

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSAR TEKNOLOJİSİ VE İNSAR VERİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
AÇIK KAYNAK KODLU YAZILIMLARIN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Adil Enis ARSLAN**

Anabilim Dalı : Geomatik Mühendisliği

Programı : Geomatik Programı

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSAR TEKNOLOJİSİ VE İNSAR VERİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
AÇIK KAYNAK KODLU YAZILIMLARIN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Adil Enis ARSLAN
(501081601)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ergin TARI (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.. Dr. Halil ERKAYA (YTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Şinasi KAYA (İTÜ)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında yardımlarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Ergin TARI'ya, çalışmamın ilerlemesine yaptığı katkılardan dolayı Araş. Gör Uğur ALTIN'a, Doç. Dr Elif SERTEL'e, Arş. Gör. Orkan ÖZCAN'a ve çalışmam süresince bana destek olan aileme, babam ve hocam Doç. Dr. Ersoy ARSLAN'a, dostlarıma ve tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2011

Adil Enis ARSLAN

(Geomatik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. RADAR TEKNOLOJİSİ VE INSAR.....	3
2.1 Radar Tarihçe	3
2.2 InSAR.....	5
2.2.1 Temel çalışma esasları	7
2.3 Temel Terimler	14
2.3.1 Menzil çözünürlüğü	14
2.3.2 Azimut çözünürlüğü	14
2.4 Geometrik Altyapı	15
3. FONKSİYONEL MODEL	21
4. STOKASTİK MODEL	23
4.1 Faz Doğruluğu	23
4.1.1 Sistem gürültüsü	24
4.1.2 Zamana bağlı mekân uyumsuzluğu	24
4.2 Yörünge Doğruluğu	24
4.3 Yayılım Etkileri (Atmosfer Etkileri).....	24
4.3.1 Troposferik su buharı	25
4.3.2 İyonosfer	25
5. SAR ALICILARI	27
5.1 ERS-1 ve ERS 2 SAR	27
5.2 JERS-1 SAR	29
5.3 RADARSAT-1	30
5.4 SRTM	30
5.5 ENVISAT ASAR ENVISAT	31
5.6 RADARSAT-2	32
5.7 ALOS PALSAR	33
5.8 TerraSAR-X	34
5.9 Cosmos SkyMed	34
5.10 SENTINEL-1	35
6. HATA KAYNAKLARI VE DOĞRULUK KRİTERLERİ	37
6.1 İnterferometrinin Genel Karakteristikleri ve Sınırlamaları	37
6.2 İstatistiki Hatalar	38
6.2.1 Isıl gürültü	38
6.2.2 Sayım gürültüsü	38
6.2.3 Baz (geometrik) uyumsuzluğu	38

6.2.4 Hacimsel uyumsuzluk	38
6.3 Sistematik Hatalar	39
6.4 Veriye Bağlı Hatalar	39
6.4.1 Ölçme yöntemi hataları	40
6.4.2 Veri boşlukları	41
6.4.2.1 Topografya etkileri	41
Kısalma (Foreshortening)	41
Eğilim (Layover)	42
Gölge (Shadow)	42
7. SAR VERİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN	
YAZILIMLAR	43
7.1 Açık Kaynaklı Yazılımlar	43
7.1.1 ROI_PAC	43
7.1.2 DORIS	44
7.1.3 NEST (The Next ESA SAR Toolbox)	44
7.2 Ticari Yazılımlar	46
8. UYGULAMA	47
8.1 Uygulama Bölgesi	47
8.2 Uygulamada Kullanılan ROI_PAC Yazılımının Kurulumu	47
8.2.1 Uygulama dosyalarının oluşturulması	48
8.2.2 Uygulama dosyalarının yüklenmesi	50
8.2.3 SAR_CONFIG dosyasının düzenlenmesi	50
8.2.4 Perl adreslerinin tanıtılması	51
8.2.5 Girdi dosyaları ve dosyaların genel yapısı	52
8.3 Dosya Yönetimi ve İşlenmesi	52
8.3.1 make_raw.pl komutu	54
8.3.2 Parametre Dosyasının Oluşturulması	55
8.3.3 process_2pass.pl	55
8.4 Çıktı Dosyaları	56
9. ROI_PAC VERİSİNİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN	
YAZILIMLAR	59
9.1 MDX	59
9.2 ArcGIS ve ArcMap	59
9.3 IDL	60
9.4 DGX	60
9.5 RoiView	60
10. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	67

KISALTMALAR

ALOS	: Advanced Land Observation Satellite
DGX	: Data Graphics X
DORIS	: Delft Object Oriented Radar Interferometry Software
ESA	: European Space Agency
InSAR	: SAR Interferometry SAR girişim ölçümü
JERS	: Japanese Earth Resources Satellite
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
PRISM	: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
ROI_PAC	: Repeat Orbit Interferometry Package
SAR	: Synthetic Aperture Radar (Yapay Açıklıklı Radar)
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Radar teknolojisinde önemli tarihler.....	6
Çizelge 6.1: Çizelge 6.1 İnterferometride hata kaynakları.....	37
Çizelge 8.1: Görüntü adlandırma sistematığı.....	53
Çizelge 8.2: Çıktı dosyalarının detayları	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Eğik menzil ve faz farkı	8
Şekil 2.2: Sıfır Bazlı SAR interferometrisin	9
Şekil 2.3: SLAR; Yan Bakılı Havai Radar	10
Şekil 2.4: Temsili SRTM anten sistemi	11
Şekil 2.5: Tekrar geçişli sistem	12
Şekil 2.6: “Tandem” uydu sistemi	13
Şekil 2.7: TanDEM X ve burğu yörünge sistemi	13
Şekil 2.8: Menzil çözünürlüğünün geometrik yapısı	14
Şekil 2.9: Azimut çözünürlüğünün geometrik yapısı	15
Şekil 2.10: Gidiş yönünde dik InSAR ın geometrisi.	16
Şekil 2.11: Radyo Dalgalarının karmaşık olarak ifadesi	17
Şekil 2.12:Faz ve saçak oluşumu ilişkisi	19
Şekil 3.1: SAR interferometrisinde gerekli veri türleri ve miktarları	22
Şekil 5.1: ERS uydusunun temsili resmi	28
Şekil 5.2: JERS-1 temsili resim	29
Şekil 5.3: RADARSAT – 1	30
Şekil 5.4: SRTM temsili resim	31
Şekil 5.5: Envisat tarama şeması	32
Şekil 5.6: RADARSAT-2	32
Şekil 5.7: ALOS Temsili resmi	33
Şekil 5.8: Terrasar X illüstrasyonu	34
Şekil 5.9: COSMO-SkyMed Uydu dağılım şeması	35
Şekil 6.1: Kısılma	41
Şekil 6.2: Eğilim	42
Şekil 6.3: Gölge	42
Şekil 7.1: ROI_PAC işlem şeması	45
Şekil 8.1: Çalışma alanı google earth görüntüsü	47
Şekil 10.1: Bölgenin yere referanslanmamış sargılı interferogramı	62
Şekil 10.2:Bölgenin Kuzeybatı köşesi	62
Şekil 10.3:Bölgenin Güneybatı Köşesi	63
Şekil 10.4: Bölgenin Güneydoğu köşesi	63
Şekil 10.5: Bölgeden Çıkan Son, yer referanslı, filtrelenmiş, faz sargısı açılmış, diferansiyel interferogram	64
Şekil 10.6: Çankırı Orta ilçesi Depremi ve Deformasyon bölgesi	64

INSAR TEKNOLOJİSİ VE İNSAR VERİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE AÇIK KAYNAK KODLU YAZILIMLARIN KULLANILMASI

ÖZET

Gelişen Radar teknolojisi Uzaktan algılama bilimi alanında hızla önem kazanmakta ve dikkat çeken bir algılama yöntemi haline gelmeye devam etmektedir, özellikle uzay ve havacılık firmalarındaki hızlı özelleşme eğilimi dikkatlerin bu sektöre daha fazla çekilmesine neden olmuştur; artan bu talep karşısında oluşan talebe Radar teknolojisindeki giderek artan hızla cevap vermektedir. Gerek yazılım gerek donanım alanında yaşanan bu gelişmeleri takip edebilmek için InSAR alanında çalışmak isteyen kişilere temel bilgilerle birlikte seçilen örnek bir alanda yapılan temel seviyedeki bir uygulama, bu uygulamaya yönelik yöntem ve elde edilen bilgilerin aktarılmasına çalışılması bu Tez çalışmasının ana konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada elde edilen ve aktarılacak istenen bilgiler kullanıcıların ve InSAR alanında çalışmaya başlamak isteyenlerin Genel Kamu Lisanslı yazılımları kullanarak bu verileri nasıl inceleyebileceğini, Radar teknolojisi ve dinamiklerinin temellerini kavramasını sağlamaya yönelik bir seviyede tutulmuştur. Bu amaçla Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Ilgaz dağları yakınındaki bir bölge örnek çalışma alanı olarak seçilmiş ve bölgeye ilişkin veriler Linux işletim sisteminde ROI_PAC programında değerlendirilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Yorumlanan sonuçlar ile bölgede elde olan verilerin verdiği deformasyon bölgesinin çok yakınında bulunan Çankırı Orta ilçesinde, incelenen verilerden yardımcı verinin algılanma tarihinden sonra, 2000 yılında bir deprem meydana gelmiş olması durumu araştırmanın yönünün bölgede meydana gelen deformasyonla, Kuzey Anadolu Fay Hattında (KAF) meydana gelen bu depremin ilişkilendirilmesine dönmesine neden olmuştur.

INSAR TECHNOLOGY AND INTERPRETATION OF INSAR DATA BY USING OPEN SOURCE CODE SOFTWARE

SUMMARY

Developing Radar technology is rapidly improving its importance in Remote Sensing science. This develops an attention towards the aspects of Radar imaging. Especially the commercialization trend on Aerospace companies and Governments' leaning doing business with these companies improved the demand on this sector. This thesis work is aimed to be a guide for people who want to follow the rapid improvements , both software and hardware-wise, on this field and to work on InSAR technology, this work aims to be starting point to understand the working principles of InSAR and how to interpret its data by using General Public License Tools. To achieve this goal a sample area has been chosen on Northern Anatolian Fault Zone and the data has been processed in Linux with ROI_PAC Software and the results are interpreted. The Results have proven a significant deformation on the area near the North Anatolian Fault Zone (NAF), and the Earthquake which took place in Çankırı, Orta on 2000 directed the research to investigate any possible relation between the deformation on the area and the Earthquake within the close vicinity, The effect of the Deformation to the Fault zone and the Earthquake are yet to be proven awaiting further Research.

1 . GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı SAR interferometrisi alanında yapılmakta olan çalışmaların, açık kaynak kodlu programlar yardımıyla yürütülmesi sürecini inceleyerek, bu konuda çalışma yapmak isteyenler için temel düzeyde bilgileri bir uygulama örneği ile birlikte aktarmaktır. Çalışmada SAR (Synthetic Aperture Radar; Yapay Açıklıklı Radar) interferometrisine yönelik teorik ve pratik bilgiler irdelenmiş olup kullanıcılara bilgi vermesi yönünden teorik altyapı ve formüller yine temel düzeyde tutulmuştur. Çalışmada, kullanılan ROI_PAC 3.01 yazılımının çalışma esasları kurulum aşamaları, kurulum sırasında ve veri işleme sırasında karşılaşılabilen sorunlar ve çözüm önerileri belirtilmiş ve örnek bir çalışma alanı seçilerek bu alana ilişkin 11.06.1993 ve 10.05.1999 tarihli görüntülerle örnek bir çalışma yapılarak bu çalışmanın sonuçları irdelenmiştir.

2 . RADAR TEKNOLOJİSİ VE INSAR

2.1 Radar Tarihçe

Radar (Radio Detection and Ranging) hem bir cihazı hem de bir tekniği tanımlamaktadır. Radar cihazları radyo ve mikrodalga bölgesinde dalgalar yayarak bu dalgaların görüş alanındaki cisimlerden geri dönen yansımalarını algılar. Radar tekniğinde sinyalin gidiş ve dönüş zamanı kullanılarak cisme olan mesafe geri yansıtımın şiddeti kullanılarak da cismin boyutu ve yüzey durumu gibi özellikleri algılanmaktadır (Hanssen, 2001). Algılama için kullanılan iki farklı teknikte; Monostatik Radarlar hem verici hem de alıcı olarak aynı anteni kullanmaktadır, Bistatik radarlarda ise alıcı ve verici antenlerin fiziksel olarak ayrılmış olması durumu söz konusudur (Skolnik, 1981). Radar teknolojisinin gelişiminde iki buluşun çok önemli role sahip olduğu söylenebilir bunlardan birincisi Hanssen 2001’de de belirtildiği gibi Maxwell’in 1873’te elektromanyetizma üzerine geliştirdiği denklemler ve ikincisi ise Hertz’in 1886 yılındaki deneyleri olarak nitelendirilebilir. Hertz bilinen ilk radyo dalgalarını üretmiş ve algılamış ve yine bu dalgaların yansıtım veya yayılım gibi yasalara tabi olduğunu keşfetmiştir (Hanssen, 2001). Gemi izlenmesi ve çarpışmaların önlenmesi amacıyla ilk radar sistemlerinin geliştirilmesi 1903 yılına kadar dayansa da İkinci Dünya Savaşı öncesi askeri öngörülere dayanan araştırma geliştirme çalışmalarıyla radarın gelişim hızında büyük bir artış olmuştur (Curlander ve McDonough, 1991). Temelde bütün radar teknolojisinin gelişimi bu yıllarda yapılan buluşlar zincirine dayandırılabilir ancak askeri alanda yapılan araştırmaların bu teknolojinin gelişiminde başı çektiği göz ardı edilmemelidir. Oluşan bu genç teknoloji askeri amacının yanı sıra kısa bir süre içerisinde sivil ve bilimsel alanda da hızlı bir gelişim göstermiştir. Dünya tabanlı radarlar gök cisimlerinin incelenmesi ve radyo astronomi, yani radyo dalgası yayan gök cisimlerinin incelenmesi ([URL-30]) alanında çok hızlı bir şekilde kendisini kanıtlamıştır ve Ocak 1946 da Ay’dan ilk radar yansıması alınmıştır (Hanssen, 2001). Yine radyo astronomi antenleri aracılığıyla Venüs ve Mars’dan 1961 ve 1963 yıllarında radar algılamaları yapılmıştır (Hanssen, 2001). Bu gözlemler sayesinde

gezegenlerin yapıları ve hızları hakkında bilgilere ve Astronomik Birim'in (au) iyileştirilmesi gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü bünyesindeki Jet laboratuvarlarında radar sistemlerinin uzaya çıkarılması çalışmaları 1962 yılında başlamış olup program Apollo 17 ile ilk başarısını yakalamış ve izleyen yıllarda Skylab (1973), GEOS -3 (1975) gibi örneklerle başarısını devam ettirmiştir. Venüs ilk olarak Pioneer 1 üzerindeki bir radar tarafından 50km'lik bir uzaysal çözünürlüğe rağmen yaklaşık 300m'lik bir hassasiyet ile haritalanmıştır, devamında Curlander 1991'de de belirtildiği gibi Sovyet yapımı "Venera 15" ve "Venera 16" bu çözünürlüğü 2 km'ye kadar yükseltmiştir (Curlander ve McDonough, 1991).

Radar sistemlerinin özelleşmiş bir sınıfı sayılan görüntüleme radarları SLR (Side Looking Radar: Yan Bakılı Radar) veya SLAR (Side Looking Airborne Radar: Havai Yan Bakılı Radar) ve daha sonra geliştirilen SAR (Synthetic Aperture Radar: Yapay Açıklıklı Radar) ile radarların yana bakan geometrisi sayesinde menzil hassasiyeti artmış ve gereksiz yansımalar azalmıştır. İlk SLAR'lar yayılan ve geri alınan dalga formlarının herhangi bir kayıt ortamında tutulmadığı uyumsuz radarlardı. (Hanssen 2001). Bu radarlarda uçuş yönündeki çözünürlük fiziksel olarak uzun bir anten aracılığıyla sağlanmaktaydı (RAR: Real Aperture Radar; Gerçek Açıklıklı Radar). Fiziksel antenlerin sınırlamaları nedeniyle; uçuş yönünde, artan uçuş yüksekliği ile düşen bir çözünürlük durumu olmasına sebep oluyordu.

Frekans (faz) bilgisinin radar sinyalinin gidiş yönündeki spektrumunda, antendeki iki yayımcının ayırt edilmesinde kullanılmasının 1951 yılında Carl Wiley'nin büyük katkılarıyla bulunduğu bilinmektedir (Curlander ve McDonough, 1991). 1950'li ve 1960'lı yıllarda ABD deki radar alanındaki gelişmeler Sentetik (Yapay) Açıklıklı Radar'ın oluşumunda büyük rol oynamıştır, bu gelişmelerdeki anahtar olgu ise "coherent" yani uyumlu radarın oluşturulma çabasıdır. Bu radar türünde faz ve sinyal şiddeti daha sonraki veri işleme adımlarında kullanılmak üzere depolanmaya başlanmıştır, bunun yanı sıra faz davranışı radarın sinyali gönderme ve alması sırasında sabitlenmiştir (Hanssen, 2001). Sonuç olarak fiziksel olarak oluşturulması veya hava aracı tarafından taşınması mümkün olmayan bir anten saklanan faz ve sinyal şiddeti bilgileri ve hareketli bir anten kullanarak oluşturulmuştur. Bu yöntem sayesinde azimut çözünürlüğünde gözle görülür bir artışa imkân vermiştir (Hanssen, 2001). Bu gelişmelerin ardında daha önce optik mekanik yöntemlerle yapılmakta olan uzaktan algılama çalışmaları bulut veya aydınlanma gibi sınırlamaları olan

görünür ve yakın kızılötesi bandından, mikro dalga bandına kadar yayılarak büyük bir esneklik kazanmıştır.

2.2 InSAR

1978 yılında SEASAT'ın fırlatılmasıyla SAR uyduları Dünya'nın uzaktan algılanmasında büyük rol almaya başladılar (McCandless ve Jackson 2004). SAR uyduları önceki görevlerde dünyanın haritalanması ve topografya, morfoloji, geri yansıtımda bulunan yüzeyin yansıtım katsayısı gibi toplanması çeşitlilikleri açısından zorluk barındıran fiziksel verilerin toplanmasında güvenilirliğini kanıtlamışlardır (Bamler, 1997). Mikrodalga bandında çalışıyor olmaları bu uydulara daha önceki bölümde bahsedilen avantajların yanı sıra pek çoğunu daha sağlamaktadır, kendi aydınlatma kaynağına sahip olan bu sistemler herhangi bir zamanda herhangi bir yerden bilgi toplayabilme avantajına sahiptir ve bu avantaj hava durumu ve güneşin aydınlatmasından neredeyse tamamen bağımsızdır. Bu özelliği SAR uydularına öncelikle, bulutlu olup açık görüşün çok olmadığı başta tropik bölgeler ve senenin büyük kısmını güneş aydınlanması olmadan geçiren kutup bölgeleri gibi bölgelerin izlenmesinde büyük avantaj sağlamaktadır. SAR uyduları atım sıkıştırma, yan bakılı geometri ve sentetik açıklık gibi yöntemler sayesinde metre altı hatta desimetre altı hassasiyetlere ulaşabilmektedir ancak bunun karşılığında SAR sistemleri yüksek güç isteyen sistemlerdir (Bamler, 1997). Bu durumun yanı sıra, optik görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, çok büyük miktarda sinyal işlenmesine gerek olması ve alışılmışın dışındaki resim geometrisi de kullanıcıya işlem yükü getirmesi bakımından dezavantajlarından sayılabilir. SAR teknolojisi ve buna bağlı uygulamalar 1950 yılında Goodyear Uçak firmasından Carl Wiley'nin; yansıtım yapan objenin (radar ışını tarafından doğrusal olarak ölçülen) güzergâh üzeri koordinatı ile radara cisim tarafından yansıtılan sinyaldeki doppler kayması arasında birebir ilişki olduğunu gözlemlemesiyle büyük bir aşama kaydetti. Wiley yansıyan sinyaller üzerinde yapılacak bir frekans analizinin sinyalin fiziksel genişliğinin izin verdiğinden daha iyi bir güzergâh boyu çözünürlüğüne imkân tanıyacağını ortaya çıkarmıştı (McCandless ve Jackson, 2004) SAR teknolojisinin gelişiminde önemli köşe taşları sayılabilecek tarihler aşağıda Çizelge 2.1'de belirtilmiştir (McCandless ve Jackson, 2004).

Çizelge 2.1: Radar teknolojisinde önemli tarihler (McCandless ve Jackson, 2004)

Tarih	Gelişim
1951	Goodyear'dan Carl Wiley tarafından Doppler ışını keskinleştirme kavramını ortaya konmuştur
1952	İllinoi Üniversitesi tarafından Doppler ışını keskinleştirme kavramı konusunda gösterim yapılmıştır.
1957	Michigan Üniversitesi tarafından optik bağdaştırıcı kullanarak ilk SAR görüntüsünü oluşturulmuştur.
1964	Analog elektronik SAR bağıntısı eş-zamansız olarak gerçekleştirilmiştir (Michigan Üniversitesi).
1969	Sayısal elektronik SAR bağıntısı eş zamansız olarak gerçekleştirilmiştir (Hughes, Goodyear, Westinghouse).
1972	Eş zamanlı sayısal SAR hava araçları için hareket düzeltmesi ile gösterilmiştir.
1978	Uzaya ilk SAR uydusu SEASAT, NASA/JPL ortaklığı ile fırlatılmıştır. Analog uydu-yer bağı; Eş zamanlı olmayan sayısal işleme gerçekleştirilmiştir.
1981	Uydu Görüntüleme Radarlarının Başlangıcı - SIR-A. Yeryüzünde eş zamansız optik işleme gerçekleştirilmiştir.
1984	SIR-B. Sayısal uydu-yer bağı, Yeryüzünde eş zamansız sayısal işleme gerçekleştirildi.
1986	Uydu SAR' da eş zamanlı işleme JPL (Jet Propulsion Laboratory) nin Gelişmiş Sayısal SAR işlemcisi kullanılarak gerçekleştirildi.
1987	Sovyet 1870 SAR dünya yörüngesine oturdu.
1990	Magellan SAR Venüs ü görüntüledi.
1990	SAR'ın evrimi uzayda başladı; Sovyet ALMAZ (1991), Avrupa Uzay Ajansı ERS-1 (1991), Japonya JERS-1 (1992), SIR-C (1994), ERS-2 (1995), Kanada RADARSAT-1 (1995), SRTM (2000), ENVISAT (2002).

2.2.1 Temel çalışma esasları

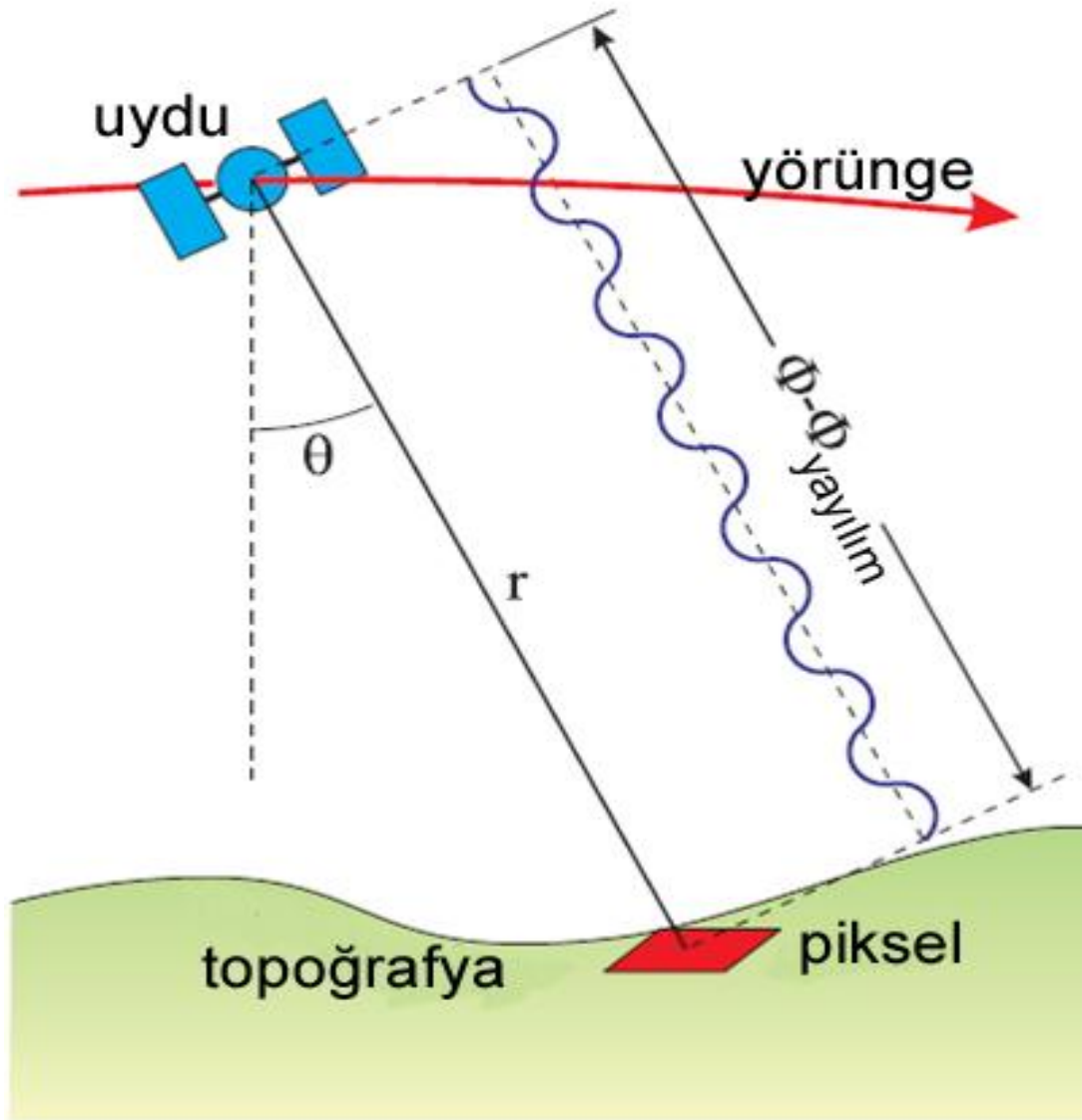
Sentetik (Yapay) Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri yeryüzünden geri dönen radar dalgalarını kaydeden aktif bir algılama sistemidir. SAR sistemlerinde uyduya veya hava aracına radar cihazı takılı olduğu aracın hareket doğrultusuna dik doğrultuda periyodik olarak “atım”lar göndermektedir (Klees ve Hanssen, 2000). Radar atımının enerjisinin bir kısmı yeryüzünden geri yansıtılarak saniyeden daha kısa sürelerde yine aynı anten tarafından algılanır. Bu sinyalin şiddeti (amplitude), gidiş geliş süresi, eğik uzunluğu (slant range) ve sabit bir referans osilatör ile fazı ölçülür ve kaydedilir (Klees ve Hanssen, 2000). ERS-1/2 SAR ve ENVISAT ASAR gibi dünyadan 900 km uzaktaki yörüngelerde bulunan algılayıcılar için bir atımda yerde kaplanan alan (ayak izi, footprint) Klees ve Hanssen’in 2000’de de belirttiği gibi gidiş yönünde yaklaşık 5 km uzunluğundandır. SAR sistemlerinde menzil çözünürlüğünü düşürmemek amacıyla platform ardışık iki sinyalin yayılımı sırasında azimut anten büyüklüğünün yarısından fazla alan kaplamamalıdır, örneğin 10 metrelik bir anten 5 metre uzunluğunda bir piksel oluşturabilmek için atımlar arasında sadece 5 metre ilerlemelidir (ESA, 2009). Buradan yola çıkacak olursak ERS-1/2 ve ENVISAT uydularının 5 km’lik “ayak izleri” nin 5 metrelik binlerce örneklemeden oluştuğu söylenebilir. SAR verisinin incelenmesinde daha sonra detaylı olarak değinilecek işlemlerden “Odaklama” bu 5 metrelik hücrelerin yeniden yapılandırılması olarak adlandırılabilir. Bu işlem gerçek açıklıklı radarlara göre SAR sistemlerinin çözünürlüğünü 1000 kata kadar arttırmaktadır, bu gerçek açıklıklı radarlar ile ancak 20 km’lik bir antenle sağlanabilecek bir çözünürlüktür (ESA, 2009). Kleese ve Hanssen’in 2000’de belirttiği gibi ERS uyduları tarafından “aydınlatılan” bölge 100 km civarındadır, aydınlatma yönündeki çözünürlük yani menzil çözünürlüğü 9m, aracın gidiş yönündeki çözünürlük, yani azimut çözünürlüğü 5m civarındadır (ERS uyduları için) (Klees ve Hanssen, 2000). Yerdeki çözünürlük bakı açısı θ ’ya göre değişmektedir. ERS uydularının ortalama bakı açısında olduğu gibi $\theta = 23^\circ$ olarak alınırsa $25 \times 5m^2$ ‘lik bir hücreye denk gelmektedir.

Genel SAR uygulamaları her ne kadar tek resim üzerinde çalışıyor ve sadece bu resmin aydınlanma şiddeti (amplitude) bilgisini kullanıyor olsa da InSAR uygulamaları iki veya daha fazla resim üzerinde çalışmaktadır ve resmin faz bilgisini ağırlıklı olarak kullanmaktadır (Klees ve Hanssen, 2000).

Toplam faz, anten ve yerdeki piksel arasındaki uzaklık arasındaki ilişkiyi çözmek için matematiksel bir ifade kullanılacak olursa basit bir şekilde formül 1 elde edilmektedir:

$$\Phi = -2\pi \cdot \frac{2r}{\lambda} + \Phi_{\text{yayılm}} \quad (2.1)$$

Formüldeki ifadelerde Φ toplam faz, λ uydunun dalga boyu, r uydu alıcısından piksele eğik uzaklık ve $\Phi_{\text{yayılm}}$ arazi ve diğer nedenlerle oluşan faz kaymasıdır.

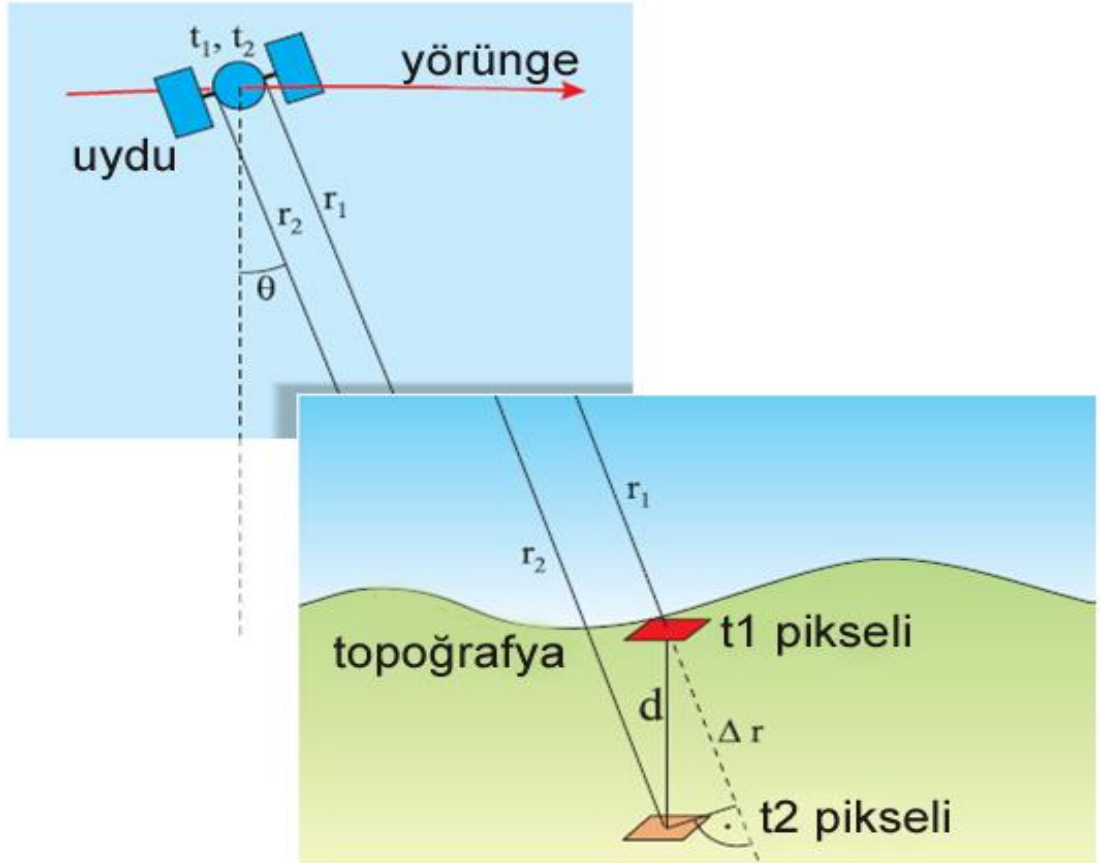


Şekil 2.1: Eğik menzil ve faz farkı (Klees ve Hanssen 2000)

Formülden çıkarılabilecek sonuç toplam faz; “r” eğik uzunluğu ve dalga boyu ile orantılı bir miktar ile dalganın yer ile olan etkileşiminden kaynaklanan bir

yayılmadan oluşan belli bir faz kayması miktarının toplamına eşittir. Bir SAR uydusunda Şekil 2.1’de görülen θ eğiklik açısı (ERS uyduları için ortalama 23°) (Klees ve Hanssen, 2000), ve λ dalga boyu (ERS uyduları için 5.66 cm) (Klees ve Hanssen, 2000) bilinebilmesine rağmen sinyal-yer etkileşiminden kaynaklanan $\Phi_{\text{yayılım}}$ belirlenememektedir. Bu nedenle tek resim kullanıldığında ölçülen fazdan (Φ) eğik uzunluğun bulunması mümkün olmamaktadır.

Bu durumun giderilebilmesi için t_1 ve t_2 gibi iki farklı zamanda aynı yerin görüntüsünün alınması çözümü uygulanmaktadır. Şekil 2.2’de görülebileceği üzere farklı zamanlarda aynı yerin görüntüsünün alınması eğer piksel içindeki yayılıma neden olan etmenlerin yerleri değişmemiş ise $\Phi_{\text{yayılım}}$ ‘ın da değişmeyeceği kabul edilerek faz farkının yayılım mekanizmasından bağımsız olacağı sonucuna varılmıştır (Feretti ve arkadaşları, 2007). Bu durumda eğik mesafeler r_1 ve r_2 için hedef pikselin yer değiştirme vektörü $\Delta r = r_1 - r_2$ olarak bulunmaktadır.

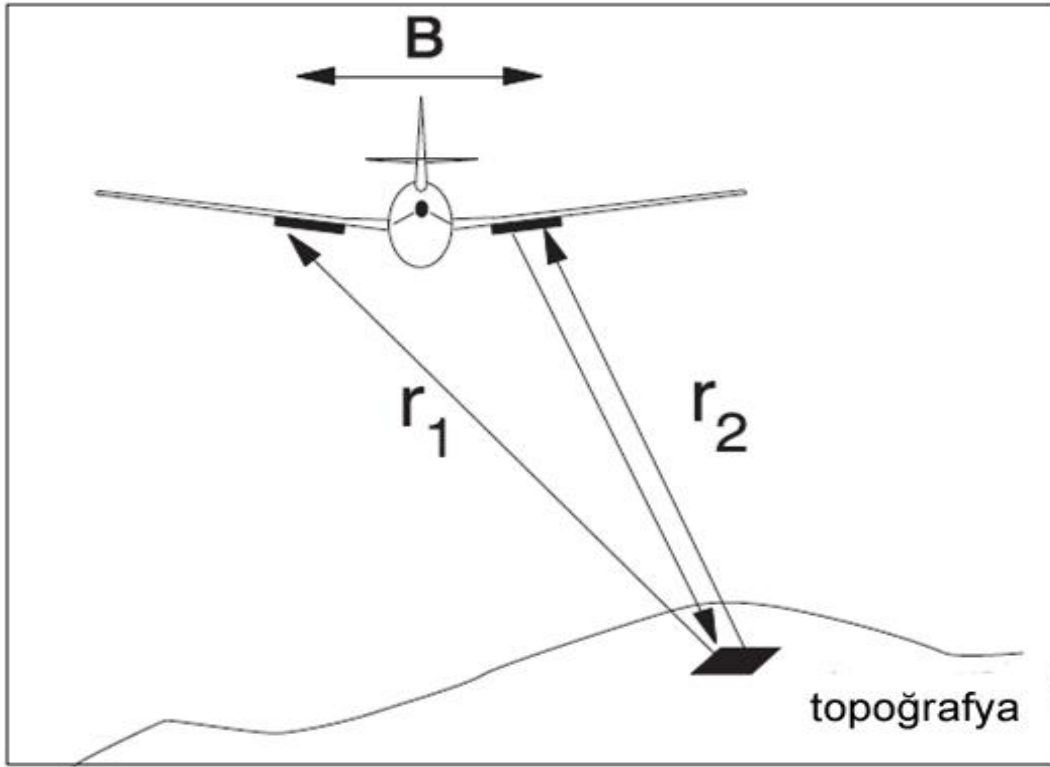


Şekil 2.2: Sıfır Bazlı SAR interferometrisin (Klees ve Hanssen, 2000)

Bu durumda $[t_1, t_2]$ anlarında çekilen resimlerden elde edilen faz bileşeni aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$\Phi = 2\pi \cdot \frac{2\Delta r}{\lambda} \quad (2.2)$$

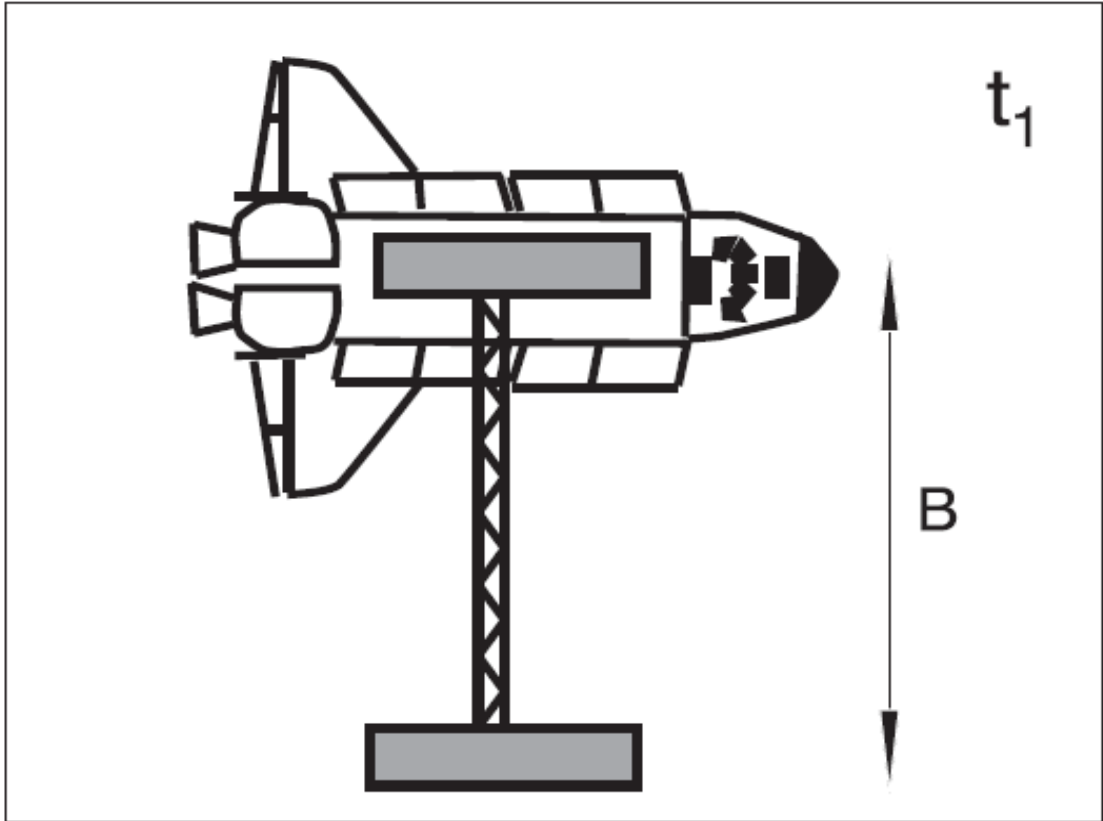
faz farkı Φ belirlendikten sonra eğik mesafe ölçümü yönündeki yer değiştirme piksel piksel belirlenebilir hale gelmektedir, faz dalga boyu uzunluğunun ondalıkları miktarlarında ölçülebildiğinden günümüz SAR uydularında birkaç milimetre doğrulukla ölçülebilir hale gelmiştir (Feretti ve arkadaşları, 2007). Bu teori için kullanılan “ikincil” resmi elde etmenin günümüz teknolojisi ile birkaç yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi Şekil 2.3’de de görülebileceği üzere iki fiziksel anteni tek bir platform (bu durumda uçak) üzerine yerleştirmektir. Sinyali sadece bir anten gönderirken her iki antenin de almasına dayanır, günümüzde uçak üzerine yerleştirilen sistemlerde en yaygın kullanılan yöntemdir.



Şekil 2.3: SLAR; Yan Bakılı Havai Radar (Klees ve Hanssen, 2000)

Bu sistemin avantajı zamanla oluşabilecek $\Phi_{\text{yayılım}}$ etkileri bu yöntemde etkisizdir çünkü resimler eş zamanlı olarak alınmaktadır. Ancak uçakların taşıma kapasitelerindeki limitler anten özelliklerini baz uzunluğunu dolayısı ile de alınan görüntülerin kalitesini sınırlamaktadır, bu durumu dengelemek için daha kısa dalga boylarının (1cm den kısa) kullanılması gerekmektedir (Klees ve Hanssen, 2000). Bu durum da radarların daha fazla güce ihtiyaç duymasını gerektirmektedir ki uçakların

kullandıkları radarların taşıyabilecekleri güç üniteleri ile sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Bu sınırlamaların giderilmesi çalışmalarında önemli bir örnek Şubat 2000 tarihinde yapılan Amerikan, Alman, İtalyan ortaklığıyla yürütülen SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) çerçevesinde uzay mekiğine yerleştirilen uzayabilen (Şekil 2.4) bir baz sayesinde 60m lik bir baz uzunluğuna ulaşılmış ve yeryüzü ile ilgili önemli bir topografik bilgi bankası oluşturulmuştur (Feretti ve arkadaşları, 2007).

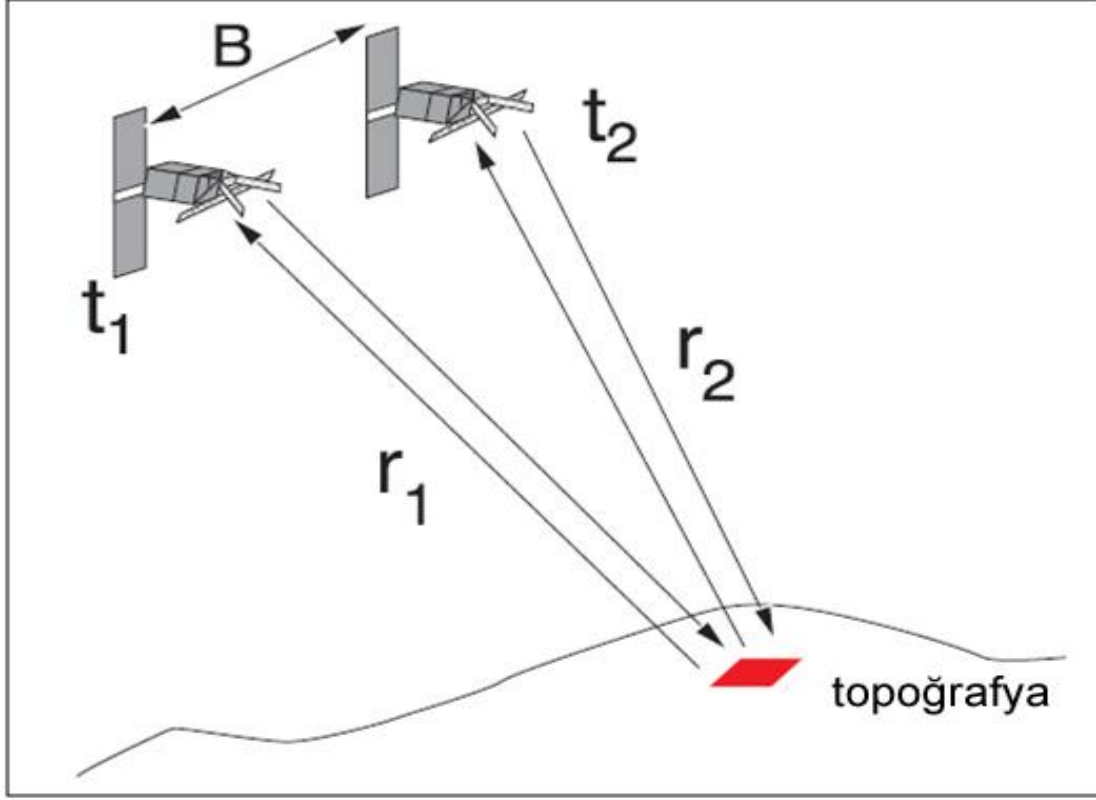


Şekil 2.4: Temsili SRTM anten sistemi

$\Phi_{\text{yayılım}}$ 'ın ortadan kaldırılmasında etkili ikinci bir yöntem yaklaşık aynı yörüngeyi tekrar eden bir anten kullanmak olarak görülmektedir (Klees ve Hanssen, 2000). Belirli bir gün sayısının (tekrar periyodu) ardından aynı noktadan geçerek tekrar görüntü alan uydu 1 km'den daha yüksek bir doğrulukla aynı bölgeden uydu yer izini takip ederek görüntüyü alıp iki geçişte aynı bölgeyi görüntüleyebilir (Şekil 2.5). Bu sistemin avantajı dikkatli bir görüntü çifti seçimi ile baz uzunlukları iyileştirilerek hassasiyet ve doğruluk arttırılabilir.

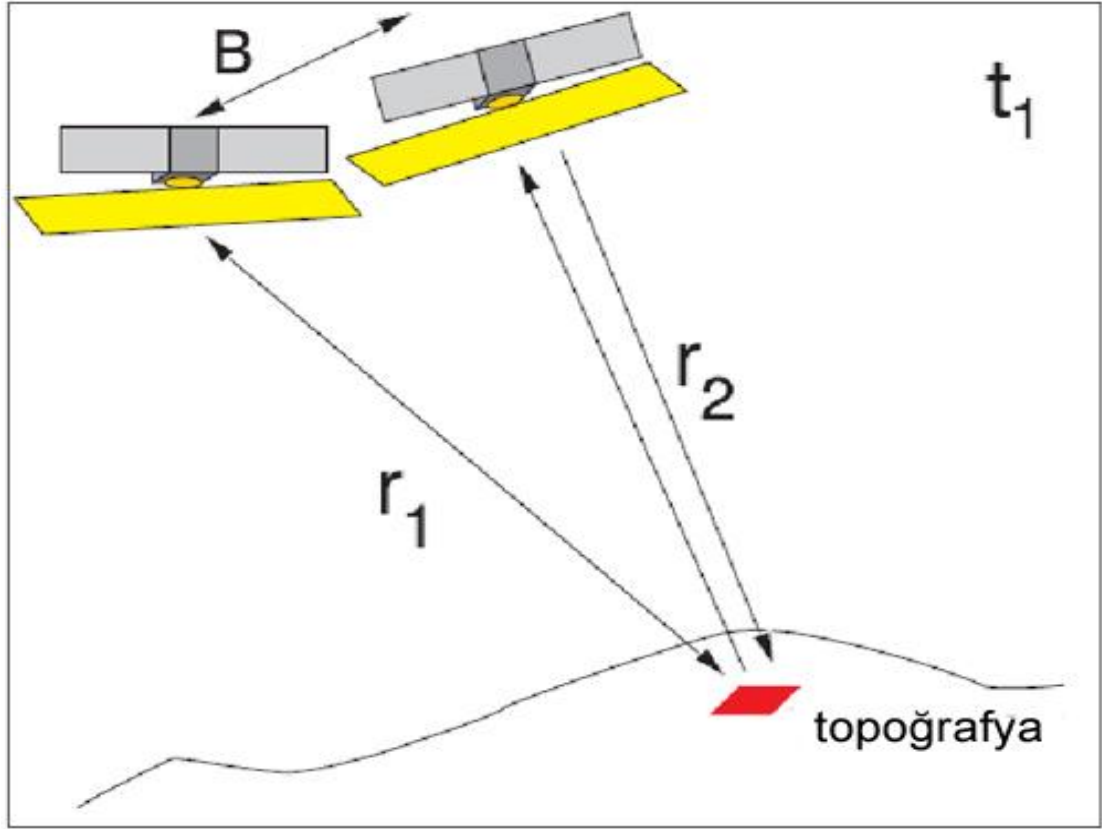
Bu sistemin dezavantajı ise tekrar periyodu olarak adlandırılan yeniden geçiş sürelerinin uzunluğu olabilmektedir. Uydular arasında günlerden haftalara kadar

değişebilen (Klees ve Hanssen, 2000) bu süre zamana bağlı olarak değişebilen arazi özelliklerini ve buna bağlı olarak da $\Phi_{\text{yayılım}}$ değişkenini değiştirebilmektedir bu da daha önce bahsedilen yer değiştirme vektörü Δr 'nin doğruluğunu düşürmektedir. Bu durumun giderilmesi için farklı bir yöntemin uygulanmasına geçilmektedir.

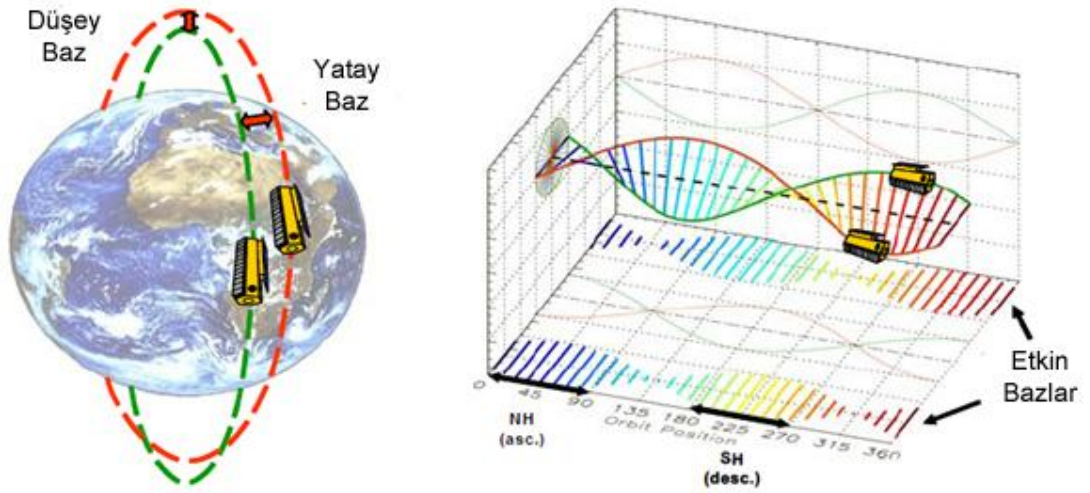


Şekil 2.5: Tekrar geçişli sistem (Klees ve Hanssen, 2000)

Şekil 2.6’da temsili bir çizimi görülen sistemde iki uydunun belirli bir baz uzunluğunu koruyarak ve kaydederek dönüşlerini birlikte yapmaları tasarlanmıştır, sistem uçaklarda kullanılan sistem ile aynı temel mantığa dayanmaktadır bir uydu sinyal gönderirken her iki uydu da sinyali alabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistem daha uzun baz uzunlukları ve daha uyumlu görüntüleri mümkün kılmakla birlikte şekil 2.5’dekine benzer şekilde sıfır bazlı bir sistem olmadığından tamamen aynı noktadan gözleme yapılmamasından kaynaklı ufak bir mesafe kaymasına neden olmaktadır (Klees ve Hanssen, 2000). Bu sistemin yanı sıra TerraSAR X programı içinde geliştirilmekte olan TanDEM X sisteminde ise sistem daha da karmaşık ancak daha tutarlı olduğu öne sürülen şekil 2.7’deki gibi bir “helix orbit” yani burğu yörüngeli tandem sistemi geliştirilmektedir (Krieger, 2010).



Şekil 2.6: “Tandem” uydu sistemi (Klees ve Hanssen, 2000)



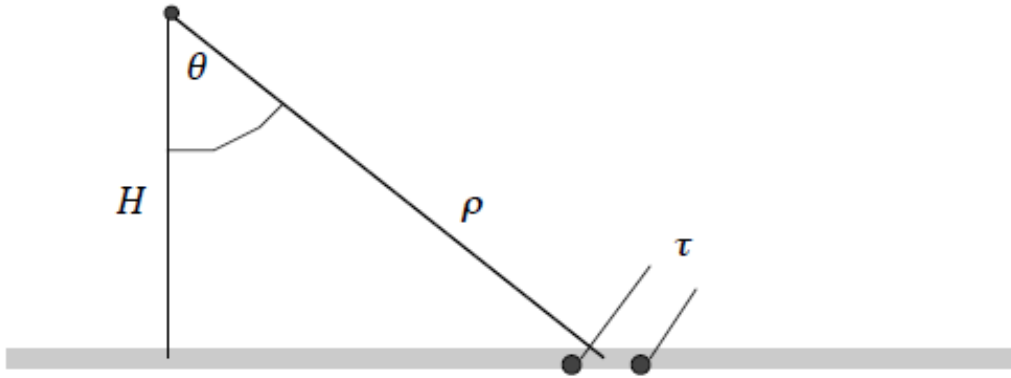
Şekil 2.7: TanDEM X ve burğu yörünge sistemi

Ancak tandem sistemi tutarlılığı ve topografik haritalama konusundaki kullanılabilirliğine rağmen verinin işlenilmesi aşamasında kullanıcı yükünü arttırmaktadır (Klees ve Hanssen, 2000).

2.3 Temel Terimler

2.3.1 Menzil çözünürlüğü

Atım yöntemiyle çalışan bir radar sisteminde Menzil çözünürlüğü temel olarak gönderilen atımın bant genişliğiyle sınırlıdır. Bant genişliğini arttırmak kısa süreli bir atımla mümkün olabilir ancak atım süresi kısaldıkça birbirine bağlı olarak sinyalin taşıyabildiği enerji, sinyal/gürültü oranı dolayısıyla da radyometrik çözünürlük düşmektedir (ESA, 2009). SAR sistemlerinde bu durumun önüne geçmek için doğrusal bir frekans modülasyonu ile uzun bir atım oluşturulması yoluna gidilmiştir (ESA, 2009). Bu yöntemle oluşturulan sinyaller ile elde edilen menzil çözünürlüğünün matematiksel ifadesi ise (Şekil 2.8):



Şekil 2.8: Menzil çözünürlüğünün geometrik yapısı

θ : bakı açısı

H : alıcının yeryüzünden olan yüksekliği

B : Radarın bant genişliği

τ : Atım uzunluğu $1/B$

c : ışık hızı

olmak üzere;

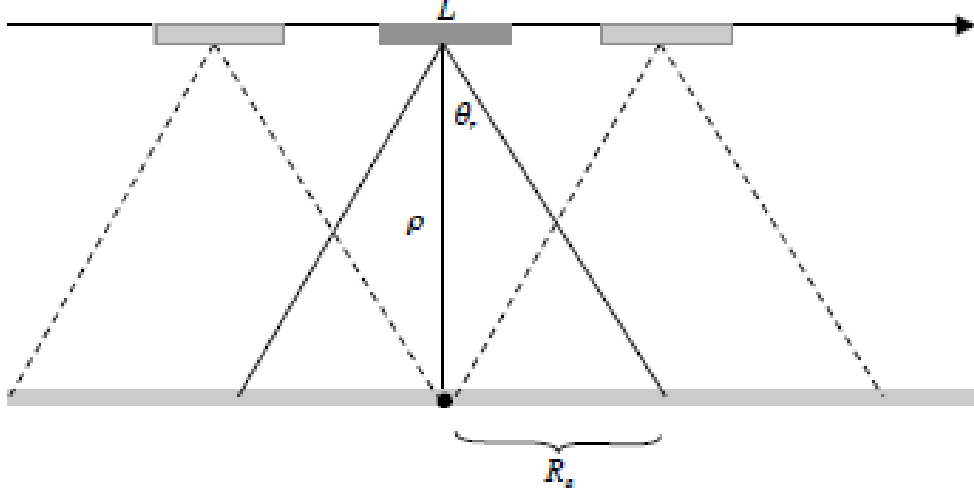
$$R_r = \frac{c \cdot \tau}{2} \frac{1}{\sin \theta} \quad (2.3)$$

olmaktadır.

2.3.2 Azimut çözünürlüğü

SAR sistemlerinin ölçüm yönteminde sinyal bilgileri ve sinyalin gönderildiği ve alındığı noktaların hassas bilgisine dayanarak belirli bir hedef için platform hareket ettikçe radardan hedefe olan uzaklık (eğik uzaklık) sürekli değişim halindedir. Bu

durum göz önüne alınarak dönen sinyallerin fazlarının birbirine göre düzenlenerek sinyallerin aynı anda ve radar sinyallerinin toplandığı yolun büyüklüğüne eşit büyüklükte bir anten tarafından alınmasına eşdeğer bir etki oluşturulabilir bu duruma “(sentetik) yapay açıklık” denmektedir (ESA, 2009). Bu sistem için de azimut çözünürlüğünün matematiksel ifadesi (Şekil 2.9):



Şekil 2.9: Azimut çözünürlüğünün geometrik yapısı

L :Radar anteninin uzunluğu

ρ : Normaldeki eğik mesafe $H/\cos\theta$

λ : radarın dalga boyu olmak üzere

$$\sin \theta_r = \lambda/L \text{ Ayırıştırma çözünürlüğü}$$

$$R_a = \rho \sin \theta_r = \frac{\rho \lambda}{L} = \frac{\lambda \cdot H}{L \cos \theta} \quad (2.4)$$

olur, buradan azimut çözünürlüğü

$$R'_a = \frac{\lambda \rho}{2R_a} = \frac{L}{2} \quad (2.5)$$

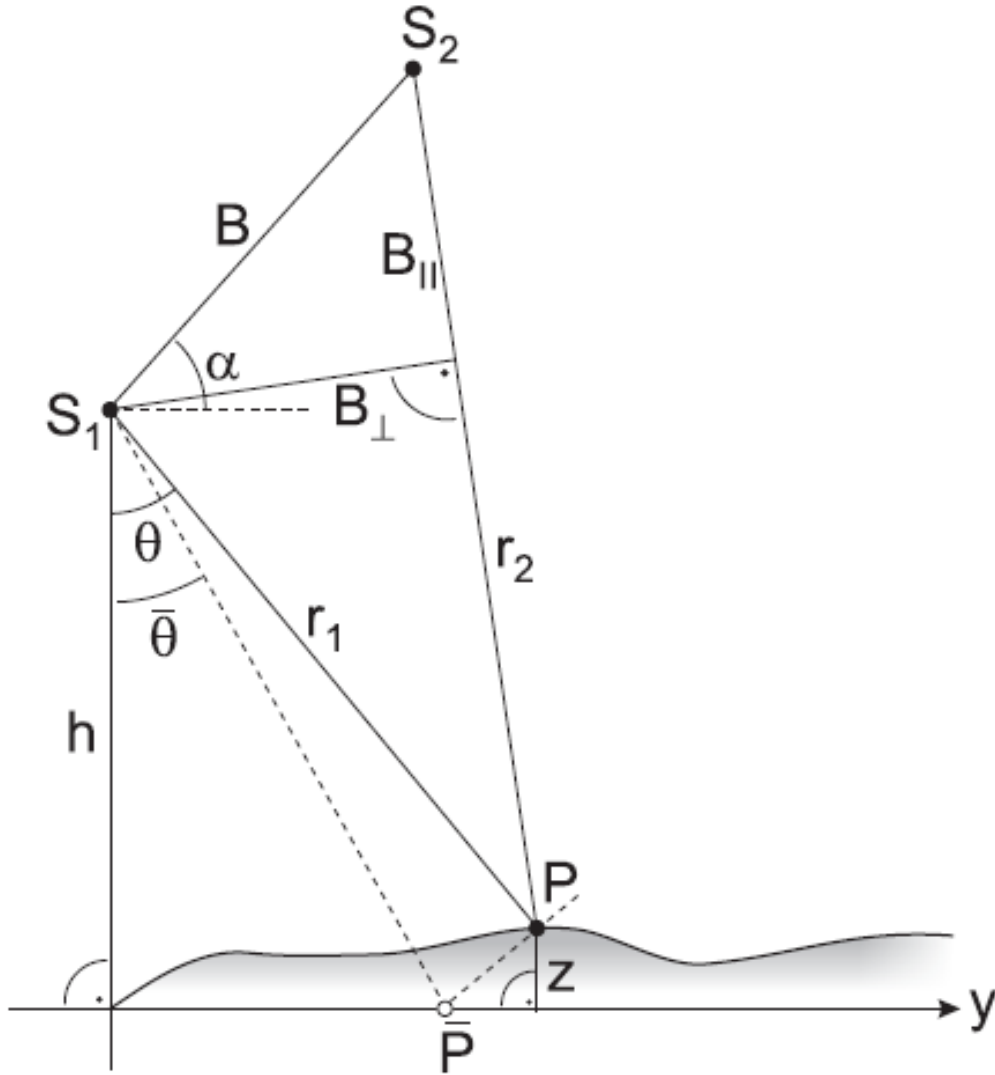
olarak bulunur. Burada göze çarpan bir nokta azimut çözünürlüğünün yükseklik ve sinyal etkilerinden bağımsız oluşudur. Azimut çözünürlüğü sentezlenen yapay antenin boyu ile doğrudan ilişkilidir.

2.4 Geometrik Altyapı

Bu bölümde InSAR yani Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi uydularının görüntüleme geometrisi ve bu geometri ile uydu bileşenlerinin arasındaki ilişkiye değinilecektir. Bu tez çalışmasında uygulaması yapılan ve ağırlıklı olarak bahsedilen SAR uyduları InSAR uygulamaları için tasarlanmış ve “across track” olarak

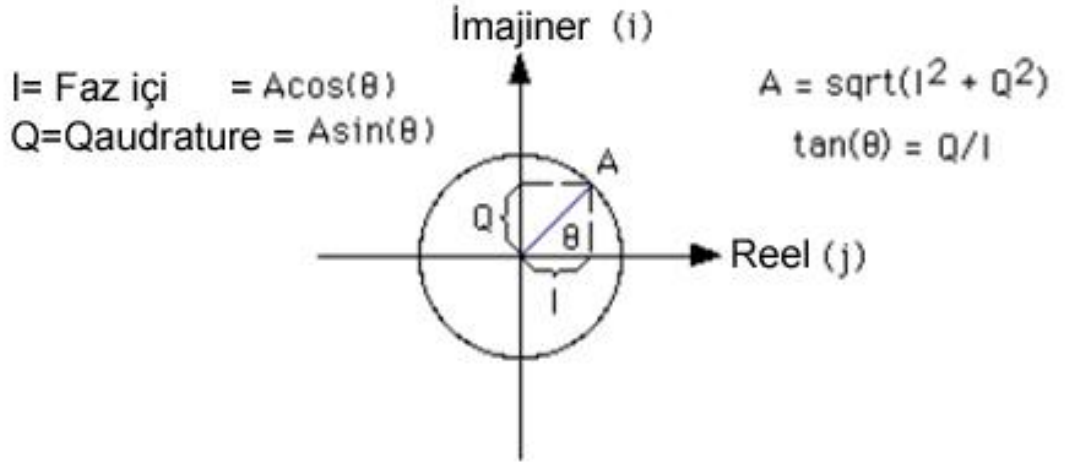
adlandırılan gidiş yönüne dik aydınlatma yapan uydular olduklarının dikkate alınması gerekmektedir.

InSAR sisteminde uydular birbirine ideal olarak paralel hale getirilmiş yükselen ve alçalan yörüngelerde hareket ederek belirli zaman aralıklarıyla yeryüzünün topografya ve deformasyon bilgilerini kaydederler. Bu “paralel” yörüngeler arasındaki mesafeler baz uzunluğu olarak adlandırılır. Baz uzunluğu dikey baz uzunluğu ve paralel baz uzunluğu olarak iki bileşene ayrılabilir, (bu kısımdan itibaren dikey baz uzunluğu " $B_{\perp}$ " paralel baz uzunluğu ise " $B_{\parallel}$ " ile ifade edilecektir). Baz uzunluğunun iki bileşene ayrılabilmesi uydunun her geçişte aynı yolu takip etmediğini göstermektedir. Bu durum Şekil 2.10'deki geometrik altyapının oluşmasına neden olur.



Şekil 2.10: Gidiş yönünde dik InSAR ın geometrisi. (Klees ve Hanssen, 2000)

Bu geometrinin neden olduğu başka bir durum ise faz farkı Φ 'nin oluşumunda radarın hareket vektörünün görüş alanı bileşeninin yanı sıra topografya ve yana bakan geometri nedeniyle bazı mesafe farklarının da oluşmasına neden olmaktadır (Klees ve Hanssen, 2000). Bu durumun rahat anlaşılabilmesi için yeryüzü yatay bir yüzey olarak kabul edilebilir ancak uydu sistemleri için bu yeterli olmamaktadır. Bu nedenle karmaşık iki uydu görüntüsünden interferogram oluşturulmaktadır, radyo dalgalarının karmaşık olarak ifade edilişi Şekil 2.11'de gösterilmektedir



Şekil 2.11: Radyo Dalgalarının karmaşık olarak ifadesi (SNR)
(Çakır, 2003 den değiştirilmiştir)

u_1 and u_2 gibi iki karmaşık uydu görüntüsünden interferogram elde etmek için:

$$u_{int}(\cdot) = u_1 \cdot u_1^* = |u_1(\cdot)|e^{i\Phi_1} \cdot |u_2(\cdot)|e^{-i\Phi_2} = |u_1(\cdot)||u_2(\cdot)|e^{i(\Phi_1-\Phi_2)} \quad (2.5)$$

bu durumda toplam interferometrik faz $\Phi := \Phi_1 - \Phi_2$:

$$\Phi = \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(u_1(\cdot)u_2^*(\cdot))}{\text{Re}(u_1(\cdot)u_2^*(\cdot))} \right] = \varphi + 2\pi \cdot \omega, \quad \omega \in \mathbb{Z} \quad (2.6)$$

haline gelir.

Burada $\varphi := W\{\Phi\} = \text{mod}(\Phi, 2\pi) - \pi \in [-\pi, \pi)$, kapalı (kesirli) interferometrik faz olarak adlandırılır (Klees ve Hanssen, 2000). W operatörü sargı (wrapping) operatörünü temsil etmektedir bu durumda, φ halen 2π 'nin katları olarak belirsizliğini korumaktadır ve faz belirsizliği $2\pi\omega$; $\omega \in \mathbb{Z}$. açılmış interferometrik (mutlak) faz (Φ) ın değerlendirilebilmesi için her piksel için ayrıca belirlenmek durumundadır. Bu işleme faz sargısı açma (phase unwrapping) denmektedir. $\Phi, \delta r := r_1 - r_2$ ile doru orantılı olduğundan:

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= -\frac{4\pi}{\lambda} r_1 + \Phi_{\text{scat},1}, \quad \Phi_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} r_2 + \Phi_{\text{yayılım},2} \\ \Rightarrow \Phi &= -\frac{4\pi}{\lambda} \delta r + (\Phi_{\text{yayılım},1} - \Phi_{\text{yayılım},2}).\end{aligned}\quad (2.7)$$

buradan çıkarılabilecek sonuç InSAR sisteminde faz bilgisi kullanılarak δr bulunmakta ancak fotogrametrik tekniklerin aksine iki resim arasında ortak noktaların bulunması ve paralaksın direk olarak ölçülmesine gerek olmamaktadır. δr bir kez ölçüldüğünde r sabit paralel uçuş yörüngelerine dik bir noktanın yeri r sabit dairesinin ve δr sabit hiperbolunun kesişimi olarak bulunabilmektedir. δr bakı açısı θ ile ilişkilidir (Klees ve Hanssen, 2000):

$$\begin{aligned}r_2^2 &= r_1^2 + B^2 - 2r_1 B \cos\left(\frac{\pi}{2} - (\theta - \alpha)\right) \\ \delta r &\approx B \sin(\theta - \alpha) - \frac{B^2}{2r_1} \cos^2(\theta - \alpha) + O\left(\frac{B^3}{r_1^2}\right) \\ \delta r &\approx B \sin(\theta - \alpha) \cdot B \ll r_1\end{aligned}\quad (2.8)$$

eşitlikten anlaşılabileceği gibi δr farkı paralel baz uzunluğuna nerdeyse eşit çıkmaktadır ayrıca denklem 2.8 ile Şekil 2.10 incelendiğinde görülecektir ki yan bakılı SAR sistemi geometrisi nedeniyle düz bir arazide bile δr farkına sebep olmaktadır. r eğik mesafesi sabit alındığında bakı açısı θ pikselin referans yüzeyinden olan yüksekliği z ye bağlı olmaktadır(Hanssen, 2001):

$$\cos \theta(z) = \frac{h-z}{r} = \cos \bar{\theta} - \frac{z}{r}, \quad (2.9)$$

burada $\bar{\theta} = \theta(z=0)$, h ise radar algılayıcısının referans yüzeyinden olan yüksekliği olarak alınıp denklem 6 ya konularak Taylor serisine açıldığında δr yer yüksekliği z nin fonksiyonu olarak:

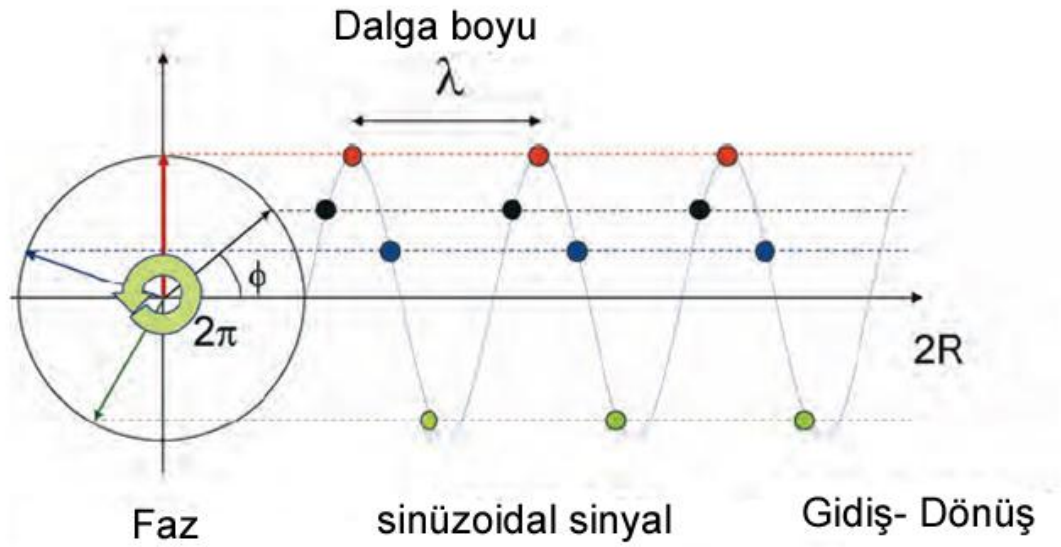
$$\delta r(z) = B \cdot \sin(\bar{\theta} - \alpha) + \frac{B \cdot \cos(\bar{\theta} - \alpha)}{r \sin \bar{\theta}} \cdot z - \frac{B \cos \alpha}{2r^2 \sin^3 \bar{\theta}} \cdot z^2 + O\left(\left(\frac{z}{r}\right)^3\right). \quad (2.10)$$

elde edilir. Buradan bulunan δr , $\Phi(z) = -\frac{4\pi}{\lambda} \delta r$, formülünde yerine konulursa interferometrik fazın topografyaya göre değişimi $O((z/r)^2)$ mertebesindeki birimlere kadar bulunmuş olur (Klees ve Hanssen, 2000):

$$\Phi(z) = -\frac{4\pi}{\lambda} \left(B_{||} + \frac{B_{\perp}}{r \sin \bar{\theta}} \cdot z + \Delta r \right) \quad (2.11)$$

burada Δr deformasyon vektörünün görüş alanında olan bileşenini, $B_{||} = B \sin(\bar{\theta} - \alpha)$ paralel bazı ve $B_{\perp} = B \cos(\bar{\theta} - \alpha)$ dikey bazı temsil etmektedir. Denklem (2.11) göstermektedir ki toplam interferometrik faz bu 3 bileşenin toplamından oluşmaktadır ve topografyanın toplam faz üzerindeki etkisi dikey baz yan bakılı geometrinin etkisi ise paralel baz tarafından ölçeklenmektedir (Klees ve Hanssen, 2000).

Kapalı interferometrik faz görüntüsü, interferogram olarak adlandırılmaktadır. İnterferogram her bir piksel için, tüm resmin kapalı interferometrik fazını göstermektedir. Renk çemberindeki bir dönüş şekil 2.12’de görüldüğü gibi interferometrik fazda tam bir 2π radyan veya 360° ’lik bölüme denk gelmektedir. Uydu yörüngeleri arasındaki fark nedeniyle yüzey deformasyonu haricindeki diğer bilgiler faz farkıyla saklanmaktadır bunun sonucunda iki tür “saçak” (fringe) oluşmaktadır. Bunlardan birincisi topografik ve yörüngeye bağlı saçaklardır ve yörüngeler arası farklar ve topografya ile ilgilidir, ikincisi ise iyonosfer troposfer gibi atmosferik katmanların etkilemesi ile oluşan dalga yayılım etkileri sonucu oluşmaktadır, deformasyonun sağlıklı olarak belirlenebilmesi için bu saçakların belirlenerek interferogramdan çıkarılması gerekmektedir ([URL-31]).



Şekil 2.12:Faz ve saçak oluşumu ilişkisi (Feretti ve arkadaşları, 2007)

3. FONKSİYONEL MODEL

İnterferometride verilerin işlenmesi süreci y_1 ve y_2 gibi kaydedilmiş iki sinyali kullanarak bu iki sinyalin arasında fonksiyonel bir bağ kurulmasını ve bu iki sinyalden $y_1 y_2^*$ gibi Hermitian (kendinden eklemeli) bir son ürün elde edilmesini sağlar. İnterferogramdaki faz farkı değerleri, her piksel için, parametre uzayına fonksiyonel bir bağ ile bağlıdır (Hanssen, 2001) bu kısımda bu fonksiyonel ilişkinin tanımlanması için oluşturulmuş model incelenecek ve ayrıntıları verilmeye çalışılacaktır. interferometrik faz için tanımlanan denklemlerin hem topografya hem de deformasyonu ilişkilendirdiği daha önceki bölümlerde tanımlanmıştır, doğrusal modellerde parametre tahmini yöntemi ile ifade edilecek olursa interferometrik faz ile “topografya” ve “deformasyon” gibi bilinmeyenlerle ilişkilendiren bir gözleme denklemi olarak kabul edilebilmektedir (Klees ve Hanssen, 2000) . Aslında bu modelin iki terim daha genişletilmesi gerektiğini Hanssen 2001 yılında belirtmiş ve ilk resim esnasında oluşan eğik atmosferik gecikme ile ikinci resim esnasında oluşan atmosferik gecikmenin hesaba katılmasını ve dahası toplam interferometrik fazın ancak 2π modülünde ölçülebileceğini belirtmiştir. Referans yüzeyi ilk olarak tanımlanırken kapatılıp ardından kapalı interferometrik faz ϕ den çıkarılmaktadır (Klees ve Hanssen, 2000).

$$\psi_k := \phi_k - W\{\kappa B_{||,k}\} \quad (3.1)$$

elde edilen bu denklemde ψ “düzleştirilmiş interferometrik faz” olarak adlandırılmaktadır, bu durumda k pikseli için gözleme denklemi:

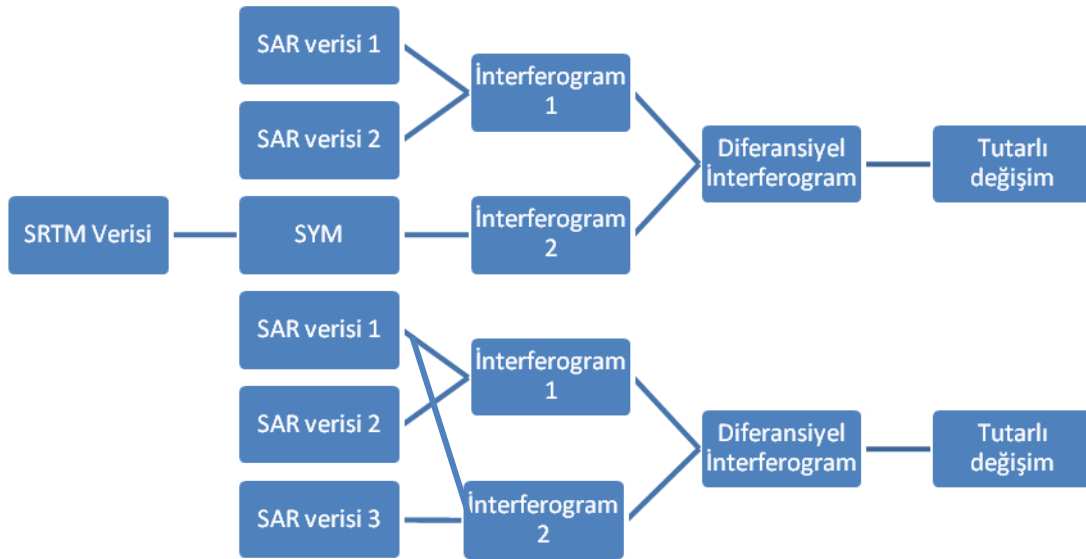
$$\psi_k = -\kappa \frac{B_{\perp,k}}{r_k \cdot \sin \theta_k} \cdot z_k + \kappa \Delta r_k + \kappa S_{k,t_1} - \kappa S_{k,t_2} - 2\pi \cdot \omega_k, \quad (3.2)$$

denklemde $\kappa = \frac{4\pi}{\lambda}$. Kısaltmasına gidilmiş olup denklem 2.13; k pikseli ile ilgili düzleştirilmiş interferometrik faz ile: topografik yükseklik z_k eğik mesafe yönündeki deformasyon δr_k , t_1 ve t_2 anında elde edilen iki görüntünün eğik atmosferik gecikmesi S_{k,t_1} ve S_{k,t_2} ve buna bağlı olarak tamsayı bilinmeyeni $\omega_k \in \mathbb{Z}$ gibi 5 bilinmeyeninin ilişkisini kurmaktadır. Bu durumda bir parametre tahmini problemi oluşturmak için

gözlemlerin eklenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ya ikiden fazla SAR görüntüsünün kullanılması veya veri alım süreleri arasında veri alınan alanda deformasyonun olmadığı veya iki verinin aynı alımı arasında zaman farkı bulunmadığı gibi bazı apriori bilgilerin kullanılması gerekmektedir (Klees ve Hanssen, 2000). Eğer her iki resim de dikkatli bir şekilde seçilirse gözleme denklemi:

$$\psi_k = -\kappa \frac{B_{\perp, \kappa}}{r_k \cdot \sin \bar{\theta}_k} \cdot z_k - 2\pi \cdot \omega_k. \quad (3.3)$$

denklemine dönüşür. Bu denklemde şayet ω_k tamsayı bilinmeyi çözülsürse denklem 14 her piksel için topografik yüksekliği verir, deformasyon çalışmaları için topografyanın katkısı modellenmeli ve çıkarılmalıdır (Klees ve Hanssen, 2000). Bu da ancak araziye ilişkin bir Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) veya üçüncü hatta dördüncü radar görüntüsü ile mümkündür bu durumun basit bir şeması şekil 3.1’de belirtilmiştir.



Şekil 3.1: SAR interferometrisinde gerekli veri türleri ve miktarları (ESA SAR land applications tutorial dan değiştirilmiştir)

4. STOKASTİK MODEL

InSAR ile topografik haritalama ve deformasyon gözlemlerinin yapılmasında en büyük sınırlayıcı etkenler (Burgmann ve diğerleri, 2000)

- İnterferometrik fazın ölçülmesindeki sınırlamalar (faz gürültüsü)
- Görüntüleme doğruluğunun sağlanmasında önemli rol oynayan “yörünge” verilerinin ölçülmesindeki hatalar
- Atmosferin sinyalin alınması sırasındaki davranışlarından kaynaklanan, atmosferin dalga yayılımına olan etkisi.

Bu etkilerden yola çıkarak interferometrik olarak geliştirilen Sayısal Arazi Modelinin doğruluğunun şu üç faktöre bağlı olduğu sonucuna varılabilir: (Bamler, 1997)

- Bir pikseldeki faz ölçümünün doğruluğu
- Görüntünün geometrik altyapısının doğruluğu
- Dalga yayılım şartlarının sabit oluşu

bu üç şarttan yola çıkılarak takip eden üç bölümde temel anlamda belirtilen şartların oluşması ve bu şartlardan oluşan hataların nasıl giderilebileceklerine değinilecektir.

4.1 Faz Doğruluğu

InSAR çalışmalarında oluşturulan interferogramların doğruluğunda faz doğruluğu büyük öneme sahiptir faz doğruluğu ile ilgili kısıtlar elektronik sinyallerin ölçülme doğruluğundaki kısıtlardan kaynaklanmaktadır faz gürültüsü $\sigma_{\Delta\phi}$ sonucunda interferogramda meydana gelen yükseklik hatası:

$$\sigma_h \cong \frac{\partial h}{\partial \Delta\phi} \sigma_{\Delta\phi} \cong \frac{\lambda R \sin \theta}{4\pi B_{\perp}} \sigma_{\Delta\phi} \quad (4.1)$$

Şeklinde ifade edilmektedir (Bamler 1997) örneğin 200 metre baz uzunluğuna sahip bir ERS görüntüsünde derecede $\sigma_h \approx 0.13$ m lik bir faz gürültüsü oluşmaktadır. Bu etki pikselden piksele değişiklik göstermekle birlikte farklı nedenleri olabilir (Klees ve Hanssen, 2001). Faz gürültüsünün ana sebepleri aşağıda verilmektedir.

4.1.1 Sistem gürültüsü

Sistemin iç elemanları tarafından çalışma sırasında oluşan manyetik alanların ve uzaydaki elektromanyetik alanların uydu izolasyonunu aşarak sinyal kalitesini etkilemesi durumudur.

4.1.2 Zamana bağlı mekân uyşumsuzluğu

Bamler'in 1997'de alt yansıtıcı olarak nitelendirdiği pikselin yansıtım değerlerini değiştirebilecek, bitki örtüsünün gelişimi yapraklar, su yüzeyi gibi alt piksel elementleri bu duruma neden olmaktadır. Şayet bu alt yansıtıcıların hareketi dalga boyunu çok geçerse iki resim arasındaki daha önce bahsedilen $\Phi_{\text{yayılım}}$ 'lar birbirlerini sıfırlamadıkları için resimler arası uyşumsuzluğa neden olur.

4.2 Yörünge Doğruluğu

Topografyanın modelinin oluşturulması, topografya ve deformasyon haritalarının belirli bir koordinat sistemine bağlanması için, uydunun SAR görüntüsünün algılanması sırasındaki birkaç saniye esnasında bulunduğu konumun bilinmesi gerekmektedir (Klees ve Hanssen, 2000). Algılayıcının konumundaki doğruluğun yetersiz olması yeryüzünün modellenmesinde hatalara yol açar, bu da oluşturulan modellerin güvenilirliğini olumsuz yönde etkiler. Uydu yörünge koordinatlarında oluşan kaymalar benzer şekilde oluşturulan interferogramlara ve SAM (Sayısal Arazi Modellerine) etkimektedir. Bu durumda baz uzunluğu ve uydu parametrelerinin iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılan çözümlere örnek olarak; yüksekliği biline düzlük alanların kullanılması, yer kontrol noktalarının oluşturulması ve toplanması veya deniz kenarlarını referans olarak almak sıralanabilir (Bamler, 1997). Yörünge hataları sadece InSAR uyduları değil tüm uydu sistemleri için geçerli hatalardır, ERS serisi uydular için bu hatalar desimetre seviyesindedir bu durum nedeniyle de tam otomatik olarak SAM oluşturulması istenilen sonuçları vermediğinden yer kontrol noktalarına halen ihtiyaç duyulmaktadır (Bamler, 1997).

4.3 Yayılım Etkileri (Atmosfer Etkileri)

InSAR sistemlerindeki veri yükünün çokluğu ve gelişen teknoloji sayesinde interferometrik fazdaki yayılım etkileri daha incelenebilir hale gelmektedir

(Massonnet et al., 1995). Tekrar geçişli interferometride doğruluk kriterlerinden birisi dalga yayılım koşullarının sabit olması olduğundan, oluşan bazı durumların bu koşulun sağlanamamasına bağlı olabileceğine Massonet tarafından 1995, Klees ve Hanssen tarafından 2000, Hanssen tarafından 2001 yıllarında değinilmiştir.

4.3.1 Troposferik su buharı

ERS interferogramlarında faz kaymalarına neden olabilmektedir. Veri setlerinin büyük bir kısmında bulut veya dalgalanma benzeri 0.5 saçak dőngüsünü geçmeyen miktarlardadır, bu tip hatalar bir bölgenin SAM inin oluşturulması için hâlihazırda birden çok interferogramı gerektiği için genellikle bu interferogramların değerlerinin ortalaması alınarak giderilmektedir (Bamler, 1997).

4.3.2 İyonosfer

Etkileri henüz tam olarak özölememekle birlikte modelleme ile etkileri giderilmeye çalışılmaktadır iyonosfer etkileri en belirgin şekilde kutupsal bölgelerde görölmektedir ve ekvatora yaklaştıkça dağılmaktadır (Bamler, 1997).

5. SAR ALICILARI

Günümüzde hızla gelişmekte olan uzaktan algılama alanında yapılan çalışmalar başlı başına bir sektör haline gelmiştir, bu durum uzun zamandan beri olduğu gibi devlet kurumlarının yanı sıra özel şirketlerin ilgisini de çekmektedir. Öncelikle askeri amaçlı tasarlanan ve kullanılan uyduların sivil kullanımda da yaygınlaşması sonucu uydu yarışı hızlanmış bunun sonucunda da ciddi ve halen artan bir uydu envanteri oluşmuştur. Takip eden bölümde bu uyduların yaygın kullanılanlarından bir kısmına özellikleriyle birlikte kısaca değinilecektir. Ancak öncelikle bazı temel bileşenlerin belirtilmesi gerekmektedir:

Frekans: Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumun parçasıdır, görülebilen ışıktan daha uzun (örneğin cm düzeyinde) dalga boylarına sahiptirler. SAR sistemlerinde frekans seçiminde delicilik önemli bir kriterdir. Frekans azalıp dalga boyu uzadıkça sinyalin bitki örtüsü ve toprağa daha iyi girmesi mümkün olmaktadır. Günümüzde uzaktan algılama uydularında yaygın olarak kullanılan sinyaller, dalga boyları ve kullanıldığı uydulara örnekler verilmiştir:

P-bandı = ~ 65 cm hava, AIRSAR

L-bandı = ~ 23 cm hava / uzay, JERS-1 SAR, ALOS PALSAR

S-bandı = ~ 10 cm hava / uzay, Almaz-1

C-bandı = ~ 5 cm hava / uzay, ERS-1/2 SAR, RADARSAT-1/2, ENVISAT ASAR

X-bandı = ~ 3 cm hava / uzay, TerraSAR-X , Cosmos Skymed

K-bandı = ~ 1.2 cm hava, Askeri alan

5.1 ERS-1 ve ERS 2 SAR

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Temmuz 1991 yılında fırlatılan uzaktan algılama uydusu ERS1 yapılandırmasında Yapay (Sentetik) Açıklıklı Radar (SAR) sistemi de bulunmaktaydı Feretti ve arkadaşları 2007, aynı yılın aralık ayında değerlendirilen interferometri özelliği pek çok araştırma grubunun dikkatini çeken ERS1 in ardından 1995 yılında ERS2 uydusu fırlatıldı (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: ERS uydusunun temsili resmi

ERS-2'nin fırlatılmasının ardından Avrupa Uzay Ajansı uydu çiftini “tandem” olarak yeniden konumlandırdı. Böylece 24 saatlik ziyaret aralığına kadar düşen uydu sistemi 16 Ağustos 1995 den Mayıs 1996 ya kadar dokuz ay boyunca “tandem” olarak görev yaptı, 2000 yılının mart ayında beklenen görev süresini zaten 3 ay kadar geçmiş olan ERS -1 düşürüldü. ERS-2 Ocak 2001 de jiroskopunda gelen arıza nedeniyle veri hassasiyeti düşmüş olsa da ERS-2 görevini ENVİSAT ile birlikte çalışarak devam ettirmektedir ([URL-29]).

Ajans	Avrupa Uzay Ajansı
Frekans	C-bandı
Yer çözünürlüğü	25 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama
Şerit genişliği	100 km
Döngü süresi	35 gün
Fırlatma tarihi	1991-2000 / 1995

5.2 JERS-1 SAR

Japon Ulusal Uzay Gelişim Ajansı tarafından Tanegaşima uzay merkezinden 11 Şubat 1992 de ulusal haritacılık faaliyetleri, tarım, ormancılık faaliyetleri, afet yönetimi, sahillerin izlenmesi, balıkçılık ve çevrenin korunması gibi amaçlar için fırlatılan JERS-1 görevine devam etmektedir (Şekil 5.2). Hem optik hem de SAR algılayıcıları ile uydu sadece bölgesel değil dünya çapındaki doğal kaynakların korunması ve çevresel çalışmalar için yüksek kalitede veri toplamaktadır ([URL-2]).

Ajans	Japon Uzay Ajansı
Frekans	L-bandı
Yer çözünürlüğü	20 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama
Şerit genişliği	70 km
Döngü süresi	44 gün
Fırlatma tarihi	1993-1998

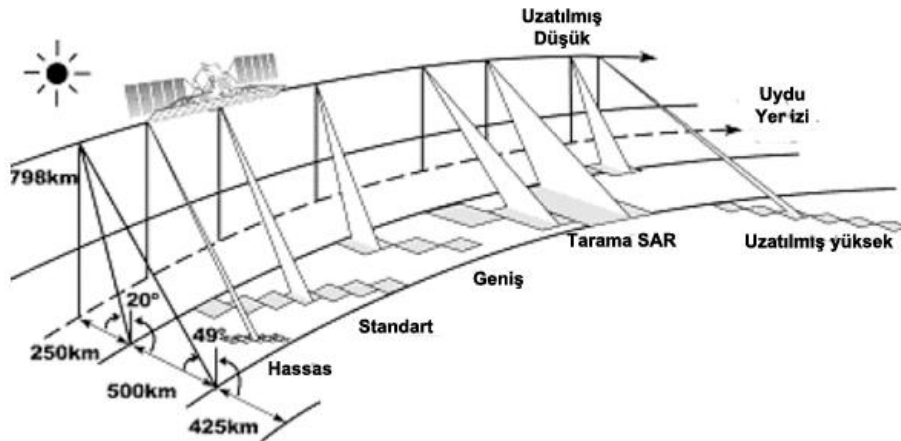


Şekil 5.2: JERS-1 temsili resim [URL – 2]

5.3 RADARSAT-1

1995 yılının kasım ayında fırlatılan RADARSAT-1 Kanada tarafından çevresel değişiklikleri ve dünyanın doğal kaynaklarını izlemek üzere geliştirilmiş bir SAR uydusudur (Şekil 5.3). SAR uydusu olması nedeniyle gece gündüz ve hava şartlarından (neredeyse) tam bağımsız olarak çalışmasını sürdürebilmektedir ([URL-3]).

Ajans	Kanada Uzay Ajansı
Frekans	C-bandı
Yer çözünürlüğü	10 - 100 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama and ve Tarayıcı SAR
Şerit genişliği	50 - 500 km
Döngü süresi	24 gün

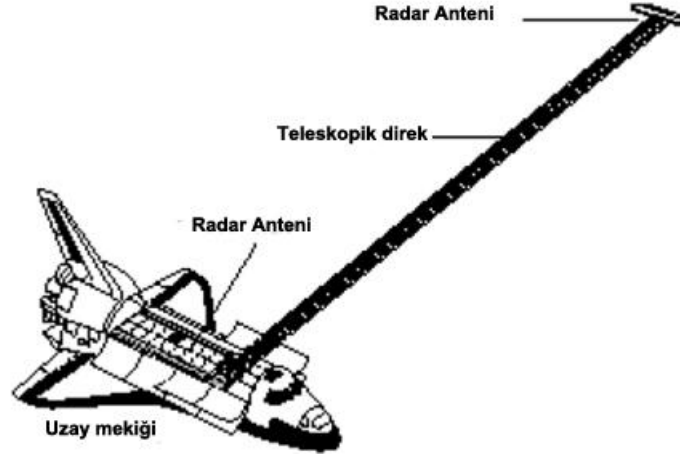


Şekil 5.3: RADARSAT – 1

5.4 SRTM

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Amerika'dan NASA, NGIA (Ulusal Mekansal Bilgi Ajansı) Alman ve İtalyan Uzay ajanslarının ortak yürüttükleri bir programdır. SRTM projesi kapsamında, bir çift Uzay Görüntüleme Radarı ve bir çift X bandı Sentetik Açıklıklı Radar (X-SAR) Endeavour uzay mekiği ile 11-22 Şubat 2000 arasında görevini gerçekleştirerek dönmüştür (Şekil 5.4). Görevi esnasında 60 derece kuzey enlemi ile 56 derece güney enlemleri arasındaki kara parçalarına dair yani yeryüzünün %80 i kadarının verisini 20 metre yatay ve 16 metre düşey doğrulukla toplamıştır. Çift Radar anteni kullanarak 60m baz uzunluklu tek geçişli

SAR yöntemiyle topografik veriyi 1 derece saniyesi çözünürlükle toplamış ve kullanıma sunmuştur ([URL-32]).



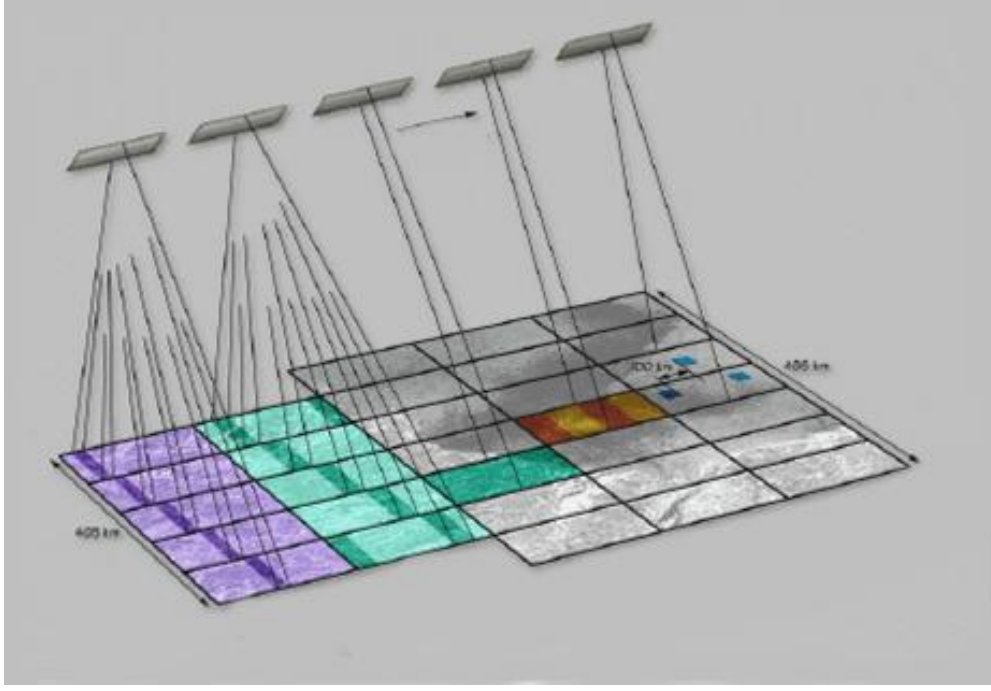
Şekil 5.4: SRTM temsili resim

Ajans	NASA/JPL & DARA/ASI
Frekans	X- ve C-bandı
Yer çözünürlüğü	20 - 30 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama
Şerit genişliği	30 - 350 km
Görev Süresi	11 gün

5.5 ENVISAT ASAR ENVISAT

Mart 2002 de Avrupa uzay ajansı atmosfer, okyanus karalar ve buzullarla ilgili ölçme Envisat adlı uyduyu fırlattı (Şekil 5.5). Envisat uydusunun başlıca görevlerinden birisi ERS uyduları ile başlatılan Avrupa'daki uzaktan algılama konusundaki veri akışı ve araştırmaların devamlılığını sağlamak amacıyla veri akışının devamlılığını sağlamaktır. Bunun yanı sıra yeni çalışmalarda daha gelişmiş alıcı yapısıyla çevre ile ilgili gözlemlenebilen parametrelerin yelpazesini genişletmek ve atmosferin yapısı ve okyanusların gözlenmesinde kullanılacak veriyi sağlamaktır ([URL-5]).

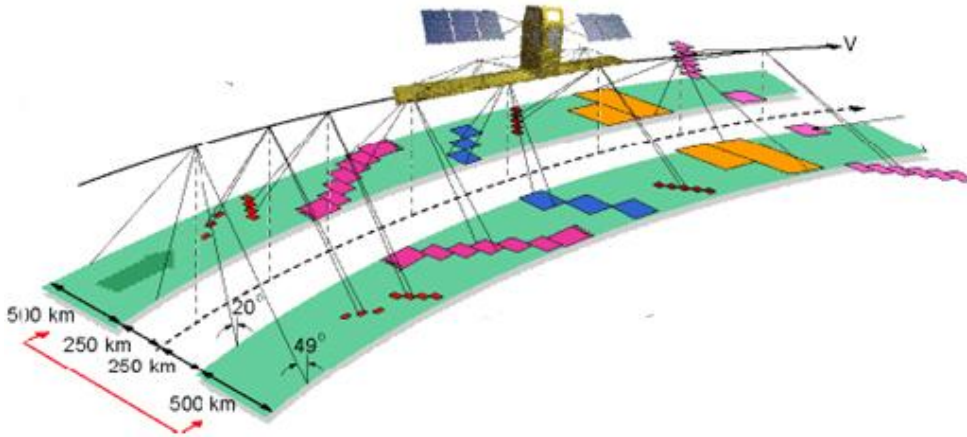
Ajans	Avrupa Uzay Ajansı
Frekans	C-bandı
Yer çözünürlüğü	15 - 1000 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama, Tarama SAR
Şerit genişliği	100 - 405 km
Döngü süresi	35 gün



Şekil 5.5: Envisat tarama şeması [URL-4]

5.6 RADARSAT-2

RADARSAT-2 Kanada'nın, 2007 de Rusya'nın Kazakistan'daki Baykonur uzay üssünden fırlatılan yeni nesil yer gözlem uydusudur, Kanada uzay ajansı (CSA) MDA (MacDonald Dettwiler) firmasının ortaklığı ile fırlatılmıştır (Şekil 5.6). Radarsat-1 programının devamlılığını sağlamak birincil amacıdır. Programı özel kılan nokta ise Kanada'nın yeryüzünün gözlenmesiyle ilgili programların özelleştirilmesine yönelik ilk adım olmasıdır. MDA firması Radarsat -2 programının ana müteahhididir ([URL-1]).

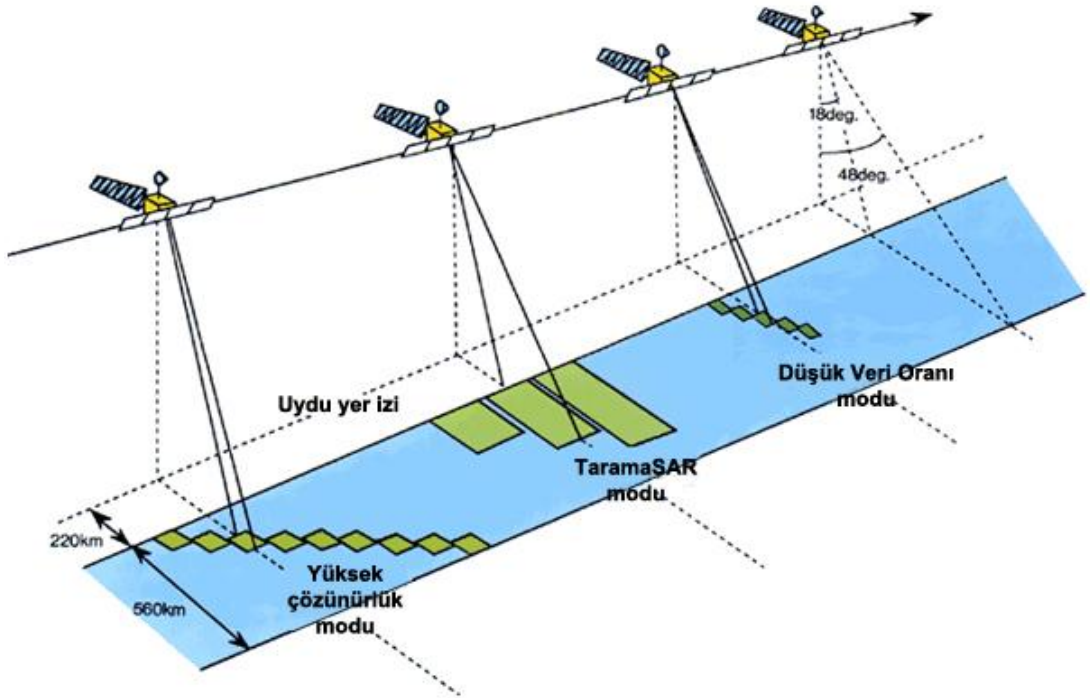


Şekil 5.6: RADARSAT-2

Ajans	Kanada Uzay Ajansı ve MacDonald Dettwiler (MDA)
Frekans	C-bandı
Yer çözünürlüğü	3m - 100 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama ve Tarama SAR
Şerit genişliği	50 - 500 km
Döngü süresi	24 gün

5.7 ALOS PALSAR

Japon Yer gözlem programı atmosfer ve deniz gözlemleri ve kara gözlemleri için olmak üzere iki ana seriden oluşmaktadır. Gelişmiş Kara Gözleme Uydusu (ALOS: Advanced Land Observation Satellite) bu konuda JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) i izlemek üzere Tanegashima Uzay Merkezi'nden fırlatılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: ALOS Temsili resmi ([URL-6])

ALOS un başlıca görevleri arasında Haritacılık (Özellikle kartografya) amaçlı gözlemler, bölgesel izleme, afet gözleme ve doğal kaynakların haritalanması bulunmaktadır. ALOS 3 adet uzaktan algılama cihazına sahiptir:

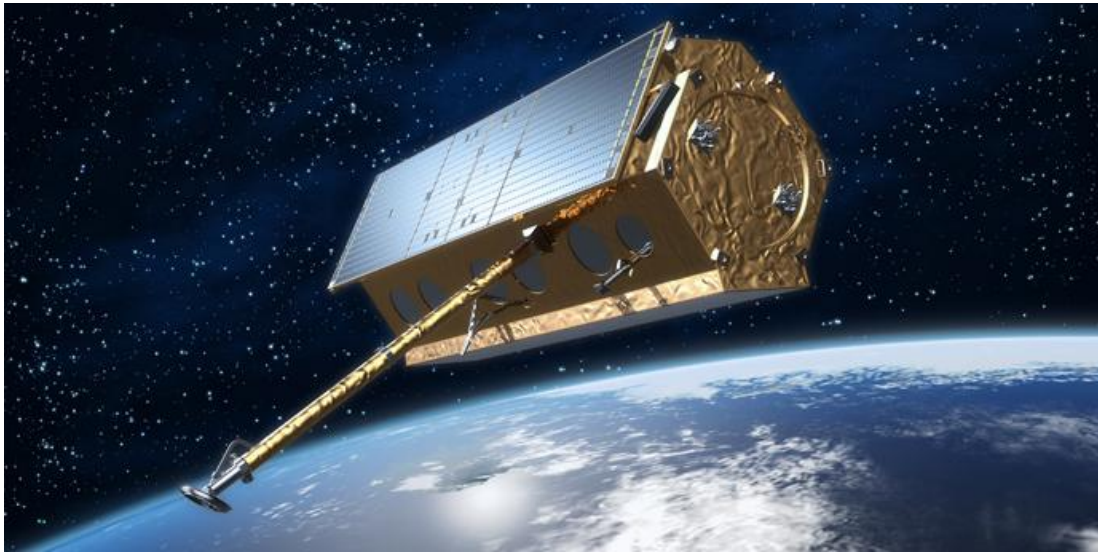
- Sayısal Yükseklik modelinin oluşturulması için PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)
- Hassas kara gözlemleri için, AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) ve,

- Düzenli Faz Serisi tipi L bandı Yapay Açıklıklı Radar PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) ([URL-6]).

Ajans	Japon Uzay Keşif Ajansı
Frekans	L-bandı
Algılama yöntemi	Şerit tarama (İnce) ve Tarama SAR
Yer çözünürlüğü	7 - 100 m
Şerit genişliği	20 -350 km
Döngü süresi	44 gün

5.8 TerraSAR-X

TerraSAR-X 15 Haziran 2007 de Rusya'nın Kazakistan'daki Baykonur üssünden fırlatılmıştır ve 2008 başlarından itibaren tam kapasite çalışmaktadır. 514 km yükseklikteki kutupsal yörüngesi ve X bandında çalışan anteni ile tüm dünyanın yüksek kaliteli (1m çözünürlüğe kadar) görüntülerini toplamaktadır (Şekil 5.8). Sistemin tahmini hizmet ömrü 5.5 yıl olarak tasarlanmıştır ([URL-7]).



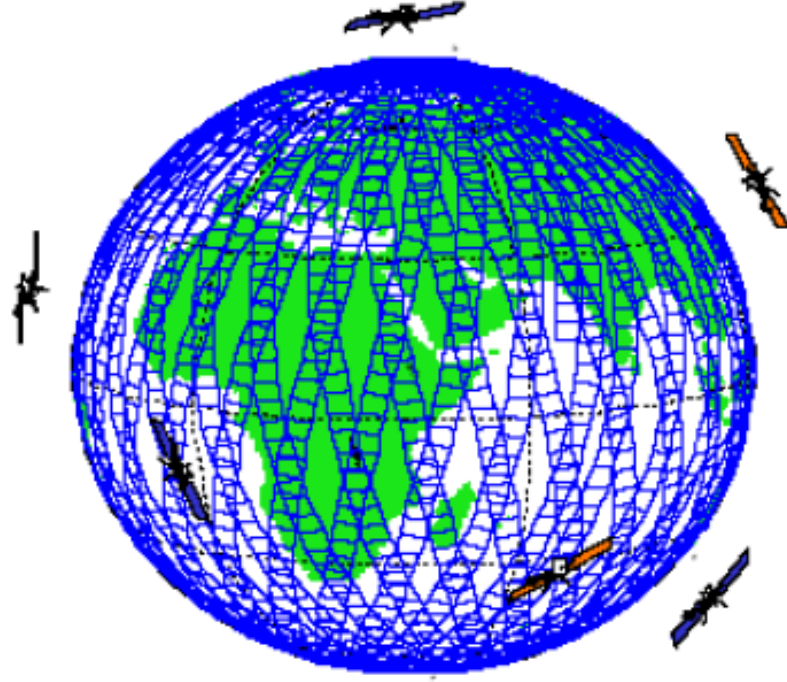
Şekil 5.8: Terrasar X illüstrasyonu [URL - 7]

5.9 Cosmos SkyMed

COSMO-SkyMed Programı ile dört radar uydusundan oluşan bir sistemin kurulması hedeflenmektedir (Şekil 5.9). Dört uydu sayesinde çok kısa döngülerle aynı yeri ziyaret edebilecek bu sistemin hem sivil hem de askeri amaçlı olarak kullanılması düşünülmektedir. COSMO-SkyMed uyduları sayesinde bölgesel savunmanın yanı

sıra, yangın, toprak kaymaları, kuraklık, su baskını, deprem, çevre kirliliği, ormancılık ve şehir yayılımı gibi uzun ve kısa vadeli olayların izlenmesi de mümkün olacaktır. Bu sistemin getireceği bir diğer avantaj da bahsi geçen konularda gözleme yapılırken hem verinin hızlı alınmasına hem de hızlı güncellenmesine imkân tanıyacak olmasıdır [URL-8].

Ajans	İtalyan Uzay Ajansı (ASI)
Frekans	X-bandı
Yer çözünürlüğü	1 - 100 m
Algılama yöntemi	Şerit tarama, Tarama SAR, ve Aydınlatma
Şerit genişliği	20 - 400 km
Döngü süresi	15 gün
Fırlatma tarihi	2007 – yılında 4 uydunun ilki



Şekil 5.9: COSMO-SkyMed Uydu dağılım şeması ([URL-8])

5.10 SENTINEL-1

Sentinel-1 projesinin gelecekte ENVISAT ASAR'ın devamlılığını sağlaması planlanmaktadır. ESA SAR C-bandı verisinin devamlılığı ESA tarafından süregelen izleme programlarının veri boşluklarının doldurulmasında hayati önem taşımaktadır. (ESA 2009). ESA tarafından tasarlanan Sentinel-1 projesinin kutup yörüngeli 2 adet C bandında çalışan uydudan oluşması planlanılmaktadır. Başlıca görevleri; deniz ve

buzul bölgelerin izlenmesi, yer hareketlerinin takibi, orman, toprak ve tarım arazilerinin izlenmesi, kriz durumunda insani yardım amaçlı haritalama, olarak öngörülmektedir. Sistemin ilk uydusunun soyuz tipi bir taşıyıcı ile Kourou'dan 2011 yılı içinde fırlatılması planlanmaktadır (esa bulletin 2007).

6. HATA KAYNAKLARI VE DOĞRULUK KRİTERLERİ

6.1 İnterferometrinin Genel Karakteristikleri ve Sınırlamaları

İnterferometri verisinin algılanıp oluşturulmasındaki tekniklerin gelişimine paralel olarak teknolojinin sahip olduğu imkân ve kısıtlar giderek daha iyi anlaşılabilir hale gelmektedir. Bu anlaşılabilirlik arttıkça bu alanda çalışan (ve çalışacak) kişilerin verinin hangi özelliklerine dikkat etmelerinin gerektiği, hangi durumlarda verinin yanlış yorumlanmaya açık hale gelebileceği daha ayrıntılı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde bahsedilen karakteristikler ve sınırlamaların bazıları kullanıcı tarafından çözülebilir olanlarına rağmen bazıları ancak algılayıcıların dizaynlarında yapılabilecek iyileştirilmelerle çözülebilecek sınırlamalardır. Bu bölümün amacı kullanıcılara Çizelge 6.1’de özetlenen bu sınırlamalar ve hata kaynakları hakkında nasıl bir yaklaşım izlemeleri gerektiğine dair bir başlangıç noktası sunmaya çalışmaktır, daha derinlemesine bilgiye konuyla ilgili literatürden ulaşılabilir.

Çizelge 6.1: İnterferometride hata kaynakları

Kategori	Karakteristik	Tip	Kaynak
Faz hataları	İnterferometrik korelasyona bağlıdır, geniş bantta rastgele meydana gelebilir.	Isıl gürültü, Sayım gürültüsü,	Radar sistemi
		Baz uyumsuzluğu, Hacimsel uyumsuzluk	Elektromanyetik alan uyumsuzluğu
		Zamansal uyumsuzluk, kayıt hatasına bağlı gürültü, Sayım gürültüsü	İşlemci
	Yavaş değişen sistematik hatalar olarak ortaya çıkar	Alıcı faz dengesizlikleri	Radar sistemi
		Atmosfer	Yayılım ortamı
		İyonosfer	
	Veriye bağlı sistematik ve/veya rastgele ortaya çıkar	Faz sargı açma hataları	İşlem
		Kaynak SYM Hataları	Değişken İşlem
Ölçüm yöntemi hataları	Platform hareketi çok fazla ve dengesiz ise genelde sistematik olarak ortaya çıkar	Baz Hatası	Sistem geometrisinin belirsizliği
		Platform konum hatası	
		Menzil hatası	
Veri Boşlukları	Yeryüzüne bağlı olarak ortaya çıkar	Eğilim	Resim bozulması
		Kısalma	
		Gölge	

6.2 İstatistiki Hatalar

6.2.1 Isıl gürültü

Zebker ve Villasenor tarafından ilk kez 1992 yılında tanımlanan istatistiki faz hataları ısı gürültü ve sayım gürültüsü olarak adlandırılmışlardır (Burgmann, 2000). Bu iki hatanın da kaynağı olarak iki interferometrik gözlemin yayılım geometrilerindeki farkta kaynaklandığı belirtilmektedir. Isıl gürültünün ortaya konmasının sebebi Radar cihazlarının sıfır derecen farklı bir ısı ortamında çalışıyor olması ve “sıcak” objeleri gözlemliyor olmasıdır. Bu durumun sonucu olarak maruz kalınan ısılar toplamı sistemdeki elektronların ısı hareketlerini arttırarak ısı gürültüye neden olmaktadır. Isıl gürültünün dönen sinyalle uyumsuz olması ve sinyal gücünün arttırılması ile ortadan kaldırılabileceği Burgmann tarafından 2000’de belirtilmiştir.

6.2.2 Sayım gürültüsü

İnterferogramı oluşturan görüntülerin referanslanması sırasında oluşan hatalar da rastgele bir gürültü oluşmasına neden olabilmektedir bu durum komşu piksellerden alınan rastgele sinyallerin hedef pikselden alınan sinyalle karışmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Burgmann, 2000). Sayım gürültüsü sinyali sürekli olarak alıp sayısallaştıran uydularda ortaya çıkmaktadır, alınan sinyalin örnekleme miktarı işlenebilen sinyal miktarını geçtiğinde sayım gürültüsü ortaya çıkmaktadır (Burgmann, 2000).

6.2.3 Baz (geometrik) uyumsuzluğu

Bir resim noktası iki resim arasında farklı iki açıdan görüntülediğinden iki durumda algılayıcıya olan mesafeleri farklı olmaktadır. Radar sistemi iki resim arasındaki tutarlılığa oldukça bağımlı bir sistem olduğundan bu değişim pikselden alınan iki değer arasındaki uyuşumun düşmesine neden olmaktadır. baz uzunluğu arttıkça bu uyuşum azalmaktadır bu duruma da Burgmann 2000’de geometrik uyumsuzluk veya baz uyumsuzluğu adı verilmiştir.

6.2.4 Hacimsel uyumsuzluk

Deformasyon uygulamalarında topografik etkilerin ve baz uyumsuzluğunu gidermek için minim baz uzunluğu seçilmeye özen gösterilmektedir, fazla pürüzlü yüzeylerde

veya bitki örtüsünün yoğun olduğu yüzeylerde geometrik uyuşumsuzluk 3. Boyuta taşınarak hacimsel bir uyuşumsuzluk haline gelebilmektedir (Rodriguez & Martin, 1992). Bu durumda sinyal daha hızlı uyuşumsuz hale gelir çünkü etkili menzile içinde düşeyde çözünürlük daha büyüktür. Bölgedeki zaman bağı; bitki örtüsündeki gelişim erozyon v.b. gibi etkiler interferogramda kullanılacak bu görüntüler arasında hacimsel uyuşumsuzluğa yol açabilmektedir (Burgmann, 2000). Bu durumun giderilmesi için çalışma bölgesinde olabilecek değişimlerin hızlarının görüntülerin seçimi aşamasında dikkate alınması olacaktır.

6.3 Sistemik hatalar

Sistemik hatalar genelde radar ve hedef piksel arasındaki işlem içerisindeki küçük faz kaymaları şeklinde kendilerini gösterirler, bu konuda atmosferik dağılımın etkisi yüksektir (Burgmann, 2000). Atmosferdeki dağılım şartlarının tamamen modellenememesinden kaynaklanan belirsizlikler nedeniyle ideal olarak olmasa da benzer şartlar altında alınmış görüntülerin kullanılması etkiyi azaltsa da tamamen yok edememektedir. Atmosferin nemindeki %20 lik bir değişikliğin bile deformasyon ölçmelerinde 10 cm bir faz gecikmesine lik ve topografik ölçümlerde 100 metreye varan hatalara neden olabildiği Burgmann tarafından 2000 yılında belirtilmiştir. Atmosferik yayılım etkileri SRTM gibi eş zamanlı ölçü alan sistemlerde zaman farkı neredeyse sıfır olduğu için önemsenmeyebilir ancak “tekrar geçişli” uydu sistemlerinde bu etki belirginleşmektedir. Atmosferik etkilerin azaltılması için kullanıcının atmosferik etkiyi arttıracak öğelerin bulunduğu görüntüleri deformasyon analizinde kullanmaması yoluna gitmeleri önerilmektedir (Burgmann, 2000). Bir diğer yöntemde pek çok interferogramın ortalamasını alarak uyuşumsuz veri olarak ortaya çıkacak atmosferik etkilerin birbirini sıfırlamasını sağlamak olarak önerilmektedir (Fujiwara ve diğerleri, 1998a).

6.4 Veriye Bağlı Hatalar

SAR interferometrisinde istatistikî ve sistemik hataların dışında kalan hatalar veriye bağlı hatalar olarak sınıflandırılmaktadır. Veriye bağlı hatalar işlem yöntemleriyle doğrudan ilgilidirler ve farklı işlem yöntemleri kullanılarak giderilebilirler. Örneğin sargı açma yönteminde birkaç yöntem mevcuttur ve her

birinin veriye bağılı gürültü karakteristikleri vardır (Bamler, 1997). Bazıları faz hatalarını 2π 'nin tam katları olarak ifade ederken, bazıları faz bozukluklarının olduğu yerlerde kaymalarla ifade etmektedir. Gürültü içeren veri setlerinde çalışılan bölgenin topografyası ile ilgili bilgi sahibi olmadan bu bozuklukların yerlerinin tahmin edilmesi çok zordur ve pek çok veri seti bir bölgesinde gürültü bulundurmaktadır (Burgmann, 2000). Bu durumda farklı zamanlarda algılanmış veya farklı algılayıcı ve geometrilerle alınmış veri setlerinin karşılaştırılması faydalı olacaktır (Burgmann, 2000). Alternatif olarak daha önceki bölümlerde de bahsedilmiş olan Sayısal Yükseklik Modelinin kullanılarak topografya etkisinin interferogramdan çıkarılması yöntemi kullanılabilir. SYM'deki bir Δh yükseklik hatası saçak döngülerinde $\Delta h/h$ kadar bir hataya neden olur bu hata da radar dalga boyu ile ölçeklendirilerek topografik hatalardan oluşan deformasyon hatalarını ortaya çıkarır (Burgmann, 2000).

6.4.1 Ölçme yöntemi hataları

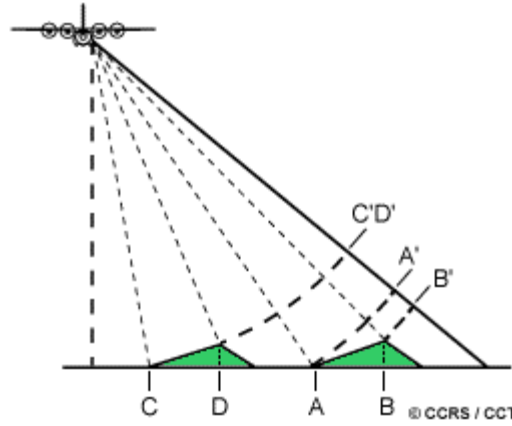
Topografik uygulamalarda interferogramdan topografyanın çıkarılması için uydunun baz uzunluğu (iki geçiş hattında izlediği yörüngeler arası uzaklık) veya alıcılar arasındaki uzaklık (eğer tek geçişli bir interferometri alıcısı ise SRTM ve SLAR örneklerindeki gibi) ve r_1 ve r_2 mesafe ölçmelerinin oluşturduğu geometri hakkında yeterli bilginin olması gerekmektedir. Bu bilginin hassasiyeti baz uzunluğu için genellikle birkaç milimetre düzeyinde kullanılmaktadır (Burgmann, 2000). Havadan veri toplayan interferometri alıcıları genellikle belirli doğruluk kıstaslarını karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır, bu sistemler yere göre olan konumlarını ataletli yönlendirme sistemleriyle, dünyadaki konumlarını ise küresel konumlandırma sistemleri (GNSS) ile ölçerek kaydetmektedirler (Burgmann, 2000). SRTM projesinde kullanılan Endeavour uzay mekiğinde de bulunan bu sistemler sayesinde yörünge ve baz uzunluğunun belirlenmesinde zorluk yaşanmamaktadır ancak tekrarlı geçiş sistemlerinde yörünge belirlenmesi ve belirli bir hassasiyetin üzerinde mümkün olamamaktadır. Bu nedenle Bamler'in 1997'de belirttiği gibi yer kontrol noktalarının kullanılması gerekmektedir. Buradan yola çıkarak tekrarlı geçiş sistemi ile elde edilen haritaların doğruluğunun, yer kontrol noktalarının doğruluğunun etkisinde ve dolayısı ile altında olduğu sonucuna varılabilir.

6.4.2 Veri boşlukları

Radar sistemlerinin kendi aydınlatmasını yapmasının avantajları olmasına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır, bunlardan birisi de bakı açısı ve yer şekillerinin engebeli olduğu yerlerde oluşan deformasyonlar ve veri kaybıdır. Burgmann tarafında 2000’de “veri boşlukları” olarak tabir edilen bu durumlar Topografya etkileri altında; Kısalma (foreshortening) Eğilim (Layover) ve Gölge (Shadow) olarak üç başlıkta incelenecek ve ayrıntılarına kısaca değinilecektir.

6.4.2.1 Topografya etkileri

Kısalma (Foreshortening)

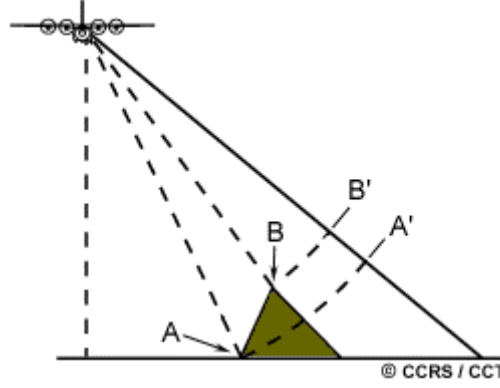


Şekil 6.1: Kısalma [URL-35]

Tüm Radar sistemlerinde olduğu gibi Yapay Açıklıklı Radar sistemleri de eğik mesafeyi elektromanyetik dalgalar ile ölçtüklerinden gidiş yönüne dik yönde gönderilen sinyallerin deformasyon kuralları tüm sistemlerde geçerlidir. Radar dalgası şekilde görülene benzer eğimli bir yeryüzü şeklinde şeklin tepe noktası B den önce taban noktası A ya ulaşırsa A’ olarak aldığı sinyal (normalde tersi olması gerekirken) B’ den aldığı sinyalden önce alıcıya ulaşacaktır (Şekil 6.1). Bu da ölçülen yüzeyde bir kısalmaya ve aradaki öğelerin sıkışmasına neden olacak ve kullanıcının bölgedeki yeryüzü şeklini yanlış yorumlamasına neden olacaktır. Burgmann’ın da 2000 yılında belirttiği üzere en fazla kısalma gelen sinyalin eğimli yüzeye tam dik olması durumunda gerçekleşmektedir. Bu durumun oluşması için C ve D noktasına gelen sinyalin C’ ve D’ sinyalleri olarak eş zamanlı yansıyıp aynı yükseklikteki iki noktaymış gibi alıcıya dönmesi durumunun oluşması gerekmektedir. Bu durumda eğimli yüzey yan yana iki piksel olarak tanımlanacak ve

eğimli yüzeyin uzunluğu sıfıra düşecektir. Kısalmaya uğrayan yer şekilleri radar görüntülerinde parlak bölgeler olarak görünürler (Burgmann, 2000).

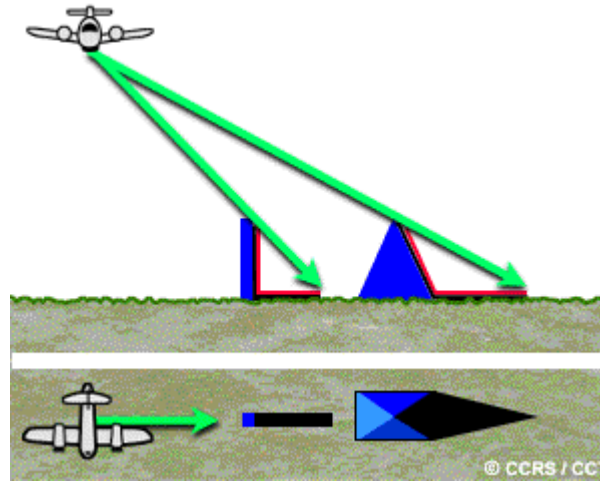
Eğilim (Layover)



Şekil 6.2: Eğilim [URL-35]

Eğilim radar dalgasının tepesine (Şekil 6.2’de de görülebileceği gibi) tabanından önce ulaşması durumunda oluşur. Normal bir durum gibi görünse de sinyalin eğik mesafe ölçmesi nedeniyle deformasyona ve veri kaybına neden olan bu durumda tepe noktası A’nın taban noktası B’ye yaklaşması sonucu bir deformasyon meydana gelir bu duruma Eğilim (Foreshortening) denir.

Gölge (Shadow)



Şekil 6.3: Gölge [URL-35]

Gölge radar sinyallerinin aydınlatamadığı noktalarda oluşan veri boşluklarıdır, gölgelenme algılayıcıdan uzaklaşan yöne doğru oluşur ve bölgeden alınan yansıtım enerjisi olmadığından siyah bir bölge olarak görülür, önemli bir nokta bu siyah alanların su bölgeleri ile karıştırılmaması gerektiğidir, genellikle sarp arazilerde ve yüksek yapıların olduğu bölgelerde gözlenir (Şekil 6.3).

7. SAR VERİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR

Yapay açıklıklı radar verisi algılama aşamasında avantajlı bir veridir ancak alınan verinin miktarı ve toplanma şekli nedeniyle işlenmesi kullanıcının ve bilgisayarların iş yükünü artırır niteliktedir. Bu tez çalışmasında verilerin işlenmesi için Genel Kamu Lisanslı (GPL) yani açık kaynak kodlu yazılımlardan yararlanılmıştır. Genel Kamu Lisanslı yazılımların avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır, genel olarak:

Avantajları:

- Kolay elde edilebilmeleri
- Ücretsiz olmaları
- Programın kişinin ihtiyacına göre değiştirilebilir olması
- Programın geliştirilmesine toplumun ve kullanıcıların tamamının destek verebilmesi

Dezavantajları:

- Önemli bir kısmının ara yüze sahip olmaması
 - Çalıştırıldıkları platformların ve programların kendilerinin kullanıcı dostu olmayışları
 - Haklarında yardımcı kaynakların bulunmasının zor olabilmesi
 - Gelişimlerinin hızlı olabileceği gibi yavaş hatta hiç olmayabilmesi
- olarak sıralanabilir.

7.1 Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar

7.1.1 ROI_PAC

ROI_PAC, (Repeat Orbit Interferometry Package) Tekrarlı geçişli yöntemi ile algılanan Yapay Açıklıklı Radar interferometri verilerinin işlenmesi amacıyla kullanılmak üzere Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü, Jet İtici Laboratuvarı (JPL) tarafından fortran ve C programlarının, perl de yazılan komut dosyaları ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur ve Linux/Unix işletim sistemlerinde

çalışabilmektedir. Roi pac ham veriyi alarak son ürüne kadar (görselleştirme hariç) işleyebilen tek Genel Kamu Lisanslı (GPL) programdır. ROI_PAC programı çalıştırıldığında sırasıyla, ham görüntünün işlenmesi, interferogram oluşturulması, uyuşum tahmini, faz sargısı açma, baz uzunluğu belirleme, deformasyon interferogramından topografya belirleme, deformasyon interferogramından topografya çıkartma ve yere referanslama işlemlerini gerçekleştirir ([URL-26]). Şekil 7.1 de daha detaylı görülebileceği gibi ROI_PAC içindeki modüller ayrı ayrı görevler için yazılmış ancak ortak bir sonuç verecek şekilde bir araya getirilmişlerdir, Perl komut dosyaları bu programlanmasını sağlar. Program iki ERS görüntüsü ve bir adet Sayısal Yükseklik Modelini veya üç adet radar görüntüsü kullanarak sonuç dosyası olarak yere referanslı deformasyon faz görüntüsü veya topografik faz görüntüsü oluşturur. Perl komut dosyaları ile programın çalışmasını sağlayan alt programlara da müdahale edilerek programın veriyi işleme performansı artırılabilir [URL-33].

7.1.2 DORIS

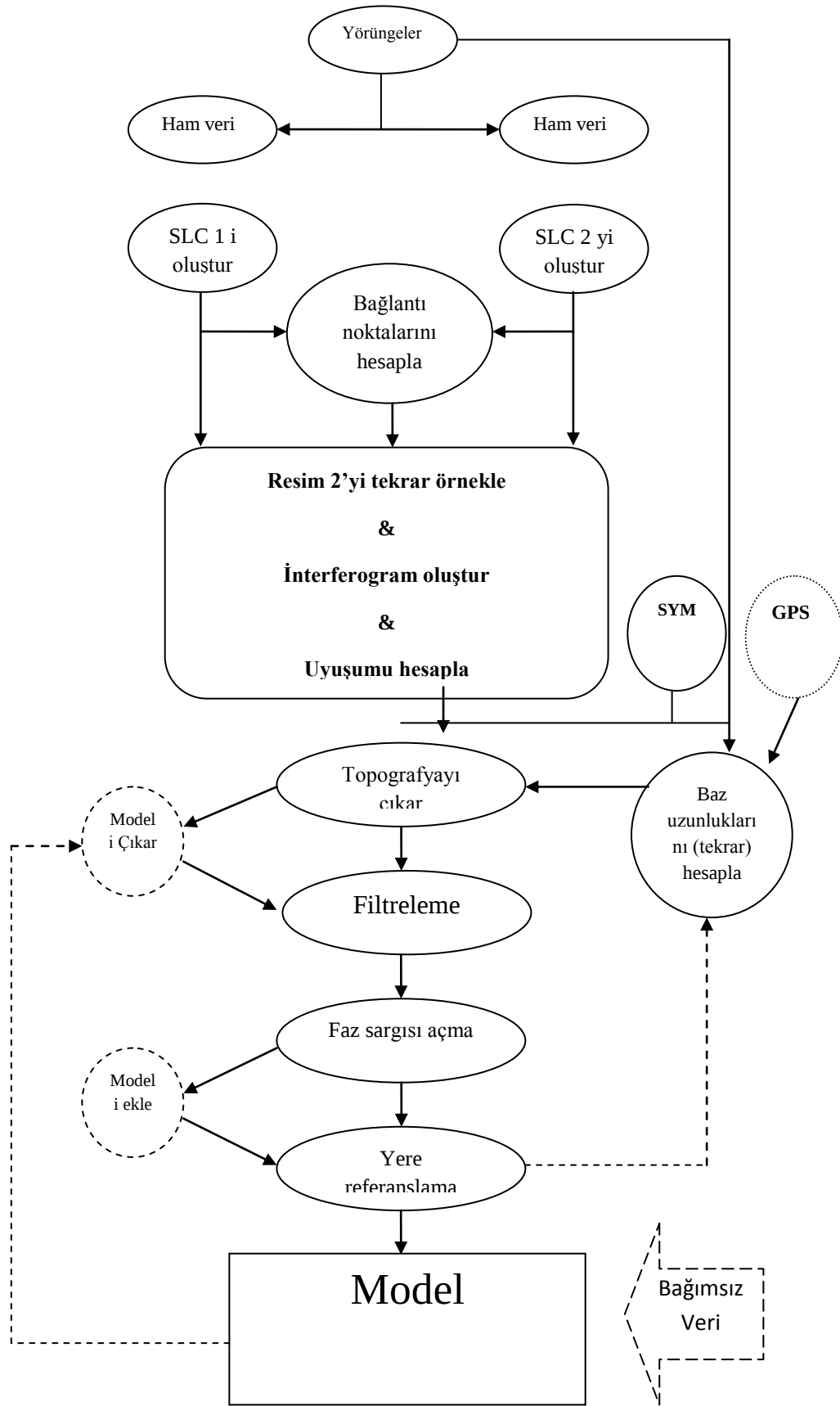
Delft object-oriented Radar Interferometric Software yani Delft Obje Tabanlı Radar İnterferometrik Yazılımı'nın kısaltmasıdır. Hollanda Delft üniversitesi tarafından Ekim 1998 yılından beri C++ yazılım dili ile Linux/Unix işletim sistemlerinde çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir, 1999 yılında kullanıcılara sunulmuştur. Programın kullanıcılara sunulması ortak gelişimin sağlanması ve daha geniş bir topluluktan geri besleme almayı sağlamıştır ([URL-9]).

7.1.3 NEST (The Next ESA SAR Toolbox)

Avrupa Uzay Ajansı'na ait ERS1 & 2, ENVISAT, JERS SAR, ALOS PALSAR, TerraSAR-X, Radarsat-1&2 ve Cosmo-Skymed uydularının verilerini okuyup, işleyip analiz edebilen bu program genel olarak java tabanlı oluşu nedeniyle hem Linux hem Windows hem de MacOS X de çalıştırılabilmektedir [URL-10].

NEST in temel bileşenleri:

- Görüntüleme ve Analiz Aracı (DAT: Display and Analysis Tool) görüntülerin işlenmesi ve görüntüler üzerinde gerek görüntüyle ilgili gerek meta verisi ile ilgili analizler için kullanılan araçlar
- Grafik İşleme Aracı (GPT Graph Processing Tool) komut satırı türü bir araç olup sıralı işlemleri öbekler halinde koşturmaya yarayan bir araçtır.



Şekil 7.1: ROI_PAC işlem şeması (Fielding 2008 den değiştirilmiştir)

Programda ayrıca SAR verisine okumaya ve yazmaya yarayan geniş bir kütüphane bulunmaktadır. Program ayrıca SAR verisini diğer programlarla uyumlu formatlara dönüştürebilme özelliğine sahiptir.

7.2 Ticari Yazılımlar

Ticari yazılımlar hem zaman tasarrufu sağlaması hem de işlem yükü olarak kullanıcının yükünü azaltması bakımından avantajlıdır ancak, gerek fiyatlarının yüksek oluşu gerek ihtiyaca göre “esnetilerek” üzerlerinde değişiklik yapılamıyor olması, bu yazılımların yaygın olarak kullanılmalarına kısmen engel olmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılması amaçlanan yazılımlar açık kaynak kodlu, ücretsiz yazılımlar olduğundan ücretli yazılımlara sadece isim olarak değinilmiştir. Sadece SAR verisinin işlenmesi için yazılmış ve genel olarak uzaktan algılama için yazılmış ancak sonradan eklenen modüller ile SAR verisi işleme özelliği kazanmış ücretli yazılımların en yaygın kullanılanlarına ilişkin liste:

- DIAPASON [URL 12]
- Earthview [URL 13]
- GAMMA [URL 14]
- InfoPACK [URL 15]
- PulSAR [URL 16]
- SARscape [URL 17]
- Vexcel [URL 18]

SAR verisi işleme özelliği bulunan yazılımlar

- eCognition [URL 19]
- ENVI [URL 20]
- ERDAS [URL 21]
- ER Mapper [URL 22]
- GEOimage [URL 23]
- PCI Geomatics [URL 24]

olarak özetlenebilir.

8. UYGULAMA

8.1 Uygulama Bölgesi

Tez çalışmasının niteliği göz önünde bulundurularak çalışma alanının elde hazır bulunan veri setlerinden birisi ile yapılmasının daha olumlu sonuç vereceği düşünülerek 40°.667 K, 41°.761 K enlemleri ve 32°.778 D, 34°.343 D boylamları arasında kalan Şekil 8.1’de görülebilen alan seçilmiştir. Alanın bitki örtüsün yoğun oluşu ve dağlık arazi nedeniyle verinin oluşabilecek tüm bozukluk türlerini barındırabileceği de dikkate alınarak, örnek uygulamanın bölgeye ait 11/06/1993 ve 10/05/1999 tarihli görüntülerle yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 8.1: Çalışma alanı google earth görüntüsü

8.2 Uygulamada kullanılan ROI_PAC yazılımının kurulumu

ROI_PAC kurulumu kısmına geçilmeden önce belirtilmesi gereken bir nokta bu tez çalışmasında kurulum bölümünde kullanılacak terimlerin daha anlaşılır olabilmesi için kullanıcıların orta düzeyde Linux/Unix komutlarına hâkim olmaları gerekmektedir. Bu bölümde verilen bilgiler tez çalışması sırasında, kullanılan

programın (ROI_PAC) kurulumu sırasında edinilen tecrübeler ve bu tecrübelerin yanı sıra programın kullanım kılavuzu dosyası [URL-33] ve [URL-34] sayfalarında bulunan bilgilerin yardımıyla programın kurulması aşamalarının sunulmasından oluşmaktadır. Bu ROI_PAC kurulumunda Red Hat Linux versiyonu olan Fedora Core 13 kullanılmış, shell komut ortamı olarak ise Turbo C Shell kullanılmıştır dolayısı ile yazılan komutların kullanılan ortama has komutlar olması mümkündür.

ROI_PAC programının elde edilmesi için Open Channel Foundation sitesine üye olarak http://www.openchannelfoundation.org/orders/index.php?group_id=282 adresindeki formun doldurulması ve kişiye özel gönderilen bağlantıdan ROI_PAC kaynak kodlarının indirilmesi gerekmektedir, kaynak kodlarını içeren arşiv dosyası indirildikten sonra arşiv dosyası konsoldan:

```
$ tar -xzf ROI_PAC_3_0_1.tgz
```

komutu ile arşiv dosyası açılarak yükleme işlemine başlanabilir.

8.2.1 Uygulama dosyalarının oluşturulması

Genellikle gözden kaçabilen bir nokta; açılan oluşturulan ve yeri değiştirilen klasörlerin iyelikleri, kimlere açık oldukları ve yazma izinleri gibi detaylara kullanıcının daha işlemlerin en başından dikkat etmesi işlemlerinin düzenli ilerlemesi açısından iyi olacaktır.

```
$ which ifort g95 f90 pgf95 f95 xlf gfortran cc gcc icc
```

Komutuyla kullanıcı dosyasında en azından bir adet fortran ve bir adet C derleyicisi bulunduğunu doğrulanmalıdır.

Dağıtım CVS tarafından bulunduktan sonra,

```
$ touch aclocal.m4 Makefile.in configure
```

komutu ile “make” in sürekli autoconf. dosyasından yürütülmesi sağlanmalıdır.

fftw (fast fourier transformation kitaplığı ve komut dosyaları) yüklü olmadığından fftw ROI_PAC arşivinin açıldığı klasörün altına yüklenmiştir,

```
$ ./contrib/install-fftw.sh CC=cc
```

CC=cc değişkeni daha sonrasında gcc derleyicisi ile ilgili bağlantı hatalarının aşılması için girilmiştir. Ardından;

```
$ setenv FFTW_LIB_DIR={libfftw3f.a dosyasını bulunduran klasör}
```

örneğin:

```
$ setenv  
FFTW_LIB_DIR=/kullaniciadiniz/ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/NetInst/fftw-071005-1457/lib  
$ setenv FFTW_INC_DIR={fftw3.f dosyasını bulunduran klasör}
```

örneğin:

```
$ setenv  
FFTW_INC_DIR=/kullaniciadiniz/ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/NetInst/fftw-071005-1457/include
```

komutları ile fftw kütüphanelerinin yüklenmesi için çevresel bileşenler sisteme tanıtıldı,

```
$/contrib/multibuild.sh
```

komutu ile fortran'ın farklı derleyicileri ile ROI_PAC in derlenmesine çalışıldı, f95 sonuç vermiştir. Her farklı ROI_PAC derlemesinin test edilmesi için her birine klasör oluşturulabilir bunun için 3 GB'lık boş alan gerekmektedir, bu nedenle izleyen komut ile bir test klasörü oluşturulmuştur;

```
$mkdir test-runs
```

```
$cd test-runs
```

komutu ile test klasörüne geçilmiş ve:

```
$which uncompress.
```

komutuyla dosyada “uncompress” komutu sorgu ile doğrulanmıştır.

Tekrar contribute klasörüne geçerek

```
${ contrib klasörünün adresi}/multitest.sh { TEST_DIR.tar  
adres } \{ ROI_PAC Perl Komut dosyalarının bulunduğu klasör }\{ ROI_PAC  
binary lerinin bulunduğu klasör }
```

```
multitest.sh
```

komut dosyasıyla make_raw ve process_2pass ile TEST_DIR klasöründeki veri işlenmiştir. Ardından;

```
$tail -7 */TEST_DIR/batchlog*
```

komutuyla kayıt dosyalarının sonları incelenmiş ve "That's all folks" ibaresi ile testin başarılı olduğu görülmüştür.

8.2.2 Uygulama dosyalarının yüklenmesi

Uygulama dosyalarının en son saklanacağı yer olan INT_BIN klasörü:.

```
$ mkdir ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_BIN
```

komutuyla oluşturulduktan sonra,

```
ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/multibuild-071005-1506/installs.
```

klasöründen uygulama dosyaları,

```
$ cd ROI_PAC_3_0/ROI_PAC/multibuild-071005-1506/installs/defaults/bin
```

```
$ cp * ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_BIN/.
```

komutlarıyla kopyalanmıştır. ODR yörüngelerinin kullanılabilmesi için getorb uygulamasının:

```
ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_BIN/
```

klasöründe bulunması gerekmektedir.

8.2.3 SAR_CONFIG dosyasının düzenlenmesi

ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/DOC/SAR_CONFIG dosyası
ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC klasörüne kopyalanıp gerekli satırlar (hangi satırların düzenlenmesi gerektiği dosyanın başlangıcında detaylı olarak yazmaktadır) düzenlendikten sisteme tanıtılmıştır bunun için:

```
$ cp ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/DOC/SAR_CONFIG  
ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/.
```

```
$ vi ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/SAR_CONFIG  
(klasör adreslerinin düzenlenmesi)
```

```
$ source SAR_CONFIG
```

kodları konsola yazılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak yörünge dosyalarına giden yollar (SAR_PRC_DIR ve SAR_ODR_DIR) da INT_BIN ve

INT_SCR klasörlerinin de tanımlanması gerekmektedir. Bunun yapılması için SAR_CONFIG dosyasına aşağıdaki satırlar eklenmiştir:

```
$setenv
```

```
INT_BIN="/tam_adres/ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_BIN"
```

```
$setenv
```

```
INT_SCR="/tam_adres/ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_SCR"
```

bash shell de çalışılıyorsa “setenv” yerine “export” ifadesi kullanılmalıdır, bu çalışmada tcsh (Turbo C Shell) de çalışıldığı için “setenv” kullanılmıştır. Bu dosyaya ayrıca getorb veya ek görselleştirme programlarından mdx, idl (ilerleyen bölümlerde ayrıntılarına değinilecektir) gibi görselleştirme programlarının veya herhangi diğer harici programların klasör adresleri girilerek tanıtılabilir.

8.2.4 Perl adreslerinin tanıtılması

ROI_PAC komut dosyasındaki Perl adresi ile bilgisayarda kullanılan perl adreslerinin değişik olması durumunda bu adreslerin de tanıtılması gerekmektedir, bu adresler INT_SCR klasörünün içindeki ROI_PAC komut dosyasından:

```
$ grep perl make_raw.pl
```

```
#!/usr/bin/perl
```

```
$ which perl
```

```
/usr/bin/perl
```

şeklinde kontrol edilebilmektedir, yukarıdaki durumda Perl adreslerinin güncellenmesine gerek olmadığı görülmüştür. Ancak gerekli olması durumunda INT_SCR klasöründeki bir Perl komut dosyası ile bu adresleri düzenlemek mümkündür:

```
$ cd ROI_PAC_3_0_1/ROI_PAC/INT_SCR
```

```
$ chgperlpath.pl
```

ROI_PAC ile verinin işlenmesi

ROI_PAC ile veri işlenirken iki ana komut kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi

make_raw.pl: ham haldeki uydu görüntülerini okuyarak “tek bakılı karmaşık” görüntü (single look complex) formatına dönüştürür,

ikincisi:

process_2pass.pl: Bir perl komut dosyası olup tek bakılı karmaşık formattaki verileri okuyarak son ürünler olan interferogramları oluşturur.

Bu iki komut aslında belirli komut dizilerinin sadeleştirilmiş halleridirler ve pek çok parametreye bağlı olarak çalışmaktadırlar, bu parametreler, girdi ve çıktı dosyaları ve bu dosyaların anlamlarına verinin işlenmesi bölümünde değinilecektir.

8.2.5 Girdi dosyaları ve dosyaların genel yapısı

Girdi dosyaları ROI_PAC ile işlenmeden önce belirli bir düzene sahip olmalıdır aksi takdirde çok karmaşık dosya sistemlerini okuyamayan ROI_PAC hatalı çıktı verecektir veya hiç çıktı vermeyecektir. Bu nedenle kullanıcının dosyaların görev ve niteliklerini iyi anlaması yararlı olacaktır. Uzantılarına bakılarak dosyaların bu özellikleri anlaşılabilir bu uzantılar özetlenecek olursa:

***.proc :** ASCII metin dosyası şeklindedir, işlemlerde kullanılan değişkenlerin tanımlandığı dosyadır.

***.dem :** sayısal yükseklik modelini içeren enlem boylam veya UTM koordinatlı ikilik (binary) dosya, işaretli tamsayı 2 bayt değerlere sahiptir, ölçeği değiştirilmediği sürece birimi metredir.

***.in:** ROI_PAC komut dosyaları tarafından derlenmiş bir program için girdi olarak kullanılan ASCII metin dosyası programın değişkenlerini içerir (Fielding 2008)

8.3 Dosya Yönetimi ve İşlenmesi

ROI_PAC dosyaları okurken belirli bir adlandırma sistemine göre okur ve yine benzer bir sisteme göre yazar, bu açıdan programın çok esnek olmadığı söylenebilir. Bütün veri setlerinde veri IMAGERY lider dosya SARLEADER ön ekiyle başlamalıdır. Dosyaların adlandırılması ve adlarının değiştirilmesi işlemleri yapılırken bu hususlara dikkat edilmelidir. Kullanıcının kendisine kolaylık olması açısından ise dosya isimlerine tarihi de eklemek uygun olacaktır. Örneğin IMAGERY19930611 gibi. Bu isimlendirme sisteminin bir diğer fonksiyonu da aynı yörünge üzerindeki bitişik görüntülerin birbirinden ayırt edilmesini sağlamaktır. Bu ayırt etmenin mümkün olabilmesi için isme eklenen zaman ekinin saniyeye kadar

devam ettirilmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse bu tez çalışmasında kullanılan görüntülerden Efendi (Master) olarak kullanılan görüntü IMAGERY19930611195958 olarak adlandırılmıştır. Aynı görüntü için lider dosyası ise SARLEADER19930611195958 olarak adlandırılmıştır.

Dosyaların adlarını inceleyecek olursak örnek olarak IMAGERY19930611195958 dosyasının adına Çizelge 8.1 e bakıldığında

Çizelge 8.1: Görüntü adlandırma sistematığı

Dosyanın adı: IMAGERY19930611195958			
Türü	Algılandığı yıl	Algılandığı ay	Algılandığı gün
IMAGERY	1993	06	11
	Algılandığı saat	Algılandığı dakika	Algılandığı saniye
	19	59	58

Bir diğer önemli nokta da veri kütüphanesinin düzenli olmasıdır aksi takdirde pek çok interferogram üretimi yapılacağı düşünülmeden hazırlanan dosya sistemindeki ham ve işlenmiş veriler kısa sürede birbirleriyle karışık hale gelerek içinden çıkılmaz sorunlara yol açabilmektedirler. Kullanıcıya kolaylık sağlaması bakımında kullanıcının veri klasörlerini YYYYAAAGG yıl ay gün şeklinde isimlendirmesi genel olarak kullanılan bir yöntemdir. İşlenilen verilerin boyutları büyük olduğundan verilerin sürekli yer değiştirmesi hem zor hem zaman alan hem de hafızada çok yer kaplayan bir işlemdir, bu nedenle verilerin sürekli kopyalanması yerine Linux un “linkleme” özelliğinden yararlanılarak veriler arası bağlantılar oluşturularak ham veriler yer değiştirilmeden pek çok kez aslı değişmeden kullanılabilir.

Bu uygulama için çalışma klasörünüzde her sar görüntüsü için bir klasör açarak, (bu çalışma için 19930611 ve 19990510 isimli iki klasör calisma1 adlı klasörün altında açılmıştır) calisma1 klasörünü ve altında iki klasörü oluşturmak için

```
$ mkdir calisma1 calisma1/19930611 calisma1/19990510
```

Komutu yazılabilir. Bu komut aynı anda calisma1 ve içine belirtilen tarihlerle isimlendirilmiş iki klasör açacaktır.İki sar görüntüsü için çalışma klasörleri açıldıktan ve IMAGERY ve SARLEADER dosyaları bu klasörlere kopyalandıktan sonra üçüncü bir klasöre geçerek (örn; calisma2/19930611) bu klasöre ilk çalışma

klasöründeki 19930611 dosyası ikinci çalışma klasörü calisma2 klasöründeki 19930611 klasörüne:

```
$ cd /calisma2/19930611  
  
$ ln -s / KullanıcıAdı / Home /calisma1/19930611/IMAGERY*  
IMAGERY19930611195958  
  
$ ln -s / KullanıcıAdı / Home  
/calisma1/19930611/SARLEADER* SARLEADER19930611195958
```

şeklinde bağlanabilmektedir.

8.3.1 make_raw.pl komutu

make_raw komut dosyası dosyaları ROI_PAC de işlemeye hazırlar, ilk kontrollerini yapar, formatını düzenler, uygun yörünge dosyasını hazırlar ve doppler etkisini modellemek için gerekli hesapları yapar. Kullanımı ise

```
$ make_raw.pl YÖRÜNGE_TÜRÜ SARLEADER_DOSYASI TARİH
```

Şeklindedir. Linux'daki pek çok komut dosyasında olduğu gibi herhangi bir argüman girilmeden çalıştırılan dosya ile ilgili detaylı çalışma bilgisi vermektedir. Efendi (Master) SAR resmini içeren klasöre geçerek:

```
$ cd calisma1/19930611  
  
$ make_raw.pl ODR SARLEADER19930611 19930611
```

Komutları girilerek interferogram oluşturmada ilk adım atılmış olur, aynı işlem Köle (Slave) resim klasöründe de tekrarlanırsa kullanıcı artık interferogram oluşturmaya hazır veriyi elde etmiş olur.

Bu noktada değinilmesi gereken bir konu; bahsedilmiş olan “Efendi” ve “Köle” resimler kullanıcının verisindeki verilerin referans alınma önceliklerini göstermektedir eski olan resimler genellikle efendi, yeni resimler ise genellikle köle olarak alınırlar. Bir diğer konu ise ROI_PAC in veri işleme konusunda sadece ERS uyduları ile sınırlı olmamasıdır. ROI_PAC Diğer uydulardan gelen verileri de işleyebilme kapasitesine sahiptir, bunun için make_raw.pl nin farklı versiyonları kullanılmalıdır Fielding’in (2008) de listelediği komut dosyaları şu şekildedir

- **ERS-1 ve ERS-2:** “make_raw.pl”
- **Envisat:** “make_raw_envi.pl”

- **ALOS:** “make_raw_alos.pl”
- **Radarsat-1**
- **CEOS:** “make_raw_RSAT-CEOS.pl”*
- **STF:** “make_raw_RADARSAT_Şerit genişliği.pl”

8.3.2 Parametre dosyasının oluşturulması

ROI_PAC’in interferogramları oluştururken baz aldığı değişkenlerin ayrı bir ASCII dosyası ile tanımlanması gerekmektedir, bu dosyaya parametre dosyası denmektedir .proc veya .txt olması, formatı ROI_PAC in okumaya programlandığı formata uygun olduğu sürece, fark etmemektedir. Genel eğilim kolaylık açısından ya param.txt, ya çalışma klasörünün ismiyle (calisma1.txt veya calisma.proc gibi) bir dosya oluşturmak ya da işlem tarihinin isim olarak kullanıldığı bir dosya oluşturmaktır. En temel haliyle param.txt dört parametreyi içermelidir. Bunlardan ilk ikisi efendi ve köle resimler üçüncüsü çıktılarının saklandığı dosyanın adı (genel eğilim bu dosyaya int(yyaagg-efendi resim)-(yyaagg-köle resim) şeklinde isimlendirmek yönündedir, bu çalışmada da kullanıcılara kolaylık sağlaması açısından bu şekilde isimlendirilmiştir. Dördüncü parametre ise Sayısal Yükseklik Modelinin yerini belirten parametredir. Çalışmada kullanılan örnek bir parametre dosyasının değişkenleri aşağıda verilmiştir:

SarDir1=19930611 (ilk görüntü için sar görüntüsünü içeren klasör)

SarDir2=19990510 (ilk görüntü için sar görüntüsünü içeren klasör)

IntDir=INT930611-990510 (Çıktı dosyalarının saklanacağı klasör)

DEM /home/Adil/InSAR_proje/DEM/okaf.dem (SYM Dosyasının bulunduğu klasör)

Bu dört parametre her zaman gereklidir ancak ek parametreler interferogramların iyileştirilmesi için eklenebilir.

[URL-25] adresinden parametre dosyasına ilişkin detaylı komutlara ulaşılabilir.

8.3.3 process_2pass.pl

ROI_PAC in diğer Linux tabanlı programlara göreli olarak daha kullanıcı dostu olmasını sağlayan şeylerden birisinin kullanıcıya az komut dosyası ile çok parametre esnekliği sunması olduğu söylenebilir. Kullanıcı process_2pass.pl komut dosyasını çalıştırarak bir seri komut dosyası zincirini başlatarak sonuç ürüne ulaşabilmektedir

ancak parametrelerin düzgün ayarlanamaması durumunda bu komut dosyası işlemin bir yerine kadar gelebilmekte ve sonrasında hata vermektedir. Bu komut dosyası en basit haliyle sadece parametre dosyasını argüman olarak alsa da daha detaylı işlemler için daha fazla argüman kabul etme yetisine sahiptir. Örneğin:

```
$ process_2pass.pl 930611-990510.proc
```

kullanılan bilgisayarınızın gücüne göre değişmekle birlikte ortalama bir bilgisayarda interferogramın oluşturulması yarım ile bir saat arası sürmektedir (bu çalışmanın verisinin işlenmesi ortalama 25 dakika sürmüştür). Bütün çıktı dosyaları parametre dosyasının (bu çalışma için 930611-990510.proc) olduğu klasöre kaydedilecektir. İşlem başarılı bir şekilde sona ererse akan işlem kodlarında son satır olarak “That’s all folks.” yazacaktır. İşlem, doğruluğu irdelenmek için adım adım ilerletilmek istenirse process_2pass.pl

```
process_2pass.pl parameter_file [DoItFrom] [EndItAt]
```

şeklinde başlatılabilir. Bu durumda başlangıç ve bitim noktaları argüman olarak [DoItFrom]’dan başlangıç noktaları : raw, roi_prep, orbbase, slcs, offsets, resamp, flatorb, full_res, seismic, begin_filt, filtered, make_mask, unwrapped, done_sim_off, done_sim_removal, redo_base, use_sim_base, synth_offset, sim_removal, sim_removal_bsim, unwrapped_bsim adımlarını alacak,

[EndItAt]’den bitiş noktaları olarak: raw, roi_prep, orbbase, slcs, offsets, resamp, flatorb, full_res, seismic, begin_filt, filtered, make_mask, unwrapped, done_sim_off, done_sim_removal, redo_base, use_sim_base, synth_offset, sim_removal, sim_removal_bsim, unwrapped_bsim, done noktalarını argüman olarak alacaktır.

Bu yöntemde herhangi bir noktadan işlemi sonuna kadar ilerletmek için [EndItAt] “done” girdisiyle çalıştırmak gerekmektedir. Herhangi bir hatanın oluşması durumunda process_2pass.pl ham veriyle ilgili iki adet kayıt dosyası tutmaktadır hata kaynağının belirlenmesi için bu dosyaların incelenmesi oldukça yararlı olmaktadır.

8.4 Çıktı Dosyaları

Yapılan işlem sonucunda verdiğiniz isimdeki klasöre normal üretilmiş bir interferogram için 152 adet dosya kaydedilmektedir. Bu dosyaların bir kısmı interferogram iken bir kısmı da yapılan işleme dair istatistik bilgiler içeren kaynak

dosyalarıdır, çıkan sonuçların irdelenmesinde son derece önemli olan bu dosyalar genellikle boyut olarak kilobaytlarla baytlar arasında değişen boyutlarda iken sargıdan çıkarılmış interferogramlar megabaytlar büyüklüklerine ulaşabilmektedir. Çıktı dosyalarının uzantılarının açıklamasına dair bilgiler ışığında aşağıdaki Çizelge 8.2 de verilmiştir:

Çizelge 8.2: Çıktı dosyalarının detayları ([URL-26])

Dosya Adı	Dosya Tanımı
log	İşlem sırasında çağırılan komut satırı dosyalarının ASCII şeklinde ki dosyası
log1	Komut satırında işlem yaparken görülen çıktıların saklandığı ASCII dosyası.
tarih1.slc	Ham veriden oluşturulmuş tek bakılı karmaşık veri (single look complex)
_tarih1_tarih2_baseline.rsc	Görüntüler arasında hesaplanan baz uzunluğu bilgileri
fitoff_ampcor.out	Tek bakılı karmaşık resimlerin , öteleme, eğim ve dönüklük bilgileri
tarih1-tarih2.int	tarih1.slc ve tarih2.slc den üretilmiş interferogram(tam çözünürlük)
tarih1-tarih2.amp	Amplitude (genlik) dosyası
flat_YÖRÜNGE_Tarih1-Tarih2_.int	Öncül yörünge bilgisi kullanılarak düzleştirilmiş interferogram
tarih1-tarih2.cor	flat_YÖRÜNGE_Tarih1-Tarih2.int ve TARİH1-TARİH2.amp arasındaki uyuşum dosyası
_#rlks_raw.hgt	Menzil, azimut ve yükseklik koordinatlarında çıkarılmış SYM
radar_#rlks.hgt	Uydu koordinatlarıyla çıkarılan SYM
radar_YÖRÜNGE_#rlks.unw	Sınanmış faz sargıları açılmış, uydu koordinatlarında interferogram
TARİH1-TARİH2-sim_YÖRÜNGE_4rlks.int	Sargılı diferansiyel interferogram
MODEL#rlks.unw	Sınanmış, sismik model kullanan, faz sargısı açılmış diferansiyel
phase_var_YÖRÜNGE_#rlks.msk	Faz varyansından hesaplanan maske
filt_TARİH1-TARİH2-sim_YÖRÜNGE-MODEL#rlks_c###unw	Faz sargısı açılmış filtrelenmiş, sismik model çıkarılmış diferansiyel interferogram.
total_TARİH1-TARİH2-MODEL#rlks.unw	Faz sargısı açılmış, sismik model çıkarılmış, (yörünge eğimi dahil) diferansiyel interferogram
radar_SIM_#rlks.unw	Yeniden hesaplanan baz uzunluğuyla ve topografiyle hesaplanan yeni sınanmış interferogram.
filt_TARİH1-TARİH2-sim_SIM_#rlks_c###unw	Yeni baz uzunluğu verilerini kullanan filtrelenmiş, faz sargısı açılmış diferansiyel interferogram
geo-TARİH1-TARİH2.unw	Son, yer referanslı, filtrelenmiş, faz sargısı açılmış, diferansiyel interferogram
geo-TARİH1-TARİH2-MODEL#rlks.unw	Son, yer referanslı, filtrelenmiş, faz sargısı açılmış, sınanmış ve sismik modelle çıkarılmış, diferansiyel interferogram final

9. ROI_PAC VERİSİNİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR

9.1 MDX

MDX ROI_PAC dosyalarının okunabilmesi için oldukça uygun tasarlanmış bir programdır ve otomatik olarak dosya sonlarındaki(*.slc, *.unw, *.dem, *.hgt, *.cor, *.msk, *.int) dosya formatlarını okuyarak dosyaların formatlarını algılamakta rsc dosyalarından satır ve sütun parametrelerini okuyarak dosya boyutunu belirleyebilmektedir. Dosyaların .rmg (Richard M. Goldstein) formatını takip ettiğinden (gerçek*4, .unw, .hgt, .msk, ve .cor) tanımlanan satır sayısının iki katı sütun bulunmaktadır, yani her satır için tanımlı bir faz bir de genlik (amplitude) sütunu tanımlı bulunmaktadır. Programın bilinen sorunlarından birisi 30000 satırdan fazla bir görüntüyü açabilmek için öncelikle görüntüyü uzaklaştırıp sonra ilgilenilen bölgeye yakınlaştırmak gerekmesi bir diğeri ise programın kullanım izninin son derece uzun sürede ve çok sınırlı sayıda kişiye veriliyor olmasıdır bu iki faktör programın kullanılabilirliğini çok düşürmektedir [URL-33].

9.2 ArcGIS veya ArcMap

Öncelikle yapılması gereken ROI_PAC'ın "rmg2mag_phs" fonksiyonu ile görüntünün 2 bandını 2 adet belirsiz değerler ağına ayırmaktır bunun ardından dosyaların birer kopyası çıkarılarak uzantıları .flt ile değiştirilmelidir. Ardından dosya parametrelerinin okunabilmesi için gerekli "başlık" (header) dosyalarının .unw.rsc dosyasından oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan dosyalar:

```
NCOLS 990
NROWS 1110
XLLCORNER -72.9995833333334
YLLCORNER 17.9995833
CELLSIZE 0.000833333333333
BYTEORDER LSBFIRST
```

şeklinde görünmelidir, ArcGIS in sol alt köşe koordinatlarını kullanıyor olmasından ötürü, X_FIRST, XLLCORNER (X sol alt köşe) koordinatlarına denk gelmektedir ancak Y_FIRST sadece YLLCORNER (Y sol alt köşe) alınmaktadır Y_FIRST + (Y_STEP*YMAX) şeklinde alınmalıdır. Bu başlık Dosyası oluşturulduktan sonra ArcINFO araç kutusundan “floatgrid” komutu çalıştırılarak görüntüler görselleştirilebilir [URL-33].

9.3 IDL

IDL uygulaması olan read_roipac.pro normal ROI_PAC verilerini otomatik olarak okuyabilmektedir, ortaya çıkan görüntüler PSB: Piksel Sırasıyla Birleştirilmiş (BIP: band interleaved by pixel) sıralamasına sahip görüntülerdir. IDL modülü ROI_PAC in altında yüklü olduğu zaman otomatik olarak verileri çağırıp okuyabildiği gibi istek üzerine de /SHOW komutuyla da görselleştirme yapabilmektedir ancak mtv.pro uygulamasının IDL tarafından ulaşılabilecek bir yerde tanımlanmış olması gerekmektedir [URL-33].

9.4 DGX

Linux’un grafik ara yüz kernel’i X11 tabanlı bir görselleştirme aracı olan DGX (Data Graphics - X) genellikle radar verisi gibi genellikle karmaşık piksellerle ifade edilen ikilik verilerin veya satır sıralı, genlik/faz katmanlarına sahip görüntülerin gösterimi için idealdir. DGX veri argümanı olarak dosya adı, dosya tipi (karmaşık, satır sıralı, standart v.b.) veri tipi (kesirli değer, bayt, tamsayı v.b.), resim boyutları ve pek çok farklı dosya karakteristiğini alabilen ve renk skalası, öteleme, ölçekleme gibi pek çok işlemi gerçekleştirebilen bir yazılımdır.

<https://www.openchannelfoundation.org/projects/DGX> adresine müracaat ederek form doldurularak ücretsiz olarak temin edilmesi mümkündür.

9.5 RoiView

RoiView kullanıcı tarafında değişkenlerinin girilmesi gereken veya başlık dosyası gerektiren DGX ve MDX in yerini alması için tasarlanmış bir programdır. Windows ve Linux da çalışabilecek esneklikle programlanmıştır [URL-27].

10. SONUÇLAR

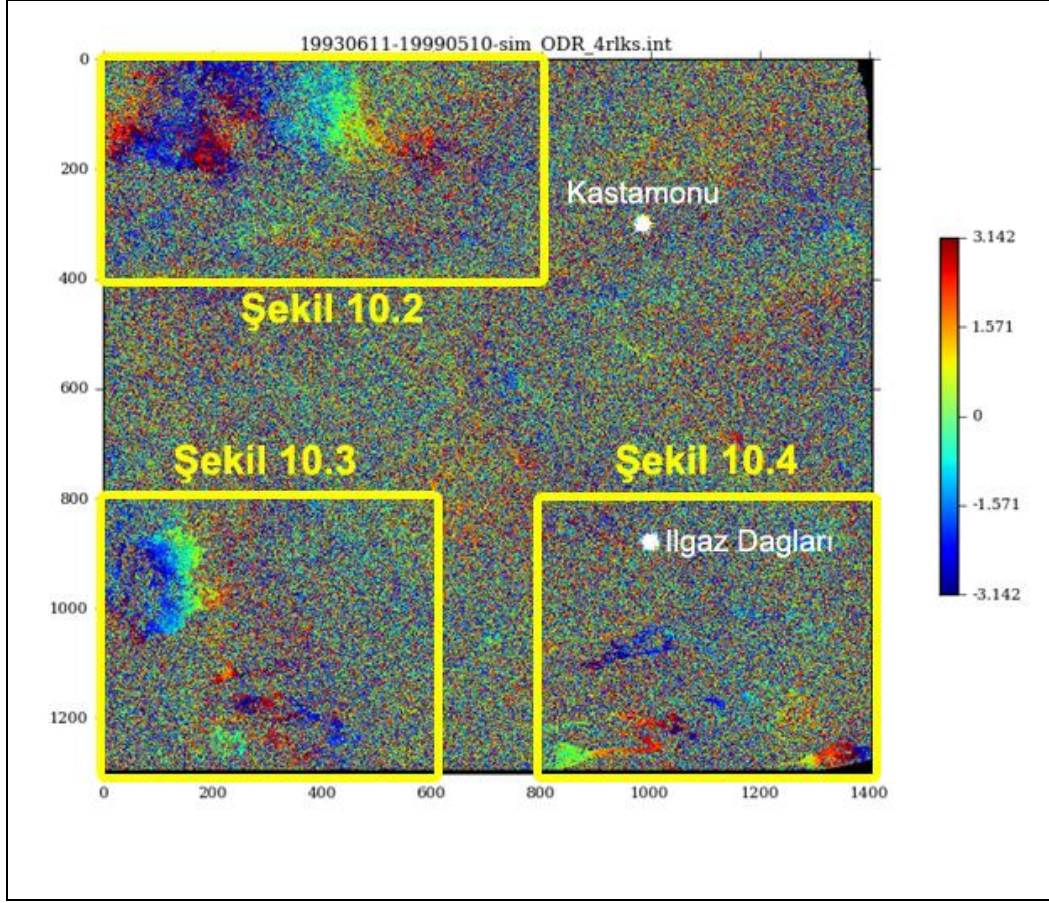
Uygulama bölümünde açıklanan parametrelerle yapılan ve en iyi sonuç için pek çok defa tekrarlanan işlemler sonucunda elde edilen interferogramlar göstermektedir ki; bölgedeki deformasyonun algılanabilmesi için iki resim çok yeterli olmamaktadır. Atmosferik gürültü ve bitki örtüsünün kayda değer oluşu zamanla piksellerin yansıtım değerini değiştirmekte, bölgedeki gürültüyü arttırmakta ve sağlıklı veri alınmasını engellemektedir. Bölgenin belirli bölgelerinde yoruma açık bazı faz farkları gözlemlense de bölgeyle ilgili, farklı bir program veya ek veri seti kullanılarak, yapılacak ikinci ve hatta üçüncü bir değerlendirme daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında Sayısal Yükseklik Modellerinin ve yörünge bilgilerinin SAR interferometrisinde çok büyük önemi olduğu görülmüş ve resim sayısı azaldıkça SYM, hassas yörünge verisi ve GNSS ile elde edilen yer kontrol noktalarının önemi ortaya çıkmıştır. İlerleyen çalışmalarda aynı bölgenin aynı tarihli veri setleri başka bir programla değerlendirilerek elde edilen sonuçların program algoritmalarından veya kullanıcı hatasından kaynaklanıp kaynaklanmadığı incelenebilir veya aynı bölge daha fazla veriyle aynı programda tekrar irdelenebilir. Ancak bu tez çalışmasının amacının daha çok başlangıç seviyesindeki kullanıcılara SAR sistemlerinin yapısı işleyişi, matematiksel altyapısı ve ücretsiz yazılım platformlarında veri işleme adımları temel düzeyde aktarmak olduğu belirtilmelidir. Verilerin işlenmesinde elde edilen sonuçlar ve yorumları aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

Bölgenin yere referanslanmamış sargılı interferogramı Şekil 10.1’de, bu şekil üzerinde işaretlenen bölgenin kuzeybatı köşesi Şekil 10.2’de, bölgenin güneybatı köşesi Şekil 10.3’de ve bölgenin güneydoğu köşesi Şekil 10.4’de ayrıca detaylı olarak gösterilmiştir.

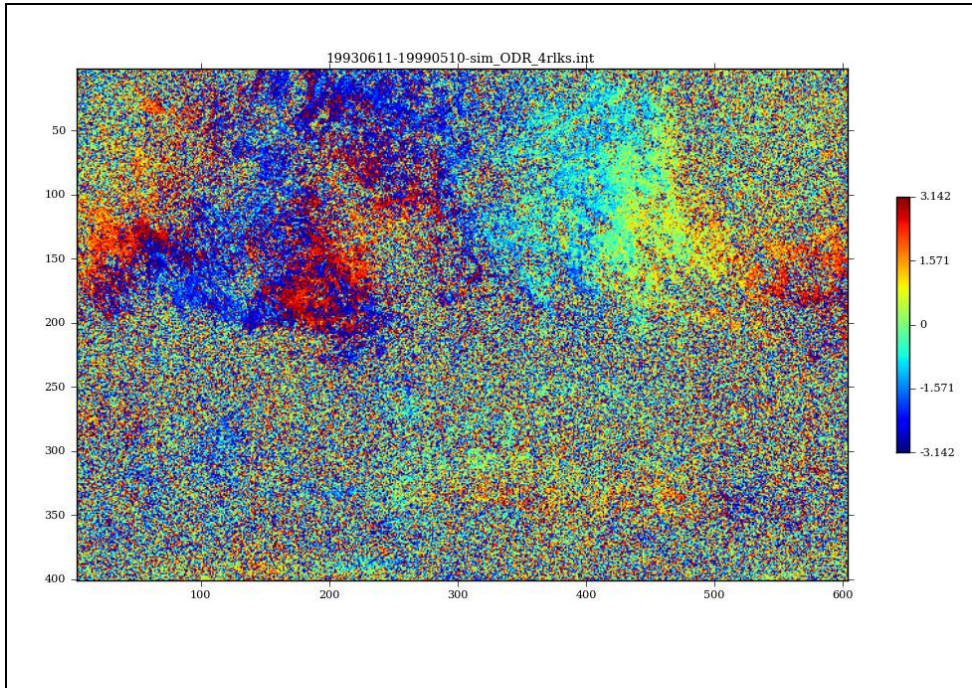
Sonuç İnterferogramları

Uydu koordinatları ile koordinatlı ve faz/rek skalası $\pm\pi$ arasında değişmekte olan bu interferogramda bölgenin Kuzeybatı, güneybatı ve güney doğusunda fazda

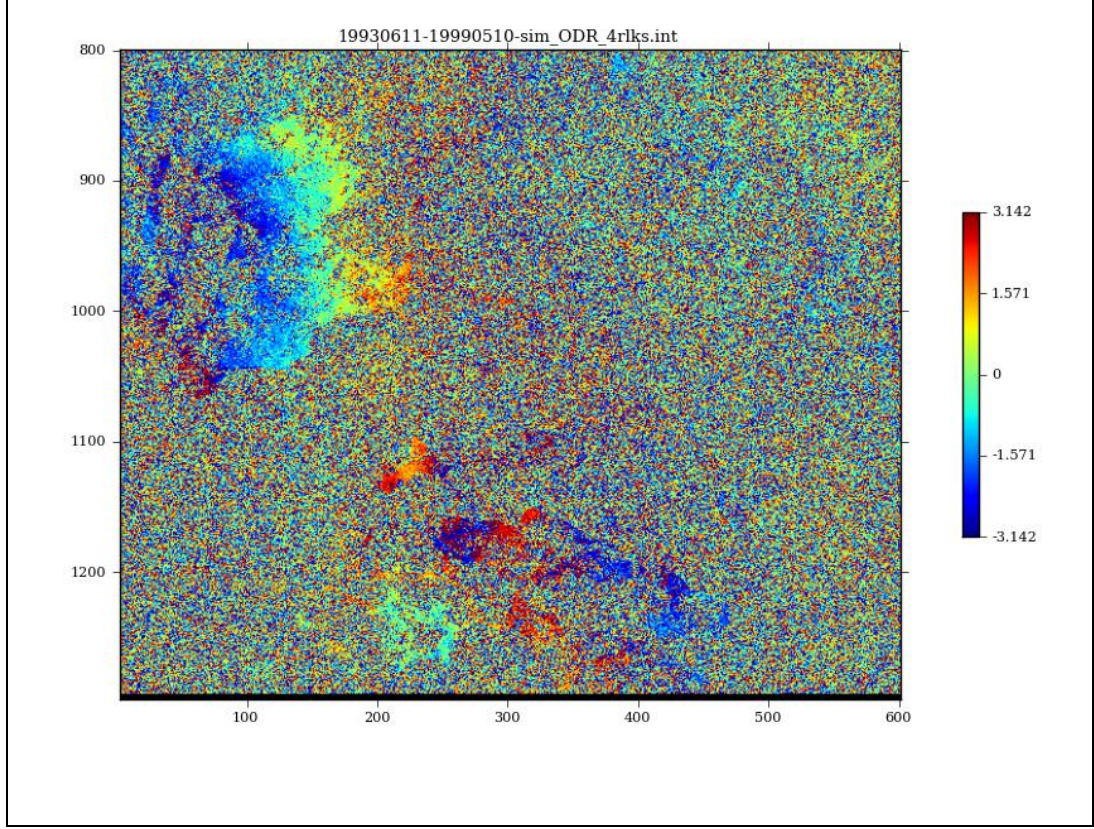
farklılaşmalar görülmekte ancak bu değişimlerin anlamlı olup olmadıkları henüz belirlenmemektedir.



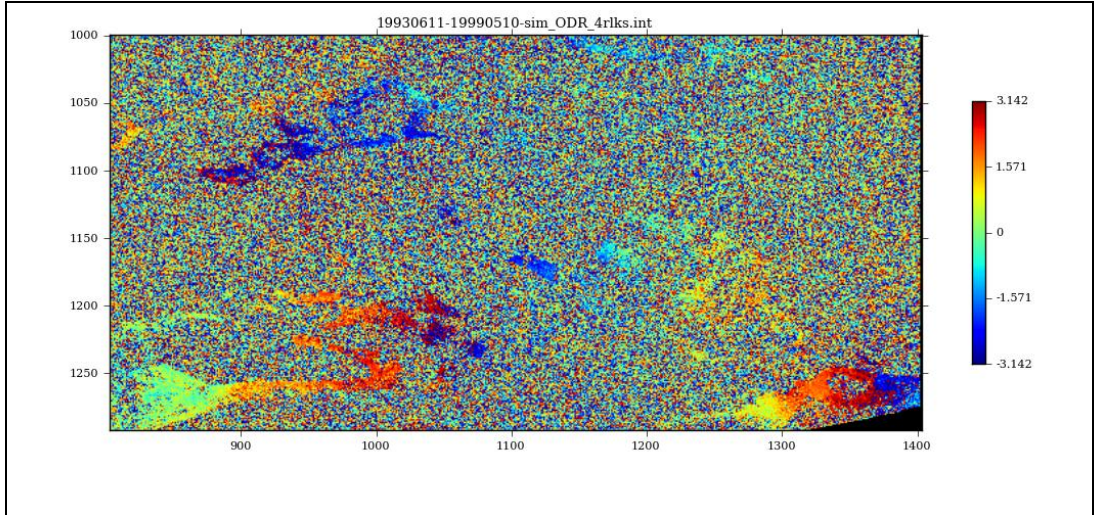
Şekil 10.1: Bölgenin yere referanslanmamış sargılı interferogramı



Şekil 10.2: Bölgenin Kuzeybatı köşesi



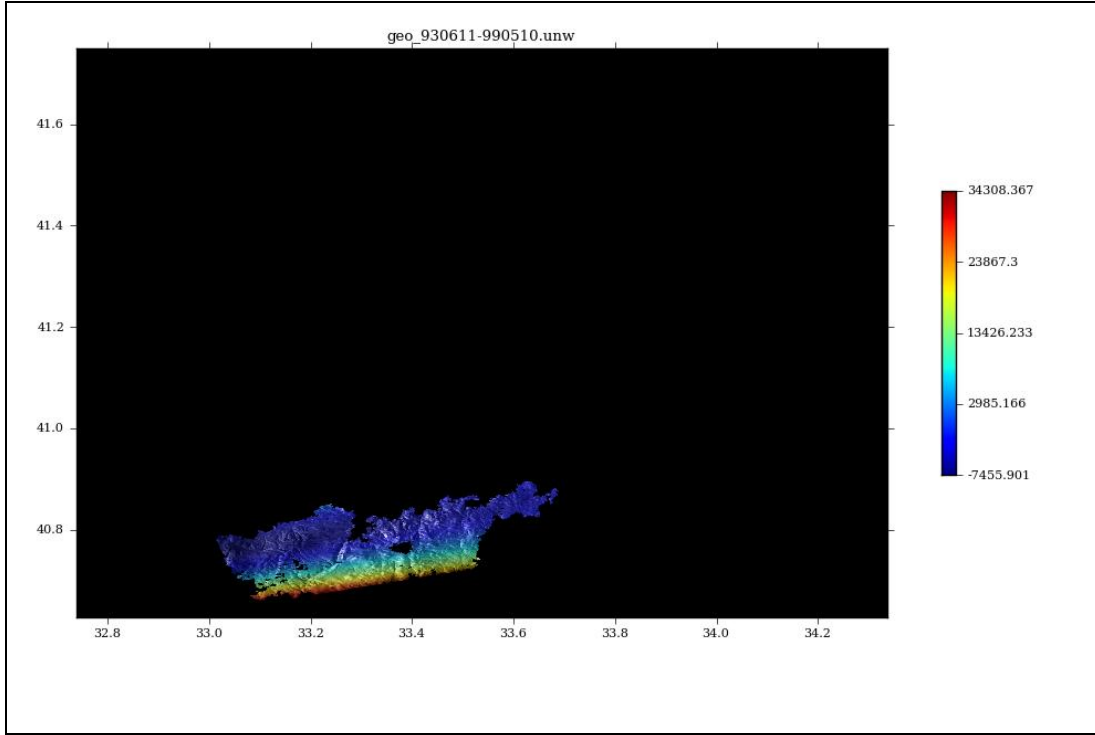
Şekil 10.3: Bölgenin güneybatı Köşesi



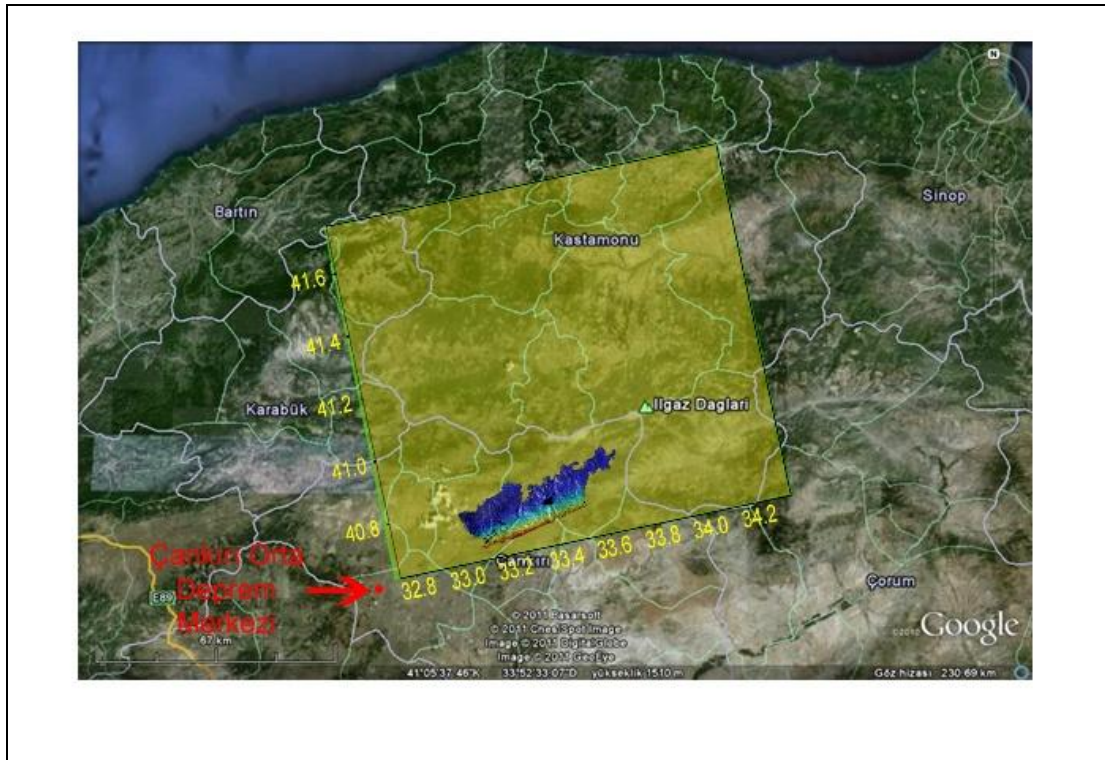
Şekil 10.4: Bölgenin Güneydoğu köşesi

Şekil 10.5 deki filtrelenmiş interferogramdan görülebileceği gibi daha önceki şekil 10.1’de görülen faz farkları, uygulanan filtreleme eşiğinin altında kaldıklarından atmosferik gürültü mü yoksa çok küçük deformasyonlar mı ayırt edilemez durumdadır. Bu durumda izlenmesi gereken yöntem filtreleme eşiğinin

değiştirilerek bölgenin yeniden incelenmesi veya, farklı bir uydudan alınan veriyle veya farklı bir veri inceleme programıyla verilerin yeniden değerlendirilmesidir.



Şekil 10.5: Bölgeden Çıkan Son, yer referanslı, filtrelenmiş, faz sargısı açılmış, diferansiyel interferogram



Şekil 10.6: Çankırı Orta ilçesi Depremi ve Deformasyon bölgesi

Ancak Şekil 10.6’da görülebileceği gibi:

06/06/2000 tarihinde  ankırı’nın Orta ilçesinde meydana gelen sığ odaklı (8km) orta büyüklüklü ($M_w=6.0$) deprem (Koçyigit A. ve ark.) ve Kuzey Anadolu Fay hattında oluşan yırtıkla beraber bölgede 1999 yılında oluştuğu tespit edilen deformasyonun iliŐkisinin var olup olmadığı var ise bu ilişkinin niteliklerinin değerlendirilmesi için bölgenin 2000 yılı verileri ile çalışmanın genişletilmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- **Bamler, R.**, 1997: *Digital Terrain Models from Radar Interferometry* Photogrammetric Week '97' Wichmann Verlag, Heidelberg,. P 93-105,
- **Curlander, J. C. ve McDonough, R. N.**, 1991: *Synthetic aperture radar: systems and signal processing*, John Wiley & Sons, Inc, New York.,
- **Çakır Z.**, 2003: Analysis of the crustal deformation caused by the 1999 Marmara earthquake sequence using synthetic aperture radar interferometry, İ.T.Ü. Jeoloji, Doktora tezi, Şubat
- **Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J.** 2007: *The Shuttle Radar Topography Mission Report*, Jet Propulsion Laboratories Pasadena California,
- **Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F.**, 2000: Nonlinear Subsidence Rate Estimation using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5):2202~2212.
- **Ferretti A., Monti-Guarnieri A., Prati C., Rocca F., Massonnet D.** 2007: *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*, ESA Publications Netherlands, February,
- **Fielding E.**, 2008: *ROI_PAC internals*, JPL California,
- **Hanssen R. F.** 2001: *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* Delft University Civil Engineering and Geosciences Faculty,
- **Krieger G., Zink M., Schulze D, Hajnsek I., Moreira A.**, 2010: *TanDEM-X: Mission Overview and Status*, German Aerospace Center,
- **Koçyiğit A., Rojay B., Cihan M. Özacar A.**, 2001: The June 6, 2000, Orta (Çankırı, Turkey) Earthquake: Sourced from a New Antithetic Sinistral Strike-slip Structure of the North Anatolian Fault System, the Dodurga Fault Zone *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. **10**, pp. 69-82,
- **McCandless S. W., Jackson C.**, 2004: SAR Marine's User Manual, Chapter 1: Principles of Synthetic Aperture Radar, p: 1-24, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, Washington D.C., September
- **Rodriguez E, Martin J. M.**, 1992: Theory and design of interferometric synthetic-aperture radars. *Proc. IEEE* 139(2):147–59
- **Skolnik, M.** 1981: *Introduction to Radar Systems: Third Edition*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd .Tokyo.
- **Zebker H.A. ve Villasenor. J.** 1992:, Decorrelation in interferometric radar echoes. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 30(5), pp. 950-959, September.
- **Url-1** <http://sm.mdacorporation.com/what_we_do/radarsat_2.html> Radarsat-2 alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-2** <<http://www.eorc.jaxa.jp/JERS-1/en/index.html>> JERS alındığı tarih 05.07.2010

- **Url-3** <<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat1/>>Radarsat – 1 alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-4** <<http://envisat.esa.int/earth/www/category/index.cfm?fcategoryid=87>>, ENVISAT alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-5** <<http://envisat.esa.int/earth/www/category/index.cfm?fcategoryid=60>>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-6** <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm> ALOS , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-7** <<http://www.terrasar.de/terrasar-x-satellite>> TerraSAR X, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-8** <<http://www.telespazio.it/cosmo.html>> COSMO – SkyMED, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-9** <<http://doris.tudelft.nl/>> DORIS, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-10** <<http://nest.array.ca/web/nest>> NEST, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-11** <<http://www.noc.soton.ac.uk/bilko/index.php>> BILKO, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-12** <<http://www.altamira-information.com>> DIAPASON, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-13** <<http://www.pcigeomatics.com/products/atlantis.html>> Earthview, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-14** <<http://www.gamma-rs.ch>> GAMMA, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-15** <<http://www.infosar.co.uk>> InfoPACK, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-16** <<http://www.phoenixsystems.co.uk>> PulSAR alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-17** <<http://www.sarmap.ch>> SARscape, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-18** <<http://www.vexcel.com>> Vexcel, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-19** <<http://www.definiens-imaging.com>> eCognition , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-20** <<http://www.rsinc.com/envi/>>, ENVI , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-21** <<http://www.erdas.com>> ERDAS , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-22** <<http://www.ermapper.com>> ER Mapper , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-23** <<http://www.geoimage.fr>> GEOimage, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-24** <<http://www.pcigeomatics.com>> PCI Geomatics , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-25** ROI_PAC
<http://pages.uoregon.edu/das/WikiRoiPac/doku.php?id=roipac:process:parameter_details>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-26** <<http://pages.uoregon.edu/das/WikiRoiPac/doku.php?id=output>>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-27** <<http://rnovitsky.blogspot.com/search/label/roiview>>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-28** <<https://www.openchannelfoundation.org/projects/DGX>>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-29** <http://www.esa.int/esaEO/GGGWBR8RVDC_index_0.html>, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-30** <<http://www.nrao.edu/index.php/learn/radioastronomy>> , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-31** <<http://vlodb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/mechanism/mechanism06-e.html>>“Errors in the SAR interferogram”> , alındığı tarih 05.07.2010

- **Url-32** <<http://www.jpl.nasa.gov/srtm/>> “Shuttle Radar Topography Mission - Mapping the World in Three Dimensions”, , alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-33** <<http://www.roipac.org/Installation>> ROI_PAC install, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-34**
<<http://pages.uoregon.edu/das/WikiRoiPac/doku.php?id=roipac:install>>
ROI_PAC install, alındığı tarih 05.07.2010
- **Url-35**
<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/04_e.php>
Natural Resources Canada , alındığı tarih 05.07.2010

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Adil Enis ARSLAN
Doğum Yeri ve Tarihi: 06.01.1985 - İstanbul
Adres:
E-posta: arslan_ae@yahoo.com.tr
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi