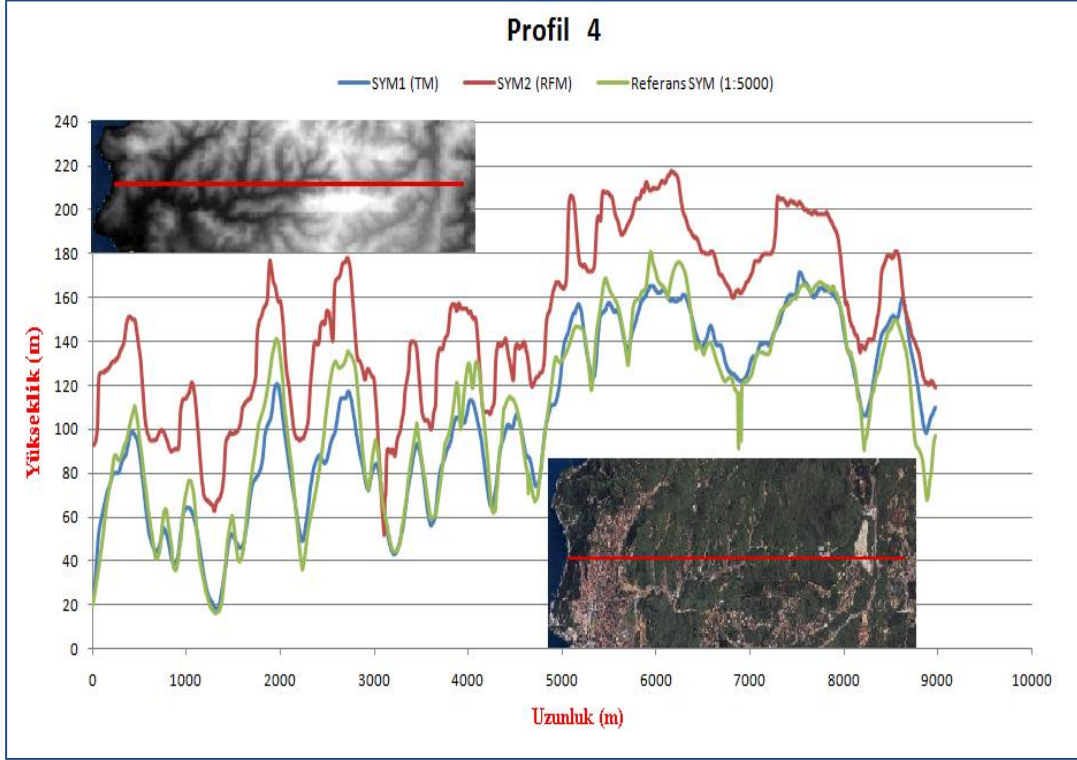


Şekil 4.16 : Profil 3'ün konumu ve yükseklik değerleri.

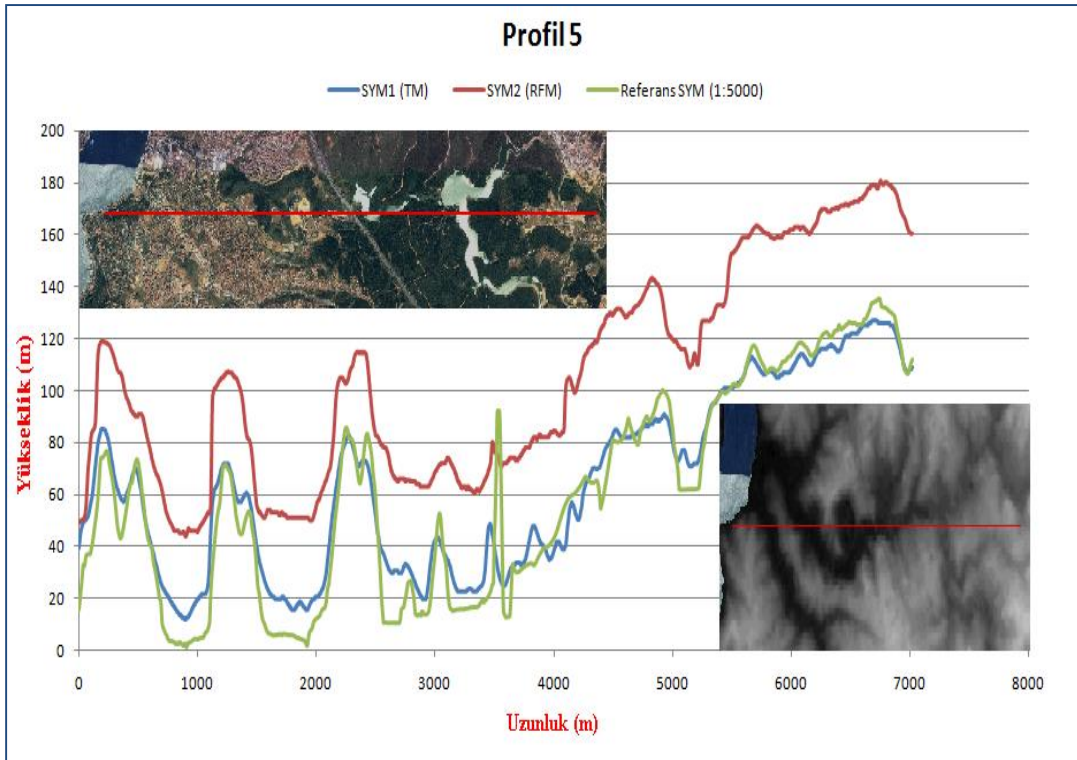
Profil 4; yüksekliklerin sürekli değiştiği, içinde yerleşim ve kırsal alanları barındıran bir bölgeden seçilmiştir (Şekil 4.17). SYM1 bazı pik noktalarını kaçırmasına rağmen diğer yerlerdeki yükseklikleri başarıyla yakalamıştır. Bu profilde de SYM2'nin yükseklik dağılım şekli referans SYM'nin yükseklik dağılım şekline benzemektedir fakat daha önceki profillerde de olduğu gibi SYM2'nin verdiği yükseklik değerleri tutarlı değildir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.01 m, 32.63 m, 10.43 m, SYM2 için 0.16 m, 86.18 m ve 42.18 m'dir.

Profil 5; farklı arazi kullanım alanlarının bulunduğu, yüksekliği deniz seviyesinden başlayıp 140 m'ye kadar ulaşan bir bölgeden seçilmiştir (Şekil 4.18). SYM1 1. ve 2. km ye yaklaşan yerlerdeki sıfır ve sıfıra yakın değerleri yakalayamamıştır. Ayrıca 3 ve 4. km'ler arasındaki ani yükseklik değişimi de SYM1 tarafından kaçırılmıştır. Bunun dışındaki çoğu pik noktaları ve diğer yükseklik değerleri SYM1 tarafından başarıyla temsil edilmiştir. SYM2 yükseklik değişim dağılımını başarıyla yakalamış olmasına rağmen yükseklik değerleri doğru değildir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle

karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0 m, 63.63 m, 10.79 m, SYM2 için 0.38 m, 68.84 m ve 45.38 m'dir.

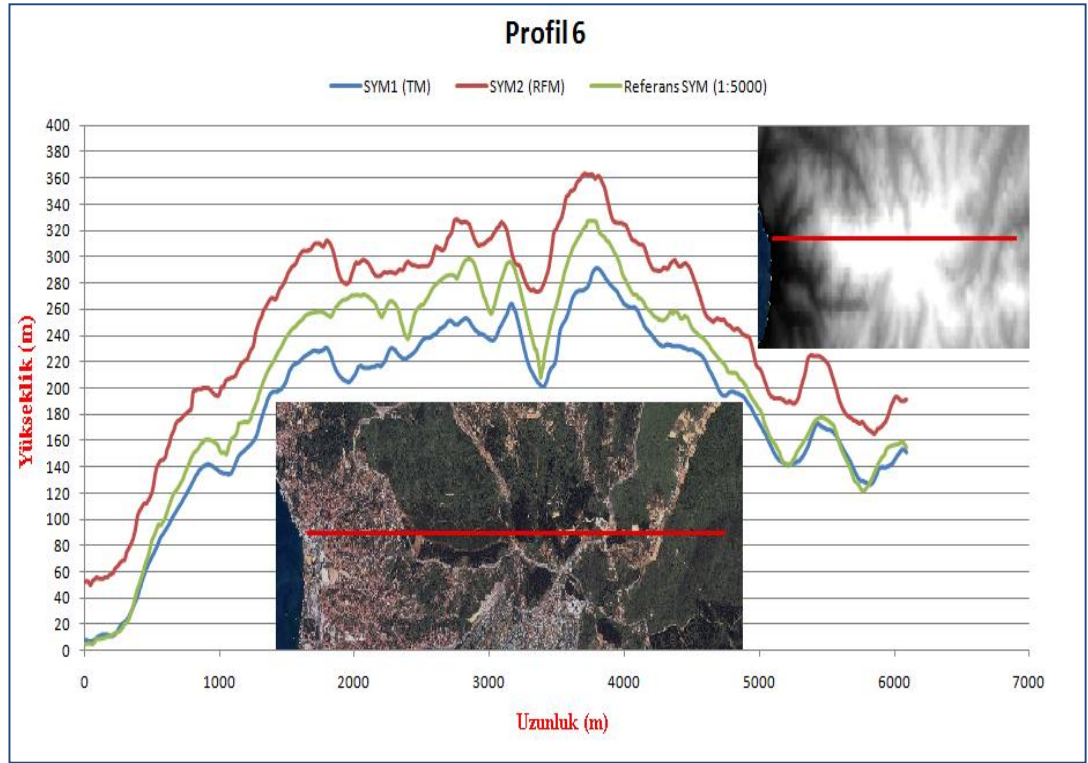


Şekil 4.17 : Profil 4'ün konumu ve yükseklik değerleri.



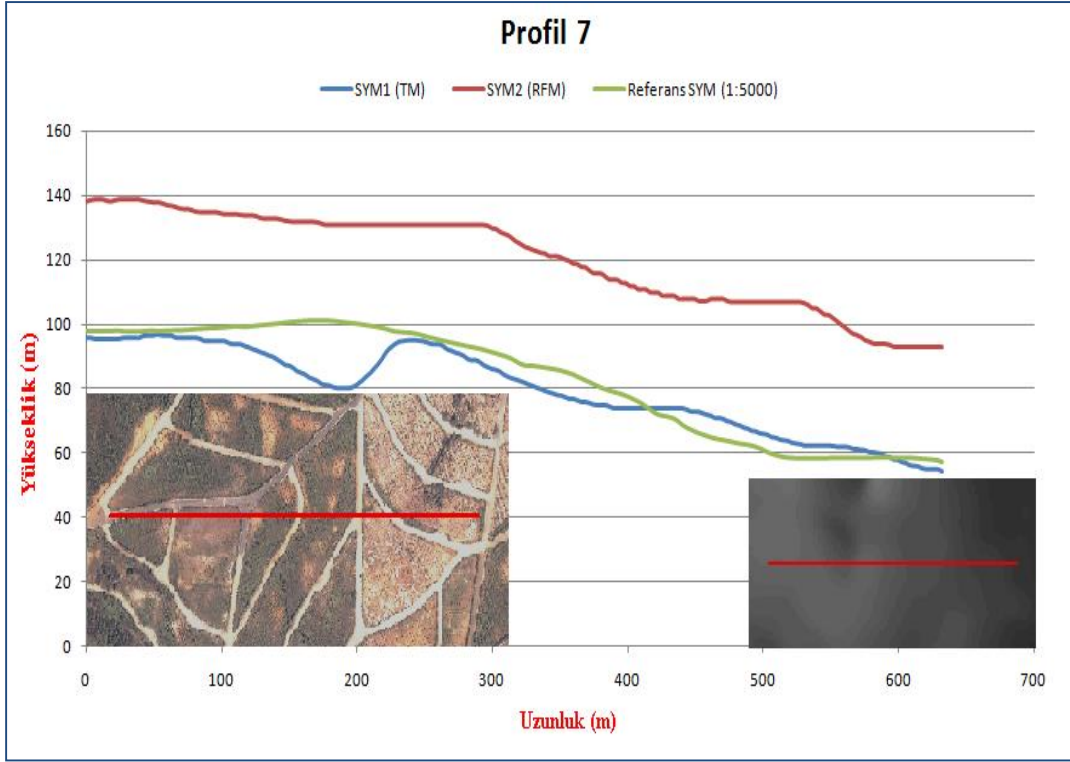
Şekil 4.18 : Profil 5'in konumu ve yükseklik değerleri.

Profil 6 için alınan kesit çalışma bölgesinin en yüksek bölgesini kapsamaktadır (Şekil 4.19). Bu kesit boyunca yüksekliğin fazla olduğu yerlerde SYM1'in verdiği yükseklik değerlerinin yetersiz kaldığı görülmektedir. Güzergahın 2. km'lerinde SYM1 ile referans SYM arasındaki yükseklik farkının 65 m'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu bölge ve etrafından YKN temin edilmediği için hatanın bu denli fazla olduğu düşünülmüştür. Diğer taraftan SYM2'nin verdiği sonuçlar önceki profillerde olduğu gibi gerçek değerleri yansıtmamaktadır. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.01 m, 64.82 m, 26.54 m, SYM2 için 4.73 m, 66.41 m ve 40.55 m'dir.



Şekil 4.19 : Profil 6'nın konumu ve yükseklik değerleri.

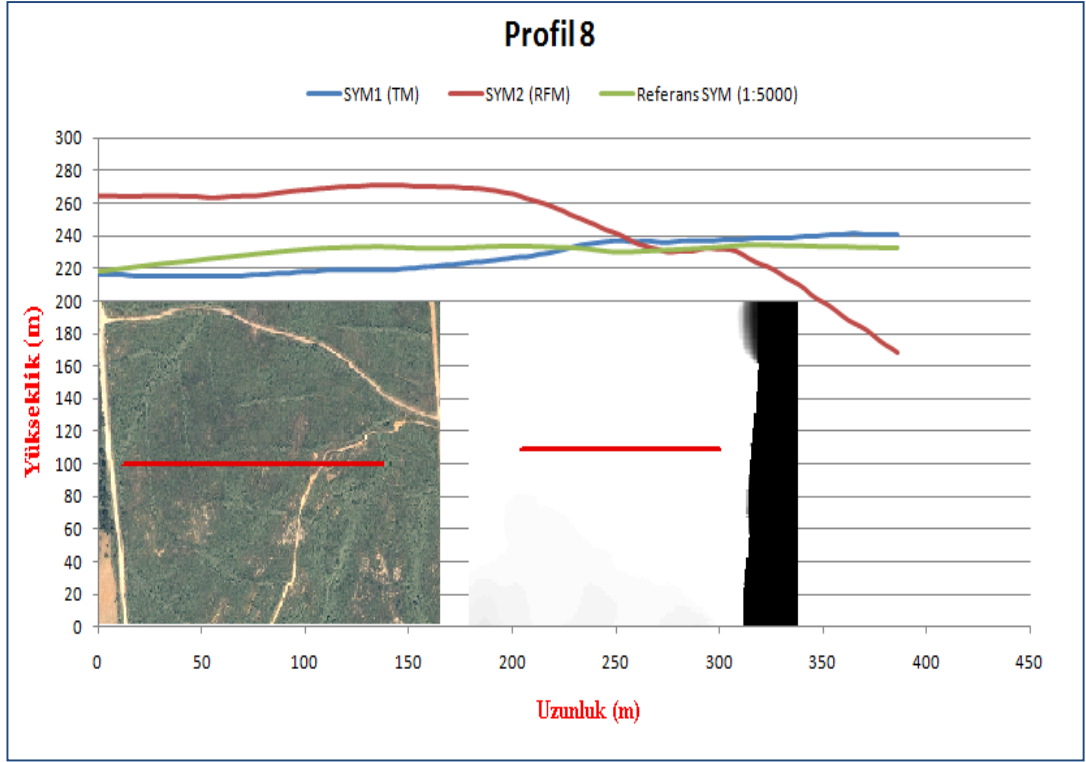
7. kesit; ani yükseklik değişimlerinin olmadığı tarım alanlarını kapsayan bir bölgeden alınmıştır (Şekil 4.20). Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.04 m, 20.69 m, 7.37 m, SYM2 için 29.71 m, 48.40 m and 37.55 m'dir.



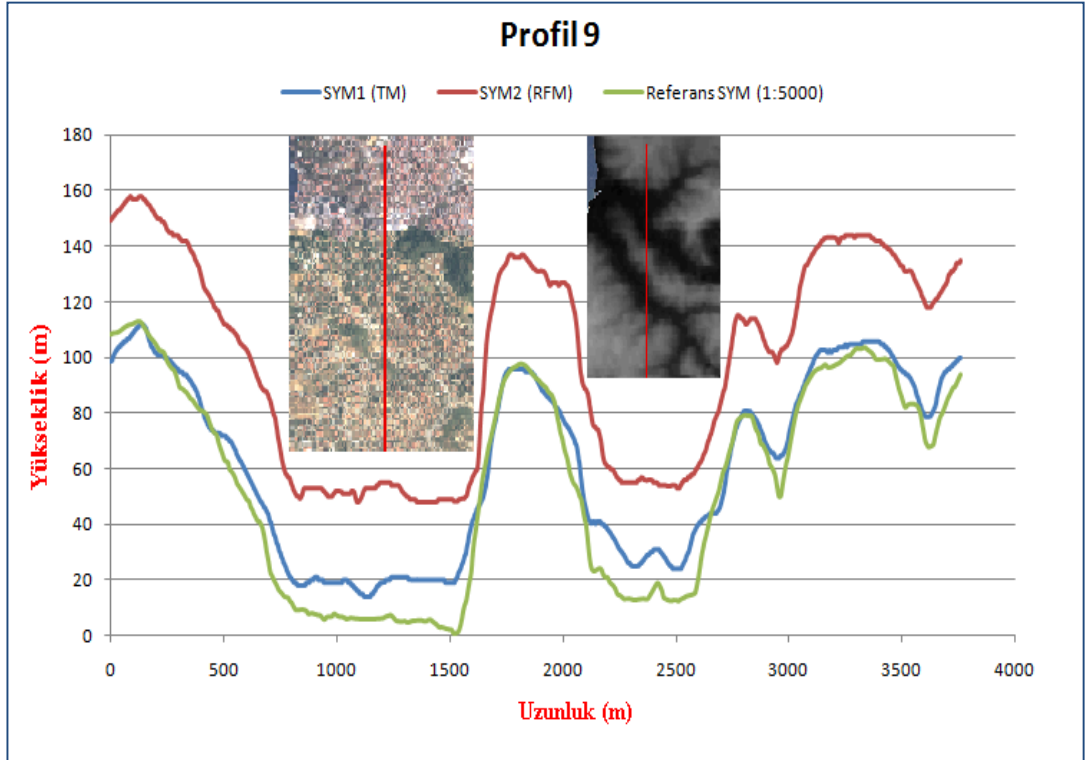
Şekil 4.20 : Profil 7'nin konumu ve yükseklik değerleri.

Profil 8; yüksekliği 217 ile 235m arasında değişen çıplak araziden oluşan bir bölgeden seçilmiştir (Şekil 4.21). Arazinin yükseklik değerlerinin fazla olmasına rağmen SYM1'in verdiği yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleri ile yakınlık göstermektedir. SYM2 bu profilde de gerçek yükseklik değerlerini yansıtamamıştır. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.05 m, 14.39 m, 9 m, SYM2 için 0.4 m, 64.30 m ve 33.26 m'dir.

9. kesit; yüksekliğin değişkenlik gösterdiği yerleşim alanlarından alınmıştır (Şekil 4.22). Şekilde de görüldüğü gibi SYM1 20 m altındaki değerleri gerçek bir şekilde yansıtamamaktadır. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0.10 m, 22.91 m, 10.31 m, SYM2 için 17.84 m, 65.34 m ve 44.62 m'dir.



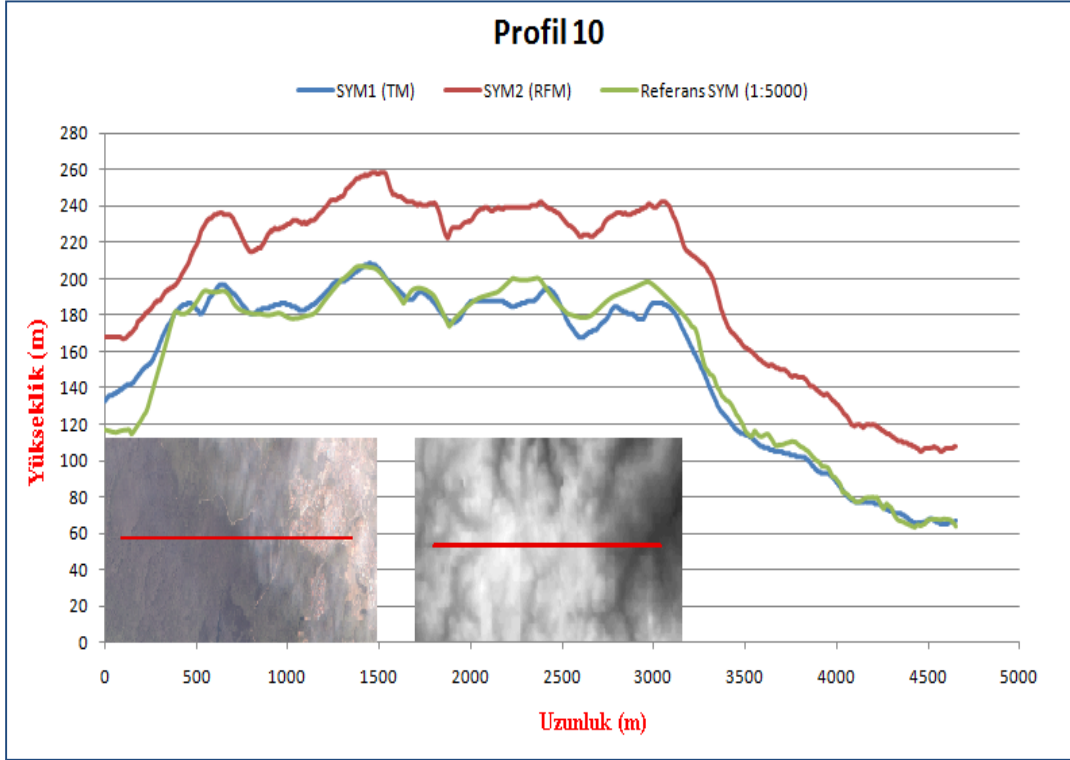
Şekil 4.21 : Profil 8'in konumu ve yükseklik değerleri.



Şekil 4.22 : Profil 9'un konumu ve yükseklik değerleri.

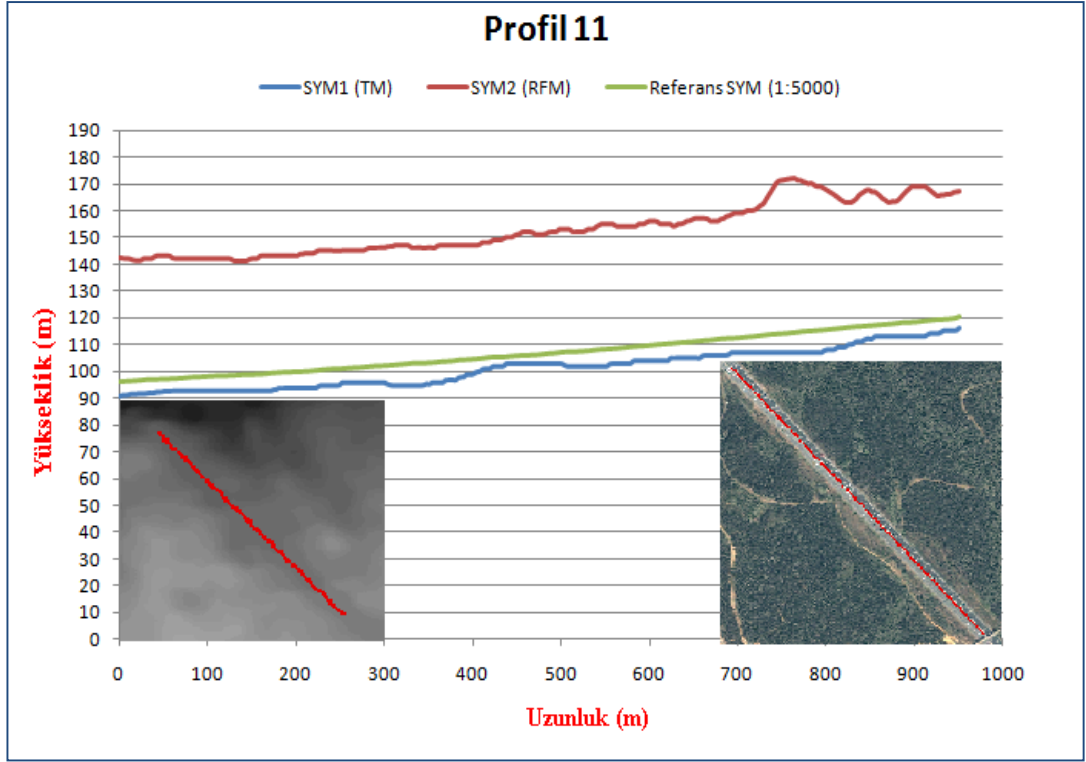
10. kesit; yüksekliği 60 m'den 210 m'ye kadar değişen bir bölgeden alınmıştır (Şekil 4.23). Bölge, yoğun derecede ağaçlık alanlar ve yerleşim alanından oluşmaktadır. Bu

arazi yapısına rağmen SYM1, referans SYM ile karşılaştırıldığında birçok yerde yükseklikleri başarıyla temsil etmiştir. SYM2, yükseklik değişimlerini yakalasa da gerçek yükseklik değerlerini vermemektedir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0 m, 28.47 m, 8.35 m, SYM2 için 14.73 m, 58.20 m ve 44.91 m'dir.



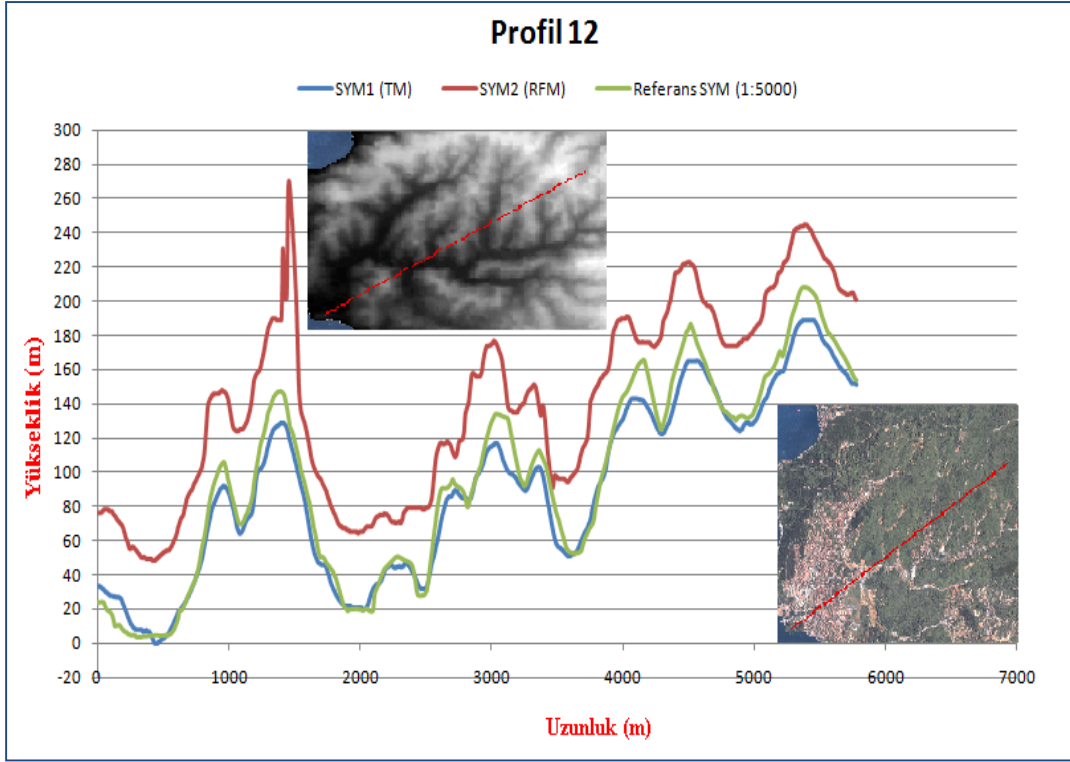
Şekil 4.23 : Profil 10'un konumu ve yükseklik değerleri.

11. kesit; etrafında ormanlar bulunan bir otoyoldan alınmıştır (Şekil 4.24). SYM1'in verdiği yükseklik sonuçları, referans SYM'nin yükseklik değerlerine oldukça yakındır. SYM2'deki sonuçlar kabul edilemez niceliktedir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 2.70 m, 8.73 m, 6 m, SYM2 için 42.10 m, 57.29 m ve 45.74 m'dir.



Şekil 4.24 : Profil 11'in konumu ve yükseklik değerleri.

12. kesit; yüksekliği sıfırdan 210 m'ye kadar ulaşan bir bölgeden alınmıştır (Şekil 4.25). Bu profilde SYM1, birkaç pik noktasının yüksekliğini kaçırmasına rağmen diğer bölgelerdeki yükseklikleri başarılı bir şekilde temsil etmiştir. Bu profildeki SYM1 ve SYM2'nin yükseklik değerleri referans SYM'nin yükseklik değerleriyle karşılaştırıldığında; sırasıyla minimum, maksimum ve karesel ortalama hata değerleri SYM1 için 0 m, 30.60 m, 10.54 m, SYM2 için 4.38 m, 140.81 m ve 46.43 m'dir.

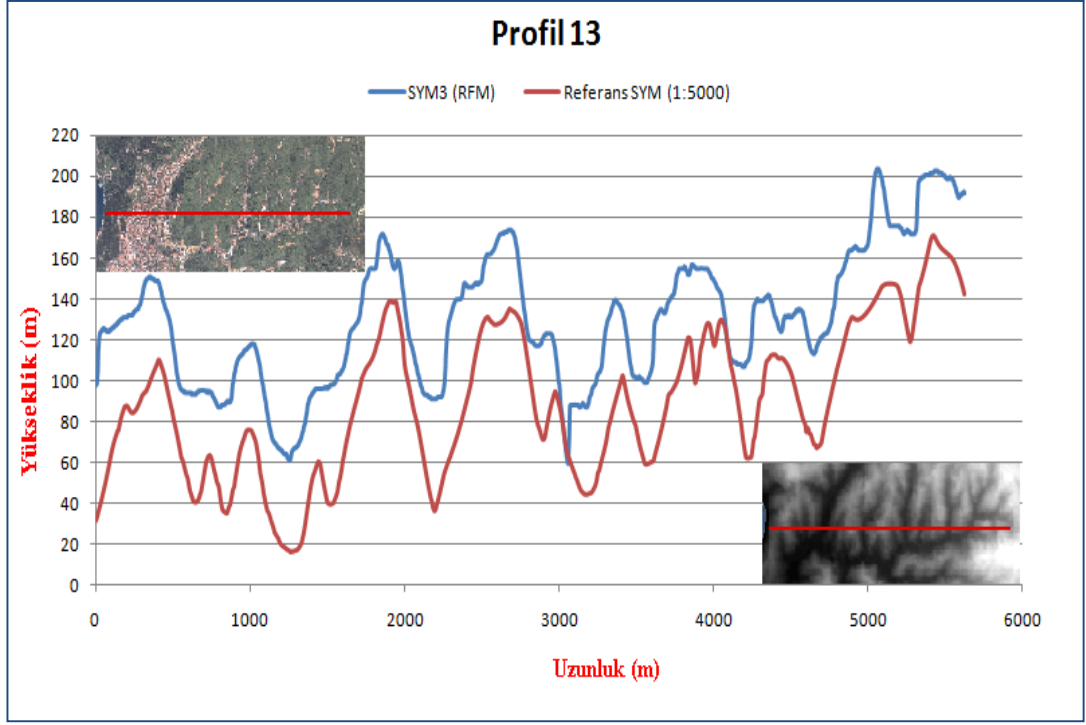


Şekil 4.25 : Profil 12'nin konumu ve yükseklik değerleri.

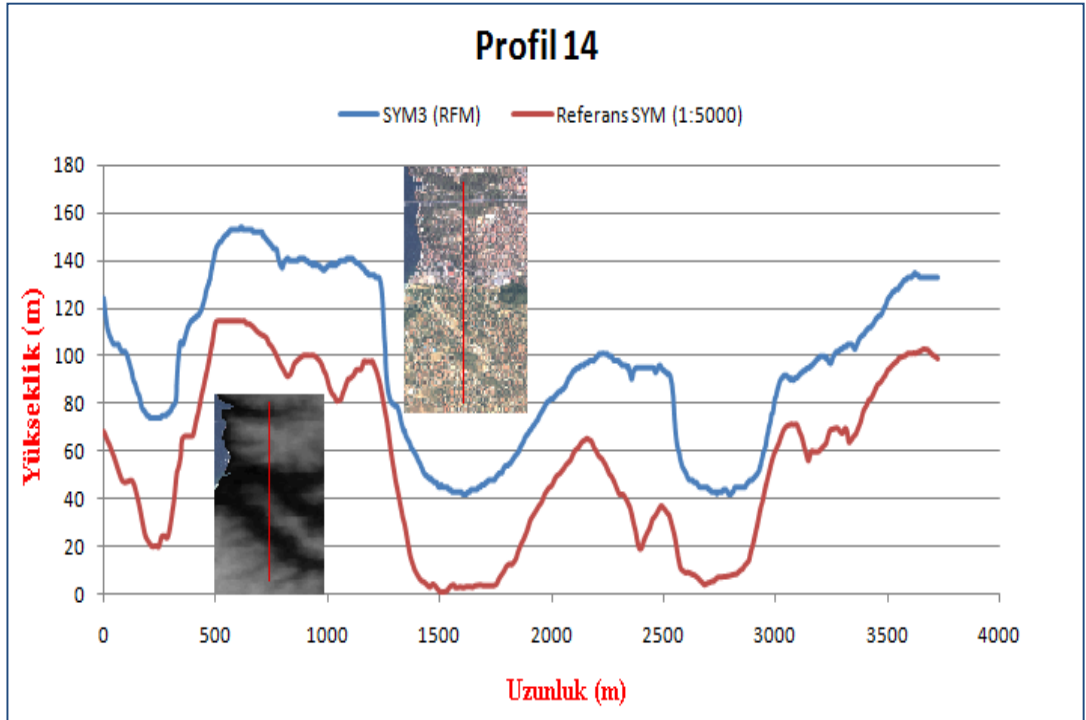
Tüm profillerdeki KOH'lar ele alındığında SYM1 yaklaşık 9 m, SYM2 ise yaklaşık 42 m KOH'ya sahiptir. Alınan kesitlerin sonuçlarına bakıldığında genel olarak TM'den üretilen SYM1'in sonuçlarının RFM'den üretilen SYM2'ye göre daha doğru ve güvenilir olduğu görülmektedir. Özellikle SYM1'in otoyol ve tarım alanı gibi çıplak arazilerdeki hata değerlerinin azaldığı ve 4 m civarına kadar indiği görülmektedir. Diğer arazi kullanımının olduğu alanlardaki hataların daha büyük olması normal bir sonuçtur. Çünkü referans olarak kullanılan SYM, yerdeki yükseklikleri baz alarak oluşturulmuştur. Çalışmada oluşturulan modellerde ise bina ve ağaçların yükseklikleri de hesaplamaya katılmıştır. Buna ek olarak, SYM1 için çalışma alanının en yüksek bölgelerinde meydana gelen yüksek hataların, o bölgelerde YKN bulunmamasından dolayı meydana çıktığı düşünülmüştür. Bunların beraber yükseklik arttıkça TM'nin doğruluğunun azaldığını da söyleyebiliriz.

Diğer taraftan RFM'den üretilen SYM2'nin verdiği sonuçlar, referans SYM'deki sonuçlarla uyuşmamaktadır. Fakat çoğu profilde, SYM2'yi temsil eden yükseklik değerlerini gösteren çizginin, referans SYM'yi temsil eden çizgiyle benzer şekle sahip olduğu ve sanki yükseklikte bir ötelemenin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu durumda bir düşey datum problemi olduğundan şüphelenilmiştir. Bunu araştırmak için RFM'yi kurarken, sadece oluşturacağımız SYM'yi koordinatlandırmak amacıyla

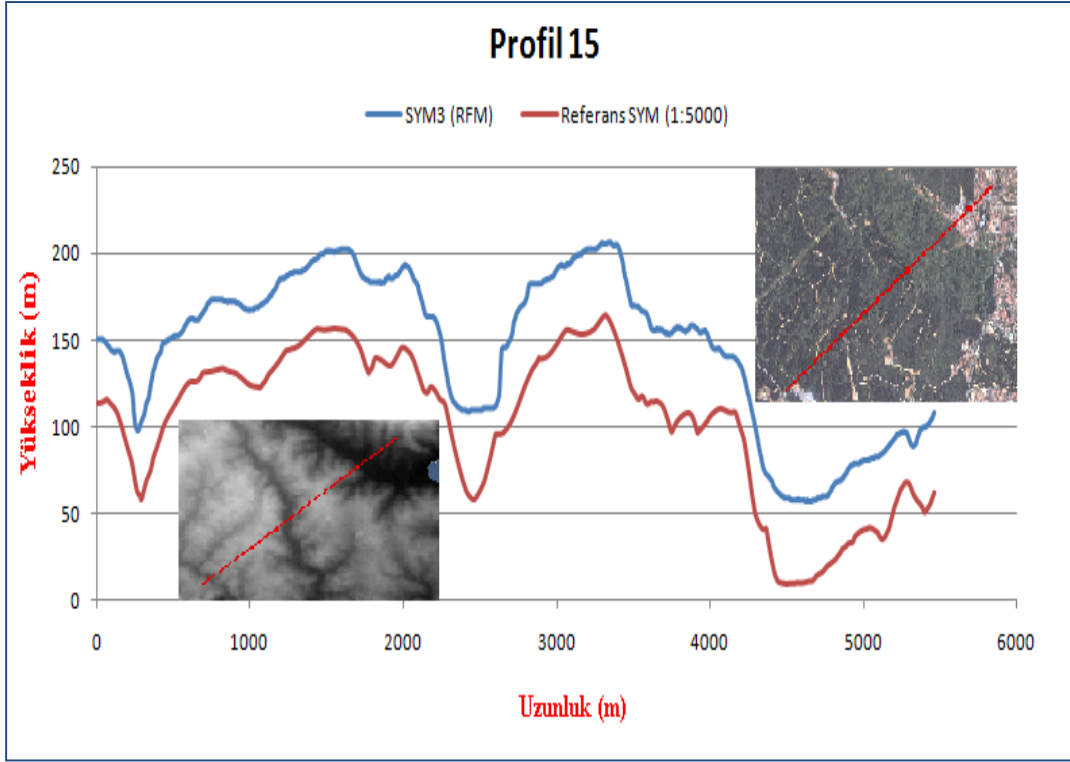
kullandığımız YKN'lerin yükseklik değerlerini, 40 m kadar eksilterek yeni bir SYM oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele karışıklık olmaması için SYM3 denilmiştir ve bu modelden de 3 profil çıkartılıp referans SYM ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.26-4.28).



Şekil 4.26 : Profil 13'ün konumu ve yükseklik değerleri.



Şekil 4.27 : Profil 14'ün konumu ve yükseklik değerleri.



Şekil 4.28 : Profil 15'in konumu ve yükseklik değerleri.

Sonradan alınan bu 3 kesitte de görüldüğü gibi, YKN'lerin yükseklik değerlerindeki değişim sonuca etki etmemiştir. Profil 13, 14 ve 15 için ortaya çıkan karesel ortalama hatalar sırasıyla 42.90 m, 41.71 m ve 43.77 m'dir. SYM2'nin sonuç yüksekliklerindeki 42 m civarındaki öteleme aynen SYM3'de de ortaya çıkmıştır. Çünkü RFM'nin araziden bağımsız yaklaşımında yer kontrol noktasına zaten gerek yoktur ve daha sonra bu modele entegre edilen YKN'lerle yapılan iyileştirme 2 boyutlu polinom fonksiyonlarıyla yapıldığı için sadece yataydaki sonuçları iyileştirmektedir. Fakat yazılım, iyileştirme işleminde YKN'ler girilirken yükseklik bilgisi de girmeye olanak sağladığından, kafalarda bir soru işareti oluşmuştur. Hem bu yüzden hem de profillerde meydana çıkan yükseklik farkından yola çıkılarak, YKN'lerin yükseklik değerleri 40 m azaltılarak SYM3 oluşturulmuştur.

Sonuç olarak TM'nin hem yatayda hem de yükseklikte daha sağlam bir yapıda olduğu açıkça görülmektedir. RFM'nin araziden bağımsız, yani yer kontrol noktası gerektirmeyen yaklaşımı ise SYM oluşturmak için yeterli kapasitede olmadığı açıkça görülmüştür. Ayrıca RFM'nin bu yaklaşımından üretilen ürünlerin sadece yataydaki değerleri iyileştirilebilmektedir. Yüksekliğe herhangi bir müdahale söz konusu değildir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sayısal Yükseklik Modelleri mekânsal analizlerde kullanılan en önemli verilerdendir. Çünkü, sayısal yükseklik modelleri kullanılarak farklı çalışmalarda kullanılabilirlik eğim, bakı, üç boyutlu modeller gibi pek çok alt bilgi türetilmektedir (Toutin, 2002).

Optik görüntülerden sonra, her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz alım yapabilen radar algılayıcılardan da stereo uydu görüntüleri elde edilmeye başladıktan sonra, radargrametri yöntemiyle SYM oluşturma araştırmaları başlamış ve özellikle yüksek çözünürlüğe (3 m) sahip olan RADARSAT-2 uydusunun fırlatılmasından sonra bu araştırmalar daha da ilgi çekici bir hal almıştır.

Radar teknolojisindeki bu gelişimlere bağlı olarak stereo radar görüntülerinden SYM elde edilmesiyle doğruluk kavramı daha da önem kazanmıştır. Radar verilerinden üretilen SYM'lerin doğruluğu ve güvenilirliği kullanılabilirliğin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı disiplinler, araziye ait bilgilere farklı doğruluk değerlerinde ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle radar verilerinden elde edilen SYM'lerin doğruluklarının araştırılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı RADARSAT-2 uydusunun ultra fine ışın modundan alınmış U7 ve U26 stereo görüntü çiftinden oluşturulan SYM'nin doğruluğunu araştırmaktır. Tüm bu amaç doğrultusunda öncelikli olarak geometrik ve stereo modeller için yer kontrol, test (Check Points) ve bağlantı noktaları (Tie Points) görüntüler üzerinde işaretlenmiştir. Geometrik dönüşüm ve stereo model oluşturma işlemleri Toutin'nin 3 boyutlu fiziksel modeli (Toutin Modeli-TM) ve rasyonel fonksiyonlar modeli (RFM) ile ayrı ayrı yapılmıştır. TM için toplam; 17 yer kontrol noktası, 7 test noktası ve 29 bağlantı noktası seçilmiştir. RFM için toplam; 8 yer kontrol noktası, 6 test noktası ve 29 bağlantı noktası seçilmiştir. Otomatik görüntü eşlemesi ve 3B stereo kesişim yapılmadan önce epipolar görüntüler oluşturulmuştur. Tüm bunlar yapıldıktan sonra TM'den bir, RFM'den iki SYM olmak üzere toplam üç tane SYM oluşturulmuştur. Oluşturulan SYM'ler otomatik maskeleme ve filtreleme işlemleriyle

düzeltilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda yatay ve düşey doğruluk değerlendirme analizleri yapılmıştır. Çalışmada sayısal görüntülerin işlenmesinde ve SYM oluşturulmasında PCI Geomatica yazılımının 10.2 versiyonu, yükseklik doğruluğunun değerlendirmesinde ise ArcGIS yazılımının 9.3.1 versiyonu kullanılmıştır.

Çalışmadan elde edilen doğruluklar burada kısaca özetlenmektedir. Stereo model sonucunda yazılımın bize sunduğu rapor doğrultusunda yer kontrol ve test noktalarına bakılarak yatay doğruluk değerlendirilmiştir. Yataydaki (X, Y) doğruluk değerlendirmesi yapılırken genellikle test noktaları baz alınmaktadır. Çünkü bu noktalar geometrik ve stereo model oluşturulurken hesaplamaya dahil edilmemektedirler. Yazılım, model oluşmadan önceki ve model oluşuktan sonraki değerlerle kıyaslama yaparak yapılan hataları göstermektedir. Sonuç olarak TM yatayda toplam 1.73 m RFM ise 3.04 m doğruluğundadır (Çizelge 4.1). Görüntülerin piksel aralığıyla (1.56) kıyaslandığında yataydaki konum hatası TM için yaklaşık 1 piksel RFM için ise yaklaşık 2 pikseldir. Bu verilere bakıldığında, bu iki model için yataydaki hatalar kabul edilebilecek düzeydedir. Özetlersek, TM, RFM'ye göre yatayda daha iyi sonuçlar vermiştir.

Yükseklik doğruluğunu değerlendirmek için oluşturulan SYM'lerden farklı arazi yüzeyleri boyunca toplam 15 kesit alınıp yükseklik profilleri çıkartılmıştır ve referans SYM (1:5000) ile karşılaştırılmıştır. Tüm profillerdeki KOH'lar ele alındığında TM'den üretilen SYM yaklaşık 9 m, RFM'den üretilen SYM ise yaklaşık 42 m KOH'ya sahiptir. Alınan kesitlerin sonuçlarına genel olarak bakıldığında; TM'den üretilen SYM'nin sonuçlarının RFM'den üretilen SYM'ye göre daha doğru ve güvenilir olduğu görülmektedir. Özellikle TM'den üretilen SYM'nin otoyol ve tarım alanı gibi çıplak arazilerdeki hata değerlerinin azaldığı ve 4 m'lere kadar indiği görülmüştür. Diğer arazi kullanımının olduğu alanlardaki hataların daha büyük olması normal bir sonuçtur. Çünkü referans olarak kullanılan SYM, yerdeki yükseklikleri baz alarak oluşturulmuştur. Bizim oluşturduğumuz modellerde ise bina ve ağaçların yükseklikleri de hesaplamaya katılmıştır. Düz alanlarda referans SYM ile yüksek korelasyon elde edilmesinin bir nedeni de bu şekilde açıklanabilir. Buna ek olarak, TM'den oluşturulan SYM için çalışma alanının en yüksek bölgelerinde meydana gelen yüksek hataların, o bölgelerde YKN

bulunmamasından dolayı meydana çıktığı düşünölmüştür. Bununlar beraber yükseklik arttıkça TM'nin doğruluğunun azaldığını da söyleyebiliriz.

RFM'nin araziden bağımsız, yani yer kontrol noktası gerektirmeyen yaklaşımı ise SYM oluşturmak için yeterli kapasitede olmadığı açıkca görölmüştür. Ayrıca RFM'nin bu yaklaşımından üretilen ürünlerin sadece yataydaki değerleri iyileştirilebilmektedir. Yüksekliğe herhangi bir müdahale söz konusu değildir.

Sonuç olarak; 3 boyutlu yeryüzü koordinatları hesaplanırken, uydu yönelim ve yer kontrol noktası verilerini kullanan TM'nin, 3 boyutlu yeryüzü koordinatlarını hesaplanırken, RADARSAT-2 görüntüleriyle beraber verilen 80 tane Rasyonel Polinom Katsayılarını kullanan RFM'nin araziden bağımsız yaklaşımından hem yatayda hem de yükseklikte daha sağlam bir yapıda olduğu açıkca görölmüştür.

Tüm bunlarla beraber daha doğru SYM'ler daha fazla yer kontrol noktası kullanılarak ve görüntüleri stereoskopik olarak değerlendirerek elde edilebilir. Bunun yanında manuel SYM düzeltme teknikleri kullanarak da daha kapsamlı ve iyi sonuçlar veren SYM'ler üretilebilir. Diğer taraftan, yerdeki yükseklikler baz alınarak oluşturulmuş bir referans SYM ile yapılacak olan doğruluk değerlendirmelerinde, uydu görüntülerinden elde edilen yüzey modelindeki yapay objelerin yüksekliği elimine edilerek karşılaştırma yapılmasının analizleri daha da güçlü kılacağını söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

- Aytaç, M.**, 1985. *Modern Dengeleme*, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.
- Büyüksalih, G., Kocak, G., Oruc, M., Akcin, H.**, 2004. Accuracy Analysis, Dem Generation And Validation Using Russian Tk-350 Stereo-Images, *The Photogrammetric Record*, 19(107), 200–218.
- Chen, Y., Shi, P., Li, J., Deng, L., Hu, D., Fan, Y.**, 2007. DEM accuracy comparison between different models from different stereo pairs, *International Journal of Remote Sensing*, 28 (19), 4217-4224.
- Cheng, P., Toutin, T.**, 2010. Automated High Accuracy Geometric Correction and Mosaicking without Ground Control Points RADARSAT-2 Data, <http://www.pcigeomatics.com/pdfs/RADARSAT-2data.pdf>
- Cuartero, A., Felicísimo, A. M., Ariza, F. J.**, 2005. Accuracy, Reliability, and Depuration of SPOT HRV and Terra ASTER Digital Elevation Models, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (2), 404-407.
- Erdas Field Guide**, 1999. Fifth Edition V.8.5, Erdas Inc., Atlanta, USA.
- Göksel, Ç.**, 1996. Elmalı ve Alibey su havzalarının uydu görüntü verileriyle izlenmesi ve bilgi sistemi oluşturma olanakları, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gülch, E.**, 1991. Results of test on image matching of ISPRS WG III/4, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46 (1), 1– 8.
- Jensen, J. R.**, 1996. Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, United States of America.
- Kaya, Ş.**, 2002. Uydu görüntülerinin GPS verileri ile geometrik dönüşümü ve İstanbul Avrupa yakası yerleşim bölgelerinin zamansal analizi, *Proje raporu*, İstanbul.
- Koç, D., Türker, M.**, 2005. Ikonos Pankromatik Uydu Görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturulması, *Harita Dergisi*, Sayı 134, 31-43.
- La Prade, G. L.**, 1963. An Analytical and Experimental Study of Stereo for Radar, *Photogrammetric Engineering*, Vol.35, No.2, 294-300.
- Leberl, F., Maurice, K., Thomas, J.K., Millot, M.**, 1994. Automated radar image matching experiment, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49 (3), 19– 33.
- Light, D. L., Brown, D., Colvocoresses, A., Doyle, F., Davies, M., Ellasal, A., Junkins, J., Manet, J., Mckenney, A., Undrejka, R., and Wood, G.**, 1980. *Satellite photogrammetry*, In Manual of Photogrammetry 4th edn, edited by C. C. Slama (Falls Church, USA: ASP Publishers), pp. 883–977.

- MADANI, M.**, 1999. Real-time sensor-independent positioning by rational functions. *Proceedings of ISPRS Workshop on Direct Versus Indirect Methods of Sensor Orientation*, Barcelona, Spain, 25–26 November 1999 (Barcelona, Spain: ISPRS), pp. 64–75.
- Mather, P. M.**, 1999. *Computer Processing of Remotely Sensed Images*, Prentice Hall, USA.
- Min-Ho, K., Man-jo K.**, 2001. DEM Generation Using SAR Stereo Technique with RADARSAT Images Over Seoul Area, *Korean Journal of RS*, 17 (2) pp.155-164.
- Oliveira, C. G., Paradella, W. R.**, 2008. An Assessment of the Altimetric Information Derived from Spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and Optical (ASTER) Data for Cartographic Application in the Amazon Region, *Sensors*, 8, 3819-3829.
- OpenGIS Consortium (OGC)**, 1999. The OpenGIS Abstract Specification - Topic 7: Earth Imagery. URL: <http://www.opengis.org/docs/99-107.pdf>
- PCI Geomatics**, 2007. OrthoEngine User Guide, Canada.
- Peng, X., Wang, J., Zhang, Q.**, 2005. Deriving terrain and textural information from stereo RADARSAT data for mountainous land cover mapping, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (22), 5029-5049.
- Sertel, E.**, 2004. Farklı Çözünürlükteki Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü ve Dönüşüm Sonucunda Elde Edilen Görüntülerin Dış Doğruluğunun Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şanlı, F. B.**, 2006. Stereoskopik Radarsat F1-F5 Görüntülerinden Üretilen Sayısal Arazi Modellerinin Değerlendirilmesi, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Deergisi*, 94 (1)
- Tao, C. V., Hu, Y.**, 2001. A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 12, pp. 1347-1357.
- Tao, C.V., and Y. Hu**, 2002. 3D reconstruction methods based on the rational function model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(7):705–714.
- Topan, H.**, 2004. Yörünge Düzeltmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Toutin, T.**, 1983. Analyse mathématique des capacités stéréoscopiques du satellite SPOT. Mémoire de DEA, Ecole Nationale des Sciences Géodésiques, France. 74 pp.
- Toutin, T.**, 1995. Multi-source Data integration with an integrated and unified geometric modelling, *EARSeL Journal Advances in Remote Sensing*, 4, 118–129.
- Toutin, T.**, 2000. Evaluation of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images in High Relief Areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38 (2).

- Toutin, T.**, 2002. Impact of terrain slope and aspect on radargrammetric DEM accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57, 228–240.
- Toutin, T.**, 2003. Error tracking in Ikonos geometric processing using a 3D parametric model, *Photogrammetric Engineering&Remote Sensing*, 69, 43-51.
- Toutin, T.**, 2004a. Comparison of Stereo-Extracted DTM from Different High-Resolution Sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42 (10), 2121-2129.
- Toutin, T.**, 2004b. DSM Generation and Evaluation from QUICKBIRD Stereo Imaging with 3D Physical Modelling, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (22), 5181-5193.
- Toutin, T.**, 2004c. Review article Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (10), 1893–1924.
- Toutin, T.**, 2006. Generation of DSMs from SPOT-5 in-track HRS and across-track HRG stereo data using spatiotriangulation and autocalibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60, 170-81.
- Toutin, T., Chenier, R.**, 2009. 3-D Radargrammetric Modeling of RADARSAT-2 Ultrafine Mode: Preliminary Results of the Geometric Calibration, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6 (3).
- Toutin, T., Chenier, R., Carbonneau, Y.**, 2002. 3D Models For High Resolution Images: Examples With Quickbird, Ikonos And Eros, *Symposium Of Geospatial Theory Proccesing And Applications*, Ottawa.
- Url-1** <<http://www.radarsat2.info>>, alındığı tarih 02.09.2010.
- Url-2** <<http://www.sieurasia.com>>, alındığı tarih 02.09.2010.
- Url-3** <<http://homepages.inf.ed.ac.uk>>, alındığı tarih 02.09.2010.
- Yanalak, M., Musaoğlu, N., Örmeci, C., Kaya, Ş., Alkan, R. M., Tarı, E., İpbüker, C., Türkoğlu, H., Saroğlu, E., Yavaşoğlu, H., Erden, T., Karaman, H., Bilgi, S., Çetin, M.**, 2008. Orbview-3 Uydu Görüntülerinin Doğruluğunun ve Mühendislik Uygulamalarında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, *TUBİTAK Proje Raporu*, No:105Y124.
- Yomralıoğlu, T.**, 2005. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar Ve Uygulamalar*, Trabzon.
- Hu, Y., Tao, V., Croitoru, A.**, Understanding The Rational Function Model: Methods And Applications.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Muhammed Ali DEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi: TRABZON, 19.11.1983
Adres: Çayırbaşı Mah. Sırma Sok. Özden Sitesi No:13 A3
Blok D:15 Sarıyer/İSTANBUL.
Lisans Üniversitesi: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği

Yayın Listesi:

- **Demir, M.A.**, Sertel, E., Musaoğlu, N., Örmeci, C., 2010. Accuracy Assessment of Radargrammetric Dens Derived From RADARSAT-2 Ultrafine Mode. *ISPRS Istanbul Workshop 2010 I/4*, 11-13 Ekim 2010, İstanbul, Türkiye.