

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

InSAR UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİ İLE AKTİF HEYELANLARIN
İZLENMESİ: AĞCAGÜNEY (SAMSUN) ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semra ŞENTÜRK

OCAK 2020

TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**InSAR UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİ İLE AKTİF HEYELANLARIN
İZLENMESİ: AĞCAGÜNEY (SAMSUN) ÖRNEĞİ**

Jeoloji Müh. Semra ŞENTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.01.2020
Tezin Savunma Tarihi : 31.01.2020**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Trabzon 2020

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Semra ŞENTÜRK Tarafından Hazırlanan**

**InSAR UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİ İLE AKTİF HEYELANLARIN
İZLENMESİ: AĞCAGÜNEY (SAMSUN) ÖRNEĞİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 14/01/2020 gün ve 1837 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANSTEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesindeki yüksek lisans eğitimimin yaklaşık son 1 yılında üzerinde özellikle çalıştığım Uzaktan Algılama disiplinine dair gözlem ve incelemelerimi içermektedir.

Bu tez, kendi deneyim ve kazanımlarımın dışında hocalarımın eşsiz katkılarıyla ortaya çıkmıştır. Öncelikle tez danışmanım Prof. Dr. Aykut AKGÜN hocama, ardından Helmholtz-Institute Freiberg for Resource Technology’de eğitim alırken desteğini esirgemeyen Dr. Richard Gloaguen’e, Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde görev yapan Dr. Harita Mühendisi sevgili Fatma Canaslan ÇOMUT’a, Atatürk Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Arş. Gör. Fikret DOĞRU hocama ve Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü değerli arkadaşım Arş. Gör. Zeynep KAYA’ya içten bir teşekkürü borç bilirim. Ve tabii ki tüm bu süreçte yanımda olan, benden desteğini bir an olsun esirgemeyen canım aileme ve eşsiz dostlarıma teşekkür ederim.

Semra ŞENTÜRK
Trabzon, 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “InSAR Uzaktan Algılama Tekniğı ile Aktif Heyelanların İzlenmesi: Ağcagüney (Samsun) Örneğı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aykut AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 31/01/2020

Semra ŞENTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı.....	3
2. HEYELANLARIN TESPİT EDİLMESİ VE İZLENMESİ.....	4
2.1. Heyelan.....	4
2.2. Çeşitli Yüzey Deformasyonlarının InSAR-PSInSAR Uygulamaları ile Tespit Edilmesi ve İzlenmesi Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar	7
3. UZAKTAN ALGILAMADA TEMEL PRENSİPLER.....	10
3.1. Uzaktan Algılama ve Tarihçesi	10
3.1.1. Uzaktan Algılama	10
3.1.2. Uzaktan Algılamanın Tarihçesi	11
3.2. Uzaktan Algılama Sistemlerine Ait Teknikler	11
3.2.1. Veri Temin Sürecinde Yerleştirilen Konuma Göre Uydu Görüntüleri	11
3.2.1.1. Yersel Bazlar	12
3.2.1.2. Hava Araçları.....	12
3.2.1.3. Uzay Yörüngeleri.....	12
3.2.2. Kullanılan Enerjinin Çeşidine Göre Uydu Görüntüleri	12
3.2.2.1. Pasif Sistemler	13
3.2.2.2. Aktif Sistemler.....	13
3.2.3. Bant Çeşitliliğine Göre Uydu Görüntüleri.....	13
3.2.3.1. Pankromatik Görüntü.....	14
3.2.3.2. Multispektral Görüntü	14
3.2.3.3. Hiperspektral Görüntü	14
4. YÜZEY DEFORMASYONLARININ SAR TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ	16

4.1.	Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve Temel Prensipleri.....	16
4.2.	Yapay Açıklıklı Radar (SAR) İnterferometrisi.....	19
4.2.1.	Radar İnterferometrisi Elde Etme Yöntemleri.....	24
4.2.1.1.	Tek Geçiş İnterferometrisi.....	24
4.2.1.2.	Tekrar Geçiş (Çift Geçiş) İnterferometrisi	24
4.3.	Radar Uydularından Yaygın Kullanılanlar ve Özellikleri	26
4.3.1.	Radarsat	27
4.3.1.1.	Radarsat-1	27
4.3.1.2.	Radarsat-2.....	27
4.3.2.	ERS (European Remote Sensing Satellite-Avrupa Uzaktan Algılama Uydusu).....	28
4.3.2.1.	ERS-1 Uydusu	28
4.3.2.2.	ERS-2 Uydusu	30
4.3.2.3.	Envisat	31
4.3.2.4.	TerraSAR-X.....	32
4.3.2.5.	COSMO-SkyMed	32
4.3.2.6.	ALOS-1veALOS-2	32
4.4.	Sentinel Verisi ve Özellikleri.....	33
5.	İNSAR TEKNİĞİ İLE HEYELANLARIN İZLENMESİ: AĞCAGÜNEY MAHALLESİ ÖRNEĞİ.....	34
5.1.	İnceleme Alanının Tanıtımı.....	34
5.2.	İnceleme Alanının Jeolojisi	36
6.	METODOLOJİ.....	40
6.1.	İnterferogramların Elde Edilmesi	40
6.2.	İnterferogramların İşlenmesi ve İnterferogramlara Phase Elevation ile Atmosferik Düzeltme (GACOS) Uygulanması	42
6.3.	En Küçük Kareler Yöntemi ile Zaman Serisinin Elde Edilmesi	46
7.	SONUÇLAR VE YORUMLAR	48
8.	KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

**InSAR UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİ İLE AKTİF HEYELANLARIN İZLENMESİ:
AĞCAGÜNEY (SAMSUN) ÖRNEĞİ**

Adı Soyadı

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aykut AKGÜN
2020, 51 Sayfa

Başta jeoloji mühendisleri olmak üzere, yersel hareketlerle ilgilenen çoğu bilim insanı, tektonik hareketler ve bunların sonuçlarıyla ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda heyelan da pek çok araştırmanın birincil konusu olmuştur. Doğurduğu sonuçlar itibariyle heyelan; sosyolojik, jeolojik, ekonomik ve teknolojik birçok açıdan değerlendirmeye konu olmuştur.

Son teknolojik gelişmeler ışığında uzaktan algılama temelinde gerçekleştirilen uydu görüntülerinden faydalanılmaktadır. Yapay açıklıklı radar (SAR) görüntü çiftleri kullanılarak Samsun ili Ağcagüney mahallesinde bulunan heyelanlar Interferometrik SAR (InSAR) tekniğiyle gözlemlenmiştir. Ayrıca bu tez kapsamında bölgedeki heyelanlar, atmosferik etkilerin de giderilerek verinin daha sağlıklı bir şekilde incelenmesine olanak sağlayan “Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS)” düzeltme tekniğinden faydalanılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radar, yapay açıklıklı radar, uzaktan algılama, radar görüntü çiftleri, heyelan.

Master Thesis

SUMMARY

**OBSERVING OF ACTIVE LANDSLIDES WITH REMOTE SENSING TECHNIQUE: A
CASE STUDY IN AGCAGUNEY VILLAGE (SAMSUN)**

Adı Soyadı

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Aykut AKGÜN
2020, 51 Pages

In the very beginning, geology scientists have done a lot of researches about tectonic motions and results of them with scientists who studies regarding topographic movements. Related to this scope, landslides have been the very first topic in many researches, too. According to the results of landslides; considered as subjects of sociology, geology, economic and technologic.

In the light of current developments of technology, remote sensing-based satellite imageries are being used. Synthetic Aperture Radar (SAR) image pairs are being used to observe from Samsun province, Agcaguney Village with the technique of Interferometric SAR (InSAR). In addition, as part of this thesis, the correction technique “Generic Online Atmospheric Correction Service for InSAR(GACOS)”, which makes it possible to analyze landslides in the region in a healthier way by eliminating the atmospheric effects, and the results are shared.

Key Words: Radar, Synthetic Aperture Radar, Remote Sensing, Radar image pairs, landslides.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Son 60 yılda meydana gelen olay sayısı bazında heyelandan etkilenen illerin dağılımı	5
Şekil 2.	Heyelanların aktivite yayılım özellikleri. (A)Düşme, (B)Kayma, (C)Devrilme, (D)Akma, (E)Yanal yayılma.....	6
Şekil 3.	Uzaktan algılama veri eldesi	10
Şekil 4.	İnsan gözünün görebildiği ışık spektrumu	13
Şekil 5.	Bant genişliklerine dair bir görsel	15
Şekil 6.	Sabit bir anten örneğinde, dağıtılabılır veri sütunu temini.....	16
Şekil 7.	Hareket eden bir anten için hedef nokta temsili	17
Şekil 8.	Uydu yörüngesi ve nesnenin genel görüntüleme prensibi	18
Şekil 9.	Yansıma açısının değişiminin sebep olduğu frekans kayması	20
Şekil 10.	Faz açılmasını önleyen kısaltım (Foreshortening) durumu. Görselde P_i ve P_{i+1} arasındaki faz farkı π' den biraz daha büyüktür	22
Şekil 11.	Faz açıklığının uygulanmasına neden olan kalıntılar. $\Delta\Phi$ ve Φ birimleri, “dalga boyu sayısı”dır. pozitif kalıntılar “+” olarak, negatif kalıntılar “-.” olarak sembolize edilmiştir	23
Şekil 12.	Tek geçiş interferometrisi.....	24
Şekil 13.	Tekrar geçiş interferometrisi prensibi	25
Şekil 14.	Heyelan sebebiyle meydana gelen yapı kayması	34
Şekil 15.	Toprak kaymasının yakından gözlemlenmesi	35
Şekil 16.	Ağcagüney mahallesi ve yakın çevresinin yüzey morfolojisini gösteren sayısal arazi modeli.....	35
Şekil 17.	Çalışma alanının GoogleEarth uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	36
Şekil 18.	Çalışma alanının genel jeolojisini gösteren litoloji haritası (MTA’dan çalışma alanına ait paftalar alınarak, düzenlenmiştir).	37
Şekil 19.	Sarıyurt formasyonunun oluşturan kumtaşı-tüfit ve çamurtaşı-marn düzeyleri	38
Şekil 20.	Sarıyurt formasyonu kumtaşı-tüfit düzeyleri	39
Şekil 21.	Sarıyurt formasyonu çamurtaşı-marn düzeyleri	39
Şekil 22.	SNAP yazılımı, “Graph Builder” şeması	40
Şekil 23.	COMET-LiCS InSAR portal kullanıcı ara yüzü	41
Şekil 24.	COMET-LiCS InSAR Portal’dan indirilen interferogram görüntülerinden çalışma alanına ait örnekler	42

Şekil 25.	GACOS platformu atmosferik düzeltme talebine ait kullanıcı ara yüzü görseli	44
Şekil 26.	GACOS modellerine ait örnekler	45
Şekil 27.	a) En iyi düzeltmeyi veren interferogram b) GACOS modeli c) GACOS düzeltmesi yapılmış interferogram d) Phase-elevation+GACOS modeli e) Phase-elevation+GACOS etkileri giderilmiş interferogram.....	46
Şekil 28.	Atmosferik düzeltmesi yapılmamış interferogramlara ait toplam kümülatif LOS yer değiştirme grafiği	47
Şekil 29.	Atmosferik düzeltmesi yapılmış interferogramlara ait toplam kümülatif LOS yer değiştirme grafiği	47



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Heyelanların hızlarına göre sınıflandırılması	6
Tablo 2. RADARSAT-1 ve RADARSAT-2 teknik açıdan kıyas	28
Tablo 3. ERS-1 ve görüntüleme yaptığı alanlara dair bir özet	29
Tablo 4. ERS tabanlı uyduların sahip olduğu sensörler ve açıklamaları	31



SEMBOLLER DİZİNİ

Simgeler

t	: Yankı sinyalinin gecikmesi
r	: Nesne ile hedef arasındaki mesafe
p	: Nesnenin bulunduğu nokta
f	: Doppler frekansı
φ	: Görüntülerin faz değeri
\emptyset	: Faz farkı
V	: Genlik ve fazı içeren kompleks sinyal
γ	: Tutarlılık kontrol elemanı
$\Delta\Phi$: Komşu piksellerin faz farkı
Φ_{i+1}	: 1. Komşu piksel
Φ_i	: 2. Komşu piksel
W	: Matematiksel sıkıştırma operatörü
δd	: Yükseklik değişimi

Kısaltmalar

ATSR	: Along-Track Scanning Radiometer
CSP	: Canadian Space Program
DEM	: Digital Elevation Model
DinSAR	: Diferansiyel Interferometrik SAR
DORIS	: Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated By Satellite
EC	: European Commission
Envisat	: Environmental Satellite
ERS	: European Remote Sensing Satellite
ESA	: European Space Agency
InSAR	: Interferometrik SAR
MDA	: MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd
RADAR	: Radio Detection and Ranging
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar

SLR : Satellite Laser Ranging
SRTM DEM : Shuttle Radar Topography Mission-Digital Elevation Model
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli



1. GİRİŞ

Yağış miktarının fazlalığı, dik eğime sahip yükseltiler ve toprağının kil oranının yüksek olması, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ni "heyelan bölgesi" haline getiren etmenlerden başlıcasıdır. Jeolojik, morfolojik ve kişilerden kaynaklı olmak üzere başlıca 3 sınıfa ayrılan heyelanlar, hareketin gerçekleştiği malzemenin türüne göre kaya, blok, iri çakıl gibi etmenlerle gerçekleşiyorsa translasyonel ve rotasyonel olarak gözlemlenebilir (Türkeş vd., 2011).

Beklenmedik ve tahmin edilemeyen sonuçlara yol açabilen heyelan olayları sonucunda, heyelanların gözlemlenme ve incelenme gereksinimi baş göstermiştir. Zaman içinde gelişen teknolojik gözlem ve inceleme metodları oldukça farklı alanlarda gerleşmiştir. Başlıca gözlem tekniği olarak hava fotoğrafları kullanılmış olsa da ilk zamanlarda geleneksel ölçme tekniklerinden biri olan yersel ölçmeler ile heyelan tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Yetersiz kalan durumlarda ise gözlem teknikleri şekillenerek bugünkü halini almıştır (Tofani vd., 2013).

Uzaktan algılama, zaman değişkeninin entegre edildiği ve günümüzde sıklıkla uygulanan bir durum-değişkenlik analiz tekniğidir. Kayıtlara uzaktan algılamanın temel taşı olarak geçen bilinen ilk hava fotoğrafı, yaklaşık 700 feet yukardan çekilmiş Paris fotoğrafıdır. Ayrıca, Amerikan iç savaşı esnasında da balondan hava fotoğrafının çekilmesi bu anlamda önemli bir yer teşkil eder. 2. Dünya Savaşı sonlarına doğru keşif maksadıyla alınan hava fotoğrafları, özel filmlerin -kızıl ötesine duyarlı filmlerin- geliştirilmesiyle daha da mühim bir veri halini almıştır (Campbell, J.B. vd., 1944)

Kullanılan platforma, kullanılan enerjiye ve uydu görüntüsünün elde edildiği uzaktan algılama sisteminin bant özelliklerine göre genel anlamda üçe ayrılan uzaktan algılama sistemleri sınıflaması, hâlen gelişmekte olup farklı sınıflandırmalar da eklenebilir (Fussel, J. vd., 1986).

Uzaktan algılamanın temel prensibi Elektro Manyetik Radyasyon (EMR) enerjisiyle tanımlanır. EMR, uzayda yer alan bir objenin enerjisinin diğer bir objeye aktarılması, transferi anlamına gelir. Bahsi geçen EMR; mikrodalga, ışık, radyo dalgaları, ısı, ultraviyole ışınları ve X- ışınları gibi aşına olunan enerjilerdir.

Elektromanyetik dalgaların temel üç etken bileşeni şu şekilde sıralanabilir. Dalgaboyu (wavelength), şiddet (amplitude) ve frekans (frequency). Elektrik ve manyetik

alanlar arasında meydana gelen değişmeler, elektrik ve manyetik dalgalarda değişik hareketlenmelere sebep olabilir. Bu hareketin hızı ışık hızına eşittir (Holz, R. K., 1973)

Elektromanyetik radyasyon enerjisi, üç ana faktör tarafından atmosfer ilerleyişi sürecinde şekillenir. Bu faktörler saçılma (scattering), emilme (absorbtion) ve iletilme (transmission)'dur. Çalışmada yer alan kısımda saçılma üzerinde durulmaktadır. Bunun sebebi ise algılayıcı sistemde geri saçılan miktarın kaydolmasıdır (Rencz, A. N., 1999)

Uzaktan algılamada kullanılmakta olan en uzun dalga boyu mikrodalga bölgesinde kalmaktadır. Aktif algılama sistemleri içerisinde kendine yer bulan mikrodalga görüntüleme, 1 milimetre ile 1 metre arasında dalga boyunda olan ve bu aralıkta elektromanyetik spektrumda yer alan görüntüleme tekniğidir. RADAR olarak bilinen ve açılımı Radio Detection and Ranging olan sistem ise uzayda yer alan cisimlerin yerlerini radyo dalgaları yardımı ile belirler. RADAR sistemleri elektromanyetik spektrumda mikrodalga bölgede etkiye sahiptir. Kendi enerjisini kendi üreten sınıflamaya dahil olan aktif sistemlerde yer alan RADAR, aynı sebepten ötürü hem gece ve gündüz hem de hava koşullarının değişkenlik gösterdiği durumlarda bile çalışabilmektedir. RADAR görüntüleme sistemleri ikiye ayrılmaktadır: Satellite Laser Ranging (SLR) ve Synthetic Apperture Radar (SAR) (Verbyla, D.L., 1995)

Radar tekniğiyle oluşturulacak olan analizlerde yüksek çözünürlük elde etmek için standart anlamda mümkün olmayan ebat ve uzunluklarda anten kullanılması gerekmektedir. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), kısa anten ölçülerinde bile yüksek çözünürlüklü veri elde etmeyi sağlayan bir yöntemdir. Radar, sahip olduğu anten aracılığıyla belirlenen açıklık doğrultusunda hareket ettirilir. Belirlenmiş olan zaman aralıklarında ölçmeler elde eder ve elde edilen veriler eş zamanlı toplanarak sentetik bir açıklık meydana gelir. Bu şekilde de gerçek fiziksel açıklıkla aynı oranda olacak şekilde bir yapay açıklık oluşturulur. Bu yöntem, yaklaşık 60 senedir hava ve uzay ile ilgili olarak yüksek çözünürlüklü veri temini amacıyla kullanılmaktadır (Ferretti, A. vd., 2007).

Uzaktan algılama neticesinde elde edilen görüntüler, dünya gözlem uyduları sayesinde mümkün olmaktadır. Dünya gözlem uyduları ise kendi içinde çeşitli alt başlıklara göre sınıflandırılabilir. Geçmiş yıllarda ağırlıkla kamu desteğiyle uzaya gönderilen dünya gözlem uyduları, günümüzde hem özel sektör hem de kamu işbirliğiyle gönderilebilir. Ayrıca ihtiyaçlara yönelik olarak "siparişi alınan" gözlem uyduları, çoğunlukla özel sektör iştiraki ile amaca yönelik hizmete uygun olacak şekilde donatılarak

uzayda kendine yer bulmaktadır. Hâlen bazı uyduların deneysel ve bilimsel planlamaları sürmektedir (Reddix-Small, B., 2014).

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Yüzey hareketleri, bir takım jeolojik teknikler (inklinometre deneyi vb.) ve jeodezik ölçme teknikleri (GPS vb) yardımıyla belirlenebilmektedir. Ancak, uydu görüntüleri kullanılarak heyelanlar gibi yüzey hareketlerinin belirlenmesi diğer tekniklere nazaran daha yeni sayılabilecek bir yöntemdir. Uydu görüntülerine ait veri setleri kullanılarak istenilen alana istenilen zamanda uygulanabilirliği uydu tabanlı analizleri diğer yöntemlerden avantajlı hale getirmiştir. Ekonomik anlamda maliyet açısından büyük fayda sağlamanın yanı sıra zamansal olarak da çalışmalar için büyük kolaylık sağlamıştır.

Bu tez çalışması, genel hatlarıyla Sentinel 1A'ya ait SAR uydu görüntüleri kullanılarak heyelanların tespit edilmesini ve izlenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışma için Samsun ili Çarşamba ilçesine bağlı Ağcagüney mahallesi seçilmiştir. Seçilen bu alana ait heyelanlı bölgeler InSAR yöntemi ile analiz edilmiş, gerekli atmosferik düzenlemeler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Tez kapsamında temel amaç, seçilen örnek bölgeye ait yüzey deformasyonlarını SAR görüntüleri yardımıyla tespit etmek, deformasyon büyüklüklerini zamanla ilişkilendirerek sonuçlarını yorumlamaktır. Aynı zamanda yapılan bu çalışma elde edilen bu sonuçlar sebebiyle, ileride yapılabilecek olan çalışmalar için geliştirilebilir bir ön çalışmayı içermektedir.

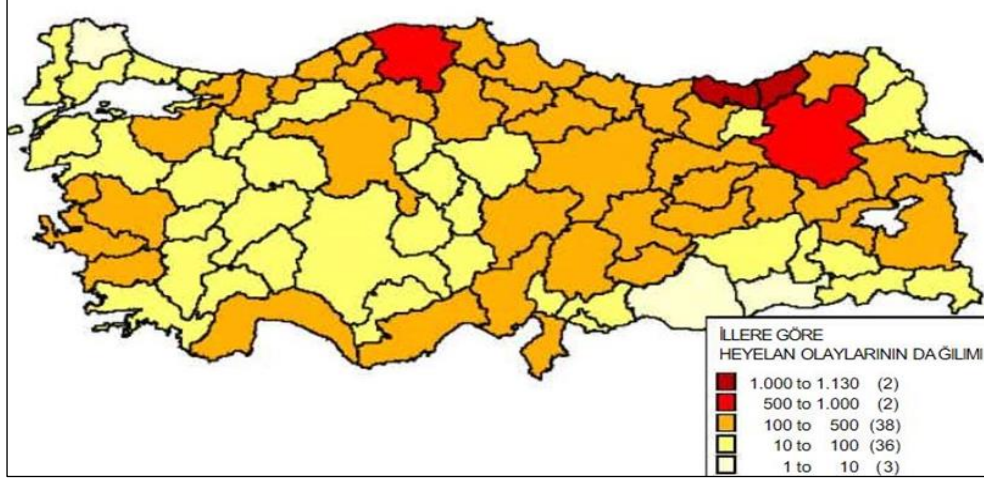
2. HEYELANLARIN TESPİT EDİLMESİ VE İZLENMESİ

2.1. Heyelan

“Heyelan” terimi, Varnes (1958) tarafından kaya, toprak, yapay dolgu veya bunların birleşiminden oluşan malzemelerin eğim aşağı ve dışa doğru hareketiyle sonuçlanan olaylar bütünü olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin düşerek, devrilerek, kayarak, yayılarak veya akarak hareket ettiğini de belirtmiştir.

Dünya üzerinde depremlerden sonra insanoğlunu en çok maddi hasar ve yaşam kaybına uğratan afetlerden biri de heyelanlardır. Heyelanlar, Türkiye’yi de yakından ilgilendiren doğal olay nedenli afetler içerisinde yer alır. Heyelanlar, genel anlamı ile kütle hareketleri, jeolojik–jeomorfolojik –klimatolojik–meteorolojik etken ve süreçler ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak, yamaç dengesinin bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır.

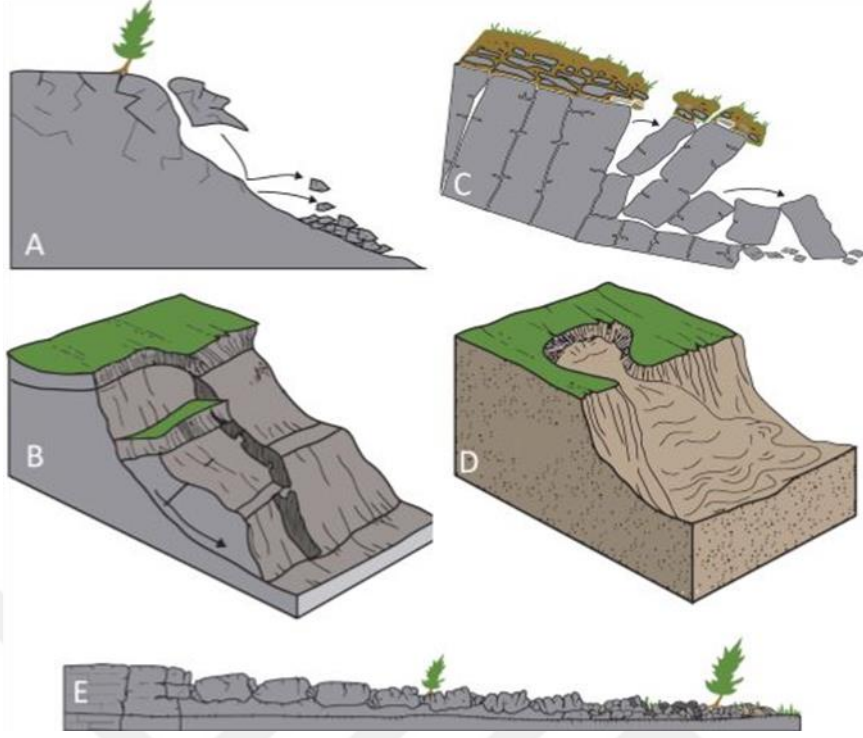
Türkiye’de kütle hareketlerinin özellikle de heyelanların, ortaya çıkardığı kayıplar son derece önemlidir. Hemen her yıl ülkemizin pek çok yerinde görülen heyelanlar, çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açar. Heyelanların sık görüldüğü veya görülme potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerin, sahip oldukları topografik, jeolojik ve klimatolojik özellikleri ile kütle hareketleri arasındaki ilişkilerin, kapsamlı bir biçimde ortaya konması gerekir. Bunun için teorik ve uygulamalı çalışmalar birlikte yürütülmelidir. Ancak bu çalışmalar neticesinde, herhangi bir alanın heyelan ve diğer kütle hareketlerine karşı olan duyarlılığı sağlıklı bir şekilde ortaya konulabilir.



Şekil 1. Son 60 yılda meydana gelen olay sayısı bazında heyelandan etkilenen illerin dağılımı (Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A., 2008).

Türkiye’de son 60 yılda gerçekleşmiş ve kayıt altına alınmış heyelanlardan etkilenen il sayısı haritası Şekil 1’de verilmiştir. İncelendiğinde, neredeyse tüm illerin heyelandan etkilendiği ve hatta ülke genelinde yoğun bir heyelan hakimiyetinin olduğu görülmektedir. Bu tez kapsamında ele alınan ve çalışma alanını oluşturan Samsun ilinin de heyelan olayından hayli etkilendiği gözlemlenmektedir.

Heyelanlar, birbirinden farklı çalışmalar ve farklı pek çok amaç için çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamalar hareket, hareketin hızı, malzemenin türü vb. gibi kavramlar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Beltran vd. (1993) tarafından öngörülen tanımlar dikkate alındığında, oluşum mekanizmaları itibariyle en yaygın heyelanlar düşme, kayma, devrilme, akma ve yanal yayılma olarak sınıflandırılmaktadır. Heyelanların aktivite yayılım özellikleri Şekil’2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Heyelanların aktivite yayılım özellikleri. (A)Düşme, (B)Kayma, (C)Devrilme, (D)Akma, (E)Yanal yayılma (Oktay vd., 2015).

Bir diğer heyelan sınıflama diyagramı da heyelanların hızları esas alınarak yapılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 1'e göre heyelanlar, “ en alt kısımda son derece yavaş ve en üst kısımda son derece hızlı” olarak adlandırılan 7 hız aralığına bölünmüştür.

Tablo 1. Heyelanların hızlarına göre sınıflandırılması (Cruden ve Varnes, 1996).

Hız Sınıfı	Tanımlama	Hız (mm/sn)	Tipik Hız
		↑	
7	Son derece hızlı	5×10^3	5m/sn
6	Çok hızlı	5×10^1	3m/dk
5	Hızlı	5×10^{-1}	1.8m/yıl
4	Orta	5×10^{-3}	13m/ay
3	Yavaş	5×10^{-5}	1.6m/yıl
2	Çok yavaş	5×10^{-7}	16mm/yıl
1	Son derece yavaş	↓	

Yapılan çalışmada Yapay açıklıklı radar (SAR) görüntü çiftleri kullanılarak heyelanın yol açtığı deformasyon, interferogramlar ile gösterilemeye çalışılmıştır. Çalışılan

bölge olan Samsun ili Ağcagüney Mahallesi Interferometrik SAR (InSAR) tekniğiyle gözlemlenmiştir.

2.2. Çeşitli Yüzey Deformasyonlarının InSAR-PSInSAR Uygulamaları ile Tespit Edilmesi ve İzlenmesi Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar

SAR verilerini jeolojik alanda kullanmak için en önemli teknik, farklı zamanlarda toplanan iki radar görüntüsü arasındaki faz farkının neden olduğu girişim örüntüsünü hesaplayan interferometridir (Yonezawavd., 2012). Faz farkı, çoklu katkı (arazi pürüzlülüğü, topoğrafya, atmosferik etkiler, gürültü) ve radarın bakış yönündeki (LOS) olası yer değiştirme bileşenini içerir. İstenmeyen efektleri modellemek ve filtrelemek için yer değiştirme bileşenini diferansiyel InSAR (DInSAR) kullanarak çıkarmak amacıyla farklı çözümler üretilmiştir (WasowskiveBovenga, 2014).

InSAR-DInSAR-PSInSAR gibi uzaktan algılama teknikleri kullanılarak, çökme ve heyelan olayları ile volkanik ve tektonik faaliyetlerin tespit edilip izlenmesi amacıyla yapılmış olan pek çok çalışma mevcuttur. SAR sistemleri 1990'lı yıllarda uydu platformlarına yerleştirilmiş, o yıllarda uzaya gönderilmiş ve gönderilen platformlardan görüntüler elde edilmeye başlanılmıştır. Bu şekilde büyük alanların izlenmesi, görüntülenebilmesi ve meydana gelen deformasyonların tespit edilmesi de daha mümkün hale gelmiştir.

Interferometrik SAR tekniklerinin yeryüzünün hareketlerini denetlemeye yönelik yararlı bir araç olduğunu ortaya koyan ilk çalışma Gabriel vd., (1989) tarafından yayınlanmıştır. Çalışmalarında, Kaliforniya'nın Imperial Vadi'sinde arazinin sulanması sonucu meydana gelen yer kabarmasını Seasat uydusunun L-bandı radar sistemine ait görüntüleri ile incelemişlerdir.

Bayer vd., (2017) tarafından, İtalya'nın Kuzey Apenilerinde, 2011 yılında çift yollu bir tünelin kazılmasıyla uyuyan bir heyelan yeniden aktif hale getirilmiştir. Tünel cephesi kazısının ilerlemesi ile deformasyonlar oluşmaya başlamış, bu durum civardaki evlere ve altyapılara zamanla zarar vermiştir. Yapılan çalışmada bu olayı ve daha öncesini kapsayacak şekilde 2003-2016 yılları arasında meydana gelen yüzey hareketlerini ölçmek için Envisat, COSMO Skymed ve Sentinel-1 veri kümelerinden yararlanılarak bir InSAR analizi gerçekleştirilmiş ve heyelan bölgesindeki yer değiştirmeler belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.

Hastaoğlu vd., (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, Envisat uydusunun 2001-2009 tarih aralığındaki SAR görüntüleri PS-InSAR tekniği yardımıyla Sivas/Koyulhisar Heyelanının gözlemlenmesinde kullanılmıştır. Bu gözlemler yapılırken StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) yazılımı kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda heyelan sahasındaki Permanent Scatterers (PS) noktalarına ait uydu bakış açısında kalan yıllık hız değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda heyelan sahasına ait yıllık hareket miktarları ve aktif kayma yüzeyleri belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada, SAR yöntemi kullanıldığında çökme ve yükselme tipindeki hareketlerin büyük ölçüde çalışmalara yansdığı görülürken, yatay yönde seyreden hareketlerin saptanmasında pek sağlıklı sonuçlar vermediği saptanmıştır.

Bunların yanısıra Kiseleva vd., (2014) tarafından, Büyük Kafkasya'nın Karadeniz kıyısında yer alan Büyük Soçi alanındaki heyelan faaliyeti, yine StaMPS yazılımı ve PS-InSAR yöntemi kullanılarak, farklı dalga boylarına sahip olan ALOS, Envisat ve Terra-SAR-X uydularından, Ocak 2007'den Eylül 2012'ye kadar geçen süreyi kapsayan radar görüntüleri kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda tüm uyduların veri setlerinden elde edilen yer değiştirmelerin, yer gözlemlerine göre yüksek heyelan aktivitesi olan bölgelerle iyi örtüştüğü görülmektedir.

Çomut vd., (2015) tarafından, Denizli İli Babadağ İlçesi'nde, 100 yılı aşkın bir süredir varlığını sürdüren ve uzun yıllardan beri çeşitli mühendislik yöntemleri ile de gözlemlenen heyelanlar InSAR yöntemi ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında Gündoğdu mahallesinde meydana gelen deformasyonun yönü ve büyüklüğünün İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar Yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Deformasyon haritalarının (interferogramların) oluşturulması için, Avrupa Uzay Ajansı'ndan temin edilen ALOS PALSAR radar görüntü çiftleri çalışma alanındaki deformasyon yüzeyini modellemek için kullanılmıştır. Radar verileri sarproz yazılımı ile işlenmiş, yüksek uyuşuma (koheransa) sahip interferogramlar oluşturulmuş ve bu interferogramlardan kestirilen deformasyon oranları yorumlanmıştır. Değerlendirmeler neticesinde, afete maruz alan sınırları tespit edilmiş ve afetzedede ailelerin nakledilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yazıcı ,(2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Artvin ilinin Şavşat ilçesinde bulunan Armutlu Mahallesi ile Yusufeli ilçesinde bulunan Havuzlu köylerindeki heyelan alanlarının Sentinel-1 uydusuna ait görüntüler kullanılarak PS-InSAR tekniği ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Görüntülerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve sunulması gibi işlem adımları için, SNAP, StaMPS/MTI, MATLAB, StaMPS Visualizer ve QGIS yazılımları

kullanılmıştır. Neticede daimi yansıtıcı yöntemi ile elde edilen deformasyon sonuçları ile yersel ölçümlere dayanan sonuçlar karşılaştırılmış ve alana ait deformasyonların büyük oranda örtüştüğü saptanmıştır. Bu sayede PS-InSAR tekniği ile heyelanlı bölgelerin daha sağlıklı ve hassas bir şekilde gözlemlenebileceği ortaya konulmuştur.

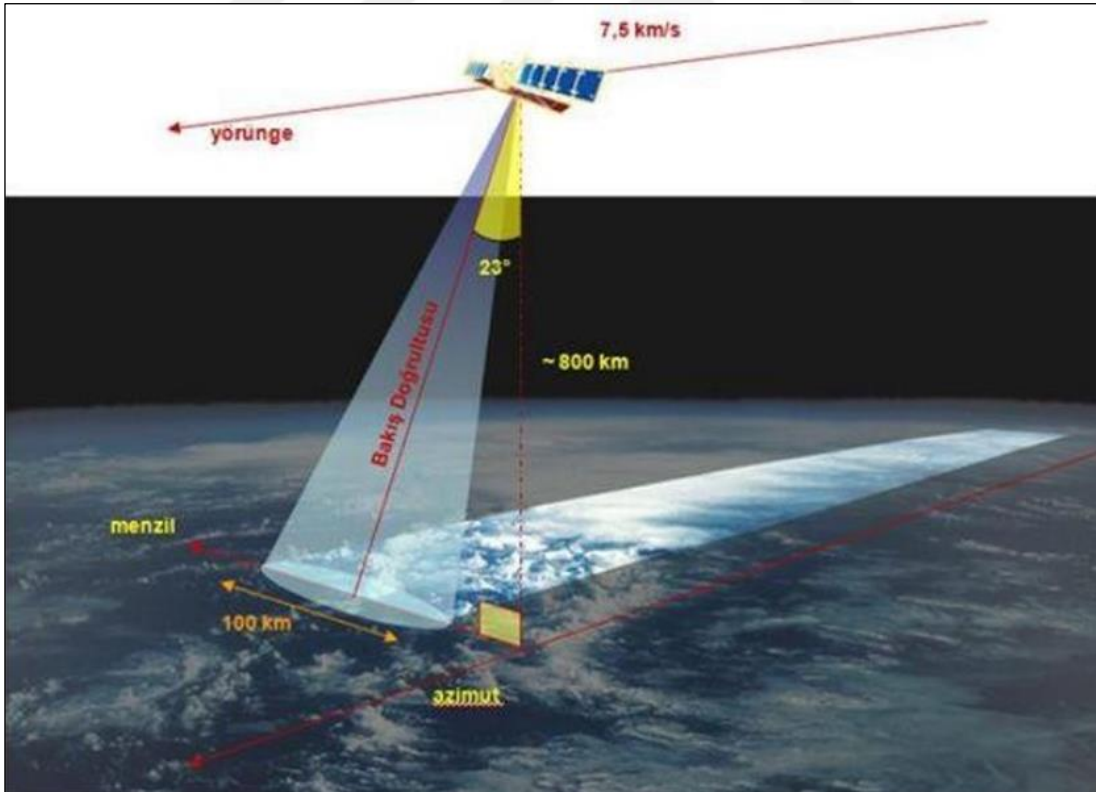


3. UZAKTAN ALGILAMADA TEMEL PRENSİPLER

3.1. Uzaktan Algılama ve Tarihi

3.1.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, yeryüzünden belirli bir mesafe uzaklıkta ve atmosferde veya uzayda yer alan yörüngelere yerleştirilen ölçme aletleri aracılığıyla yeryüzünden ve yeryüzünde yer alan nesne ve cisimlerin bilgilerini alma, bu bilgilerden analizler üretme olarak tanımlanabilir. Yeryüzüyle veya yeryüzünde yer alan nesne ve objelerle herhangi fiziksel bir temas olmaksızın yapılan ölçmelerin tümü Uzaktan Algılama kapsamında değerlendirilebilir.



Şekil 3. Uzaktan algılama veri eldesi (Novali, 2010).

3.1.2. Uzaktan Algılamanın Tarihçesi

Günümüze ulaşan bilgilere göre ilk hava fotoğrafı 1858'de Tournachon tarafından 700 feet yükseklikten çekilmiş Paris fotoğrafıdır. Bu fotoğraf, Uzaktan Algılama disiplininin ilk kilometre taşı olarak düşünülmektedir. Ayrıca Amerikan iç savaşında da balondan çekilen hava fotoğrafları, ihtiyaçlara yönelik veri elde edilmesine dair ilk bulgulardan kabul edilmektedir.

Fakat esas önemli kabul edilen adım, 1960-72 US Corona Programı'nın uydu bazlı keşif amaçlı ilk görüntü elde etme tekniğini denemesidir. Ardından, 1972 yılında Landsat-1'in başarılı bir şekilde misyonunu gerçekleştirmesi, Uzaktan Algılama ve buna bağlı teknik ve araştırmaların hız kazanmasını sağlamıştır. 1975 yılında ise Landsat – 2'nin de planlandığı gibi başarıya ulaşması, Uzaktan Algılama ve elde edilen görüntülerin sivil uygulamalar için ticari olarak da kullanılabilmesi fikrini tetiklemiştir.

1990 yıllarına gelindiğinde uydu görüntüleri giderek daha yüksek mekânsal çözünürlüklü veri sağlamaya başladılar. Bu gelişme, uydu görüntülerinin ticari faaliyetlerini hızlandırdı ve Rusya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa ve Hindistan başta olmak üzere birtakım özel kuruluşlar, uydu görüntüleri sağlayıcıları hâline gelmiştir.

Farklı sensör teknolojilerinin kullanılmasıyla şekillenen ve günümüzdeki halini alan yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklü uydu görüntülerinin zaman içinde bağlı olduğu parametrelere göre gelişme adımlarına Campbell ve Wynne'in (2011) yayınlarında bulunabilir.

3.2. Uzaktan Algılama Sistemlerine Ait Teknikler

Uzaktan Algılama neticesinde elde edilen görüntüler, veri temin sürecinde yerleştirildiği konuma göre, veri temininde kullanılan enerji biçimine göre ve bant çeşitliliğine göre sınıflandırılabilir.

3.2.1. Veri Temin Sürecinde Yerleştirilen Konuma Göre Uydu Görüntüleri

Uydu görüntüleri elde edilirken uyduya ait sensörler; yersel bazlara, hava araçlarına ve uzay yörüngelerine yerleştirilebilir.

3.2.1.1. Yersel Bazlar

Yüksek ayrıntı ile gerçekleştirilecek analizlerde yersel bazlardan görüntü elde edilir. Görüntülenen alan oldukça küçük bir bölgedir. Alanın boyutlarının küçük olması ve sensör çözünürlüğünün yüksekliği, mekânsal çözünürlüğü artırır.

3.2.1.2. Hava Araçları

Uçak ve drone benzeri sistemlere entegre edilen uzaktan algılama sensörleri yardımıyla görüntü elde edilmesi işlemidir.

3.2.1.3. Uzay Yörüngeleri

Uydu ve uyduya ait teknik bilgilerin geliştirilmesiyle günümüzdeki halini alan, analiz ve yorumlamada en çok başvurulan yöntemlerden biri olan uzay yörüngelerine yerleştirilmiş uyduların sensörleri kullanılarak elde edilir. İhtiyaç duyulan görüntü hızlı bir şekilde elde edilir. Büyük alanları görüntülemesi sayesinde yersel ve hava araçlarının kullanılmasına oranla maliyeti daha düşüktür. Sayısal format içeren görüntüler elde edildiği için gözle yakalanamayacak ayrıntılar yazılımlar sayesinde ayırt edilebilir. Kapsama alanı geniş olduğu için Dünya üzerinde yer alan her alan görüntülenebilir. Görüntüler kısa bir zamanda güncellenebilir.

3.2.2. Kullanılan Enerjinin Çeşidine Göre Uydu Görüntüleri

Uzaktan algılama sistemlerinde belirleyici unsur, kullanılan enerjinin kaynağıdır. Temel bir sınıflandırma olarak güneş enerjisi kullanan ve güneş enerjisi olmaksızın enerjisini üretebilen sistemlerin göz önüne alınmasıdır. Bu durumda, iki temel sınıflandırma yapılabilir: Aktif Sistemler ve Pasif Sistemler (Ulaby, F. T. vd., 1982).

3.2.2.1. Pasif Sistemler

Pasif sistemlerin temelinde Güneş'ten gelen enerjinin kullanılması ve görüntü temininde yalnızca Güneş'in enerji kaynağı olarak kullanılması söz konusudur (Ulaby, F. T. vd., 1982).

3.2.2.2. Aktif Sistemler

Aktif sistemlerin temelini, kendi enerjilerini kendilerinin üretmesi vardır. Ürettikleri enerjiyi nesne veya objeye, alana gönderir ve gönderdikleri enerjinin geriye dönüşünü veri olarak sunar. Kaynaktan çıkan elektromanyetik enerji önce yeryüzündeki objelere ulaşır ve ardından yansıma yaparak sensörlere iletilir. Tüm bu süreçte elektromanyetik ışımaya, atmosferle etkileşim içerisindedir. Aktif sistemlerde hedefe gönderilen enerji dalgaalrı aynı fazda ve benzer özelliktedir. Bu sistemlerde kullanılan en uzun dalga boyu RADAR görüntüleme sistemi olarak da bilinen mikrodalga bölgesindedir (bkz: Şekil 2: İnsan gözünün görebildiği ışık spektrumu) (Joshi, A.W., Kumar, A., 2003).



Şekil 4. İnsan gözünün görebildiği ışık spektrumu (Woshi, A. V. vd., 2003).

3.2.3. Bant Çeşitliliğine Göre Uydu Görüntüleri

Işığın veya enerjinin, geniş olmayan bir dalga boyu spektrumunda algılanması ve kaydedilmesi işlemi, bantlar veya kanallar olarak tanımlanan bölgelerde gerçekleşmektedir. Bantlar ve kanallarda bulunan veri birleştirilerek üç ana renk olan

mavi, yeşil ve kırmızının bir kombinasyonu, karışımı olarak gösterilir (Stimson, G.W., 1998).

Tek bir bant veya tek bir dalga boyu aralığı görüntülenirse üç ana renk de aynı olarak görünür. Dolayısıyla elde edilen veride yer alan pikseller, parlaklık değeri olarak aynı değeri yansıtır. Bu da ortaya siyah – beyaz görüntü çıkarır. Esasında, piksel değeri bazlı olarak siyah ve beyaz keskin değerler gri değerleri de kapsamaktadır. Birden fazla bantın ana renkleri yansıtacak şekilde renklendirilmesiyle arada kalan gri pikseller de renk kazanabilir ve böylelikle renkli görüntüler de elde edilebilir.

3.2.3.1. Pankromatik Görüntü

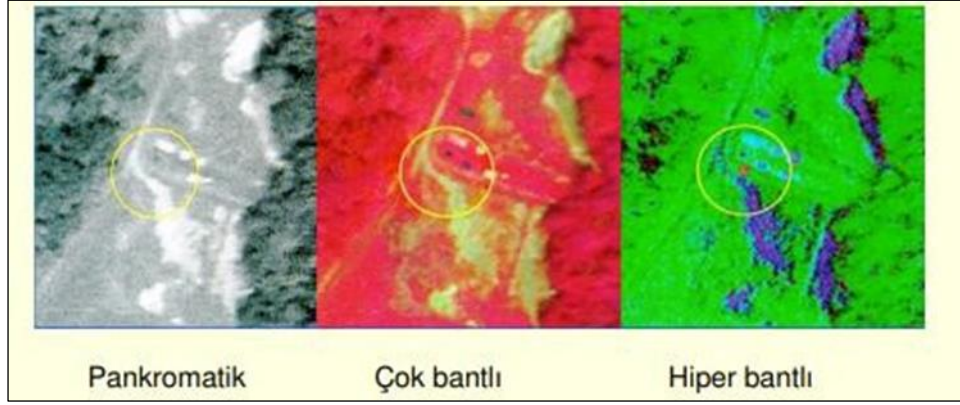
Algılayıcı sensörün görülebilir spektrumun tamamını görüntülemesi ve ayrıca bunun biraz dışını da yakalayabilmesi sonucunda tek bant oluşturması durumunda ortaya pankromatik görüntü çıkar.

3.2.3.2. Multispektral Görüntü

Algılayıcılarının spektrumun belirli bir bölgesini yakalayıp farklı bantlar oluşturması durumunda renklendirilmiş görüntüler kendiliğinden ortaya çıkar çünkü her görüntüde yer alan piksel değerine denk bir renk değeri söz konusudur. Bu durumda ortaya çıkan görüntü multispektral görüntüdür.

3.2.3.3. Hiperspektral Görüntü

Multispektral görüntü elde edilme süreciyle aynı olup, farklı olarak multispektral görüntüde birkaç bantın yer almasıdır. Hiperspektral görüntüde yer alan verinin piksel değerleri, yüzlerce banttan veri olarak renklenmektedir. Burada yer alan çok sayıda bant, görüntüyü hiperspektral görüntü haline getirir (Lillesand vd, 2000).



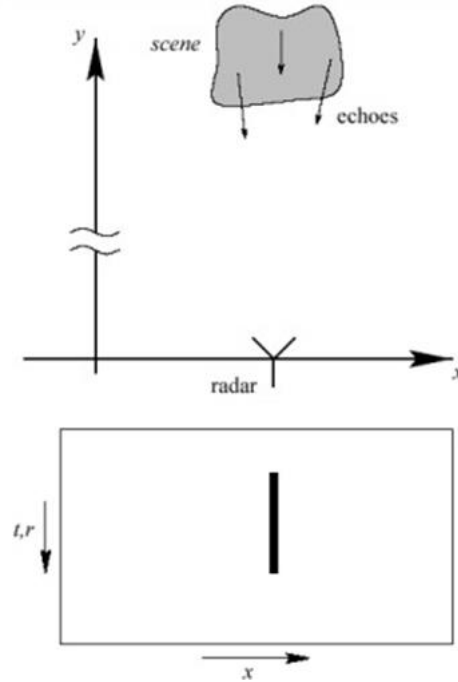
Şekil 5. Bant genişliklerine dair bir görsel (Lillesand vd, 2000).



4. YÜZEY DEFORMASYONLARININ SAR TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ

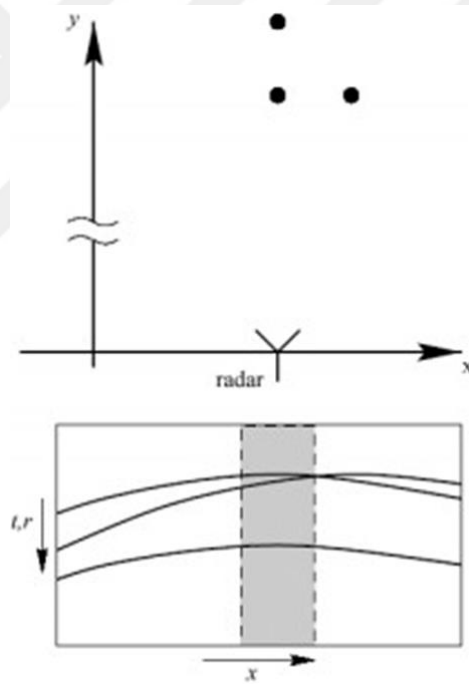
4.1. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve Temel Prensipleri

Aşağıdaki şekilde yer aldığı gibi bir xy - düzlemsel oluşumunda Sentetik (Yapay) Açıklıklı Radar'ın çalışma prensibi yer almaktadır. Radar sensörü, X ekseninde bilinen bir konumda yer almaktadır. Bu radar sensörü kısa bir sinyal iletir ve titreşim sinyali hedefte yer alan nesneye iletir. Nesne tarafından geri yansıtılan sinyal, SAR sisteminde yer alan sensörler tarafından iki boyutlu bir veri dizisinde parametreler olarak kaydedilir. Bu parametreler, "t" ile gösterilen yankı sinyalinin gecikmesini de içinde barındırır. Gecikmeyi sembolize eden "t" nesne ile aradaki mesafe r arasındaki oransal ilişki, t 'yi yok saydırır ve yalnızca mesafe parametresi olan r 'nin korunmasını sağlar. Nesne ve sensörün birbirine olan mesafesi, sinyal iletiminin kaydedilen veri olmasına olanak sağlar ve böylelikle bir mesafe profili ortaya çıkar.



Şekil 6. Sabit bir anten örneğinde, dağıtılabılır veri sütunu temini (Berens, P., 2006).

Aşağıdaki şekilde ise basitleştirilmiş olarak farklı pozisyonlarda yer alan üç nokta hedef olarak alınır. Anten x- eksenini yönünde hareketine devam etmektedir. Radar sinyallerinin hızı, sensör hızına oranla oldukça fazla olduğu için varsayılan bir gönderme-alma sürecinde geometri durağan kabul edilebilir. Dolayısıyla, anten adım adım hareket etmektedir. Veri dizisinde kaydedilen her yansıma, hiperbolik aralık geçmişi olarak kayda geçer. Bu kayıt, aşağıdaki şekilde yer alan eğrilerle gösterilebilir. Noktalar, hiperbol tepesinin bulunduğu ikincil bir veri dizisi oluşturularak temsil edilecektir. Hedefte yer alan noktaların her birinin sinyal yoğunluğu, ikincil veri dizisinin noktalarının netliğini belirler. Böylece hedeflerde yer alan noktaların bantlarda temsili oluşur. Bu durumda örnek olarak verilen üç hedef nokta yerine gerçek düzlemde hedef olarak alınan noktalar, sonsuz bir veri seti ortaya çıkarmaktadır (Berens, P., 2006).

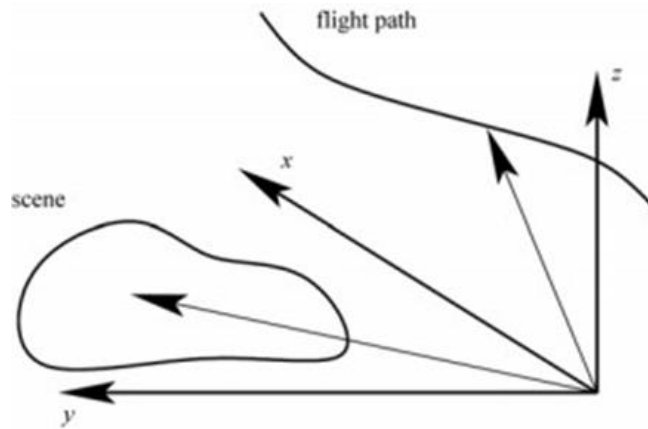


Şekil 7. Hareket eden bir anten için hedef nokta temsili (Berens, P., 2006).

Bu durumda ortaya, aradaki mesafenin maksimum olduğu iki noktaya ait en yüksek çözünürlüğün SAR görüntüleri üzerinden elde edilmesinde izlenecek süreç sorusu çıkmaktadır. İki eksenli harekette, y- doğrultusunda kalan eğik menzil çözünürlüğü ve x- doğrultusunda kalan uçuş yönündeki çözünürlük, incelenmesi gereken iki temel noktadır. Modüle edilmemiş kısa titreşim sinyalleri, titreşim sinyalinin süresiyle de orantılı olan bir

“aralık çözünürlüğü” meydana getirir. Dik açılı titreşim sinyallerinin gönderildiği durumlarda, titreşimin süresi sinyalin iletiği bant genişliğine orantılıdır. Bu verilere göre elde edilebilecek olan çözünürlük, sinyalin gönderiminin sıklaştırılması ve banda kaydedilmesinden ziyade titreşim sinyalinin süresine bağlıdır. Bu sebeptir ki günümüzde kullanılan radar sistemleri, uzun sinyal titreşimi göndermekle beraber geniş bant aralığı kullanmakta ve böylece hem güç oranını korumakta hem de yüksek çözünürlüklü veriler sağlamaktadır.

Yansıyan bir radar sinyalinin kapsadığı mesafe, dalga boyu çoklu olmadığı sürece, kesin bir suretle belirlenebilir. Bu şekilde, geometri değişimlerinden ötürü oluşan aralık farklılıkları periyodik titreşim sinyallerinin tekrarlarıyla belirlenebilir. Sinyal dalga boyunun kısa olması, belirlemede doğruluğu artırır. Şekil 5’te verilen hiperbolik temsillerin incelik-kalınlık temsilleri, ölçmedeki doğruluğu izah edebilmek için dalga boyuna orantılı bir şekilde seçilebilir. Hedefte yer alan iki noktanın konumları x- yönünde hafifçe değiştirilerek hiperbolik temsilini etkileyen iki özellik belirlenebilir. Eğer hiperbolik temsilde yer alan çizgiler, olması gereken aralıktan daha kalın olursa hiperboller birleşir ve birbirinden ayırt edilemez. Öte yandan kesikli çizgi ile gösterilen dörtgen içinde kalan uçuş yönündeki kısıtlamalar artarsa hedefler kesin bir şekilde gözlemlenemeyebilir (Berens, P., 2006).

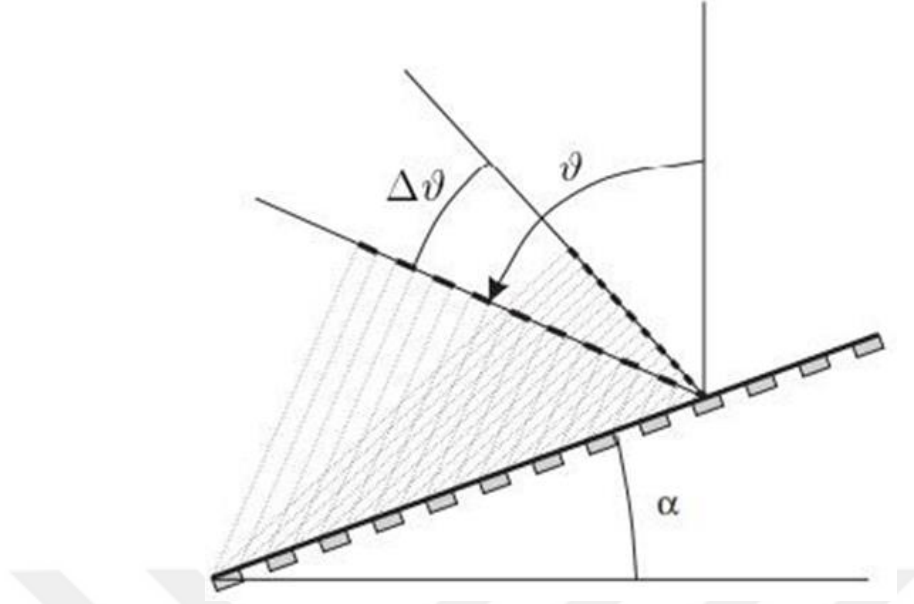


Şekil 8. Uydu yörüngesi ve nesnenin genel görüntüleme prensibi (Berens, P., 2006).

4.2. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) İnterferometrisi

Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR), uzayda yer alan bir nesnenin sahip olduğu üç boyutluluktan, iki boyutlu bir temsilini üretmektedir. Bu temsil, artık “görüntü” olarak adlandırılacaktır. Bir görüntüye ait piksel değerlerinin her biri için üç boyuttan iki boyuta dönüşümü sağlayan iki temel geometrik hesap vardır: nesnenin bulunduğu “p” noktasının, sensörün bulunduğu “s” noktasına olan mesafesi-“r” ve nesnenin gözlemlendiği noktadaki Doppler frekansı “f”. Tüm bunlara ilaveten, her bir piksel değeri üçüncü bir geometrik nicelik bulundurmaktadır: birinci görüntünün faz değeri ϕ_1 ikinci SAR görüntüsünün faz değeri olan ϕ_2 ile birleştirilir ve böylece uzayda yer alan nesnenin üçüncü boyutu yeniden ortaya çıkarılarak düzeltilmiş bir değer elde edilir. Faz farkı hesabı $\Delta = \phi_2 - \phi_1$ eşitliğine göre yapılır ki bu hesaplama, interferometri prensibinin temelini oluşturur. Bu hesaplama ve devamında yapılacak olan, SAR görüntüsünde piksel değerleri olan nesnenin uzaydaki konumunu veren koordinatlarına dair hesaplamalar, bu sebeple SAR interferometrisi başlığı altında incelenmektedir.

SAR Sensörü, nesne spektrumlarını veri spektrumlarına dönüştürmektedir. Belirli bir nesneden iletilen nesne frekansı, yansıma açısına ve SAR sinyalinin yönüne bağlıdır. Bir interferogramı meydana getirebilmek için iki SAR görüntüsü kullanılmaktadır. Bu iki SAR görüntüsü farklı yansıma açıları ile alındıkça hedefe ait frekans değeri, veri spektrumundaki farklı frekanslardan çıkarılarak elde edilecektir. SAR sensörü sadece sensörün kendisine özgü frekans bandında bulunan nesnelerin frekanslarını görüntülediği için, örtüşmeyen nesnelere için de birbirinden farklı frekans sonuçları meydana getirecektir. Böylece interferogramı oluşturan görüntü çifti, ortak bant filtrelemesi sayesinde örtüşme olmayan durumlarda bile belirli bir frekans değerine sahip olmaktadır. Bu durum, aynı objeden elde edilen interferogram frekansını frekans bandında belirli bir aralıkta kısıtlar (Gatelli v.d., 1994; Geudtner, 1995).



Şekil 9. Yansıma açısının değişiminin sebep olduğu frekans kayması (Gatelli v.d., 1994; Geudtner, 1995).

Ortak bant filtrelemesi sonrasında görüntüler, piksel hassasiyetinin de altına kalacak şekilde (örneğin 0,1 piksel doğrulukla) birleştirilir. Her iki görüntünün geometrisi, birbiriyle oldukça benzer olduğundan, stereo- fotogrametriye kıyasla, görüntü birleştirme işlemi oldukça basittir. Ardından ikinci SAR görüntüsü, Shannon veya bi-kübik polinom enterpolasyonu gibi uygun bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak birinci görüntünün geometrisi baz alınacak şekilde yeniden örnekleme işlemine tabi tutulur. Her iki SAR görüntüsü de aynı geometride ve tamamen örtüşen nesne spektrumları içeriyorsa, interferogram hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

$$I = V_1 - V_2^* = |V_1| \cdot |V_2| \cdot e^{j\Phi} \quad \text{ve} \quad \Phi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1)$$

Denklemin ikinci satırında bulunan eşitlik, interferometrik fazı temsil eder (Gatelli, F., vd, 1994). V_1 , birinci görüntünün (master görüntü) genlik ve fazını içeren kompleks sinyalidir. V_2 ise ikinci görüntünün (slave görüntü) genlik ve fazını içeren kompleks sinyalidir ve bu da birleştirilmiş görüntünün kompleks değişkenlerini ortaya çıkarır. Sonuç interferogramı, değerleri birbirine benzetilerek elde edilmiş simüle bir interferogram değerinden hesaplanır. Örnek vermek gerekirse yeryüzüne teğetsel bir düzlemin interferogramı hesaplanarak yeryüzü interferogramı temsili oluşturulabilir. Fakat bu,

gerçekte, teğetsel düzlem interferogramının yeryüvarı interferogramlarıyla birleştirilip benzeştirilmesiyle elde edilen simüle bir interferogramdır.

Eğer yeryüzünde gözlemlenen iki nesne, konumlarını ve geri saçılım davranışlarını muhafaza ederlerse obje uzay konumunda duran “ p ”, hesaplamaya uygun bir faz interferogramı sağlar (Ghaglia, D.C. vd, 1994).

Her ne kadar veriler formülizasyona uygun işlense de, hesaplamaların doğru olup olmadığına her iki SAR görüntüsünün tutarlılığının kontrol edilmesiyle karar verilebilir. Çapraz korelasyon katsayısı tekniğiyle pencere bazlı $|\gamma|$ büyüklüğünün kontrolü şu şekilde hesaplanabilir:

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^N V_1^{(n)} \cdot V_2^{*(n)}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N |V_1^{(n)}|^2 \cdot \sum_{n=1}^N |V_2^{(n)}|^2}} \quad (2)$$

Burada N, pencerede yer alan piksel sayısını temsil etmektedir.

SAR tutarlılığı, örnek vermek gerekirse obje oluşturmada kullanılabilecek SAR görüntü çiftlerinin yoğunluğuna ek olabilecek daha fazla veriyi içinde barındırır ve böylece doğruluk hakkında fikir sahibi olunmasına yardımcı olur.

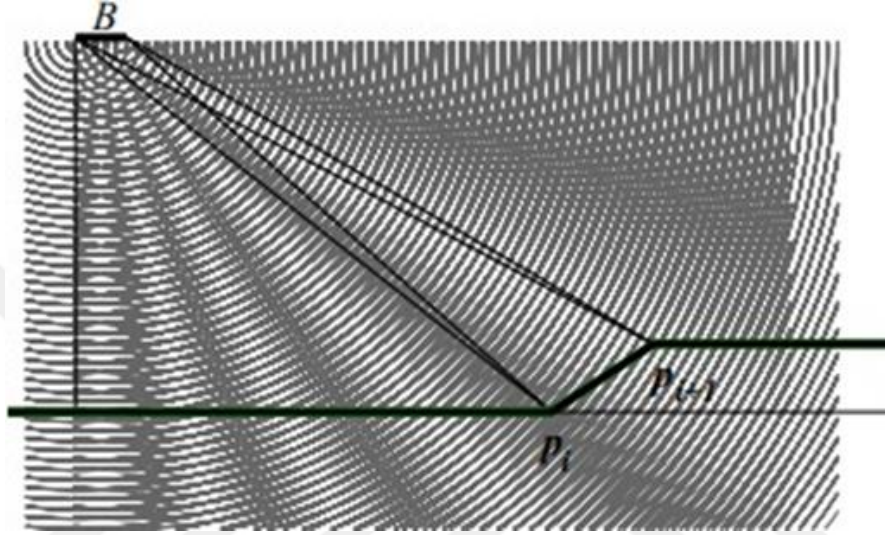
Kompleks bilgi barındıran interferogramdan (örneğin interferometrik faz) anlamlı ve direkt bir aralığa yönelik faz bilgisi elde etmeye çalışmak belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir çünkü aranan faz bilgisi $[0 - 2 \pi]$ arasında kalmaktadır. Belirsizlikler, birbirine komşu piksellerin faz farklılıklarının birbirine entegre edilmesiyle şu şekilde çözülebilir:

$$\Delta\Phi = \Phi_{i+1} - \Phi_i \quad (3)$$

Burada i ve $i+1$ komşu pikselleri temsil etmektedir.

Bu işlem, faz açma işlemi olarak bilinmektedir. Piksellere karşılık gelen komşu hedef noktaları arasındaki farklar standartların dışında olmadığı ve sensörün konumu, dalga boyunun yarısını aşmadığı sürece bu işlemi uygulamak bir sorun oluşturmaksızın mümkün olmaktadır. Böylece, hedef noktalar arasındaki doğru faz farkları π 'den daha küçük değerler olmaktadır. Yeryüvarına ait yüzey oldukça az yükseltiyeye sahip olduğunda ve interferogram ile yüzeye ait örnekleminin yeteri kadar yoğun olduğu durumlarda geçerli bir hesaplama yöntemidir.

Aşağıdaki şekilde de görülebileceği üzere, bu hesaplamalar bazı durumlarda geçerli olmayabilir. Örneğin bir kısaltım (foreshortening) bölgesinde birbirine komşu olan piksellerin faz farkları π 'den daha büyük olabilir. Aşağıda görülen konfigürasyon, görüntüye ait veri setinde sadece bir dizisinde gerçekleşiyorsa, Şekil 9'da yer verilen standart faz hesabı olarak dikkate alınabilir.



Şekil 10. Faz açılmasını önleyen kısaltım (Foreshortening) durumu. Görsele P_i ve P_{i+1} arasındaki faz farkı π 'den biraz daha büyüktür (Ghaglia, D.C. vd, 1994).

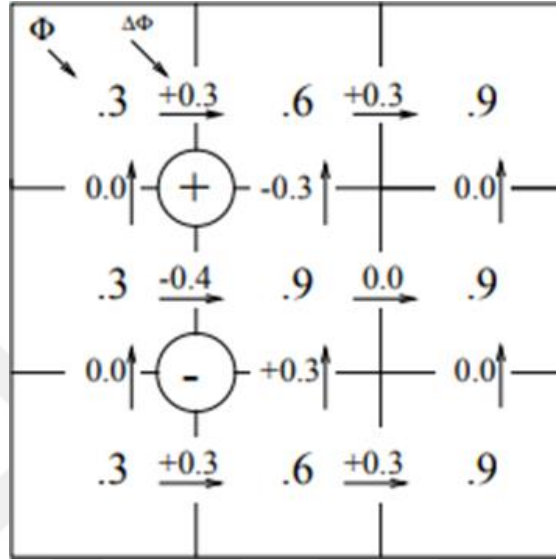
Bu durumda birbirine komşu olan pikseller arasındaki faz farklılıkları, interferometrik fazlardan çıkarılabilir:

$$\Delta\Phi = w_{(\phi_{i+1} - \phi_i)} \quad (4)$$

Eşitlikte yer alan w , faz farklarına 2π ve katlarını ekleyerek veya faz farklarından 2π ve katlarını çıkararak farkın $[-\pi, +\pi]$ arasında kalmasını sağlayan matematiksel bir sıkıştırma operatörüdür.

Bu yöntemin uygulanabilirliği, kapalı kare şeklindeki bir şeklin her dört piksel değerine oturtulması sağlanarak test edilmektedir. Aşağıdaki şekilde de görülebileceği üzere, bazı durumlarda bu test sonucunda toplam "sıfır" olmayabilir. Böyle durumlarda toplamın işaretine göre "pozitif kalıntı" veya "negatif kalıntı"lar oluşabilmektedir. Bu kalıntılar, yeryüzü topografyasına bağlı olarak Şekil 8'de yer verilen kısaltımdan ötürü

veya hedefin görüntülenemediği, enerjinin geldiği açının küçük olmasından kaynaklı ters görüntülemelerden ötürü oluşabileceği gibi; sensörden kaynaklanan görüntü titremelerine ilişkin “gürültü”lerden ve SAR görüntü çiftlerinin tutarsızlıklarından ötürü de meydana gelebilmektedir.



Şekil 11. Faz açıklığının uygulanmasına neden olan kalıntılar. $\Delta\Phi$ ve Φ birimleri, “dalga boyu sayısı”dır. pozitif kalıntılar “+” olarak, negatif kalıntılar “-” olarak sembolize edilmiştir (Ghaglia, D.C. vd, 1994).

Kalıntıların oluştuğu durumlarda, faz farkları interferometri hesabında doğrudan işleme alınamaz. Böyle durumlarda kalıntılar için özel bir dağıtım şekli uygulanmaktadır. Faz açma işleminde pozitif ve negatif kalıntılar, “pay” olarak adlandırılan çizgilerle, eşit sayıda olacak biçimde dağıtılır. “Pay”lar, faz açıklığı hesabına geçmeyecek şekilde, henüz açıklığı yapılmamış fazlar üzerinde dağıtılır. Paylar aracılığıyla hesaplama, kalıntılardan arındırılmış olur. Böylelikle, faz farklarının entegrasyonu sırasında olası bir hesaplama hatası ortadan kalkmış olur. Artıkların fazla olması durumu, paylaşırma yapılacak alanlar konusunda zorluklar oluşturabilir. Bu gibi durumlarda algoritma tarafından, uçtan uca en küçük mesafe bulunmaya çalışılır veya ters görüntüleme, gölgeleme ya da tutarsızlık oluşturan alanlar paylaşırma bölgesi olarak seçilir.

İnterferometrik SAR tanımı ise, aynı bölgeden alınmış iki adet Yapay Açıklıklı Radar görüntüsüne ait piksel değerlerinin kullanıldığı ve bu görüntülerin içerdiği piksellerin birbirine denk düşenlerinin faz farklarının hesaplanmasıyla ortaya yeni bir

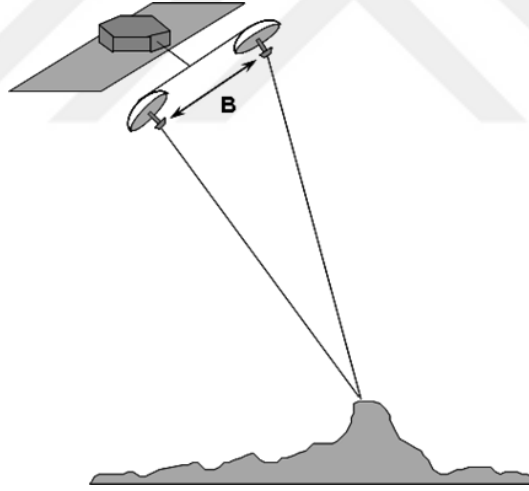
görüntünün çıkarıldığı metottur. Esasında yapay açıklıklı radarın yeryuvarına olan mesafesinden çıkarılan farklar yer alır. Uydu ve yeryüzü arasındaki mesafe, fazın yer aldığı interferogramdaki dalga boyunun yarısına tekabül eder (Çakır, Z., 2003).

4.2.1. Radar İnterferometrisi Elde Etme Yöntemleri

Radar interferometrisi, en yaygın şekliyle iki yöntemle elde edilebilir: Tek geçiş interferometrisi ve tekrar geçiş/çift geçiş interferometrisi.

4.2.1.1. Tek Geçiş İnterferometrisi

Tek geçiş interferometrisi olarak bilinen yöntemde tek bir platforma yerleştirilmiş iki anten kullanılır (bkz: Şekil 12).

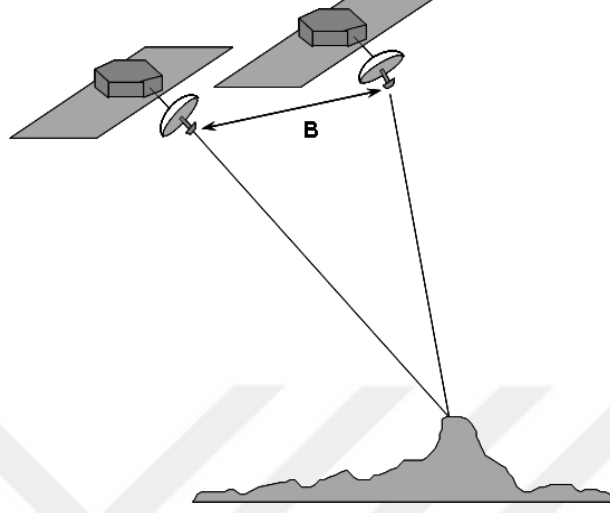


Şekil 12. Tek geçiş interferometrisi (Deguchi, T. vd., 2006).

4.2.1.2. Tekrar Geçiş (Çift Geçiş) İnterferometrisi

Tekrar geçiş, diğer bir ismiyle çift geçiş, interferometrisinde ise metot, bir uyduda yer alan tek bir anten kullanılır ve bir yörüngenin yaklaşık olarak tamamlanmasının ardından aynı bölgeden tekrar görüntü alınır. Çift geçiş yönteminde uydunun yer aldığı

yörünge hesabı daha hassas ölçmelere dayanmaktadır. Bu sebeple daha uygun olduğu düşünülmektedir (Deguchi T vd., 2006).



Şekil 13. Tekrar geçiş interferometrisi prensibi (Deguchi, T. vd., 2006).

Yukarıda da bahsedildiği gibi uydu, tekrar geçiş interferometrisinde yörüngesini yaklaşık olarak tamamlamaktadır. Tamamen aynı yörüngeden geçmemesinden ötürü nesne veya bölge, farklı iki açıdan görüntülenecek ve böylece bir çift radar görüntüsü elde edilmiş olacak. Bu durumda, bir faz farkı meydana gelecektir. Bu faz farkı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R \quad (5)$$

Bu eşitlikte yer alan δR , uydu sensörü ile görüntülenen bölge arasındaki açıklık/mesafedir. Eşitlikte, görüntüsü alınan alan ile atmosferden kaynaklanan etkiler hesaba alınmamış, sabit olduğu varsayılmıştır. Fakat iki görüntü arasında kalan zaman diliminde görüntüsü alınan bölgede yükseklik değişimine sebep olabilen faktörler cereyan edebilir. Böyle durumlarda yeni faz farkı hesabı şu şekilde yapılır:

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R + \frac{2\delta d}{\lambda} \quad (6)$$

Hesaplama da görüldüğü üzere δd , yükseklik değişimini temsil eder. δd 'nin hesabı, diferansiyel interferometri olarak bilinen InSAR tekniği kullanılarak gerçekleştirilir.

Daha önce değinildiği üzere, bir uydudan çıkan sinyale ait genlik, görüntülenecek bölge veya nesnenin genliği geri yansımasına bağlıdır. Atmosferik kouşllara bağlı olarak hedef bölge veya nesne, gönderilen sinyalden emilim (absorbtion) veya saçılım (scattering) de yapabilir. Fakat uydunun gönderdiği sinyalin yansıyan kadarı, sinyalin genliğine ait veriler sunar. Faz bilgisi ise görüntüsü alınacak hedef bölge veya nesnenin uzaklığıyla bağlantılıdır. Interferometrik SAR, elde ettiği iki görüntünün birbirine uyuşan piksellerinden faz farklarını çıkarır ve böylece yükseklik verisi elde edilebilir. Buradan, bir görüntünün kendine ait fazının bir anlam ifade etmediği anlamı çıkar. Bu durum, InSAR'ı, bilinen SAR yöntemlerinden ayıran en büyük özelliğdir. Çünkü edinilen faz farkları, bölgeye ait üçüncü boyutu da hesaplama imkânı sunar. Bu da InSAR verileri kullanılarak belirli bir bölge veya alanda topografik değişikliklerin analiz edilebilirliğini göstermektedir.

4.3. Radar Uydularından Yaygın Kullanılanlar ve Özellikleri

Radar uyduları, özellikleri itibariyle hem gece ve gündüz çalışabilmeleri avantajıyla hem de elverişsiz hava koşullarından etkilenmemeleri sebebiyle birçok disiplinde ve disiplinlerarası çalışmalarda analiz ve tespit yapılabilmesi ve görüntülerin kolaylıkla yorumlanabilmesi açısından kolaylık sağlayıp yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Radar sensörleri, uydulara yerleştirilebildikleri gibi uçak ve çeşitli hava araçlarına da yerleştirilebilmektedir. Fakat maliyet ve zaman parametrelerinden ötürü uyduya yerleştirilmiş radar sensörleri, hava araçlarına oranla daha etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeple, yaygın olarak hizmet veren radar uyduları ve teknik özellikleri, amaca yönelik olup olmamasının irdelenmesi açısından önemli bir inceleme konusudur.

Aşağıda bazı radar uyduları ve teknik özellikleri yer almaktadır.

4.3.1. Radarsat

4.3.1.1. Radarsat-1

Kasım 1995 tarihinde yörüngeye gönderilen RADARSAT-1, yüksek kapasitede verileri zamanında sağlamasıyla Kanada ve Dünya'ya hizmet eden bir radar uydu sistemiydi. Güçlü bir yapay açıklıklı uydu radarına sahip olan bu cihaz; bulutlu, puslu, duman miktarı yüksek bölgelerde bile çalışarak tüm hava koşullarında, gece ve gündüz görüntüler elde etti.

RADARSAT-1; Kanada federal hükümeti, Kanada şehirleri, Amerika Birleşik Devletleri ve özel sektörün işbirliği ile Kanada önderliğinde gerçekleştirilmiş bir projedir. Hem ticari hem de bilimsel araştırmalar için uygun veriler sağlayan bu uydu, afet yönetimi, interferometri, tarım, haritacılık, buzul alan çalışmaları, hidroloji, ormancılık, oşinografi, kıyı izleme gibi çeşitli alanlarda çalışmalara yönelik analiz edilebilir bilgiler sundu.

Dünyadaki en büyük ikinci ülke olarak Kanada, çeşitli yeryüzü ve iklim varyasyonları ile beraber, Dünya gözlemi için uygun ve ekonomik çözümlerin öncülüğünü sağlayarak RADARSAT-1 misyonunu gerçekleştirdi. Küresel çevre izleme ve koruma kaygısıyla hareket eden Canadian Space Program (Kanada Uzay Programı-CSP), RADARSAT-1'i "kilit önceliği" olarak kabul ederek Kanada'nın amiral gemisi olarak tabir edilen bu uyduyu geliştirdi.

RADARSAT-1, görüntü alımı gerçekleştirdiği süre boyunca dünya kaynaklarını yönetmek ve geliştirmek, iklim değişiklikleri başta olmak üzere birçok bilimsel araştırmada gözlem kaynağı olarak yer alacak şekilde uluslararası olarak kullanılmıştır. Bu uydu; geniş ışın aralığı, yapay açıklık radarı teknolojisi, sık gözlem süresi, yüksek kalitede ve hızlı ürünleri, verimli teslimatıyla ideal bir kaynak haline gelmişti (URL 1).

4.3.1.2. Radarsat-2

14 Aralık 2007'de yörüngeye gönderilen Kanada'nın yeni nesil ticari uydusu; deniz seviyesine dair izlemeler, buzul incelemeleri, afet yönetimi, çevresel gözlem, kaynak yönetimi ve haritalama gibi çeşitli disiplinlere yönelik teknik gelişmeler sunmaktadır.

Bu projede, RADARSAT-1'den farklı olarak hükümet ve sanayi işbirliği ön plandadır. MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. (MDA), uyduyu yönetme hakkına

sahiptir ve uydunun işletmecisi konumundadır. Kanada Uzay Ajansı (Canadian Space Agency – CSA) uyduların inşası ve yörüngeye gönderilmesi konusunda söz hakkına sahipken Kanada Hükümeti, verilerin temini hakkında paya sahiptir.

RADARSAT-2'nin misyonu, tasarımı ve inşası, gelecekte ihtiyaç duyulabilecek verilere uygun olarak düşünülmüştür. Bu düşünce, uzun ve başarılı bir süreçte misyonunu tamamlayan RADARSAT-1 önderliğinde şekillenmiştir.

CSP'nin önem verdiği bir öncelik ise, çevre izlenmesi ve doğal kaynak yönetimi esnasında karşılaşılabilecek potansiyel problemlere cevap vermektir. Dayanıklı ve multidisipliner çalışmalara cevaben donatılan RADARSAT-2 dünya gözlem uyduları, ticari uygulamalar için de bilimsel araştırmalar için de önemli bir veri kaynağıdır (URL 2).

Tablo 2. RADARSAT-1 ve RADARSAT-2 teknik açıdan kıyas (URL 2).

	RADARSAT-1	RADARSAT-2
Aktif Anten	C - Band	C - Band
Merkezi Frekans	5.3 GHz	5.405 GHz
Bant Genişliği	30 MHz	100 MHz
Polarizasyon	HH	HH, VV, HV, VH
Polarizasyon İzolasyonu	>20 dB	>25 dB
Açıklık Uzunluğu	15 m	15 m
Açıklık Genişliği	1.5 m	1.37 m
Ağırlık	679 kg	750 kg
Mevzi Mekanizması	Geniştirilebilir Yardımcı Yapı (Extendable Support Structure)	ESS89

4.3.2. ERS (European Remote Sensing Satellite-Avrupa Uzaktan Algılama Uydusu)

4.3.2.1. ERS-1 Uydusu

17 Temmuz 1991 yılında yörüngeye gönderilen ERS-1 uydusu, normalde planlanan ömrünün üç katı süre boyunca misyonunu başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Takvimler 10 Mart 2000'i gösterdiğinde ise uzay gemisinde meydana gelen bir kontrol sistemindeki arıza sebebiyle hizmetlerini tamamlamış sayılmıştır.

Avrupa Uzay Ajansı'nın (European Space Agency-ESA) güneş eşzamanlı ilk kutup yörüngeli misyonuna sahip uydusu olmanın yanısıra, 45.000 yörünge tamamlaması ve 1.5

milyon Yapay Açıklıklı Radar görüntüsü elde etmesiyle ERS- 1, alanında ilklere imza atan bir uydudur. ERS-1, uzay gemisinde yer alan farklı özelliklere sahip eklentileriyle dünya çapında 4000 kullanıcıya veri teslimatını başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. 1991'den beri meteoroloji servislerine de veri hizmetine sağlayan bu uydu, başarısını saçınımölçer (scatterometer) ve altimetre (altimeter) ile yaptığı yüzey rüzgarları gözleme yeteneğine borçludur.

ERS-1'in misyonunu tamamladığı süre boyunca bilim insanları, uydu verilerinden elde edilen yüzey hareketlerinin birleştirilmesiyle, topografya gözlemleriyle, sıcaklık ve rüzgar değişimlerinin analizleriyle El Nino olarak bilinen fenomeninin birden çok defa gözlemlendiğini öne sürmüştür.

Deniz ve okyanus yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri, iklimsel değişimin gözlemlenebilmesi için kritiktir ve ERS-1, hareket doğrultusunda radyometre taramasıyla (Along-Track Scanning Radiometer-ATSR) bunu en üst düzey doğrulukla gerçekleştirebilmektedir.

ERS-1 misyonu ve başarılarıyla ilgili olarak öne çıkan en büyük unsur, SAR interferometrisi alanında olmuştur. Bu şekilde uzaysal verilerden topografyaya ilişkin verilerin oluşturulabileceği anlaşılmıştır.

Avrupa Uzaktan Algılama (European Remote Sensing-ERS) uydularının temel görevi, özellikle Dünya atmosferi ve okyanusları gözlemlemektir. ESA tarafından oluşturulan bu uydular, altimetre de dahil birçok ekipmanla bu görevi başarıyla yerine getirdiler. Temmuz 1991 tarihinde başlatılan ERS-1'in misyonu, 1996 yılının Haziran ayında devre dışı bırakıldı ve Mart 2000 yılında emekliye ayrıldı. ERS-1'in görüntüleme yaptığı farklı amaçlar şu şekilde özetlenebilir:

Tablo 3. ERS-1 ve görüntüleme yaptığı alanlara dair bir özet

Amaç	Periyot Süresi	Tarih Aralığı
Kalibrasyon ve Deniz Yüzeyi Buz Gözlemi	3 günde bir	28-12-1991 / 30-03-1992
Kalibrasyon ve Deniz Yüzeyi Buz Gözlemi	3 günde bir	24-12-1993 / 10-04-1994
Jeodezik Uygulamalar	168 günde bir	10-04-1994 / 28-09-1994
Jeodezik Uygulamalar	168 günde bir	28-09-1994 / 21-03-1995
Disiplinlerarası Okyanus Ölçmeleri	35 günde bir	Net bir tarih aralığı yok

ERS-1 ile beraber çalışması öngörülen ERS-2, 1995 yılının Nisan ayında yörüngeye gönderildi. 35 günde bir, birbirlerinin geçtiği yörüngelerden geçerek görüntü çiftleri oluşturuyolardı (URL 3).

4.3.2.2. ERS-2 Uydusu

Daha önce bahsedildiği gibi ERS-2, 1995 yılının Nisan ayından 1996 yılının Ağustos ayına kadar ERS-1 ile beraber çalışarak ERS-1 ile beraber bir görüntü çifti oluşturulması maksadıyla beraber kullanıldı. 2003 yılı Haziran ayında ERS-2'nin altimetre verilerini kaydetmek üzere kullandığı segmentlerinden biri birtakım sorunlarla karşılaştı. Bu süreçte ESA'nın yeryüzü gözlem istasyonlarının bulunduğu Avrupa, Kuzey Atlantik, Kuzey Amerika ve Kuzey Kutbu dışında kalan bölgelerin altimetre verileri elde edilememiştir.

2011 yılının Temmuz ayında ERS-2'nin misyonunu tamamladığı kabul edilmiştir. Dünya etrafında 85.000 kez yörüngesini tamamlamış bir uydu olarak değerlendirildiğinde, uydunun gücünü kaybetme riski baş göstermiştir. 800 kilometrede bulunan yörüngesi öncelikle 550 kilometreye kadar düşürülmüş, ardından infilak süreci başlatılmıştır. Son noktada Dünya atmosferine girmesi ve yanması beklenmektedir.

ERS-2'nin iki tane önceliği söz konusuydu. Bunlardan biri hızlı hareket eden kutup buzullarının (> 200 metre/yıl) hareket ettiği hız büyüklüğünü ölçmektir. Bu sebeple 30 dakikalık geçişler düşünüldüğünde 1 santimetreden fazla hata payı barındırmayan gözlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İkinci öncelik ise, Sayısal Yükseklik Modelleri'nin (SYM) – Digital Elevation Model (DEM) – küçük yükseklik farkları içeren yerlerde de hassas bir şekilde elde edilmesiydi. Özellikle SRTM DEM (Shuttle Radar Topography Mission – Digital Elevation Model) bilgisi içermeyen kutup bölgelerinde bu verileri elde etmek, oldukça mühimdi.

Tüm bu verileri elde etmek için uydunun donatıldığı sensörler aşağıdaki gibidir:

Tablo 4. ERS tabanlı uyduların sahip olduğu sensörler ve açıklamaları

Yerleştirilen Sensörler		
AMI	Active Microwave Instrument	Yapay Açıklıklı Radar ve rüzgar skaterometresinden oluşur (İkisi de C bandındadır).
RA	Radar Altimeter	Dalga uzunlukları ve okyanus yüzeyinden hassas ölçmeler elde edilir.
ATSR	Along-Track Scanning Radiometer	Kızılötesi ve görünür aralığı yönetir. Deniz yüzeyi sıcaklığını ve yeryüzündeki yeşil bitki örtüsüne dair hesaplamalar yapar.
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment	Stratosfer ve troposferde bulunan ozon miktarının, iz bırakan gazların ve aerosollerin emilimini yapan bir spektrometre içerir.
MS	Microwave Sounder	Atmosferik nem miktarını veren veriler sağlar.
PRARE	Precise Range and Range-Rate Equipment	ERS yörüngesi ve bulunduğu yerler hakkında veri sağlar.
LRR	Laser Retro- Reflector	Lazer bazlı yeryüzü istasyonlarına göre uydunun bulunduğu konumu verir.

4.3.2.3. Envisat

Envisat (Environmental Satellite-Çevresel Uydu), ERS-1 ve ERS-2'nin devamı olarak yörüngeye gönderilen bir uydudur. Misyonu öncelikle çevresel çalışmalar olmak üzere iklim değişikliği, atmosferi ve dünya yüzeyini gözlemlemektir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından dizayn edilen Envisat, deniz yüzeyinden elde edilen jeoidlerden yüksek çözünürlüklü gaz emisyonu tespitine kadar geniş bir alanda çalışabilen on farklı gözlem eklentisi içerir. Bu eklentiler arasında radar altimetresi ve DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated By Satellite) orbitografi (yörünge gözlem) ve hassas konumlandırma sistemi de vardır.

2002 yılından 2010 yılının Ekim ayına kadar yörünge periyodu, ERS-1 ve ERS-2 gibi 35 gündür. Goos ve Godae gibi uluslararası iklim çalışma programlarıyla entegre bir biçimde çalışmasını sürdürdüğü için gerçek ve yakın zamanlı veri erişimi sunmaktaydı. Özellikle oşinografi alanında kullanılabilecek veri türlerinin temelini atmaktaydı.

18 Ocak 2008 tarihinde RA-2 S band modülü teknik arızalardan ötürü kayboldu. 22 Ekim 2010 tarihinde Envisat, yeni bir yörüngeye taşındı. 2 Kasım 2010'dan itibaren bu yeni yörüngesinden ötürü yeryüzü gözlem istasyonu ve yörünge tamamlama süresi de aynı şekilde değişti. 35 günde bir 501 yörünge tamamlamak yerine artık 30 günde bir 431 yörünge taramaya başladı.

2012 yılının Nisan ayında, onuncu yaşını kutlamasının birkaç hafta sonrasında Envisat, Dünya'ya veri iletmeyi kesti. ESA, 9 Mayıs 2012 tarihinde Envisat'ın görev süresini tamamladığını bildirdi (URL 6).

4.3.2.4. TerraSAR-X

Alman dünya gözlem uydusu olan TerraSAR-X, araştırma, geliştirme, bilimsel ve ticari amaçlı olarak X-bant SAR verisi üretmek amacıyla fırlatılmıştır. Hidroloji, jeoloji, klimatoloji, oşinografi, çevre ve afet izleme ve kartografi (SYMüretimi) yapımı gibi alanlarda çok çeşitli bilimsel uygulamalar için çok modlu ve yüksek çözünürlüklü veriler sağlamaktır. TerraSAR-X,2007'den beri faaliyet göstermektedir (URL 10, 2019).

Bu uydudan elde edilen görüntülerin menzil ve azimut çözünürlükleri ScanSAR Wide (SCW) modunda 40 metre, ScanSAR(SC) modunda 18metre ve StripMap(SM) modunda 3 metredir (URL 12, 2019).

4.3.2.5. COSMO-SkyMed

Akdeniz Havzası Gözlemine Yönelik Küçük Uyduların Eşitlenmesi anlamına gelen COSMO-SkyMed, çevresel izleme ve gözetim uygulamaları amacıyla ilk uydusu 2007 yılında fırlatılan X-bant SAR sensörüne sahip dört uydudan oluşmaktadır (URL 11, 2019). İtalyan yapımı olan uyduların üzerinde SAR-2000 sensörü bulunmaktadır. SAR-2000 sensörü ile azimut ve menzil çözünürlüğü Spotlight modunda 1 metre, Stripmap modunda 3-15 metre veScanSARmodunda30-100metredir (URL 12, 2019).

4.3.2.6. ALOS-1veALOS-2

Gelişmiş Arazi İzleme Uydusu kısaca ALOS olarak adlandırılmaktadır. Japon Uzay Ajansı (JAXA) tarafından haritalama, gözlem, afet izleme ve kaynak araştırması amacıyla geliştirilmiştir. JERS-1 ve ADEOS uydularından sonra fırlatılmıştır. ALOS uydusu üzerinde bulunan PALSAR sensörü, L-bant SAR verisi üretmektedir. Görev süresi 2011 yılında bitmiştir. 24 Mayıs 2014 tarihinde yörüngesine fırlatılan ALOS-2, ALOS-1'in takip eden görevidir (URL-4,2019;URL-5,2019). PALSAR sensörü ile azimut ve menzil

Çözünürlüğü Fine Resolution (FBS, FBD) modunda 10-20 metre, ScanSAR (WB1, WB2) modunda 100 metre ve Polarimetric(PLR) modunda 30 metredir (URL 6, 2019).

4.4. Sentinel Verisi ve Özellikleri

Sentinel verileri ESA (Avrupa Uzay Ajansı) ve EC (European Commission) (Avrupa Komisyonu) tarafından müştereken Copernicus programı kapsamında elde edilmeye başlanmıştır. Burada yer alan gözlem verileri, yer gözlem uydularının ve yüzeyden alınan bilgilere dayalı olarak oluşmaktadır. Misyon, C bandında ve değişik dört gözlem çeşidiyle (StripMap, Interferometry WS, Extra WS, Wavemod) ve değişik çözünürlük aralıklarında (5x5 metre ile 25 x 40 metre gibi) görüntüleme gerçekleştirmektedir. 400 kilometreye kadar geniş bölge aralıklarına ilişkin görüntü elde edilebilir. Görüntüleme periyodu 6-12 günlüktür. Çift polarizasyona sahip bu uyduya ait veriler ücretsiz olarak temin edilebilir. Uydunun konumu, yüksek hassasiyet değerleriyle, görüntü elde edilen noktaya ait olarak görüntülenebilir. Genel itibariyle toprak kütlelerinin gözlemlenmesi, kıyı çalışmaları, okyanus ve buzul kütle takibi alanlarında bu veriler kullanılabilir.

5. InSAR TEKNİĞİ İLE HEYELANLARIN İZLENMESİ: AĞCAGÜNEY MAHALLESİ ÖRNEĞİ

5.1. İnceleme Alanının Tanıtımı

Ağcagüney Mahallesi, Karadeniz Bölgesinin Orta Karadeniz Bölümünde yer alan Samsun ili, Çarşamba ilçesinde yer almaktadır (Şekil 16). Dünya genelinde Okyanus İklimi olarak literatüre geçen hakim iklim, Türkiye’de ise Karadeniz’in kendi iklimi olarak Karadeniz İklimi şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yılın tüm mevsimlerinde yağmur potansiyeli bulunduğu için su sıkıntısı çekilmeyen bir iklimdir (Şensoy, S., vd., 2008). Su sıkıntısı çekilmemesi her ne kadar bir avantaj olsa da pek çok zaman çeşitli doğal afetlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Çünkü yağışlar genel itibarıyla düzensizdir.

Bu durum da Ağcagüney mahallesini sık sık heyelan haberlerine konu etmektedir. Çünkü yüzey maddeleri, yoğunluğu çok fazla olan kütleleri tutamamakta ve yağışın da etkisiyle bu kütleler harekete başlamaktadır. Aşağıda, bu tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilen Ağcagüney mahallesinden örnek görseller yer almaktadır:

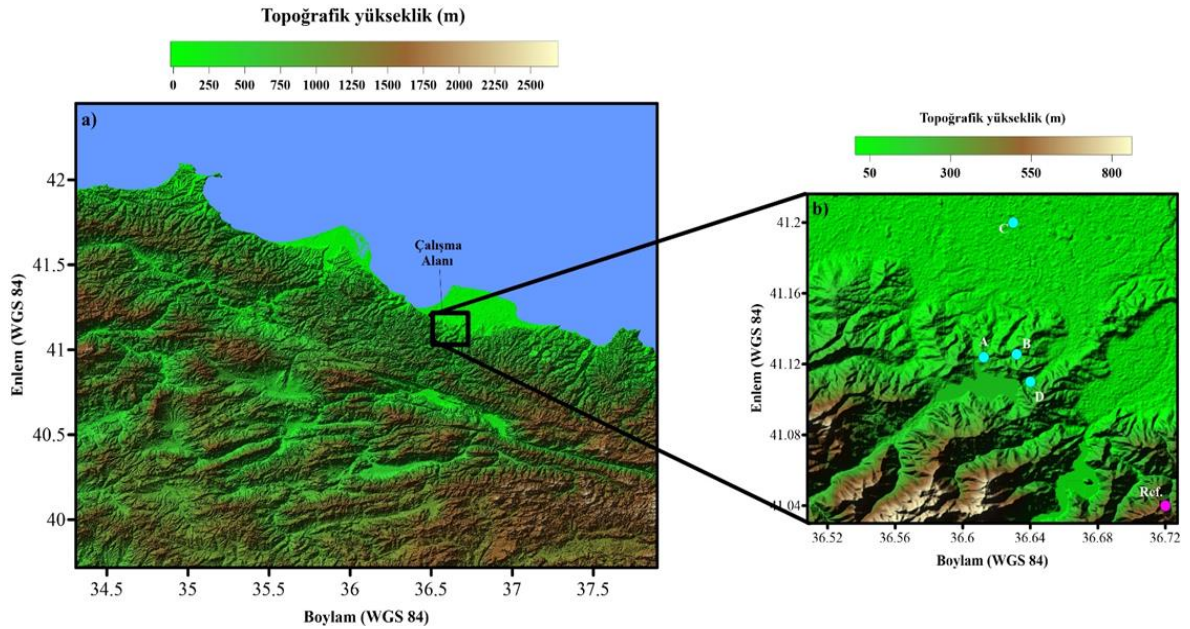


Şekil 14. Heyelan sebebiyle meydana gelen yapı kayması (URL 7).



Şekil 15. Toprak kaymasının yakından gözlemlenmesi (URL 8).

Tüm bu görsellerle anlatılan durumun teknik açıdan gözlemlenebilmesi için seçilen çalışma alanı ise aşağıda yer alan sayısal arazi modeli ve uydu görüntüsünde gösterilmektedir (Şekil 16 ve Şekil 17).



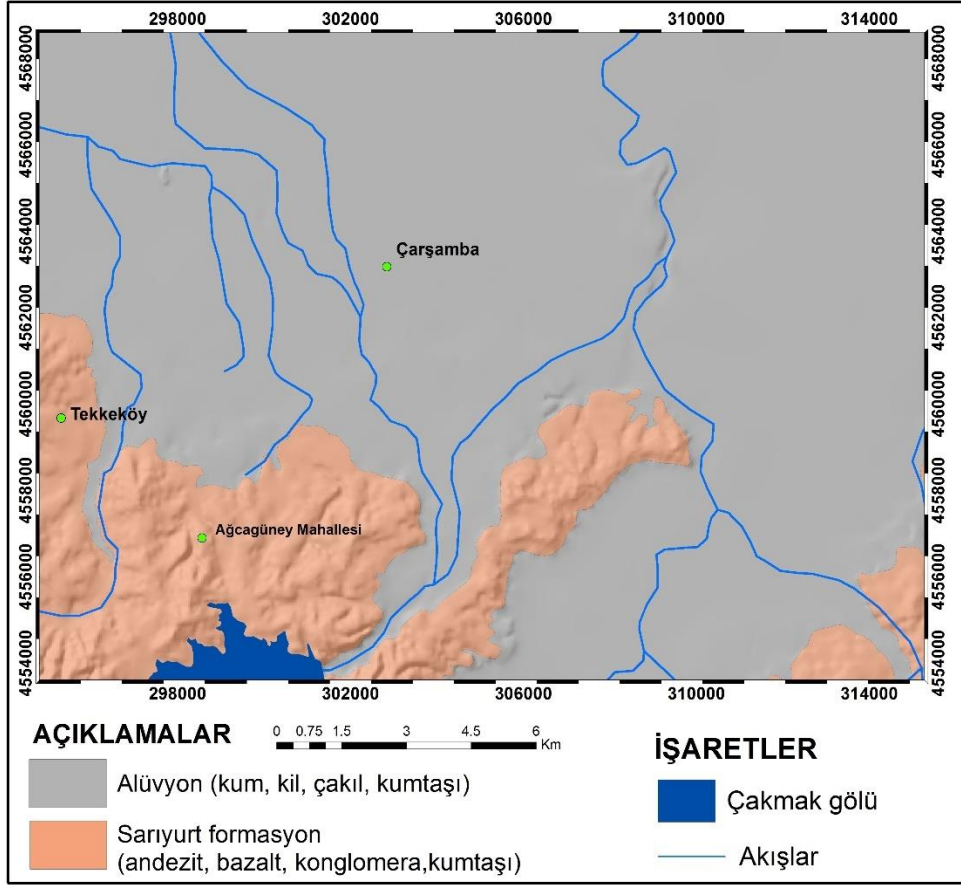
Şekil 16. Ağcagüney mahallesi ve yakın çevresinin yüzey morfolojisini gösteren sayısal arazi modeli



Şekil 17. Çalışma alanının GoogleEarth uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

5.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı, Samsun ili Çarşamba İlçesi'nin Ağcagüney Mahallesi sınırlarında ilçe merkezine ~14 km ve Samsun il merkezine ~26 km mesafededir. Genel anlamda bölgede gözlenen hakim formasyon; çakıltaş, kumtaşı-marn, silttaşlarından oluşan Üst Eosen yaşlı Sarıyurt Formasyonu'dur (Özer, M. F. vd., 2012).



Şekil 18. Çalışma alanının genel jeolojisini gösteren litoloji haritası (MTA'dan çalışma alanına ait paftalar alınarak, düzenlenmiştir).

İnceleme alanında, birim çakıltaşı, kumtaşı, marn ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon tabanda kötü boylanmalı çakıltaşı ile başlar. Çakıltaşı üzerine kumtaşları gelmektedir. Çakıltaşı ve kumtaşlarında kırıntılarının büyük bir bölümü volkanik kökenlidir. Orta Eosen dönemindeki volkanik aktivitelere bağlı gelişen özellikle asidik ve/veya nötr karakterli volkanik kayalar Sarıyurt Formasyonunun taban düzeyini oluşturan bu iri kırıntılı tabakaların kaynağını oluşturmuştur. İnceleme alanında Çakmak Barajı sol sahilinde izlenen bu düzeyde volkanik kırıntılar oldukça belirgindir. Dasit, riyolit ve andezit kökenli çakıl ve kum boyutundaki kırıntılar genelde köşeli ve kötü boylanmalıdır. Pirit mineralleri boldur ve genelde limonitleşmiştir. Birim kısmen gevşek çimentolu ve matriks oranı %10 dolayındadır. Tane boyutunun küçüldüğü ara seviyeler birime tüfit görünümü veya konumunu kazandırmıştır. Kumtaşı ve çakıltaşı tabakaları genelde kalın, tüfit düzeyleri ise ince tabakalı veya laminalıdır. Çakıltaşı ve kumtaşı tabakalarının oluşturduğu düzeyde düşey ve düşeye yakın kırık düzlemleri vardır. Kumtaşları üzerinde

çamurtaşı ve marn tabakaları izlenir. İri kırıntılılardan ince kırıntılılara geçiş çökelme ortamının sakinleştiğini ve kaynak kayadan malzeme gelişinin kısmen azaldığını işaret eder. Geçiş genelde dereceli bazı kesimlerde ise keskindir. Bu nedenle çamurtaşları alt seviyelerde silttaşı, daha üst seviyelerde kilitaşı ağırlıklıdır. Çökelme ortamının tamamen sakinleşmesi ve kaynak kayadan malzeme gelişinin tümüyle azalması kırıntılı çökelimi ile birlikte kimyasal ve/veya evaporitik çökelimi sağlamıştır. Bu gelişim, istifin en üst düzeyindeki marn düzeylerini oluşturmuştur. Üst düzeyde yer yer ince tüfit ara tabakaları da izlenir. Formasyona ait fotoğraflar aşağıda yer almaktadır (Özer, M. F. vd., 2012).



Şekil 19. Sarıyurt formasyonunun oluşturan kumtaşı-tüfit ve çamurtaşı-marn düzeyleri (Özer, M. F. vd., 2012).



Şekil 20. Sarıyurt formasyonu kumtaşı-tüfit düzeyleri (Özer, M. F. vd., 2012).



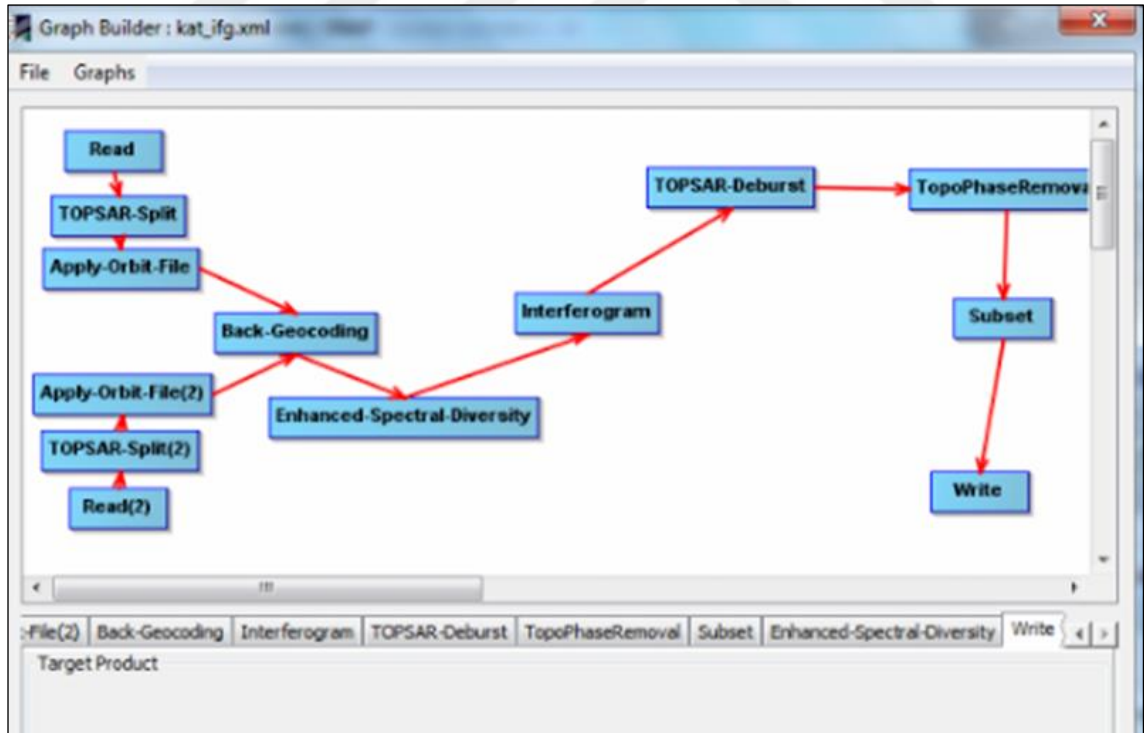
Şekil 21. Sarıyurt formasyonu çamurtaşı-marn düzeyleri (Özer, M. F. vd., 2012).

6. METODOLOJİ

6.1. İnterferogramların Elde Edilmesi

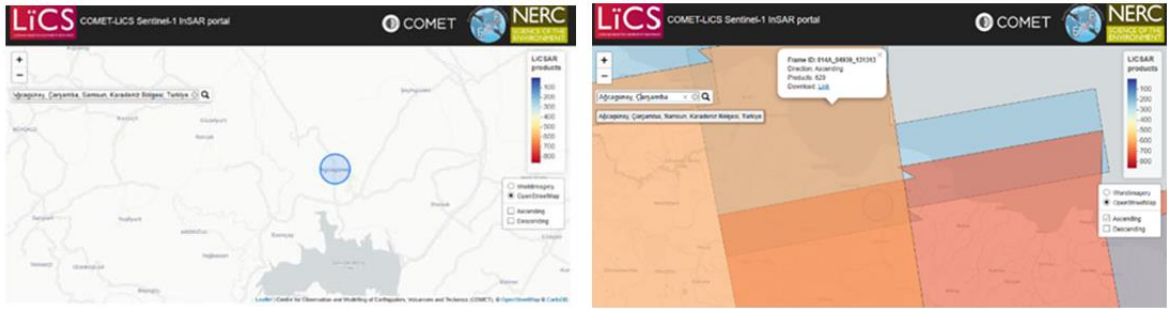
Uygulama için kullanılacak Sentinel-1 uydusuna ait interferogramlar, Leeds Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan COMET-LiCS Sentinel-1 InSAR portal internet veri tabanından ücretsiz temin edilmiştir.

Veri tabanından temin edilen interferogramlar, aşağıdaki tabloda yer alan işlem adımlarının tamamı ve unwrapping phase işlemi GAMA yazılımında değerlendirilmiş olarak hizmete sunulmaktadır. Tabloda yer alan süreçler SNAP programına aittir. Çeşitli platformlarda ücretsiz bir şekilde erişime açık olan, Sentinel-1 uydusuna ait, SLC formatındaki veriler SNAP yazılımında da “Graph Builder’da” yer alan bu şema kullanılarak görüntü çiftleri unwrapping aşamasına kadar işlenebilir.



Şekil 22. SNAP yazılımı, “Graph Builder” şeması

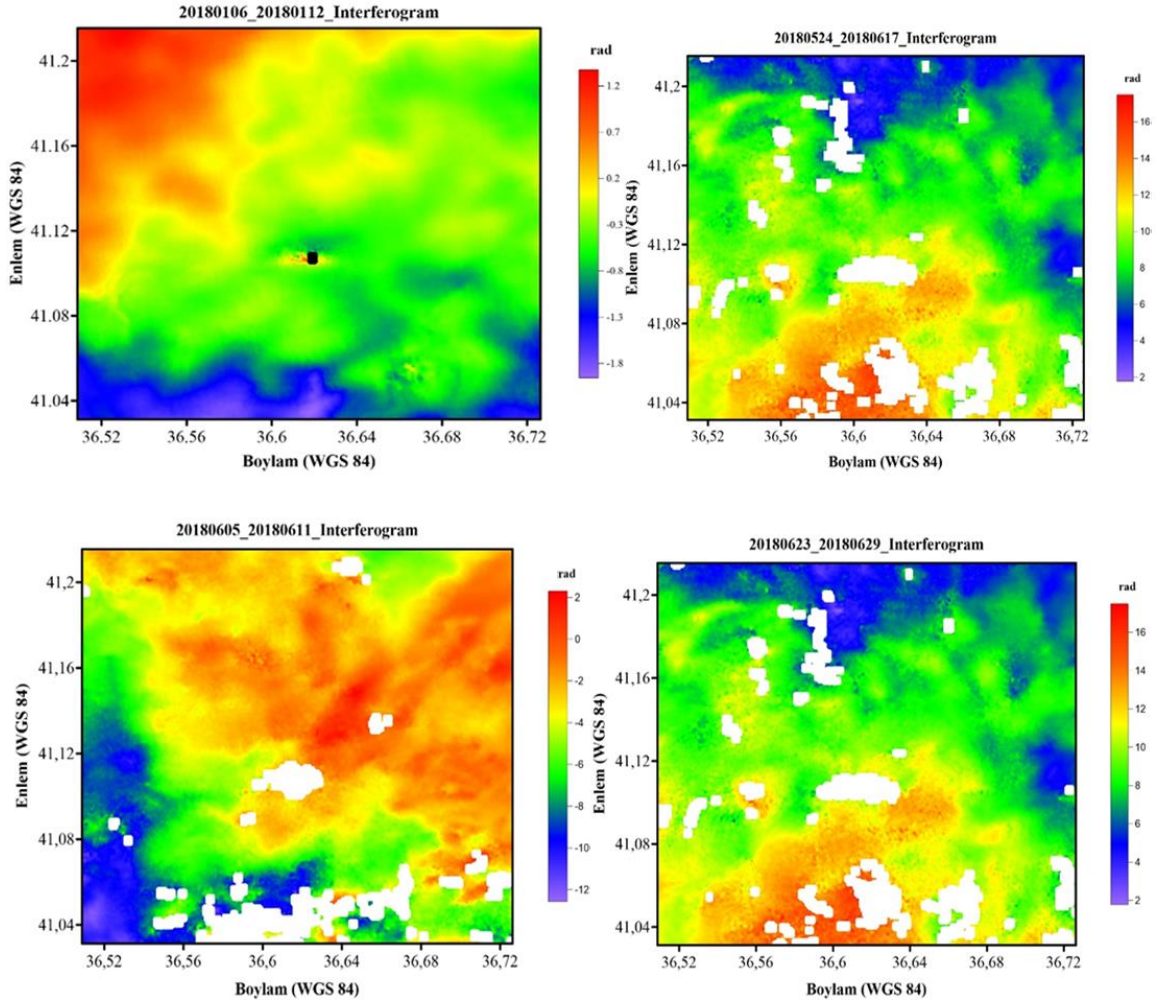
COMET-LiCS Sentinel-1 InSAR portalını açıp interferogram indirme işlemini gerçekleştirmek için, kullanıcı ara yüzünde bulunan haritada çalışma alanına gidilir. Çalışma alanını kapsayan interferogramlar, Ascending ve Descending yörünge tiplerinden biri seçilecek şekilde indirilir (González vd.,2016).



Şekil 23. COMET-LiCS InSAR portal kullanıcı ara yüzü

Sentinel-1 uyduları 1A ve 1B olmak üzere ikiz uydulardan oluşmaktadır. Sentinel-1A uydusu 3 Nisan 2014’te, Sentinel-1B uydusu ise 25 Nisan 2016’ da fırlatılmıştır. Bu uyduların eş zamanlı ikiz uydular olması zamansal çözünürlüklerini 6 güne kadar düşürmektedir. Yüksek zamansal çözünürlükleri, Sentinel uydularına ait görüntüleri çok değerli veriler haline getirmiştir (T. Whelen vd., 2018).

Bu çalışmada 2018 yılının 365 gününü temsil eden Sentinel-1 uydusuna ait, 193 adet, SLC IW modundaki, VV polarizasona sahip, path değeri 014A, yörünge tipi ascending olan interferogramlar kullanılmıştır. 193 adet interferogramdan bazıları örnek olarak aşağıda sunulmuştur.



Şekil 24. COMET-LiCS InSAR Portal'dan indirilen interferogram görüntülerinden çalışma alanına ait örnekler

6.2. İnterferogramların İşlenmesi ve İnterferogramlara Phase Elevation ile Atmosferik Düzeltme (GACOS) Uygulanması

Uzaktan algılama görüntüleri yapılarında sistematik ya da sistematik olmayan hatalar barındırırlar. Bu sebeple uygulamalarda kullanılabilmeleri için bir takım düzeltmelere (ön işlemlere) tabi tutulmaları gerekir. Atmosferik düzeltme ve faz yükseklik de bu ön işlemlere dahildir. Sis, bulut, nemlilik gibi atmosferik şartlardan kaynaklanan hatalar, hedefin önünde yer alarak, yeryüzüne ait veriye sağlıklı bir şekilde ulaşmayı engellemektedirler. Bu etkilerin giderilmesi için atmosferik düzeltmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan topografyadaki yükselti yahut engebden kaynaklanan gürültülerin giderilmesi için yükseklik fazı (phase elevation) düzeltmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

İnterferogram master görüntüsünün, slave görüntüsünün karmaşık eşleniği ile çapraz çarpılmasıyla oluşturulur. Burada, iki görüntünün genlikleri çarpılırken, faz iki görüntü arasındaki faz farkını temsil eder.

Faz farkına etkisi olan 5 farklı etmen vardır.

- $\Delta\phi_{flat}$, düz Dünya fazı olarak adlandırılır. Dünyanın eğriliğinin faza etkisidir.
- $\Delta\phi_{elevation}$, topoğrafyanın interferometrik faza etkisidir.
- $\Delta\phi_{displacement}$, yer yüzeyi deformasyonunun interferometrik faza etkisidir.
- $\Delta\phi_{atmosphere}$, atmosferin interferometrik faza etkisidir. Bu etkinin oluşmasının sebepleri, iki görüntü arasındaki atmosferik nemlilik, atmosferik sıcaklık ve atmosferik basınç değişimidir.
- $\Delta\phi_{noise}$, radyo sinyalinin yeryüzünden geri yansıtan arazi özelliklerinin kısa süre içinde değişime uğramasından, farklı bakış açısından ve hacim yayılımından kaynaklanan faz gürültüsüdür.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{flat} + \Delta\phi_{elevation} + \Delta\phi_{displacement} + \Delta\phi_{atmosphere} + \Delta\phi_{noise} \quad (7)$$

SAR interferometrik faza etkisi olan etmenler

New Castle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Deprem, Volkan ve Tektoniği Gözlem ve Modelleme Merkezi bünyesinde bir ekip tarafından “Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS)” platformu oluşturulmuştur. GACOS, dünya çapında mevcut; neredeyse gerçek zamanlı, uygulaması kolay ve modelin nasıl çalıştığı, düzeltmenin önerilip önerilmediği konusunda kullanıcıları bilgilendirebilen bir platformdur.

GACOS'ta kullanılan veri kümeleri şunlardır:

- Yüksek Çözünürlüklü ECMWF hava modeli, 0.125 derece ve 6 saatlik çözünürlüklerdedir.
- SRTM DEM (90 m, S60-N60),
- ASTER GDEM (90 m, N60-N83, S60-S83) .(Yu, C. vd.,2018).

GACOS veri tabanından atmosferik düzeltme talep edilmeden evvel çalışma alanını kapsayan geniş bir atmosferik düzeltme alanı oluşturulur ve alana ait koordinatlar belirlenir. Bunun haricinde Sentinel-1 uydusunun görüntü aldığı saat bilgisi (ascending yörüngesi:15.34, decending yörüngesi için 03.41) ve her bir SAR görüntüsüne ait tarihler gereklidir. Daha açıklayıcı olması bakımından kullanıcı ara yüzü eklenmiştir.

Submit GACOS Request

Area of Interest *

41.95

33.55 37.10

39.27

Time of Interest *

15 : 34

Date list: *

06-Jan-2018
12-Jan-2018
18-Jan-2018
24-Jan-2018
30-Jan-2018
05-Feb-2018
11-Feb-2018
17-Feb-2018
23-Feb-2018
01-Mar-2018

Institute:

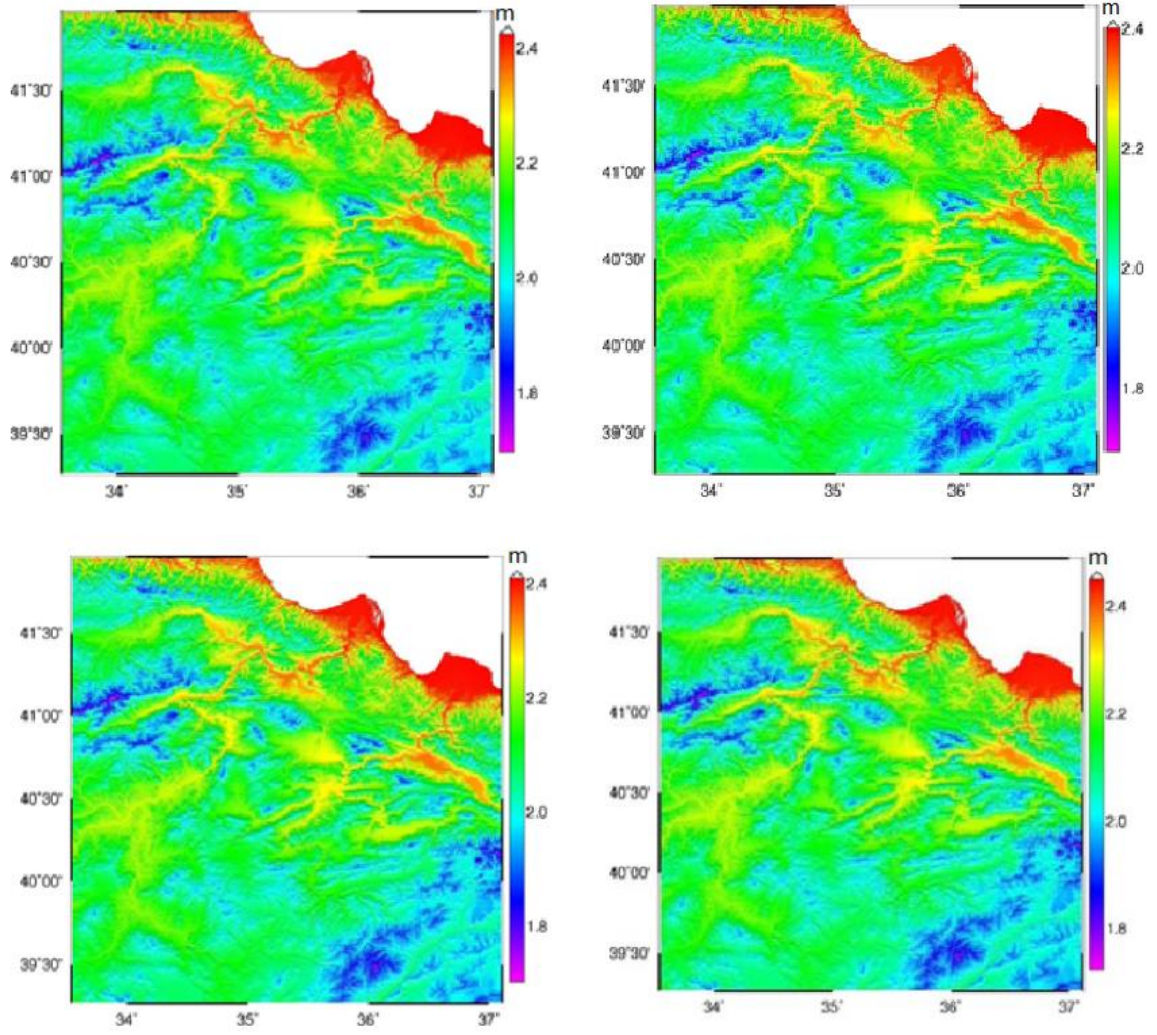
Karadeniz Technical University

Email: *

semra91senturk@gmail.com

Submit

Şekil 25. GACOS platformu atmosferik düzeltme talebine ait kullanıcı ara yüzü görseli

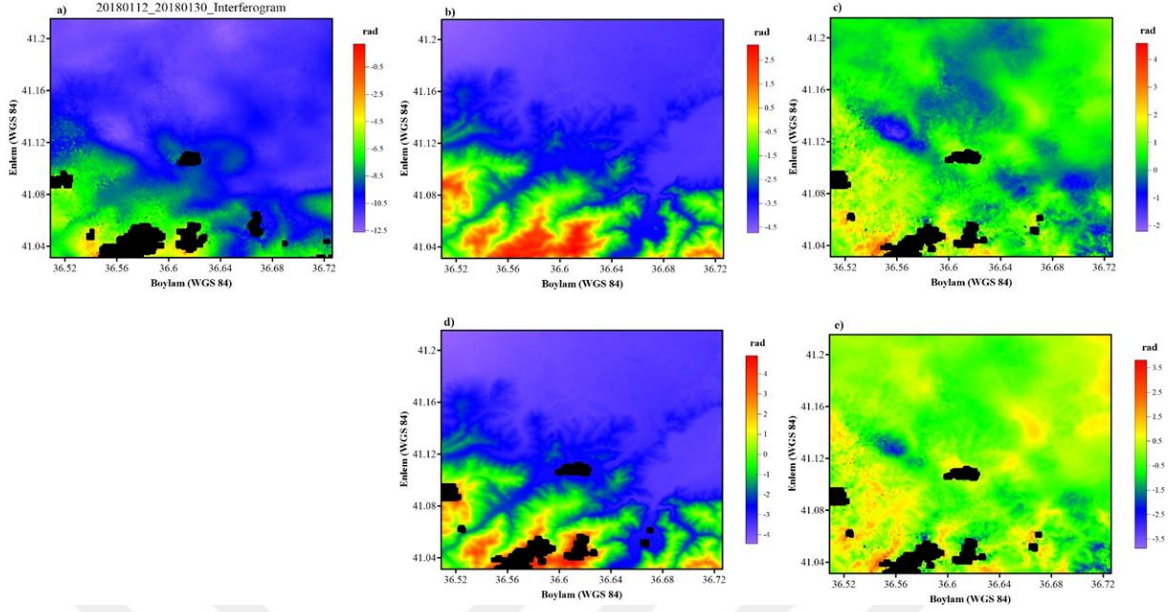


Şekil 26. GACOS modellerine ait örnekler

Şekil 20’de kullanıcı ara yüzünde sunulan bilgiler çalışma alanına aittir. Şekil 26’da platform tarafından gönderilmiş GACOS modellerine ait örneklere yer verilmiştir. Bu örneklerde renk lejantlarında görülen değerler metre cinsinden olup en yüksek atmosferik etkiye sahip olan alanlar 2.4m değeri ile kırmızı alanlardır. Talep edilen ve mail aracılığıyla sunulan GACOS modelleri yardımıyla atmosferik etkiler giderilmiştir. İndirilen interferogramlar ile GACOS modelleri Matlab yazılımında işlenmiştir.

Bu işlemler sonucunda %56 kalite ile en iyi düzeltme sonucunu veren interferogram (7.interferogram) elde edilmiştir. Bahsedilen kalite değeri kabaca,

(İlk interferograma ait standart sapma değeri) - (düzeltmesi yapılmış intrferograma standart sapma değeri) / (ilk interferograma ait standart sapma değeri) formülüyle hesaplanmaktadır.



Şekil 27. a) En iyi düzeltmeyi veren interferogram b) GACOS modeli c) GACOS düzeltmesi yapılmış interferogram d) Phase-elevation+GACOS modeli e) Phase-elevation+GACOS etkileri giderilmiş interferogram

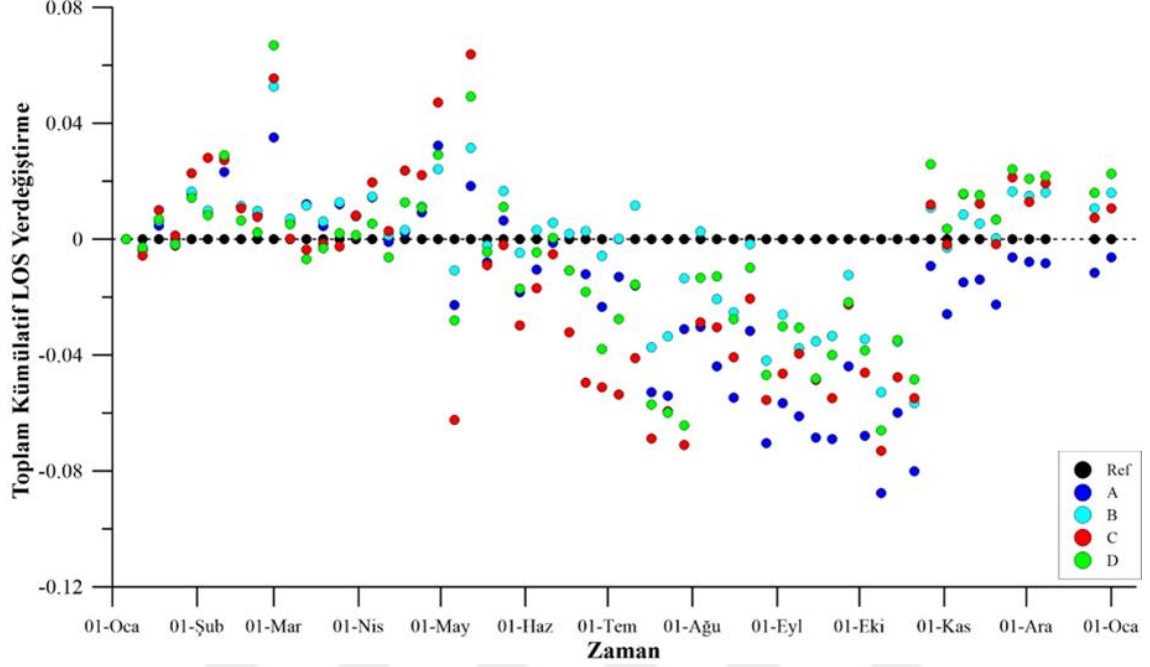
6.3. En Küçük Kareler Yöntemi ile Zaman Serisinin Elde Edilmesi

Deformasyon analizlerinin bir diğer olmazsa olmazı matematik istatistik testlerdir. Jeodezide, jeolojide en eski ve en yaygın kullanılmakta olan En Küçük Kareler (EKK) kestirimi, deformasyon analizinde de kullanılmaktadır. EKK, bilinmeyen parametreler ve gözlemler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösteren fonksiyonel model ve gözlemler arasındaki bağıl doğrulukları temsil eden stokastik (değişken) modelden meydana gelmektedir. (Acar, M., 2009).

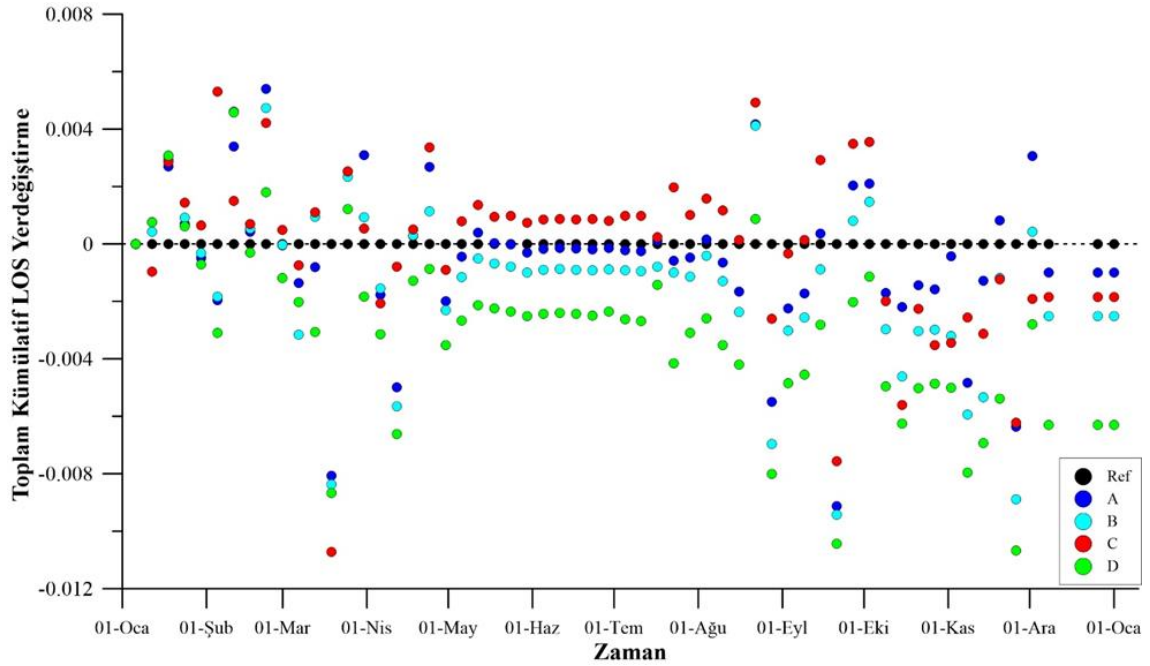
Bu kısımda, EKK yöntemi kullanılarak, ters çözüm yapılmış; Ağcagüney mahallesinde 2018 yılı içerisinde Toplam Kümülatif LOS Yerdeğiştirme miktarının bir zaman serisi oluşturularak belirlenmesi amaçlanmıştır. Zamana bağlı Toplam Kümülatif LOS Yerdeğiştirme grafiği atmosferik etkiler giderilmeden önce ve sonra olmak üzere iki kez analiz edilip yorumlanmıştır.

Grafiklerde görülen A,B,C,D ve Ref. İle adlandırılmış olan noktalar, heyelan potansiyelinin yüksek olduğu düşünülen yerlerden alınmış koordinat noktalarıdır. Referans noktası ise kıyaslama yapılabilmesi amacıyla heyelan olayından hiçbir şekilde etkilenmediği düşünülen alanı temsil etmektedir.

A:36.61 41.12 B:36.63 41.12 C:36.63 41.20 D:36.64 41.11 ve Ref: 36.72 41.04
 çalışma alanından alınmış koordinat noktalarıdır.



Şekil 28. Atmosferik düzeltmesi yapılmamış interferogramlara ait toplam kümülatif LOS yer değiştirme grafiği



Şekil 29. Atmosferik düzeltmesi yapılmış interferogramlara ait toplam kümülatif LOS yer değiştirme grafiği

7. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Yukarda verilen atmosferik etkilerin giderilmemiş olduğu zamana bağlı Toplam Kümülatif LOS yer değiştirme sonucunda, 365 günün sonunda çalışma alanında +8 cm yükselme -10 cm çökme gözlenmiştir. Ancak atmosferik etkilerin giderilmesiyle, çalışma alanında +0,5 yükselme,-1cm çökme gözlemlenmektedir. Bu iki durum karşılaştırıldığında 2018 yılına kadar ciddi bir deformasyon söz konusu ise bile,2018 yılı içerisinde Ağcagüney çalışma alanında bir heyelan olayının gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Burada asıl önemli olan atmosferik düzeltmenin varlığıdır. Eğer atmosferik düzeltme yapılmadan sonuçlar değerlendirilecek olsa çalışma alanında 10 cm'ye kadar ulaşan bir çökmenin varlığından bahsedebilirdik. Ancak atmosferik etki giderildiğinde nerdeyse hiç deformasyona rastlanmadığı ortadadır. Bu durum sadece Ağcagüney'deki heyelan potansiyeli olan bölge için geçerli değildir. GACOS düzeltmesini yapabilmek için çalışma alanından daha geniş çerçevede belirlediğimiz alan yorumlandığında da sonuç benzerdir. Alanın genelinde, atmosferik etki giderilmeden bakıldığında +25cm yükselme -5 cm çökme gözlemlenirken, atmosferik etki giderildiğinde alanın genelinde bu değerlerde +1 cm yükselme -1,5 cm çökme gözlemlenmektedir. Hesaplanan bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, çalışma alanındaki heyelanlar hızlarına göre, "çok yavaş-son derece yavaş" olarak sınıflandırılmıştır.

Bunların haricinde bir diğer sonuç olarak 2018 yılı boyunca çalışma alanında ciddi bir düşey hareketin olmadığına dair sonuçlar elde edilmiştir. 2018 yılında çalışma alanında heyelan hareketinin varlığı söz konusuysa bile heyelan hareketinin büyük çoğunluğu yatay yönde ise nicel sonuçlarla ortaya konulamamıştır. Çünkü, Sentinel 1 uydusundan bölge için temin edilen veriler VV(vertical-vertical) polarizasyon tipindedir. VV polarizasyona sahip görüntüler ise yatay hareketlerden ziyade düşey yönde hareketlere duyarlıdır. Bu sebeple çalışma alanındaki aktif heyelan saptanamamış olabilir. Aynı çalışma alanı ilerleyen zamanlarda HH polarizasyon türünde görüntülere ulaşabilme imkânı veren COSMO-SkyMed, TerraSAR-X, TanDEM-X gibi uydulara ait veri setleri kullanılarak aynı amaç için tekrardan gözlemlenebilir.

8. KAYNAKLAR

- Bayer, B., Simoni, A., Schmidt, D., ve Bertello, L., 2017. Using advanced InSAR techniques to monitor landslide deformations induced by tunneling in the Northern Apennines, Italy., *Engineering geology*, 226, 20-32.
- Beltran, L., Cruden, D. M., Krauter, E., Lefebvre, G., Ter-Stepanian, G.I.ve Zhouyuan, Z., 1993. Multilingual Landslide Glossary, BiTech Publishers, Richmond, Canada.
- Berens, P., 2006. *Introduction to synthetic aperture radar (SAR)*. Fgan-Fhr Research Inst For High Frequency Physics And Radar Techniques Wachtberg (Germany).
- Costantini, M., 1998. A Novel Phase Unwrapping Method Based on Network Programming. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36(3), pp. 813–821.
- Çomut, F. C., Gürboğa, Ş., ve Üstün, A., 2010. Denizli Babadağ İlçesinde Heyelanların İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Insar) Tekniği İle Gözlemlenmesi.
- Deguchi, T., Kato, M., Akcin, H., ve Kutoglu, H. S. 2006. September. Automatic processing of Interferometric SAR and accuracy of surface deformation measurement. In *SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques VIII*, 6363, p. 636309. International Society for Optics and Photonics.
- Flynn, T. J., 1996. Consistent 2-D Phase Unwrap- ping Guided by a Quality Map. In: *International Geo- science and Remote Sensing Symposium 96, Lincoln, IEEE*, pp. 2057–2059.
- Gatelli, F., Guamieri, A. M., Parizzi, F., Pasquali, P., Prati, C., & Rocca, F. (1994). The wavenumber shift in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(4), 855-865..
- Geudtner, D., 1995. Die interferometrische Verarbeitung von SAR-Daten des ERS1. Dissertation, Universitat Stuttgart. DLR Forschungsbericht, 91-12.
- Ghiglia, D. C. and Romero, L. A., 1994. Robust Two-Dimensional Weighted and Unweighted Phase Unwrapping that Uses Fast Transforms and Iterative Methods. *Journal of the Optical Society of America (A)* 11,1, 100-121.
- González, P.J., Walters, RJ; Hatton, EL; Spaans, K; McDougall, A., Hooper, A.J ve Wright, TJ, 2016 LiCSAR: Tools for automated generation of Sentinel-1 frame interferograms, AGU Fall Meeting.
- Gökçe, O., Özden, S.ve Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bölgeleri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Hastaoğlu, K. Ö., Poyraz, F., Demirel, M., ve Türk, T., 2013. Envisat Sar Görüntüleri Kullanılarak Heyelanların İzlenilmesi.
- Joshi, A.W. ve Kumar, A., 2003. What can we learn from the electromagnetic spectrum?, 8-25.
- Kiseleva, E., Mikhailov, V., Smolyaninova, E., Dmitriev, P., Golubev, V., Timoshkina, E., ... ve Hanssen, R. 2014. PS-InSAR monitoring of landslide activity in the Black Sea coast of the Caucasus. *Procedia Technology*, 16, 404-413.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley and Sons. Inc., USA
- Özer, M. F., Coruk, Ö., Pekşen, E., Güven, İ.T., ve Yas, T., 2012. Samsun İli Çarşamba İlçesi Ağcagüney Beldesi Mevlana Ve Yunus Emre Mahallelerinde Meydana Gelen/Gelmesi Muhtemel Heyelan Afetinin Araştırılmasına Esas Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Çalışma Raporu. Kocaeli, Türkiye.
- Schowengerdt, R.A., 1997. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*, Second ed., Academic Press, San Diego, USA.
- Stimson, G.W., 1998. *Introduction to Airborne Radar*, SciTech Publishing, Inc., New Jersey.
- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., ve Balta, I., 2008. Türkiye iklimi. Turkish State Meteorological Service (DMİ), Ankara.
- Türkeş, M., Erginal A. E., Demirci, A., ve Ekinci, Y. L., 2011. Çanakkale Yöresi Ambaroba ve Mazılık Heyelanlarının Jeofiziksel, Klimatolojik ve Jeomorfolojik Analizi. İstanbul, Türkiye.
- Ulaby, F.T., Moore R.K., ve Fung A.K., 1982. Artech house, *Microwave remote sensing: Active and passive, volume ii: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory*.
- Varnes, D. J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In *Landslides: Analysis And Control*. Edited by R. L. Schuster and R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy Of Science, Washington.
- Wasowski, J. ve Bovenga, F., 2014. Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives, *Engineering Geology*, 174, 103–138.
- Yazıcı.B.V., 2019. Daimi Yansıtıcı Insar (Psinsar) Tekniği ile Heyelanların Tespit Edilmesi ve İzlenmesi.

Yonezawa, C., Watanabe, M. Ve Saito, G., 2012. Polarimetric Decomposition Analysis of ALOS PALSAR Observation Data before and after a Landslide Event, Remote Sensing, 4,8,2314–2328.

URL 1, <https://science.nasa.gov/missions/radarsat>. 22 Mayıs 2016.

URL 2, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/Default.asp>. 14 Aralık 2007.

URL3,https://www.esa.int/For_Media/Press_Releases/ERS-1_Nine-year_success_story_comes_to_an_end. 13 Mart 2000.

URL 4, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/past-missions/ers-1.html>. 31 Mart 2000.

URL 5, <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-eo-missions/ers/mission-summary>. 5 Eylül 2011.

URL 6, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/past-missions/envisat.html>. 08 Haziran 2012.

URL7, <http://www.iha.com.tr/haber-samsunda-heyelandan-5-ev-yikildi-40-ev-hasar-gordu-624716/>. 14 Şubat 2017.

URL8,<https://www.samsunhaberhatti.com/haber/samsun-carsambada-korkutan-heyelan/175666>. 12 Şubat 2019.

URL9,https://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10377/565_read-436/#/gallery/350TerraSAR-X. 5 Ocak2019.

URL10,[https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x-TSX\(TerraSAR-X\)Mission](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x-TSX(TerraSAR-X)Mission). 20 Mart 2019.

URL11,<http://www.cosmo-skymed.it/en/index.htmAboutCOSMO-SkyMed>.5Ocak 2019.

URL12, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymedCOSMO-SkyMed>. 20 Mart 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Semra ŞENTÜRK, 15/05/1991 tarihinde İstanbul'da doğmuştur. İlköğrenimini Mersin ili, Anamur Vakıfbank İlköğretim okulunda, orta öğrenimini Anamur Fatih İlköğretim Okulunda ve lise öğrenimini Gaziantep Opet Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden Jeoloji Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2017-2018 eğitim öğretim yılında Karadeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Meslek hayatına İç İşleri Bakanlığı Nüfus Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye geneli yürütülmekte olan Mekansal Adres Kayıt Sistemi projesinde Malatya ili sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Yabancı dili İngilizcedir.