

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN
İNTERFEROMETRİK VE STEREO SAYISAL
YÜKSEKLİK MODELLERİNİN KALİTESİNİN
İNCELENMESİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi Saygın ABDİKAN

FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayhan ALKIŞ

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. RADAR SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Elektromanyetik Spektrum ve RADAR.....	3
2.2 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR).....	5
2.3 Yapay (Sentetik) Açıklıklı Radar (SAR)	8
2.4 SAR Görüntüsünün Özellikleri	10
2.5 SAR Görüntüsündeki Geometrik Hatalar	15
2.5.1 Kısa görüntüleme.....	15
2.5.2 Ters görüntüleme	16
2.5.3 Gölge.....	16
2.6 Stereo SAR Görüntülerinin Değerlendirilmesi	17
2.7 Radarsat ve Stereo SAR.....	21
2.8 İnterferometrik SAR	27
2.8.1 İnterferometrik SAR Verisi Elde Etme Yöntemleri	29
2.8.1.1 İze dik alım yöntemi	29
2.8.1.2 İz boyunca alım yöntemi.....	30
2.8.1.3 Tekrarlı geçiş yöntemi	30
2.8.1.4 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı İnterferometrik Radar DİnSAR.....	31
2.8.1.5 Sabit Saçılım İnterferometresi.....	33
2.9 İnterferometrik SAR Görüntülerinin İşlenmesi.....	35
2.9.1 Yataylama	35
2.9.2 İnterferogramın Üretilmesi.....	36
2.9.3 Uyumluluk Görüntüsünün Özellikleri	37
2.9.4 Düzlük etkisinin giderilmesi	40
2.9.5 Faz Belirsizliğinin Giderilmesi İşlemi.....	41
2.9.6 SYM üretimi ve Yataya İndirgeme	42
2.10 İnterferometrik SAR Görüntüsünü Etkileyen Faktörler	43

3.	SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ.....	49
4.	UYGULAMA.....	54
4.1	Stereo SAR Veri Özellikleri.....	55
4.2	Stereo SAR Yöntemi ile Radarsat Görüntülerinden SYM'nin Üretilmesi	55
4.3	İnterferometrik SAR Verilerinin Özellikleri	59
4.4	İnterferometrik Yöntem ile Radarsat Görüntülerinden SYM' nin Üretilmesi	60
4.5	Kullanılan Diğer Veriler	67
4.6	SYM Doğruluk Analizleri.....	68
4.6.1	Stereo SAR SYM Analizi	69
4.6.2	İnterferometrik SYM Analizi	79
4.6.3	Doğruluk Analizleri	88
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
	KAYNAKLAR.....	93
	ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGE LİSTESİ

λ	Dalga boyu
f	Frekans
ν	Elektromanyetik dalganın yayılma hızı
θ	Eğim açısı
γ	Geliş açısı
α	Bakış açısı
c	Işık hızı
t	Vuruşun iletilmesi ve geri alınması arasındaki zaman farkı
R	Nesne ile algılayıcı arasındaki eğik uzaklık
L_a	Işın genişliği
R_g	Yer menzil çözünürlüğü
R_s	Eğik menzil çözünürlüğü
f_{dop}	Doppler frekansı
v_a	Antenin hızı
L	Antenin boyu
ϕ	Anlık faz
$\Delta\phi$	Anten alımı elde edilen sinyallerin fazlarının farkı
Δh	Yüzey pürüzlülüğünün standart sapması
E_h	Yükseklik oluşan hatalar
E_x	İz boyunca oluşan hatalar
E_r	Uzaklık boyunca oluşan hata
Q_L	Sol görüntüdeki bakış açısı
Q_R	Sağ görüntüde bakış açısı
ΔQ	Sağ ve sol bakış açısının farkından oluşan kesişim açısı
r_1	Birinci antenin hedef nesneye olan uzaklığı
r_2	İkinci antenin hedef nesneye olan uzaklığı
U	Uydu
B	Baz uzunluğu
B_x	Bazın x yönündeki bileşeni
B_z	Bazın z yönündeki bileşeni
H	Uçuş yükseklik değeri
ψ	Baz eğim açısı
h	Arazi yüksekliği

V	Uçağın hızı
u	Nesnenin hızı
Δy	İnterferometrik alımda oluşan uzaklık boyunca kayıklık
Δx	İnterferometrik alımda oluşan azimut boyunca kayıklık
γ	Uyumluluk değeri
ϕ	Faz karışıklığı giderilmiş faz
ϕ_m	Karışık faz
N_L	Bakış sayısı
σ^2_ϕ	Faz varyansı

KISALTMA LİSTESİ

3B	3 Boyutlu
BN	Bağlama Noktası
ALOS	Land Observing Satellite
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar
CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
CEOS	Committee on Earth Observation Systems
DINSAR	Differential Interferometric SAR
ECI	Earth Centered Inertial
ED-50	European Datum 1950
EM	Elektro Manyetik
ENVISAT	Environment Satellite
ERS-1	European Remote Sensing Satellite-1
ERS-2	European Remote Sensing Satellite-2
ESA	European Space Agency
GPS	Global Position System
IFSAR	Interferometric SAR
INS	Inertial Navigation System
INSAR	Interferometric SAR
ISAR	Interferometric SAR
JERS	Japanese Earth Resources Satellite
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission o Radiation
LIDAR	Light Detection And Ranging
NASA	National Aeronautics and Space Administrator
PALSAR	Phased Array type L-band SAR
POLINSAR	Polarimetrik İnterferometrik SAR
POLSAR	Polarimetrik SAR
RADAR	Radio Detection and Ranging
RADARSAT	Radar Satellite
RAR	Real Aperture Radar
SAR	Synthetic Aperture Radar
SCN	ScanSAR Narrow Beam Product (Path Image)
SCW	ScanSAR Wide Beam Product (Path Image)
SGF	SAR Georeferenced Fine Resolution Product (Path Image)

SGX	SAR Georeferenced Extra Fine Resolution Product (Path Image Plus)
SIR-A	Shuttle Imaging Radar-A
SIR-B	Shuttle Imaging Radar-B
SIR-C	Shuttle Imaging Radar-C
SLC	Single Look Complex
SNR	Signal Noise Rate
SPOT	Systeme Pour Observation de la Terre
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UTM	Universal Transverse Mercator
VIR	Visible Infrared
YKN	Yer Kontrol Noktası
WGS 84	World Geodetic System 1984

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dalga hareketi	3
Şekil 2.2 Elektro manyetik dalga.....	3
Şekil 2.3 Uzaktan algılama sistemleri.....	4
Şekil 2.4 Elektromanyetik spektrum.....	5
Şekil 2.5 Radar sisteminde enerji iletimi	5
Şekil 2.6 Radar geometrisi	6
Şekil 2.7 Radar görüntü alımı.....	6
Şekil 2.8 Azimut çözünürlüğü	7
Şekil 2.9 Menzil çözünürlüğü.....	8
Şekil 2.10 SAR anten uzunluğu.....	9
Şekil 2.11 Dalga boylarının nesne üzerine etkisi	11
Şekil 2.12 Yüzeyin saçılma etkisi.....	11
Şekil 2.13 Düşey ve yatay polarizasyon	13
Şekil 2.14 Polarimetrik SAR	14
Şekil 2.15 Kısa görüntüleme	15
Şekil 2.16 Ters görüntüleme	16
Şekil 2.17 Gölge alanlar	17
Şekil 2.18 Gölge geometrisi	17
Şekil 2.19 Uçak sisteminde stereo alım	18
Şekil 2.20 Uydu sisteminde stereo alım.....	18
Şekil 2.21 Stereo SAR çiftlerinin alım şekli	20
Şekil 2.22 Radarsat-1 ışın modları.....	23
Şekil 2.23 Aynı yönlü stereo alım geometrisi	25
Şekil 2.24 Zıt yönlü stereo alım geometrisi	26
Şekil 2.25 İnSAR geometrisi.....	28
Şekil 2.26 İze dik alım yöntemi.....	29
Şekil 2.27 İz boyunca alım ve ize dik alım yöntemleri.....	30
Şekil 2.28 DInSAR geometrisi	32
Şekil 2.29 DInSAR akış diyagramı.....	33
Şekil 2.30 Özel yansıtıcı	34
Şekil 2.31 PSInSAR Japonya örneği	35
Şekil 2.32 Yataylama	36
Şekil 2.33 Faz farkı.....	37

Şekil 2.34 Genlik ve interferogram.....	37
Şekil 2.35 Uyumluluk görüntüsü.....	40
Şekil 2.36 Genlik -Faz bilgisi-Düzeltilmiş faz.....	41
Şekil 2.37 İnterferogram	42
Şekil 2.38 Faz belirsizliği giderilmiş (unwrapped) faz.....	42
Şekil 2.39 Faz belirsizliğinin giderilmesi.....	43
Şekil 3.1 İze dik stereo alım geometrisi.....	51
Şekil 3.2 İz boyunca stereo alım geometrisi.....	51
Şekil 3.3 İnterferogram yükseklik ilişkisi	51
Şekil 3.4 Lidar alımı	53
Şekil 4.1 Stereo SAR yöntem ile SYM üretim adımları.....	56
Şekil 4.2 Stereo sağ (a) ve sol (b) Radarsat görüntüleri.....	57
Şekil 4.3 Epipolar görüntü	57
Şekil 4.4 Epipolar örneklenmiş sağ ve sol görüntüler	58
Şekil 4.5 Stereo SAR SYM	59
Şekil 4.6 InSAR yöntemi ile SYM üretim adımları	60
Şekil 4.7 Ev-InSAR işlem adımları	61
Şekil 4.8 Birinci görüntü (a) ve ikinci görüntü (b)	62
Şekil 4.9 Üretilen interferogram.....	63
Şekil 4.10 İyileştirilmiş interferogram.....	63
Şekil 4.11 Faz artıkları giderilmiş interferogram	63
Şekil 4.12 Uyumluluk görüntüsü.....	63
Şekil 4.13 İteratif disk maskeleme yöntemi ile faz belirsizliğinin giderilmesi.....	64
Şekil 4.14 Üretilen SYM.....	65
Şekil 4.15 Yataylanmış SYM.....	65
Şekil 4.16 Yataylanmış SAR görüntüsü	66
Şekil 4.17 Yataylanmış ve iyileştirilmiş SYM.....	66
Şekil 4.18 Sonuç SYM.....	66
Şekil 4.19 1/25.000 ölçekli SYM	68
Şekil 4.20 1/25.000 ölçekli rölyef harita	68
Şekil 4.21 Stereo SAR ve referans farkından oluşan hata modeli.....	69
Şekil 4.22 Düz arazide analiz için seçilen bölgeler	71
Şekil 4.23 Düz alanlar için hata değer histogramı.....	73
Şekil 4.24 Eğimli arazide analiz için seçilen bölgeler	74
Şekil 4.25 Eğimli alanlar için hata değer histogramı.....	76

Şekil 4.26 Dağlık arazide analiz için seçilen bölgeler	77
Şekil 4.27 Dağlık alanlar için hata değer histogramı.....	79
Şekil 4.28 İnSAR ve referans farkından oluşan hata modelleri	80
Şekil 4.29 Farklı bölgelerden seçilen görüntüler.....	81
Şekil 4.30 Eğimli arazide analiz için seçilen bölgeler	82
Şekil 4.31 Eğimli alanlar için hata değer histogramı.....	84
Şekil 4.32 Dağlık arazide analiz için seçilen bölgeler	86
Şekil 4.33 Dağlık alanlar için hata değer histogramı.....	87

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 SAR algılayıcıları ve genel özellikleri	10
Çizelge 2.2 SAR bantları.....	12
Çizelge 2.3 Radarsat-1 uydu özellikleri	21
Çizelge 2.4 Radarsat-1 SAR görüntüleme özellikleri.....	22
Çizelge 2.5 Radarsat-1 ışın modlarının özellikleri	23
Çizelge 2.6 Radarsat-1 stereo alım özellikleri.....	27
Çizelge 2.7 İnSAR görüntüsünü etkileyen faktörler.....	46
Çizelge 4.1 Stereo SAR Radarsat verilerinin özellikleri.....	55
Çizelge 4.2 Dengeleme sonucunda üretilen hata oranları.....	57
Çizelge 4.3 Radarsat İnSAR verilerinin özellikleri	59
Çizelge 4.4 YKN GPS koordinatları.....	67
Çizelge 4.5 Düz arazi tipi için belirlenen değerler	72
Çizelge 4.6 Eğimli arazi tipi için belirlenen değerler	74
Çizelge 4.7 Dağlık arazi tipi için belirlenen değerler	78
Çizelge 4.8 Eğimli arazi tipi için belirlenen değerler	83
Çizelge 4.9 Dağlık arazi tipi için belirlenen değerler	88
Çizelge 4.10 İnSAR doğruluk analizleri	88
Çizelge 4.11 Stereo SAR değerlendirme sonuçları	89
Çizelge 4.12 İnterferometrik SAR değerlendirme sonuçları.....	90

ÖNSÖZ

SAR görüntüsünden üretilen İnterfeometrik ve Stereo SYM kalitesinin belirlenmesi konulu tezimin yürütücülüğünü üstlenen ve her aşamasında bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Ayhan ALKIŞ' a teşekkür ederim. Fotogrametri Anabilim Dalı öğretim üyelerinden sayın hocam Prof. Dr. Zübeyde ALKIŞ' a ve diğer Fotogrametri Anabilim Dalı üyelerine desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Her türlü fedakarlıkta bulunan babam İbrahim ABDİKAN' a, annem Süheyla ABDİKAN' a ve kardeşim Saydam ABDİKAN' a teşekkür ederim.

Her konuda ve her koşulda yanımda olan sevgili dostlarım Asude ARSLAN, Bilgiseven VURDU, Burcu ÖZBEY, Duygu Pınar MARÇALI, Emre BARCA DURMUŞ, Gökhan ÖZEN, Mustafa YAŞAR, Petek TATLI, Pınar ÖZKAN ve Reyhan KARA' ya teşekkür ederim.

Çalışmamın başından sonuna kadar bana destek olan, benimle bilgisini paylaşan, bana zaman ayıran ve güvenerek kendisiyle çalışma olanağı sağlayan sayın hocam Dr. Füsun BALIK ŞANLI' ya çalışmamama bulunduğu katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Uydu teknolojisinin gelişmesiyle beraber uzaktan algılama tekniği de hızla gelişmektedir. Kullanım alanı çok geniş olan uzaktan algılama tekniği temel olarak, toprak ürünlerinin sağlığı, toprak nemliliği, ormancılık, su kirliliği, orman yangınları, oşinografi, dalgalar, meteoroloji, yeraltı kaynaklarının incelenmesi, çölleşme, diğer gezegenlerin incelenmesi, deprem, volkanik patlamalar, heyelan gibi konuların incelenmesinde kullanılmaktadır.

Doğru, hızlı bilgi üretilmesi, geleceğe ait kestirim hesaplarının yapılması, çevre ve kentsel planlama ile arazi kullanımının belirlenmesine yardımcı olması bakımından uydu görüntüleri arazi yapısı hakkında geniş bilgi sağlamaktadır. Aktif ve pasif algılama sistemine sahip uzaktan algılama, geniş alanları kapsamaları bakımından araziye ait sayısal yükseklik bilgisinin üretilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Aktif algılama sistemi, kendi ışın kaynağını ürettiği için pasif algılama sistemine göre avantajları vardır. Tüm hava koşullarında ve gece, gündüz görüntü alımı en önemli özelliğidir.

Bu çalışmada İnterferometrik (İnSAR) ve stereo SAR çiftlerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinin (SYM) kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama için C bandında ve yatay (HH) polarizasyonda alınan stereo SAR ve İnSAR RADARSAT görüntüleri kullanılmıştır. Bu amaçla stereo SAR çiftinden ve İnSAR çiftinden üretilen SYM ler karşılaştırılmıştır. Doğruluk analizleri, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen SYM referans alınarak belirlenmiştir. SYM üretiminde kullanılan yer kontrol noktalarının (YKN) sayısı arttıkça sonuç ürün değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

Analizler üç farklı arazi tipi ele alınarak oluşturulmuştur; düz, eğimli ve dağlık bölgeler. Analiz sonuçlarına göre stereo değerlendirmede düz bölgeler için en düşük standart sapma 5.58 m., en büyük 12.09 m. bulunmuştur. Eğimli alanlar için en düşük standart sapma 19.37 m, en büyük 27.30 m. dir. Dağlık alanlar için ise en düşük ve büyük standart sapma değerleri 42.45 m. ve 66.88 m. olarak bulunmuştur. İnterferometrik analizler, görüntüler arasındaki korelasyonun düşük olmasından dolayı sadece eğimli ve dağlık bölgeler için yapılmıştır. İnterferometrik değerlendirme için eğimli alanlarda standart sapma en düşük 20.05 m. ve en büyük 31.81m, dağlık alanlarda ise en düşük 37.81 m. ve en büyük 57.39 m. bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre her iki yöntemde de eğim arttıkça doğruluk azalmaktadır. Çalışmada stereo yöntem düz alanlarda daha iyi sonuç verirken interferometrik yöntem yüksek bölgelerde daha iyi sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Stereo SAR, İnterferometrik SAR, SYM, RADARSAT

ABSTRACT

Rapidly evolution of the remote sensing technique is increasing by the developments of the satellite technology. Remote sensing technique has extensive applications that most of known are determination of health of the crops, soil moisture, forestry, water dirtiness, forest fire, oceanography, sea waves, meteorology, research of underground (subterranean) resources, desertification, investigation of the other planets, earthquakes, volcanic eruptions, landslides.

Satellite images give wide information about the land structure that is useful and also manageable for generating true, high speed info generation, forecasting on future, environment and urban planning. Remote sensing has two systems that are active and passive systems. These systems used frequently because of covering large areas that is very handle to generate digital elevation model (DEM). Active systems which produce their own electromagnetic energy have some advantages. Capabilities of collecting data in nearly all atmospheric conditions, by day and/or night are the main properties of active systems.

Destination of this research is accuracy assessments of DEMs that are generated from SAR Interferometry (InSAR) and Stereo SAR. For this application, horizontal (HH) polarized C band stereo SAR and InSAR RADARSAT images are used. DEMs that are generated by stereo SAR and InSAR are compared. A DEM, which was generated from 1/25.000-scaled topographic maps, is used for the accuracy assessments. When generating DEM ground control points (GCP) are used and noticed that GCPs increases the accuracy of generated DEMs.

Analyzes are estimated for three types of terrain, flat, slope and rough. Stereoscopic results denoted a min. standard deviation for flat areas is 5.58 m. and a max. is 12.09 m. Standard deviations for slope and rough areas are in order of min. 19.37 m., 42.45 m. and max. 27.30 m., 66.88 m. Interferometric analyzes mentioned just for slope and rough areas because interferometric DEM is failed due to low coherence. In interferometric results standard deviations of slope areas are min. 20.05 m., max. 31.81 m. and for rough areas are min. 37.81 m., max. 57.39 m.

As a conclusion both stereo and interferometric methods showed that accuracy is decreased depending on increase of height. For this research it is evaluated that stereo method is better at flat areas and interferometric method is better for high areas.

Key Words: Stereo SAR, SAR Interferometry, DEM, RADARSAT

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması, ekonomik, politik ve sosyolojik nedenler ile birlikte birbirini takip eden pek çok etmen insan yaşamını sürdürmesi için gerekli kaynak arayışına itiyor. Hızla gelişen teknoloji ile birlikte kaynak arayışı da hız kazanmaktadır. Ancak gerekli verilerin tutarlı ve doğru üretilmesi, paylaşılabılır olması ve güncellenebilirliğinin olmasıyla ülke ekonomisine katkısı sağlanabilir.

Teknolojik gelişmeler yeryüzüne ait nesneler hakkında bilgi edinmemizi sağlayan uzaktan algılama tekniğinin gelişimini hızlandırmıştır. Böylece zamansal olarak daha kısa sürede, büyük alanlara ait görüntülerin elde edilmesiyle ekonomik veriler üretilebilmektedir. Uzaktan algılama tekniği ile üretilen veriler pasif ya da aktif algılayıcılar vasıtasıyla elde edilir. Aktif sistemde yer alan RADAR uygulamaları ise son yıllarda geliştirilerek pek çok alanda kullanılmıştır.

SAR uydularıyla ilgili gelişmeler ilk olarak diğer gezegenlerin izlenmesiyle başlamıştır. Uçak platformuna yerleştirilen SAR algılayıcılarıyla uygulama yapan ilk isim Graham'dır (1974). Rumsey (1974), baz uzunluğunun interferometri bilgisinden üretilen topoğrafyaya olan etkisini araştırmıştır. Bu çalışmaları Zebker ve Goldstein'in (1986) çalışmaları izlemiştir. Yörüngeye oturtulan ilk SAR uydusu NASA tarafından hazırlanan SEASAT uydusuydu (1978). Deniz araştırmaları için fırlatılan SEASAT L bandına sahiptir ve çözünürlüğü 25x25 m.dir. Ancak sadece 105 gün görüntü sağlayabilmiştir. Daha sonra tekrar NASA tarafından sırasıyla 40m. çözünürlüklü SIR-A (1981) ve 17-58 m. çözünürlüklü SIR-B (1984) fırlatılmıştır. Oşinografi, buzul hareketleri ve yüzey analizleri için deneme amaçlı kullanılan ve L bandında olan bu uydular uzun ömürlü olamadılar. SIR-A 2,5 gün, SIR-B 8 gün görüntü alabildi. Diğer gezegenleri izlemek için 1990 yılında Magellan fırlatılmıştır. Özellikle Venüs gezegenine ait bilgi toplamada kullanılmıştır. 1991 yılında Rusya tarafından S bantlı ve 15m. çözünürlüğe sahip ALMAZ-1 uydusu fırlatıldı bu uydu da sadece 18 ay görüntü alabildi. 1991 yılında ESA tarafından ERS -1 fırlatıldı. 30 m. çözünürlüğe sahip ERS-1 2000 yılına kadar görüntü sağladı . 1992 yılında Japonya tarafından JERS-1 fırlatıldı. 6.5 yıl L bandında 18 m. çözünürlükte görüntü almıştır. 1994' te X-C-L bantlarında görüntü alan SIR-C/X-SAR fırlatıldı,10 gün görüntü alabildi (Lillesand ve Kiefer, 2000). 1995 yılında yine ESA tarafından ERS-1 ile aynı özelliklere sahip ERS-2 hazırlandı. Bir gün arayla aynı bölgeden geçecek şekilde fırlatılan aynı özelliklere sahip ERS2 uydusuyla "TANDEM Mission" denilen bir sistem kullanıldı. Sadece bu uydular ile sağlanan tandem SYM ile diğer uydular ile üretilen SYM' lerine göre daha doğru sonuç vermektedir. 2000 yılında fırlatılan SRTM

uzay mekiği, tek geçiş interferometrisini kullanarak, 60 m. baz uzunluğuna sahip iki uydu ile aynı anda alım yaparak dünyanın SYM'sini oluşturmayı amaçlamıştır. Tüm alımını 11 günde gerçekleştirmiştir. 2002 yılında ERS uydularıyla benzer ENVISAT uydusu fırlatılmıştır. ENVISAT uydusu ESA'nın nc SAR uydusudur. Benzer zellikler içermeleri uygulamalarda ERS ve ENVISAT uydularının beraber kullanımını sağlar (Hein, 2004).

Pek çok uydunun görüntü almasıyla SAR uygulama alanları genişlemiştir. SAR teknikleri, depremler, levha hareketleri, volkanlar, buzullar, heyelanlar, orman yangınları, petrol araştırmaları, jeolojik yapıların incelenmesi, arazi kullanım alanlarının belirlenmesi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Massonnet ve Feigl, 1998, akır, 2002, Ge vd., 2004, Bechor ve Zebker, 2006).

SAR Görüntüsünden retilen İnterfeometrik ve Stereo SYM Kalitesinin İncelenmesi konulu yüksek lisans tezimde, aynı bölgeye ait SAR görüntüleri kullanılarak InSAR ve stereo SAR yöntemleri ile üretilen SYM'lerin, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen SYM referans alınarak kalitesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 1995 yılında CCRS tarafından fırlatılan RADARSAT-1 görüntüleri kullanılmıştır. 2002 yılına ait bir ift SGF formatındaki Fine Beam SAR görüntüsünden üretilen SYM ile 2002 yılına ait bir ift SLC formatındaki Fine Beam İnterferometrik SAR görüntüsünden üretilen SYM karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada referans SYM olarak 1/25.000 ölçekli haritadan sayısallaştırılan SYM kullanılmıştır. Verilerin işlenmesinde, stereo SAR ve doğruluk analizleri için PCI, İnterferometrik analizler için de Earthview (Ev-InSAR) yazılımları kullanılmıştır.

Çalışmada, SAR geometrisi, genel özellikler, görüntüyü etkileyen faktörler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca iki yöntemin işleyiş adımları ve karşılaşılan zorluklar incelenmiştir. İnterferometrik SAR verisinden üretilen SYM'nin kalitesinin arttırılması üzerine analizler yapılmıştır. Kullanılan YKN'larının sayısının arttırılmasıyla SYM kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Ancak düz ve düze yakın alanlarda stereo SAR çiftinden üretilen SYM'nin daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Çünkü düz bölgelerde InSAR görüntüleri arasındaki koralasyon çok düşüktür bu nedenle bu bölgelerde SYM retilenemiştir. Buna karşın dağlık bölgelerde interferometrik SYM'nin daha iyi sonuçlar ile üretildiği grlmştir.

2. RADAR SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

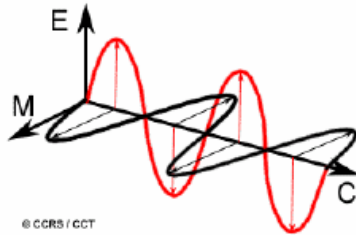
2.1 Elektromanyetik Spektrum ve RADAR

Yeryüzünden belirli uzaklıkta, atmosferde veya uzayda hareket eden platformlara yerleştirilmiş algılayıcılar aracılığıyla, nesnelerle fiziksel temasa geçilmeden, yeryüzünün doğal ve yapay nesneler hakkında bilgi alma ve bunları değerlendirme tekniği olan uzaktan algılama sistemlerinde yeryüzündeki nesnelere ait bilgi, nesnelerin özelliğine göre enerjinin yansıma ve iletilmesiyle sağlanır.

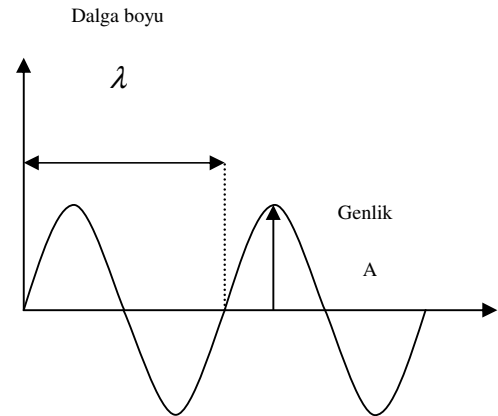
Hedef nesnenin enerji kaynağı tarafından aydınlatılması elektromanyetik enerji ile sağlanır. Uzaktan algılamanın ilk adımında hedef nesne aydınlatılmalı ve nesneden gelen enerji yayılmalıdır. Yayılan enerji algılayıcı tarafından kayıt edilmelidir. Bu enerjinin formu elektromanyetik ışıma şeklindedir. Elektromanyetik ışımanın temel özelliği ve davranışı dalga hareketine dayanır. Işımanın yol aldığı yöne dik doğrultu elektrik alanı, elektrik alanla sağ yönde açı yapan alan ise manyetik alanı oluşturur. Her ikisi de ışık hızında hareket eder. EM enerjinin hareketini sağlayan dalga üzerinde, en kısa iki (alçak ya da yüksek) komşu nokta arasındaki uzaklık λ dalga boyudur. EM dalganın frekansı f , yayılma hızı v ise dalga boyu

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

Dalga'nın denge halinden tepe noktasına olan uzaklık A genlik değeridir. Genlik arttıkça, taşınan enerji de artar. E elektrik alan, M manyetik alan olmak üzere Şekil 2.1 dalga'nın hareketini gösterir.



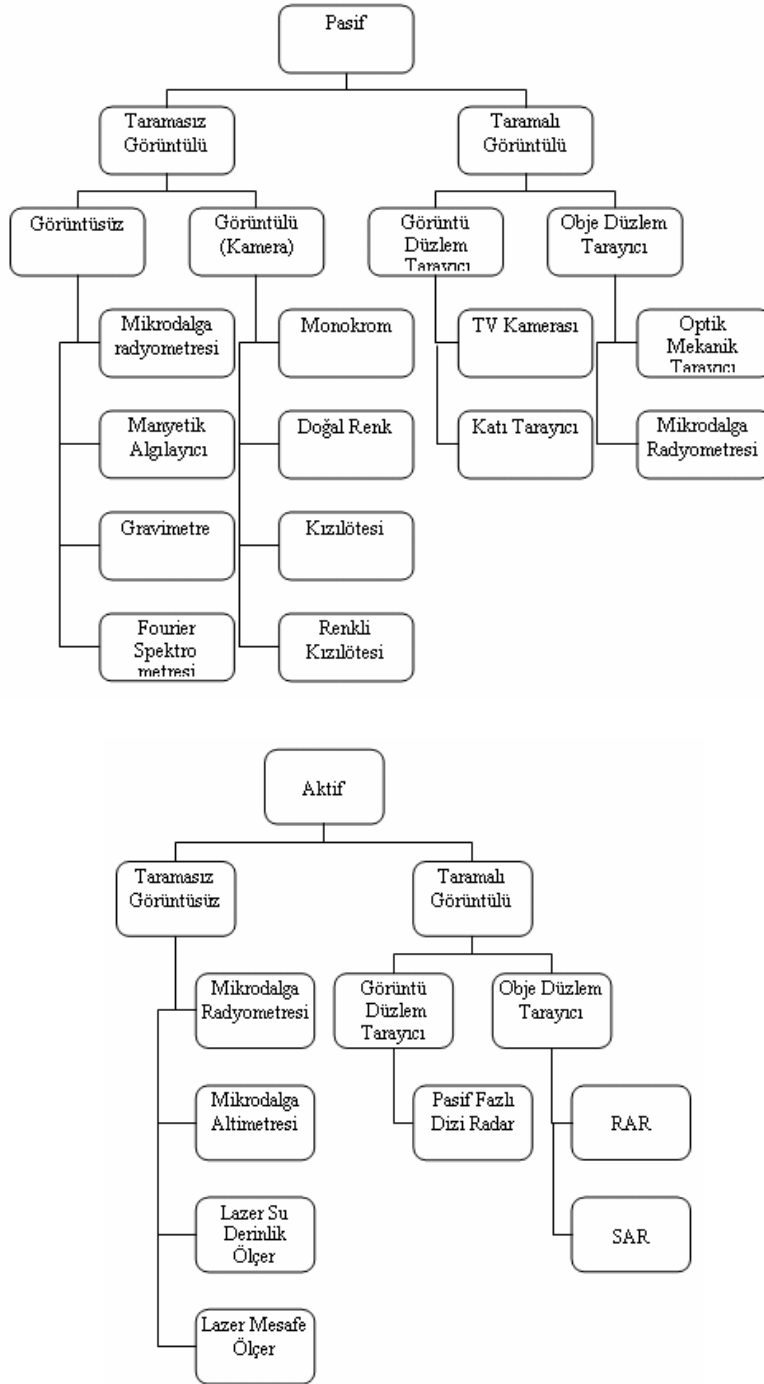
Şekil 2.1 Dalga hareketi



Şekil 2.2 Elektromanyetik dalga

Uzaktan algılama sistemleri EM enerjinin kaynağına göre iki sisteme ayrılırlar; aktif sistemler ve pasif sistemler. Pasif sistemlerde enerji kaynağı güneştir. Güneş eş zamanlı hareket eden

pasif sistemler güneş ışığı olmaksızın görüntü elde edemezler. Aktif sistemler de ise enerji kaynağını algılayıcı kendisi üretir.



Şekil 2.3 Uzaktan algılama sistemleri [5]

Aktif algılama sistemlerinde günün 24 saatinde ve her türlü hava koşullarında görüntü alınabilir (bulut, sis, yağmur gibi pasif sistemleri etkileyen). Taramalı görüntülü yani görüntü

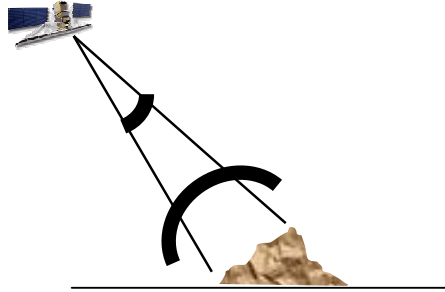
kaydeden RADAR, kısa dalga boylu gamma, x ışınlarından uzun dalga boylu mikrodalga ve radyo dalgalarına kadar geniş bir aralığa sahip olan elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde yer alır. RADAR kelimesi, **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging kelimelerinin kısaltılmasından oluşmuştur. Uzaktan algılamada kullanılan en uzun dalga boyu mikrodalga bölgesindedir ve RADAR bu bölgede 1cm ile 1m dalga boyları arasında değerler alır.



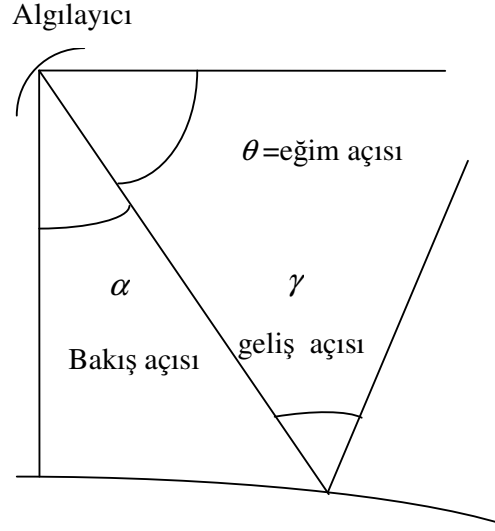
Şekil 2.4 Elektromanyetik spektrum

2.2 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)

Radar görüntüsü, yer yüzeyine yollanan enerji ile yeryüzünden uyduya geri dönen enerji arasındaki oran hesaplanarak oluşturulur (Şekil 2.5). Algılayıcıya geri dönen enerjiye geri saçılma (backscatter) denir (Balık, 2004). Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar), bir uçak yada uydu platformu üzerine yerleştirilen anten ile platformun hareket ettiği yön doğrultusuna (azimuth direction) dik olarak alım yapar (Ristau, 1999).

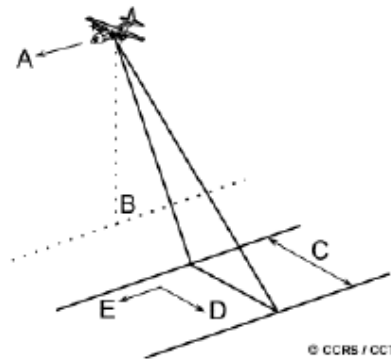


Şekil 2.5 Radar sisteminde enerji iletimi



Şekil 2.6 Radar geometrisi (Lillesand ve Kiefer, 1999)

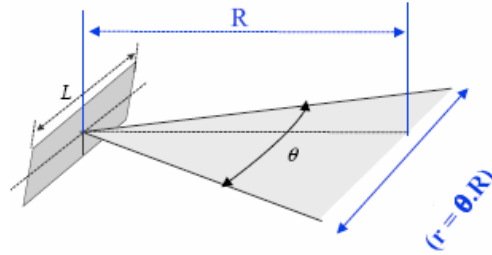
Radar uydusunun algılama geometrisi Şekil 2.6’da görülmektedir. Sistemin bakış açısı (look angle) nadir noktası ile hedef arasındaki açıdır. Eğim açısı (depression angle), bakış açısının bütünleyenidir ve geliş açısı bakış açısının yer yüzeyinin normali ile yaptığı açıdır. Şekil 2.7 de gösterildiği üzere, A uçuş doğrultusu, B nadir nokta, C aydınlatma genişliği, D menzil uzaklığı ve E de iz boyunca uçuş doğrultusuna paralel azimut doğrultusudur.



Şekil 2.7 Radar görüntü alımı (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>)

RAR sistemlerinde görüntü alımı anten boyuna bağlıdır. Anten boyu uzadıkça açıklık açısı küçülür ve görüntünün çözünürlüğü artar. Konumsal çözünürlüğü anten boyuna bağlıdır.

Uyduya dönen enerjinin büyüklüğü ve gidiş, dönüş zaman uzunluğu, hedefin parlaklığını ve algılayıcıya olan uzaklığını belirler. Düz ve düze yakın nesneler enerjinin çoğunu yansıtırlar (tam yansıma) bu yüzden bu yüzeyler koyu siyah görünür. Pürüzlü yüzeylere gelen enerji ise saçılmaya uğrar ve antene dönen enerji kaydedilerek parlak bir görüntü oluşturur. Yer yüzündeki iki nesnenin azimut yönünde birbirinden ayırt edilmesi anten boyuna ve eğik uzunluğa bağlıdır. Azimut çözünürlüğü ise uydunun uçuş yönündeki çözünürlüğüdür.



Şekil 2.8 Azimut çözünürlüğü (Sarti, 2005)

Şekil 2.8’den anten uzunluğu L_a dalga boyu λ , ışın genişliği θ ve azimut çözünürlüğü ΔL sırasıyla;

$$\theta = \frac{\lambda}{L} \quad (2.2)$$

$$\Delta L = R\theta = \frac{R\lambda}{L_a} \quad (2.3)$$

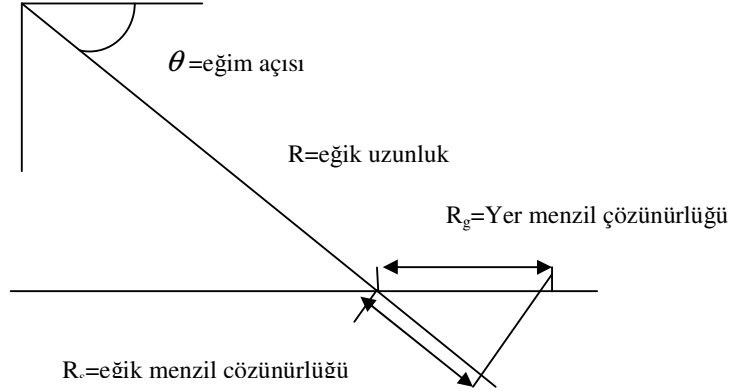
Yatay uzunluk (range) çözünürlüğünde de çözünürlük uçuş doğrultusuna diktir ve anten uzunluğundan bağımsızdır. Çözünürlük sadece görüntü açısına (ışın demetinin yer yüzü ile yaptığı açı) ve radar vuruş süresine bağlıdır. Sinyallerin geri dönüş zamanının belirlenmesiyle algılayıcı ve yansıtan nesne arasındaki uzaklık belirlenebilir. Şekil 2.9 da gösterilen, nesne ile algılayıcı arasındaki eğik uzaklık R , ışık hızı c , nesnenin eğim açısı θ , vuruşun iletilmesi ve geri alınması arasındaki zaman farkı t olmak üzere, yer yatay uzunluk çözünürlüğü ve eğik uzunluk çözünürlüğü aşağıdaki şekilde hesaplanır (Ristau, 1999);

$$R_g = \frac{ct}{2\cos\theta} \quad (2.4)$$

$$R_s = \frac{c\tau}{2} \quad (2.5)$$

Yatay uzunluk çözünürlüğü mikrodalga uzunluğu ile doğru orantılıdır. Azimut çözünürlüğü, λ ne kadar büyük olursa ışın genişliği o derece artar, ışın genişliği gönderilen vuruş (puls)

enerjisinin dalga boyu ile doğru orantılıdır. Işın genişliği ise L_a ile ters orantılıdır.



Şekil 2.9 Menzil çözünürlüğü

Geri saçılan vuruşlar nesneden gelme zamanına göre düzenlenerek kaydedilirler. Eğer puls genişliği, çözünürlüğü artırmak için küçük gönderilirse, geri gelen vuruşun sinyal/gürültü (S/N) oranı artacaktır çünkü gönderilen enerji düşük bir değerde dönecektir.

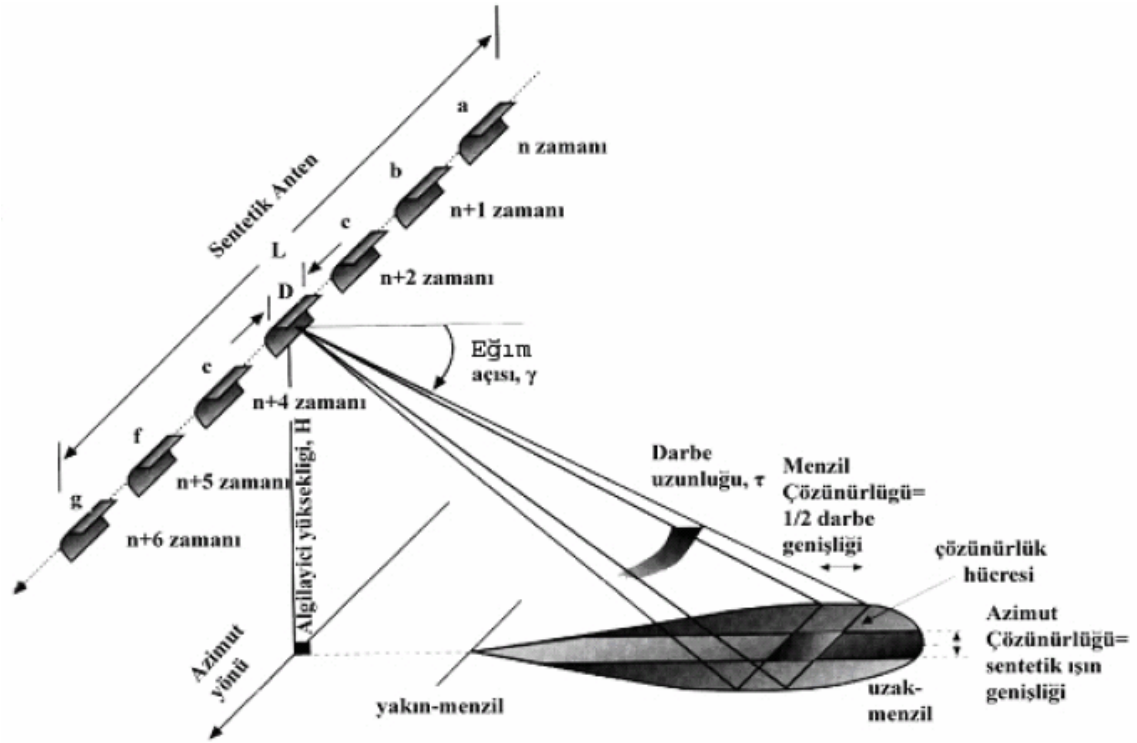
Azimut çözünürlüğü, kısa dalga boylu enerji ve uzun anten boyuna bağlı olarak artar. Ancak fiziksel olarak yeterince uzun anten kullanılamaması istenilen çözünürlükte veri üretilmemesine neden olmaktadır. Örneğin; 100m uzaklıktaki bir nesneyi L bandı ($\lambda=25$ cm) ile alınan görüntüde 25m çözünürlük elde etmek için 1km lik anten boyuna ihtiyaç vardır. Bu nedenle yapay açıklıklı radar sistemleri geliştirilmiştir.

2.3 Yapay (Sentetik) Açıklıklı Radar (SAR)

Gerçek açıklıklı radar sisteminin neden olduğu çözünürlük problemi geliştirilen SAR (Synthetic Aperture Radar) sistemi ile çözülmüştür. Bu sistemde kısa bir anten, uzun bir antenin görevini görecektir şekilde tasarlanarak yapay olarak uzatılmıştır. SAR sistemine göre gönderilen ışın demeti genişliği RAR sistemine göre daha dardır. Burada doppler prensibi temel alınmıştır.

Doppler prensibine göre bir sese ait frekans, dinleyici ya da kaynağın birbirine göre bağlı olarak hareket halinde olması durumunda değişir. Örnek olarak yaklaşan bir trenin sesi, yaklaştıkça artan bir frekansa sahip olacaktır. Bu artış, sesin alıcıya ya da dinleyiciye en yakın olduğu noktada yani dik olduğu durumda maksimum olacaktır. Bu noktaya doppler sıfır noktası denir. Tren uzaklaştıkça trenin sesi frekans değerinin azalmasıyla azalacaktır. Bu

prensip radar sistemini içeren mikrodalgalar ile birlikte tüm harmonik dalga hareketleri için uygulanabilir. Şekil 2.10 da görüldüğü üzere n zamandan $n+3$ zamana gidene kadar frekans artar ve $n+3$ zamanda maksimum değere ulaşır. Hedef nesne sabit alınır ve uydunun hareketinden faydalanarak doppler prensibi uygulanır. Hedef nesne birden fazla görüntülenir ve bunların ortalaması alınarak geri saçılım değerleri hesaplanır.



Şekil 2.10 SAR anten uzunluğu (Avdan, 2005)

Doppler frekansı f_{dop} , anlık faz ϕ , anten hızı v_a , anten uzunluğu L , toplam doppler bant genişliği B_{dop} , aydınlatma süresi T olmak üzere konumsal çözünürlük (bağıntı 2.10) aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\phi = \phi_0 + 2\frac{2\pi}{\lambda}(R^2 + v_a^2 t^2)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$f_{\text{dop}} = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} \cong -2 \frac{v_a^2 t}{\lambda R} \quad (2.7)$$

$$T \approx R \frac{\lambda}{L v_a} \quad (2.8)$$

Çizelge 2.1 SAR algılayıcıları ve genel özellikleri

	ERS 1 – ERS 2	J-ERS	RADARSAT	ENVISAT	SRTM	ALOS/PALSAR
Dalga boyu	C	L	C	C	C-X	L
Geçiş	Tekrarlı	Tekrarlı	Tekrarlı	Tekrarlı	Tek	Tekrarlı
Tekrarlı Geçiş	35 gün Tandem 1gün	44 gün	24 gün	35 gün	-	46 gün
Yörünge Doğruluğu	+	-	-	+	+	+
Geliş Açısı	23°	40°	10°-60°	13°-39°	20°-60°	8°-60°
Çözünürlük	25m	25m	10m-100m	30m-1km	30m-90m-1km	7m
Tarama Genişliği	100 km	100km	Max-500km	100-400km	225km	70
Scan SAR Modülü	Yok	Yok	Var- 500m	Var-400m	Var	Var-100m
Polarizasyon	VV	HH	HH	VV/HH, VV/VH, HH/HV	VV/HH, VV/VH, HH/HV	HH+HV+VH+VV

$$B_{\text{dop}} = 2 \frac{v_a^2 T}{\lambda R} \quad 2 \frac{v_a}{L} \quad (2.9)$$

$$\frac{v_a}{B_{\text{dop}}} = \frac{L}{2} \quad (2.10)$$

Bağıntıya göre konumsal çözünürlük algılayıcı yüksekliğinden bağımsız olarak sadece anten boyuna bağlı olarak değişmektedir (Sarti, 2005).

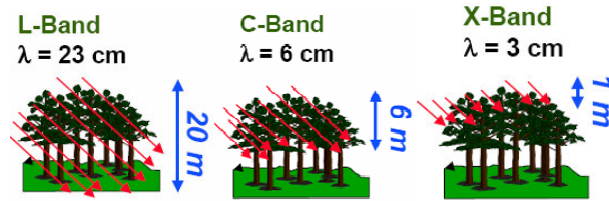
2.4 SAR Görüntüsünün Özellikleri

SAR görüntülerinde renk bilgisi, temelde hedef nesnelerin pürüzlülüğü, yükseklik, dalga boyu, geliş açısı ve polarizasyona gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametreler uydudan uyduya farklılık göstermektedir. Farklı amaçlar için ve uygulamalarda karşılaşılan bazı eksiklikleri gidermek için farklı özelliklere sahip uydular geliştirilmiştir (Çizelge 2.1).

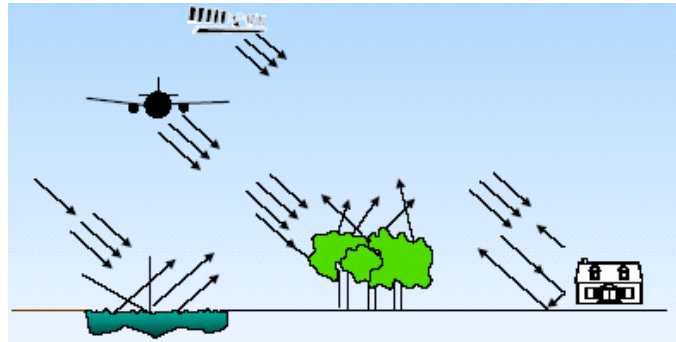
Enerji kaynağını kendisi üreten SAR sisteminde elde edilen görüntülerde, algılayıcının bant çeşitine göre detay değişimi gözlenir. Radar algılayıcı bantları kullanılan dalga boyu ve frekansına göre çeşitli harflerle anılırlar. Bu harfler tamamen rastgele verilmiştir (Çizelge 2.2) (Hussin, 2005).

Radar bantlarının dalga boylarının farklı olması, dalga boylarının nesneyi geçme özelliğini (penetration) değiştirir. Uzun dalga boyuna sahip L bandı nesneleri geçerek yere kadar etki edebilir ancak kısa dalga boyuna sahip X bandı nesnelerden geri döner (Şekil 2.11). Böylece farklı dalga boyuna ait bantlar farklı nesnelere ait bilgilerin üretilmesinde kullanılır.

Radar görüntülerinde iki temel parlaklık değeri gözlemlenir. Ton çeşitliliği ve doku çeşitliliği. Ton bilgisi ayırt edilebilir, siyahtan beyaza kadar uzanan gri değerlerin bütünüdür. Geri saçılan enerjinin gücünü gösterir. Genel olarak yol, sulu alanlar gibi düz ve düze yakın nesneler tam yansımaya neden olduğu için koyu tonlarda gözlenirken, ormanlık alan, dağ gibi pürüzlü yüzeyler dağınık yansımadan dolayı daha açık tonlarda gözlemlenir. Gemi, bina gibi nesneler ise görüntülerde parlak tonlarda gözlemlenir. Ancak şehir alanlarında binaların yüzeyinden dolayı ve ormanlık alanlarda da ağaçların gövdesinden dolayı oluşan köşe saçılımları çift yansımaya neden olurlar.



Şekil 2.11 Dalga boylarının nesne üzerine etkisi (Sarti, 2005)



Şekil 2.12 Yüzeyin saçılma etkisi

Çizelge 2.2 SAR bantları (Hussin, 2005)

Bantlar	Frekans (GHz)	Dalga boyu(cm)
P	0.225 – 0.39	133–76.90
L	0.39 – 1.55	76.9–19.40
S	1.55 – 3.90	19.4–7.69
C	3.9 – 5.75	7.69–5.21
X	5.75 – 10.90	5.21–2.75
Ku	10.9 – 18	2.75–1.67
K	18 – 26.50	1.67–1.13
Ka	26.5 – 36	1.13–0.83
Q	36 – 46	0.83–0.63
V	46 – 56	0.63–0.53
W	56 – 100	0.53–0.30

Doku çeşitliliği, nesnelerin konumsal değişmezliğiyle ilgilidir. Dokular doğru (fine), ortalama ve kaba olarak üçe ayrılır. Dokuyu etkileyen en önemli faktör ise görüntüde benek (speckle) denilen hataların oluşmasıdır.

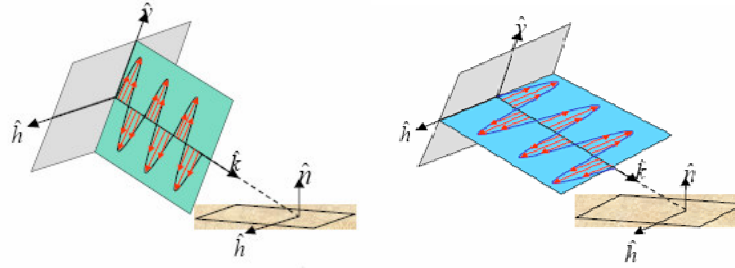
Polarizasyon

SAR görüntülerinden bilgi üretilmesini sağlayan diğer bir faktör polarizasyondur. SAR antenleri polarize edilmiş (elektrik dalgalarının titreşimi, uçuş yönüne dik, tek bir düzlemde iletilmesi için enerji vuruşlarının filtreden geçirilerek gönderilmesi) enerjiyi gönderir ve alırlar. Elektromanyetik enerjinin vuruşu anten tarafından dikey polarizasyonlu ya da düşey polarizasyonlu olarak iletilir. Polarizasyon, elektro manyetik dalganın aldığı yol boyunca yaptığı salınım hareketidir. Düşey bir polarizasyon dalga aşağı yukarı salınım şeklinde ileri doğru hareket eder. Bir vuruş algılayıcıdan gönderildiğinde, anten tasarımına göre elektrik alan vektörü dalgayı düşey (V) ya da yatay (H) olarak titretir (Şekil 2.13).

Polarizasyon, antenin dalgayı gönderiş ve alışı şekline göre ayarlanabilir. Çoğunlukla gönderilen vuruşlar paralel-polarizasyon şeklindedir. Elektrik alan titreşimi, gönderildiği gibi alınır, bu durumda düşey-düşey (HH) ya da yatay-yatay (VV) polarizasyon elde edilir. Diğer

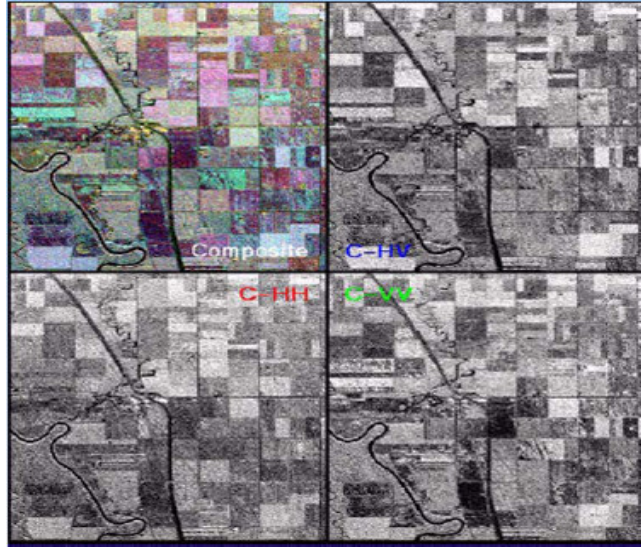
bir anten konumu olan çapraz-polarizasyonda dalganın gönderildiği ve alındığı durumları farklıdır, VH ya da HV konumundadırlar. Buna göre elektro manyetik dalganın gönderim ve alım türüne göre dörde ayrılır;

- 1) Tek Polarizasyon: VV, HH
- 2) Tek çapraz Polarizasyon: HV, VH
- 3) Çift Polarizasyon: VV/HH, HH/VV, HH/HV, VV/VH
- 4) Tam Polarizasyon: HH+HV+VH+VV



Şekil 2.13 Düşey (vertical) ve yatay (horizontal) polarizasyon

Bir EM dalga, değişen bir ortama geçtiğinde ya da bir nesneden geri saçıldığında, yansıtıcının şekli ve yönü ile ilgili karakteristik bilgiler elde edilir. Polarimetri hedef yakalama parametrelerine pek çok yeni tanımlayıcı bilgi üretir. Mikrodalgaların nesneden olan yansıma özelliği nesnenin geometrik yapısının ve polarizasyonun birbiriyle olan ilişkisine bağlıdır. Bazı özellikler her iki paralel ya da çapraz polarizasyonlu görüntülerde aynı görünür. Ancak örneğin bitki örtüsü gibi yaprak, çalılık, ve bitki gövdesinden gelen çoklu geri saçılım değerleri HV ya da VH durumunda farklı parlaklıkta görüntüler oluştururlar. Bu nedenle hedef nesne ile nesnenin dışındaki ayrıntıları ayırt edebilmek için doğru polarizasyon kombinasyonu seçilmelidir. Araziye ekilen ürün türünün ve arazi kullanım sınıflandırma sonuçlarının artırılması (Şekil 2.14) ve biyofiziksel, jeofiziksel parametrelerin (ormanın biyokütlesi) doğruluğunun belirlenmesinde kullanılan polarizasyon tekniğine ayrıca PolSAR da denilmektedir (Ouarzeddine, 2002).



Şekil 2.14 Polarimetrik SAR (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>)

Yüzey saçılımı (Surface scattering)

Yüzey gerisaçılımı gönderilen elektromanyetik enerjinin dalgaboyu ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiye göre açıklanır ve bunlar Rayleigh ölçütü veya Fraunhofer ölçütü olarak adlandırılır. Δh yüzey pürüzlülüğünün standart sapması, λ dalga boyu, θ elektro manyetik enerjinin geliş açısı olmak üzere Rayleigh ölçütüne göre yüzeyin düz olması ve Fraunhofer ölçütüne göre yüzeyin düz olması sırasıyla 2.11 ve 2.12 eşitliklerinde belirtilmiştir;

$$\Delta h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta} \quad (2.11)$$

$$\Delta h < \frac{\lambda}{32 \cos \theta} \quad (2.12)$$

Saçılım oranı, geliş açısı ve saçılım açısının bir fonksiyonudur. Ancak uzaktan algılamada saçılım açısı ile geliş açısı aynıdır çünkü radar sistemlerinde alıcı anten ile em enerji gönderen anten aynı yerdedir. Bu nedenle uzaktan algılamada geri saçılım değerleri ele alınır (Gabriel, 1996).

Hacim saçılması (Volume scattering)

Saçılım bir ortamdan diğer ortama geçerek gerçekleşiyorsa hacimsel saçılım meydana gelir. Eğer mikrodalga ışıma bir ortamı delip geçme (penetration) özelliği gösterirse hacimsel saçılım gözlenebilir. En çok ağaçlar, yapraklar, toprak katmanları, kar örtüleri gibi nesnelerde görülür. Saçılım, yüzey pürüzlülüğüne, ortalama dielektrik özelliğine ve dalga boyuna bağlı

olarak gerçekleşir (Ouarzeddine, 2002). Şekil 2.11 de gösterildiği gibi hacimsel saçılım en çok L bandında gözlemlenir.

Eğim açısının etkisi

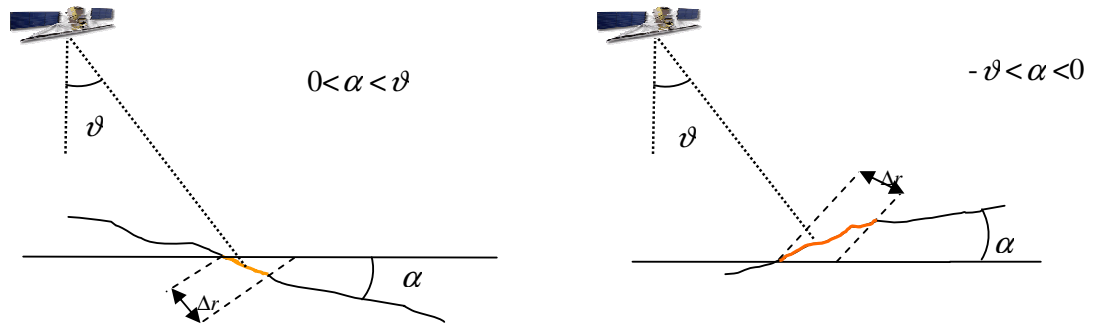
Algılayıcı tarafından gönderilen ışın demetinin eğim açısı, görüntünde ki nesnelerin analizini etkileyen diğer önemli bir etkidir. Eğim açısının artması daha koyu gri tonların elde edilmesine, küçük geliş açısının kullanımı ise daha açık tonda gri değer elde edilmesine neden olacaktır. Geliş açısındaki çeşitlilik, topoğrafyanın eğimli olmasından ve SAR görüntü alım geometrisinden dolayı oluşan geometrik hataların azaltılmasında önemli derecede etkili olmaktadır.

2.5 SAR Görüntüsündeki Geometrik Hatalar

Pasif sistemlerden farklı olarak SAR sistemi yan bakışlı bir geometriye sahiptir. Radar görüntülerinde nesneler radar uydusuna doğru eğilmiş bir şekilde algılanır. Nesnenin algılayıcıya olan uzaklığı ölçmede yer gerçek uzaklığı yerine aradaki eğik uzaklık ölçüldüğü için geometrik hatalar oluşur. Bunlar; kısa görüntüleme (foreshortening), ters görüntüleme (layover) ve gölge (shadow) oluşumudur.

2.5.1 Kısa görüntüleme

Eğimli arazi yüzeyine gelen ışınların, geri saçılması sonucu, ölçülen uzunluğun gerçek değerinden kısa olması durumudur. Işının geliş açısıyla birlikte arazinin eğim açısına da bağlıdır (Şekil 2.15). Radar ışın demeti eğimli araziye dik olduğunda yani eğimli arazide tabana, yüzeye ve yüzeyin tepesine aynı anda ışın demeti geldiğinde kısa görüntüleme hatası en büyük değerini alır.

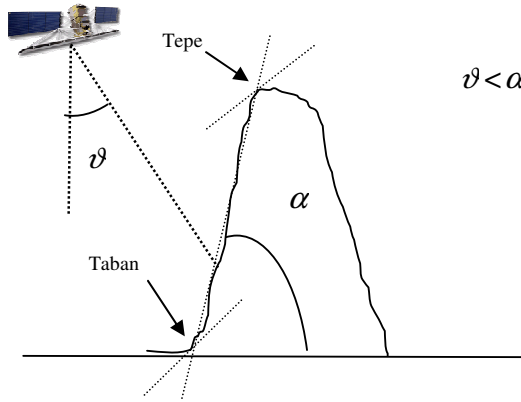


Şekil 2.15 Kısa görüntüleme (Franceschetti ve Lanari, 1999)

Algılayıcıya bakan eğimli arazi parlak beyaz kaydedilirken, algılayıcıyı görmeyen kısımlar siyah kaydedilir. Dağın tabanı tepesinden önce kaydedilir. Hata büyüklüğü geliş açısına bağlıdır.

2.5.2 Ters görüntüleme

Eğimli arazide geri saçılan enerjinin, yüzeyin üst tarafının alt tarafından önce kaydedilmesinden oluşur. Ters görüntüleme daha çok enerjinin geliş açısının küçük olduğu zamanlar gerçekleşir, bu da pek çok nesnenin görüntülenememesine neden olur. Dağlık bölgelerde görülen ters görüntüleme hatası daha çok küçük geliş açısı ile alınan görüntülerde görülür.



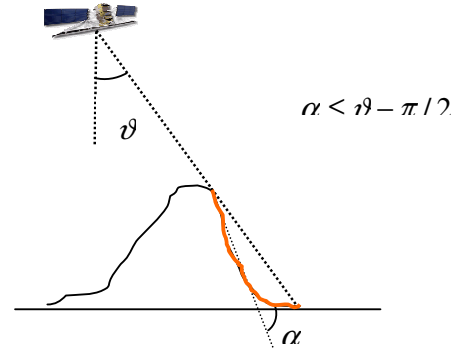
Şekil 2.16 Ters görüntüleme (Franceschetti ve Lanari, 1999)

2.5.3 Gölge

Radar ışın demetinin yeryüzünü aydınlatamadığı yerlerde görülür. Bu bölgelere ait geri saçılım bilgisi kayıt edilemediği için siyah kaydedilir. Geliş açısı yakın menzilden uzak menzile doğru arttıkça, radar ışınları daha eğimli gelecektir ve gölge etkisi artacaktır. Yüzey eğimi, ışın demetinin geliş açısından daha dik ise gölge oluşur. Dağlık bölgelerde görülen gölge hatası, o bölgeye ait geri saçılımın kaydedilememesine neden olurken SYM de üretilemez.



Şekil 2.17 Gölge alanlar



Şekil 2.18 Gölge geometrisi

(Franceschetti ve Lanari, 1999)

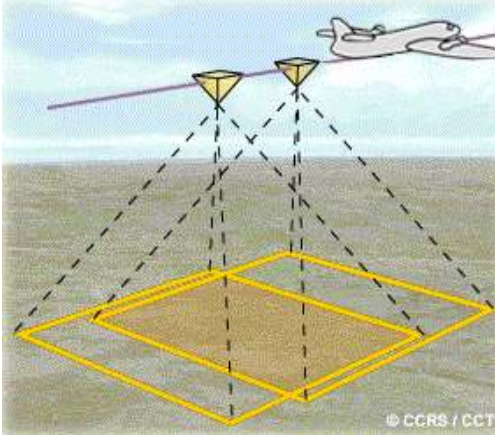
2.6 Stereo SAR Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Stereo radar görüntülerinden SYM üretme işlemine Radargrametrik Değerlendirme denilmektedir. Bir çift hava fotoğrafını ya da uydu görüntüsünü stereo görme, temelde X paralaksına ve paralaktik açılara dayanır. X paralaksı görüntü alımında yapılan konum kayıklığıdır. Hava kameralarıyla alınan stereo çiftler, uçağa yerleştirilen bir kamera ile farklı konumda bindirmeli alınarak oluşurken (Şekil 2.19), uydu sistemlerinde görüntüler iki farklı bakış açısı ya da iki farklı ışın modunda alınarak oluşturulur (Şekil 2.20).

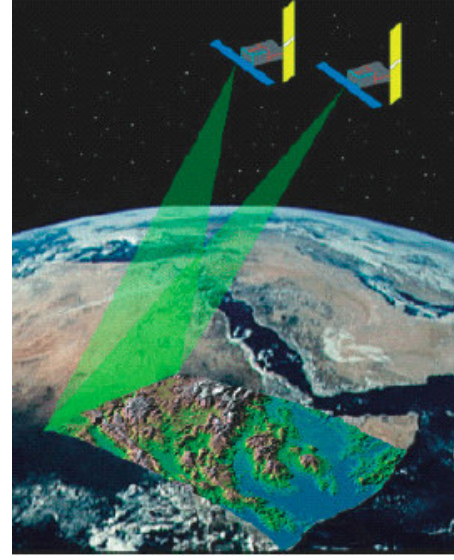
Bir noktanın paralaksı, o noktanın yüksekliğine bağlıdır ve görüş açısına bağlı olarak yüksek yerlerdeki paralaks daha fazladır.

Optik uzaktan algılama verisi ile karşılaştırıldığında radar verisi belirgin avantajlara sahiptir. Tüm hava koşullarında görüntü alımı, gece ve gündüz veri sağlanması gibi. Bulut, optik görüntülerde önemli ve olumsuz bir etkenken SAR görüntüleri etkilenmemektedir. Başlıca SAR uygulama alanları:

Arazi değişim haritaları (Liao vd. 2005), sismik hareketler, volkanik olaylar, okyanus olayları, kutup araştırmaları, zamansal buzul haritaları (Goldstein vd., 1993), yüzey deformasyon analizleri (Manzo vd., 2006), arazi kullanım haritaları (Bangdadi, 2005), deprem (Ristau, 1999), toprak kayması (Squarzone, 2003), sel gibi doğal afetlerin belirlenmesidir.



Şekil 2.19 Uçak sisteminde stereo alım



Şekil 2.20 Uydu sisteminde stereo alım

Dağlık alanlarda sayısal yükseklik model (SYM) verisi, arazi kullanım haritalarının oluşturulmasında önemli bir veridir çünkü yüksek topografya, arazinin sınıflandırılmasında etkili bir rol oynar. Dağlık bölgelerde arazi sınıflandırmasında stereo SAR görüntüleri kullanılması daha uygun olabilir. Stereo SAR 'dan elde edilen SYM, arazi bilgisi (yükseklik, eğim, bakı) ve görüntülerden elde edilen doku bilgisi kullanılır. Ayrıca pek çok çalışmaya altlık olarak kullanılan SYM üretimi, stereo SAR görüntü alımı ile gerçekleştirilir (Peng, 2005).

Stereo yöntem ile SYM üretilmesi konusunda pek çok çalışma yapılmış ve sonuç ürünlerin çelişkili olduğu gözlemlenmiştir. SIR, ERS ve JERS uydu görüntüleri kullanılarak şu sonuçlar elde edilmiş;

- Kesişim açısının en uygun aralığının yaklaşık 40° - 45° arasında olduğu (Kaupp vd, 1983)
- En iyi sonuçların 50° - 70° yatık bakış açısına ve 20° kesişim açısına sahip konumda elde edildiği (Domik, 1983),
- Yüksek doğruluk elde etmek için büyük kesişme açısına ihtiyaç duyulmadığı (Leberl, 1986)
- Yüksek yersel çözünürlüğün, yükseklik bilgisinin doğruluğunu artırmadığı (Fullerton, 1986)
- En iyi sonuçların, zıt ve birbiriyle uyumlu görüntülerden sağlanan çiftler ile sağlanabildiği (Fullerton, 1986; Toutin, 1996)

Bu sonuçlara göre uygulamalar, teorik beklentilerle uyuşmamaktadır, örneğin büyük kesişim açılı ve yüksek konumsal çözünürlüğe sahip görüntülerden doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilememektedir.

Rosenfield (1968) ve La Prade (1970) tarafından stereo SAR'ın fotogrametri ile olan benzerliği göz önüne alınarak teorik hata analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde sol ve sağ görüntülerin iç yöneltme elemanlarındaki hataların stereo model de oluşturduğu hatalar incelenmiştir. İlk analizler aynı yönlü ve zıt yönlü stereo modellerin karşılaştırılması ve mutlak hataların belirlenmesi üzerinedir. Leberl (1979), daha geniş bir yaklaşımla bağlı ve mutlak hata yayılımının her ikisini de stereo model alım durumu göz önüne alınmaksızın açıklamaya çalışmıştır. Buna göre teorik hata yayılım modelinde yükseklik ve iz boyunca oluşan hatalar sırasıyla E_h ve E_x , uzaklık boyunca oluşan hata E_r dir. Q_L ve Q_R sırasıyla sol ve sağ görüntülerdeki bakış açıları, (Toutin, 1999) Buna göre;

$$E_h = [(\sin^2 Q_L + \sin^2 Q_R)^{1/2} / \sin \Delta Q] E_R \quad (2.13)$$

$$E_x = [(\cos^2 Q_L + \cos^2 Q_R)^{1/2} / \sin \Delta Q] E_R \quad (2.14)$$

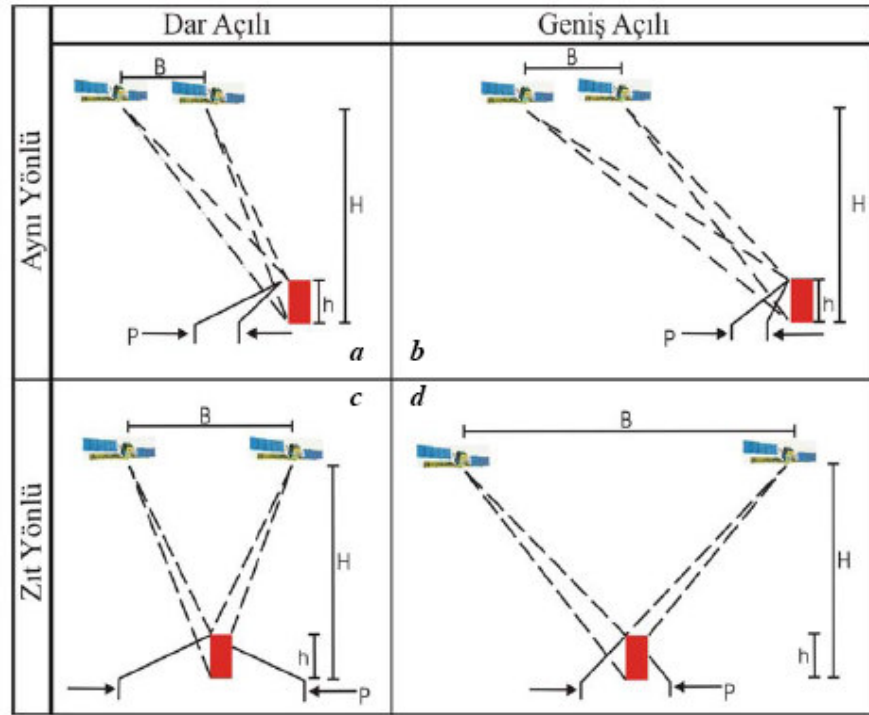
2.13 ve 2.14 hata modellerindeki bağıntılarına göre sadece SAR görüntülerinin bakış, kesişim açılarından ve uzaklıktan oluşan hatalar modellenmiştir. Burada radyometrik ve rölyef özelliklerinden dolayı oluşan hatalar ihmal edilmiştir. Geliş açısına bağlı olarak SAR geri saçılımının ve bunun sonucu olarak görüntü radyometrisinin etkisi, VIR yansımalarına göre daha fazladır. Özellikle küçük geliş açısına sahip görüntüler arasında, büyük radyometrik hataların oluşmasına neden olur.

Yükseklikten ileri gelen hatanın (E_h), azaltılmasında kesişim açısının (ΔQ), artırılmasıyla sağlanabilir. Diğer bir deyişle iyi bir stereo geometrisi elde etmek ve arazi yüksekliğini belirlemede kullanılan paralaksı arttırmak için görüntülerinin kesişim açısı geniş alınmalıdır. Ancak SAR geliş açısının duyarlılığı göz önüne alınırsa görüntüler arasında büyük radyometrik farklar görülür. Diğer yandan uygun stereo görüş ve görüntü eşleme işlemleri için görüntülerin neredeyse aynı olması beklenir. Bu ise küçük radyometrik fark ile yani geometrik farklılığın azalacağı dar kesişim açısı ile sağlanır.

Büyük geometrik ve radyometrik farklılıklar stereo görüşü ve stereo değerlendirmeyi engellemektedir. Bu farklardan birini azaltma işlemi, diğerini arttırdığından dar veya geniş bakış açısı, küçük veya büyük kesişme açısı ya da yüksek veya düşük yersel ayırma gücü

arasında bir seçim yaparken, radyometrik farkların az olduğu iyi bir stereo görüş elde etmek ile büyük paralaksa sahip iyi bir geometri kurmak arasında bir seçim yapmak gerekir. Genel olarak bu seçim yapılırken her tür rölyef için aynı yönlü stereo çiftlerin seçilmesi tercih edilir. Böylece radyometrik ve geometrik farklılıklar en aza indirgenmiş olur. Radyometrik farklılıkları en aza indirip geometrik doğruluğu arttırırken, arazi türünün dikkate alınmasında yarar vardır. Örneğin zıt yönlü stereo çiftler paralaksı arttırdığından, düz ve düze yakın yani radyometrik farkların az olduğu arazi türlerinde kullanılmalıdır (Balık, 2004).

Fotogrametri ile olan benzerlik göz önüne alınırsa, stereo modelin ve olası yükseklik doğruluğunun analizinde kesişim açısı (ΔQ) veya baz-yükseklik oranı (B/H) kullanılabilir. Modeller aynı yönlü alım ya da zıt yönlü alım ile gerçekleştirilir (Şekil 2.21). Aynı yönlü stereo modelde aynı kesişim açısı veya baz-yükseklik oranına sahip görüntüler, dar bakış açılı olan görüntülerle, geniş bakış açılı görüntülere göre daha büyük düşey paralaks oluşturur. Zıt yönlü stereo modelde küçük kesişim açısı veya baz-yükseklik oranına sahip dar bakış açılı görüntü, büyük kesişim açısı veya baz-yükseklik oranına sahip geniş bakış açılı görüntüye göre daha büyük düşey paralaks oluşturur.



Şekil 2.21 Stereo SAR çiftlerinin alım şekli (Toutin, 1996)

2.7 Radarsat ve Stereo SAR

Farklı konumdan alınan görüntülerin paralaksına bağlı olarak stereo görüntü oluşturulur. Radarsat ile görüntüler, platformun konumuna dayanarak soldan sağa doğru alınır. Görüntü çiftin alımında iki etmen büyük rol oynar; algılayıcının alım modu ve uydunun yörünge geçişinde algılayıcının alım durumuna göre yükselen veya alçalan olması. Radarsat da farklı görüş açılarına göre alınan farklı ışın alım modları vardır. Yükselen konumda algılayıcının bakış yönü doğuya, alçalan konumda ise batıya doğrudur.

Çizelge 2.3 Radarsat 1 Uydu Özellikleri

Uydu Adı	RADARSAT 1
İşletmeci	Radarsat International
Fırlatma Tarihi	4 Kasım 1995
Tasarım Ömrü	5 yıl
Toplam Kütle	3100 kg.
Ana Yapının Boyutları	1.34 m. x 1.34 m. x 3.2 m.
Güneş Panelleri	2.5 kW.
Yörünge Özellikleri	Dairesel Kutupsal Güneş Eş-Zamanlı
Yörünge Yüksekliği	798 km.
Yörünge Eğimi	98.6 Derece
Yörünge Periyodu	100.7dakika (14 yörünge/gün)
Tekrarlama Periyodu	24 Gün
Görüntü İletimi Taşıyıcı Frekansı	8105 MHz. gerçek-zamanlı veri 8230 MHz. kaydedilmiş veri
Veri İletim Hızı	85 Mbit/saniye kaydetme hızı 105 Mbit/saniye gerçek zamanlı iletim
Algılayıcıları	Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

Kasım 1995'te CCRS tarafından fırlatılan RADARSAT-1 Kanada'nın ilk yer gözlem uydusudur. Radarsat ile alınan görüntüler, buzul, deniz görüntüleme, jeoloji ve jeolojik risklerin görüntülenmesi, tarım, kartoğrafya, hidroloji, orman ve harita üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. RADARSAT, aktif bir uzaktan algılama sistemi olan sentetik Açıklıklı RADAR (SAR) algılayıcısına sahiptir. Elektro manyetik dalganın dalga boyu 5.6cm. ve frekansı da 5.3 GHz. dir. Yatay polarizasyonlu mikrodalga C bandındadır. Aktif bir sistem olduğu için gönderilen ve alınan enerji, karanlık, bulut, yağmur, kar, pus, sis gibi koşullardan etkilenmemekte ve her türlü atmosferik ortamda veri toplamaya olanak sağlamaktadır. Güneş eşzamanlı yol alan RADARSAT dünya yüzeyinden yaklaşık 800m.yüksekliktedir. Yörünge periyodunu 101 dakikada ve günde 14 defa olmak üzere dünyayı tarar. Aynı bölgeden (aynı ışın modunda, aynı ışın konumunda, aynı coğrafi konumda) geçişini ise 24 günde birdir (Çizelge 2.3 ve 2.4)

Çizelge 2.4 Radarsat 1 SAR görüntüleme özellikleri

Frekans	5.3 GHz.
Band Genişliği	11.6, 17.3 ya da 30.0 MHz.
Band Adı	C bandı
Dalga Boyu	56 mm.
Geliş Açısı	10-60 Derece.
Yer Çözünürlüğü	10-100 m.
Tarama Alanı Genişliği	50-500 km.
Polarizasyon	Yatay
Radyometrik Çözünürlük	8 bit
Tekrarlama Periyodu	24 Gün
Yörünge Eğimi	98.6 Derece

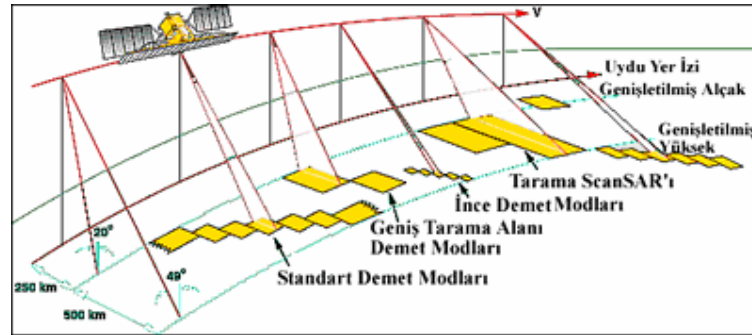
Elektro manyetik dalganın dalga boyu 5.6cm. ve frekansı da 5.3 GHz. dir. Yatay polarizasyonlu mikrodalga C bandındadır. Aktif bir sistem olduğu için gönderilen ve alınan

enerji, karanlık, bulut, yağmur, kar, pus, sis gibi koşullardan etkilenmemekte ve her türlü atmosferik ortamda veri toplamaya olanak sağlamaktadır. Güneş eşzamanlı yol alan RADARSAT, dünya yüzeyinden yaklaşık 800m. yükseklikten görüntü alır. Yörünge periyodunu 101 dakikada ve günde 14 defa olmak üzere dünyayı tarar. Aynı bölgeden (aynı ışın modunda, aynı ışın konumunda, aynı coğrafi konumda) geçişini ise 24 günde birdir (Çizelge 2.3 ve 2.4).

Veri seçiminde bakış yönü, ışın modu ve ışın konum özellikleri önemlidir. İki bakış doğrultusu, yedi farklı ışın modu ve farklı ışın konum uzaklıkları ile RADARSAT çeşitli olanaklar sağlamaktadır. RADARSAT sağ bakışlı bir uydudur ve iki bakış yönü ile görüntü alır. Kuzey kutbundan alçalan yönde batıyı tararken, güney kutbundan yükselen yönde doğuyu tarar.

Işın modları

RADARSAT farklı özellikteki çeşitli ışın moduna sahiptir. Her bir mod yerde kapladığı alan ve detay yakalama özelliği yani çözünürlüğü ile tanımlanır. Fine mode 50 km² nominal çözünürlük 10m. , ScanSAR 500 km² nominal çözünürlük 100m., Standard mod 100 km² nominal çözünürlük 30m. Kullanım amacına göre ışın modu seçilerek istenilen detayların alımı sağlanır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Radarsat-1 ışın modları (www.sagres.itu.edu.tr)

Işın Konumu

Her ışın modunda farklı ışın konumunda alım yapabilmek mümkündür. Her bir ışın konumu yakın ve uzak kenar geliş açısına göre tanımlanmıştır. Bu açı radar ışınıyla yer yüzeyi arasındaki açıdır. Fine ışın modu 37-40 ve 45-48 derece geliş açısı arasında değişen 5 konuma, Standard mod ise 20-27 ve 45-49 derece geliş açısı arasında değişen 7 ışın konumuna sahiptir (Çizelge 2.5). Işın konumları düz alımdan dik alıma doğru sıralanır.

Çizelge 2.5 Radarsat-1 ışın modlarının özellikleri (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>)

Işın modu	Işın konumu	Yaklaşık geliş açısı (derece)	Yaklaşık çözünürlüğü (m)	Yaklaşık kapladığı alan (Km)	Bakış sayısı
Fine (15 konum)	F1 yakın F1 F1 uzak F2 yakın F2 F2 uzak F3 yakın F3 F3 uzak F4 yakın F4 F4 uzak F5 yakın F5 F5 uzak	36.4 - 39.6 36.8 - 39.9 37.2 - 40.3 38.8 - 41.8 39.2 - 42.1 39.6 - 42.5 41.1 - 43.7 41.5 - 44.0 41.8 - 44.3 43.1 - 45.5 43.5 - 45.8 43.8 - 46.1 45.0 - 47.2 45.3 - 47.5 45.6 - 47.8	8	50 x 50	1 x 1 SGF yada SGX
Standard (7 konum)	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7	20 - 27 24 - 31 30 - 37 34 - 40 36 - 42 41 - 46 45 - 49	25	100 x 100	1 x 4 SGF yada SGX
Wide (3 konum)	W1 W2 W3	20 - 31 31 - 39 39 - 45	30	165 x 165 150 x 150 130 x 130	1 x 4 SGF yada SGX
ScanSAR Narrow	SCNA SCNB	20 - 40 31 - 46	50	300 x 300	2 x 2 SCN
ScanSAR Wide	SCWA SCWB	20 - 49 20 - 46	100	500 x 500 450 x 450	2 x 4 SCW
Extended High (6 konum)	EH1 EH2 EH3 EH5 EH4 EH6	49 - 52 50 - 53 52 - 55 54 - 57 56 - 58 57 - 59	25	75 x 75	1 x 4 SGF yada SGX
Extended Low	EL1	10-23	30	170 x 170	1 x 4 SGF yada SGX

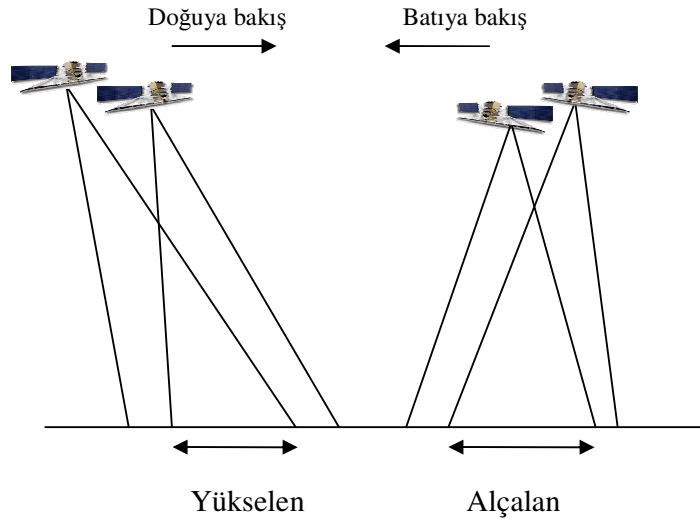
Görüntü mod özellikleri (Işın alım özellikleri)

Işın modlarından çözünürlüğü en yüksek olan Fine Beam modudur. Piksel çözünürlüğü 6.25m x 6.25m olan fine beam alımında, alım çerçevesi 50 km² dir. Eğimin yüksek olduğu tepelik,

dağlık gibi bölgelerde Şekil 2.6'da belirtilen geometrik hatalar çok rahat gözlenebilir. Yükseklik farklarının 50 m'den az olduğu düz alanlarda ise RADARSAT Fine Beam modu ile kıyılarda ve iç kısımlarda kalan platolar da rölyefin değiştiği yerler çok iyi algılanabilmektedir.

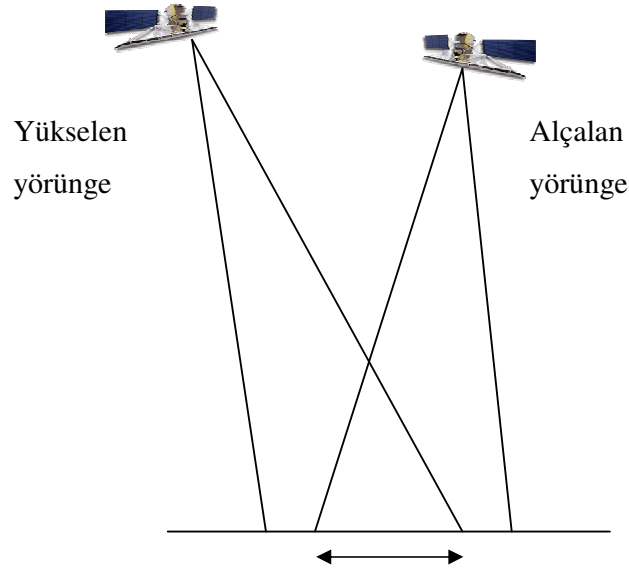
Stereo alımı bakımından ele alındığında en çok kullanılan iki mod Fine Beam ve Standart Beam modlarıdır. Ancak Standart Beam modun çözünürlüğü 25 m. olduğu için yer yüzüne ait daha fazla detay alımında Fine Beam daha avantajlıdır. Buna karşın Fine Beam modda görülen benek (speckle) hatası daha fazladır çünkü Fine Beam 1 x 1 bakış ile Standart Beam ise 1 x 4 bakış ile alınan görüntülerdir. Tek bakışta gürültü daha fazladır, bunu azaltmak için 4 bakışta piksel boyutu arttırılır. Gürültü azalırken çözünürlük düşer.

İki türlü stereo alım konumu vardır; aynı yönlü alım (Şekil 2.23) ve zıt yönlü alım (Şekil 2.24). Aynı yönlü stereo görüntü alımında yükselen yörünge bakış yönü doğu, alçalan bakış yönü de batıdır.



Şekil 2.23 Aynı yönlü stereo alım geometrisi

S1/S3 ışın modlarının ikisi de alçalan izde görüntü alır. Farklı bakış yönü, ışın modu ve ışın konumuna sahip RADARSAT görüntüsü elde etmek mümkündür. Arazi özellikleri ve coğrafi konum ile farklı görüntü işleme teknikleri RADARSAT stereo çiftinin oluşturulmasında etkilidir. Özellikler filtreleme teknikleri kullanılarak gürültü etkileri giderilir ancak diğer yandan tek bakış açısı olduğu için detay kaybı da olabilir.



Şekil 2.24 Zıt yönlü stereo alım geometrisi

Algılayıcı parametrelerinin etkileri: stereo alanın büyüklüğü, modelde görülebilen ayrıntı boyutu ve gölge, kısa görüntüleme, ters görüntüleme gibi geometrik hataların oluşması. Bu geometrik hatalardan dolayı Optik stereo modele göre stereo SAR üretmek daha zor olmaktadır. Çünkü optik sistemler doğal görüntüye daha yakın görüntülerdir.

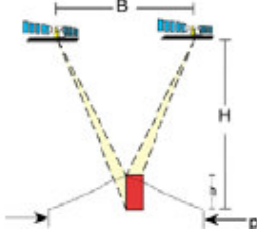
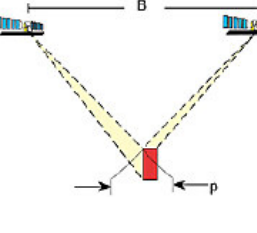
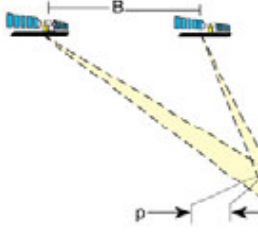
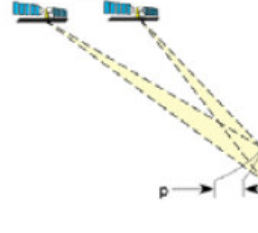
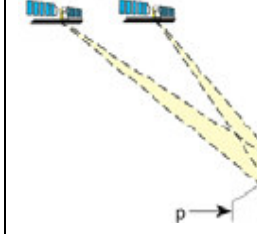
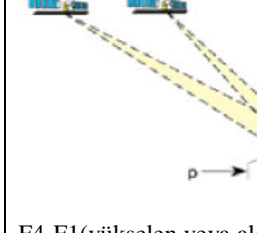
Fine mod F5/F1 yükselen izde alınır (Çizelge 2.5), çözünürlük 8m. olduğu için topografik detaylar elde edilebilir, yollar açıkça görülebilir ve elde edilebilir, yolların tip ve boyutuna göre 10m.konun hatası gözlenir (Toutin, 1998). SGF RADARSAT formatlı görüntüler 6.25m. piksel boyutunda örneklenir. Tek bakış ile alındığı için benek hatası görülür.

S1/S4 standard modda alınan görüntüler (Çizelge 2.6) dört bakış ile alındığı için gürültüde azalma vardır. Görüntüler, zıt yönlü alımdan dolayı oluşan yöneltme farklılıklarının giderilmesi için manuel olarak dönderilmelidir.

SAR görüntü alım geometrisinden ileri gelen geometrik hatalar, görüntüden bilgi üretimini ciddi biçimde etkilemektedir (Şekil 2.15-2.16-2.17-2.18). Ters görüntüleme ve görüntüler arasındaki radyometrik farklılıkların azaltılması için yatık bakış açısı (shallow açısı) ve küçük kesişim açıları (intersection angle) kullanılarak görüntü eşlemenin performansı artırılır. Dağlık bölgelerde küçük kesişim açılarının kullanılması, eğimden dolayı iki görüntü arasında

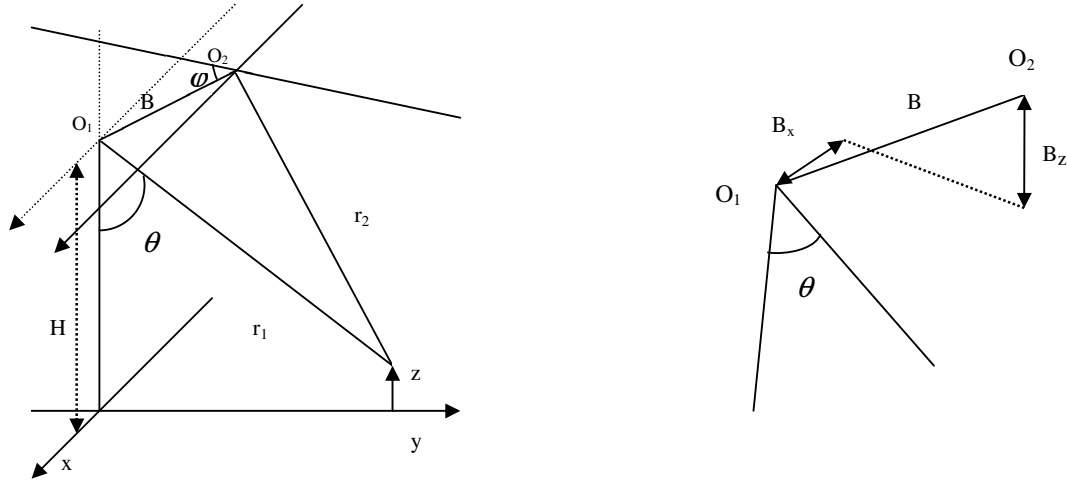
oluşan gerisaçılım uyumsuzluğunu azaltır. Ancak bu sefer artık hata farkları artmaktadır (Toutin, 2000).

Çizelge 2.6 Radarsat-1 stereo alım özellikleri (Toutin, 1999)

Arazi eğimi	Düz $0^{\circ} - 10^{\circ}$	Düşük eğimli $10^{\circ} - 30^{\circ}$	Dağlık $30^{\circ} - 50^{\circ}$
Radyometrik bozukluk	az	orta	çok
Geometrik bozukluk	çok	orta	az
Konum özellikleri	Zıt yönlü, küçük bakış açısı	Aynı yönlü, büyük kesişim açısı	Aynı yönlü, küçük kesişim açısı ve büyük bakış açısı
Stereo alım konumları	 S1 yükselen-S1 alçalan  F1 yükselen-F1 alçalan	 S7-S1 (yükselen veya alçalan)  F5-F1 (yükselen veya alçalan)	 S7-S4 (yükselen veya alçalan)  F4-F1 (yükselen veya alçalan)

2.8 İnterferometrik SAR (InSAR-IfSAR-ISAR)

SAR interferometrisi (SAR Interferometry-InSAR), SAR görüntüsünden farklı olarak genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahiptir. Dünya yüzeyinin 3B'lu modelini oluşturmak için kompleks radar verisinin sinyallerindeki faz bilgisi kullanılır. İlk defa Venüs ve Mars gezegenlerinin gözlemlenmesi için kullanılmıştır. 3B'lu interferometrik SAR ölçümleri yan bakış geometrisi ile uçak, uzay mekiği ya da uydulara yerleştirilen algılayıcılar ile yapılır.



Şekil 2.25 İnSAR geometrisi

Aynı yüzeye ait, iki anten alımı elde edilen sinyallerin fazlarının farkı $\Delta\phi$, λ dalga boyu, r_1 ve r_2 antenden hedef nesneye olan uzaklık, uydular arası uzaklık olan B bazının bileşenleri B_x ve B_z , θ sinyal geliş açısı, H uçuş yükseklik değeri, ψ baz eğim açısı olmak üzere faz farkı ve yükseklik sırasıyla (2.15) ve (2.16) eşitliklerden bulunur (Gens ve Vangenderen, 1996);

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = \frac{4\pi}{\lambda}(B_x \sin \theta - B_z \cos \theta) \quad (2.15)$$

$$z = H - r_1 \cos \theta = H - r_1 (\cos \psi \sqrt{1 - \sin^2(\theta - \psi)} - \sin \psi \sin(\theta - \psi)) \quad (2.16)$$

İki antenden gelen sinyallerin korelasyonlu kombinasyonu ile alınan sinyaller arasındaki interferometrik faz farkı, görüntünün her pikselinde belirlenir. Topografyaya bağlı olarak, faz farkı nesneye olan uzaklıkların geometrik farkıdır. İnterferometri geometrisinin bilgisi ile faz farkı görüntüde ki her bir pikselin yükseklik bilgisine dönüştürülür.

İnsar ile topoğrafik harita üretimi klasik stereoskopik yöntemle benzer. Stereo yönteminde, araziye ait bir çift görüntü aynı anda alınır. Ötelemeyen oluşan paralaks topografyanın yeniden oluşmasını sağlar. İnSAR tekniğinde ki temel fark SAR görüntüleri arasındaki paralaks, iki sinyal arasındaki faz farkından elde edilir. Faz farkı ile interferometrik baza bağlı olarak hedefin açısı belirlenir. İnSAR ölçümünün paralaksı dalga uzunluğuna bağlı iken stereo yöntemin paralaksı görüntü çözünürlüğüne bağlıdır (Rosen vd, 2000).

2.8.1 İnterferometrik SAR Verisi Elde Etme Yöntemleri

İnterferometrik SAR verisinden bilgi üretmek için farklı alım türleri geliştirilmiştir, her tekniğin kendine özgü özellikleri vardır ve bu birbirlerinden bağımsız olarak kullanım özelliği sağlar. Bunlar sırasıyla;

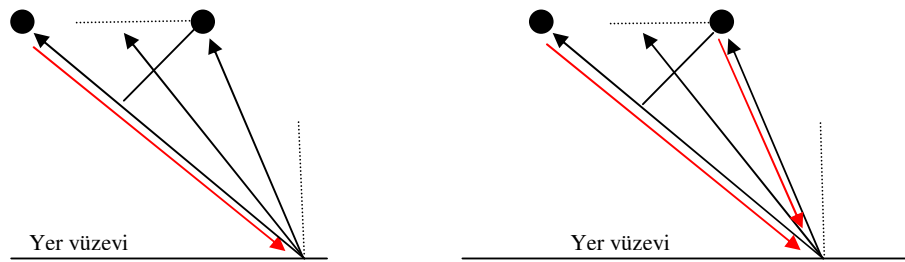
- İze dik alım yöntemi
- İz boyunca alım yöntemi
- Tekrarlı geçiş yöntemi
- DInSAR yöntemi

2.8.1.1 İze dik alım yöntemi

Algılayıcının konum farkından yararlanarak tek alıcı üzerine iki anten yerleştirilerek aynı zamanda aynı bölgenin geri saçılımlarının kaydedilmesiyle üretilen görüntülerdir. Bu alım yöntemi uydularda uygulanmaz daha çok uçak ve uzay mekiklerinde kullanılır. Uçuş yönüne dik olarak uçağa yerleştirilen iki anten ile alım yapılmaktadır. H uçuş yüksekliği, R_1 eğik uzaklık ve θ geliş açısı olmak üzere, arazi yüksekliği h

$$h = H - R_1 \cos \theta, \text{ yer uzaklığı } y = R_1 \sin \theta \quad (2.17)$$

Bu geometrideki en önemli problem uçağın salımın hareketi yapmasından dolayı hata farklarının çok olmasıdır. İze dik alımda (Single / simultaneous pass or across track interferometry) iki yöntem kullanılır; birinci yöntemde antenlerden sadece bir tanesi sinyal gönderir ve iki anten geri saçılımları kaydeder. İkinci yöntemde ise iki anten hem sinyal gönderir hem de geri saçılımları kaydeder (pin-pon modeli) (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 İze dik alım yöntemi

görebilmek için aynı yörüngeden çok az farklı bir geometri ile geçmek zorundadır. Bu teknik uydularda ilk olarak ESA'nın ERS1 ve ERS2 uyduları ile kullanılmıştır. Aynı bölgeye ait iki ERS1 veya ERS2 görüntüsü 35 gün ara ile alınırken, ERS1'in geçtiği bölgeden ERS'in TANDEM olarak yani bir 24 saat sonra geçmesi ile interferometrik alım uydularda bir güne indirilmiştir. Ancak şu anda ERS1 uydusu görevini tamamlamıştır ve görüntü alımı yapmamaktadır.

Gray ve Farris-Manning çalışmalarında uçakla uygun interferometrik alım için üç temel koşul öne sürmüşlerdir: (1) arazi geri saçılımının değişmemesi, (2) sabit görüş geometrisi, (3) harekete bağlı veri değişiminin korunmasıdır.

Tekrarlı geçiş interferometrisi, görüntülerin zamansal ve konumsal uyumluluk (coherence) özelliklerini kullanarak arazi yüzeyine ait konumsal ve dielektik özelliklerin yakalanmasına olanak sağlamaktadır. Tekrarlı geçiş interferometrisi, arazi sınıflandırılması, sele maruz kalmış alanların haritalanması ve jeofiziksel özelliklerin görüntülenmesinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

2.8.1.4 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı İnterferometrik Radar DInSAR

Topografya, görüntülenen yüzeyin sabit olduğu varsayılarak oluşturulmaktadır. Ancak alımlar arasında yüzey hareketinden dolayı görüş doğrultusu boyunca faz değişimi olur. Deprem, buzulların hareket etmesi, volkanik patlamalar, toprak kayması gibi olaylar bu harekete neden olmaktadır. Topografyanın oluşturulması ve hareketin gözlenebilmesi için alımlar farklı görüş açılarından ve farklı yörüngelerden (yükselen-alçalan) alınmalıdır. İnterferometri gözlemlerinden önce bu tür çalışmalar mümkün değildi, GPS ile yapılan ölçümlerde benzer doğruluk değerlerine sahiptir ancak sadece nokta ölçümü yapılabilmektedir.

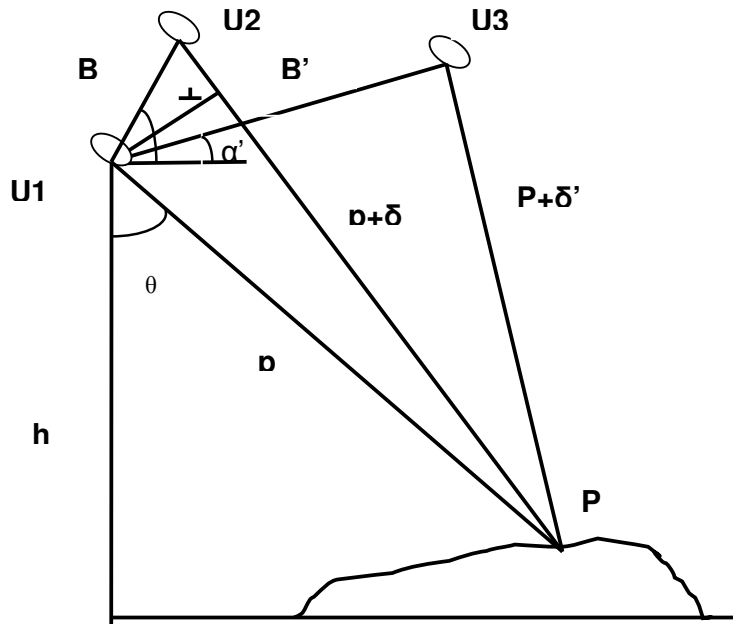
Diferansiyel SAR interferometrisi (Differential Interferometric SAR), düşey yöndeki küçük ölçekli hareketlerin ölçümü için kullanılır DInSAR uzun zaman aralıklı alımlara rağmen konumsal olarak değişimin yakalanması ve yüzey ötelemelerinin haritalarının oluşturulmasını sağlayan tek yöntemdir. Bu nedenle deprem ve volkanik araştırmalar, buzul hareketleri, tektonik hareketler, maden, gaz, su, petrol kazıları nedeniyle oluşan yer çökmelerinin görüntülenmesi bu teknik ile önem kazanmıştır ve cm.nin altında doğrulukla veri elde edilir. Diferansiyel interferometride ölçülen öteleme düşey yönlü değildir, görüş doğrultusu boyunca oluşan öteleme üretilir (Bamler ve Hartl, 1998).

Üç türlü DInSAR yöntemi vardır:

- İki görüntü ile Dinsar - İki görüntü + SYM (two-pass method),
- Üç görüntü ile Dinsar (three pass method)
- Dört görüntü ile Dinsar (Four-pass method)

İki görüntü ile Dinsar - İki görüntü + SYM (two-pass method)

İki görüntü ve referans olarak alınan SYM kullanılır. SYM topografik fazı örneklemede yapay interferogram gibi kullanılır ve eğik düzleme çevrilir. Faz belirsizliğini giderme (unwrapping) işlemi gerekmez. Topografya ve deformasyon bilgisi içeren, görüntülerden oluşturulan interferogramdan çıkarılır ve deformasyon bilgisi elde edilir.



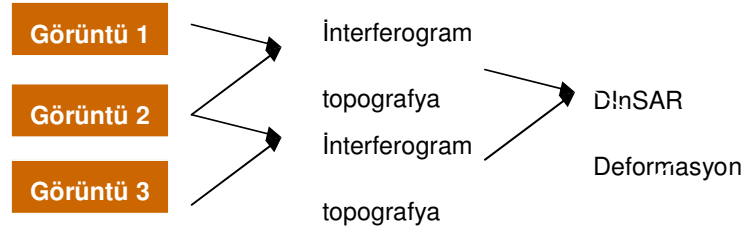
Şekil 2.28 DInSAR geometrisi

Üç görüntü ile Dinsar (three pass method)

Üç görüntü ile oluşturulan DInSAR da iki interferogramın farkları alınır. I. Çift sadece topografik bilgi içerir (zamansal aralık daha az). II. Çift hem topografya hem de deformasyon bilgisi içerir. Çiftler arası fark deformasyonu verir. Ancak interferogramlar farklı baz uzunluğuna sahip oldukları için dik baz uzunlukları göz önüne alınarak geometrisi düzeltilir.

İnterferogramda ki her bir renkli örge dalga boyunun yarısı kadarlık bir değişimi gösterir, örneğin ERS uydusu için değişim 28 mm. dir ($\lambda = 5,6cm.$). İki interferogramda ki faz devamsızlıkları aynı alanda olmamaktadır, bu yüzden faz belirsizliği giderme (unwrapping) işlemi yapılmalıdır. İnterferogramlar, paralel uçuşlar ile elde edilir ve görüş doğrultusu

boyunca tek boyutlu değişim gözlemlenir. Eğer yörüngeler birbirine paralel değilse görüntüler faz belirsizliği giderilmeden önce yeniden örneklenmelidir (Gens ve Van Genderen, 1996).



Şekil 2.29 DInSAR akış diyagramı (Hannsen vd. 2005)

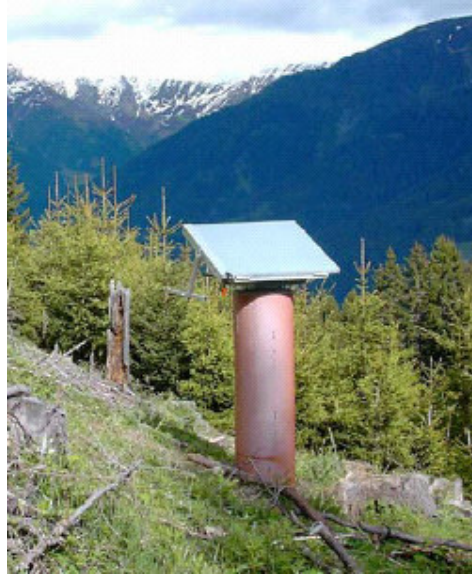
Dört görüntü ile Dinsar (Four-pass method)

Topografya ve deformasyon çifti ortak bir görüntüden oluşturulamıyorsa bu yöntem kullanılır. Uydunun dört farklı konumundan elde edilen görüntüler ele alınır. Topografya ve deformasyon çifti birbirinden bağımsızdır. Referans olan interferogram, deformasyon çiftinin oluşturduğu interferogramın zamanına bağlı olmaksızın oluşturulur. Çıkarma işleminden önce farklı geometrideki interferogramlar yataylanmalı (coregistration) ve örneklem oluşturulmalıdır.

2.8.1.5 Sabit Saçılım İnterferometresi

DInSAR tekniğine farklı bir yaklaşımla, interferogramlar yığımında faz-sabit piksellerdeki zamansal değişimi üzerine yapılan çalışmalar sonucu sabit saçılım tekniği (Permanent Scatterer Interferometry-PSI) geliştirilmiştir (1999). DInSAR tekniği yüzey deformasyonları (Zebker vd., 1994), volkanik çalışmalar (Briole vd., 1997), buzul hareketleri (Goldstein vd., 1993), heyelen (Fruneau vd., 1996) deprem (Massonnet vd, 1993) gibi çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Ancak iki önemli konu vardır. Faz verisinden dolayı oluşan görüntüler arası düşük uyumluluk (coherence) değerleri kötü sonuç verirler, diğer bir etki de atmosferin deformasyonu etkilemesidir.

Sürekli saçılım interferometrisinde çok sayıda SAR görüntüsü kullanılır, n görüntü sayısı olmak üzere minimum 15 görüntü kullanılırsa sağlıklı sonuçlar elde edilebilir ($n \geq 15$). Bu durumda n-1 sayıda interferogram üretilir. İnterferogramların bağlı kalibrasyonu için şekil 2.30 da ki gibi sabit referans noktaları kullanılır (örneğin köşe yansıtıcıları). Bu yöntemde birinci olarak seçilen görüntü (master image) her görüntü çiftinde kullanılır ve interferogramların üretilmesinde yer alır.



Şekil 2.30 Özel yansıtıcı (Helmut, 2006)

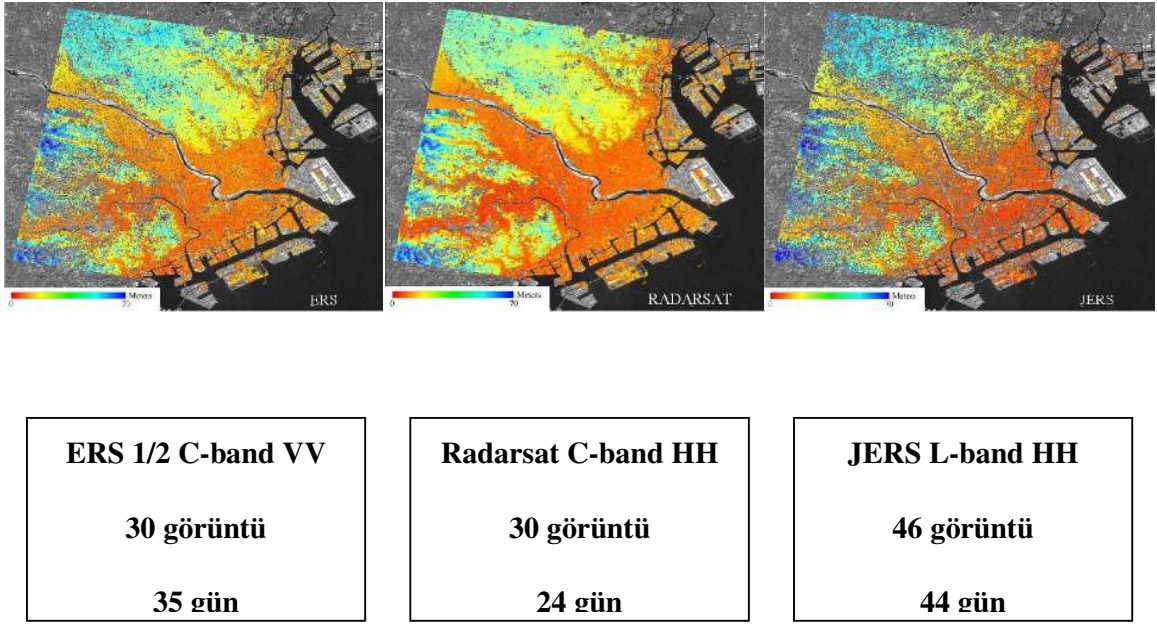
Bu teknikte zamansal uyumluluk hesaplanır. Atmosferden ileri gelen hatalar çok sayıda görüntünün kullanılmasıyla minimum düzeye indirilir. Bina, köprü, yol gibi sabit-kalıcı nesnelerin zamana göre uyumluluk durumu belirlenir. Zamana bağlı olarak deformasyon analizleri yapılır. Sabit nesneler incelendiği için özellikle şehir merkezlerinde meydana gelen deformasyonlar zaman dilimlerine bölünerek üretilir. Bu nedenle olabildiğince geri saçılım değerinin toplanması beklenir. Baskın olan noktasal saçılımlar, çözünürlük hücrelerine göre PS olarak modellenirler.

Şekil 2.31’de Japonya Tokyo da yapılan çalışma gösterilmiştir. ERS 1 / 2, Radarsat ve JERS1 görüntüleri kullanılarak Tokyo kentinde meydana gelen deformasyon farklı zaman aralıklarında belirlenmiştir. 30 ERS, 30 Radarsat ve 46 JERS1 görüntüleri kullanılarak 10, 2.5 ve 6 yıl aralıklarla meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir;

ERS görüntüsünde km^2 de 270 noktanın,

Radarsat görüntüsünde km^2 de 680 noktanın,

JERS görüntüsünde ise km^2 de 240 noktanın deformasyonu ele alınmıştır. Yükseklik değişimleri 0-70 m. arasında değişmektedir.



Şekil 2.31 PSInSAR Japonya örneği

Çalışmalar PSInSAR yöntemi ile belirlenen deformasyonun < 1 mm/yr altında değerler olduğunu göstermiştir.

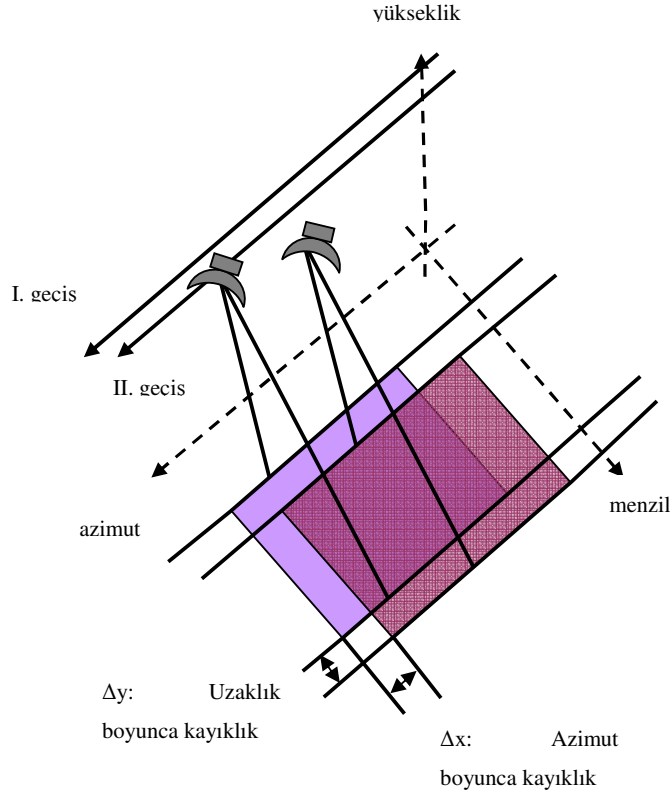
2.9 İnterferometrik SAR Görüntülerinin İşlenmesi

İnterferometrik SAR görüntülerinin değerlendirme işlemi birbirini izleyen ve bir sonraki adımı etkileyebilecek karmaşık adımlardan oluşur. Kompleks radar sinyalleri gerçel (Re = real) ve sanal (Im = imaginary) kısımlardan oluşan bir vektör olarak ifade edilir. Bu vektörün uzunluğu genlik (amplitude) ve yönü ise faz bilgisini verir. İnterferometrik veri işlemede tek aralıklı kompleks veri (Single Look Complex) yani SLC formatında görüntüler kullanılır. İçerisinde faz bilgisini koruması nedeni ile ham veri de interferometrik veri işleme için kullanılmaktadır ancak yaygın olan SCL formatında kullanılmasıdır. Değerlendirme işlemi temel olarak altı adımda gerçekleştirilir:

2.9.1 Yataylama (Coregistration)

SAR yöntemi ile elde edilen görüntüler, aralarındaki korelasyon değişiminin kestirimi ile eşlenirler. Bu eşlemede ikinci görüntü (slave image), birinci görüntüye (master image) yataylanır. Doğruluk 1 pikselin altında olmalıdır. İkinci görüntüdeki her bir pikselin konumunun birinci görüntüye göre değiştirilmesi ve ikinci görüntüdeki genlik ve faz

bilgisinin enterpolasyon yöntemi ile yeniden hesaplanması işlemidir.



Şekil 2.32 Yataylama

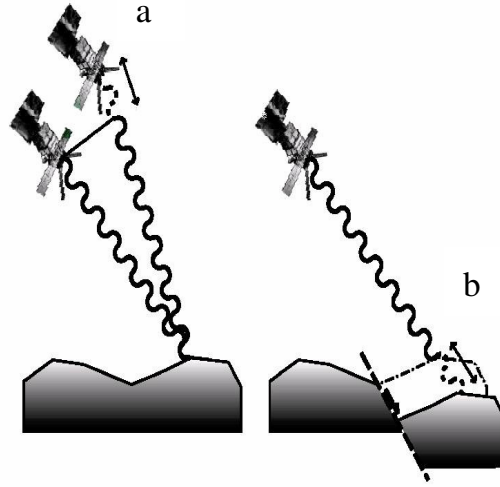
Tekrarlı geçişte, uydu konumu yer değiştirdiği için azimut boyunca kayıklık meydana gelebilir (azimuth offset). Baz uzunluğundan dolayı da eğim boyunca kayıklık olabilir (range offset) (Şekil 2.32). eşleme işlemede pek çok yöntem kullanılır bunlardan en genel olanı, yüzey genişliğine bağlı korelasyon analizidir. Eşleme hatası, pek çok interferogram üreterek, faz farkı analizinden düzensiz fonksiyonların düzeltilerek formüle edilmesiyle bulunur (Hein, 2004).

2.9.2 İnterferogramın Üretilmesi

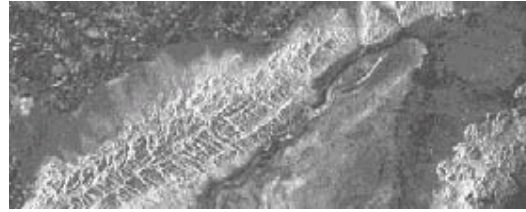
Aynı bölgeye ait iki sar görüntüsünün faz farkına dayanır. Faz farkı geometriden dolayı (Şekil 2.33-a) ya da yüzeyde meydana gelen deformasyondan dolayı oluşur (Şekil 2.33-b). Aynı alanı kaplayan iki görüntünün piksel değerleri korelasyon tekniği ile karşılıklı olarak bir pikselin 1/8'i doğrulukta eşleştirilir ve ortaya yeni bir görüntü meydana gelir.

Oluşan yeni görüntü **interferogramdır** (Şekil 2.34). Bu kompleks yapıdaki görüntü desenine de '**örge**'(**fringe**) denilmektedir. $-\Pi$ ile Π aralığında değerler alır. Her bir örge, bant dalga

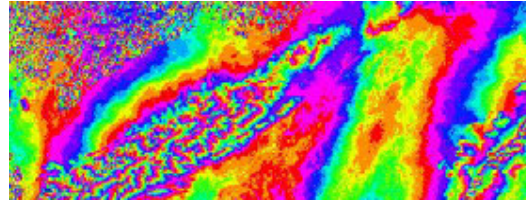
boyunun yarısı kadar hassasiyetle üretilir.



Şekil 2.33 Faz farkı (www.epsilon.nought.de)



(1)



(2)

Şekil 2.34 Genlik ve interferogram

2.9.3 Uyumluluk/Benzerlik Görüntüsünün Özellikleri (Coherence Map)

Uyumluluk, geri saçılım ile kaydedilen faz bilgisinde oluşan gürültü oranlarıdır. Uyumluluk değerleri 0-1 arasında değişen değerlerdir. 0-255 aralığındaki piksel gri değerleri 0-1 aralığına ölçeklenmiştir. Eğer piksel değerleri birbirine yakın ise korelasyon değeri yüksek olacaktır bu da iyi sonuç almamızı sağlar. Eğer piksel değerlerinin benzerliği belli bir korelasyon değerinin altında ise sonuç üründe gürültü olacaktır (Ouarzeddine, 2002). İnterferogramın kalitesini belirleyen bir görüntüdür. Ancak interferometrik fazda çeşitli sebeplerden dolayı gürültüler (noise) oluşur.

İki uydu alımı arasındaki faz farkları eğik uzaklık farkları ile oranlıdır. Bu oran, uygun interferometrik görüntü çiftine ait sinyaller kaydedilebildiği zaman yani sinyaller “coherent” olduğu zaman anlamlıdır. Uyumluluk, interferogramdaki örgelerin oluşmasını, tanımlanabilir olmasını sağlar. İnterferogramın performansı, radar algılayıcı parametrelerine, uçuş izinin doğru elde edilmesine ve veri işleyişinin kalitesine bağlıdır. İnterferogram, nesnenin uzay koordinatlarının hesaplanmasında kullanılan faz bilgisini içerir. Fazlar, yerküre yüzeyindeki saçılımlar, kendi geri saçılım hareketleri ve birbirleriyle olan etkileşimleri değişmediği sürece önemli hale gelir. Bu koşul ile başarılı bir interferometrik değerlendirme için uyumluluk değerinin kontrolü kullanılır. InSAR temelde pek çok pikselin faz karşılaştırmasına dayanır. Yani görüntüler arasındaki faz istatistiksel olarak benzer olmak zorundadır (Ouarzeddine, 2002). Örgeler gibi uyumluluk görüntüsü de görüntü özelliklerine ait bilgi edinmemizi sağlar.

Uyumluluk, istatistiksel olarak ölçülen ve görüntülere ait faz farklarının korelasyonuna ait bir değerdir. Korelasyon katsayısının belirlenmesiyle yer yüzüne ait niteliksel değişimlerin belirlenmesi mümkündür. Radar geri saçılım oranı, bir nesnenin saçılım karakteri hakkında bilgi verir (Hein, 2004).

Kompleks uyumluluk değeri (2.19) bağıntısından bulunur:

$$\gamma = \frac{E\{y_1 y_2^*\}}{\sqrt{E\{|y_1|^2\} E\{|y_2|^2\}}} \quad (2.19)$$

Yüksek uyumluluk değeri, yüksek korelasyon değeri ile oluşmakta, bu da interferogramdaki piksellerden doğru bilgi üretilmesini sağlamaktadır. Uyumluluk değeri interferogramda ki her bir piksele atanır, interferometrik işlemin doğruluğunu belirlemede ve görüntü sınıflandırmada kullanılır. Umut değeri belirlemek zordur çünkü her alımda yüzeye ait detaylar farklı piksele atanır bu nedenle benzer karakteristik özelliklere sahip olan bölgede fazın doğruluğu sabit alınarak, N piksele sahip bir görüntü penceresi için uyumluluk aşağıdaki bağıntı ile belirlenir (Kianicka, 2005, Ouarzeddine, 2002, Hanssen, 2001).

$$|\gamma| = \frac{\sum_{n=1}^N y_1^{(n)} y_2^{*(n)}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N |y_1^{(n)}|^2 \sum_{n=1}^N |y_2^{(n)}|^2}} \quad (2.20)$$

Uyumluluk (Coherence) görüntüsünde oluşan korelasyon bozukluğunun nedenleri

- İki alım sırasında, elektro manyetik dalgaların geliş açılarının farklılıklarının neden olduğu baz ya da geometrik (yüzey) korelasyon bozukluğu (büyük baz uzunluğu düşük uyumluluk değerini oluşturur),
- İki alımın Doppler merkezlerinin farklı olmasının neden olduğu, yüzey Doppler merkezinde ki korelasyon bozukluğu (görüntülerin geometrileri arasında çok fazla fark olmasından dolayı interferometri oluşamamaktadır),
- Radar dalgasının nesneye geçme özelliğinde hacimsel saçılımda oluşan korelasyon bozukluğu,
- Anten ve sisteme ait özelliklerden ileri gelen hatalar ve termal hatalar,
- Uzun zaman aralıklı alımlarda, arazideki fiziksel değişime bağlı olarak yüzey geri saçılım değerlerinde meydana gelen korelasyon bozukluğu,
- Görüntü işleme sırasında kullanılan algoritmalar (görüntü eşleme ve enterpolasyon),
- Yörünge hataları (yörünge hataları diferansiyel interferometri yöntemi ile kısmen düzeltilebilmektedir),
- Atmosferden ileri gelen hatalar, atmosferik sinyalin interferometrideki davranışları, örnek spektrum, kovaryans fonksiyonu, doku fonksiyonu ve fraktal boyut ile matematiksel olarak açıklanabilmektedir (Kianicka, 2005).
- Dik eğim düşük uyumluluk değerinin oluşmasına neden olur, görüntüde parlak bölgeler yüksek, koyu bölgeler düşük uyumluluk değerine sahiptir (gölgeli bölgeler).
- Yüzey nesnelerinin özellikleri (yerleşim yerleri yüksek, yollar, bitki örtüsü düşük uyumluluk değerine sahiptir),
- Teknik detaylar (bakış açısı, geliş açısı); kötü yataylama ve örnekleme meydana gelir.
- Sulu alanlardan (deniz, göl, nehir, bataklık, sulu tarım alanları gibi) geri saçılım olmayacağı için bu bölgeler siyah görünür (Şekil 2.35).
- SNR sinyal/gürültü oranı üretilebilir en küçük uyumluluk değerini gösterir. Ayrıca SNR değerinin bir fonksiyonu olarak da belirtilir (Bağıntı 2.21) (Bağıntı 2.21) (Engdahl, 1998)

$$\gamma = \frac{1}{1 + SNR^{-1}} \quad (2.21)$$

Tüm bunlar dikkate alındığında toplam uyumluluk aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\gamma = \gamma_{processor} + \gamma_{noise} + \gamma_{azimuth} + \gamma_{slanrange} + \gamma_{volume} + \gamma_{temporal} \quad (2.22)$$

$\gamma_{processor}$ = görüntü işleme sonucu elde edilen uyumluluk değeri

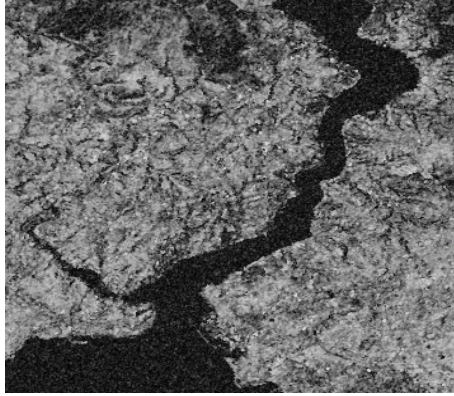
γ_{noise} = alıcının sebep olduğu gürültülü uyumluluk değeri

$\gamma_{azimuth}$ = azimuta ait uyumluluk değeri

$\gamma_{slant range}$ = eğik uzaklığa ait uyumluluk değeri

γ_{volume} = hacimsel saçılımın uyumluluk değeri

$\gamma_{temporal}$ = zamansal uyumluluk değeri

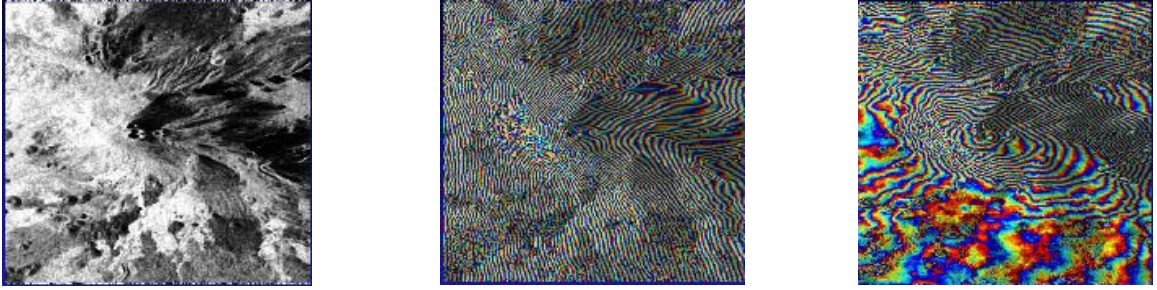


Şekil 2.35 Uyumluluk görüntüsü

2.9.4 Düzlük etkisinin giderilmesi (Flat Earth Removal)

Uyumluluk harita oluşturulduktan sonra, faz farklarından interferogram üretilir. Ancak üretilen interferogram nesne yüksekliğinden oluşan fark ile birlikte anten geometrisinden oluşan farkları da içerir. Sadece topografik yükseklik elde etmek için ikinci etmen göz önüne alınmaz ve düzeltilmiş faz bilgisi elde edilir. Bu ayrıca bakış açısı ve bakış doğrultusu boyunca dik baz uzunluğunun değişimine de neden olur.

Bir interferogramdaki faz farkı, nesne yüksekliğinden dolayı oluşan alıcıların uzaklıklarının farkıdır. Ayrıca anten konumuna bağlı nesnenin planimetrik konumunu da içerir. Düz arazinin faz farkı bakış açısı arttıkça büyür, 2π tam sayı faz belirsizliği nedeniyle interferogram, yörünge ya da uçak uçuş geçişine paralel istenmeyen örgeler içerecektir yani düz bir araziye ait örge dokusu oluşmuş olur. Nesnenin yüksekliğinin belirlenmesinde ise sadece faz farkı kullanılır. Sadece faz farkının bilgisini elde etmek için nesneye ait yükseklik bilgisi giderilir. Bu işleme dünyanın düzlük etkisinin giderilmesi denir (Huurneman, 2004). Genlik bilgisi içeren görüntü, faz bilgisi içeren ve düzlük etkisi içeren görüntü, düzlük etkisi giderilmiş görüntü sırasıyla Şekil 2.36’ da gösterilmiştir.



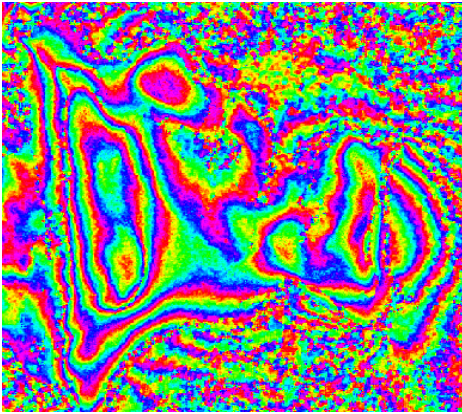
Şekil 2.36 Genlik -Faz bilgisi-Düzeltilmiş faz

2.9.5 Faz Belirsizliğinin Giderilmesi İşlemi (Phase Unwrapping)

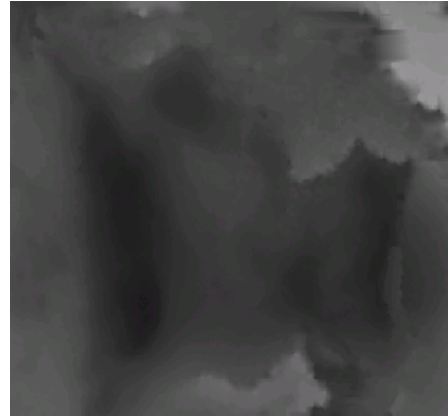
İnterferometrik görüntü çiftleri genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisi de taşır. Faz farkları iç içe geçmiş renkli halkaların oluşturduğu bir görüntü ile gösterilir (örge). İnterferogram, kompleks SAR bilgilerinin, referans alınan görüntüden ikinci görüntünün çıkarılmasından elde edilen yeni bir görüntüdür (Şekil 2.37). Topoğrafyada ki yükseklik farkını gösteren interferogram 2π tam dolanım şeklinde değerler alır ancak aslında interferogramda bir belirsizlik (ambiguous) mevcuttur buna karmaşık faz (wrapped phase) denir. Her noktada ki yükseklik bilgisini elde etmek için her ölçüme faz serisinin doğru tam sayı değerlerinin eklenmesi gerekir. Ancak her zaman tam sayıda faz serisi (phase cycle) elde edilemediğinden bir faz belirsizliği oluşur. İnterferogramdaki faz farkları GPS sistemlerindeki faz belirsizliğine benzer. Bu problemin çözümüne de faz belirsizliğinin giderilmesi (phase unwrapping) denilir (Gens ve Van Genderen, 1996). Faz belirsizliği giderilmiş görüntü Şekil 2.38’de gösterilmiştir.

İnterferometrik SAR yönteminin en önemli ve problemli adımlarından birisi faz belirsizliğinin giderilmesi işlemidir. Bu yöntemde asıl amaç iki kompleks SAR görüntüsü arasındaki faz farkının bulunmasıdır. Ancak düzlük etkisi giderilmiş görüntü faz belirsizliği içerir yani tam sayıdaki faz bilgisi belirli değildir. Bu nedenle görüntü üzerinde tam sayıdaki faz bilgisinin belirlenmesi gerekmektedir. φ (unwrapped) karışıklığı giderilmiş faz ve φ_m düzenlenmemiş faz Şekil 2.39’te gösterilmiştir. Faz belirsizliğinin çözülmesi arazi eğimine ve iki görüntü arasındaki faz korelasyon bozukluğunun neden olduğu faz gürültüsünün büyüklüğüne bağlıdır.

Faz belirsizliğinin belirlenmesinde bazı algoritmalar geliştirilmiştir; Branch cut, örge bulma, en küçük kareler yaklaşımı ve minimum maliyetli ağ akışı bazılarıdır. Ancak bu problem henüz tam olarak çözölememiştir.



Şekil 2.37 İnterferogram

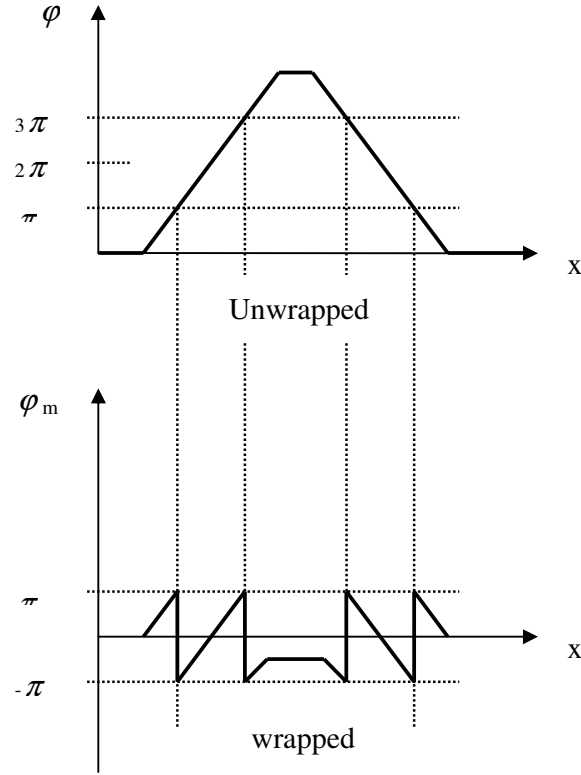


Şekil 2.38 Faz belirsizliği giderilmiş (unwrapped) faz

2.9.6 SYM üretimi ve Yataya İndirgeme (Geocoding)

Faz farklarının belirlenmesi ile üretilen SYM, interferometrik değeriendirmenin son aşamasıdır. Bağntı 2.23 belirlenen faz bilgisinin yükseklik ile ilişkisini göstermektedir. Yükseklik farklarının değışimi dH ile her iki anten için de aynı bakış açısı θ altında ve aralarındaki bazın dik bileşenine B , yollanan sinyalin dalga boyuna λ ve eğik mesafeye R bağlı olarak faz farkı $d\varphi_p$ da değışir. İnterferogramı oluşturan her bir piksel için eşitlik kullanılarak SYM oluşturulur.

$$d\varphi_p = \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R \sin \theta} dH \quad (2.23)$$



Şekil 2.39 Faz belirsizliğinin giderilmesi (Unwrapping)(Ouarzeddine, 2002)

Faz belirsizliği giderildikten sonra ölçülen faz değerleri topoğrafik yükseklik bilgisine çevrilir. Radar koordinatlarından elde edilen yükseklik modeli, coğrafi koordinatlara dönüştürülür. Eğik uzunluk - yer düzlemine örneklenir. Azimut yönü - kuzey doğrultusuna yönlendirilir. Yerel koordinat sistemi ile global kartezyen koordinat sistemi arasındaki dönüşüm belirtilmektedir. Yataya indirgenmiş yükseklik bilgisinin üretilmesinde, standart uzunluk/Doppler ve elipsoid denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Bunun için yörünge ya da uçak uçuş izi verilerinin bilinmesi gerekir. Böylece algılayıcıların konumu ve uçuş doğrultusu belirlenir. Gözlemlerden elde edilen, Doppler merkez frekansları, nesne uzay koordinatları ve uçuş izi bilgileri kullanılarak Doppler uzunluğu elde edilir.

2.10 İnterferometrik SAR Görüntüsünü Etkileyen Faktörler

Bazın görüntü üzerine etkisi

Baz uzunluğu, farklı konumdaki iki anten arasındaki uzaklıktır. İnterferometrik SAR verisi için beklenen doğruluktaki uyumluluk değerini etkileyen bir parametredir. Baz uzunluğunun

büyümesi uyumluluk ve interferogram kalitesini düşürür. Baz uzunluğu parametreler göz önüne alınarak değeri artırılabilir ve en önemli kriter uyumluluk görüntüsüdür. Baz uzunluğunun artırılması Rayleigh koşullarına göre yapılır. Buna göre bu limit, iki görüntüde ki benek çözünürlüğünün $\pi/2$ değerinden küçük olmalıdır, aksi taktirde uyumluluk değeri düşecektir. Eğer L çözünürlük değeri ise

$$B \leq \frac{R\lambda}{2L\cos\theta} \quad (2.24)$$

ERS için sınır yaklaşık 1100m, Jers için 4500m. dir (Gens ve Van Genderen, 2006).

Zamana bağlı korelasyon değişimi

Zamana bağlı uyuşumsuzluk, tekrarlı geçiş interferometrisinde farklı zamanlarda kaydedilen iki alımın, geri saçılımlarınının da farklı olmasından oluşur. Alımlar arası saçılımın neden olduğu faz ötelemesi hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Dalga boyundaki bu kayıklık uyumluluk değerinin düşmesine neden olur ancak zamansal fark kullanılarak yer yüzeyi ile bitki örtüsü ayırt edilebilmekte ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Uyumluluk haritası, yoğunluk ve doku bilgileri ile yoğunluk farklarına ait bilgiler SAR görüntülerinin sınıflandırılmasında sıkça kullanılmaktadır. Özellikle doğal afet öncesi ve sonrası ya da ürün hasat öncesi ve sonrası alınan görüntülerle değişimler gözlenebilir.

Atmosferin SAR görüntüleri üzerine etkisi

Mikrodalga algılama sistemleri, optik sistemlerin aksine bulut, sis, atmosfer gibi etmenlerden etkilenmemekte ve veri alımı yapabilmektedir. Ancak alınan veri tam anlamıyla doğru değildir. Alçalan rüzgarlar, atmosferik girdaplar, atmosfer sınırındaki dalgalanmalar, deniz yüzeyinde ısı yayan bir tabakanın oluşması gibi pek çok etmen geri saçılımı etkilemektedir. Troposfer ve iyonosfer, elektromanyetik dalgadaki fazın gecikmesine neden olmakta dolayısıyla interferometrik bilgi için kullanılan fazı etkilemektedir. Örneğin atmosferik gecikme C-bandında yarım örgelik (kabul edilebilir durumlarda 3 örgeye kadar çıkabilir) hataya neden olmaktadır. İyonosferin C bandı üzerindeki etkisi küçüktür ancak troposferdeki nem oranının değişken olması ciddi derecede etkilemektedir.

İnterferometrik korelasyon :

İnterferometrik fazın gürültüsü arttıkça korelasyon düzensizliği görülür. Faz varyansı bakış sayısına bağlı olarak sınır değere yaklaşır. N_L bakış sayısı olmak üzere faz varyansı ;

$$\sigma^2_{\phi} = \frac{1}{2N_L} \frac{1-\gamma^2}{\gamma^2} \quad (2.25)$$

Uçak sistemlerinde görüntü alımları iyonosfer tabakasının altında olduğu için iyonosfer etkisinden bağımsızdır ancak uçak ve uydu sistemlerinin her ikisi de troposferin etkisi altında su buharından etkilenirler.

Bitki Örtüsü (Vegetation)

Bitki örtüsünün interferometrik sinyaller üzerine etkisi iki türdür; birincisi yükseklik değeri yer ile bitki örtüsü arasında belirlenir, ikincisi interferometrik korelasyon katsayısı hacim saçılmasının varlığı ile azalır. Yükseklik bilgisi, sinyalin bitki örtüsüne geçme özelliğine göre değişir. Ayrıca bitki örtüsünün türü, radarın frekansı ve geliş açısına da bağlıdır. Yüksek frekanslı sinyaller yaprakların tepelerine ve küçük çalılıkları güçlü şekilde geçebilirler. Buna göre interferometrik yükseklik bitki örtüsünün tepesinin yakınındaki yüksekliklerden elde edilir. Düşük frekansın yayılımı yaprakları geçerek ağacın gövdesinin yerle birleştiği yere kadar devam eder. Elde edilen interferometrik yükseklik toprak yüzeyine daha yakındır.

Polarizasyon

Elektro manyetik dalganın aldığı yol boyunca yaptığı sanılım hareketini gösteren polarizasyon (Bakınız 2.5), yeryüzüne ait detay bilgisinin eldesinde önemli bir rol oynar. InSAR verileri de SAR gibi polarimetrik özellik taşırlar ve **POLINSAR** (Polarimetrik İnterferometrik SAR) şeklinde adlandırılırlar.

Polarimetrik interferometri, polarimetrik verinin ve interferometrik verinin kendi başlarına yaptığı nesne betimleme işleminden daha hassastır (Lee, 2005). POLSAR yeterli bilgi sağlayamamakta, InSAR ise doku yapısına ait yeterli bilgi oluşturamamaktadır, bu nedenle tam polarizasyonlu interferometrik veri kullanılmasında fayda vardır. Sonuç ürünler, farklı tipteki hedeflerin ve arazinin birbiriyle olan kontrastlarını artırmada, arazi sınıflandırmasında, yüzey pürüzlülüğü, toprak nem miktarı, orman biyokütle içeriği, ince deniz buzulların kalınlığı gibi jeofiziksel ve biyofiziksel parametrelerin sağlanmasında kullanılır. İnterferometrik korelasyon katsayısı, nesnelerden algılayıcıya dönen geri saçılımlara bağlıdır. Ancak hedefe komşu nesnelerden gelen geri saçılımlarda kaydedilmekte ve karışıklığa neden olmaktadır. Farklı polarizasyondaki geri saçılım değerlerinin kombinasyonu, interferometrik uyumluluk değerini düzenleyici ve iyileştirici yönde etkiler (Ouarzeddine, 2002).

InSAR görüntüsünü etkileyen diğer parametreler Çizelge 2.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.7 İnSAR görüntüsünü etkileyen faktörler (Gens ve Van Genderen, 1996
Kyurazi, 2005)

Uydu Sistemleri	Geliş açısı Mekansal çözünürlük Ölçümdeki faz sapmaları Görüntünün yanlış eşlenmesi Sistem gürültüleri
Yörünge	Doğruluğun belirlenmesi Baz (uyumluluk, geometrik hatalar) Tekrarlı geçiş (zamana bağlı korelasyon düşüklüğü) Paralel olmayan yörüngeler
Sinyal	Frekans Polarizasyon (gerisaçılım durumu) Bant genişliği Gürültü / benek hataları
Topoğrafya	Faz farkı (hacim gerisaçılımı) Eğim yönü (faz eğim açısı) Yer yüzeyinin karakteristik özellikleri
Hava koşulları	Rüzgar (geri saçılımı etkiler) Kar örtüsü (korelasyon düşüklüğü)
Atmosfer	Bulut içeriği (nem oranı)

Temel Uygulamalar

Topoğrafik harita üretimi

Topoğrafik harita üretimi, uzaktan algılamanın en temel konularından birisidir. Pek çok çalışmaya altlık olarak kullanılan topoğrafik harita, Graham ‘ın 1974 te interferometrik SAR verilerinden de topoğrafik bilgi üretmesinden bu yana interferometrik çalışmalar hızla önem

kazanmıştır.

Insar ile üretilen yükseklik bilgisi genel olarak harita yükseklik bilgisinden farklıdır; SAR verisi geometrik yükseklik (referans elipsoitten olan yükseklik) sağlarken harita, gravimetrik yükseklik (fiziksel jeoitte olan yükseklik) sağlar. Arazinin eğimli olması topoğrafya bilgisi için en önemli etmendir. Arazi eğimli ise ters görüntüleme ya da gölge olayları oluşur. Eğer arazi eğimi çok fazla ise faz sorunu oluşur ve baz uzunluğunun büyümesiyle de artar. Yükseklik belirlemede ki en önemli hatalar; faz belirlemede meydana gelen hatalar ve baz bilgisidir. Eğer mutlak yükseklik bilgisi elde edilmek isteniyorsa baz geometrisinin tam olarak bilinmesi gerekir. Çünkü baz açısının hatasının topoğrafyada ki eğimden ayırt edilebilir olmalıdır. Arazi eğiminin bilinmesi, geri saçılım oranının normalize edilmesini ve eğim etkisi için interferometrinin korelasyonunun düzeltilmesini mümkün kılar. İnterferometrik SYM üretiminde eğim hesaplarına dikkat edilmelidir, noktadan noktaya yükseklik gürültüleri değişmektedir. Bu dikkate alınarak oluşturulan SYM ile toprak kayması, sismik risk haritalarının sınıflandırılmasında katkısı artmaktadır.

Buzul gibi düz yüzeyler için sinyal düzeyi yüksek olan kısa dalga boylu dalgalar kullanılır. Buzulların hareketleri, buzulların erime sonrası aldığı yollar ve gemilerin kutup bölgelerinde yönlendirme işlemlerinde İnterferometrik bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Yüzey Değişiminin Belirlenmesi (Change detection)

Werner vb. (1992) tarafından yeryüzünün değişiminin belirlenmesi, yüzeyin hareketinin neden olduğu interefrogramlarda ki interferometrik fazın ya da coherent faz ötelemelerinin korelasyonunun bozulmasından belirlenebilmektedir. Coherent faz kayıklıkları diferansiyel interferometri ile belirlenir. Diferansiyel interferometri, uygun görüntü alım koşullarında, toprak kayması, erozyon gibi küçük arazi değişimlerini belirlemek mümkündür.

Fazın geçiş özelliği değişimi gösteren diğer bir etmendir. Donmuş toprağın dielektrik özelliği donmamış toprağa göre düşüktür. Buna göre donmuş topraktan elektromanyetik ışımanın geçirgenlik özelliği donmamış toprağa göre daha fazladır. Burada elde edilecek faz bilgilerinde korelasyon düşüklüğü beklenir çünkü ikinci görüntüde ki faz bilgisinde artış olacaktır.

Sınıflandırma

Askne ve Hagberg (1993), SAR interferometrisinin, arazi yüzeyinin sınıflandırılmasındaki kullanımını değerlendirmişlerdir. Test alanı olarak kuzey İsviçre ye ait 1992 ERS1 uyumluluk

haritaları kullanılmıştır. Uyumluluk haritaları, iki alım arasındaki zamansal değişime göre yer yüzüne ait özellikleri ve geri saçılım katsayılarının bilgilerini içerir. Faz farkını etkileyen en önemli faktörlerden birisi baz uzunluğudur. Uzun baz uzunluğuna sahip interferogramlar topoğrafyaya daha duyarlıdır. Kısa baz uzunluğuna sahip alımlar ise küçük yüzey hareketlerine ve alımlar arası zamansal değişime karşı daha duyarlıdır. Kısa bazlı görüntülerin sınıflandırılması uzun bazlı görüntülerin sınıflandırılmasına göre daha uygundur (Askne ve Hagberg 1993). Uyumluluk görüntüsü ile ormanlık alan ve açık alanlar da birbirinden çok kolay ayırt edilebilir. Uzun baz ile oluşturulan görüntüde ormanlık alanın uyumluluk ve uyumluluk dokusu açık alana göre daha düşüktür (Gens ve Van Genderen, 1996).

Literatürde, çok zamanlı alınan SAR görüntülerinin sınıflandırılmasında ERS 1 / 2 Tandem, JERS uydu görüntülerinin geri saçılım değerleri kullanılmaktadır. Ancak ERS1 ve JERS uydularının görevlerini tamamlamış olmalarından dolayı değerlendirmeler C bant için ERS2, ENVISAT ve RADARSAT uyduları ile L bandı için ALOS/PALSAR ile sağlanmaktadır. Uzun zaman aralıklı uyumluluk görüntü oluşturmak için görüntü çiftleri arasındaki dik baz uzunluğu kısa olmalıdır ($B < 300\text{m.}$). Uzun bazlı görüntülerden oluşturulan görüntüde şehir alanlarına ve ormanlık alanlara ait uyumluluk değerleri düşük çıkmaktadır.

İnterferometrik yöntem ile arazi sınıflandırmasında temel olarak iki yaklaşım ele alınabilir; bunların ilki olan çoklu tekrarlı geçiş interferometrisi, farklı zamanlarda aynı bölgenin çoklu görüntüsü alınarak üretilir. Çoklu alımlarda zamana bağlı olarak nesnede değişimler olacağından zaman aralığı arttıkça interferometrik korelasyonun azaldığı gözlemlenmiştir. Sınıflandırma, interferometrik korelasyon, geri saçılım yoğunluğu, geri saçılım yoğunluğu farkı ve doku parametrelerine dayanarak yapılır.

İze dik interferometrik yöntem ile sınıflandırmada ise çok zamanlı veri kullanılmaz bunun yerine nesne vektörleri kullanılır. Sınıflandırma için nesne vektörleri birbirlerinden farklı olmak zorundadır. Geri saçılımın standart sapması sınıflandırmada kullanılır. Bu sınıflandırma yönteminde iki temel sorun vardır; konumlar arası mutlak kalibrasyon hatasının hassasiyeti ve geliş açısına bağlı olarak değişen geri saçılımlardaki uyumsuzluk.

3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ

Sayısal Yükseklik Modeli, yeryüzünü matematiksel olarak tanımlamamamıza yardımcı olan, düzenli/düzensiz aralıklarda bir seri yükseklik ölçümü ile yüzeyi 3B olarak en iyi şekilde göstermek için oluşturulan bir şekildir. Sayısal Yükseklik Modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri için en yaygın yükseklik bilgisi saklama yöntemidir. Ayrıca Sayısal Yükseklik Modelleri, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda eğim ve yön (bakı) haritalarının, vadi tabanları ve sırtlarının, drenaj ağlarının ve drenaj ağlarının büyüklük, uzunluk, eğim gibi özelliklerinin, havza ve alt havza özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. 3. boyuta ve yüksekliğe dair bilgi edinmemizi sağlayan Sayısal Yükseklik modelleri 2 boyutlu analiz ile mümkün olmayan değerlendirmelerin ve arazi yapılarının ortaya çıkarılması mümkün olmaktadır (Erten vd, 2005).

SYM' nin başlıca uygulamaları arasında, arazi eğimi, bakı, arazi tepe gölgesi, drenaj ağı, havza sınırları, görünürlük analizi, yeryüzü yüzeyinin üç boyutlu ağ yapısının yaratılması gelmektedir. Sayısal Yükseklik Modelinden üretilen eğim ve bakı haritaları özellikle yangın analizleri için kullanılmaktadır; eğimin yönü yangının hızını ve yayılımını belirlemede en önemli veridir.

Toprak verilerinin topoğrafya bilgileriyle birlikte analizi büyük bir önem taşımaktadır. Yüksek eğimi olan arazilerin tarım amaçlı kullanılması, toprak kaybına ve erozyona neden olacağı için sakıncalıdır. Bu nedenle bazı arazilerin tarıma elverişli olmalarına rağmen topoğrafya açısından elverişli olmaması gibi analizler ve toprak çeşitlerini belirlenmesiyle arazi kullanım haritalarının oluşturulması sağlanmaktadır (Alparslan ve Aydoğan, 2004).

Genel olarak SYM kullanım alanları;

- Otomatik eş yükseklik eğrilerinin çiziminde,
- Kartoğrafik genelleştirme işlerinde,
- Boyuna ve enine kesitlerin çiziminde,
- Eğim haritalarının üretilmesinde,
- Çeşitli perspektif görünümünün çıkarılmasında ,
- Ortofoto için sayısal profillerin elde edilmesinde,
- Alan ve hacim hesaplarında,
- Nokta yüksekliklerinin hesabında,
- Bilgi bankası oluşumu için veri derleme gibi çalışmalarda,

- Kanal ve baraj inşaatlarında,
- Arazi düzenleme çalışmalarında,
- Havalimanı yapımında,
- Gemi, uçak, otomobil modellerinin yapımında,
- Kara ve demiryolu geçkilerinin belirlenmesinde,
- Açık ve kapalı sulama ve drenaj tesislerinin yapımı

Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak SYM üretmek için genel olarak üç yöntem kullanılır;

- Stereo model oluşturarak
- İnterferometri
- LIDAR

Stereo model oluşturarak SYM üretimi

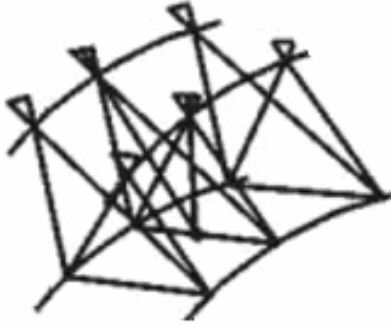
VIR algılayıcıları ile stereo SYM üretebilmek için iki türlü alım yapılır; aynı yörüngede olan uydular ile aynı zamanda alınan iz boyunca alım (Şekil 3.2) ve farklı yörüngede farklı zamanlarda alınan ize dik alım (Şekil 3.1) (Nikolakopoulos, 2005).

1986' da SPOT uydusunun yörüngeye oturtulmasıyla ilk defa stereo görüş elde edilmiştir. Geniş bölgelere ait veriler 3B görüş elde edilerek oluşturulmuş ve işlenmiştir. Daha sonra fırlatılan ERS ile de aktif alım gerçekleştirilmiştir ancak her ikisi de farklı günlerde alınan ize dik alımla gerçekleştirilmiştir. Son on yılda yapılan çalışmalarla aynı gün stereo alım yapan uydular üretilerek farklı zamanlarda yapılan çiftler arasında ki farklılıklardan dolayı oluşan hatalar azaltılmıştır.

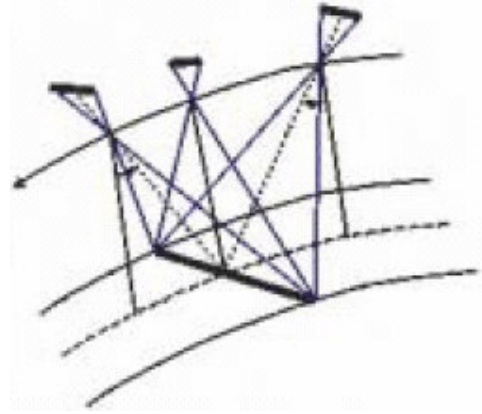
İz boyunca görüntü alan uydular arasında 1m. çözünürlüklü çoklu alım yapan İkonos, 15m. çözünürlüklü iz boyunca alım yapan Aster, 0.6 m. çözünürlüklü çoklu alım yapan Quickbird, Orbview yer almaktadır. IRS-1C/1D 5.8 m. pankromatik, 23.5 m. çoklu bant çözünürlüğüne sahiptir ve ize dik alım yapar (Jacobsen, 2003). İz boyunca alınan görüntüler aynı ansa alındığı için görüntüler arası eşleme işlemleri daha kolay olmaktadır bu da üretilen SYM'nin daha doğru olmasını sağlamaktadır.

Optik görüntüler dışında aktif sistemler içinde yer alan ve elektro manyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde bulunan RADAR görüntüleri de stereo SYM üretmek için kullanılır. Her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz alım yapan, dielektik özelliğe sahip RADAR görüntüleri, pek çok uygulamada pasif görüntülere tercih edilir. 1992 de ERS-1, 1995'te

ERS2 ve RADARSAT uydularının stereo görüntü almasıyla, SYM üzerine pek çok uygulama ve çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.1 İze dik stereo alım geometrisi



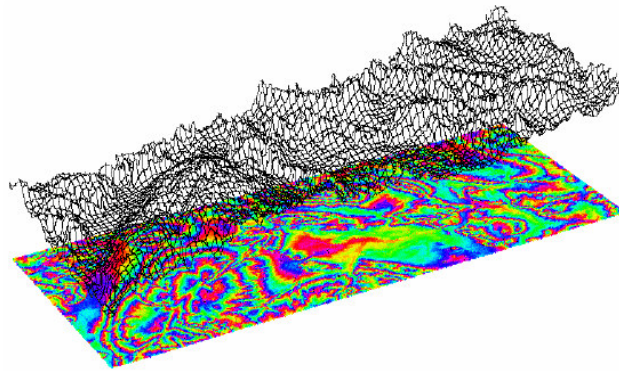
Şekil 3.2 İz boyunca stereo alım geometrisi

İnterferometrik SYM

SAR görüntülerinden SYM üretimi iki yöntem ile yapılır;

- Stereo SAR
- İnterferometrik SAR

SAR görüntüleri genlik bilgisine sahipken, İnterferometrik SAR görüntüleri genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahiptirler. İki görüntü arasındaki faz farkından yükseklik bilgisi üretilir. İnterferometrik alım yöntemleri de ize dik ve iz boyunca alım şeklindedir.



Şekil 3.3 İnterferogram yükseklik ilişkisi (Jacobsen, 2003)

Uydu sistemlerinde ize dik alım yöntemi kullanılır, farklı zamanlarda yapılan alımlar arasındaki faz farkından faydalanılır. Faz farkından oluşan interferogram (Şekil 3.3),

yükseklik değişimine ilişkin bilgi verir.

İz boyunca alım genellikle uçaklarda kullanılır. Ayrıca uzay mekiklerinde kullanılmıştır. Görüntü çiftinin aynı anda alındığı SRTM görüntüleri uygulamalarda çokça kullanılmıştır. Dünya yüzeyinin tamamını görüntülemesi için 2000 yılında SRTM ile farklı çözünürlüklere sahip SYM değerleri elde edilmiştir. Stereo SAR ve interferometrik SAR yöntemlerine ait bilgi ayrıntılı bir şekilde 4. Bölümde açıklanmıştır.

LIDAR (Light Detection and Ranging)

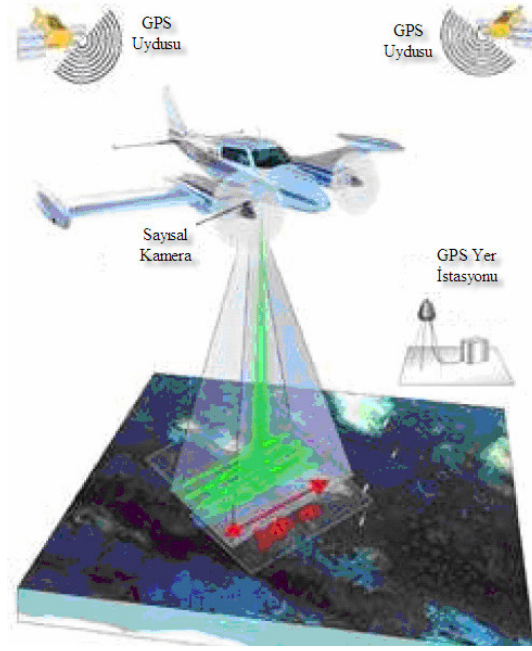
3 Farklı teknolojinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulmuş, doğru sayısal yükseklik modelleri (SYM) elde etmek için tasarlanmış sistemlerdir.

- Lazer (LASER) Tarama
- GPS
- INS (Inertial Navigation System)

Lazer tarayıcılar çok hassas biçimde konum bilgisi elde etmeyi sağlamaktadırlar. Konum bilgisini aktif bir sistem olduğu için kendi ürettiği enerji ile sağlar. LIDAR sistemlerde bu konum doğruluğu aralığı GPS ve INS ye bağlı olarak değişebilmektedir. Lazer ışını nesneye gitmekte ve yansıyan ışın algılayıcıya geri dönmektedir (Şekil 3.4). Bunun için vuruş/darbe (puls) tekniği kullanılmaktadır. Vuruş tekniğinde yansıyan ışın geri dönmeden, bir sonraki ışın gönderilmez.

GPS ve INS ile kombinasyonla çok hassas x,y,z konumları elde edilir. Saniyede 10000 kırpma, dakikada ise 60000 adet nokta konumu belirlemek mümkündür. Lazerin hızı, düşey açısı, azimut açısı ve hedefe düşey uzaklığı bilinir. Hedef nesneye, özel bir frekansta ışın kaynağından ışın gönderilir. Yansıyan ışının dalga boyu, frekansı, ve gidiş-dönüş zamanı gönderilen ışınla karşılaştırılır.

LIDAR uygulamalarında farklı amaçlar için farklı sistemler kullanma ihtiyacı gerekebilmektedir. Örneğin topoğrafik amaçlar için kullanılan sistemde, su yüzeyinden çok az veri elde edilebilir, bu yüzden bu amaç için farklı sistemler tasarlanmıştır. Topoğrafik amaçlı sistemler tek bir sinyal içerirken, hidrografik amaçlı sistemler iki değişken sinyal kullanılmaktadırlar. Burada her sinyalin dalga boyları farklıdır. Topoğrafik LIDAR her türlü nesneden yansıyabilen yakın kızılötesi ışın kullanırken hidrografik amaçlı LIDAR su yüzeyinden yansıyabilen kızılötesi ve alıcı tarafından saptanabilen mavi-yeşil dalga boyu kullanırlar.



Şekil 3.4 Lidar alımı (Lohr, 2006)

Düşey doğruluk değişimi genel olarak yükseklik arttıkça artmaktadır. Örneğin; sert kayalık, tepelik yüzeylerde ve açık arazilerde ± 0.15 m., bitki örtüsünün olduğu daha yumuşak yüzeylerde, ± 0.25 m., dağlık bölgelerde $\pm 0.30 - 0.50$ m.dir. Yatay doğruluk özellikle tepelik ve dağlık bölgelerde $\pm 0.50 - 0.75$ m.dir.

Lidar genel kullanım alanları:

- Sel risk gözlemi
- Petrol ve gaz araştırmaları
- Şehir modelleme ve Şehir planlama
- Mühendislik uygulamaları (köprü, yol, tünel..)
- Enerji nakil hattı uygulamaları
- Ormancılık

Lidar son yıllarda çok büyük bir hızla gelişmekte olan bir teknolojidir, gerçeğe uygun modeller uygun ekonomik koşullarda elde edilebilir, veri oluşturma hızlıdır. Veriler esnektir, hızlı değerlendirilme olanağı sağlayarak zaman kazancı sağlar.

4. UYGULAMA

Uygulamada Edremit Körfezi ile ilgili yapılan bir araştırmanın (2002) görüntüleri kullanılmıştır. Elektro-Optik ve SAR Uydu Görüntüleri ile Arazi Bitki Örtüsünün Belirlenmesi konulu araştırma projesinin görüntüleri TÜBİTAK desteği ile alınmıştır. Bu araştırma ile optik uydu görüntüleri ile doğal kaynak ve ürün deseni envanterlerinin oluşturulmasında karşılaşılan ayırt etme güçlüklerini çözmeye yönelik olarak radar (SAR) görüntülerinin kullanılması amaçlanmıştır.

İnterferometrik ve stereo SAR görüntülerinden üretilen SYM'lerin kalitesinin belirlenmesi konulu çalışmada çalışma alanı, Edremit körfezinden başlayarak, Edremit ilçesi kıyı ve doğusundaki eğimli arazileri içermektedir. Edremit ovası, düz düze yakın eğimli, verimli arazilerden oluşmaktadır. Araştırma alanı kuzey ve güney sınır bölgelerini zeytin, maki funda, mera ve orman kullanımlı eğimli araziler, orta bölgelerini ise düz-düze yakın eğimli, buğday, pamuk vb tarımı yapılan araziler oluşturmaktadır. Çalışma alanı genel olarak engebeli, dağlık alanlar içermektedir. 2000 m. ye ulaşan dağlar bulunmaktadır. Genel bitki örtüsü ormanlık, maki funda ve meradır. Araştırma bölgesinde ormanlar dağlık ve eğimli arazilerin yüksek bölümlerinde, zeytin bitki örtüsünün üst kısmında yer almaktadır.

Uygulamada kullanılan veriler RADARSAT uydusuna ait bir çift stereo SAR ve bir çift interferometrik SAR görüntüsüdür. Diğer bir veri de 1/ 25.000 ölçekli harita ve bu haritadan üretilmiş sayısal yükseklik modelidir.

Uygulamada Intel Pentium işlemci, 752 MB RAM ve 140 GB HD özelliklerine sahip donanım kullanılmıştır. SAR görüntülerinin işlenmesinde uzaktan algılama yazılımları olan Geomatica PCI ve Earthview InSAR programları kullanılmıştır.

Uygulama üç adımda gerçekleşmiştir:

- Stereo Yöntem ile Radarsat Görüntülerinden SYM'nin Üretilmesi
- İnterferometrik Yöntem ile Radarsat Görüntülerinden SYM'nin Üretilmesi
- Doğruluk Analizleri

4.1 Stereo SAR Veri Özellikleri

Stereo SAR çifti kullanarak SYM üretiminde RADARSAT görüntüleri kullanılmıştır. 6-16 Mayıs 2002 tarihlerinde alınmış F1-F5 görüntüleri, PCI yazılımı ile stereo model oluşturmada kullanılmıştır (Çizelge 4.1).

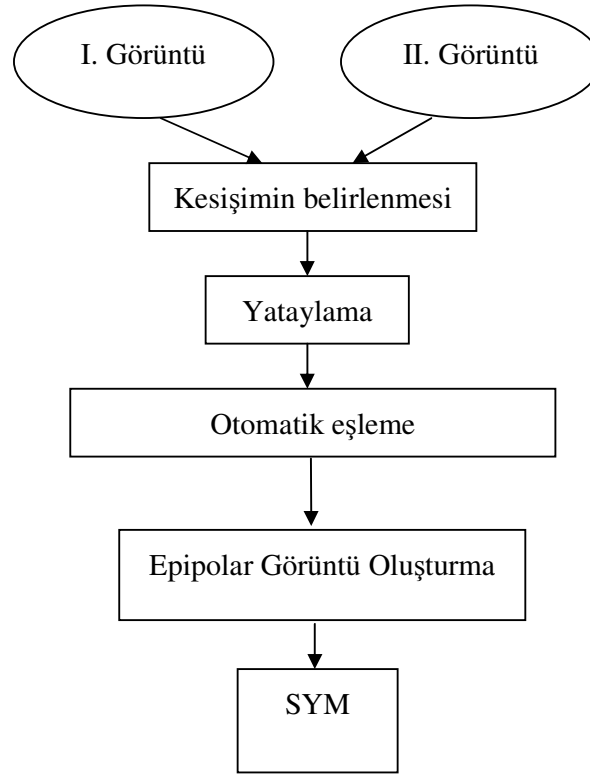
Çizelge 4.1 Stereo SAR Radarsat verilerinin özellikleri

1. Görüntü (Master)		2. Görüntü (Slave)	
Görüntü alım zamanı	06.05.2002	Görüntü alım zamanı	16.05.2002
Yörünge izi	Alçalan	Yörünge	Alçalan
Işın modu	Fine 5	Işın modu	Fine 1
Alım formatı	SGF	Alım formatı	SGF

4.2 Stereo SAR Yöntemi ile Radarsat Görüntülerinden SYM'nin Üretilmesi

Stereo görüntüden SYM üretim adımları, temel olarak Şekil 4.1' de ki gibidir. Uygulamada SAR görüntüleri kullanılarak yükseklik bilgisinin üretilmesi işlemi için PCI Geomatica v8.2 yazılımı kullanılmıştır. Stereo model, Th. Toutin (1995), tarafından geliştirilen parametrik geometrik model kullanılarak oluşturulmuştur. Stereo model oluşturma işlemi, iteratif olarak uygulanan en küçük kareler ışın demetleri ile dengeleme yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik ya da stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları ve bağlama noktaları yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir.

Stereo değerlendirme, PCI yazılımının Orthoengine modülü kullanılarak yapılmıştır. Önce matematiksel model olarak uydu yörünge modeli (satellite orbital modelling) ile ASAR/RADARSAT modeli seçilmiştir.



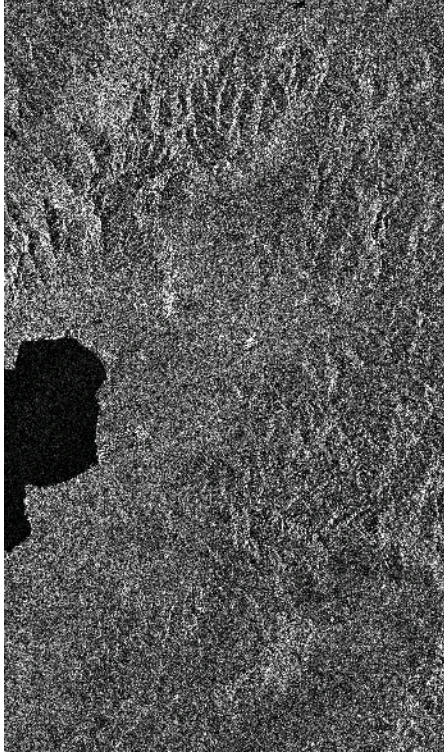
Şekil 4.1 Stereo SAR yöntem ile SYM üretim adımları (Marra vd, 1998)

Sol ve sağ görüntüler (Şekil 4.2) kullanarak SYM oluşturma adımları temel olarak şu şekilde sıralanabilir; Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Bağlama Noktası (BN) toplanması, epipolar görüntülerin oluşturulması, SYM'nin üretilmesi, üretilen modelin düzeltilmesi, SYM'nin yataya indirgenmesi (geocoding).

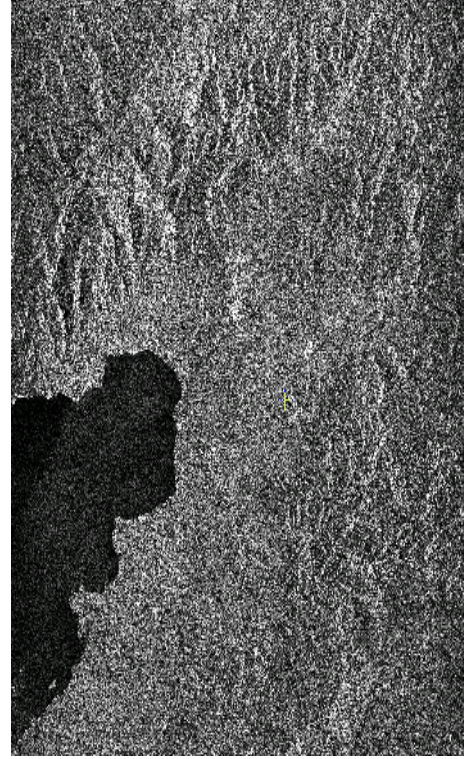
PCI yazılımında YKN ve BN toplamak için 1/25.000 ölçekli harita kullanılmıştır. Kullanılan YKN sayısı 88, BN sayısı 105 tir. Ayrıca arazide toplanan 7 tane GPS noktası kullanılmıştır. Üretilen model hata oranlarının piksel çözünürlüğünün, üç katından küçük olması SAR görüntüleri için yeterli doğrulukta kabul edilir. Hata oranları Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 Dengeleme sonucunda üretilen hata oranları

	X (m)	Y (m)
YKN	5.28 (0.82 piksel)	6.19 (1.00 piksel)
BN	0.62 (0.19 piksel)	2.45 (0,42 piksel)

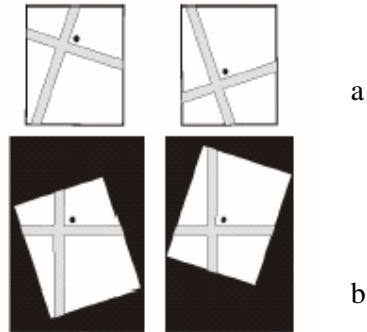


(a)



(b)

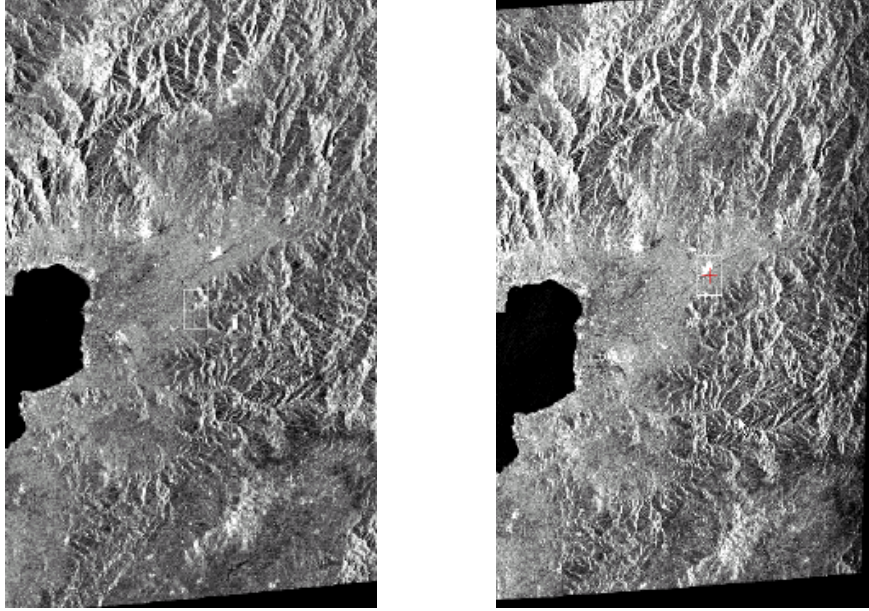
Şekil 4.2 Stereo sağ (a) ve sol (b) Radarsat görüntüleri



Şekil 4.3 Epipolar görüntü

Kesişim işleminde parametrik geometrik model ele alınmıştır. Toplanan noktalar kesişimin oluşturulmasında kullanılmıştır. Burada her iki görüntü epipolar görüntüye örneklenmiştir.

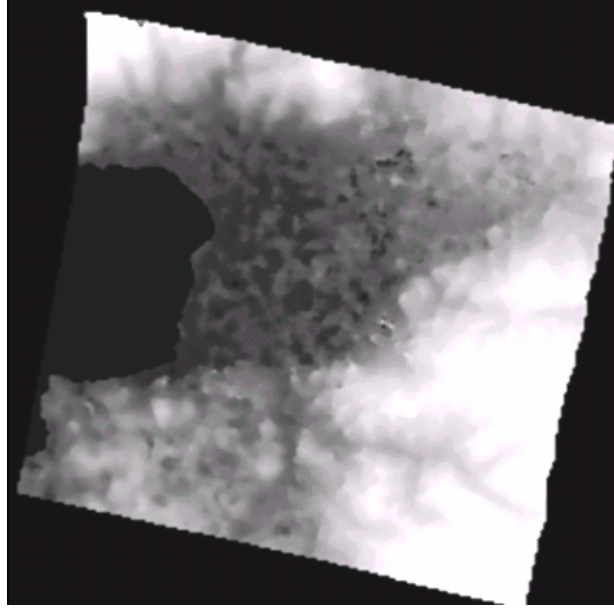
Böylece sağ ve sol görüntülerin (a) dönüklükleri giderilir ve karşılıklı eşleşmeleri daha doğru gerçekleşir, yanlış eşleşmeler önlenmiş olur. Görüntü işleme sonucu stereo kesişim alanı oluşturularak iki görüntüde bulunan piksellere ait veriler ile yükseklik bilgisine dönüştürülmüştür.



Şekil 4.4 Epipolar örneklenmiş sağ ve sol görüntüler

Alan korelasyon işlemine göre otomatik olarak üretilen SYM için korelasyon pencereleri 8-32 piksel arasında değişmektedir. SYM üretme aralığı 2 piksel (12.5 m) seçilmiştir. Görüntülemek istenen detay için düşük, orta, yüksek (L-M-H) filtrelerinden orta (2M) olanı kullanılmıştır. Bazı bölgelerde ise SYM üretilenmemiş bu bölgelere enterpolasyon yöntemi ile yükseklik bilgisi atanmıştır.

Yataya indirgeme işleminde koordinat sistemi olarak, UTM projeksiyonu, Datum ED - 50, dilim ve sıra olarak zone 35, row S seçilmiştir. Sonuç ürün piksel boyutu 10mx10m alınmıştır.



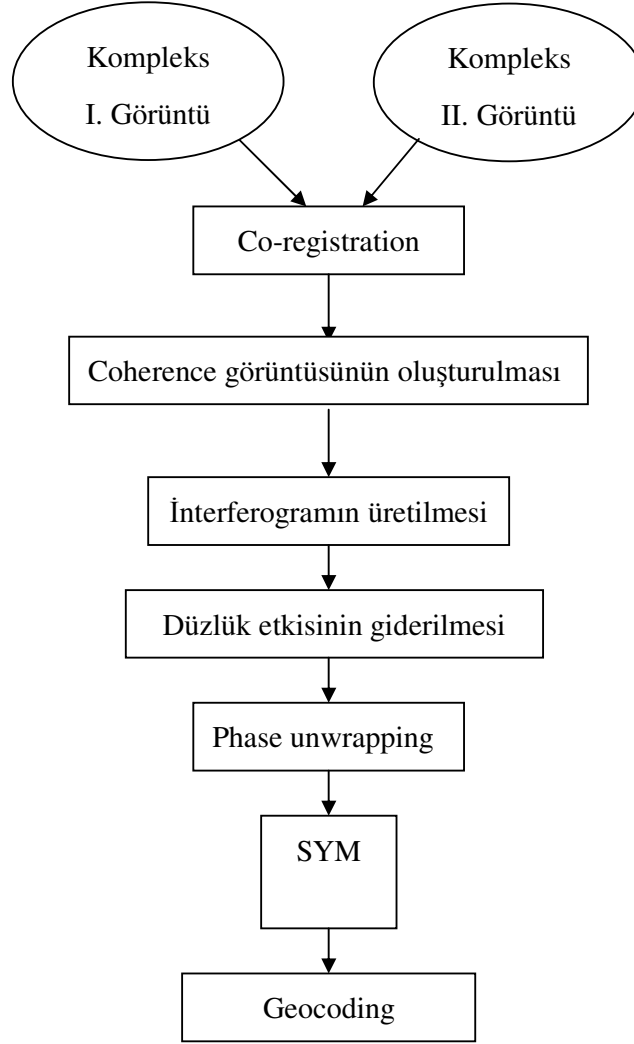
Şekil 4.5 Stereo SAR SYM

4.3 İnterferometrik SAR Verilerinin Özellikleri

Stereo SAR görüntüler ile ortak alan oluşturacak şekilde Edremit Havzası'na ait bir çift interferometrik Radarsat görüntüsü kullanılmıştır. Görüntü özellikleri Çizelge 4.3'te olan InSAR F1-F1 çifti 16 Mayıs 2002 ve 09 Haziran 2002 tarihlerinde alınmıştır. Genlik bilgisiyle birlikte faz bilgisini de içeren SLC formatındaki görüntüler, Earthview 3.0 InSAR SAR görüntü işleme programı kullanılarak SYM üretilmiştir. Temel işlem adımları Şekil 4.6 de belirtilmiştir.

Çizelge 4.3 Radarsat InSAR verilerinin özellikleri

1. Görüntü (Master)		2. Görüntü (Slave)	
Görüntü alım zamanı	16.05.2002	Görüntü alım zamanı	09.06.2002
Yörünge izi	Alçalan	Yörünge izi	Alçalan
Işın modu	Fine 1	Işın modu	Fine 1
Alım formatı	SLC	Alım formatı	SLC



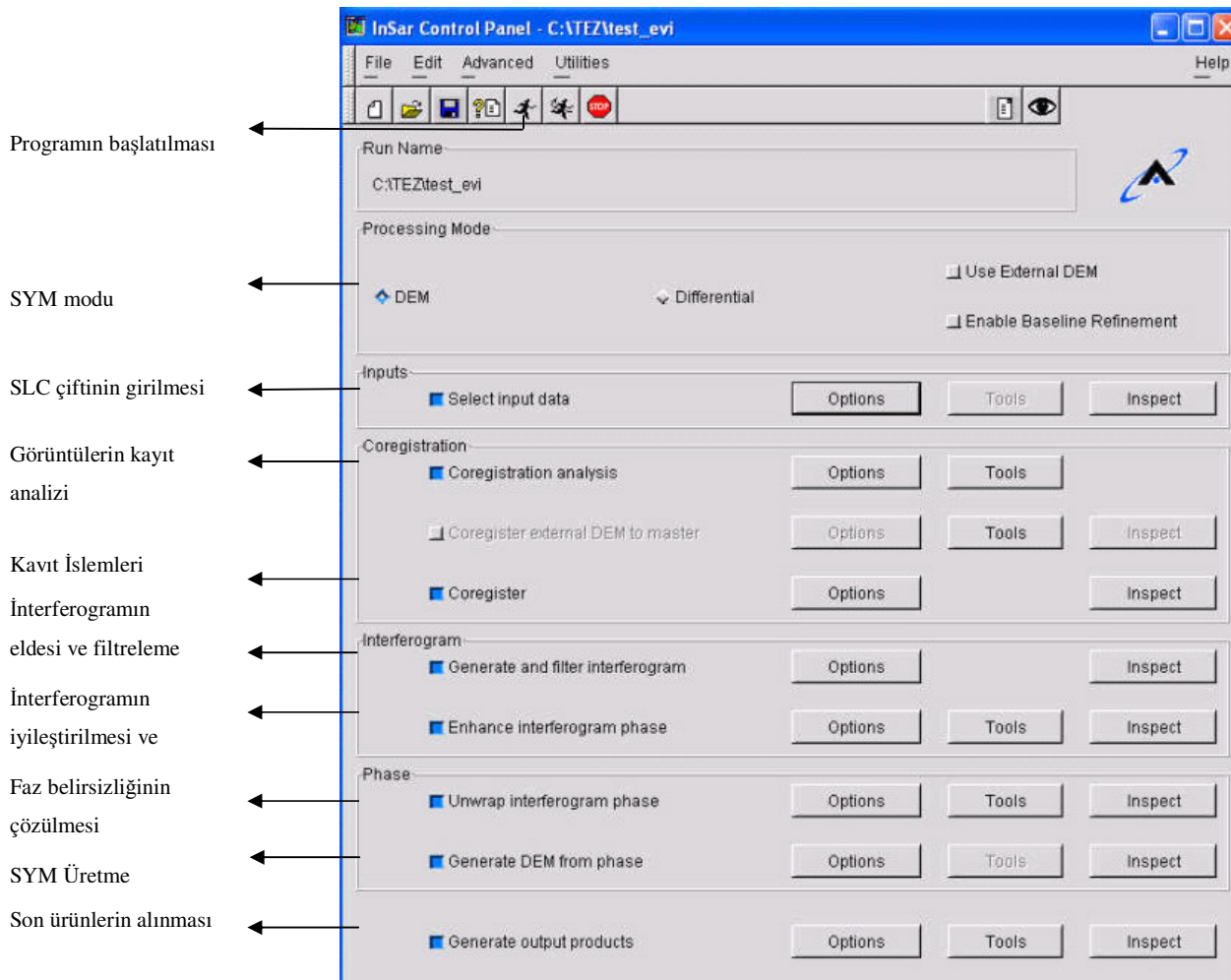
Şekil 4.6 İnSAR yöntemi ile SYM üretim adımları

İnterferometrik yöntemde ilk adım, InSAR görüntü işleme yazılımı ile kompleks yapıdaki görüntülerden ikinci görüntünün birinci görüntüye piksel piksel yataylanmasıdır. Yataylama işlemi yapıldıktan sonra faz farkından oluşan interferogram üretilir. Uyumluluk görüntüsünün elde edilmesi ile görüntülerin korelasyonunun analizi yapılır. Oluşturulan interferogramın düzlük etkisi giderildikten sonra fazlarda görülen düzensizliğin giderilmesi için “faz belirsizliğinin giderilmesi” (phase unwrapping) işlemi gerçekleştirilir. Son adımda da faz farkı bilgisinden üretilen yeryüzüne ait yükseklik bilgisi içeren SYM oluşturulmuş olur.

4.4 İnterferometrik Yöntem ile Radarsat Görüntülerinden SYM’ nin Üretilmesi

İnterferometrik çalışmada RADARSAT’ın hassas (Fine Beam) modunda alınan SLC formatındaki görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler SGF formatındaki Stereo görüntülerle

aynı bölgeye ait. Tüm uygulamalar EV-InSAR Eathview yazılımının InSAR modulu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.7). SLC çiftleri “Options” kısmından girildikten sonra sistem parametrelerinden görüntü platformu (RADARSAT) seçilmiştir. Görüntülerin kayıt analizinde minimum konumsal (%30), minimum menzil spektrum (%50) ve minimum azimut spektrum (%50) bindirmeleri tanımlanmıştır. Kayıt bölümünde, ikinci görüntünün birinci görüntüye eşlenmesi, menzil ve azimut yönündeki maksimum öteleme değeri (piksel) belirlenmiştir. Görüntüler Ev-InSAR yazılımına CEOS formatında tanıtılmıştır. Görüntü algılama platformunun konumunu tanımlayan yörünge konum koordinatları ECI (Earth Central Intertial) sistemindedir (Erten, 2005).

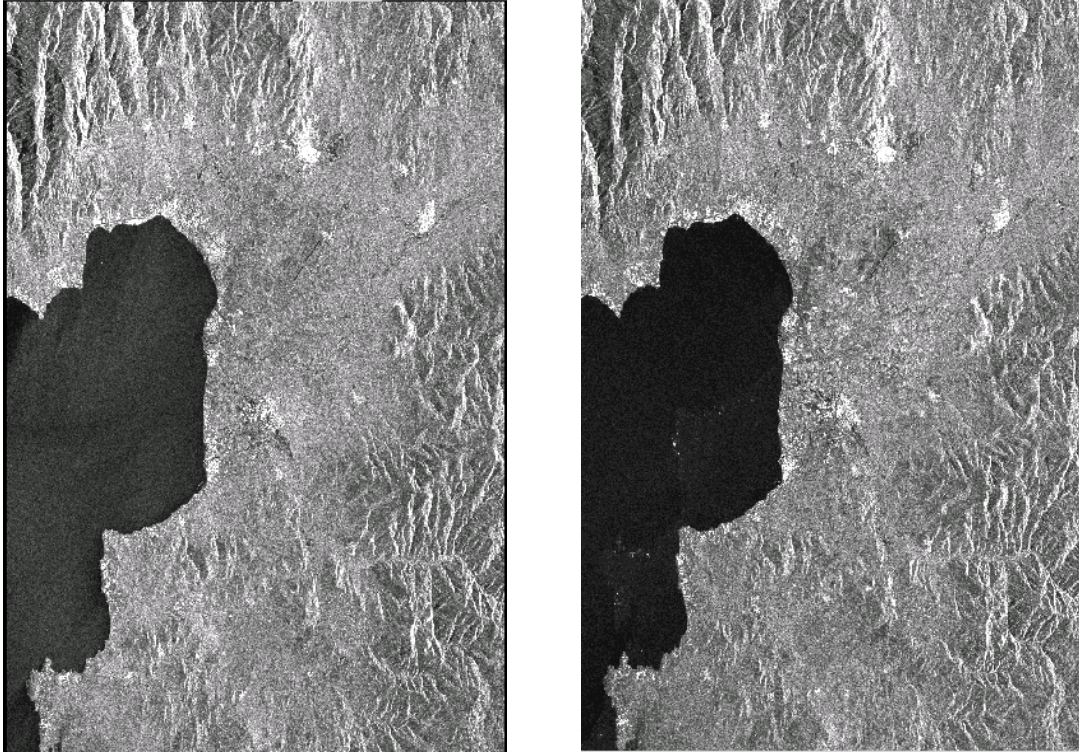


Şekil 4.7 Ev-InSAR işlem adımları

Görüntülerin işlenmesinden sonra interferogramın (Şekil 4.9) oluşturulmasında, azimut spektral kesişim filtresi kullanılmıştır. Düzlük etkisinin giderilmesi otomatik olarak yapılmıştır. İnterferogramın iyileştirilmesi (Şekil 4.10) ve uyumluluk görüntünün (Şekil 4.12)

üretilmesinde çözünürlük Kernel operatörüne bağlıdır. Görüntü çifti arasındaki korelasyonu gösteren uyumluluk haritanın oluşturulması zor bir adımdır ve manuel olarak müdahale etmek de sınırlıdır. Pencere boyutu olarak 144 piksel seçilmiştir.

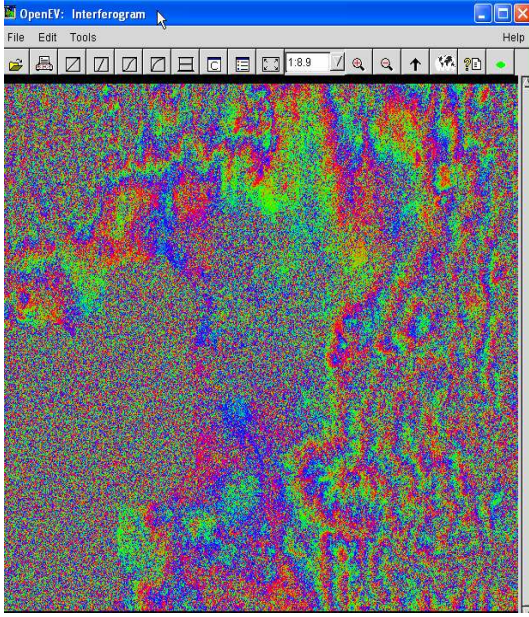
Oluşturulan interferogram hatalar içermektedir, iyileştirme için faz artıklarının giderilmesi (Remove residual phase) işlemi yapılır (Şekil 4.11). Bu işlem iki türlü müdahale ile yapılabilir; eğime yapılan müdahale (fit gradient) ya da baza yapılan müdahale (adjust baseline). Çalışmada interferogramın oluşmadığı ve uyumluluk değerlerinin de düşük olduğu düz bölgeler için daha çok dağlık alanlarda kullanılan eğim yerine dik baz uzunluğu düzeltilmesi getirilmiştir. Farklı denemeler sonucu dik baz uzunluğu 5m.ve ikinci görüntünün dönüklük açısı -0.00015° alınmıştır. Buna göre örgedeki değişimler SYM değerlerini de etkilemektedir. Örgelerin anlamlı olabilmesi için örgelerin birbirini izleyen bir şekilde oluşması gerekir. Ancak Şekil 4.10 da ki iyileştirilmiş interferogramda düz bölgelerde interferogramın oluşmadığı görülüyor. Bunun için interferograma faz düzeltmesi getirilmiştir. (Şekil 4.11).



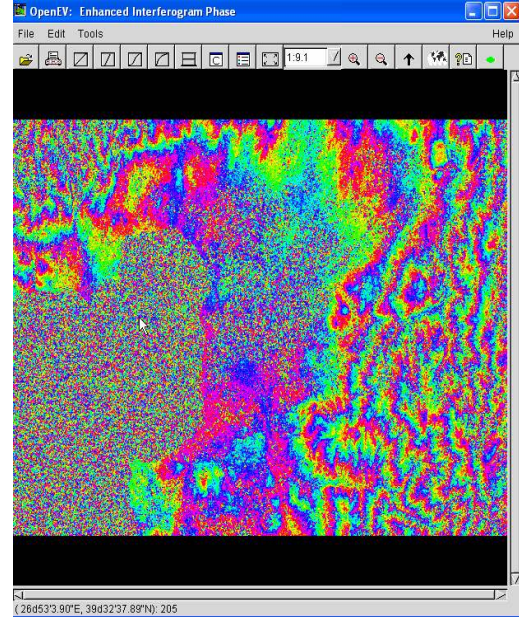
(a)

(b)

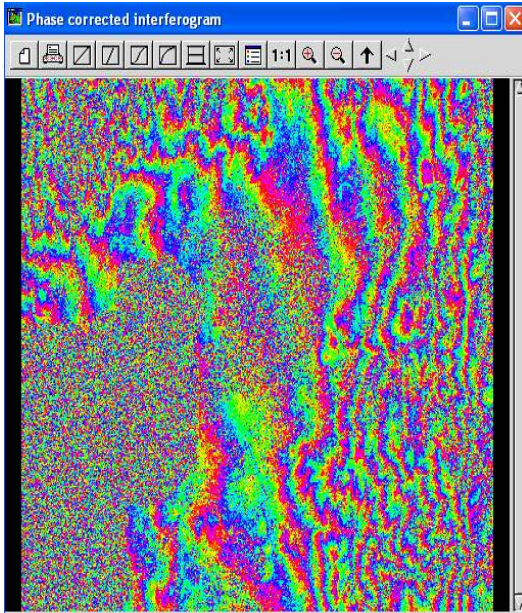
Şekil 4.8 Birinci görüntü (a) ve ikinci görüntü (b)



Şekil 4.9 Üretilen interferogram



Şekil 4.10 İyileştirilmiş interferogram



Şekil 4.11 Faz artıkları giderilmiş interferogram

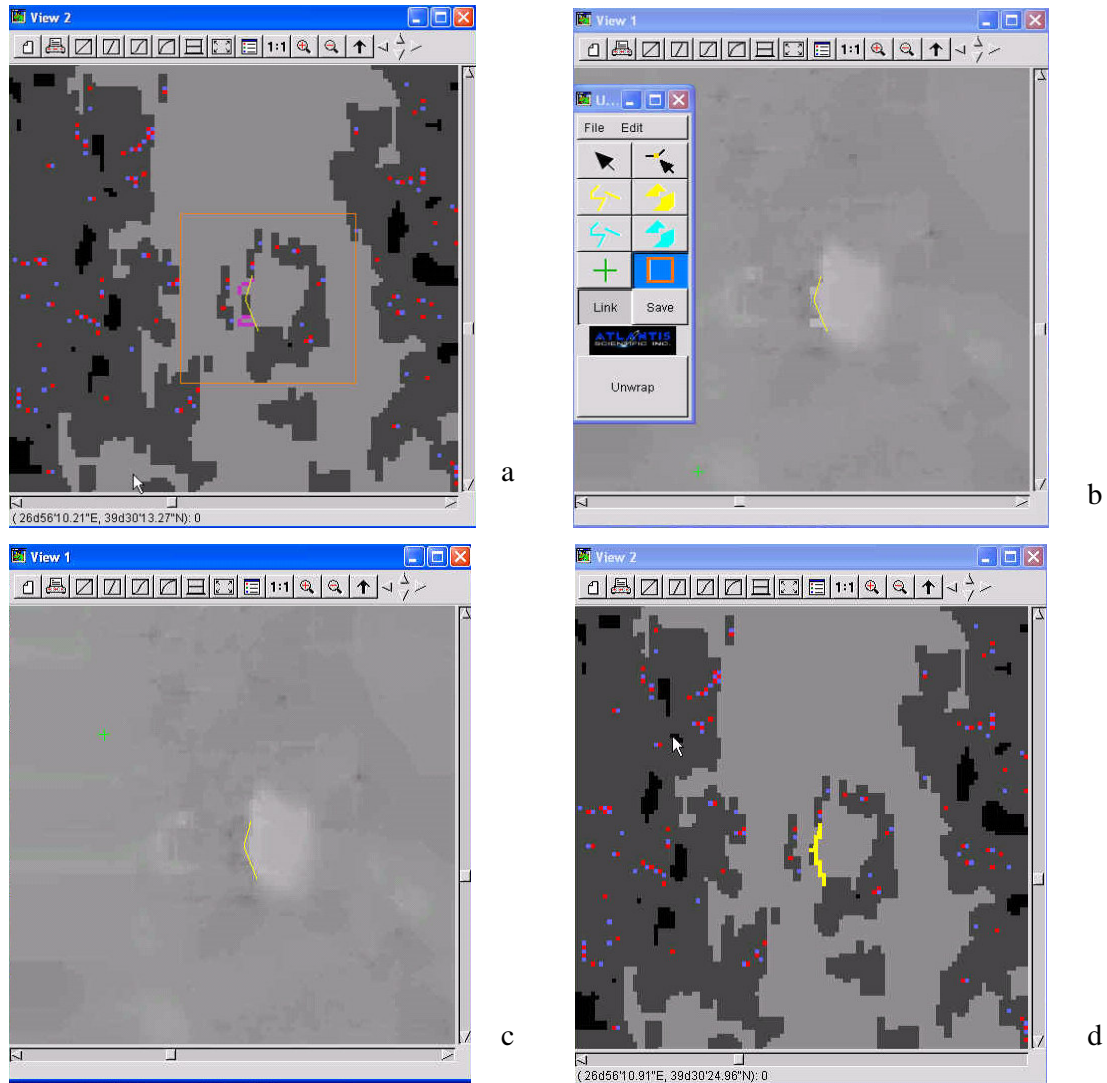


Şekil 4.12 Uyumluluk görüntüsü

Faz belirsizliği giderme algoritması, faz görüntüsündeki fazın sinüzoidal yapısında oluşan devamsızlık uzunluğunun azaltılması şeklindedir. Bu yazılım ile iterasyonlu disk maskeleme (Iterative Disk Masking) algoritması kullanılmıştır. Burada artık disk yarıçapı parametresi kullanılmıştır. Faz devamsızlıkları, “unwrapping” görüntüde pembe çizgiler şeklinde görülür ve kırmızı mavi renkler pozitif artık fazlar, kırmızı renkler de negatif artık fazları gösterir.

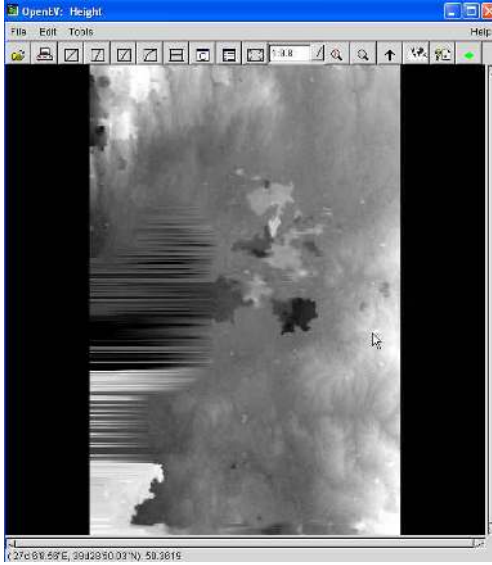
Yöntem, düşük uyumluluk değerinin olduğu piksel merkez alınarak artık fazın yer aldığı bölgede dairesel ya da eliptik şekilde uygulanır. Fazın süreksizliği kaybolana kadar disk çapı küçültülür. Disk yarıçapı düşük uyumluluk değerine sahip pikseli maskelemek için kullanılır. Eğer bir piksel uyumluluk eşik değerinin altındaysa belirlenen disk yarıçapına göre maskelenir.

İterasyonlu maskeleme yöntemine göre yapılan düzeltme yukarıdaki şekilde gibidir. Faz belirsizliğin seçili olduğu bölge (Şekil 4.13-a) aynı anda faz belirsizliğinin olduğu görüntüde de (Şekil 4.13-b) görülür. Tüm görüntüyü seçmek ve uygulamak zaman alacağı için lokal bir alan seçilmiştir (Şekil 4.13-a). Yöntemin uygulanması sonucu faz belirsizliği giderilmiş (Şekil 4.13-d) ve faz artıklarının olduğu görüntüde de düzeltilmiş olur (Şekil 4.13-c).

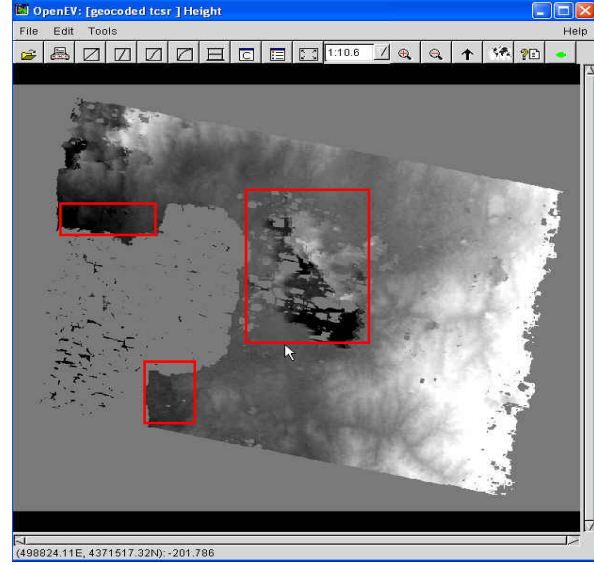


Şekil 4.13 İteratif disk maskeleme yöntemi ile faz belirsizliğinin giderilmesi

Faz belirsizliğinin giderilmesinden sonra SYM WGS 84 datumunda üretilmiştir (Şekil 4.14). Ancak üretilen yükseklik bilgisi yataylanmamış bilgidir. Geocode edilmiş görüntüde de sorunlar görülmüştür. Görüntülerin 24 gün arayla alınmış olması ve ikinci görüntünün hasat zamanından sonra alınması görüntüler arasındaki korelasyonu düşürdüğü için tarım alanlarının bulunduğu düzlük bölgelerde interferogram oluşmamış ve uyumluluk değeri düşük çıkmıştır. Bu alan, görüntüde kırmızı ile belirtilmiş büyük alandır (Şekil 4.15). Küçük alanlarda korelasyon bozukluğundan ileri gelen yükseklik hataları görülmüştür.



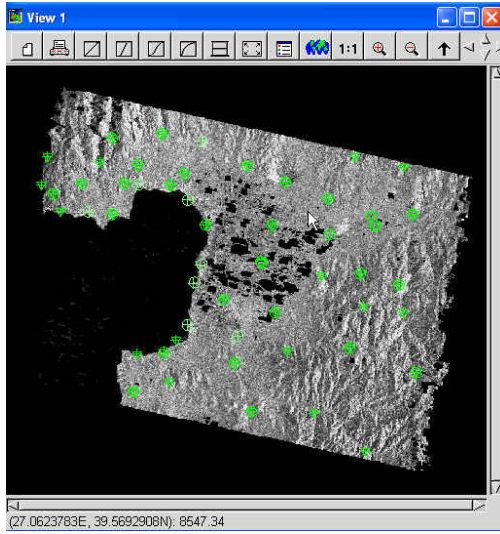
Şekil 4.14 Üretilen SYM



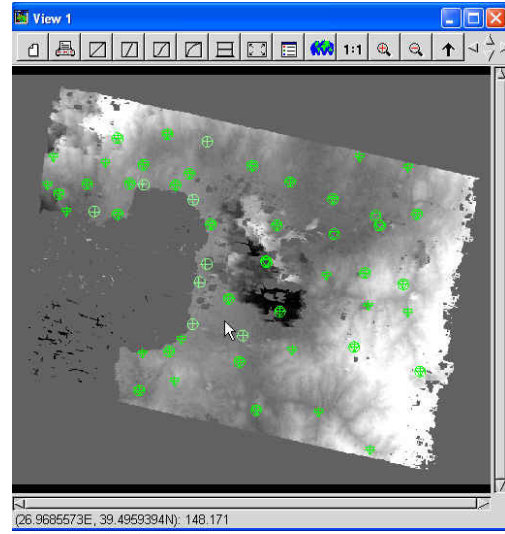
Şekil 4.15 Yataylanmış (Geocoded) SYM

Sayısal yükseklik modelinin iyileştirilmesinde programda yer alan SYM Düzeltme (Dem Correct) modülü kullanılmıştır. Bunun için stereo SAR uygulamasında kullanılan ortorektifiye edilmiş SAR görüntülerinden ve 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita ve uyumluluk görüntüsünden elde edilen yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmıştır. Toplam 54 nokta toplanmıştır. 16 nokta x,y,z koordinatları bilinen yükseklik ve planimetrik bilgi içerir, 17 YKN sadece altimetrik noktası olarak atılmıştır, yükseklik değerlerine düzeltme getirmek için kullanılmıştır. Bu noktaların yükseklik değerleri bilinmemekte fakat planimetrik olarak tam yerleri bilinmemektedir. Genel olarak yol, nehir kıvrıkları, kıyı şeritte yer alan iskele yapıları, köprüler ve dağlık alanlarda ki su toplama çizgilerinin kesişim yerleri YKN olarak alınmıştır. Noktalar ED-50 datumunda ki 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritadan alındığı için atılan noktaların koordinatları ED-50 datumundan WGS-84 datumuna dönüştürülerek atılmıştır

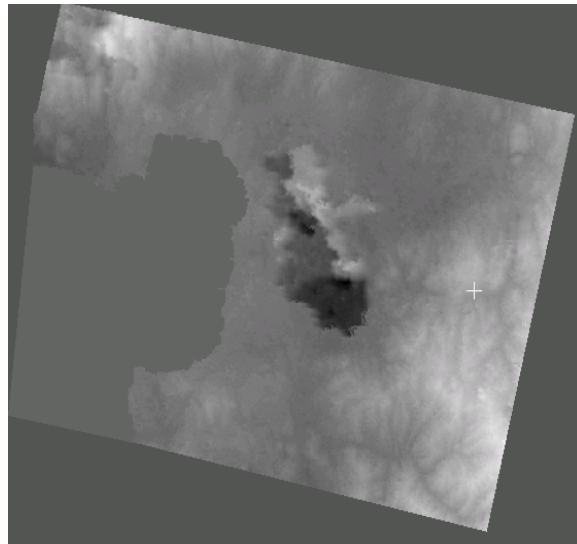
(Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Yataylanmış SAR görüntüsü



Şekil 4.17 Yataylanmış ve iyileştirilmiş SYM



Şekil 4.18 Sonuç SYM

Yataylanmış görüntünün düzeltme işlemleri “Image Works Configurations” modülü ile yapılmıştır, gürültü giderme (noise removal), boşlukların doldurulması (erode holes), yumuşatma (smooth), median filtreleme, enterpolasyon ve maskeleme gibi filtre işlemleri uygulanarak SYM düzeltilmiştir. Sonuç SYM Şekil 4.18 de gösterilmiştir.

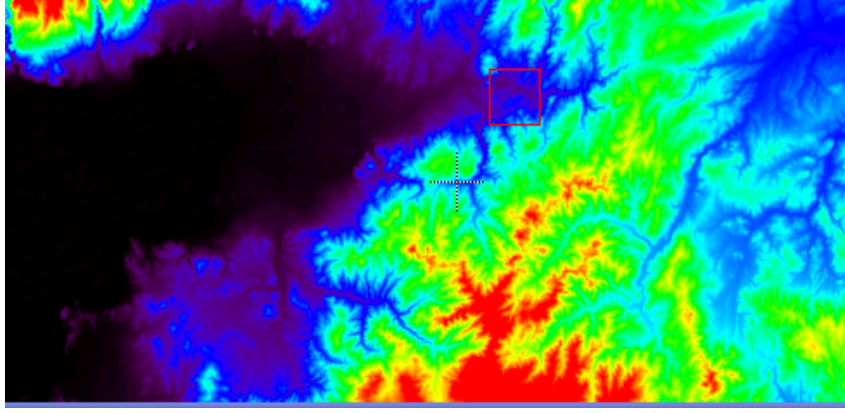
4.5 Kullanılan Diğer Veriler

Stereo ve İnterferometrik yöntem ile üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunun belirlenmesi için referans veri olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal eşyükselti eğrileri ve 1/25.000 topoğrafik haritaları kullanılmıştır (Şekil 4.19). 12 adet 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritadan sayısallaştırılarak üretilen altlık harita, bölgeye ait detayların belirlenmesini sağlamaktadır.

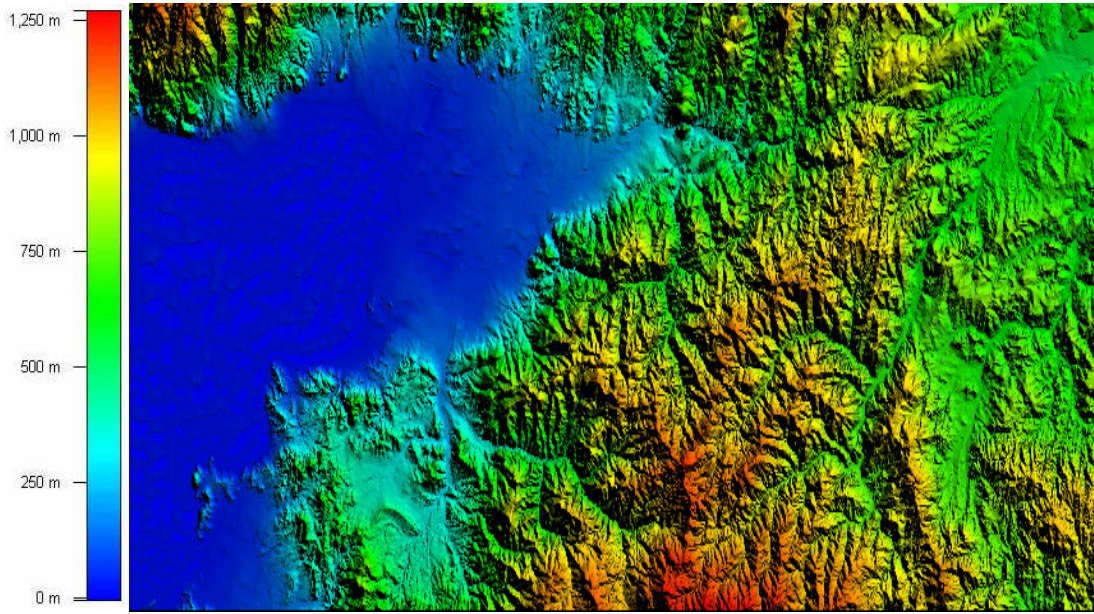
Çizelge 4.4 YKN GPS Koordinatları

Nokta	WGS 84			ED-50		
	Enlem	Boylam	H (m)	Enlem	Boylam	H (m)
1	39 33 56.86	27 07 47.54	88.396	39 34 00.50	27 07 49.29	44.130
2	39 33 33.91	27 08 03.99	106.253	33 33 37.55	27 08 05.74	61.973
3	39 32 07.95	27 00 47.28	50.294	39 32 11.59	27 00 49.04	5.886
4	39 32 05.07	27 00 49.34	50.012	39 32 08.71	27 00 51.10	5.603
5	39 33 13.52	27 12 17.58	352.549	39 33 17.15	27 12 19.32	308.312
6	39 33 12.49	27 05 08.35	73.661	39 33 16.13	27 05 10.10	29.339
7	39 33 33.26	27 08 02.35	105.655	39 33 36.90	27 08 04.10	61.379

Stereo yöntem ile SYM oluştuktan sonra yataylanan görüntüde ötelemelerin giderilmesi için, yer kontrol noktaları kullanılmıştır. Bunun için arazide altı tane GPS noktası (Çizelge 4.4) ve bir köşe yansıtıcı belirlenmiş ve bunlar yer kontrol noktası olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.19 1/25.000 ölçekli SYM



Şekil 4.20 1/25.000 Ölçekli rölyef harita

4.6 SYM Doğruluk Analizleri

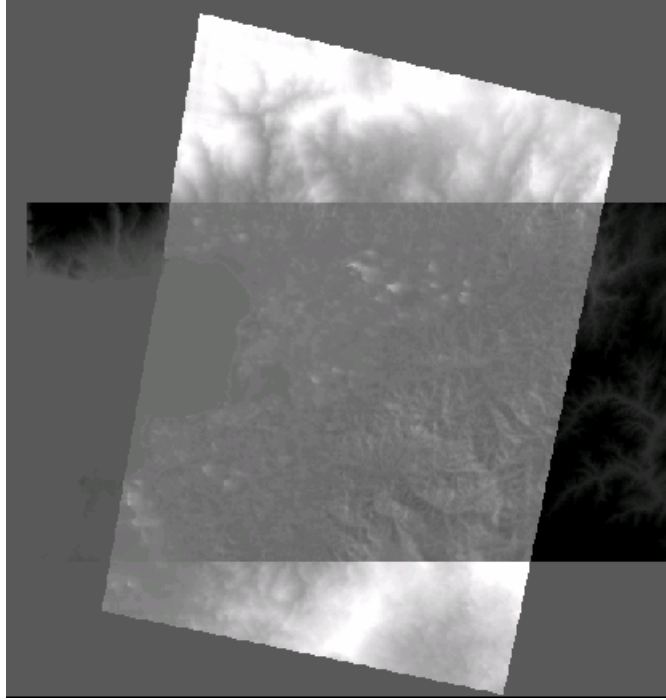
Stereo SAR ve İnterferometrik SAR görüntülerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinin analizleri referans SYM ile belirlenmiştir. Önce tek tek üretilen stereo ve İnSAR SYM görüntülerinden referans SYM çıkartılmıştır. Elde edilen hata görüntüleri üzerinden doğruluk analizleri yapılmıştır.

Stereo SAR ile üretilen SYM daha başarılı ve kolay iken İnterferometrik SYM üretimi daha zor ve başarı oranı daha düşüktür. Bunun en önemli nedeni de birinci ve ikinci görüntü arasında korelasyon değerlerinin (coherence map) düşük olmasıdır. Bu nedenle İnSAR

yükseklik modelinde tüm görüntü yerine parça parça uygulama alanları seçilmiş ve her iki yöntem için farklı arazi tipleri seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

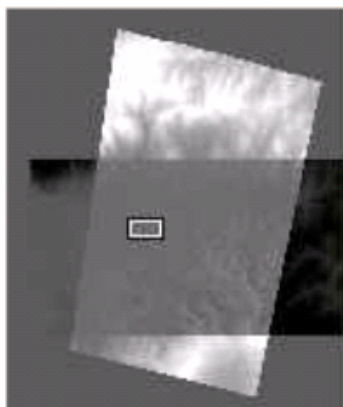
4.6.1 Stereo SAR SYM Analizi

RADARSAT uydusundan elde edilen stereo görüntü çiftinin oluşturduğu SYM' nin doğruluğunun belirlenmesinde referans altlık olarak 1/25.000 ölçekli sayısal arazi modeli kullanılmıştır. İki model arasındaki fark PCI yazılımına ait “subtract” modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan mutlak model referans modelle karşılaştırılmıştır.

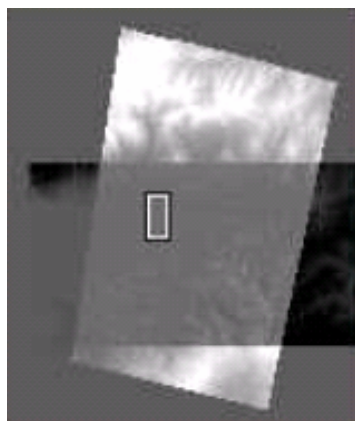


Şekil 4.21 Stereo SAR ve referans farkından oluşan hata modeli

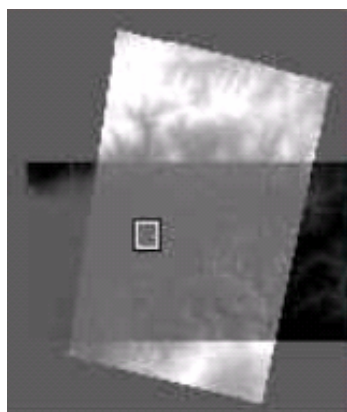
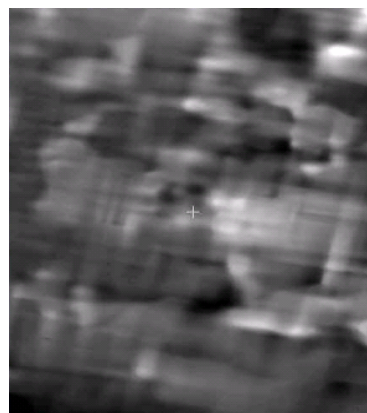
Oluşturulan stereo SAR SYM'den referans model çıkartılarak hata modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.21). Analizler için bu model üzerinden farklı arazi tiplerine ait parçalar alınmıştır. Üç tip arazi ele alınmıştır; düz (Şekil 4.22), eğimli (Şekil 4.24) ve dağlık alan (Şekil 4.26). Her arazi tipi için rastgele bölgeler seçilmiştir, her bölge için standart sapma değerleri (çizelge 4.5, 4.6, 4.7) hata histogramlarında gösterilmiştir (Şekil 4.23, 4.25, 4.27). İstatistiksel değerler PCI yazılımının “Image Works Configurations” modülü ile oluşturulmuştur.



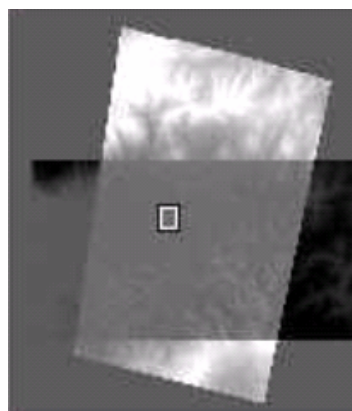
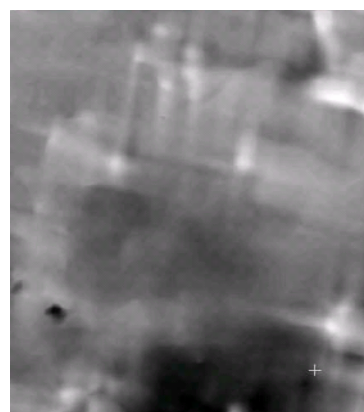
(I)



(II)

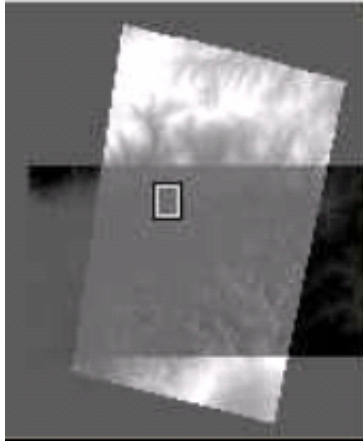


(III)

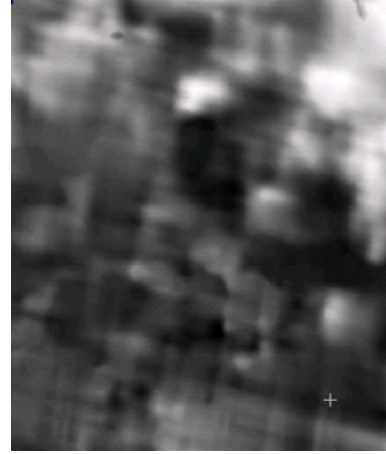


(IV)

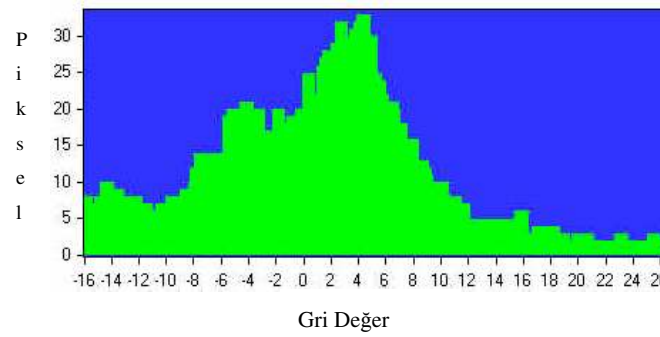
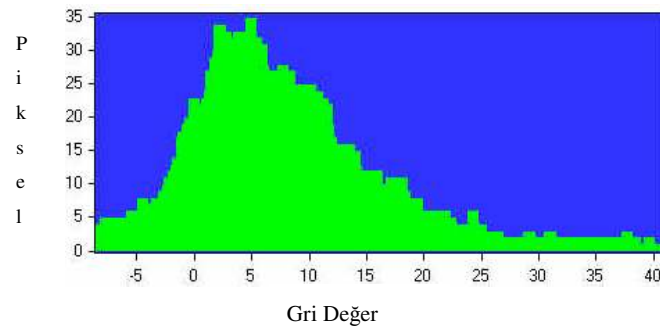
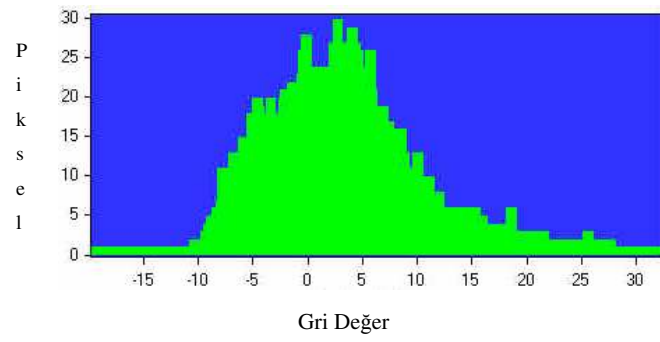


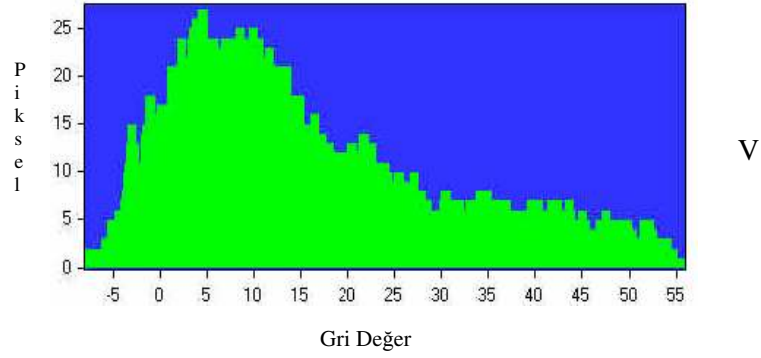
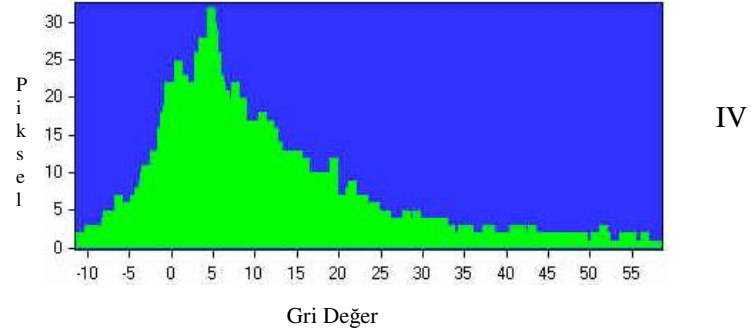


(V)



Şekil 4.22 Düz arazide analiz için seçilen bölgeler

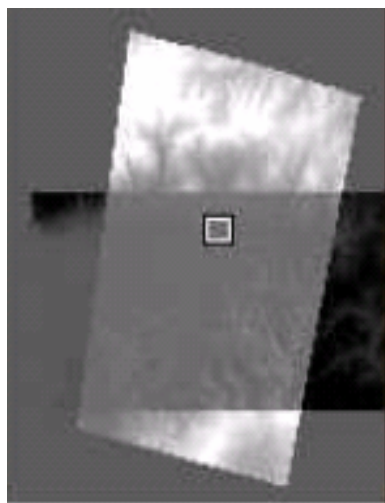




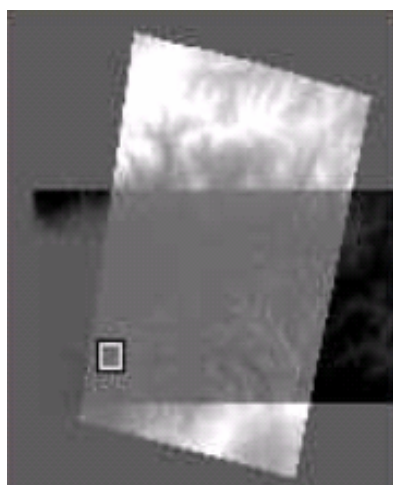
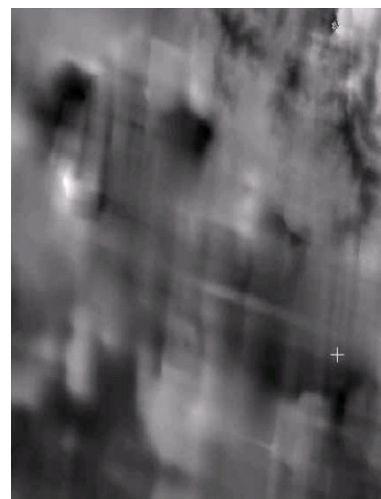
Şekil 4.23 Düz alanlar için hata değer histogramı

Çizelge 4.5 Düz arazi tipi için belirlenen değerler

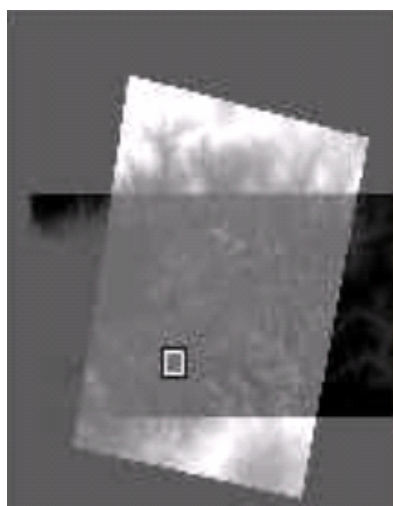
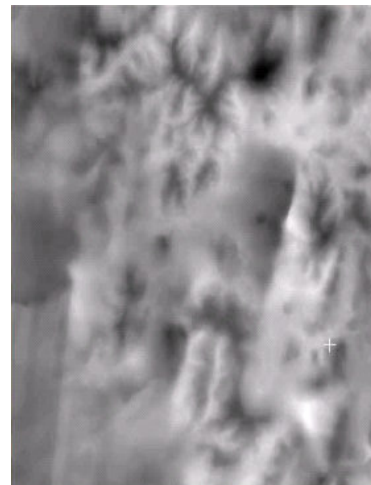
Seçilen Bölgeler	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Piksel sayısı
I	5.86	-8.62	40.95	313344
II	5.58	-19.75	32.45	224237
III	7.15	-22.98	26.54	266474
IV	8.46	-11.44	58.36	190000
V	12.09	-7.97	55.72	286195



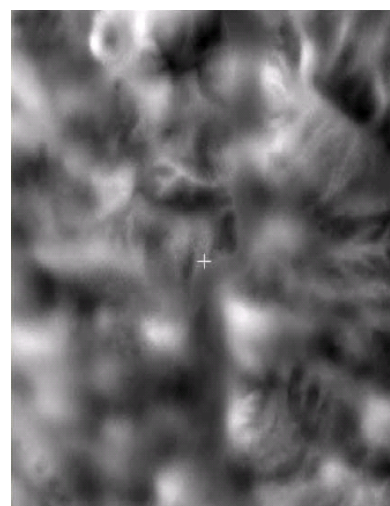
(I)

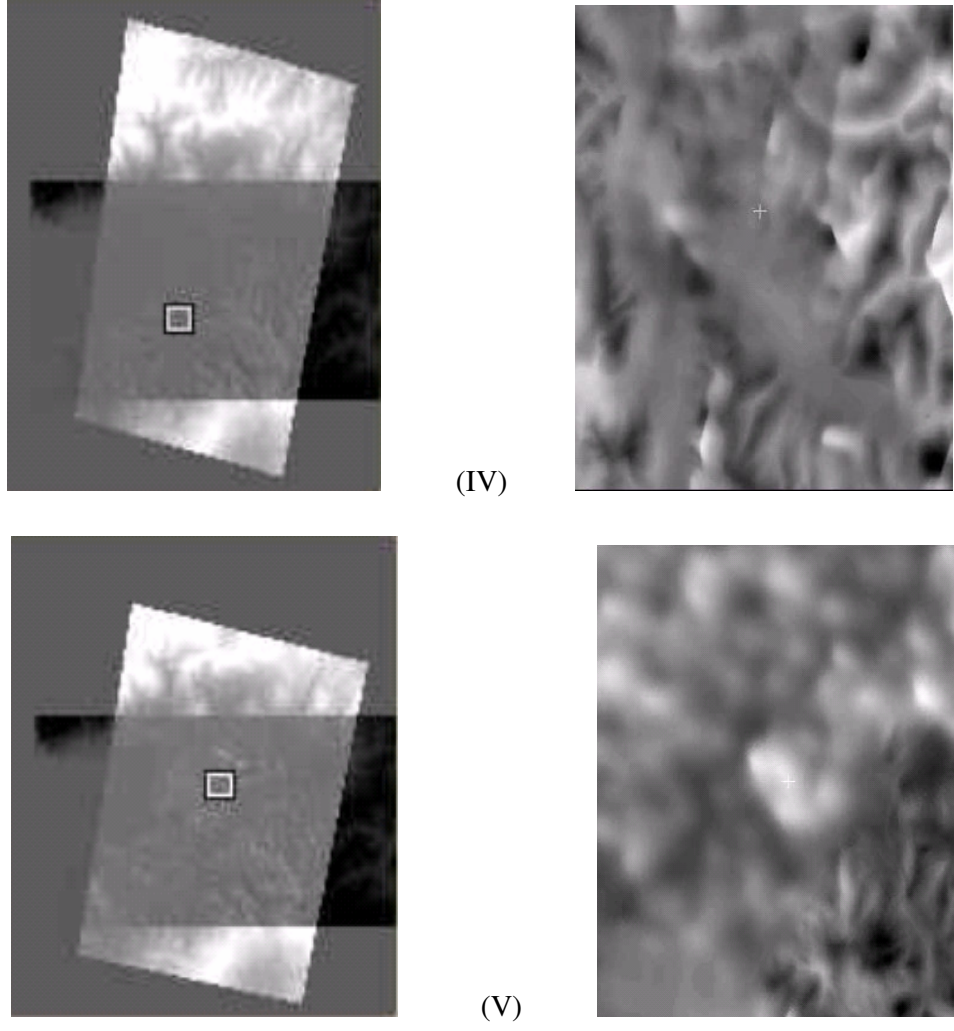


(II)



(III)

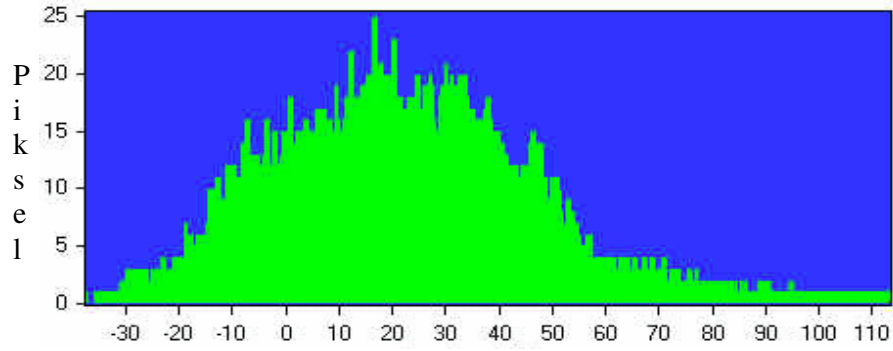




Şekil 4.24 Eğimli arazide analiz için seçilen bölgeler

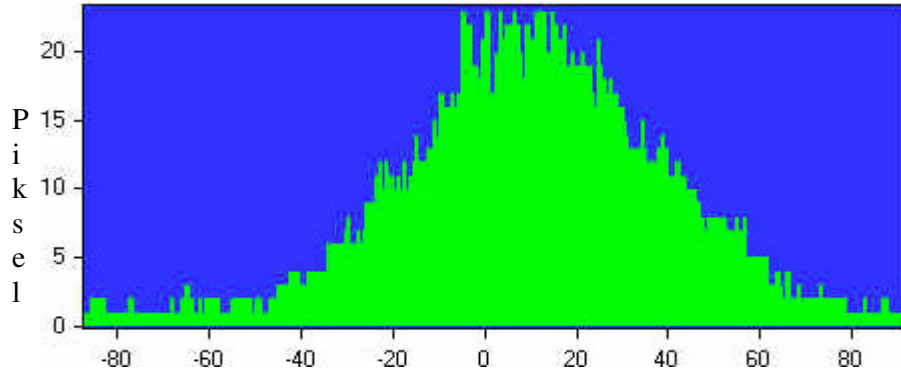
Çizelge 4.6 Eğimli arazi tipi için belirlenen değerler

Seçilen Bölgeler	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Piksel sayısı
I	19.37	-37.50	112.97	210152
II	21.81	-87.08	91.36	210357
III	23.38	-34.64	116.51	164024
IV	26.65	-110.61	141.13	210162
V	27.30	-42.59	163.63	197316



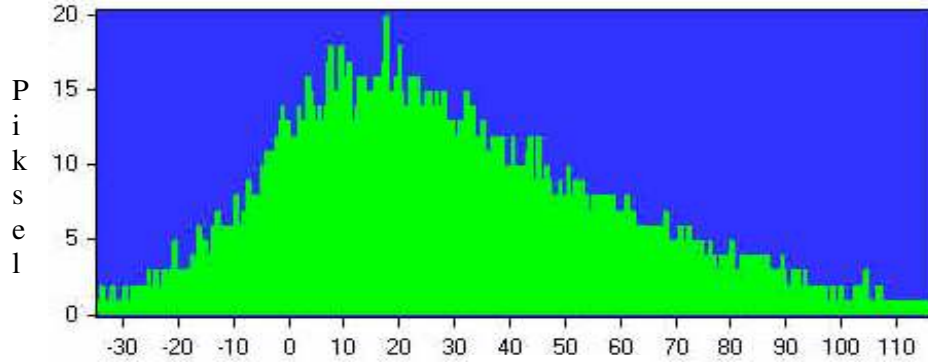
I

Gri Değer



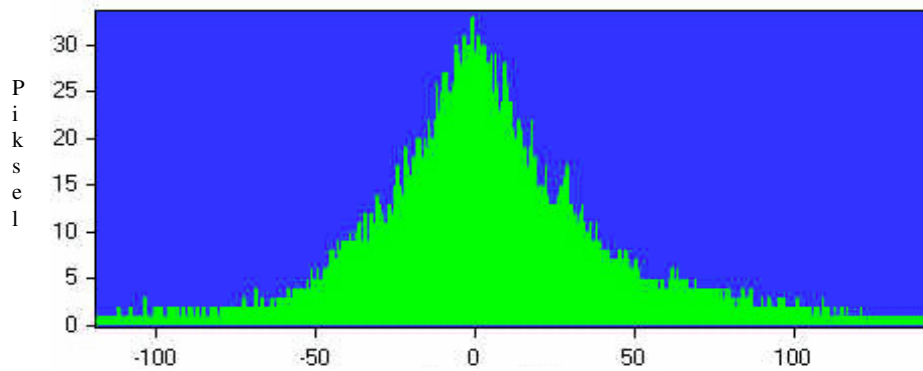
II

Gri Değer



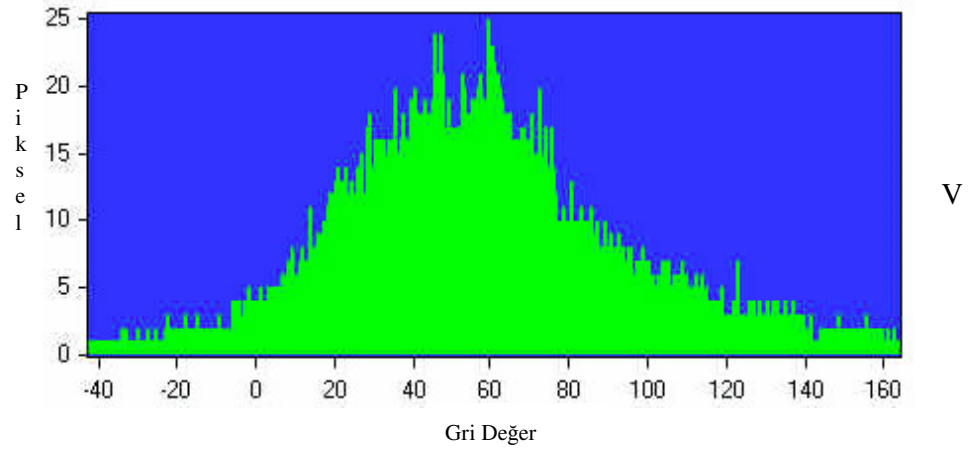
III

Gri Değer

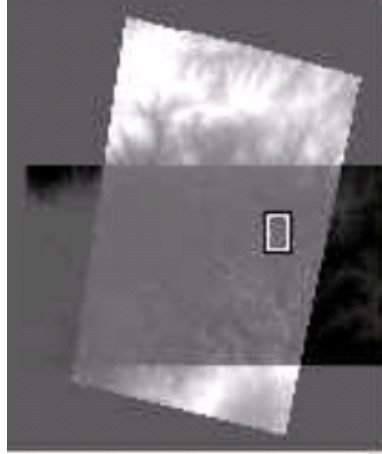


IV

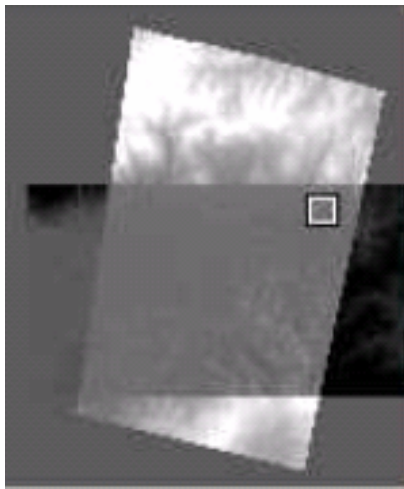
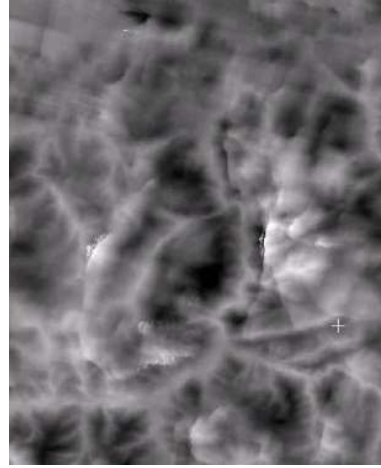
Gri Değer



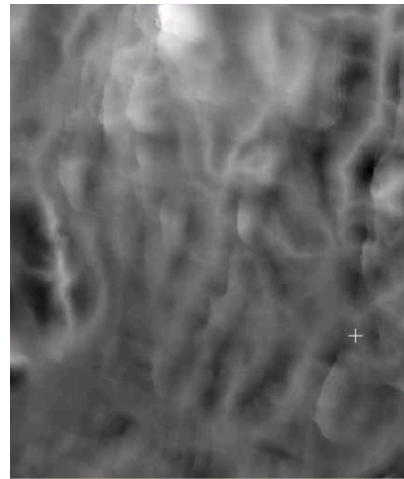
Şekil 4.25 Eğimli alanlar için hata değer histogramı

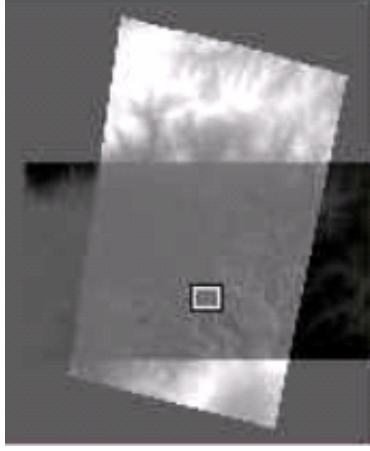


(I)

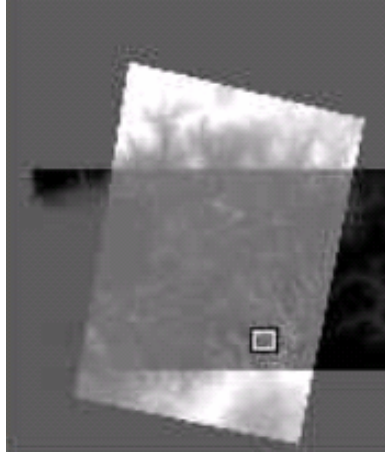


(II)

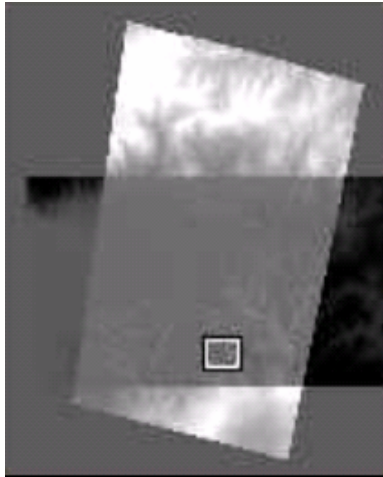
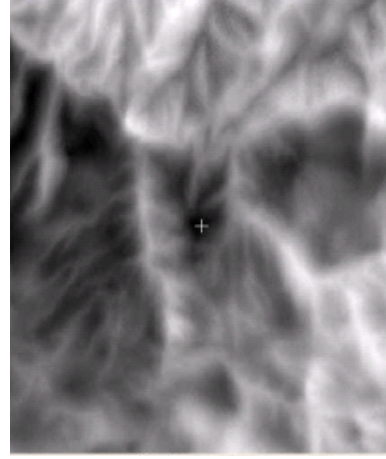




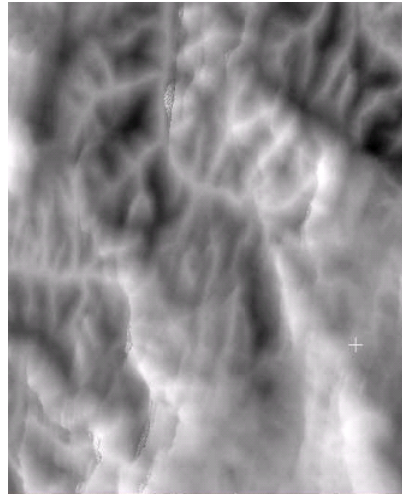
(III)



(IV)



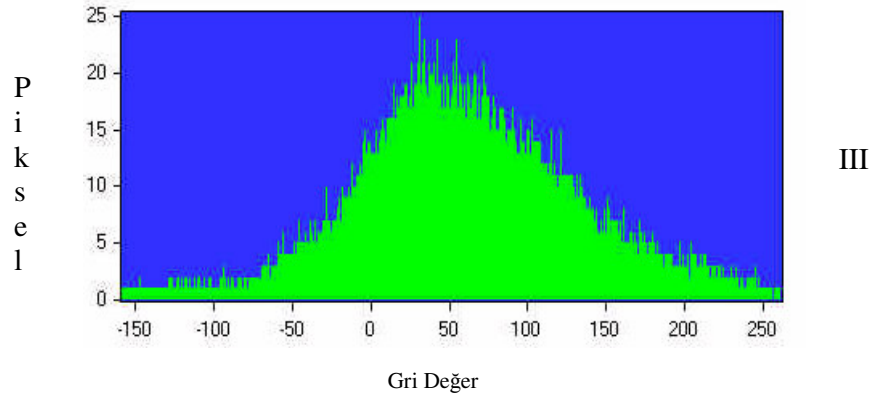
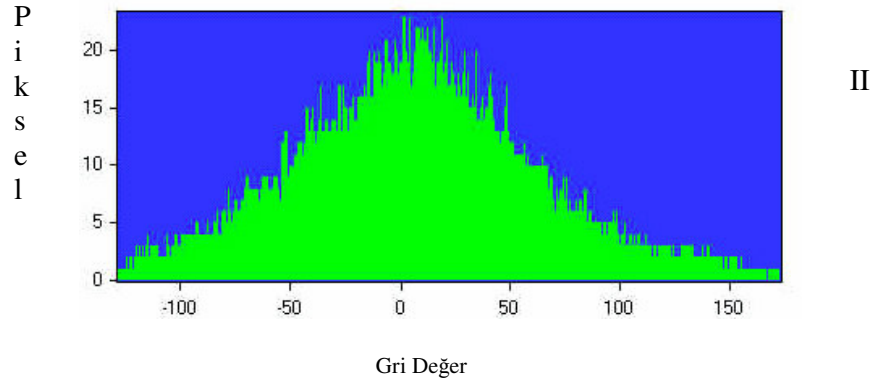
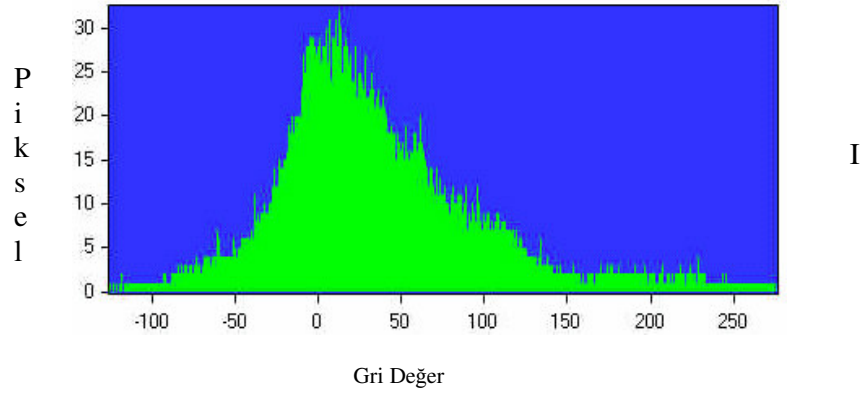
(V)

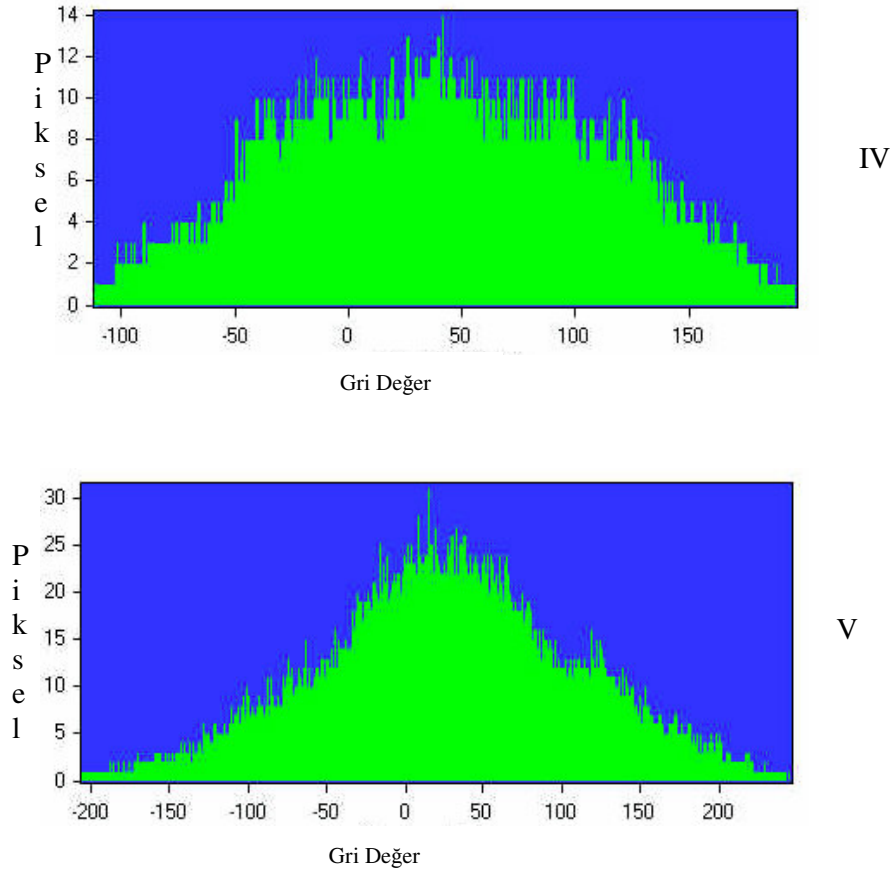


Şekil 4.26 Dağlık arazide analiz için seçilen bölgeler

Çizelge 4.7 Dağlık arazi tipi için belirlenen değerler

Seçilen Bölgeler	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Piksel sayısı
I	42.45	-125.43	275.13	229437
II	43.23	-128.65	172.75	227156
III	54.91	-158.58	260.50	210152
IV	57.76	-111.55	196.05	148596
V	66.88	-205.81	244.55	311148





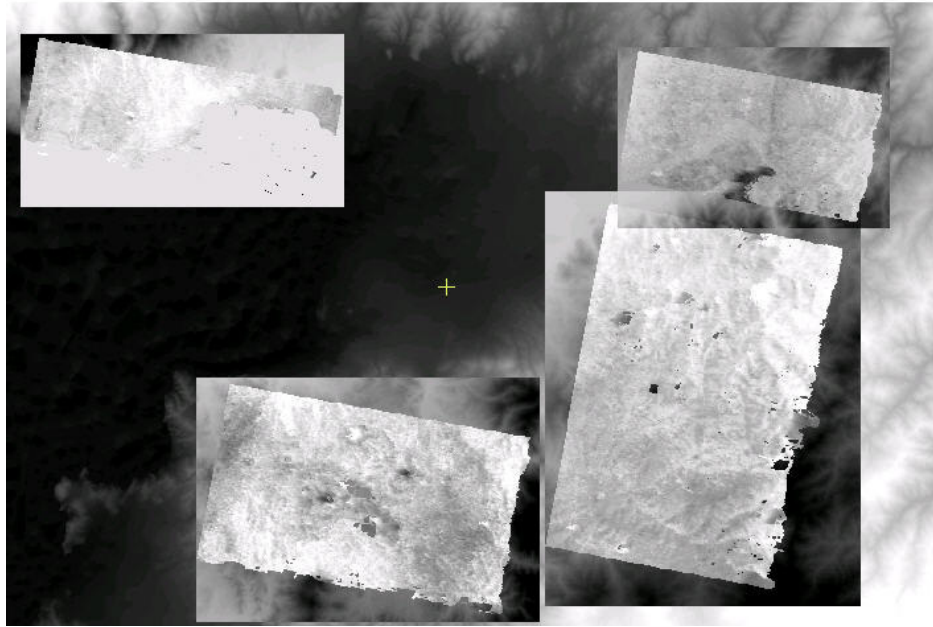
Şekil 4.27 Dağlık alanlar için hata değer histogramı

Stereo SAR ile oluşturulan SYM görüntüsü üzerinden üç farklı arazi tipinde rastgele seçilen bölgelerde yapılan analizler sonucunda, yükseklik değeri arttıkça hata oranının arttığı gözlenmiştir. Düz alanlar, deniz kıyısı ve denize yakın yerlerden çoğunlukla yerleşim yerlerinin oluşturduğu bölgelerden seçilirken, eğimli alanlar şehrin bittiği yerler ve daha çok mera, orman alanlarının bulunduğu bölgeler seçilmiştir. Doğu, kuzey-doğu ve güney-doğu yönlerinde bulunan alanlardan dağlık bölgelere ait alanlar seçilmiştir. Bu bölgelerde hata oranı artmaktadır. Bunun en büyük nedeni de genellikle dağlık bölgelerde görülen ve SAR geometrisinden ileri gelen gölge, ters görüntüleme ve kısa görüntüleme hatalarıdır.

4.6.2 İnterferometrik SYM Analizi

İnterferometrik olarak üretilen SYM' nin de doğruluğu belirlemek üzere 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. İnterferometrik SAR'ın ilk ara ürünü olan uyumluluk görüntüsü temel alınarak doğruluk analizlerini yapmak üzere örnek alanlar belirlenmiştir.

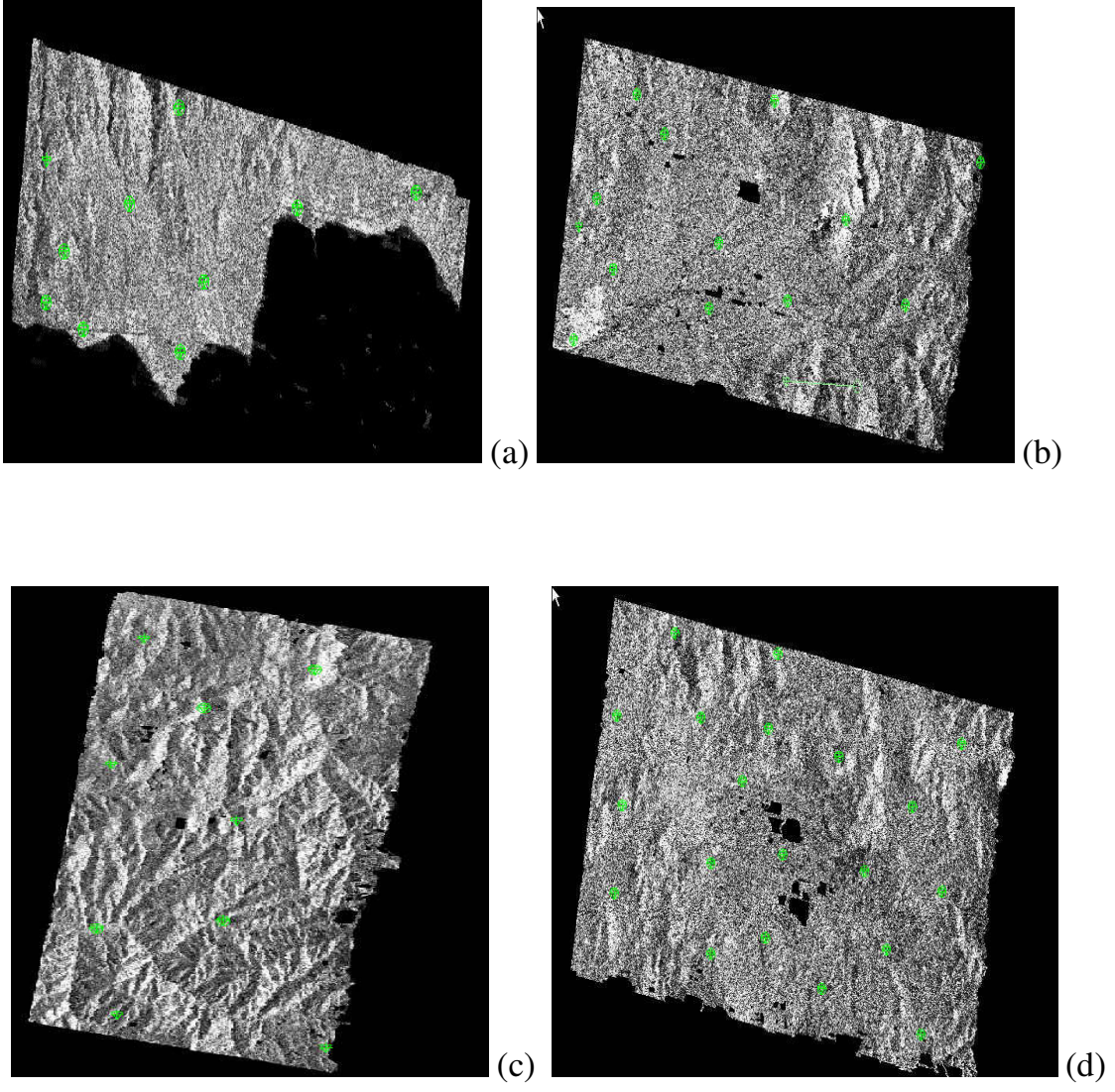
Bu çalışmada, tüm görüntüye ait uyumluluk değerini ve SYM üretmek yerine uyumluluk değerlerin yüksek olduğu bölgeler belirlenmiş ve sadece bu bölgelere ait interferometrik SYM üretilmiştir. Bu nedenle dört farklı uygulama yapılmıştır ve her bölge için üretilen SYM analizleri yapılmıştır (Şekil 4.28). Genel olarak düz bölgelerde yükseklik bilgisinin doğruluğunun yüksek olması beklenir. Ancak uygulamada düz bölgelerde tarım alanlarının olması ve görüntü alımlarının ekin biçme zamanına denk gelmesi düşük uyumluluk değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Şanlı ve Abdikan, 2006). Bu nedenle analizlerde eğimli ve dağlık olmak üzere iki tip arazi göz önüne alınmıştır.



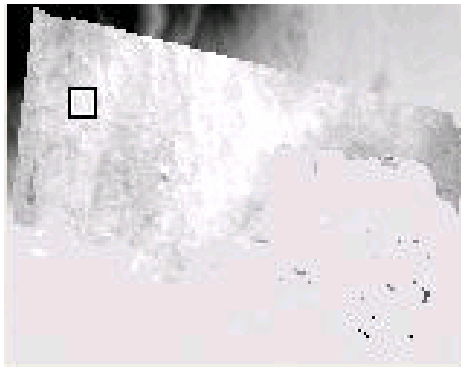
Şekil 4.28 İnSAR ve referans farkından oluşan hata modelleri

SYM analizi için dört farklı alanın seçiminde uyumluluk değerlerinin yüksek olduğu bölgelerin alınmasına dikkat edilmiştir (Şekil 4.29). Seçilen dört bölge için uyumluluk görüntüsü ve interferogram üretilmiş daha sonra faz belirsizliği giderilerek yükseklik değerleri oluşturulmuştur. Her bölge için oluşturulan yükseklik değerlerine düzeltme (DEM correction) getirilmiştir. Düzeltme yataylanmış görüntülere YKN'ları atılarak getirilmiştir.

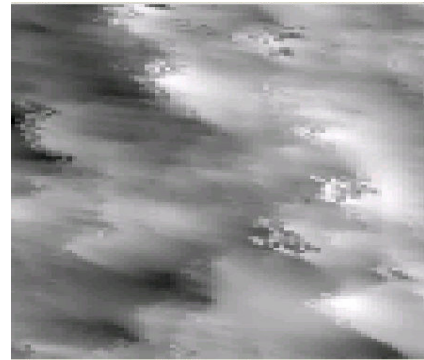
İnterferometrik SYM'nin doğruluk analizleri için belirlenen iki arazi tipi için rastgele bölgeler seçilmiştir (Şekil 4.30 ve 4.32). Her bölge için standart sapma değerleri (Çizelge 4.8, 4.9) hata histogramlarında gösterilmiştir (Şekil 4.31, 4.33). İstatistiksel değerler PCI yazılımının "Image Works Configurations" modülü ile oluşturulmuştur.

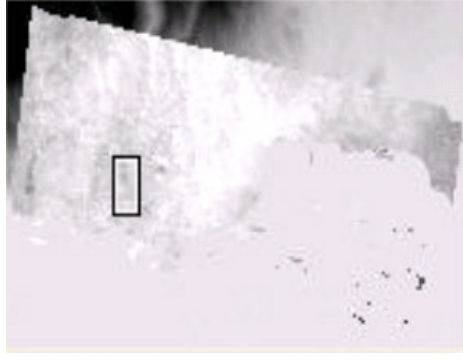


Şekil 4.29 Farklı bölgelerden seçilen görüntüler

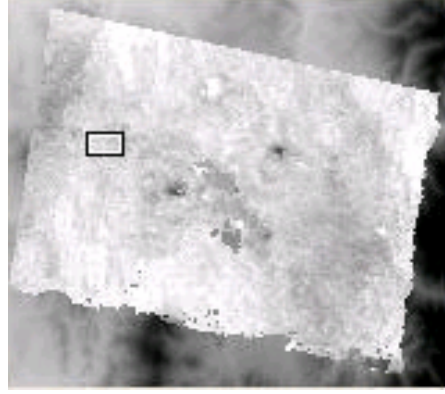


(I)

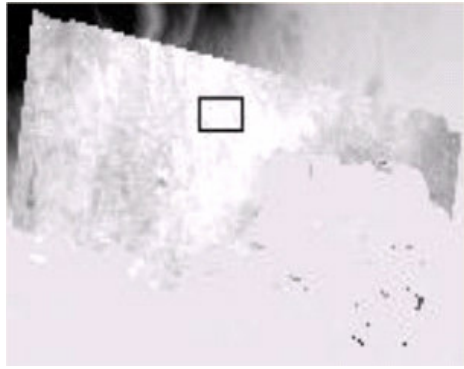




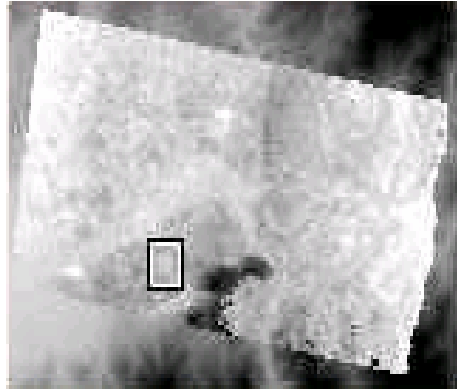
(II)



(III)



(IV)



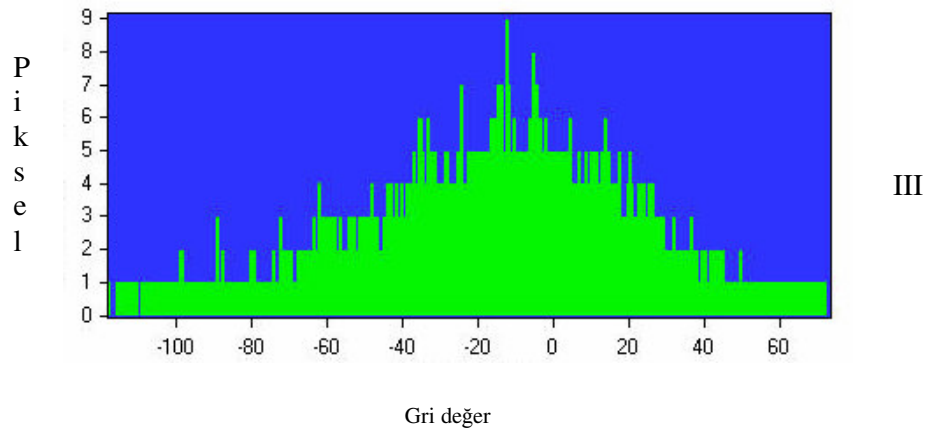
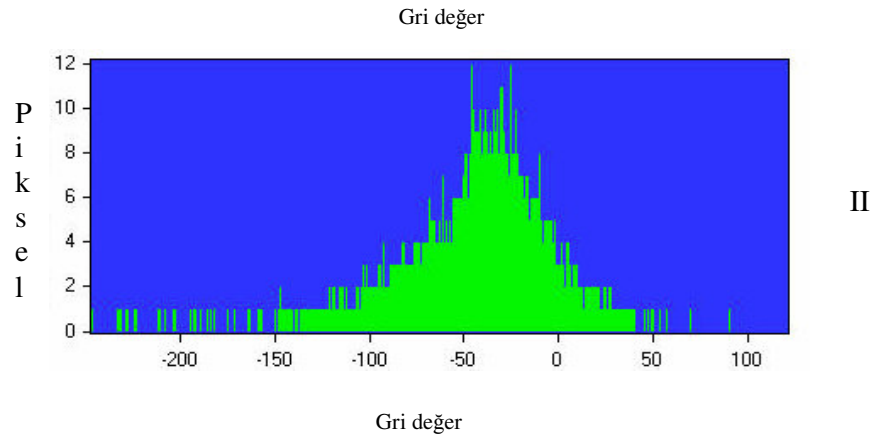
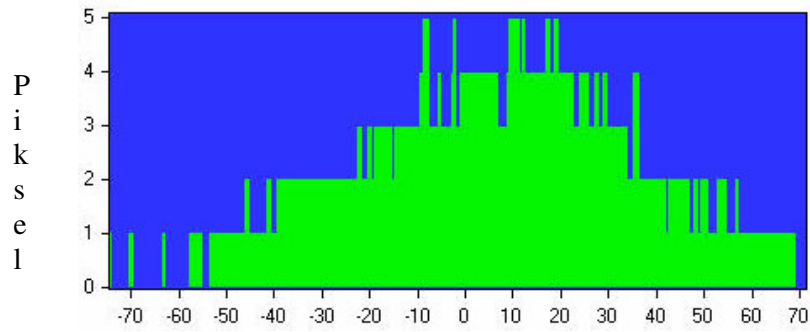
(V)

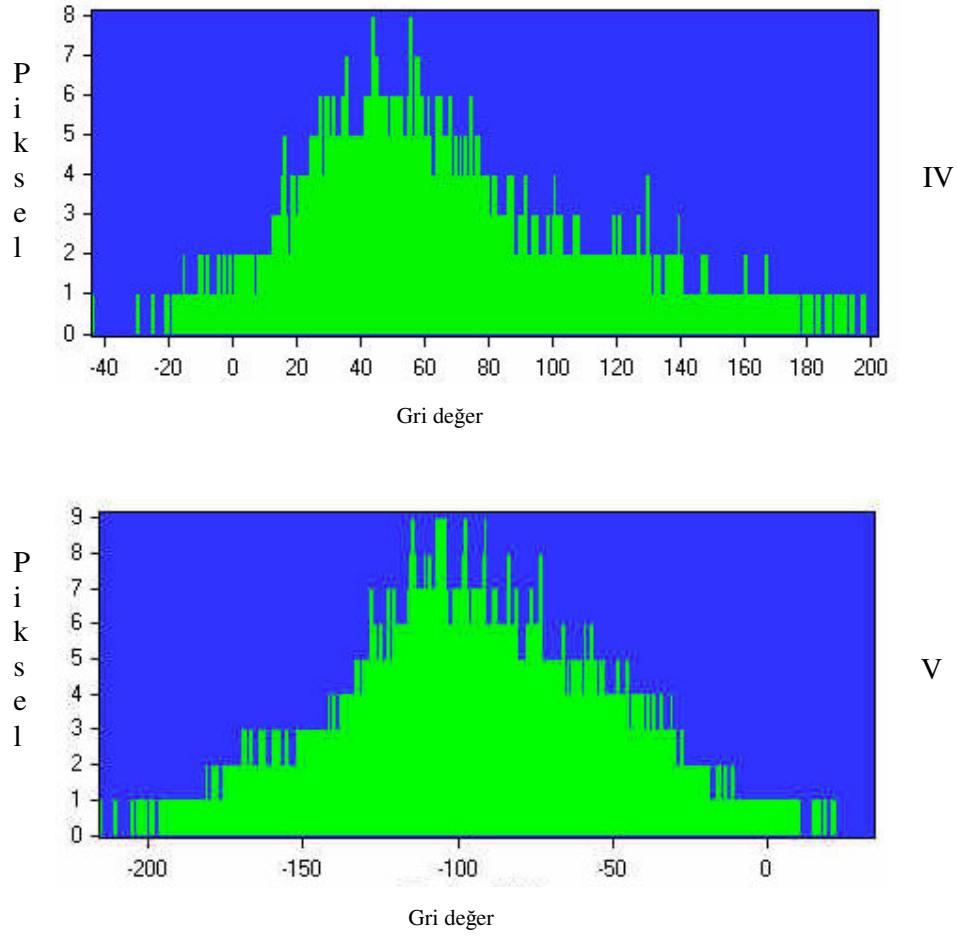


Şekil 4.30 Eğimli arazide analiz için seçilen bölgeler

Çizelge 4.8 Eğimli arazi tipi için belirlenen değerler

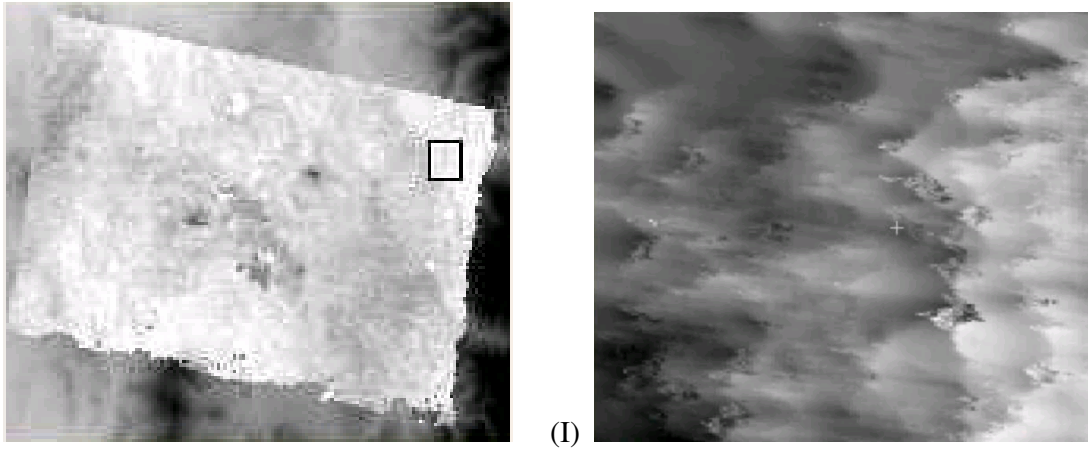
Seçilen Bölgeler	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Piksel sayısı
I	20.05	-74.43	70.87	15376
II	24.85	-246.84	120.14	30381
III	25.32	-118.16	72.87	28980
IV	28.48	-43.79	201.20	27048
V	31.81	-215.55	33.77	44935

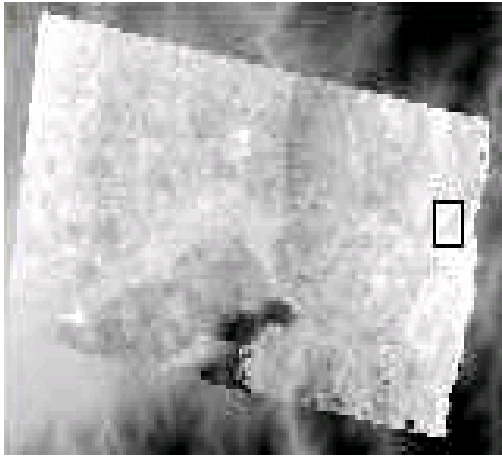




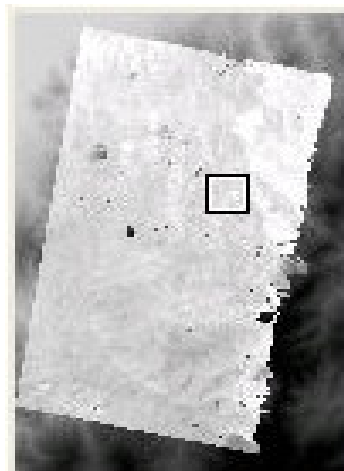
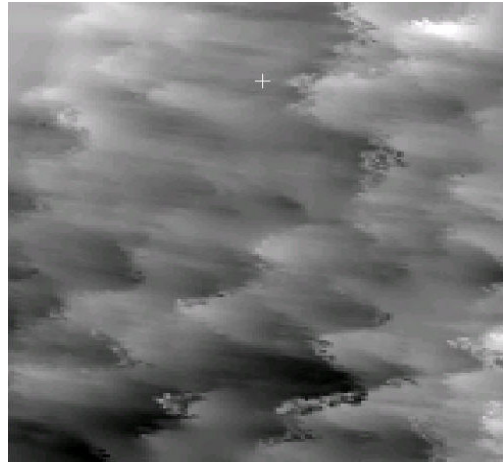
Şekil 4.31 Eğimli alanlar için hata değeri histogramı

Eğimli arazide ve dağlık arazilerde seçilen bölgeler görüntünün bütünü üzerinden belirlenen ve farklı arazi tiplerine sahip dört parça üzerinden seçilmiştir (Şekil 4.28).

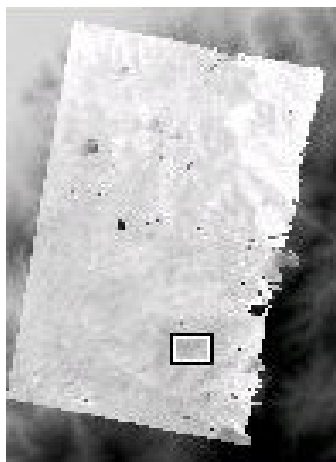
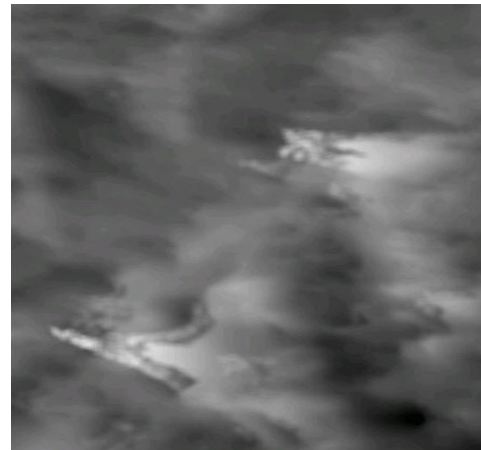




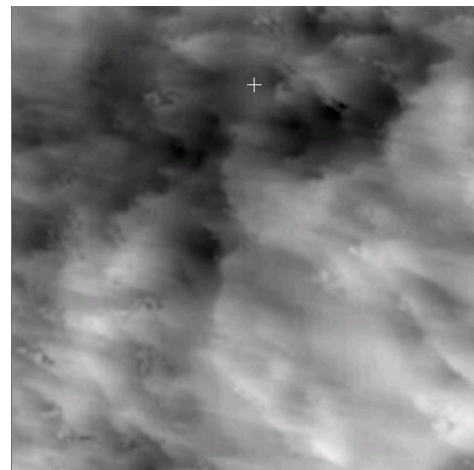
(II)

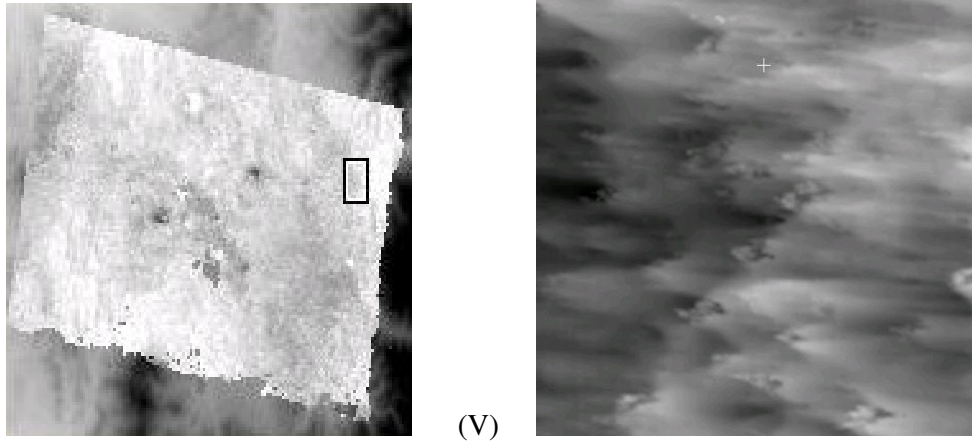


(III)



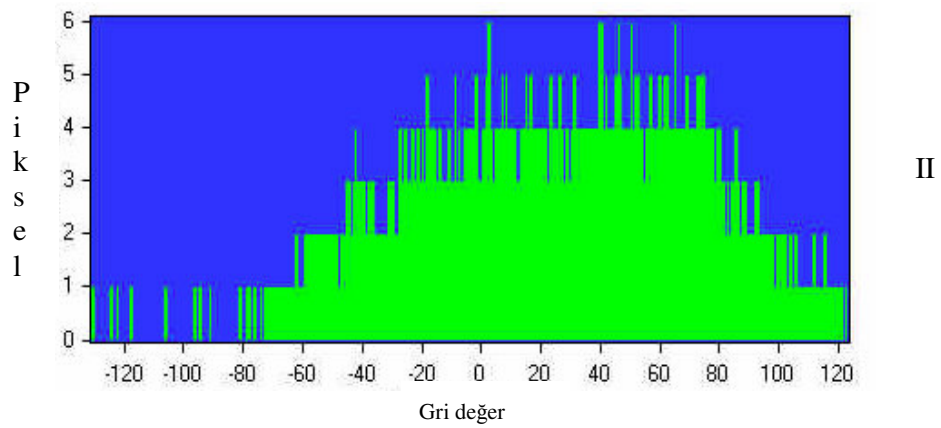
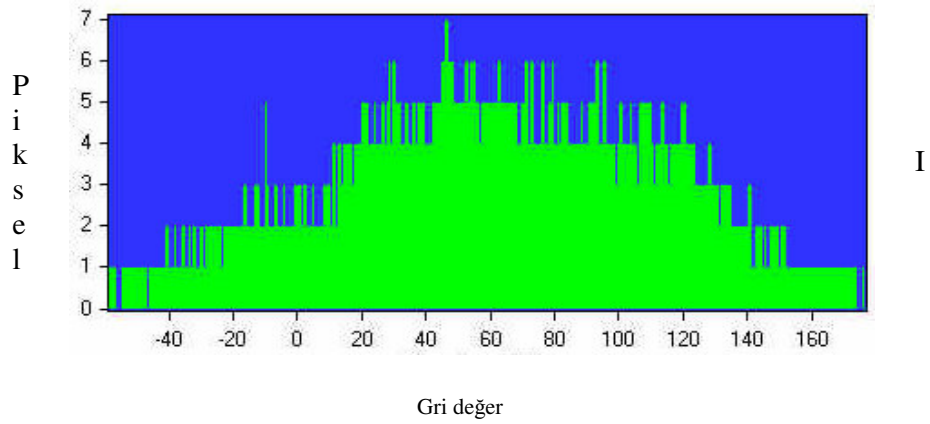
(IV)

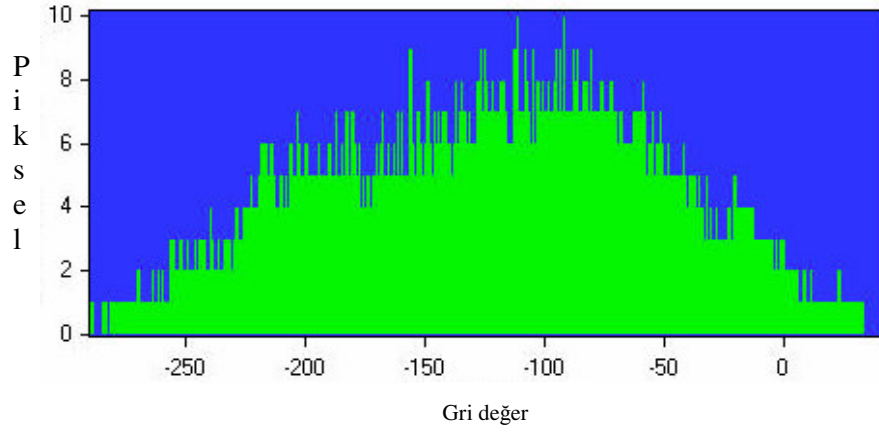
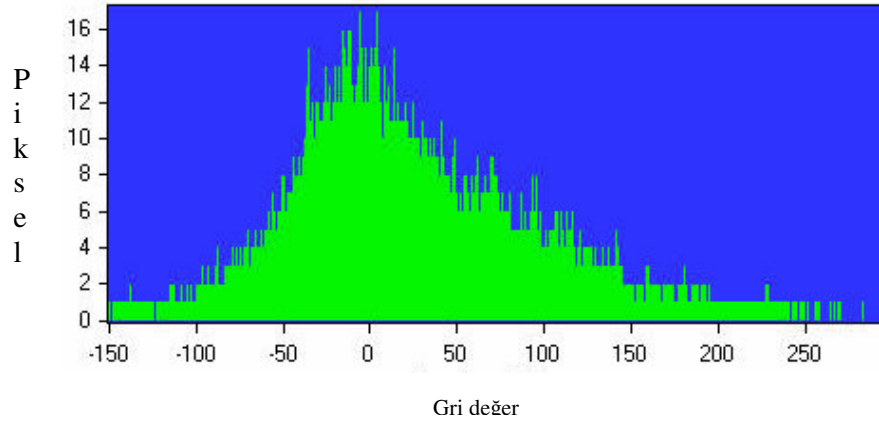
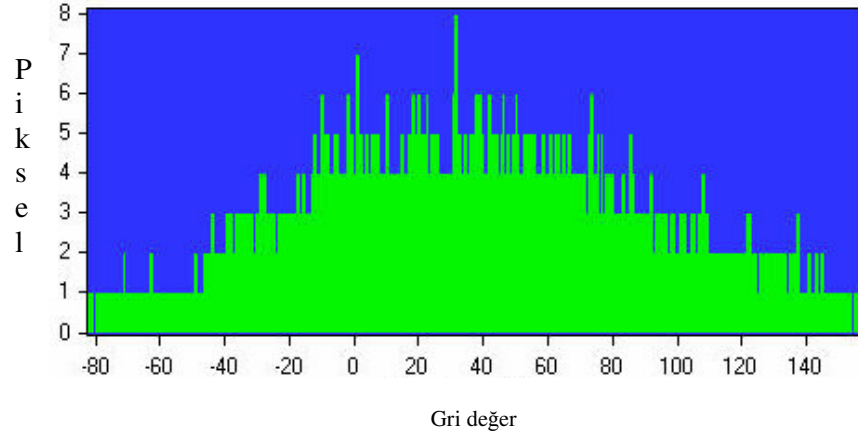




Şekil 4.32 Dağlık arazide analiz için seçilen bölgeler

Dağlık bölgeler için seçilen örnek alanlar Şekil 4.32’ de gösterilmiştir. Kare içine alınan pencereler için yapılan doğruluk analizleri histogramlarla gösterilmiştir. Şekil 4.33 de verilen histogramlarla piksel sayıları ve gri değer aralıkları gösterilmektedir.





Şekil 4.33 Dağlık alanlar için hata değeri histogramı

Çizelge 4.9 Dağlık arazi tipi için belirlenen değerler

Seçilen Bölgeler	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Piksel sayısı
I	37.81	-58.69	176.37	31980
II	38.08	-131.09	122.81	25670
III	40.68	-82.35	156.91	34126
IV	51.74	-150.38	293.53	95082
V	57.39	-298.49	40.91	74500

4.6.3 Doğruluk Analizleri

Mutlak doğruluk, üretilen SYM ile arazinin coğrafi koordinatları arasındaki hatanın bir ölçüsüdür. Referans harita, planimetrik doğruluğu 5m., SYM doğruluğu 3m. olan 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritadır. Modeller arasındaki farkın bulunması için radargrametrik SYM ve interferometrik SYM referans SYM den çıkarılmıştır. Hatanın arazi ve eğim tipine göre artan bir karakter izlediği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.10 İnSAR doğruluk analizleri

	YKN	Planimetrik/Yükseklik	Ortalama değer Mean	Standart sapma RMS
Tüm görüntü	43	26/17	5.869e-013	139.694
a Bölgesi	10	9/10	-2.032e-013	22.807
b Bölgesi	13	12/13	1.4905e-012	48.2081
c Bölgesi	13	9/13	1.894e-014	40.706
d Bölgesi	20	20/20	5.0661e-013	51.662

İnterferometrik SYM görüntüsünde, SYM doğruluğunu arttırmak için tüm görüntü için 43 YKN kullanılmıştır. Bunlardan 17 tanesinin sadece yükseklik değerleri bilinmektedir. Ancak standart sapma büyük olduğu için daha küçük bölgeler ele alınarak interferometrik işlem adımları her bölge için yeniden yapılmış ve dört farklı çalışma alanı (Şekil 4.29) oluşturulmuştur (Çizelge 4.10). Her çalışma bölgesi için çalışma alanının topografik

özelliklerine göre YKN atılmıştır. YKN ile düzeltilen model üzerinden doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.11).

Ortalama, standart sapma ve min./max. hata oranından görülüyor ki stereo ve interferometrik SYM doğruluğu eğim arttıkça azalır. Stereo SAR SYM yükseklik doğruluğu, engebeli arazide yükseklik değeri arttıkça azalmaktadır. Yüksek çözünürlüklü stereo çiftin radiometrik çözünürlüğü düşük olduğu için düşük eğimin olduğu yerlerde daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.11 Stereo SAR değerlendirme sonuçları

STEREO SAR					
Arazi	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Ortalama hata (m)	Piksel sayısı
Düz I	5.86	-8.62	40.95	6.49	313344
Düz II	5.58	-19.75	32.45	2.29	224237
Düz III	7.15	-22.98	26.54	0.18	266474
Düz IV	8.46	-11.44	58.36	7.49	190000
Düz V	12.09	-7.97	55.72	12.98	286195
Eğimli I	19.37	-37.50	112.97	20.51	210152
Eğimli II	21.81	-87.08	91.36	11.73	210357
Eğimli III	23.38	-34.64	116.51	25.36	164024
Eğimli IV	26.65	-110.61	141.13	2.53	210162
Eğimli V	27.30	-42.59	163.63	54.41	197316
Dağlık I	42.45	-125.43	275.13	27.18	229437
Dağlık II	43.23	-128.65	172.75	6.14	227156
Dağlık III	54.91	-158.58	260.50	58.57	210152
Dağlık IV	57.76	-111.55	196.05	40.48	148596
Dağlık V	66.88	-205.81	244.55	28.18	311148

Stereo SAR görüntüsünden oluşturulan SYM'nin aksine interferometrik SYM'nin doğruluğu, düz alanlarda faz belirsizliğinin giderilememesi nedeniyle düşüktür. Pek çok bölgede SYM elde edilememiştir. Çizelge 4.11 ve 4.12 de ki eğimli ve dağlık araziye ait standart sapmalar stereo SYM'nin interferometrik SYM den biraz daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.11 ve 4.12 de görüldüğü üzere dağlık alanlarda interferometrik değerler stereo SAR dan üretilen değerlere göre daha iyidir. Buna karşın interferometrik görüntülerden düz alanlara ait uyumluluk görüntüsü ve interferogram üretilemediği için yine düz alanlarda SYM üretilmemiştir.

Çizelge 4.12 İnterferometrik SAR değerlendirme sonuçları

İNTERFEROMETRİK					
Arazi	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Ortalama hata (m)	Piksel sayısı
Eğimli I	20.05	-74.43	70.87	7.83	15376
Eğimli II	24.85	-246.84	120.14	-38.42	30381
Eğimli III	25.32	-118.16	72.87	-11.49	28980
Eğimli IV	28.48	-43.79	201.20	56.24	27048
Eğimli V	31.81	-215.55	33.77	-95.58	44935
Dağlık I	37.81	-58.69	176.37	62.96	31980
Dağlık II	38.08	-131.09	122.81	25.80	25670
Dağlık III	40.68	-82.35	156.91	35.07	34126
Dağlık IV	51.74	-150.38	293.53	15.92	95082
Dağlık V	57.39	-298.49	40.91	-119.61	74500

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SAR Görüntüsünden Üretilen İnterferometrik ve Stereo SYM Kalitesinin İncelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında,

- İnterferometrik ve Stereo SYM üretme adımları belirtilmiş
- Doğruluğu etkileyen parametreler incelenmiş,
- SYM doğruluğunun arttırılmasına yönelik denemeler yapılmıştır.

Bu çalışmada, uzaktan algılama tekniğinin aktif sistem içinde yer alan ve uzaktan algılamada kullanılan en uzun dalga boyuna (1mm.-1m.) sahip EM spektrumun mikrodalga bölgesinde bulunan yapay açıklıklı radar (SAR) görüntüsünden üretilen SYM'lerin doğruluk analizi yapılmıştır. Bunun için stereo SAR görüntüleri ile stereo yöntem kullanılarak üretilen SYM ile aynı bölgeye ait interferometrik SAR görüntülerinden üretilen SYM karşılaştırılmış ve üretilen verilerin doğruluğu araştırılmıştır.

Çalışma bölgesi olarak Edremit Havzası seçilmiştir. Stereo değerlendirme için, genlik bilgisine sahip SGF formatındaki fine beam modunda (F1-F5) alınan RADARSAT görüntüleri kullanılırken, interferometrik değerlendirme için genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahip olan SLC formatındaki fine beam modunda (F1-F1) alınan RADARSAT görüntüleri kullanılmıştır.

Literatür araştırması, InSAR tekniğinin düz alanlarda, dağlık alanlara göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Ancak stereo SAR tekniği InSAR tekniğinin aksine özellikle eğimli alanlarda düz alanlardan daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmada kullanılan verilerin yetersizliği nedeniyle literatür araştırmasının aksine InSAR tekniği ile düz alanlarda üretilen SYM'nin doğruluğu, stereo SAR tekniği ile üretilen SYM doğruluğundan düşük olmuştur. Bunun nedeni ise InSAR verilerinin alım tarihleri arasında 24 günlük fark nedeni ile düz alanlarda düşük uyumluluk değerlerinin elde edilmesidir. Bu düşük değerlerin elde edilme sebebi ise tarım alanlarının bu düz alanlarda yer almasıdır. 24 günlük zaman diliminde ekili alanlardaki hasat nedeni ile yeryüzü karakteristikleri değişmiştir.

Her iki yöntemde de dağ tepeleri, nehirler ve yol gibi arazi yapısına ait temel özellikler gözlemlenebilmektedir. Stereo ve InSAR tekniğinde düzlük alanlara ait topoğrafik özellikler daha azdır. Burada stereo teknik, düz alanlar için interferometrik yöntemle tercih edilebilir.

İnterferometrik ve stereo yöntemde yer kontrol noktaları, SYM' nin kalitesini artıran bir

etkendir. Ortorektifiye edilmiş SAR görüntüleri ve 1/25.000 ölçekli harita kullanılarak YKN ları tespit edilmiş ve iki yöntemde genel olarak tüm görüntüye homojen şekilde dağılmasına özen gösterilmiştir. İnterferometrik SAR verisinden üretilen SYM' nin kalitesinin YKN kullanarak artırılması sağlanmıştır. Ancak uyumluluk değerinin düşük olduğu bölgelerde SYM oluşturulamamıştır, bu nedenle görüntünün bütünü yerine parça parça alınmış farklı arazi tipleri incelenmiştir. Her iki teknik ile elde edilen SYM üzerinden rastgele beşer uygulama alanı seçilerek farklı arazi türleri için analiz yapılmıştır. Stereo hata modelinden düzlük, eğimli ve dağlık bölgeler, interferometrik modelde ise düzlük alanlarda SYM üretilemediği için analiz sadece eğimli ve dağlık bölgeler ele alınarak yapılmıştır.

İncelenen bölgelerden stereo görüntüdeki düz alanlar iyi sonuç verirken, standart sapmanın en düşük ve en büyük olduğu değerler sırasıyla 5.58 m, 12.09 m dir. Eğimli arazi için 19.37 m, 27.30 m, dağlık arazi için ise 42.45 m. ve 66.88 m. değerleri bulunmuştur.

İnterferometrik görüntüde ise düz alanlarda SYM oluşmamaktadır. Eğimli ve dağlık bölgelerde daha iyi sonuç veren interferometrik SYM' de standart sapmaların en yüksek ve en düşük olduğu değerler sırasıyla; 20.05 m., 31.81 m. ve 37.81m., 57.39. m. dir.

İnterferometrik görüntülerden doğru değerlerde SYM üretmek için görüntüler arasındaki korelasyonun (coherence görüntü değerlerinin) çok iyi olması gerekmektedir. Ayrıca görüntüler arasında zaman farkı olduğu için yüzeye ait nesne değişiminin minimum olmasına dikkat edilmelidir. Bunun için görüntü çiftinin TANDEM olarak alınması daha anlamlı olacaktır, ya da bir çift yerine aynı bölgeye ait daha fazla görüntü çifti değerlendirilmelidir.

Çalışmada üretilen interferometrik değerler yeterli nitelikte değildir, çözünürlüğü daha yüksek, daha kısa sürede aynı bölgeden geçen uyduların ve yeni TANDEM görüntüler ile yüksek çözünürlükte ve doğru sayısal yükseklik modellerinin elde edilmesi mümkündür. Radarsat-2, ALOS/PALSAR, TerraSAR gibi yeni yüksek çözünürlüklü SAR uyduları ile yüksek doğruluklu sayısal yükseklik modellerinin üretilmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Alparslan, E. ve Aydöner, C., (2004), “Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfı Bilgilerinin Topoğrafya Bilgileriyle Birlikte Analizi: Kocaeli İli Uygulaması”, 3. CBS Bilişim Günleri, 06-09 Ekim 2004.
- Askne, J. ve Hagberg, J. O., (1993), “Potential of Interferometric SAR for classification of Land Surfaces”, IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing Symposium IGARRS’93, Vol.3, 985-987.
- Avdan, U., (2005), ERS-2 Verisi ile Eskişehir Yerleşim Bölgesinin Kentsel Gelişiminin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Eskişehir.
- Baghdadi, N., Cavelier, S., Chiles, J.-P., Bourguin, B., Toutin, TH, King, C., Daniels, P., Perri, J. and Truffert, C., (2005), “Merging of Airborne Elevation Data and Radarsat Data to Develop a Digital Elevation Model”, International Journal of Remote Sensing Vol. 26, No. 1, 10 January 2005, 141–166.
- Balık Şanlı, F., (2004), Elektro-optik ve SAR Uydu Görüntüleri ile Arazi Bitki Örtüsünün Belirlenmesi, Doktora tezi, YTÜ İstanbul.
- Balık Şanlı, F. ve Abdikan, S., (2006), “Comparing a Stereoscopic DEM with an Interferometric DEM Using the Same Radarsat Data Pair”, ISPRS Mid-term Symposium From Pixels to Processes 08-11 May 2006, Enschede, The Netherlands.
- Bamler, R. and Hartl, P., (1998), “Synthetic Aperture Radar Interferometry”, Inverse Problems 14, R1-R54.
- Bechor, B. D. ve Zebker, H., (2006), “Measuring Two-dimensional Movements Using a Single InSAR Pair”, Geophysical Research Letters, Vol. 33, L16311, doi:10.1029/2006 GL026883, 2006.
- Briole, P, Massonnet, D, and Delacourt, C, (1997), “Post-eruptive Deformation Associated with the 1986-87 and 1989 Lava Flows of Etna Detected by Radar Interferometry”, Geophysical Research Letters, 24, No 1, 37-40.
- Çakır, Z., (2003), “Analysis of the Crustal Deformation Caused by the 1999 İzmit and Düzce Earthquakes Using Synthetic Aperture Radar Interferometry”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ İstanbul
- Domik, G., (1983), Evaluation of Radar Stereo Viewability by Means of Simulation Techniques” in IGARSS, Paris, France, ESA-SP-215, 623-646.
- Engdahl, M. E., (1998), “ERS-1/2 Tandem Interferometric Investigations in Agriculture and Forestry.” Land and Surface Unit, Earth Sciences Division in ESA/ESTEC,
- Erten, E., (2005), “RADARSAT Görüntü Çiftleri ile İnterferometri Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Enstitüsü, İTÜ İstanbul.
- Franceschetti, G.ve Lanari, R., (1999), Synthetic Aperture RADAR Processing, CRC Press, New York, USA.
- Fruneau, B., Achache, J. and Delacourt, C., (1996), “Observation and Modelling of The Saint-Etienne de Tinee Landslide Using SAR Interferometry”, Tectonophysics, 265 Nos.3-4, 181-190.

- Fullerton, J. K., Leberl, F. W., ve Marque, E. R., (1986), "Opposite Side SAR Image Processing for Stereo Viewing", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 52, No.9, 1487-1498, September.
- Ge, L., Chang, H.C., Rizos, C., Trinder, J., (2004), "Multipass Differential Radar Interferometry With the aid of GIS", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
- Gens, R. and Van Genderen, J.L., (1996), "Review Article Sar Interferometry-Issues, Technies, Applications", Internatinal Journal of Remote Sensing, Vol. 17, No.10, 1803-1835, 1996.
- Goldstein, R, Engelhardt, H., Kamb, B. and Frolich, R., (1993), "Satellite Radar Interferometry for Monitoring Ice Sheet Motion: Application to an Antarctic Ice Stream", Science, 262, 1525-1530.
- Graham, L. C., (1974), "Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping", Proceeding of the IEEE, Vol.62, No.6,763-768, June 1974.
- Gray, A.L. ve Farris, P.J, (1993), "Repeat-pass Interferometry with Airborne Synthetic Aperture Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.31, 180-191."
- Hanssen, R., (2001), Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Hannsen, R., Kampes, B. ve Marincovic, P., (2005), "Satellite Radar Interferometry", Lecture at the Summer School METU 4-7 July 2005, Ankara.
- Helmut, R., (2006), "Landslide Characteristics and Observations", Lecture at the Summer School Alpach 2006.
- Hein, A., (2004), Processing of SAR Data : Fundamentals, Signal Processing, Interferometry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Hussin, Y., (2005), "Advanced RS, Image Processing and GIS for NRM", Lecture at ITC, Enschede, The Netherlands.
- Huurneman, G., (2004), "SAR Interferometry" ITC Course notes, Enschede, The Netherlands.
- Jacobsen, K., (2003), "Dem Generation From Satellite Data", 23rd EARSeL Symposium Remote Sensing in Transition, 2 – 5 June 2003, Ghent, Belgium.
- Kaup, V., Bridges, L., Pissarick, M., Macdonald, H. ve Waite, W., (1983). "Simulation of Spaceborne Stereo Radar Imagery: experimental results", IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing GE-21 400-405.
- Kianicka, J., (2005), "Radar Interferometry Used for Detection of Landslides and Subsidence in the Northern Bohemia Brown Coal Basin", Doctor of Philosophy research, Laboratory of Remote Sensing Department of Mapping and Cartography CTU Prague, Faculty of Civil Engineering, Czech Republic.
- Kyurazi, J. K., (2005), "Quality Assessment of DEM From Radargrammetry Data", Master of Science in Geoinformatics, International Institute, for Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Liao, M., Jiang, L., Lin, H. ve Li D., (2005), "Urban Change Detection Using Coherence and

Intensity Characteristics of Multi-temporal ERS-1/2 Imagery”, Fringe 2005 Workshop, Frascati, Italy.

La Prade, G. L. (1970), “Subjective Considerations for Stereo Radar”, in Proc.36th. Annual Meeting Am. Soc. Photogrammetry, Washington DC, 640-651, March 1-6, 1970.

Leberl, F., Domik, G., Raggam, H. ve Kobrick, J. M., (1986), “Radar Stereo Mapping Techniques and Applications to SIR-B Images of Mt. Shasta”, IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, Vol.24, No.4, 473-481, July 1986.

Lee, J. S., Grunes, M.R., Ainsworth, T., Hajnsek, I., Mette, T., and Papathanassiou K.P., “Forest Classification Based on L-Band Polarimetric and Interferometric SAR Data”, ESA 2nd PolInSAR workshop, Frascati, Italy, 17-21 January 2005

Lillesand, T. M. ve Kiefer R. W., (2000), Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley and Sons, Inc., USA.

Lohr U., (2006), “Airborne LIDAR History and Technical Strategies-An Overview” LIDAR Workshop, 7-9 November 2006, İstanbul.

Manzo, M., Ricciardi, G.P., Casu, F., Ventura, G., Zeni, G., Borgstrom, S., Berardino, P., Del Gaudio, C., Lanari, R., (2006), “Surface Deformation Analysis in The Ischia Island (Italy) Based on Spaceborne Radar Interferometry”, Journal of Volcanology and Geothermal Research 151 (2006) 399–416.

Marra, M., Maurice, K. E., Ghiglia, C. D. ve Frick, G. H., (1998), “Automated DEM Extraction Using RADARSAT ScanSAR Stereo Data”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '98., 1998.

Massonnet, D, Rossi, M, Carmonia, C, Adragna, F, Peltzer, G, Feigl, K and Rabaute, T, (1993) , “The Displacement of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry”, Nature, 364, 138-142.

Massonnet, D., Feigl, K.L., (1998), "Radar Interferometry and its Application to Changes in the Earth Surface", Reviews of Geophysics Vol. 36, Number 4, November 1998, pages 441-500.

Nikolakopoulos, K. G. ve Lathourakis, G., (2005), “Along the Track vs Across the Track Satellite Stereo-pair for DTM Creation”, IEEE.

Ouarzeddine, M. (2002), Generation of Digital Terrain Models Using Polarimetric SAR Interferometry, Master of Science in Geoinformatics, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

Peng, X., Wang, J. ve Zhang, Q., (2005), “Deriving Terrain and Textural Information From Stereo RADARSAT Data for Mountainous Land Cover Mapping”, International Journal of Remote Sensing Vol. 26, No. 22, 20 November 2005, 5029–5049.

Ristau, J. P., (1999), “Applications of Synthetic Aperture Radar Interferometry in the Study of the Nahanni Earthquake Region”, Master of Science (M. Sc.) in Geophysics, Department of Geological Sciences University of Manitoba, Winnipeg – Manitoba.

Rosenfield, G. H., (1968), “Stereo Radar Techniques, Photogrammetric Engineering”, Vol 34, 586-594.

Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, Ian R., Li, K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., Goldstein,

R.M., (2000), "Synthetic Aperture Radar Interferometry", Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 3, March 2000.

Rumsey, H. C., Morris, G. A., Green, R. R. ve Goldstein, R. M., (1974), "A Radar Brightness and Altitude Image of a Portion of Venus", Icarus, Vol.23, 1-7.

Sarti, F., (2005), "SAR Interferometry", Lecture at the ISPRS WG VI/5 Summer School, 16-25 June 2005, İTÜ, İstanbul.

Small, D., (1998), Generation of Digital Elevation Models through Spaceborne SAR Interferometry, Remote Sensing Laboratories Department of Geography University of Zurich, Switzerland, Remote Sensing Series Vol.30, 1998.

Squarizoni, C., Delacourt, C., Allemand, P., (2003), "Nine Years of Spatial and Temporal Evolution of the La Valette Landslide Observed by SAR Interferometry", Engineering Geology 68 53–66, 2003

Toutin, Th., (1996), "Opposite Side ERS-I SAR Stereo Mapping over Rolling Topography", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 34, No. 2, March 1996.

Toutin, Th., (1998), "Evaluating RADARSAT Stereoscopic Pairs for DEM Generation".

Toutin, Th., (1999) "Error Tracking of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 37, No. 5, pp. 2227-2238.

Toutin, Th., (2000), "Evaluation of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images in High Relief Areas", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, No. 2, March 2000.

Werner, C., Hensley, S., Goldstein, R.M., Rosen, P.A., Zebker, H.A., (1992) "Techniques and applications of SAR interferometry for ERS-1: Topographic mapping, change detection, and slope measurement", Proc. First ERS-1 Symp., Cannes, 4-6 November 1992, 205-210.

Zebker, H. A. ve Goldstein, R. M., (1986), "Topographic mapping from interferometer SAR observations", Journal of Geophysical Research, Vol. 91,No.B5, 4993-5000, April 1986.

Zebker, H. A, Werner, C. L, Rosen, P.A and Hensley S, (1994), "Accuracy of Topographic Maps Derived from ERS-1 Interferometric Radar", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32 No. 4, 823-836.

Internet Kaynakları

[1] <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

[2] <http://www.earth.esa.int>

[3] <http://www.epsilon.nought.de>

[4] <http://www.sagres.itu.edu.tr>

[5] <http://www.profc.udec.cl/~gabriel/tutorials>

[6] <http://www.geo.unizh.ch/rs1/research/SARLab/>

[7] <http://www.rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html>

[8] <http://www.stanford.edu/group/radar/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.07.1981	
Doğum yeri	Turhal	
Lise	1991-1999	Milas Anadolu Lisesi (Milas/Muğla)
Lisans	1999-2004	Yıldız Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2004-2005	İki Nokta Grubu Ltd Şti.
2005-Devam ediyor	YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi