

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BATI ANTALYA HEYELANLARININ
SAR İNTERFEROMETRİSİ İLE İNCELENMESİ**

Hamit Beran GÜNÇE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BATI ANTALYA HEYELANLARININ
SAR İNTERFEROMETRİSİ İLE İNCELENMESİ**

Hamit Beran GÜNÇE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATI ANTALYA HEYELANLARININ
SAR İNTERFEROMETRİSİ İLE İNCELENMESİ

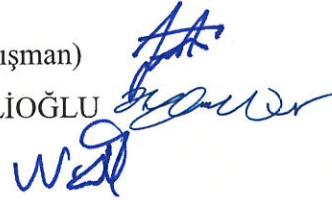
Hamit Beran GÜNÇE
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 27/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Bekir Taner SAN (Danışman)

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR



ÖZET

BATI ANTALYA HEYELANLARININ SAR İNTERFEROMETRİSİ İLE İNCELENMESİ

Hamit Beran GÜNÇE

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bekir Taner SAN

Haziran 2019; 47 sayfa

Bu çalışma Batı Akdeniz Bölgesi'nde oluşan heyelanların ileri InSAR teknikleri yardımıyla yüzey deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada Sentinel-1 uydusuna ait radar görüntüleri işlenerek farklı yüzey karakteristikleri ve farklı deformasyon türleri için seçilen InSAR yönteminin uygunluğu araştırılmıştır.

Çalışma alanı Antalya'nın batısında yer alan üç farklı noktadaki heyelanları kapsamaktadır. Sentinel-1 uydusunun dört görüntüleme tipinden biri olan "Interferometric Wide Swath" verileri ESA'nın portalından temin edilmiştir. SLC (Tek Görünüm Kompleksi) ürünü SAR görüntüsü kullanılacaktır. Görüntü C bandı $\lambda=5.6$ cm dalga boyunda, 5 x 20 (m) çözünürlüklü, 25° 'den büyük geliş açılı, 250 km şerit genişliğine sahip bir görüntü tipidir.

Farklı tarihlerdeki SAR görüntü çiftlerinden sayısal yükseklik modeli kullanarak interferogram üretmek için ESA' ya ait "SNAP 5.0" ve eklentisi "Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) versiyon 5.0.5" kullanılmıştır.

Farklı yeryüzü özelliklerinde InSAR Teknikleri kullanarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, uygulama bölgesi olarak heyelan oluşumlarının gözlemlendiği üç farklı bölge seçilmiştir. Yavaş ve uzun zaman aralıklarıyla da oluşabilen çalışma alanındaki heyelanların radar uydu görüntüleri ile üretilen interferogramları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nden elde edilen heyelan envanter haritası ve arazi gözlemleri ile değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre Göynük mevkiindeki en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.2 ile 0.16 metre olarak elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: DInSAR, Heyelan, İnterferogram, Sentinel-1, Antalya

JÜRİ: Doç. Dr. Bekir Taner SAN

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR

ABSTRACT

RESEARCH OF WEST ANTALYA LANDSLIDES WITH SAR INTERFEROMETRY

Hamit Beran GÜNÇE

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN

June 2019; 47 pages

This study is carried out to determine the surface deformations of the landslides in the Western Mediterranean Region with the advanced InSAR techniques. In this study, radar images of Sentinel 1 satellite were processed and it is investigated the suitability of the InSAR method selected for different surface characteristics and different types of deformation.

The study area covers landslides at three different locations to the west of Antalya. The data of the Interferometric Wide Swath which is one of four imaging types of Sentinel 1 satellite is obtained from ESA's portal. The product of SLC (Single View Complex) which is SAR image will be used. Image C band $\lambda = 5.6$ cm wavelength, 5 x 20 (m) resolution, greater than 25° arrival angle, 250 km strip width image type.

By Using the numerical height model from SAR image pairs of different dates to produce interferogram, ESA's "SNAP 5.0" and its add-on "Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) version 5.0.5" are used.

In this study, which aimed to determine surface deformations by using InSAR techniques on different surface characteristics, three different regions where landslide formations were observed were selected as application area. Interferograms produced with Radar satellite imagery of landslides in the study area, which can also occur at slow and long intervals were evaluated with the landslide inventory map and field observations obtained from the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) .

According to the results obtained in this context, the smallest and largest displacement in the Göynük area is -0.2 to 0.16 meters.

KEYWORDS: DInSAR, Landscape, Interferogram, Sentinel-1, Antalya

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMİR

ÖNSÖZ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki yüksek lisans eğitimim süresince çalıştığım InSAR teknikleri hakkında öğrendiklerimin uygulaması niteliğindedir. Batı Akdeniz Bölgesi'nde gelişen yüzey deformasyonlarının araştırılmasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı; SAR interferometri tekniğini kullanarak yüksek hassasiyetle deformasyonları belirlemek ve nedenlerini araştırmaktır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini bizimle paylaşan, biz öğrencilerinden “mesut sürprizler” bekleyen ve bunun için motive eden saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Bekir Taner SAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

“Radar Uzaktan Algılamanın Temelleri ve Uygulamaları” dersiyle başlayan radar görüntülerine olan ilgi ve merakımı olumlu yönde destekleyen Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

“InSAR Yöntemlerinin Yüzey Deformasyonu Tespiti ve Doğal Afetler Alanında Kullanımı” sunumuyla, 2016 yılında Akdeniz Üniversitesinde farkındalık yaratan, Ostrava Üniversitesi'nde görevli Dr. Milan Lazecky'e teşekkürlerimi sunarım.

Antalya İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nde görevli Jeoloji Mühendisi Derya Karatürk'e ve Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğünde Şube Müdürü olarak görevli Murat GÜLER'e, paylaştıkları bilgiler için teşekkür ederim.

Çalışma alanında meydana gelen deformasyonlarla ilgili paylaştığı bilgiler için Arş. Gör. Fatih UÇAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar haricinde sığınıp motive olabildiğim; İsmail Baha Süreksan Konservatuvarı ve Akdeniz Teknoloji Transfer Ofisi çalışanlarına verdikleri destekten ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan çok değerli babam Nurettin GÜNÇE, annem Hamiyet GÜNÇE, abim Davut Baran GÜNÇE'ye ve sevgisiyle beni her an yüreklendiren İlgin YAZICIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Çalışma Alanı	2
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Literatür Çalışmaları	4
2.2. Genel Jeoloji	7
2.2.1. Tarihsel Jeoloji	7
2.2.2. Bölgesel Jeoloji	8
2.2.3. Formasyon Bilgileri	9
2.3. Heyelanlar	11
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Faz Bileşenli Radar Görüntüsü	13
3.2. Radar İnterferometrisi	15
3.3. SAR İnterferometrisi	15
3.4. Farksal SAR İnterferometrisi Tekniği	16
3.5. Materyal	18
3.6. Metot	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Yersel Kontrol	22
5. SONUÇLAR	42
6. KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “BATI ANTALYA HEYELANLARININ SAR İNTERFEROMETRİSİ İLE İNCELENMESİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27/06/2019

Hamit Beran GÜNÇE



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ	: Eğik anten-hedef arasındaki eğik uzunluk
C	: Işık Hızı
β	: radar pulsu sinyal bant genişliği
τ	: radar pulsu uzunluğu
Δ_{azi}	: Azimut çözünürlüğü
V_{uydu}	: Uydu hızı
β_{Dop}	: Doppler bant genişliği
Φ	: İnterfarometrik faz
R_B, R_I	: Birincil ve ikincil geçiş için uydu-hedef arasındaki mesafe
λ	: Dalga boyu
P	: Arazi noktası
B	: Baz uzunluğu
$B_{\perp}$	: Dik baz uzunluğu
B_t	: Zamansal baz uzunluğu
B_{II}	: Paralel baz uzunluğu
B_{kr}	: Kritik baz uzunluğu
R_r	: Nominal piksel çözünürlüğü (Aralıktaki piksel boşluğu)
γ	: Uyuşum (coherence) değeri
h	: SRTM yüksekliklerinin duyarlılığını belirten yükseklik değeri
θ	: Radarın bakış açısı
H_{amb}	: Yükseklik belirsizliği
σ	: Standart sapma

D_{LOS}	: Radarın bakış doğrultusundaki deformasyon
L_a	: Radar anteni uzunluğu
H_{UYDU}	: Uydu yüksekliği
H_P	: P arazi noktasının yüksekliği
y_B, y_I	: Genlik ve faz bilgisini içeren birincil ve ikincil bileşenler
ϑ	: Yörünge geometrisinden türeyen referans yüzeydeki umulan faz
$\Delta\varphi$	: İnterferometrik faz farkı
.	: Tezde kullanılan ondalık yazım ayırıcı

Kısaltmalar

3D	: Three-Dimensional
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ALOS	: Advanced Land Observation Satellite
AOE	: Atmospheric and Orbit Errors
APS	: Atmospheric Phase Screen
ASAR	: Advanced Synthetic Aperture Radar
ASI	: Agenzia Spaziale Italiana (İtalyan Uzay Ajansı)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CHUK	: The Chinese University of Hong Kong
CONAE	: Argentina National Space Activities Commission
DEM	: Digital Elevation Model
DePSI	: Delft PS-InSAR processing package
DInSAR	: Differential SAR Interferometry
DORIS	: Delft Institute of Earth Observation and Space Systems
DS	: Distributed Scatterer
DSM	: Digital Surface Model

ENVISAT	: European Environment Satellite
ERS-1/2	: European Remote Sensing Satellite- 1/2
ESA	: European Space Agency
FBS	: Fine Beam Single Polarization
FM	: Frekans Modülasyonu
GCP	: Ground Control Point
GDEM	: Global Digital Elevation Model
GHz	: gigahertz
GMT	: Generic Mapping Tools
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HH	: Transmitting and Receiving Horizontally Polarized Radiation
IAS	: Integer Ambiguity Search
IDW	: Inverted Distance Weighting algorithm
IMS	: Image Mode Single Look Complex
InSAR	: Interferometric Synthetic Aperture Radar
IP	: Inverted Parameters
IR	: Inverted Residuals
IS	: Image Swath
INTA	: Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial - İspanyol Uzay Ajansı
IW3	: Interferometric Wide swath 3
JAXA	: Japan Aerospace Exploration Agency
JERS	: Japanese Earth Resource Satellite
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
LOS	: Line of Sight
MCF	: Minimum Cost Flow

Mhz	: megahertz
MST	: Minimum Spanning Tree
MTI	: Multitemporal SAR Interferometry
PALSAR	: Phased Array L-band SAR (ALOS)
PS	: Persistent Scatterers Pixel
PSC	: Persistent Scatterer Candidate
PSI	: Permanent / Persistent Scatterers Technique
PSInSAR	: Permanent / Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
QGIS	: Quantum Geographic Information Systems
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RADARSAT	: Radio Detection and Ranging Satellite
RAR	: Real Aperture Radar
RF	: Radyo Frekansı
RMSE	: Root Mean Square Error
ROI_PAC	: Repeat Orbit Interferometry PACKage
SAOCOM	: Satellites for Observation and Communications
SAR	: Synthetic Aperture Radar
SB	: Small Baselines
SBAS	: Small Baseline Subset
SLC	: Single Look Complex
SqueeSAR	: Squeeze SAR
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
StaMPS	: Stanford Method for Persistent Scatterers
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TSX	: TerraSAR-X

VV : Transmitting and Receiving Vertically Polarized Radiation
WGS84 : World Geodetic Survey 1984
YAS : Yeraltı Suları



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı ve seçilen lokasyonlar	2
Şekil 2.1. Web Of Science’ da 1990-2019 yılları arasında yayınlanan 5894 makaleden 77052 referans verisinin işlenmesi ile oluşan ortak atıf analizi.....	4
Şekil 2.2. Batı Toros Napları‘nın yerini gösteren harita (1.Menderes Masifi, 2. Menderes Örtü Kuşağı Güney Kolu, 3 ve 4. Ofiyolitler, 5. Molas, 6. Bey Dağları Otokton Zonu, 7. Genç Neo-tektonik çökeller) (Ersoy 1990)	7
Şekil 2.3. Otokton (Beydağları otoktonu) ve allokton (Yeşilbarak napı ve Likya Napları) birimlerinin bölgedeki genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri (Şenel 1997)	8
Şekil 2.4. Çalışma alanının jeoloji haritası (Şenel 1997'den uyarlanmıştır).....	10
Şekil 2.5. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri (Varnes 1978)(*Düzlemsel kayma ve kama tipi olmak üzere ikiye ayrılır).....	11
Şekil 3.1. Genlik ve faz görüntüsü örneği	12
Şekil 3.2. SAR görüntülerinin temel yapıtaşları. a-SAR görüntüleme geometrisi, b-Alıcı anten tarafından kaydedilen sinyal bilgisi (Babayiğit 2011).....	13
Şekil 3.3. Deformasyona yönelik bir interferogramın ve interferometrik örgelerin yapılması. a- bir merkeze bağlı olarak gelişmiş konik yapı bir deformasyon temsili. Burada her yarım dalga boyu ($\lambda/2$) kadar oluşan yer değiştirme miktarı, deformasyon konisinde bir interferometrik örge yüksekliğine karşılık gelir. b- konik yüzeyli interferometrik örge katlarının iç içe dizilimi. c- bu dizilimin kesitlerdeki görünümü. d- renk atfı yapılmış interferogramlardaki örgelerin 3 boyutta temsili görünümü. e- örgelerin bir interferogram görüntüsü üzerinde oluşacak görünümü. f- örgelerin temsil ettiği yer değiştirme miktarlarının katsal ilişkisi. g- iç içe oturtulan örge katları interferogramda yine 2 boyutta görülecektir (Köse, 2000).....	14
Şekil 3.4. Radar interferometrinin temel prensibini gösterir şekil.....	15
Şekil 3.5. Farklı zamanlarda, aynı alana ait iki SAR görüntüsünden elde edilen faz değişimi interferogram haritası.	16
Şekil 3.6. Farksal interferometri tekniğinin şematik gösterimi. Teknikte, yüzey topoğrafyasında oluşan yer değiştirmelerin farklı zamanlarda alınmış SAR görüntülerinin sinyal fazlarındaki farklarla belirlemektir (Köse 2000)	17
Şekil 3.7. SAR sisteminin geometrik açıklaması.....	20
Şekil 3.8. İnterferometre geometrisi. İlk edinim Birincil (B),ikinci edinim İkincil (İ) (Çomut 2016)	20

Şekil 3.9. DInSAR veri işlem akış şeması.....	21
Şekil 4.1. 14 Mart 2017 tarihinde Büyükelan Mevki'ndeki heyelanın yarattığı tahribat	22
Şekil 4.2. 25 Şubat 2018 tarihinde Yenbey Mevki'ndeki heyelanın yarattığı tahrip	22
Şekil 4.3. a) Karaköy Köyü'nün doğusundaki Beydağı Formasyonun (Kb) genel görünüşü (Çekim yönü Güneydoğu); b) 7 Ağustos 2018 Karaköy Heyelanı	23
Şekil 4.4. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri	24
Şekil 4.5. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri	25
Şekil 4.6. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri.....	26
Şekil 4.7. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri	27
Şekil 4.8. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) verilerden oluşturulan interferogramlar.....	28
Şekil 4.9. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) verilerden oluşturulan interferogramlar.....	29
Şekil 4.10. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) verilerden oluşturulan interferogramlar	30
Şekil 4.11. "15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) verilerden oluşturulan interferogramlar	31
Şekil 4.12. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	32
Şekil 4.13. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	33
Şekil 4.14. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	34

Şekil 4.15. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	35
Şekil 4.16. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	36
Şekil 4.17. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	37
Şekil 4.18. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	38
Şekil 4.19. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları.....	39
Şekil 4.20. Göynük Mevki deformasyon haritası ve MTA heyelan envanteri haritasının çakıştırılması ile elde edilen harita.....	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çalışma alanında yer alan formasyonlarla ilgili bilgiler	9
Çizelge 3.1. Sentinel 1 uydusuna ait değerler.....	18
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan radar görüntülerinin özellikleri	19
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan SYM' ye ait parametreler	19



1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Heyelanlar çeşitli fiziksel, morfolojik ve jeolojik faktörler etkisi altında gelişmektedirler. Kayalardan, döküntü örtüsünden veya topraktan oluşan yamaç malzemesinin, yerçekimi etkisi altında yer değiştirmesini heyelan olarak tanımlayan Varnes (1978), hareket tipine ve malzemenin türüne göre heyelanları sınıflamıştır.

Ulusal ölçekte doğal afetlerden etkilenen konut sayıları baz alınarak yapılmış çalışmaların tamamında yaşanan olay sayısı olarak heyelanlar ilk sırada, yaşanan kayıplar açısından ise depremlerden sonra ikinci sıradadır (Çan vd. 2013). Bu konuda yapılan çalışmalardan 1950-2005 yılları arasındaki dönemi kapsayan Gökçe vd. (2008)'e göre aynı yerleşim birimi için değişik zamanlarda meydana gelen heyelanların, 16,450 olay sayısı ile tüm afetler içerisinde %55.2'lik bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Afetlerin yol açtığı kayıpların azaltılması ve mekânsal dağılımını kontrol eden çevresel faktörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla yapılan bu envanter çalışmalarında, Antalya ilinde gözlenen heyelan olaylarının az olarak nitelendirilmesine rağmen özellikle Torosların yamaçlarında bulunan yerleşim birimlerinde kaya düşmesi olaylarının ve 1100 m' den yüksek 28°'den daha fazla eğimli yamaçlarda çıkış tehlikesinin bulunduğu bilgisi yer almaktadır.

Doğa ve insan kaynaklı olayların sonucu olan yüzey değişimlerinin tespiti, incelenmesi ve takip edilmesi amacıyla birçok mühendislik disiplini tarafından farklı ölçme, tespit ve yorumlama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri uzaktan algılama çalışmalarıdır. Uzay teknolojilerinin her geçen gün ilerlemesi ile daha kolay hale gelen uzaktan algılama yöntemlerinden en etkili olanlarından birisi İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR) tekniğidir (Çomut 2016).

SAR veya InSAR teknolojisi, uydular üzerindeki radar platformlarından zaman serisi şeklinde alınan verilerin analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Böylelikle yeryüzünde meydana gelen alansal deformasyon miktarları mm-cm/yıl hassasiyetinde gözlenebilmektedir. Teknik pratikte, birbirinden çok az farklı görüntüleme açıları ile elde edilmiş radar görüntülerinin kullanılmasını gerektirir. Yörüngedeki hareketli bir platform üzerindeki radar sensörler tarafından hedefe doğru mikrodalga sinyaller iletilir. Hedeften yansıyan sinyaller mikrodalga sensörler tarafından kaydedilerek hedefin radar görüntüsü oluşturulur (Ferretti vd. 2001). Hedef ve sensör arasındaki menzil farkı ölçümlerine dayanan InSAR, karmaşık (kompleks) radar sinyallerini kullanır.

N sayıdaki interferogram, birincil (master) görüntü üzerinden uygun bütün $N+1$ sayıdaki görüntüler kullanılarak oluşturulur. Topoğrafik fazın ortadan kaldırılarak DInSAR elde edilebilmesi için de örnek bir Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılır.

Diferansiyel InSAR veri işleme; görüntü çiftlerinin seçimi, görüntülerin birbiriyle bağdaştırılması (co-registration), SYM'nin oluşturulabilmesi için veri eklenmesi, interferogram oluşturma ve iyileştirme, faz çözümlemesi, SYM üretimi ve yer değişim modelinin oluşturulması ve son olarak coğrafi referanslama (geo-coding) aşamalarından oluşmaktadır (Kampes 1999).

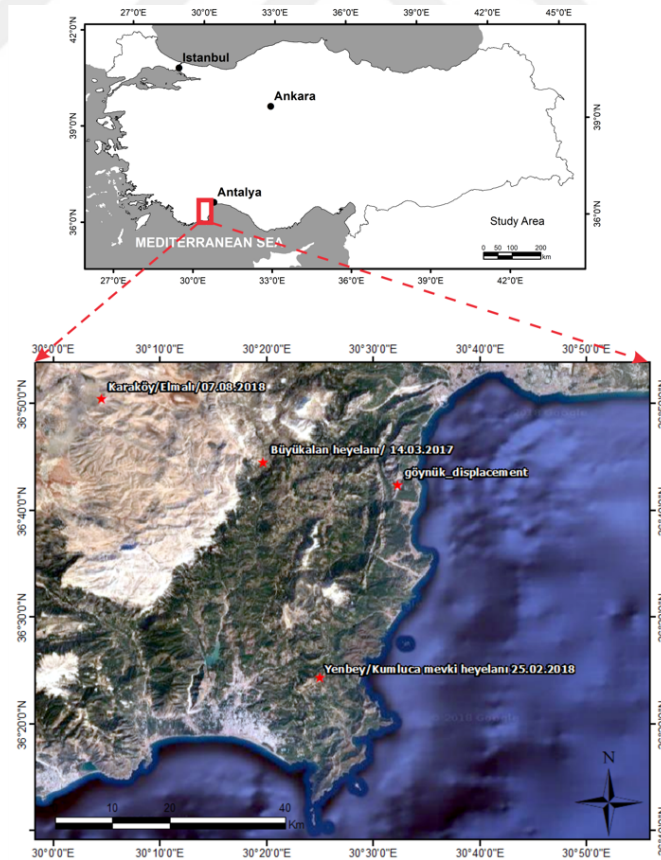
DinSAR bağıl yer değişimleri ölçmede santimetre alt duyarlılığa sahip bir ölçme tekniği olsa da (Agram 2010) bazı sınırlamalarından söz edilebilir. Örneğin, atmosferik etkilerden kaynaklı ve yörüngesel hataların ve diğer gürültülerin (noise) giderilememe olasılığı ve bu olasılıklara bağlı olarak sadece toplam (olası hatalardan net olarak arındırılmamış) yer değişimini ölçmesi gibi sınırlamalar, lineer ve lineer olmayan hareketler arasındaki farkın ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır (Ferretti vd. 2000; Zebker vd. 1997).

Tez çalışmasının amacı farklı yeryüzü özelliklerinde InSAR Tekniklerini kullanarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışma bölgesi olarak heyelan oluşumlarının gözlemlendiği üç farklı bölge seçilmiştir.

Heyelanların neden olduğu deformasyonları belirlemek ve bunların nedenini araştırmada kullanılan uzaktan algılama yöntemlerinin ve teknolojilerinin her geçen gün daha da ilerlemesi ile mevcutta kullanılan envanter haritalarının geliştirilmesi, çalışmanın bir diğer önemli yararlarındandır.

1.2. Çalışma Alanı

InSAR tekniklerinin farklı alan ve jeolojik oluşumlar üzerindeki yer değiştirmelerin görüntülenmesindeki kabiliyetinin ortaya konulması amacıyla seçilen çalışma sahası, Antalya'nın batısında yer alan üç farklı noktadaki heyelanları kapsamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanı ve seçilen lokasyonlar

Çalışma alanı dağlık ve yarı dağlık bir topoğrafyaya sahip olup, 190 m ile 2714 m arasında değişen, ortalama 920m'lik deniz seviyesinden yüksekliğe sahiptir.

Çoğunlukla akma tipi kütle hareketi olarak tanımlanabilecek heyelanların olduğu çalışma sahasında, yer seçimindeki odak nokta; yakın tarihli, en belirgin olan aktif heyelanların seçilmesiydi.

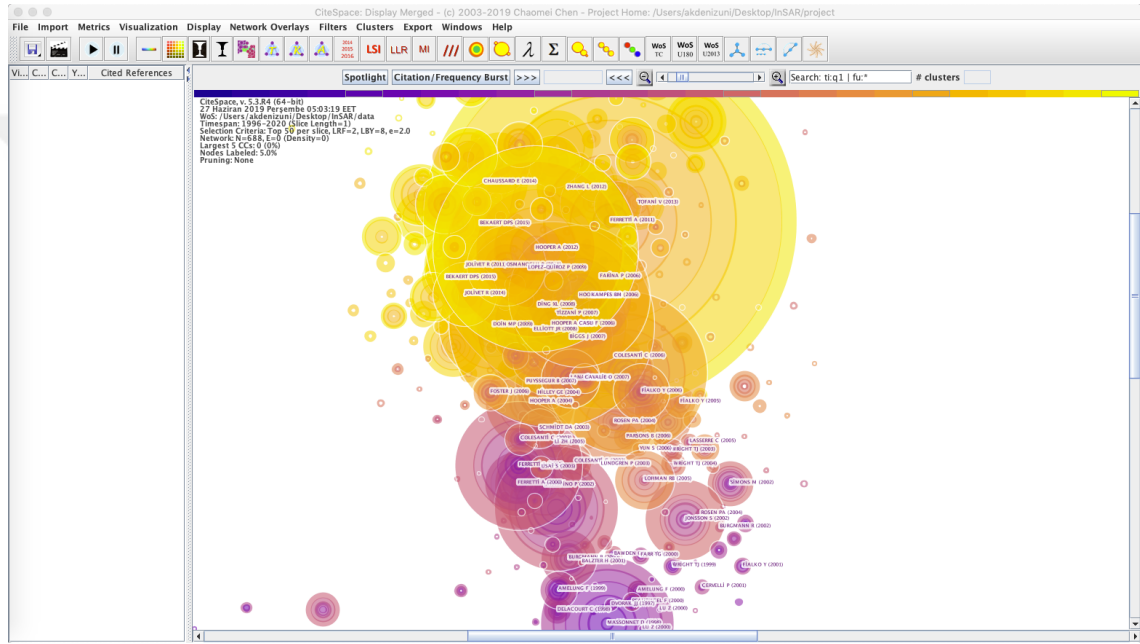
Bu alanlar Kumluca/Büyükalan, Kumluca/Yenbey, Elmalı/Karaköy mevkileridir.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Literatür Çalışmaları

Çalışmada kullanılan InSAR yönteminin yıllar içerisinde meydana gelen bilgi birikiminin, belirli zaman aralıklarında istatistiki yöntemlerle analiz edilip yorumlanabilmesi, ilişkisel ağların ortaya çıkarılabilmesi için bibliyometrik analiz yazılımlarından CiteSpace yazılımı kullanılmıştır. InSAR tekniğinin yer bilimlerinde kullanımına ilişkin 1990 yılından günümüze kadarki çalışmalar Şekil 2.1’ de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 2.1’ deki renk skalasında mor renkler geçmiş tarihli (1990’ a yakın), sarı renkler ise güncel yapılan çalışmaları göstermektedir. Gösterimdeki dairelerin çapları çalışmaların etki alanlarını göstermektedir.



Şekil 2.1. Web Of Science’ da 1990-2019 yılları arasında yayınlanan 5894 makaleden 77052 referans verisinin işlenmesi ile oluşan ortak atıf analizi

Literatür taranırken; InSAR çalışmalarında sonuçların duyarlılığını etkileyen işlem adımlarından biri olan faz çözümleme aşaması için geliştirilen farklı algoritmalarla, sonuçların iyileştirildiği görülmüştür. Söz konusu algoritma geliştirme çalışmalarını içeren çeşitli yayınlardan aşağıda kısaca bahsedilecektir.

İnterferometri başlangıçtaki kullanımında uzun bir süre, güneş sisteminde yer alan gezegenlerin karakteristik yapılarının ortaya çıkarılmasında önemli roller üstlenen tekniklerden birisi olmuştur (Counselman vd. 1972; Pettengill, Counselman vd. 1969; Preston vd. 1972; Rogers ve Ingalls 1969; Slade ve Shapiro 1970).

Yöntemin yeryüzüne yönelik uygulamaya geçişi, topoğrafya ile daha çok ilgili olan jeodezi çalışmaları dahilinde yavaş yavaş olmuştur (Coates vd. 1975; Graham 1974; Hinteregger vd. 1972). İnterferometri yönteminin yolu, günümüzden 15 yıl öncesine kadar yapılan deprem konulu çalışmalarla da (Shapiro ve Knight 1970) 70’li yıllarda kesişmiştir. Zaman içerisinde yüzeyde gelişen kabuk deformasyonlarına yönelik ilk

interferometri çalışmaları bu aşamada başlamıştır (Gabriel vd. 1989). Ardından da kabuk deformasyonu ile ilgili olarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Massonnet ve Rabaute 1993; Massonnet vd. 1993a). Tarım alanlarındaki toprak hareketlerinin, Gabriel (1989) tarafından incelenmesi ile birlikte, farksal InSAR ile deformasyon takibi konusu gelişmiştir. Topoğrafik haritalamadaki hassasiyete müdahalesi olan yörüngesel aksın (baseline) ölçek etkisi, deformasyon haritalamasında olmayacağından doğruluk derecesi cm alt mertebelerine inebilmektedir.

Buzul kütlelerinin kayma yönünün belirlenmesi de, SAR verileri ile mümkündür (Goldstein vd. 1993). Grönland (Danimarka) ve Antarktika gibi ulaşılması güç olan bölgelerde, interferometrik ölçümler, çok değerli bilgiler sunmaktadır. Bu ölçümler sayesinde buzul dinamikleri hakkında bilgi edinilmesi, küresel ısınma ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi önemli riskler taşıyan oluşumlara karşı önlem alınmasını sağlamaktadır. Ancak buzul kütlelerinin hareket hızı, genellikle SAR görüntüleme aralığı (35 gün) için çok yüksektir. Bu sebepten bu bölgelerde daha sık aralıklarla görüntü alımının gerçekleştirilmesi bir zorunluluktur.

İnterferometrik uygulamalar, deprem, fay ve tektonik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. İki radar görüntüsü ile oluşturulan interferogram üzerinden, presismik, kosismik ve postsismik deformasyon ölçümleri yapılabilmektedir. Bu ölçümlerde, radar verileri, sismik aktiviteden önce ve sismik aktiviteden sonra alındığında deformasyon tespitleri yapılmaktadır. Kosismik deformasyon ölçümleri; Massonnet vd. (1993), Zebker ve Rosen (1994), Peltzer ve Rosen (1995), Massonnet ve Feigl (1995a, 1995b) ve Peltzer vd. (1999) tarafından başarıyla uygulanmıştır. SAR verileri ile Küresel Konuşlandırma Sistemi (GPS; Global Positioning System) verileriyle birlikte değerlendirilerek deprem analizi ve yorumlamaları da yapılmaktadır (Segall ve Davis, 1997). Postsismik deformasyon üzerine Massonnet vd. (1994 ve 1996), Peltzer vd. (1996) tarafından çalışmalar yapılmıştır.

İnterferometrinin, kabuk deformasyonuna yönelik uygulamaları bağlamında, bir depremin ortaya serdiği deformasyonları belirlemek üzere ilk ayrıntılı sonuçların elde edildiği, Landers (California, ABD, 28 Haziran 1992, Mw:7.3) depremi için (Massonnet vd. 1993) gerçekleştirilen çalışma, sismotektoniğe yönelik çalışmalar için de yeni bir sayfa açmıştır.

Volkanik patlama süreci; patlama öncesi (pre-eruptive), patlama (coeruptive) ve patlama sonrası (post-eruptive) evrelerinden oluşmaktadır. Bu evrelerde oluşan deformasyonlar SAR yöntemi ile ölçümlenmektedir. Patlama öncesi evrenin oluşturduğu deformasyonların SAR yöntemi ile belirlenmesi, tehlikelerin önceden tahmin edilmesini sağlamaktadır. Aktif volkanların SAR yöntemi ile takibi, büyük bir önem teşkil etse de, uykudaki volkanların, bir gün uyanabilecekleri göz ardı edilmeyip, bu volkanların da sistematik takip altına alınması gerekmektedir (Amelung vd. 1999).

Tekrarlanmalı şekildeki radar uydu geçişleri sırasında alınan görüntü çiftleri ile oluşturulan interferogramlarda, aktif volkanların incelenmesi, buna bağlı olarak, interferogramlar üzerine etkiyen birtakım uydusal özelliklerin tam olarak kullanılması ile yapılan düzeltmelerle, yorumlamadaki hataların giderilmesi konusunda (Stevens ve Wadge, 2004) çalışmalar yapılmıştır.

Kentsel alanlarda gerçekleştirilen tüm deformasyon ölçümlerinde, yüksek çözünürlüklü PSI tekniği kullanılmaktadır. Uzaktan algılama uygulamalarında oldukça yeni sayılabilecek bu teknik sayesinde, yerleşim bölgelerindeki deformasyonların belirlenmesi ve haritalanması konusunda birçok çalışma (Hung vd. 2011; Raucoules vd. 2009; Teatini vd. 2012; Vilaro vd. 2009) yapılmıştır. Yöntem, sabit bir nokta ya da noktalar baz alınarak yapılan interferometrik yorumlama tekniğidir (Seleem vd. 2011)

Tomas vd. (2011), SPN (Stable Point Network) olarak isimlendirilen Persistent Scatterer Interferometry (PSI) tekniğini kullanarak Segura Nehri havzasında meydana gelmiş olan 12cm'lik çökmeyi saptamışlardır.

Seleem vd. (2011), Sina yarımadası (Mısır) en güney ucuna yönelik Stacking ve PS (Persistent Scattering) interferometri yöntemleriyle yapmış oldukları çalışmada, Sharm El-Sheikh kentsel gelişim alanı üzerinde çökme ve buna karşın bu sahanın daha kuzeyinde ise yükselme şeklinde deformasyonlar belirlemişlerdir. Araştırmacılar, söz konusu farklı iki türden olan bu deformasyonların birlikteliklerini ve sebeplerini mevcut pompajlara, litolojiye ve sismik aktivitelere bağlamışlardır.

InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) yöntemiyle, heyelan bölgelerinde meydana gelen yer değiştirmelerin saptanmasına yönelik çeşitli çalışmalar (Colesanti vd. 2006; Lauknes vd. 2010; Peyret vd 2008) gerçekleştirilmiştir.

Herrera vd. (2009) Mayıs 2006 ve Temmuz 2007 tarihleri arasında kalan görüntüleri karşılaştırarak Portalet (İspanya) heyelanındaki $62 \text{ cm} \pm 2.51 \text{ cm}$ yer değiştirmeyi belirlemişlerdir.

Jiang vd. (2011), InSAR yöntemini kullanarak, Kuzey Çin'de Wuda kömür havzasında meydana gelen yüzey çökmelerini saptamışlardır. Bu çökme tespitini takiben yapılan çalışmanın sonunda, yer altı kömür işletmelerinde meydana gelen yangınların, yanmış olan kömürün hacmine bağlı olarak geniş alanlarda çökmeler meydana getirebileceklerini, olgunlaşmış yanma sahalarında çökmelerin zaman içerisinde ivme göstererek ilerleyebileceğini, yeni çökme alanlarına sebep olabileceklerini belirlemişlerdir.

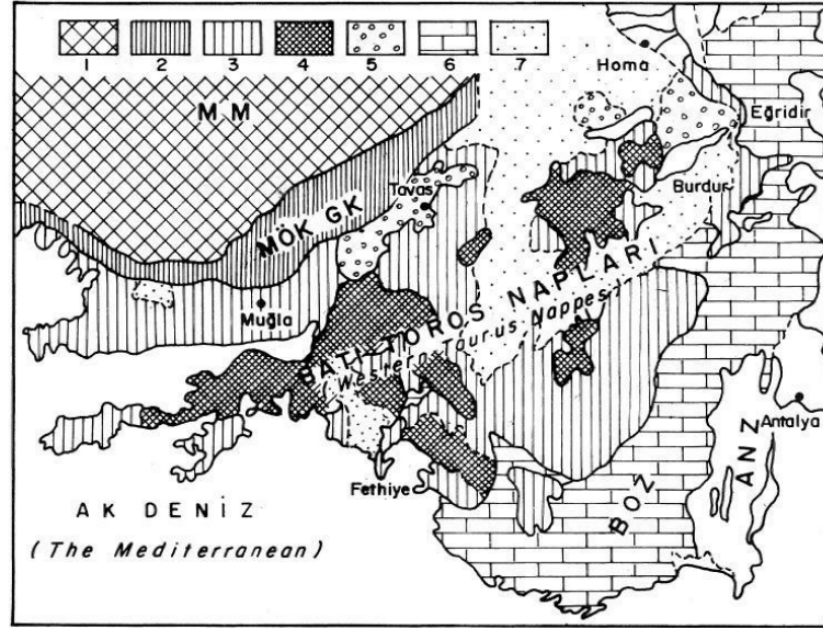
Kim vd. (2016), Sentinel-1 uydusundan açık kaynak SAR verilerinin gerçek zamana yakın kullanılabilirliğine dayalı olan, zaman serisi InSAR tekniğiyle, artan ve azalan Sentinel 1A veri setlerinden Wink obruklarının yatay (doğu-batı) ve dikey deformasyonunu tahmin edebilme olanağı sağlamışlardır.

Literatür çalışmaları, farklı yeryüzü karakteristiklerinde InSAR tekniklerinin uygulanması sırasında ortaya çıkan bozucu etkenleri (layover, speckle) gidermek için farklı yazılımların farklı algoritmalarını kullanması gerektiğini göstermiştir. Ancak çalışmalarda farklı algoritma ve uygun veri setleri kullanılsa da her zaman olumlu sonuç alınmayabilir. Bu çalışmada InSAR verilerinin kullanım potansiyelleri dezavantajları ile birlikte değerlendirilmiştir.

2.2. Genel Jeoloji

2.2.1. Tarihsel Jeoloji

Batı Anadolu farklı havza koşulları bakımından farklı paleocoğrafik kuşaklara ayrılır. Jeolojik yaş ilişkisi, kayaç türleri ve tektoniği bu koşulları belirler. Paleocoğrafik kuşakları kuzeyden güneye doğru sıralayacak olursak; Menderes Masifi'nin kuzeyindeki Tetis, Menderes Masifi (örtü kuşağı da dahil) Batı Toros Kuşağı (Teknesi), Beydağları Otoktonu ve Antaya Napları'dır. (Ersoy, 1990) (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Batı Toros Napları'nın yerini gösteren harita (1.Menderes Masifi, 2. Menderes Örtü Kuşağı Güney Kolu, 3 ve 4. Ofiyolitler, 5. Molas, 6. Bey Dağları Otokton Zonu, 7. Genç Neo-tektonik çökeller) (Ersoy 1990)

Sahanın batısında ve doğusunda çoğunlukla sığ denizi gösteren litolojilere ait birimler olan rekristalize kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşı hakimdir. Üst Liyas'da ortam derinleşmeye başlamış ve Dogger-Üst Kretase döneminde hemipelajik ve pelajikler çökelmiştir. Batı Toros Teknesi'nde derinleşme Üst Liyas'da başlamıştır. Fakat sığlığını Alt Kretase'ye kadar koruyan alanlar da mevcuttur. Bu sığlıklar sadece tekne içindeki yükselim alanları ile ilişkilendirilebilir. Kenarları olası faylıdır. Şevlerde yamaç döküntüleri gibi birikmişlerdir. Platform karbonatları ile pelajiklerin sınırı tedricidir. Bunun kanıtı platform karbonatlarının değişik seviyelerinde radyolarit fosillerinin bulunmasıdır.

Üst Kretase döneminde rudistli, mercanlı kireçtaşları mevcuttur. Ortamdaki sığlaşmadan dolayı çökelmiştir bu kireçtaşları. Bu çökeller pelajiklerin üzerinde uyumludur. Her yerde gözlenmezler.

Ofiyolitler Batı Toros Teknesi'nde yabancı kayaçlardır. Bulundukları yere kuzeyden gelmiş olması muhtemeldir. Menderes Masifi üzerindeki ofiyolitli birimler de, Ofiyolit naplarının devamıdır. Masifi'nin metamorfizma yaşının ilişkili olduğu

durumlardan biri de Ofiyolitlerin Masif üzerinde ilerlemesidir. Kuzeyden Güneye gençleşir (Sengör 1984).

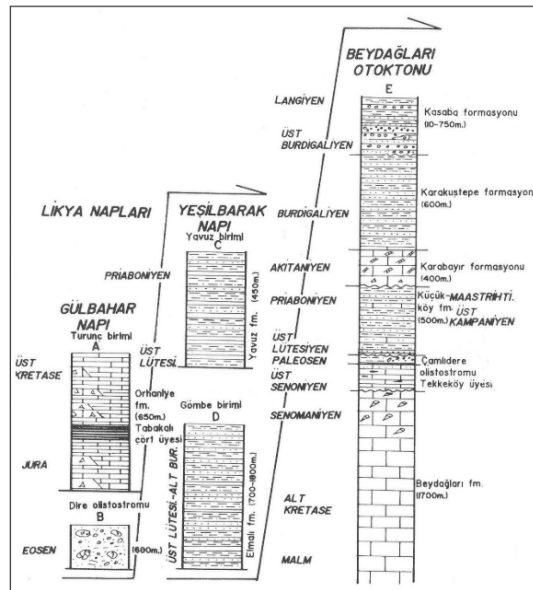
Bölgedeki yaygın açılma Laramiyen hareketleri ile durmuştur. Yerini sıkışma rejimine bırakmıştır. Senoniyen’de Neotetis’e ait okyanus kabuğu malzemesi mevcuttur. Ofiyolitler, bu hareketlerle iliği olarak Menderes Masifi kuzey kenarına birikmişlerdir. Ofiyolitik dilimler Senoniyen-Üst Eosen’e kadar Menderes Masifi üzerinde ilerlemiştir. Ofiyolitik dilimler gravite etkisi ile Batı Toros Teknesi’ne dahil olmuşlar ve Oligosen molası ile üzerleri kapanmıştır.

Aynı dönemde (Üst Kretase sonu) Batı Toros teknesinin, doğu ya da kuzeydoğusunda birikmiş olan birimler (Dutdere Grubu) hareket etmeye başlamıştır. Bu hareketlerle ilişkili Batı Toros Bölgesi'nde kırınılılar çökelmeye başlamıştır. Kırınılıların çökmesi Üst Maestrihtiyen'den Alt Langiyen'e kadar devam etmiştir (Ersoy, 1990).

Üst Eosen'den sonra sıkışma rejimi etkisiyle birlikler Bey Dağları otoktonuna doğru ilerlemişlerdir. Bu birlikler; Ofiyolit napları, doğu veya kuzeydoğu menşeli naplar (Dutdere Grubu), para-otoktonlar oluşturmaktadır. Oligosen'den Orta Miyosen (Langiyen)'e kadar Bey Dağları otoktonuna doğru bu ilerleme devam etmiştir. Son olarak tüm tektonik birlikler, Langiyen' de Bey Dağları üzerine yerleşmiştir. Paleotektonik dönem sona ermiştir böylece. Orta Miyosen başına kadar çökelmiş kırıntılılar da allokton duruma geçmişlerdir.

2.2.2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanında; Antalya Körfezi batısında Beydağları otoktonu yüzeylenmektedir. Antalya, Likya ve Yeşilbarak napları da allokon birimler olarak yüzeylenir (Şenel 1997) (Şekil 2.3).



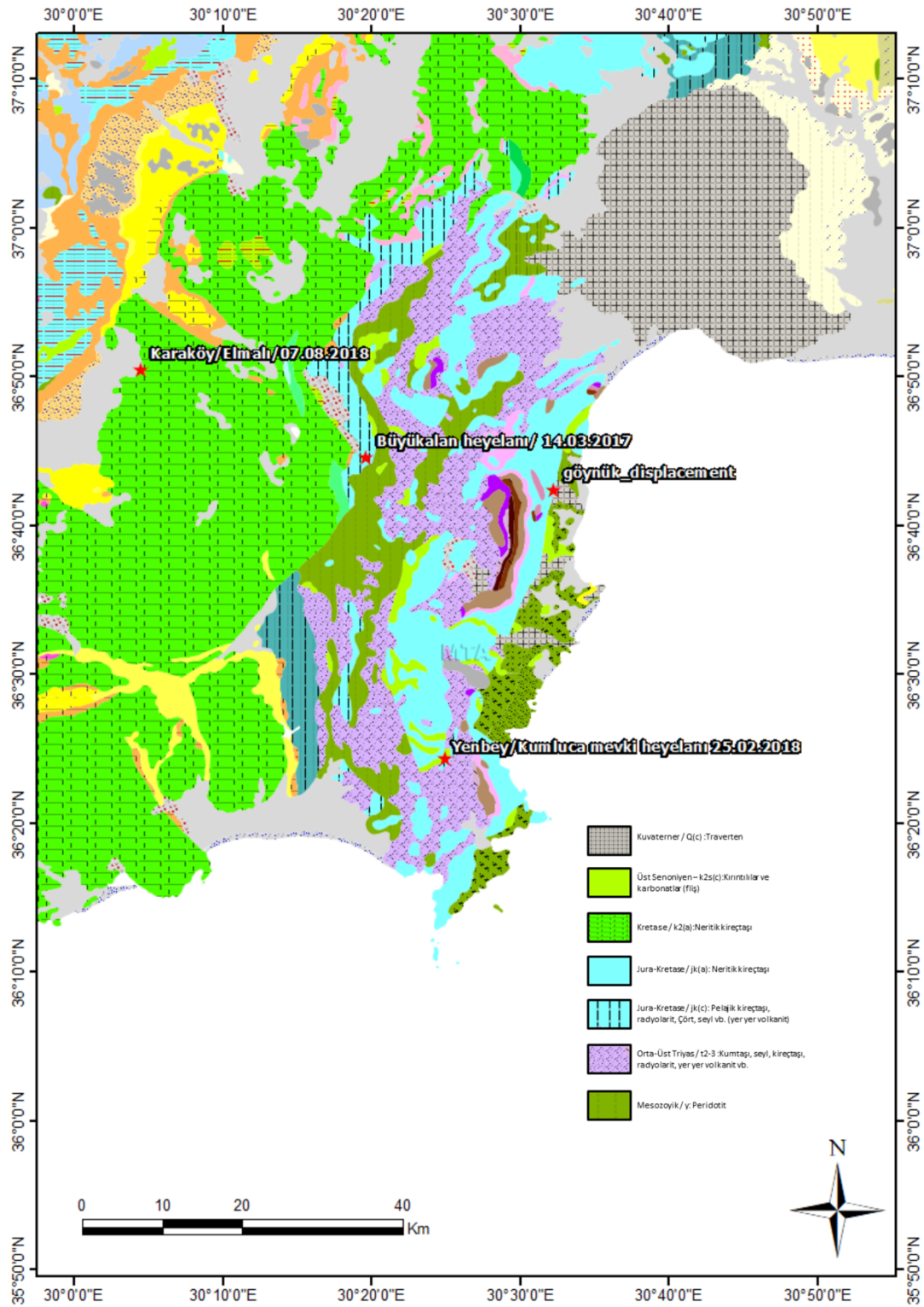
Şekil 2.3. Otokton (Beydağları otoktonu) ve allokton (Yeşilbarak napı ve Likya Napları) birimlerinin bölgedeki genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri (Senel 1997)

2.2.3. Formasyon Bilgileri

Çalışma alanında birimler otokton ve allokton olarak ayrılır. Bu birimler Mesozoyik, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlıdır. Çalışma alanındaki formasyon bilgileri Çizelge 2.1'deki gibi, çalışma alanını sınırlayan alanın jeoloji haritası Şekil 2.4' deki gibidir.

Çizelge 2.1. Çalışma alanında yer alan formasyonlarla ilgili bilgiler

Alan	Kod	Simge	Açıklama	Yaş
FORMASYON_4326.31877 (Karaköy)	1054	k2	k2 (a): Neritik kireçtaşı	Kretase
FORMASYON_4326.32417 (Büyükalan)	1066	jk	jk (c): Pelajik kireçtaşı, radyolarit, Çört, seyl vb. (yer yer volkanit)	Jura - Kretase
FORMASYON_4326.28107 (Yenbey)	1064	jk	jk (a): Neritik kireçtaşı	Jura - Kretase
FORMASYON_4326.34777 (Yenbey)	48	t2-3	Kumtasi, seyl, kireçtaşı, radyolarit, yer yer volkanit vb.	Orta - Üst Triyas
FORMASYON_4326.35244 (Yenbey)	1066	jk	jk (c): Pelajik kireçtaşı, radyolarit, Çört, seyl vb. (yer yer volkanit)	Jura - Kretase
FORMASYON_4326.35534 (Yenbey)	1049	k2s	k2s (c): Kırıntılılar ve karbonatlar (fliş)	Üst Senoniyen
FORMASYON_4326.34399 (Göynük)	1002	Q	Q(c): Traverten	Kuvaterner
FORMASYON_4326.34232 (Göynük)	129	y	Peridotit	Mesozoyik
FORMASYON_4326.33731 (Göynük)	1064	jk	jk (a): Neritik kireçtaşı	Jura - Kretase

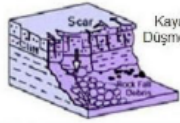
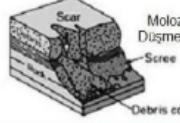
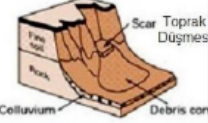
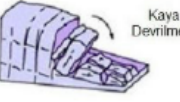
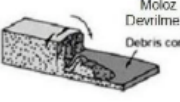
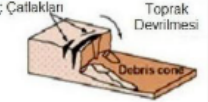
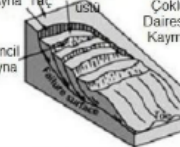
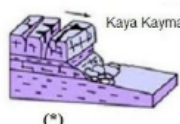
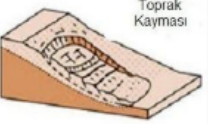
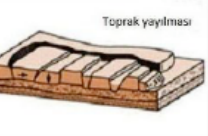
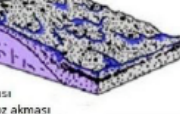
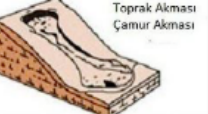
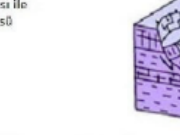


Şekil 2.4. Çalışma alanının jeoloji haritası (Şenel 1997'den uyarlanmıştır)

2.3. Heyelanlar

Kütleleri hareket ettiren en önemli unsur yer çekimidir. Kütle hareketleri doğal ve yapay nedenlerle de meydana gelir. Doğal nedenlerden en önemlileri jeolojik özellikler, iklim ve bitki örtüsü, kayaçların ayrışma derecesi ve titreşimlerdir. Yapay nedenler ise yamaç eğiminin değişmesi, yamaçların aşırı yüklenmesi ve yapay titreşimlerdir.

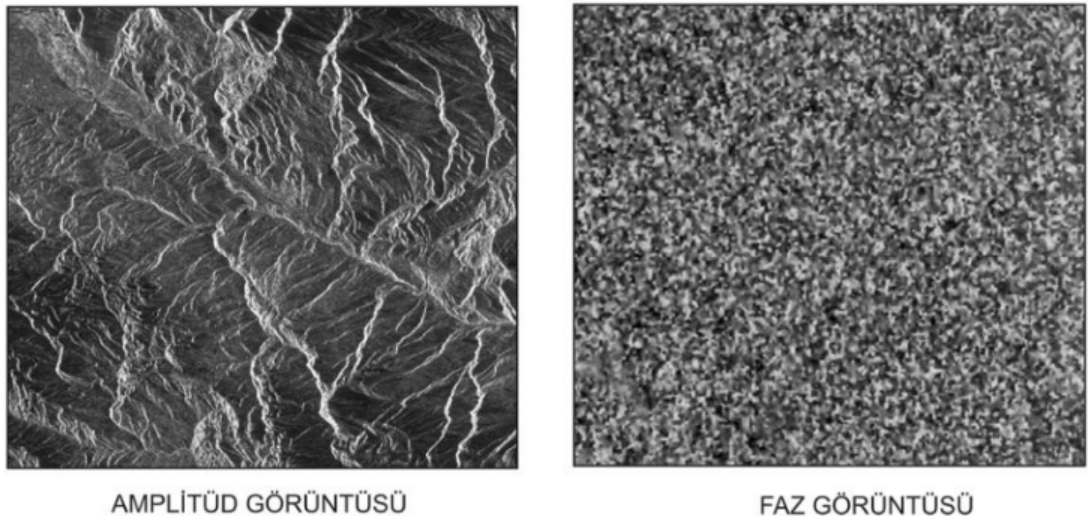
Yer yüzünde az ya da çok eğimli yüzeylerde görülen her türlü yer değiştirme hareketine verilen genel bir isimdir heyelan (Canik 1997). Mühendislik jeolojisinde hareketin türü, şekli, hızı, yeri ve hareket eden malzemenin cinsine göre farklı isimler (akma, kayma, düşme, heyelan, çökme gibi) alabilir

Malzeme Hareketin Türü	KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER			
DEVİLMELER			
KAYMALAR	DÖNEL 	DÖNEL 	DÖNEL 
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel) 	ÖTELENMELİ (Düzlemsel) 	ÖTELENMELİ (Düzlemsel) 
YAYILMALAR			
AKMALAR			
KARMAŞIK			

Şekil 2.5. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri (Varnes 1978)(*)Düzlemsel kayma ve kama tipi olmak üzere ikiye ayrılır)

3. MATERYAL VE METOT

Radar verileri genlik (amplitüd) ve faz olmak üzere iki bileşenden oluşan kompleks sayı formatında sayısal değerlerdir. Radar verilerinin jeolojideki kullanımına ilk olarak genlik bileşenleri ile başlanmıştır. Amplitüd (genlik) görüntüleri hedef bölgenin morfolojisi hakkında bilgi içerirler. Genlik görüntüleri; bitki örtüsüyle örtülmüş bölgelerde ve tektonik çalışmalarda, fay ve kıvrımların saptanmasına yönelik olarak sıkça kullanılmaktadır. Faz bileşenli radar görüntülerinin yeryüzü jeolojisine yönelik kullanımına genlik görüntülerinden sonra başlanmıştır. Görüntüde mozaik yüzeyi gibi bir dokuya sahip olan faz bileşenli radar verisi görsel anlam ifade etmemesine karşın, hedeflerin konumsal durumuna yönelik önemli bilgi taşımaktadır. Faz verileri genel olarak interferometri yönteminde kullanılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Genlik ve faz görüntüsü örneği

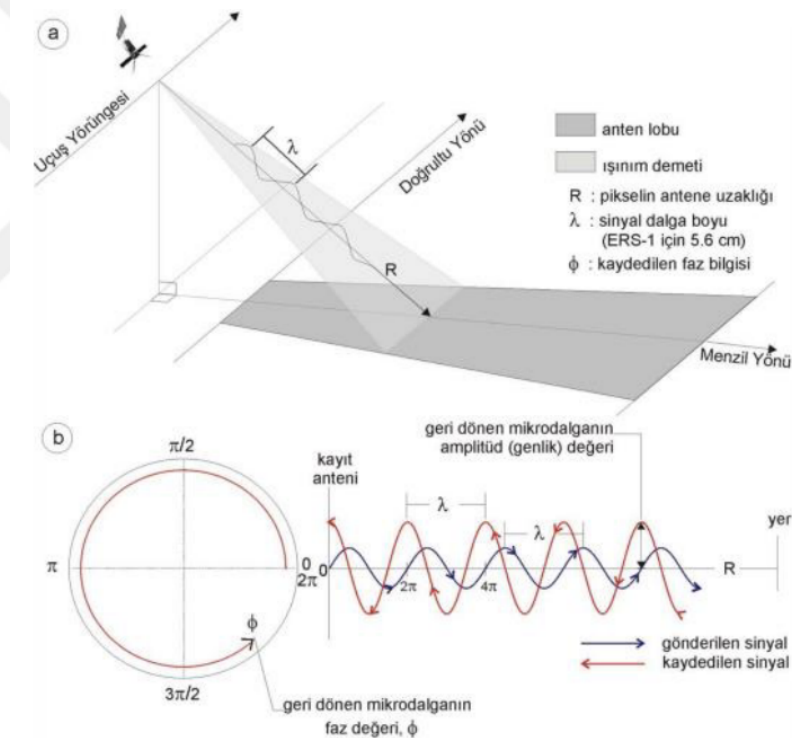
İnterferometri, herhangi bir noktaya farklı iki kaynaktan gönderilen iki sinyalin oluşturduğu girişiminin analitik incelemesini esas alan genel bir tanımlamadır. Temel fizik bilgilerinden de hatırlanacağı gibi, farklı noktadaki iki kaynaktan aynı noktaya ulaşan iki dalganın girişimi ve bu girişimin boyutları, dalga kaynaklarının hedef noktadan uzaklığına ve dalga boylarına bağlıdır.

Sadece radyo dalga ya da mikrodalga sinyallerinin kullanıldığı interferometri çalışmalarına “Radar İnterferometrisi” adı verilir. SAR görüntülerinden itibaren gerçekleştirilen interferometri çalışmaları ise “SAR interferometrisi” veya kısaca “InSAR” olarak anılır. InSAR çalışmaları, birisi topoğrafik harita yapmaya yönelik DEM üretimi ve diğeri de yer kabuğu yüzeyinde değişik türlerdeki değişimleri haritalamaya yönelik deformasyon belirlemesi olmak üzere, iki farklı amaca yönelik olarak uygulanmaktadır. Bunlardan deformasyona yönelik yapılan InSAR uygulamalarında, aynı alana ait farklı tarihlerde kaydedilmiş SAR görüntülerinin faz değerlerinin farkı alındığından, kullanılan yöntem “Farksal SAR İnterferometrisi” veya kısaca “DifSAR” ya da “DinSAR” adı verilir.

3.1. Faz Bileşenli Radar Görüntüsü

Kompleks sayı formatındaki radar verilerinde faz bileşeni, hedef ile uydu arasındaki mesafe değişimini santimetre alt mertebesinde verebilen bileşendir. Bu değer, uydu-yer-uydu şeklindeki yolculuğunun sonrasında uydu tarafından kaydedilen radar sinyalinin, kayıt öncesi alıcıya ulaştığı andaki yapmış olduğu son sinüzoidal çevrim içersinde $0-2\pi$ arasında kaldığı noktanın değerine karşılık gelir. Mesafe ölçümü olarak, bu değer aynı zamanda kullanılan radar sinyali dalga boyunun yarısına karşılık gelen bir boyutu temsil eder. Başka bir deyişle dalga boyu 5.66 cm olan ERS ve ASAR verileri için, fazlanma değeri 0 - 2.83 cm arasında ölçümlenir.

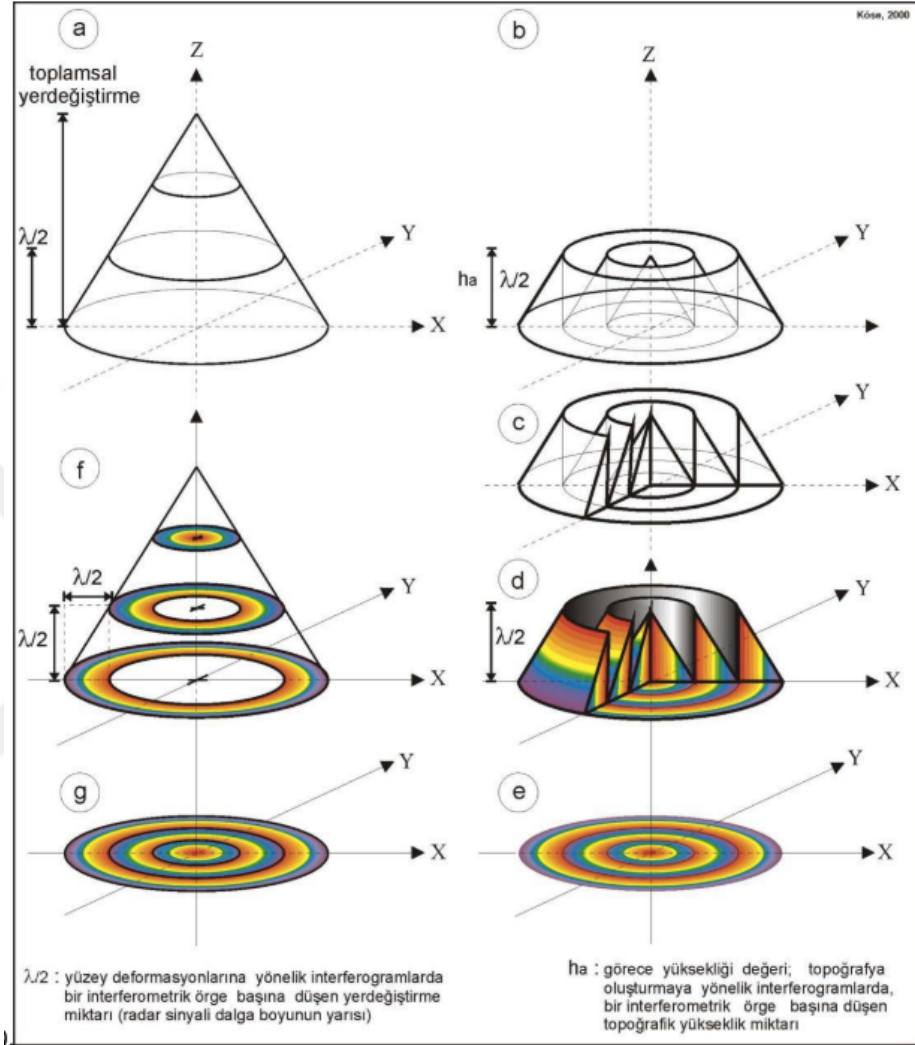
Aynı hedefe yönelik farklı zamanlarda kaydedilen faz değerlerinin farkları alınarak oluşturulan interferogramlardan itibaren, görüntülerin kayıtları arasındaki zaman sürecinde meydana gelen uydu yönündeki mesafe değişimi, kullanılan radar sinyalinin dalga boyu yarısının alt mertebeleri (ERS uydusu için mm) hassasiyetinde belirlenebilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. SAR görüntülerinin temel yapıtaşları. a-SAR görüntüleme geometrisi, b-Alıcı anten tarafından kaydedilen sinyal bilgisi (Babayiğit 2011)

Aynı bölge üzerine iki radar verisinin faz farklarını yansıtan deformasyon ölçümlemesine yönelik interferogramlar, görüntü olarak en düşük değeri siyah, en yüksek değeri beyazla temsil edilen 256 farklı gri tonlarında ve sayısal olarak 0-255 değerlerine karşılık gelen 8 bitlik veri yapısı halinde kodlanır. Bu kodlama daha kolay yorumlanabilecek bir görsel ifade amacıyla sonradan yapay olarak (genellikle en düşük değerden en yüksek değere doğru sırasıyla kırmızı, lacivert, mavi, yeşil, sarı geçişi ile) renklendirilir. İnterferogramlar üzerinde genellikle öz şekilli olmayan dairesel yapılar ile

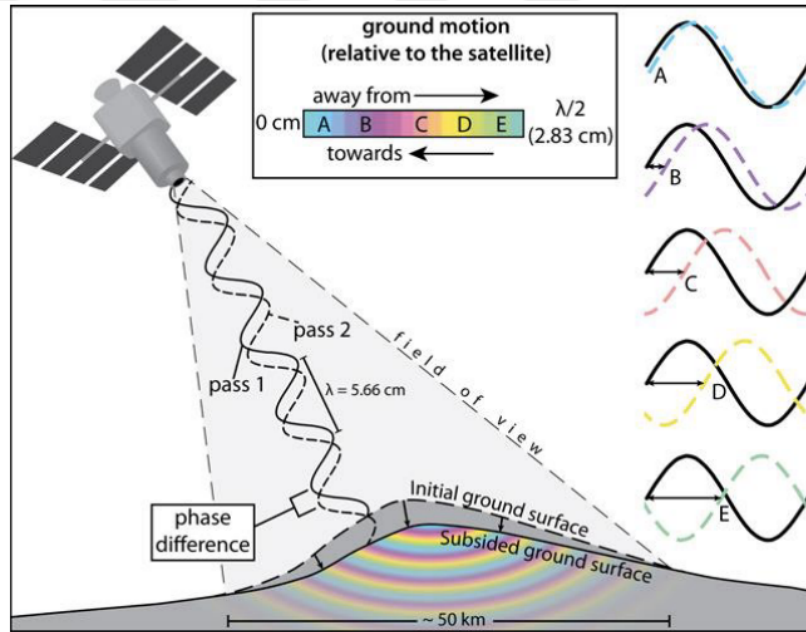
temsil edilen ve bir tam çevrimlik fazlanmaya karşılık gelen her bir öрге (fringe), aynı rengin tekrarlanması olarak görülür (Şekil 3.3). Böylelikle, elde edilen interferogramlar üzerinden yer kabuğu yüzeyinde meydana gelen yer değiştirme miktarları saptanabilmektedir.



3.2. Radar İnterferometrisi

Topoğrafik çözümler sunan radar interferometrisi yöntemi, aynı bölge için zaman içerisinde yapılan tekrarlamalı çalışmaların farklarının alınmasıyla (Şekil 3.4), yüzeylerde meydana gelen yer değiştirmelerin saptanabileceği yakın geçmişte düşünülmüştür.

Yöntem günümüzde, depremlerin, volkanik faaliyetlerin, heyelanların meydana getirmiş olduğu ani ve geniş kapsamlı yüzey deformasyonlarının belirlenmesinin yanı sıra, uzun yıllar boyunca çok düşük hızlarda meydana gelebilen deformasyonların (püskürme öncesi volkanların kabarması gibi) ve gerilim birikimlerinin (fay hatları üzerinde) incelenmesinde, buzulların yavaş hareketlerinde, maden aktivitelerinden dolayı yüzeyde oluşan çökmelerde, dünyadaki birçok bölgede su, gaz, petrol, cevher ve diğer minerallerin yeraltında bulundukları yerlerden yüzeye çıkmaları, çıkarılmaları ya da yer değiştirmelerinde, yıl içi yağış rejimlerine veya yapılan pompajlara bağlı olarak ovalarda, ve benzeri doğal süreçlerle ya da insan faaliyetlerine bağlı olarak yer yüzeyinde meydana gelen çökme veya kabarma şeklindeki yüzey deformasyonlarının hassas bir şekilde belirlenmesinde, haritalanmasında ve izlenmesinde çok tercih edilen bir metodoloji durumuna gelmiştir.



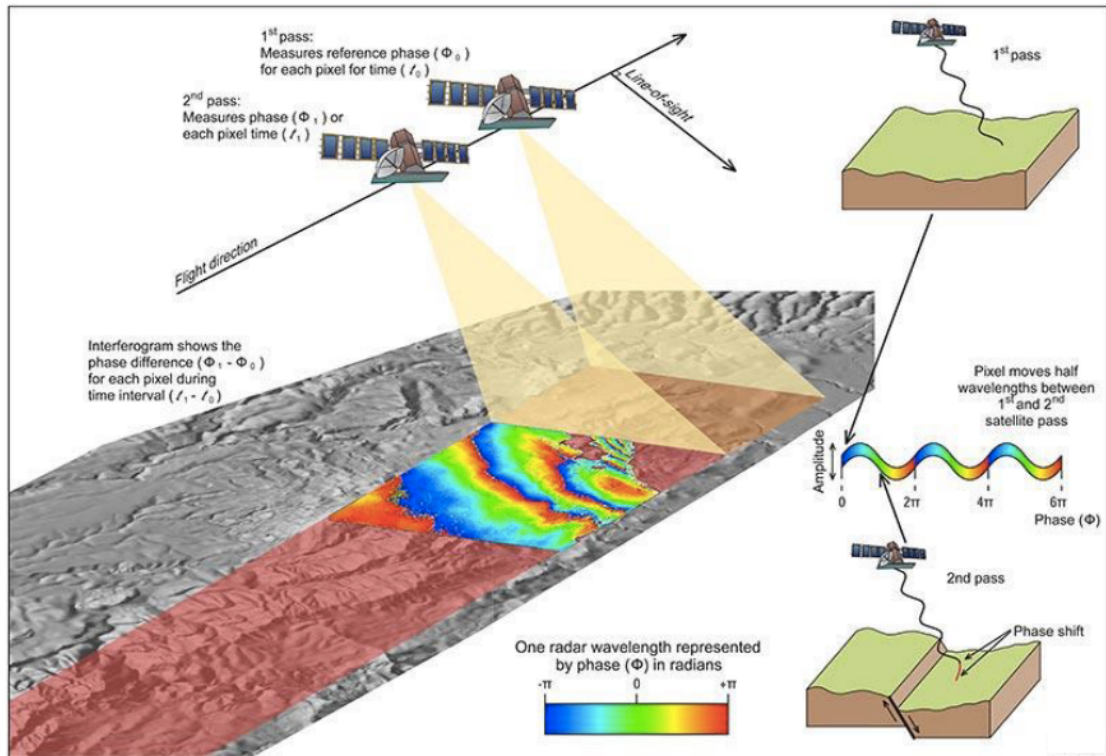
Şekil 3.4. Radar interferometrinin temel prensibini gösterir şekil

3.3. SAR İnterferometrisi

Uydularla yapılan radar görüntülemeleri esnasında, uydunun uçuş dinamiğine aykırı olmayan bir anten boyuna sahip olması gerekir. Uydu büyüklüğüne bağlı olarak değişen anten boyu, 10m'yi geçmemektedir. Bu kadar kısa bir uzunluktaki anten ile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek mümkün değildir, bunun için kilometrelerce uzunlukta anten kullanmak gerekmektedir.

Kaba radar çözünürlüklü görüntülerden, sayısal işlem teknikleriyle iyileştirme yapılarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi tekniğine sentez açılımlı radar ya da sentetik açılımlı radar (SAR) denilmektedir. SAR ile oluşturulan görüntüler, olduğundan çok daha fazla bir uzunluktaki anten ile oluşturulmuş kadar hassas bir çözünürlükte olmaktadır.

Uydu görüntülemelerinden itibaren interferometrik SAR uygulamalarına yönelik tekniklerin tamamını içeren çalışmalara kısaca InSAR adı verilmektedir. Uydu tabanlı InSAR uygulamaları; volkanik ve tektonik hareketler, depremler ve heyelanlar gibi doğal süreçlerle meydana gelen yer kabuğu üzerindeki yüzey deformasyonlarının hassas bir şekilde belirlenmesi ve takibinin yapılması üzerine geliştirilen ileri teknoloji ürünü bir ölçümleme metodolojisidir (Şekil 3.5). Başlangıçta NASA ve CNES tarafından geliştirilen metodoloji ve 2000’li yılların başından itibaren yer bilimlerinde ve özellikle de jeolojiye yönelik önemli araştırma merkezlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

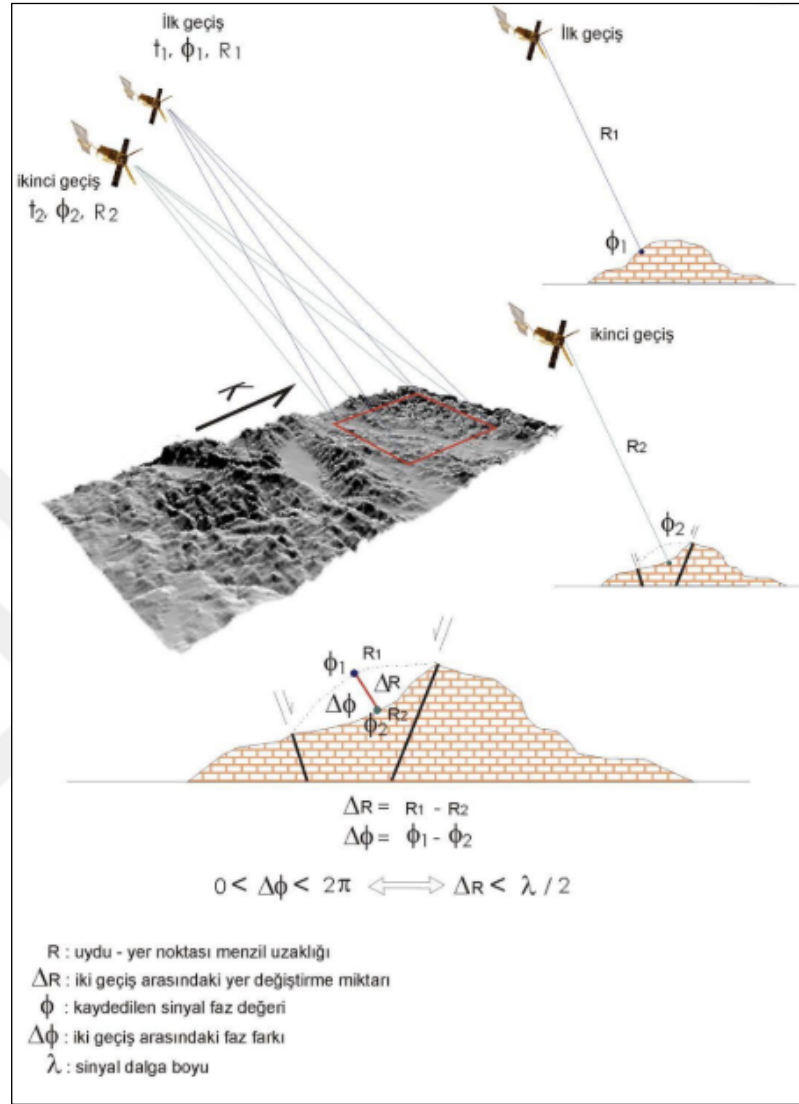


Şekil 3.5. Farklı zamanlarda, aynı alana ait iki SAR görüntüsünden elde edilen faz değişimi interferogram haritası

3.4. Farksal SAR İnterferometrisi Tekniği

Aynı bölge için iki farklı zamanda alınmış radar veya mikrodalga görüntülerinin alınma zamanları arasında geçen süre farkı içerisinde, yer yüzeyinde meydana gelmiş morfolojik değişimlerden kaynaklanan farklılıklar, her iki görüntülemeye ait sinyal verilerinin faz değerleri üzerinde bir farklılaşmaya neden olmaktadır. Bu SAR verilerinin faz bileşenleri üzerindeki farklılaşmaların hesaplanması ve ortaya çıkarılması tekniğine Farksal SAR interferometrisi (DInSAR) tekniği adı verilmektedir. Şematik görünümü

Şekil 3.6' deki gibi olan bu teknikteki farksal sözcüğü, radar uyduları tarafından farklı tarihlerde alınan görüntülerin faz bileşenleri arasındaki farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Farksal interferometri tekniğinin şematik gösterimi. Teknikte, yüzey topoğrafyasında oluşan yer değiştirmelerin farklı zamanlarda alınmış SAR görüntülerinin sinyal fazlarındaki farklarla belirlenmektedir (Köse 2000)

Diferansiyel interferometrenin uygulanabilmesi için belirli koşullar gereklidir. Bu koşullar;

- Görüntü çiftleri arasındaki mesafenin belirli bir değerden büyük olmaması,
- Görüntü yüzeyindeki eğimli alanların çok dik olmaması,
- Görüntü çiftlerinin aynı yörünge ve doğrultuda (artan ya da azalan) olması şeklinde sıralanabilir.

Ayrıca, interferometreyi etkileyen bazı kısıtlamalar da aşağıdaki gibidir.

- Geometrik uyşumsuzluk: Görüntüler arasındaki bakış açısının birbirinden anlamlı ölçüde farklı olmasından kaynaklanır.
- Zamansal uyşumsuzluk: Hedef nesnenin konumunun ve uyumunun zamanla değişmesi ile ortaya çıkar.
- Kesin olmayan mutlak faz değişimleri: Kesin faz değişimleri yerine mutlak değişimleri gösteren interferogramlar için tüm değişimler; deformasyonun olmadığı varsayılan tek bir nokta ile ilişkilendirilerek yapılmaktadır.
- Atmosferik etkiler: Radar sinyallerinin atmosferdeki nemli bölgelerden geçişi sırasında dalga boyunda meydana gelen genişleme ve kısaltmaların yarattığı etkidir. SAR görüntülerinin uzun zaman serilerinden veri kombinasyonu oluşturularak bu etki ortadan kaldırılabılır (Burgmann vd. 2000).
- Faz gürültüsü: Geometrik ve zamansal Uyşumsuzluk faz gürültüsüne sebep olur. İnterferogram üzerinde noktalı bir sonucun üretilmesi şeklinde sonuç verir. Faz gürültüsü varsa interferogram üretilemez.

3.5. Materyal

Çalışmada en güncel uydu görüntüsü olan Sentinel-1 uydu verileri de Avrupa Uzay Ajansı'ndan temin edilmiş. Avrupa Uzay Ajansı (ESA), dünyadaki tüm yüzeyleri tarayabilecek ve doğal felaketlerle iklim değişikliğinin etkilerinin takip edilmesinde çıkır açacak Copernicus programı dahilindeki ilk uydusu olan Sentinel- 1'i 3 Nisan 2014 tarihinde uzaya göndermiştir. Çalışmada kullanılan Sentinel 1 uydusunun özellikleri Çizelge 3.1' deki gibi, radar görüntü çiftlerinin özellikleri ise Çizelge 3.2' deki gibidir.

Çizelge 3.1. Sentinel 1 uydusuna ait değerler

	Bakış Açısı Uzunluğu (m)	Bakış Açısı (derece)	Nominal Aralık Çözünür. (m)	Dalgaboyu (m)	Kritik Baz Uz. (m)
	R	θ	R_r	λ	B_{kr}
Sentinel-1	698.00	38.3	3.1	0.056	4.479

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan radar görüntülerinin özellikleri

Field	Master date	Slave Date	Relative Orbit	Orbit Direction	Pixel spacing in slant range (m)	Pixel spacing in azimuth (m)	Wavelength (cm)
Büyükkalan	3.03.2017	15.03.2017	58	Ascending	2,3	13,9	5,6
	3.03.2017	27.03.2017	58	Ascending			
	4.03.2017	16.03.2017	65	Descending			
	15.03.2017	27.03.2017	58	Ascending			
Yenbey	20.02.2017	27.02.2018	65	Descending			
	14.02.2018	26.02.2018	58	Ascending			
	15.02.2018	27.02.2018	65	Descending			
Karaköy	2.08.2018	14.08.2018	65	Descending			

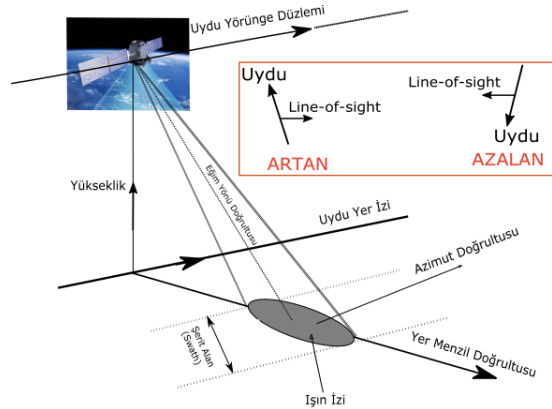
Tez çalışması için kullanılan sayısal yükseklik modeli SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), görüntü işleme için kullanılan SNAP yazılımının SYM verisi olarak sağlanmıştır. Özellikleri Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan SYM’ ye ait parametreler

SYM Modeli	Menzil	Teknoloji	Edinme Tarihi	Çözünürlük (m)	σ düşey
SRTM	-56°/60 enl.	C-band InSAR	2000 Şubat	90 × 90	10 m

3.6. Metot

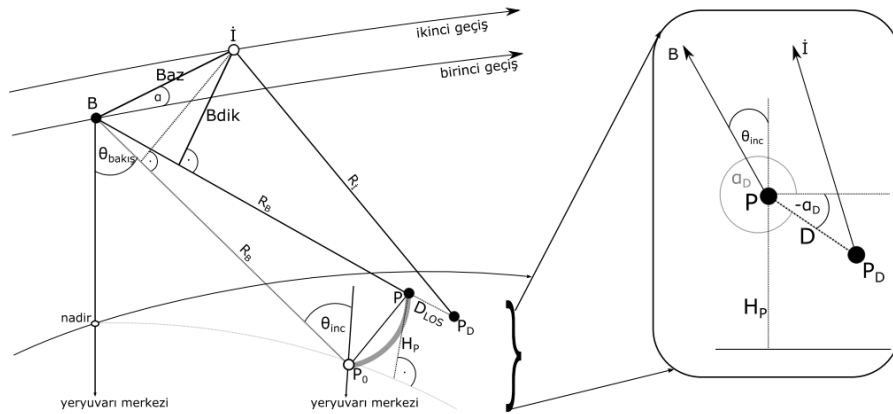
Uydu yörüngesine dik sensör-hedef doğrultusu; radarın bakış yönü (Line Of Sight -LOS) veya eğik uzunluk olarak tanımlanmaktadır. Bir radar görüntüsünün koordinatları hedef-sensör mesafesi ve sensörün yörüngesi boyunca gösterilen konum bileşeninden oluşmaktadır. İkincisine azimut adı verilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. SAR sisteminin geometrik açıklaması

SAR görüntüsünün koordinat sistemi yer koordinat (ya da coğrafi) sisteminden farklıdır. x ve y eksenleri coğrafi sistemde enlem ve boylam iken SAR sisteminde azimut ve eğik mesafe olarak değerlendirilir.

İki kompleks SAR görüntüsü arasındaki interferometrik faz (ϕ); birincil ve ikincil geçişler için uydu ve hedef arasındaki mesafelere ilişkin (R_B , R_I) farkın bilinmesiyle ölçülebilir (Colesanti vd. 2006; Ferretti vd. 2001). İnterferogram oluşturulması, bir görüntünün diğer kompleks eşlenik görüntü ile çarpımı gerçekleşir. İnterferogram fazı; topoğrafyanın izini (görüntüsünü) kontur çizgileri gibi örüntüler şeklinde gösterir. Sonuç harita (interferogram) üzerinde oluşan her bir renk cetveli radarın yarım dalga boyu ($\lambda / 2$) kadar bir uzunluktur. Sonuç interferogramlardaki her bir sıralı renk geçişi bu değerler yardımıyla ölçeklendirilir. İnterferometrik faz oluşumu için kapsamlı geometrik model Şekil 3.8’deki gibidir.



Şekil 3.8. İnterferometre geometrisi. İlk edinim Birincil (B), ikinci edinim İkincil (İ) (Çomut 2016)

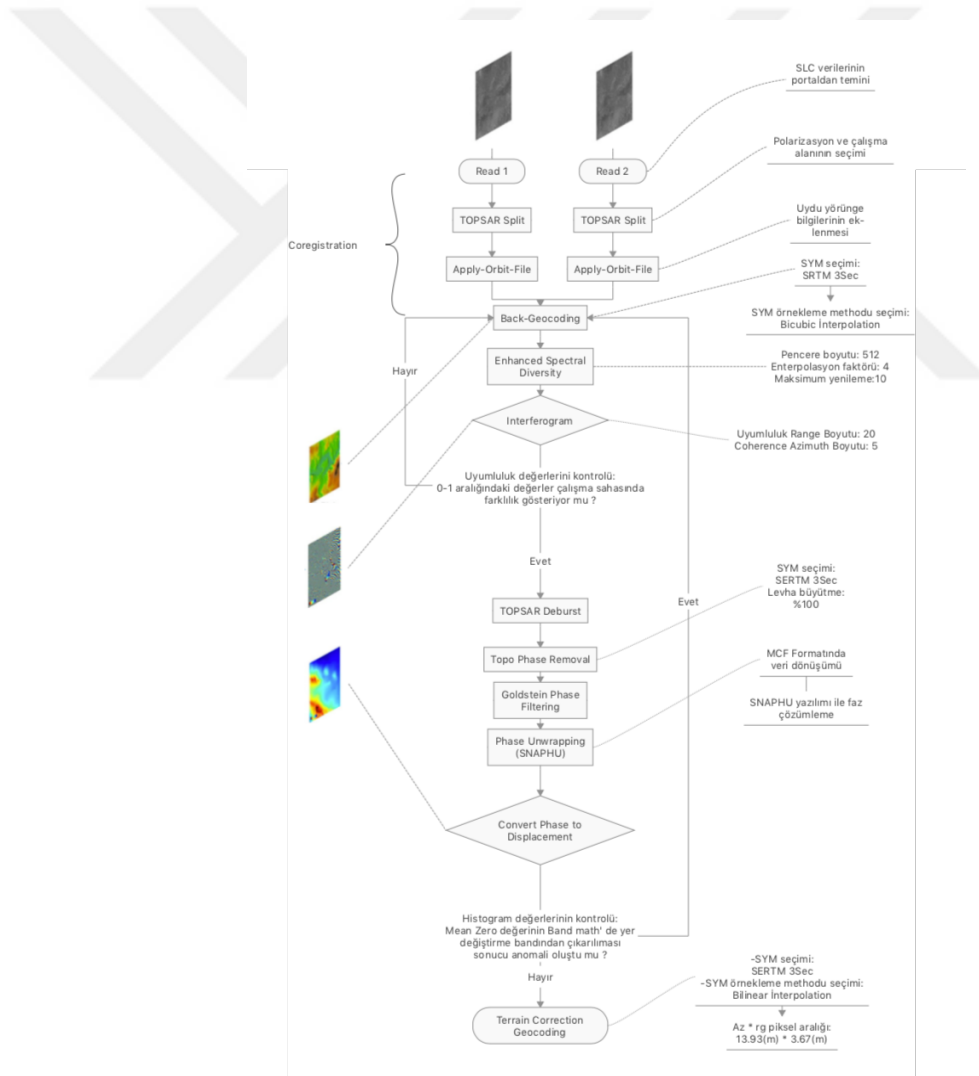
Yeryüzünde bulunan P noktasının SAR prensiplerine uygun olarak Birincil (B) ve İkincil (I) uydu geçişleri yardımıyla görüntülenme geometrisini anlatan Şekil 3.8’de; P arazi noktasında gerçekleşen yer değiştirme birinci ve ikinci geçiş zaman aralığında belirlenir. Ancak elde edilen deformasyon değeri radarın bakış doğrultusundadır (D_{LOS}).

SAR verilerinin işlenmesi temelde, kompleks birincil (master) verinin ikincil (slave) veri ile piksel bazlı eşleştirilmesi (coregistration) esasına dayanmaktadır. Bu yolla birbirine karşılık gelen pikseller arasındaki faz farkı değeri, bozucu etkenler de ortadan kaldırılarak deformasyon oranı verir. Uydu görüntüleri ile tekrarlı geçiş interferometri yöntemi kullanılarak iki görüntü alımı arasında oluşan zemin hareketi, iki görüntünün faz farkı $\Delta\phi$ hesaplanarak üretilen interferogram görüntüsü ile elde edilir (3.10).

$$\Delta\phi = \phi_{baz} + \phi_{topo} + \phi_{defo} + \phi_{atm} + \phi_{gürültü} \quad (3.1)$$

Faz farkı, baz uzunluğundan kaynaklanan etki, topoğrafik etki, deformasyon, atmosferik etki ve diğer gürültüleri içeren bir değerdir. Söz konusu etkilerin ortadan kaldırılmasıyla deformasyona ait faz elde edilir.

Deformasyona ait faz ve faz çözümleme sonrasındaki deformasyonu belirlemek için çalışmada uygulanan DInSAR veri işlem adımları Şekil 3.9'deki gibidir.



Şekil 3.9. DInSAR veri işlem akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yersel Kontrol

Çalışmanın amacına yönelik seçilen ilk bölge olan Büyükalan Mevki’nde, 14 Mart 2017’de gerçekleşen heyelanı tetikleyen önemli etkenlerden biri üç gün boyunca yağan yağışın, yıllık ortalama yağış miktarının yaklaşık %12’sine denk olmasıdır (Ada ve San 2017) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. 14 Mart 2017 tarihinde Büyükalan Mevki’ndeki heyelanın yarattığı tahribat

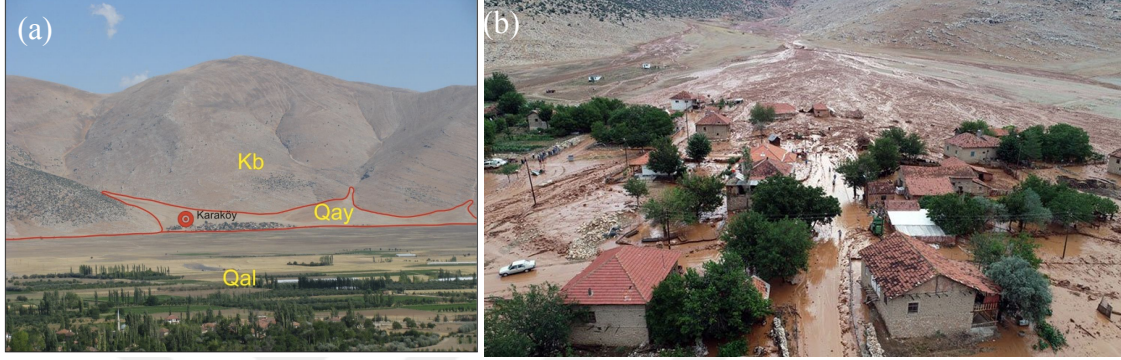
Antalya-Kumluca karayolunun 20’nci kilometresi Yazır Mahallesi Yenbey Mevki’nde yol genişletme çalışmalarının yürütüldüğü ikinci çalışma bölgesi, 25 Şubat 2018’de meydana gelen heyelan sebebiyle yolun 25-30 metrelik kısmı çökerek yamaç aşağıya sürüklenmiştir (Habertürk 2018) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. 25 Şubat 2018 tarihinde Yenbey Mevki’ndeki heyelanın yarattığı tahrip

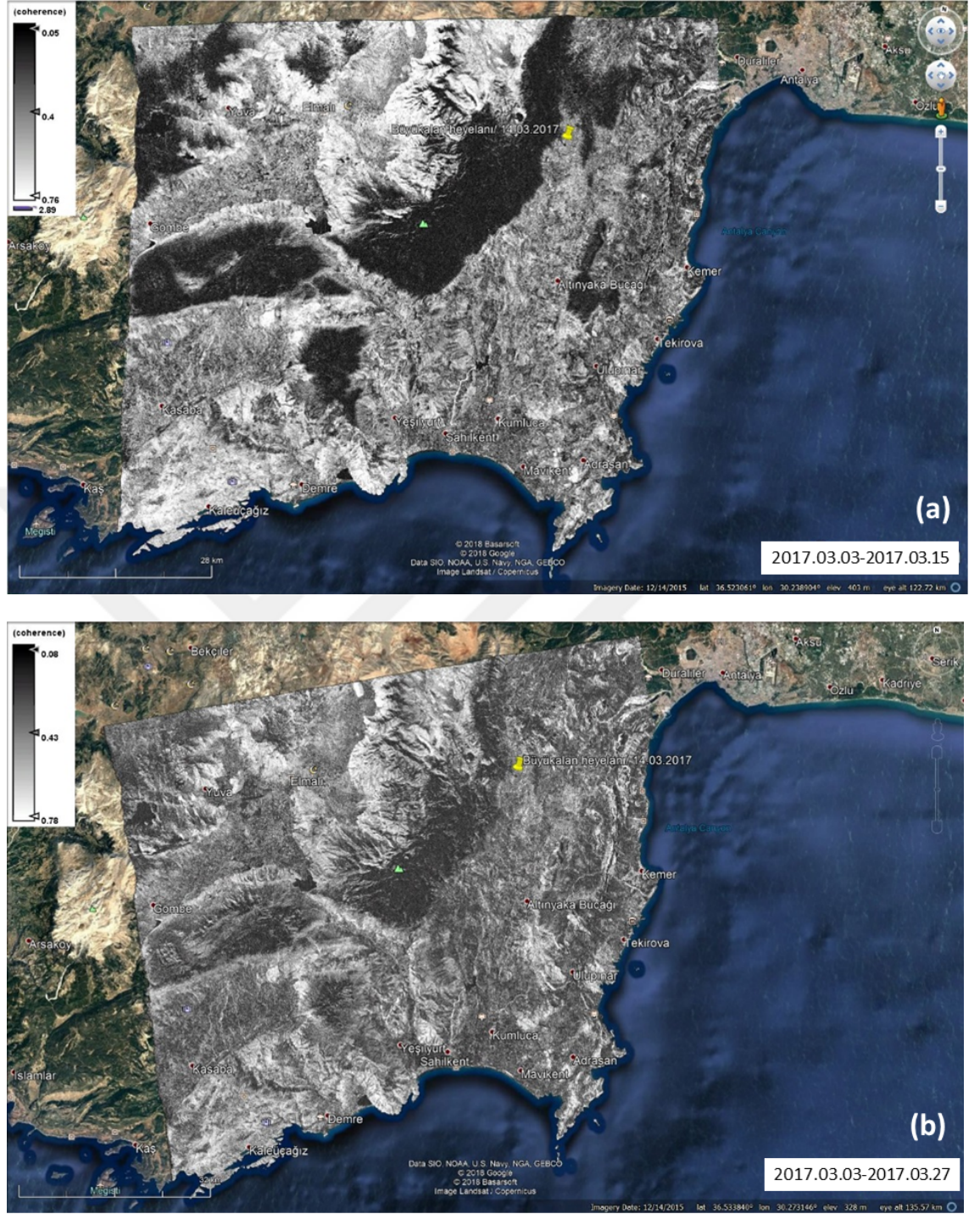
Karayolları 13.Bölge Müdürlüğü 73+900.00–74+150.00 arası heyelanı geoteknik proje raporunda Yenbey Mevki heyelanının; söz konusu tarihlerde meydana gelen şiddetli yağış sonrası ofiyolit gibi geçirimsiz birimlerde artan hidrostatik basınç sonrası oluşan dairesel tipte kayma olduğu bilgisi edinilmiştir.

Üçüncü çalışma alanı olan Antalya'nın Elmalı ilçesi Karaköy Mahallesi'nde, 7 Ağustos 2018 tarihinde meydana gelen bir saatlik yağış sonucu 450 dönüm sera ve tarım arazisi sel sularının sürüklediği malzemelerden zarar görmüştür (Hürriyet 2018) (Şekil 4.3).

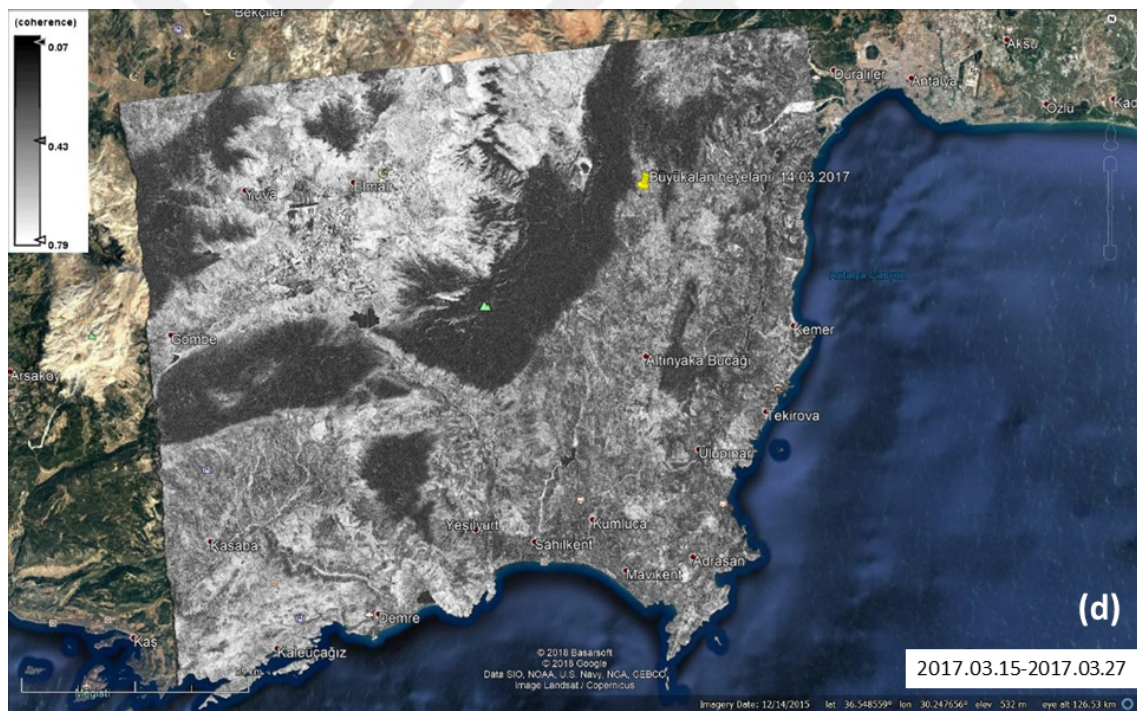
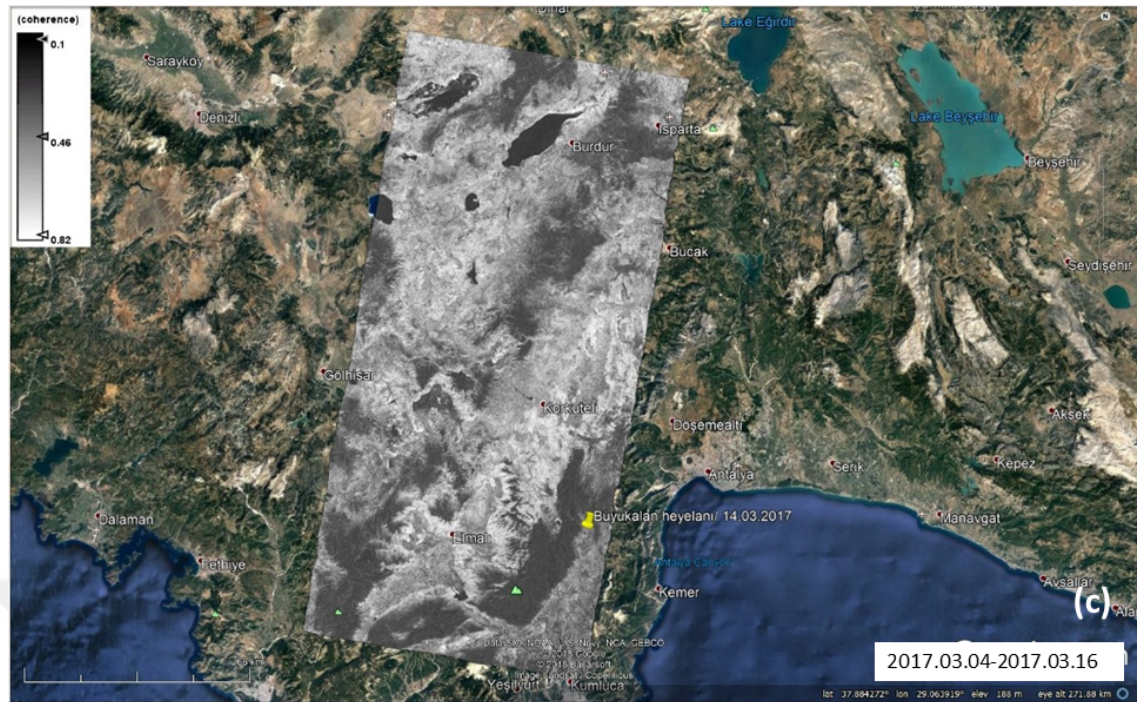


Şekil 4.3. a) Karaköy Köyü'nün doğusundaki Beydağı Formasyonun (Kb) genel görünüşü (Çekim yönü Güneydoğu); **b)** 7 Ağustos 2018 Karaköy Heyelanı

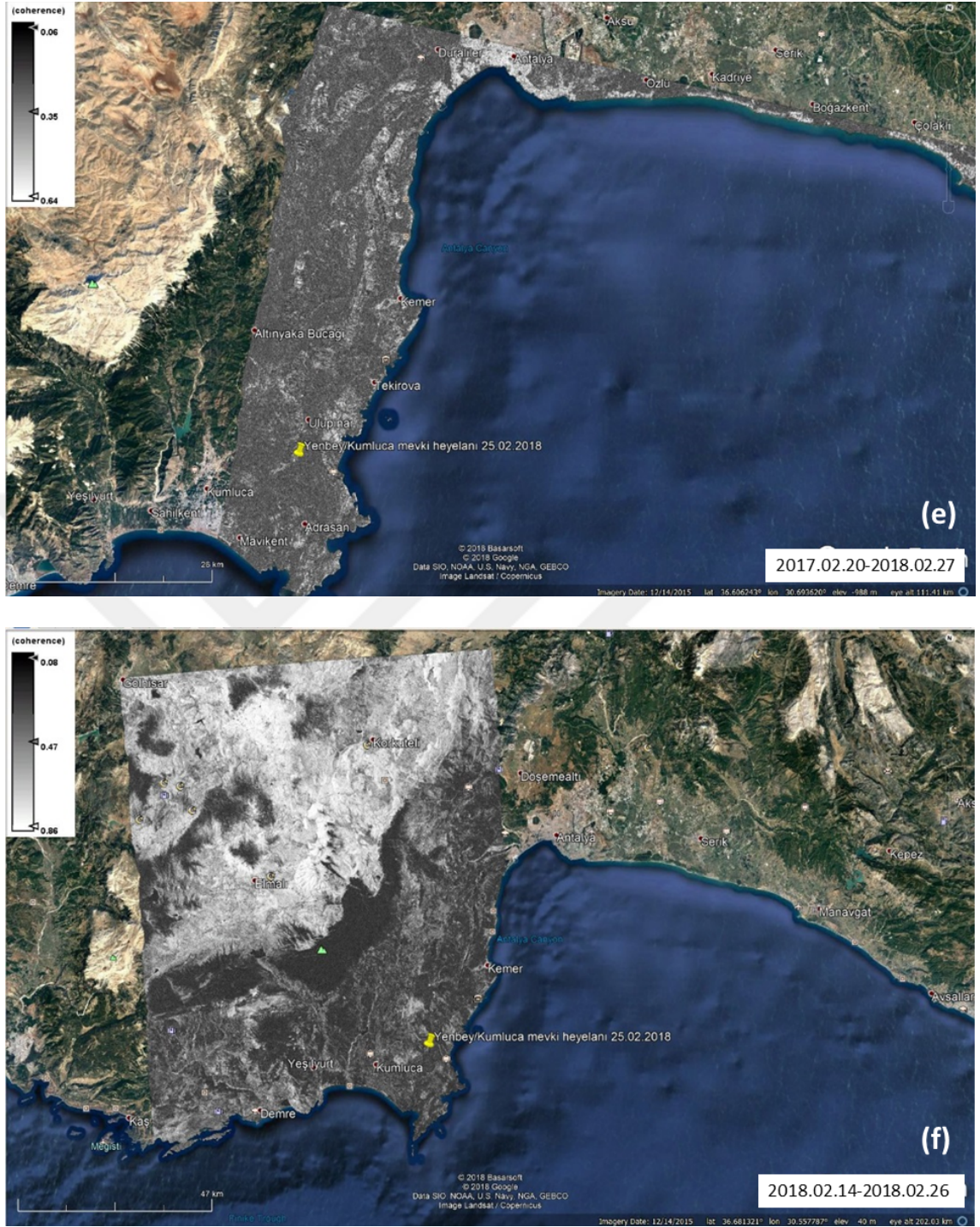
DInSAR çalışmaları kapsamında; Sentinel-1 uydusunun IW sensörüne ait, artan ve azalan modda, 3 farklı alan için toplamda 8 adet interferogram oluşturulmuştur. Bu interferogramlara ait uyumluluk (coherence) haritaları Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki gibidir.



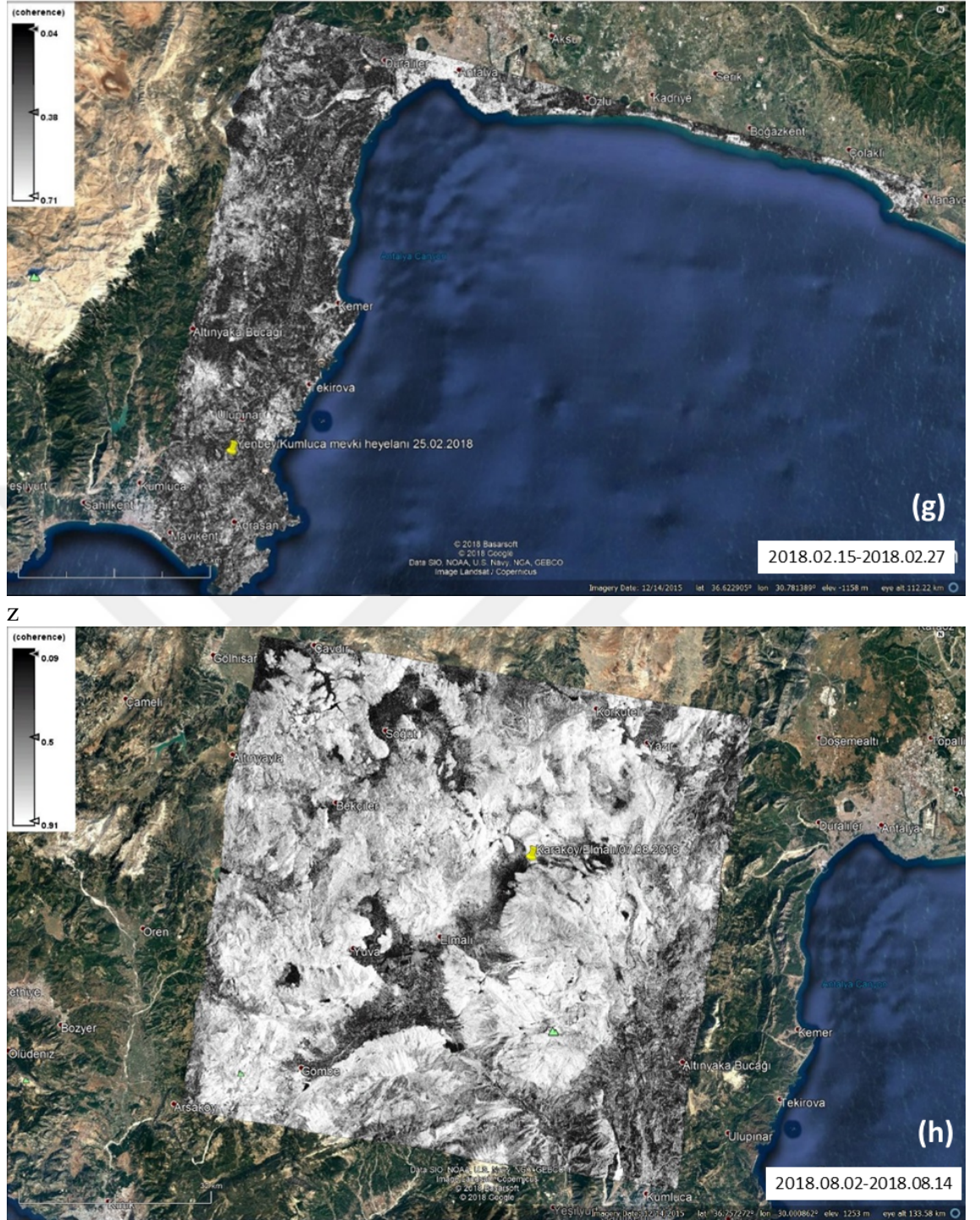
Şekil 4.4. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri



Şekil 4.5. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri

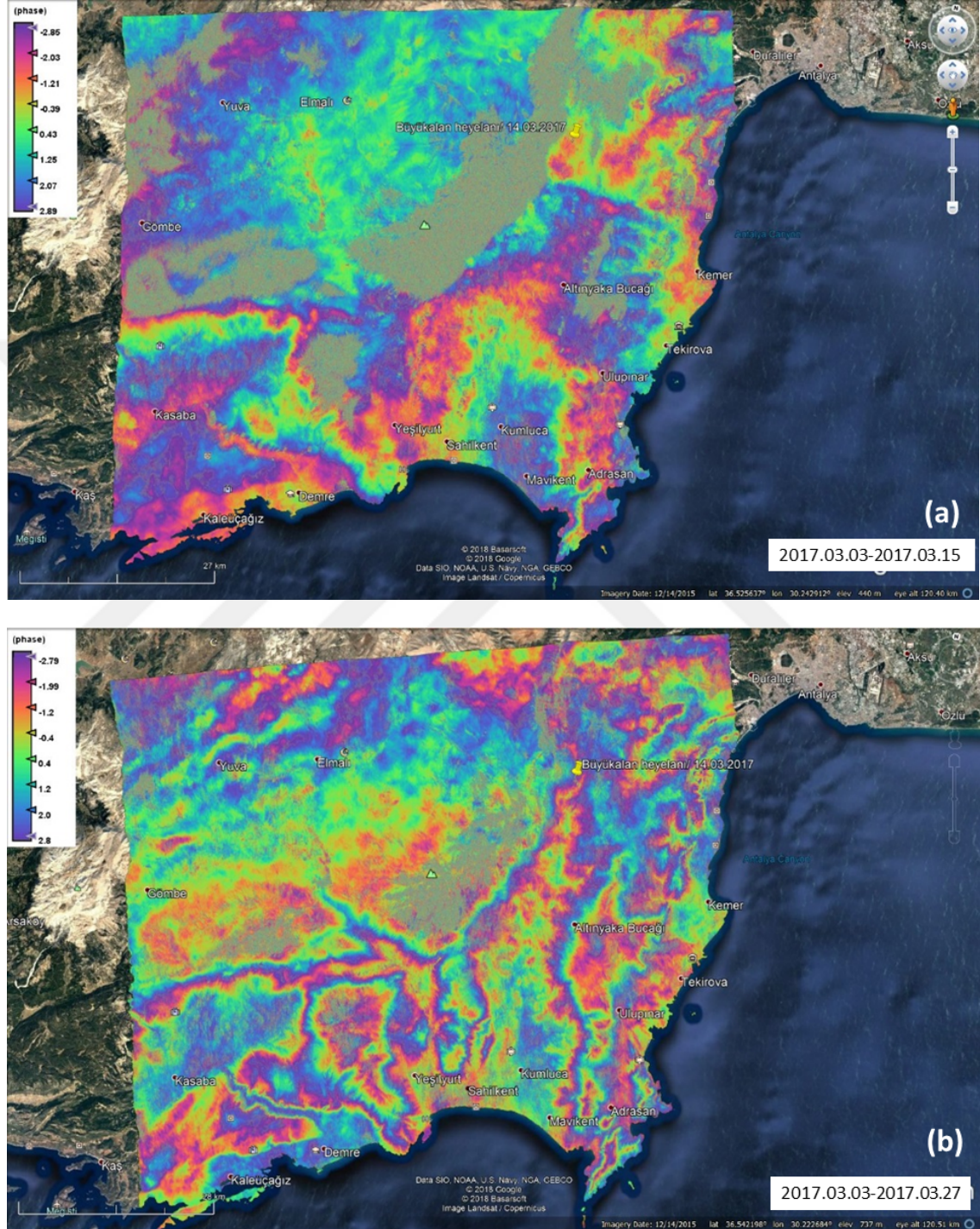


Şekil 4.6. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri

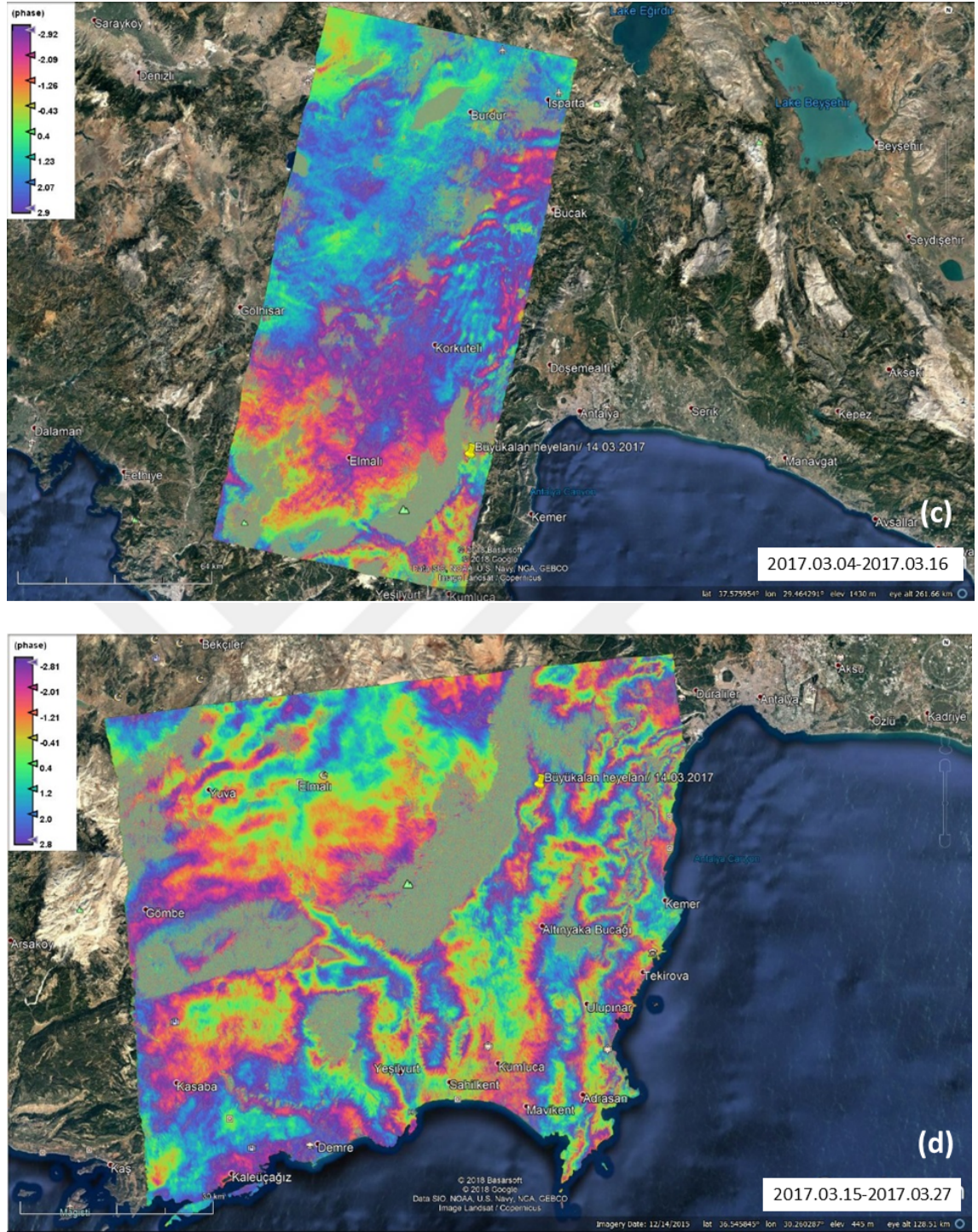


Şekil 4.7. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu verilerinden üretilen uyumluluk görüntüleri

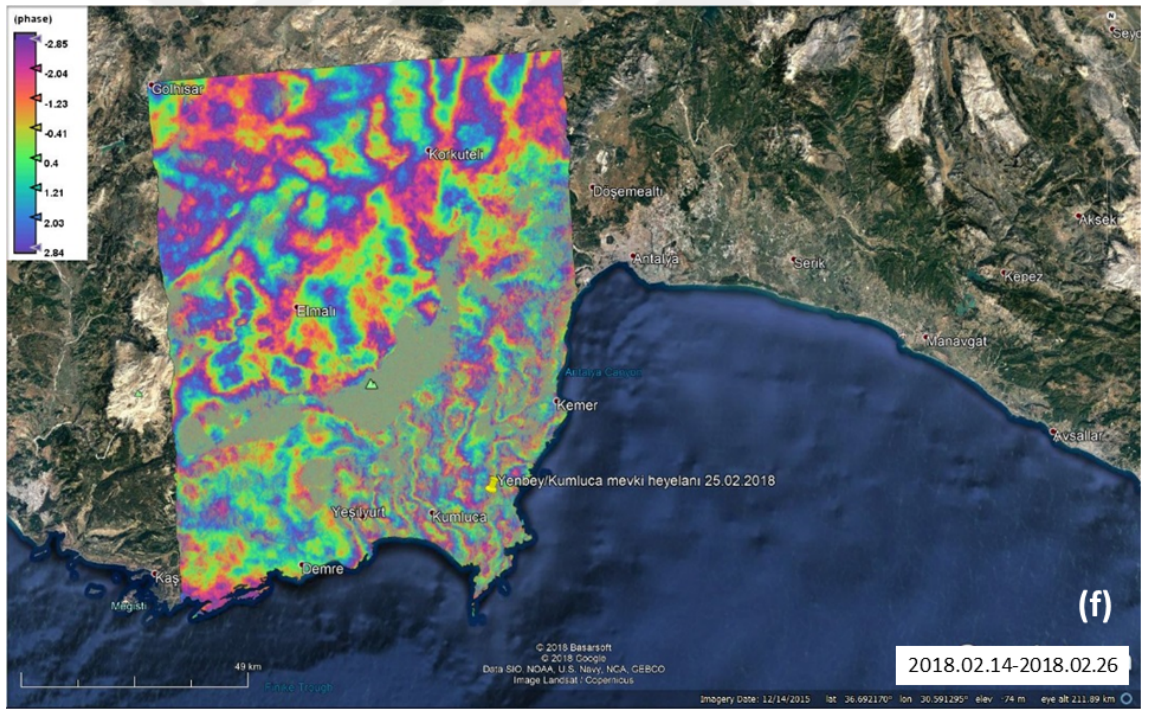
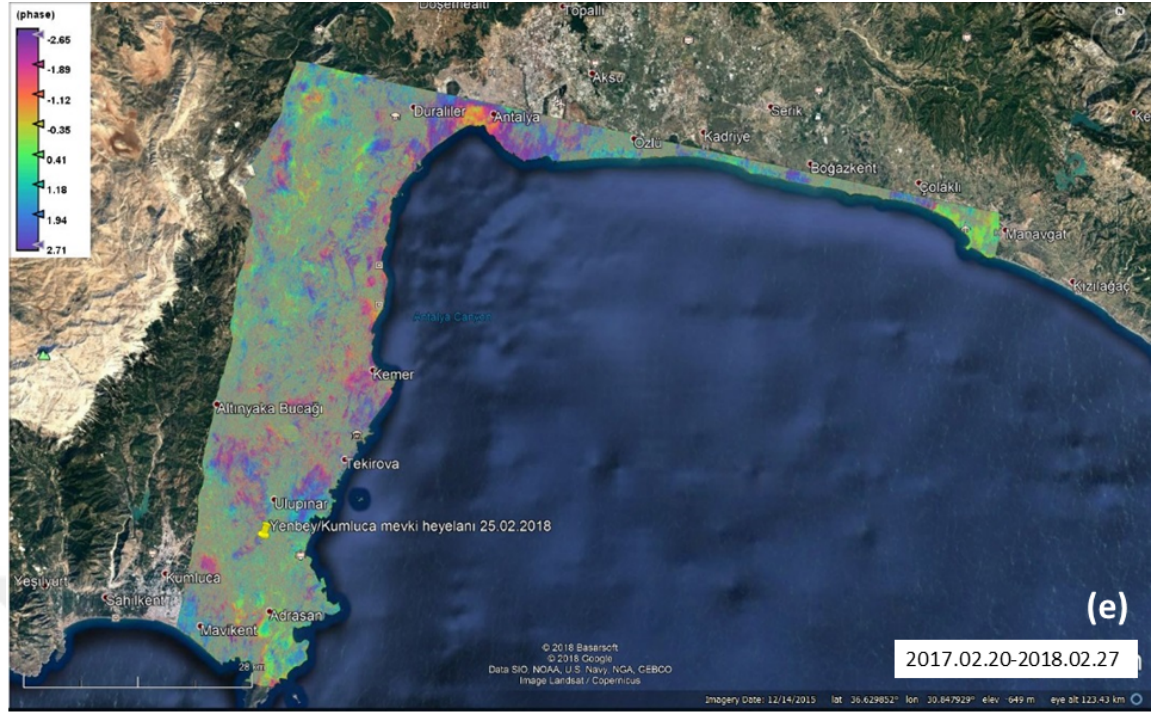
Proses adımları takip edilerek interferogramlar; faz farkları hakkında gerekli bilgiyi içeren master ve slave görüntülere ait dalga boyu, genlik değeri ve faz değerlerinin kompleks çarpımı şeklinde hesaplanır. Çalışma sahasının farklı tarihlerdeki interferogramları Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'deki gibidir.



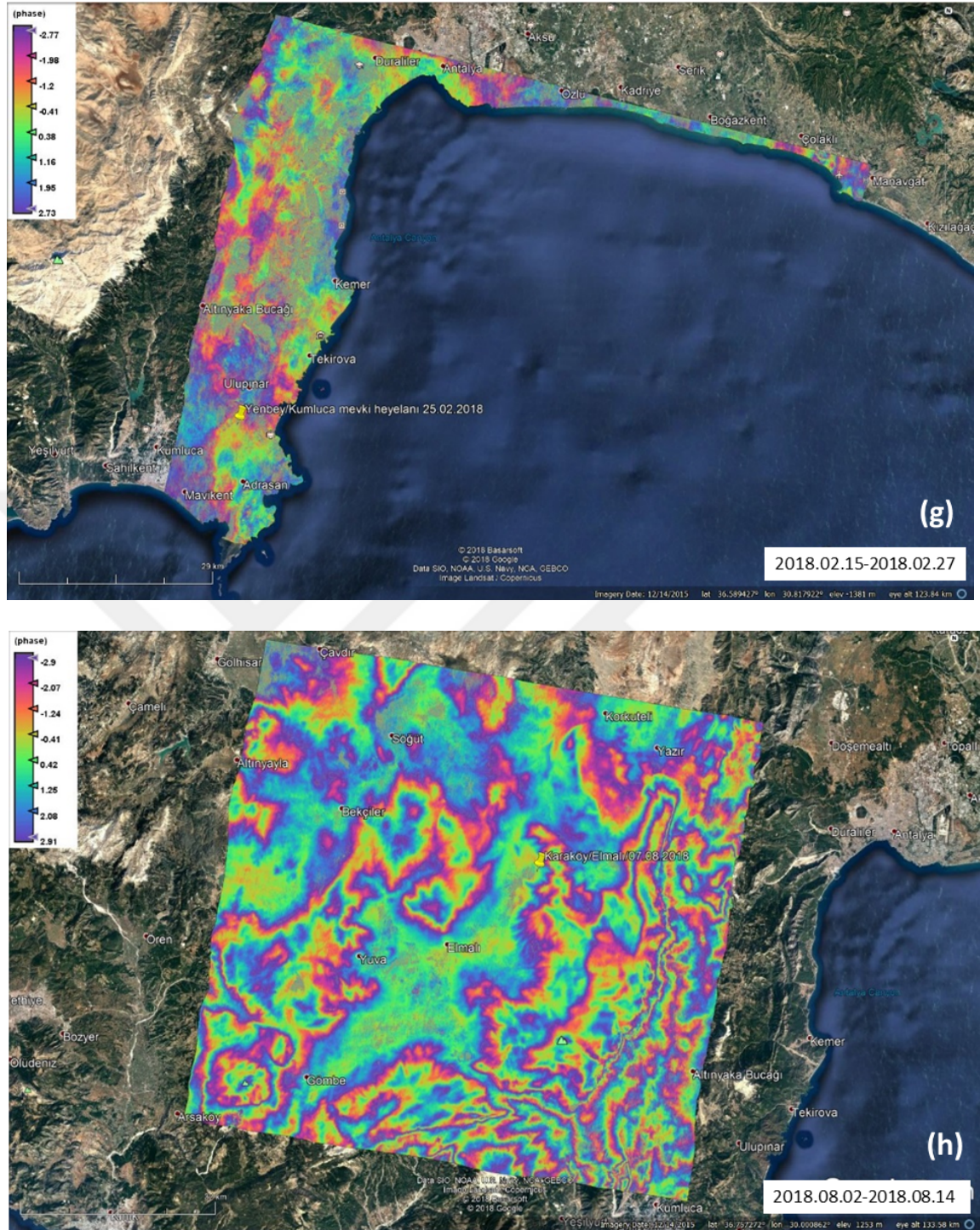
Şekil 4.8. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) verilerden oluşturulan interferogramlar



Şekil 4.9. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) verilerden oluşturulan interferogramlar

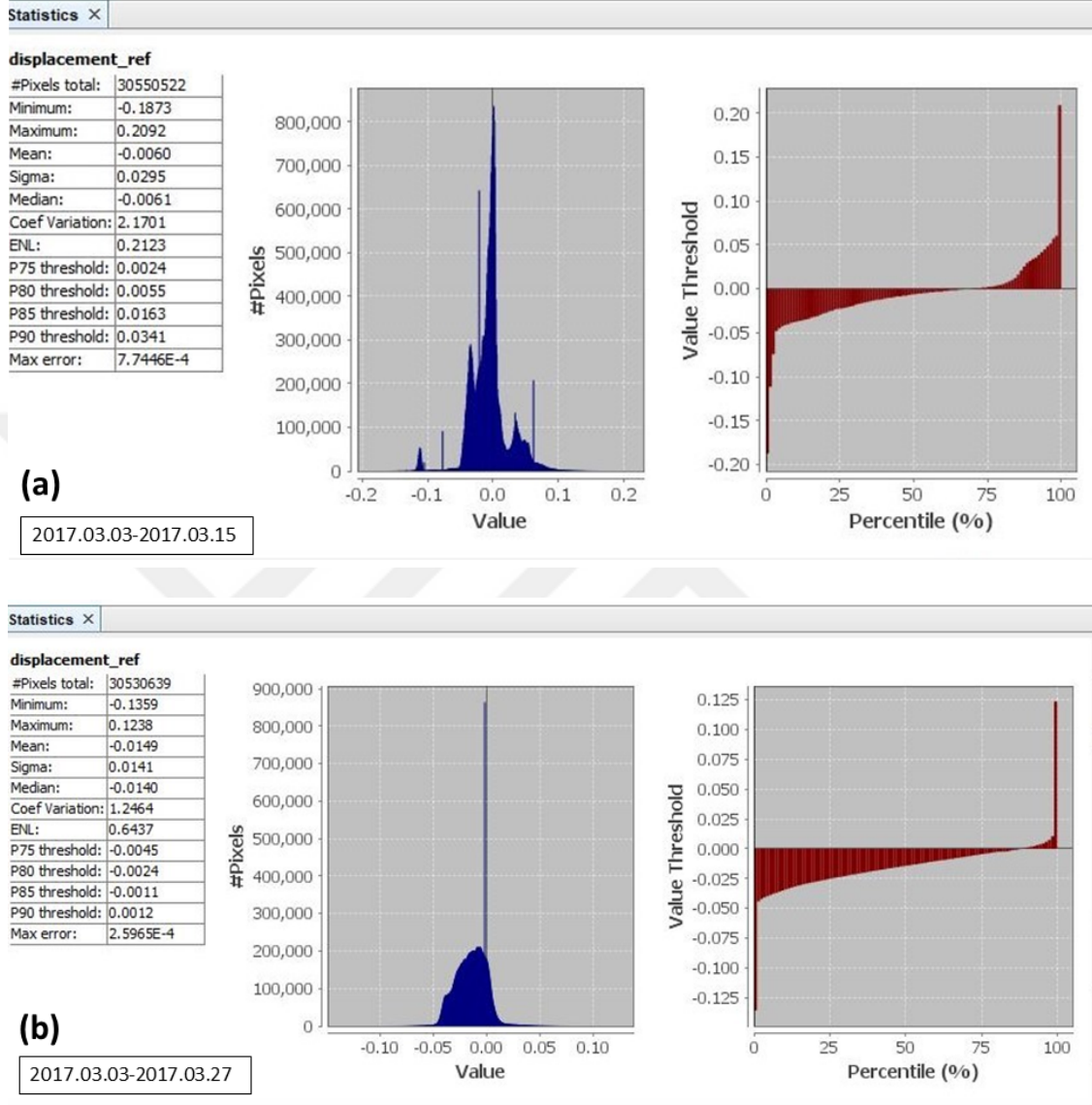


Şekil 4.10. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) verilerden oluşturulan interferogramlar

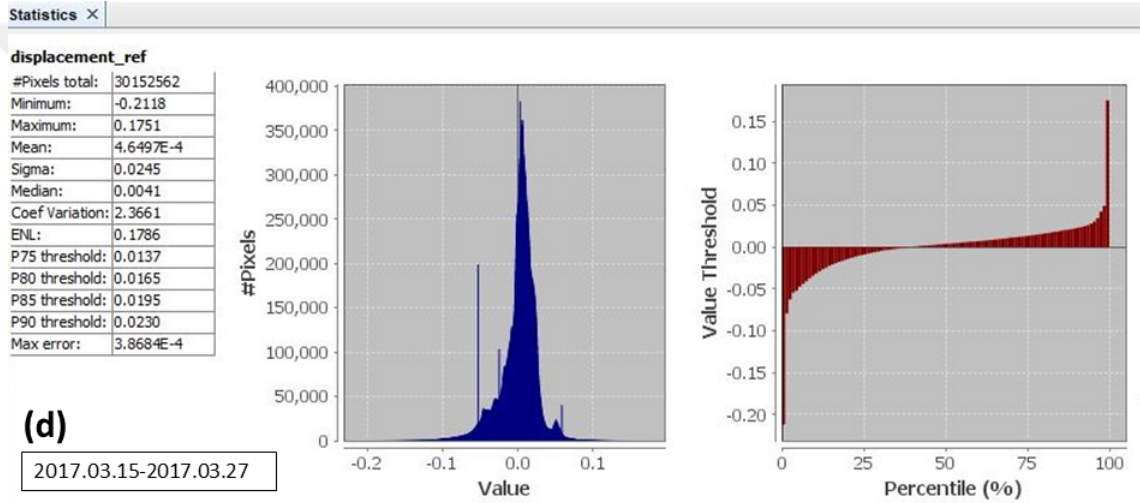
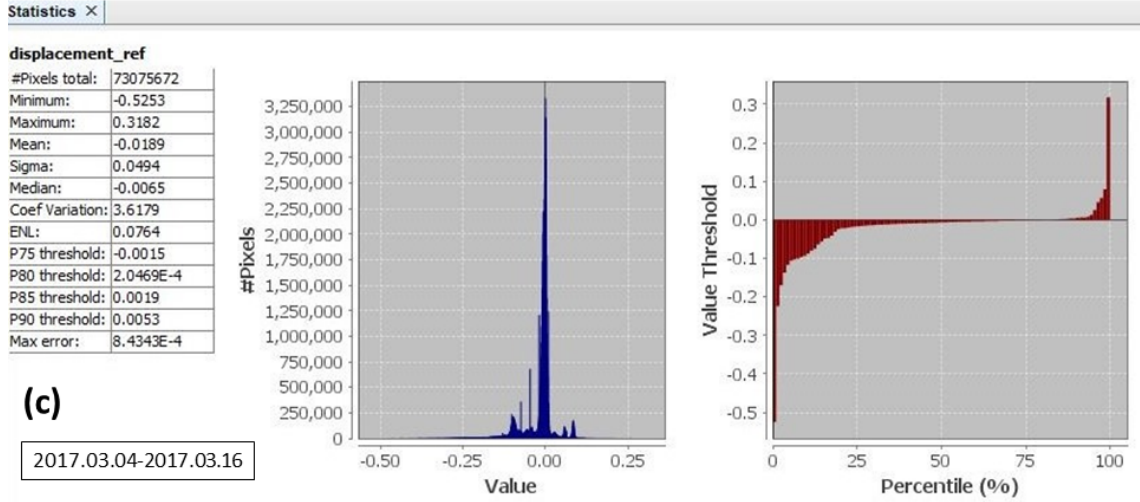


Şekil 4.11. "15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) verilerden oluşturulan interferogramlar

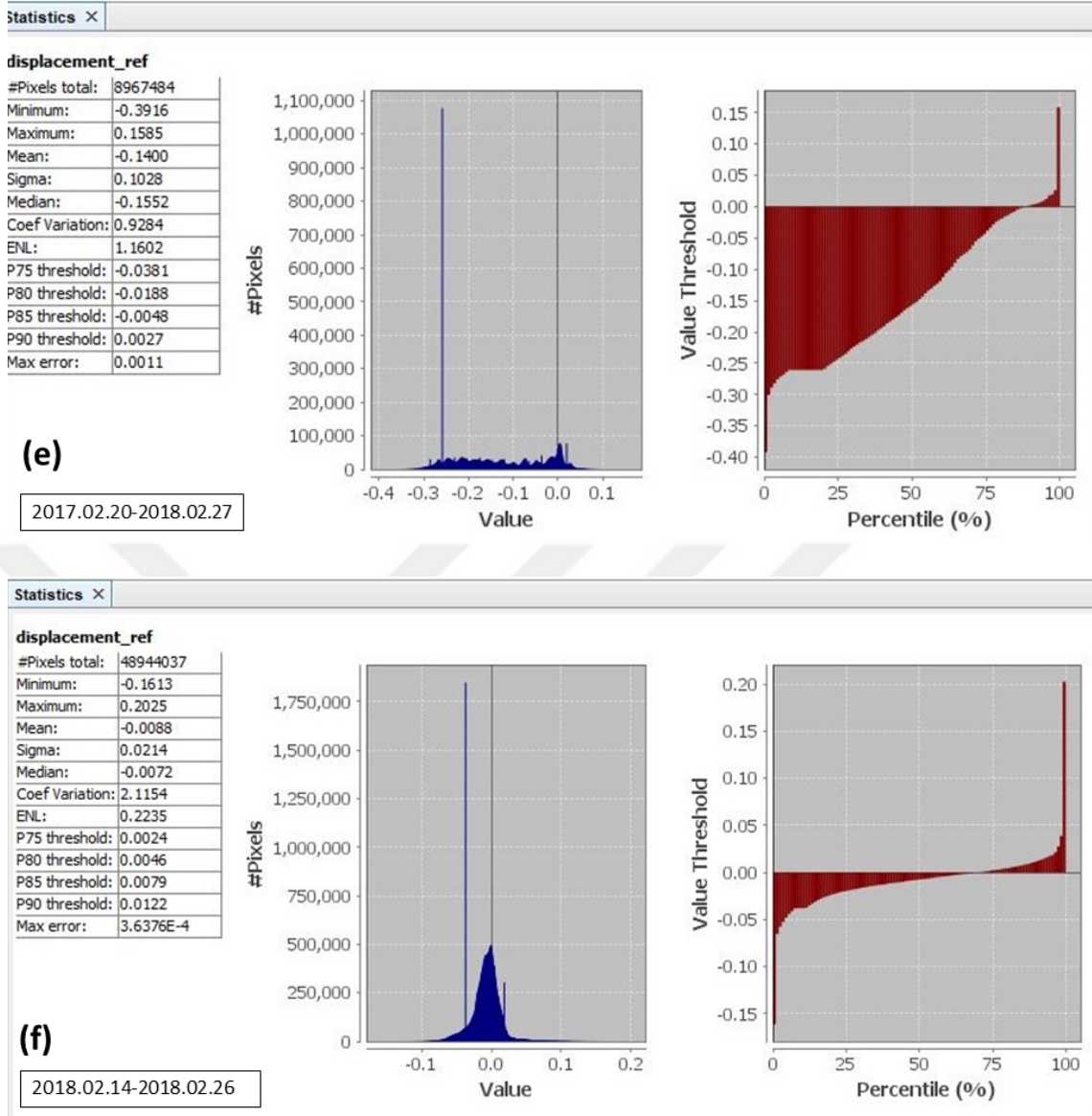
Radar interferometre görüntü işleme aşamalarından faz çözümlemesi yapılmış çalışma sahasına ait histogram bilgileri Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'deki gibidir.



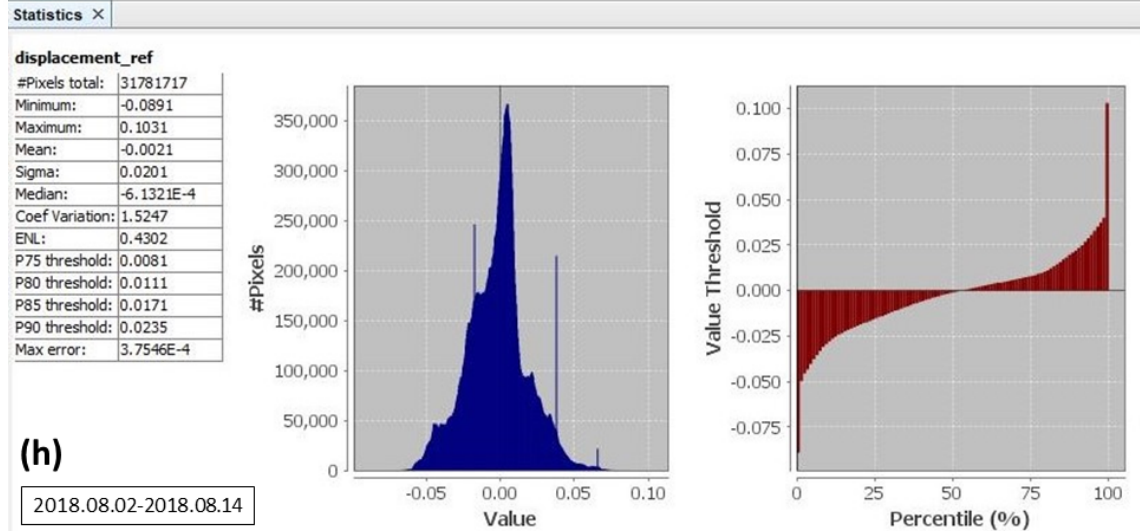
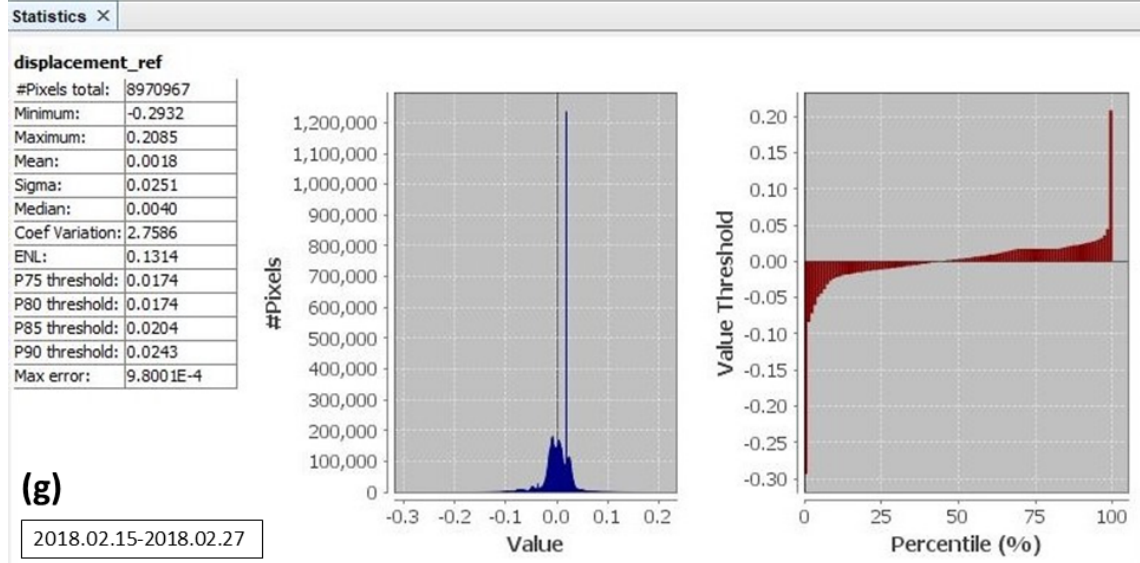
Şekil 4.12. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları



Şekil 4.13. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları

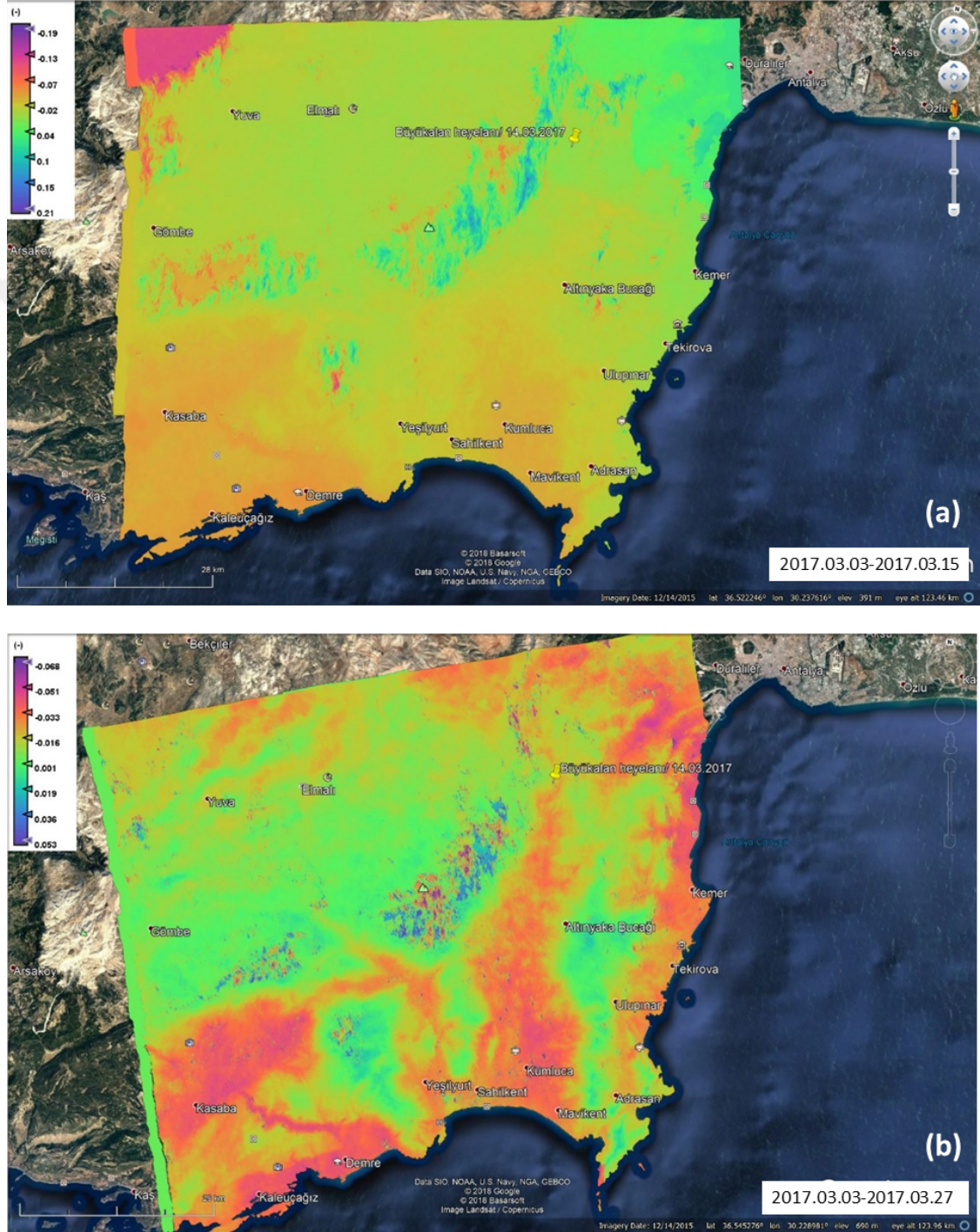


Şekil 4.14. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu görüntülerinin faz çözümüyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları

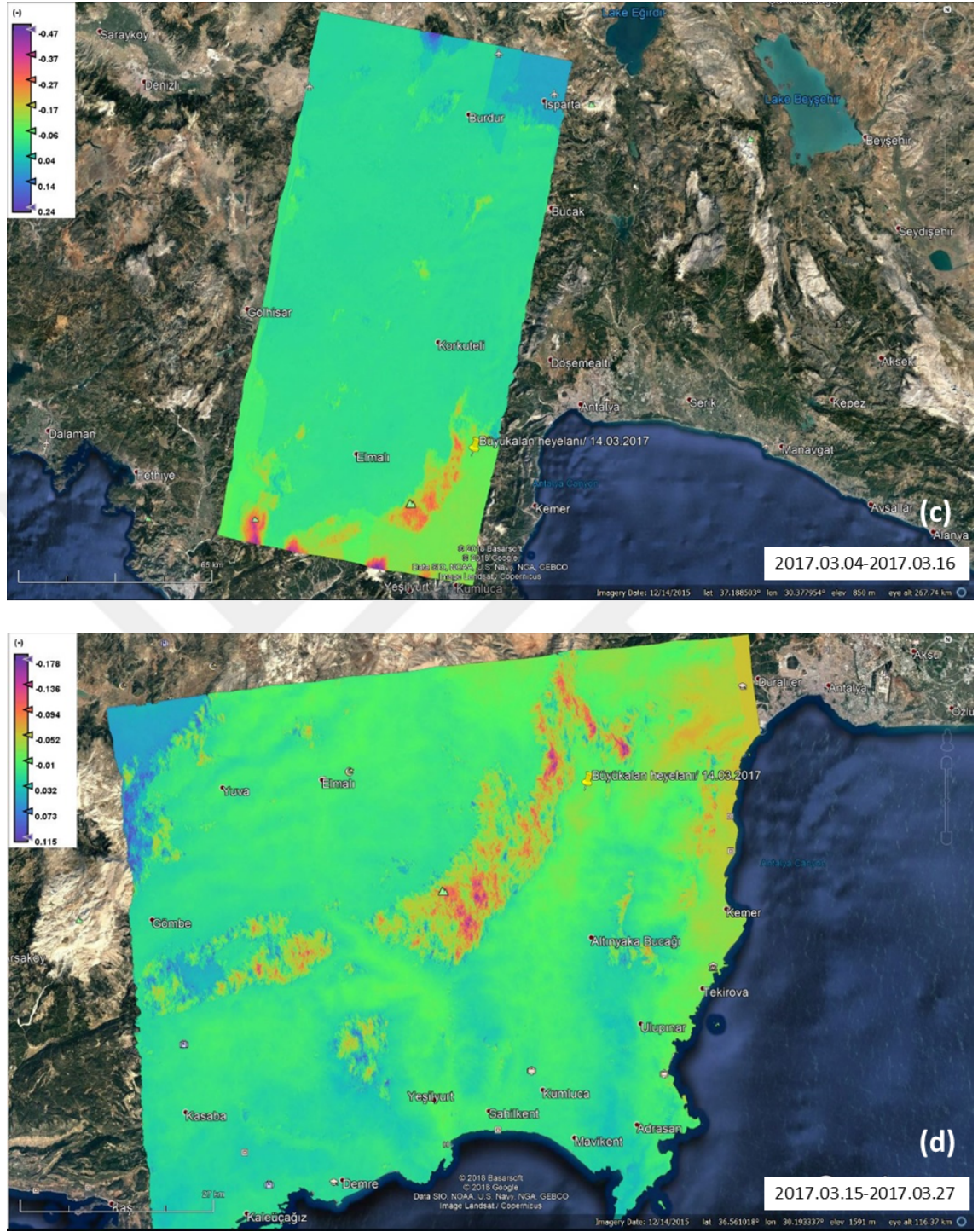


Şekil 4.15. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları

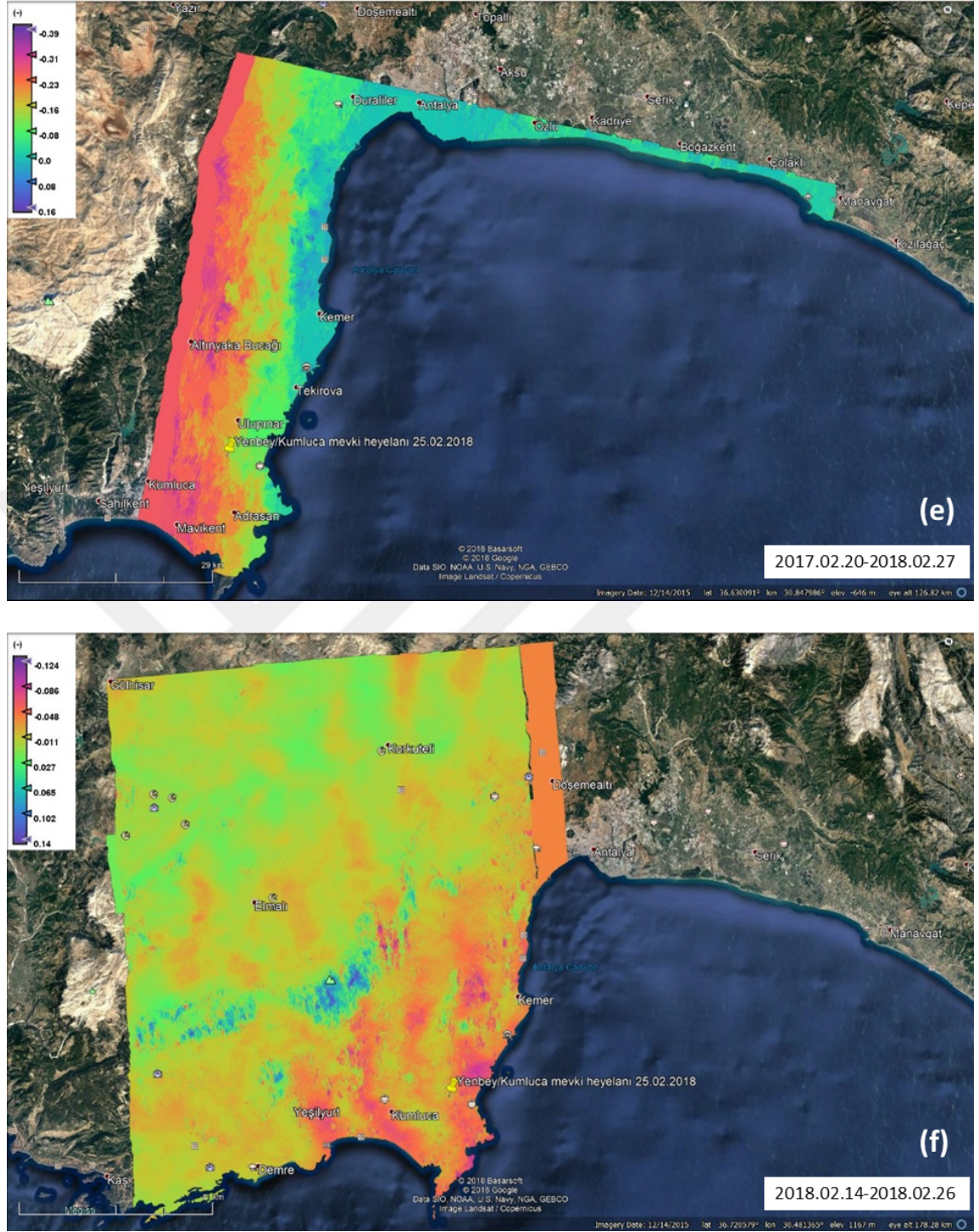
Radar anteni ve hedef arasındaki dalga devri sayısı ölçülememektedir. Ancak yalnızca bir dalga periyodunun bir kısmı olan çözümlenmemiş faz belirlenebilmektedir. Farklı algoritmalar ile tam çözümlenmiş fazı oluşturabilmek için farklı bir proses gerçekleştirilir. Bu algoritmalarından en etkili Minimum Zarar Akışı (Minimum Cost Flow – MCF) yöntemidir. Çalışma alanının faz çözümü yapılmış bantları Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’ daki gibidir.



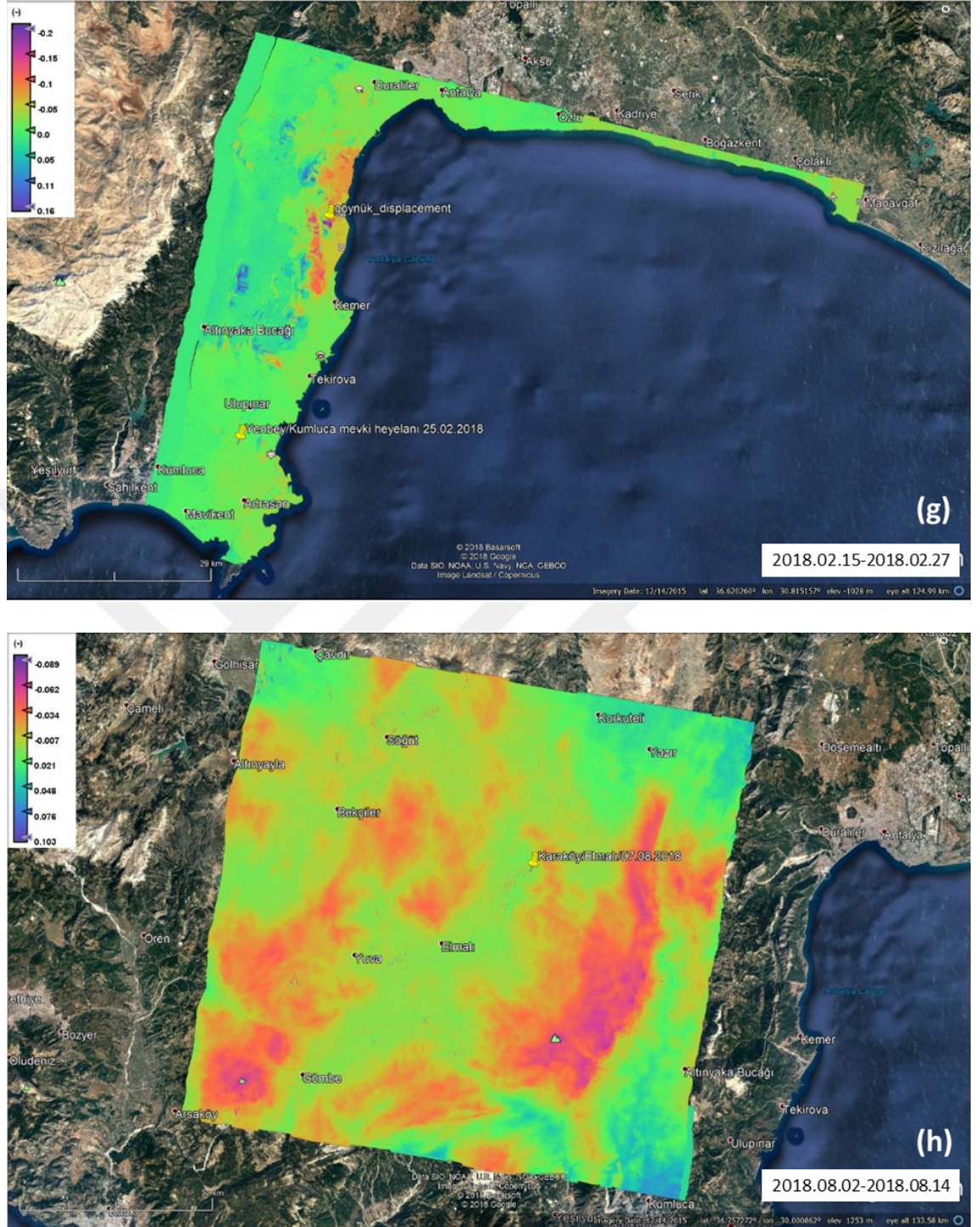
Şekil 4.16. 3.03.2017-15.03.2017 tarihli (a) ve 3.03.2017-27.03.2017 tarihli (b) uydu görüntülerinin faz çözümüyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları



Şekil 4.17. 04.03.2017-16.03.2017 tarihi (c) ve 15.03.2017-27.03.2017 tarihli (d) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları



Şekil 4.18. 20.02.2017-27.02.2018 tarihi (e) ve 14.02.2018-26.02.2018 tarihli (f) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları



Şekil 4.19. 15.02.2018-27.02.2018 tarihi (g) ve 02.08.2018-14.08.2018 tarihli (h) uydu görüntülerinin faz çözümlemesiyle oluşan deformasyon görüntüsüne ait histogramları

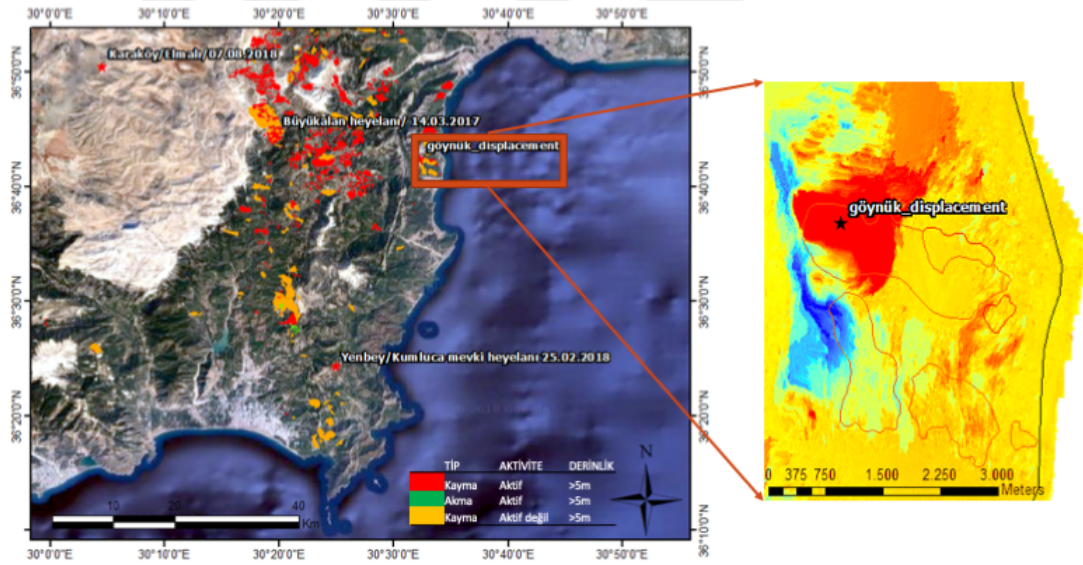
Elde edilen sonuçlara göre;

Büyükanan Mevki'nde 03.03.2017-15.03.2017 tarihleri arasında en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.19 ile 0.21 metre arasında; 03.03.2017-27.03.2017 tarihleri arasında -0.068 ile 0.053 metre; 04.04.2017-16.03.2017 tarihleri arasında -0.47 ile 0.24 metre arasında; 15.03.2017-27.03.2017 tarihleri arasında -0.178-0.115 metre arasında değişkenlik göstermektedir.

Yenbey Mevki'nde 20.02.2017-27.02.2017 tarihleri arasında en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.39 ile 0.16 metre arasında; 14.02.2018-26.02.2018 tarihleri arasında -0.124 ile 0.14 metre arasında; 15.02.2018-27.02.2018 tarihleri arasında -0.2 ile 0.16 metre arasında değişkenlik göstermektedir.

Karaköy Mevki'nde 02.08.2018-14.08.2018 tarihleri arasında en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.089 ile 0.103 metre arasında değişkenlik göstermektedir.

Yenbey Mevki'ndeki deformasyonun incelenmesi için yapılan işlemlerde, 15.02.2018-27.02.2018 tarihleri arasında Göynük Mevki'nde ciddi yer değiştirme miktarları elde edilmiştir (en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.2 ile 0.16 metre) (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Göynük Mevki deformasyon haritası ve MTA heyelan envanteri haritasının karşılaştırılması ile elde edilen harita

C- bant' da çalışan Sentinel 1 uydusuna ait faz verilerinin bazı bölümlerinde nispeten belirgin girişim çizgilerine ait örüntüler mevcuttur (özellikle ormanlık olmayan alanlarda) ancak iki tarih arasındaki uyumsuzluk nedeniyle farklı alanlarda girişim çizgileri kaybolmaktadır. Bunun aksine, L-bandının dalga boyu dört kat daha uzun olduğu için L bandı faz verileri görüntü boyunca belirgin, daha iyi ilişkili girişim çizgileri göstermektedir. Bu yüzden çalışmada L-bantta çalışan ALOS vb. gibi uydu görüntülerinin kullanılması deformasyonların net görülmesini sağlayabilir.

Çalışılan 3 farklı alan içerisinde; deformasyon türü ve meydana gelen yer değiştirme miktarının, uydu görüntüsünün ölçeğine uygunluğu açısından en tutarlı sonuç verdiği alanın Kumluca/Yenbey mevki olduğu gözlenmiştir. Buradaki değişimin nedeni ani ve hızlı bir şekilde gerçekleşmiş olması ve gerçekleştiği alanın SAR geometrisine uygun olmasıdır.

Radar uydularının veri elde etme sıklığının artması (zaman serileri gibi yöntemler kullanılırken özellikle) hareketin yönü ve deformasyonun tespit edilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Böylece insan gözünün ayırt edemediği kütle hareketlerinin zamana bağlı küçük değişimleri tespit edilebilir hale gelecektir.

Radar verileri her ne kadar teorik olarak atmosferik koşullardan etkilenmiyorsa da yine de atmosferik şartlar (su buharı, nemlilik, yağış, toprak nemliliği) görüntü ve işlem kalitesini etkilemektedir. Bu çalışmada bu faktörlerin etkilemediği varsayılmış ve analizler buna göre gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte radar interferometrisi ve yersel DGPS ölçümleri ile elde edilen sonuçların işlenmesi, PSInSAR (Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar) yönteminin de kullanılmasıyla daha ayrıntılı sonuçlar elde edilebilir.

Elde edilen deformasyon miktarları sensörlerin mesafesi ile doğrudan ilgilidir. Bu ölçümler sensörler ve arazi arasındaki mesafe farklarını verir. Bu bilgi göreceli ölçümler olsa da, ölçümler hakkında uzamsal dağılım ve yüzey deformasyonunun nispi miktarı hakkında bize bir fikir verir (Günce ve San 2018).

5. SONUÇLAR

Çalışmanın amacı farklı yeryüzü özelliklerinde InSAR Tekniklerini kullanarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışma bölgesi olarak heyelan oluşumlarının gözlemlendiği üç farklı bölge seçilmiştir. Uygulama sahasındaki yer değiştirme miktarları sayısal değerler ile ortaya konulmuştur. Seçilen bölgelerin haricinde de farklı karakteristiğe sahip (kentsel, kırsal, bitki örtüsü olmayan) alanlar da taranmıştır.

DInSAR çalışmaları; Sentinel-1 uydusunun IW sensörüne ait, artan ve azalan modda, 3 farklı alan için toplam 16 SLC formatındaki görüntülerle, SNAP ve SNAPHU yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplam 8 adet interferogram oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en fazla yer değiştirme miktarı Göynük Mevki'nde elde edilmiştir (en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -0.2 ile 0.16 metre).

Üretilen interferogramların Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nden elde edilen heyelan envanter haritası ile değerlendirmesi yapıldığında kimi eski ve aktif heyelan olarak belirlenen alanlarda deformasyonun devam ettiği belirlenmiştir (Göynük yerleşim yerinin kuzeyi).

Bu amaç doğrultusunda uygulama sahalarında deformasyonlar Sentinel-1 verileriyle başarılı bir şekilde tespit edilmiştir ancak DInSAR tekniğinin kısıtları göz önünde bulundurulduğunda (atmosferik etkilerden kaynaklı, yörüngesel hatalar, gürültü etkisi) alanda verimli sonuçlar elde edilememiştir. Örneğin azalan yörüngede seyreden uydu görüntülerinin işlendiği görüntü çiftlerinden elde edilen uyumluluk değerinin, artan yörüngeden elde edilen uyumluluk değerine göre hatalı faz çözümlemesi sonuçları verdiği görülmüştür.

İnterferometrenin uygulanabilmesi için gerekli koşulların anlaşılması (görüntü çiftleri arasındaki ilişki, doğru yörüngenin seçilmesi gibi), yetkinliğinin kazanılması açısından önemli olan tez çalışmasında, yöntemin kısıtlarının çalışmanın sonuçlarına olan etkisi önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Benzer sıkıntıların farklı farklı algoritmalar kullanılarak aşıldığı görülmüştür. Ancak radar geometrisinin (sensör açısı, topoğrafik eğim, bakı vb. faktörlerin oluşturduğu geometri) interferogram elde edilecek alanlara oldukça büyük etkisi olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda kullanılan SAR verilerinin dalga boyları ile doğrudan ilişkilidir.

Çalışmanın en önemli özelliği ücretsiz Sentinel-1 verilerinin ve ESA tarafından açık kaynak kodlu SNAP yazılımı ile işlenebilmesi, radar verilerinin yer bilimlerinde ulaşılabilir ve kullanılabilir olduğu göstermiştir.

İleride, edinilen bu tecrübeler ışığında kütle hareketlerinin ileri InSAR uygulamaları ile izlenmesi ve hassas şekilde belirlenmesi hedeflenmektedir. Farklı bantlara ait uydu görüntüleri ile ileri InSAR tekniklerinin tamamı (DInSAR, PSInSAR, SBAS, Quasi-PS) kullanılarak, sonuçların birbiriyle tutarlılığı karşılaştırılacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ada, M. ve San, B. T. (2017). Comparison of machine-learning techniques for landslide susceptibility mapping using two-level random sampling (2LRS) in Alakir catchment area, Antalya, Turkey. *Natural Hazards*, (14). doi:10.1007/s11069-017-3043-8
- Amelung, F., Galloway, D. L., Bell, J. W., Zebker, H. A. ve Lacznia, R. J. (1999). Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation. *Geology*, 27(6), 483.
- Babayiğit, S. (2011). *Muradiye (Van) Ovasındaki Yüzey Deformasyonlarının Sar İnterferometrisi Yöntemiyle Araştırılması*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
- Burgmann, R., Rosen, P. A. ve Fielding, E. J. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry To Measure Earth's Surface Topography and It's Deformation. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28, 169–209.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Gülmez, F., Elmacı, H., Emre, Ö. (2013). Türkiye heyelan veri tabanı. *Tmmob Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013*.
- Canik, B. (1997). Mühendislik Jeolojisi (Ders Notları), 111.
- Coates, R. J., Clark, T. A., Counselman, C. C., Shapiro, I. I., Hinteregger, H. F., Rogers, A. E. ve Whitney, A. R. (1975). Very Long Baseline Interferometry for centimeter accuracy geodetic measurements. *Tectonophysics*, 29(1–4), 9–18. doi:10.1016/0040-1951(75)90128-6
- Colesanti, C. ve Wasowski, J. (2006). Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*, 88(3–4), 173–199. doi:10.1016/j.enggeo.2006.09.013
- Çomut, F. C. (2016). *Farklı Yeryüzü Özelliklerinde İleri Insar Teknikleri Kullanılarak Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi*. Selçuk Üniversitesi.
- Counselman, C. C., Hinteregger, H. F. ve Shapiro, I. I. (1972). Astronomical Applications of Differential Interferometry. *Science*, 178(4061), 607–608. doi:10.1126/science.178.4061.607
- Ersoy, Ş. (1990). Batı Toros(Likya) Naplarının Yapısal Ögelerinin ve Evriminin Analizi. *Jeoloji Mühendisliği*, 37, 5–16.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. ve Politecnico, I. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry, 39(1), 1528–1530.
- Ferretti, Alessandro, Prati, C. ve Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5 I), 2202–2212. doi:10.1109/36.868878

- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. ve Zebker, H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research*, 94(B7), 9183. doi:10.1029/JB094iB07p09183
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. (2008). *Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. Ankara.
- Goldstein, R. M., Engelhardt, H., Kamb, B. ve Frolich, R. M. (1993). Satellite Radar Interferometry for Monitoring Ice Sheet Motion: Application to an Antarctic Ice Stream. *Science*, 262(5139), 1525–1530. doi:10.1126/science.262.5139.1525
- Graham, L. C. (1974). Synthetic interferometer radar for topographic mapping. *Proceedings of the IEEE*, 62(6), 763–768. doi:10.1109/PROC.1974.9516
- Günce, H. B. ve San, B. T. (2018). Measuring Earthquake-Induced Deformation in the South of Halabjah (Sarpol-e-Zahab) Using Sentinel-1 Data on November 12, 2017. *Proceedings*, 2(7), 346. doi:10.3390/ecrs-2-05159
- Habertürk. (2018). Gündem Haberleri. 28 Şubat 2018 tarihinde <https://www.haberturk.com/antalya-da-heyelan-nedeniyle-yol-coktu-1857462#> adresinden erişildi.
- Herrera, G., Fernández-Merodo, J. A., Mulas, J., Pastor, M., Luzi, G. ve Monserrat, O. (2009). A landslide forecasting model using ground based SAR data: The Portalet case study. *Engineering Geology*, 105(3–4), 220–230. doi:10.1016/j.enggeo.2009.02.009
- Hinteregger, H. F., Shapiro, I. I., Robertson, D. S., Knight, C. A., Ergas, R. A., Whitney, A. R., ... Burke, B. F. (1972). Precision Geodesy via Radio Interferometry. *Science*, 178(4059), 396–398. doi:10.1126/science.178.4059.396
- Hung, W.-C., Hwang, C., Chen, Y.-A., Chang, C.-P., Yen, J.-Y., Hooper, A. ve Yang, C.-Y. (2011). Surface deformation from persistent scatterers SAR interferometry and fusion with leveling data: A case study over the Choushui River Alluvial Fan, Taiwan. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 957–967. doi:10.1016/J.RSE.2010.11.007
- Jiang, L., Lin, H., Ma, J., Kong, B. ve Wang, Y. (2011). Potential of small-baseline SAR interferometry for monitoring land subsidence related to underground coal fires: Wuda (Northern China) case study. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 257–268. doi:10.1016/j.rse.2010.08.008
- Kampes, B. M. (1999). Delft Object-Oriented Radar Interferometric Software: Users manual and technical documentation. *Delft University of Technology, Delft*.
- Kim, J. W., Lu, Z. ve Degrandpre, K. (2016). Ongoing deformation of sinkholes in wink, texas, observed by time-series sentinel-1A SAR interferometry (preliminary results). *Remote Sensing*, 8(4), 1–11. doi:10.3390/rs8040313
- Lauknes, T. R., Piyush Shanker, A., Dehls, J. F., Zebker, H. A., Henderson, I. H. C. ve

- Larsen, Y. (2010). Detailed rockslide mapping in northern Norway with small baseline and persistent scatterer interferometric SAR time series methods. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2097–2109. doi:10.1016/J.RSE.2010.04.015
- Massonnet, D. ve Rabaute, T. (1993). Radar interferometry: limits and potential. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31(2), 455–464. doi:10.1109/36.214922
- Massonnet, Didier ve Feigl, K. L. (1995a). Discrimination of geophysical phenomena in satellite radar interferograms. *Geophysical Research Letters*, 22(12), 1537–1540. doi:10.1029/95GL00711
- Massonnet, Didier ve Feigl, K. L. (1995b). Satellite radar interferometric map of the coseismic deformation field of the M = 6.1 Eureka Valley, California Earthquake of May 17, 1993. *Geophysical Research Letters*, 22(12), 1541–1544. doi:10.1029/95GL01088
- Massonnet, Didier, Feigl, K., Rossi, M. ve Adragna, F. (1994). Radar interferometric mapping of deformation in the year after the Landers earthquake. *Nature*, 369(6477), 227–230. doi:10.1038/369227a0
- Massonnet, Didier, Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. ve Rabaute, T. (1993a). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364(6433), 138–142. doi:10.1038/364138a0
- Massonnet, Didier, Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. ve Rabaute, T. (1993b). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364(6433), 138–142. doi:10.1038/364138a0
- Massonnet, Didier, Thatcher, W. ve Vadon, H. (1996). Detection of postseismic fault-zone collapse following the Landers earthquake. *Nature*, 382(6592), 612–616. doi:10.1038/382612a0
- Peltzer, Crampé ve King. (1999). Evidence of Nonlinear Elasticity of the Crust from the Mw7.6 Manyi (Tibet) Earthquake. *Science (New York, N.Y.)*, 286(5438), 272–276. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10514367> adresinden erişildi.
- Peltzer, G. ve Rosen, P. (1995). Surface Displacement of the 17 May 1993 Eureka Valley, California, Earthquake Observed by SAR Interferometry. *Science*, 268(5215), 1333–1336. doi:10.1126/science.268.5215.1333
- Peltzer, G., Rosen, P., Rogez, F. ve Hudnut, K. (1996). Postseismic Rebound in Fault Step-Overs Caused by Pore Fluid Flow. *Science*, 273(5279), 1202–1204. doi:10.1126/science.273.5279.1202
- Pettengill, G. H., Counselman, C. C., Rainville, L. P. ve Shapiro, I. I. (1969). Radar Measurements of Martian Topography. *The Astronomical Journal*, 74, 461. doi:10.1086/110824
- Peyret, M., Djamour, Y., Rizza, M., Ritz, J.-F., Hurtrez, J.-E., Goudarzi, M. A., ... Uri,

- F. (2008). Monitoring of the large slow Kahrod landslide in Alborz mountain range (Iran) by GPS and SAR interferometry. *Engineering Geology*, 100(3–4), 131–141. doi:10.1016/J.ENGGEOL.2008.02.013
- Preston, R. A., Ergas, R., Hinteregger, H. F., Knight, C. A., Robertson, D. S., Shapiro, I. I., ... Clark, T. A. (1972). Interferometric Observations of an Artificial Satellite. *Science*, 178(4059), 407–409. doi:10.1126/science.178.4059.407
- Raucoules, D., Bourguin, B., de Michele, M., Le Cozannet, G., Closset, L., Bremmer, C., ... Engdahl, M. (2009). Validation and intercomparison of Persistent Scatterers Interferometry: PSIC4 project results. *Journal of Applied Geophysics*, 68(3), 335–347. doi:10.1016/J.JAPPGEO.2009.02.003
- Rogers, A. E. E. ve Ingalls, R. P. (1969). Venus: Mapping the Surface Reflectivity by Radar Interferometry. *Science*, 165(3895), 797–799. doi:10.1126/science.165.3895.797
- Segall, P. ve Davis, J. L. (1997). Gps Applications For Geodynamics And Earthquake Studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25(1), 301–336. doi:10.1146/annurev.earth.25.1.301
- Seleem, T. A., Parcharidis, I., Foumelis, M. ve Kourkouli, P. (2011). Detection of ground deformation over Sharm El-Sheikh-Ras Nasrani coastal zone, South Sinai (Egypt), by using time series SAR interferometry. *Journal of African Earth Sciences*, 59(4–5), 373–383. doi:10.1016/j.jafrearsci.2011.01.009
- Şenel, M. (1997a). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L10 paftası. No: 7. MTA. Ankara.
- Şenel, M. (1997b). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L11 paftası. No: 8. MTA. Ankara.
- Sengör, A. M. C., Satir, M. ve Akkök, R. (1984). Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3(7), 693–707. doi:10.1029/TC003i007p00693
- Shanker Agram, P. (2010). *Persistent scatterer interferometry in natural terrain*.
- Shapiro, I. I. ve Knight, C. A. (1970). Geophysical Applications of Long-Baseline Radio Interferometry (ss. 284–301). Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-010-3308-4_28
- Slade, M. A. ve Shapiro, I. I. (1970). Interpretation of radar and radio observations of Venus. *Journal of Geophysical Research*, 75(17), 3301–3317. doi:10.1029/JB075i017p03301
- Stevens, N. F. ve Wadge, G. (2004). Towards operational repeat-pass SAR interferometry at active volcanoes. *Natural Hazards*, 33(1), 47–76. doi:10.1023/B:NHAZ.0000035005.45346.2b

- Teatini, P., Tosi, L., Strozzi, T., Carbognin, L., Cecconi, G., Rosselli, R. ve Libardo, S. (2012). Resolving land subsidence within the Venice Lagoon by persistent scatterer SAR interferometry. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 40–41, 72–79. doi:10.1016/J.PCE.2010.01.002
- Tomas, R., Herrera, G., Cooksley, G. ve Mulas, J. (2011). Persistent Scatterer Interferometry subsidence data exploitation using spatial tools: The Vega Media of the Segura River Basin case study. *Journal of Hydrology*, 400(3–4), 411–428. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.01.057
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types and Processes*. Washington D.C.
- Vilardo, G., Ventura, G., Terranova, C., Matano, F. ve Nardò, S. (2009). Ground deformation due to tectonic, hydrothermal, gravity, hydrogeological, and anthropic processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 197–212. doi:10.1016/J.RSE.2008.09.007
- Zebker, H.A. ve Rosen, P. (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake. *Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* içinde (C. 1, ss. 286–288). IEEE. doi:10.1109/IGARSS.1994.399105
- Zebker, Howard A., Rosen, P. A. ve Hensley, S. (1997). Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B4), 7547–7563. doi:10.1029/96jb03804

ÖZGEÇMİŞ

HAMİT BERAN GÜNÇE

hamitberan@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	İstanbul Üniversitesi
2005-2010	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makale

1- Günce H.B., San B.T. , "Measuring Earthquake-Induced Deformation in the South of Halabjah (Sarpol-e-Zahab) Using Sentinel-1 Data on November 12, 2017", Proceedings (MDPI), vol.2, no.346, pp.1-6, 2018

Uluslararası bildiri kitaplarında basılan bildiri

1- Günce H.B., San B.T. , "Measuring Earthquake Induced Deformation in South of Halabjah (Sarpol-e-Zahab) Using Sentinel1 Data on November 12, 2017", 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing (ECRS2018), Basel, ISVIÇRE, 22 Mart - 5 Nisan 2018, vol.2, pp.1-6