



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞAL VE İNSAN KAYNAKLI AFETLERİN
İNTERFEROMETRİK SAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir GÜNDOĞDU

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 182306406 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Bekir GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “**(DOĞAL VE İNSAN KAYNAKLI AFETLERİN İNTERFEROMETRİK SAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ)**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman ORHAN

Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 22/04/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Bekir GÜNDOĞDU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana desteğini esirgemeyen, yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, bilimsel bakış açısı kazanmamda büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN'a, akademik yönde çalışmam üzere beni teşvik eden değerli hocam Araş. Gör. Dr. Osman OKTAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen Aksaray Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümündeki kıymetli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tezi ömrüm boyunca maddi, manevi her yönden, her koşulda beni destekleyen, bana inanan annem Ayşe GÜNDOĞDU, ablam Ayşe Eda GÜNDOĞDU ve kardeşim Mehmet GÜNDOĞDU'ya ithaf ediyorum.

Yüksek lisans eğitimime 2210/A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve SARPROZ yazılımına ücretsiz erişim izni veren Prof. Dr. Daniele PERRISIN'e teşekkür ederim.

Bekir GÜNDOĞDU

AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. RADAR GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ	3
2.1 Radarların Çalışma Prensipleri ve Fiziksel Temelleri.....	3
2.1.1 Elektromanyetik dalgaların yansıması	4
2.1.2 Elektromanyetik dalgaların sabit yayılma hızı.....	4
2.1.3 Elektromanyetik dalgaların doğrusal yayılması.....	4
2.2 Radarların Matematiksel Temelleri.....	4
2.2.1 Menzil	4
2.2.2 Menzil ve azimut çözünürlüğü.....	6
2.2.3 Radarla yönün belirlenmesi	7
2.3 Sentetik Açıklıklı Radarlar (SAR)	7
2.3.1 Sentetik açıklıklı radarlarda Doppler etkisi ve azimut çözünürlüğü.....	9
2.3.2 Sentetik açıklıklı radarlarda sinyal özellikleri	13
2.3.2.1 Dalga boyu	13
2.3.2.2 Polarizasyon	15
2.3.2.3 Geliş açısı	16
2.3.2.4 Yansıma	16
2.3.3 Sentetik açıklıklı radar görüntülerinde geometrik bozulmalar	17
2.3.3.1 Eğim ve zemin aralığı	18
2.3.3.2 Kısaltım ve örtüşme	20
2.3.3.3 Gölgeleme	21
2.4 Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi	21
2.4.1 Tek geçiş Along-Track yöntemi	22
2.4.2 Tek Geçiş Across-Track yöntemi	23
2.4.3 Tekrar geçiş yöntemi.....	25
2.5 InSAR Yönteminde İşlem Adımları.....	26
2.5.1 Görüntülerin elde edilmesi.....	26
2.5.2 Görüntülerin eşleştirilmesi.....	28
2.5.3 Görüntülerin birlikte kaydedilmesi	29
2.5.4 Baz tahmini	29
2.5.5 Ön filtreleme	30
2.5.6 İnterferogramların oluşturulması	30
2.5.7 İnterferogramların düzleştirilmesi.....	32
2.5.8 Tutarlılık haritasının oluşturulması	32
2.5.9 İnterferogramların filtrelenmesi.....	34
2.5.10 Fazların açılması	34
2.5.11 Konumlandırma	36
2.6 İnterferometrik SAR Uygulama Alanları.....	36
2.6.1 Yüzey hareketlerinin izlenmesi.....	37
2.6.2 Sayısal yükseklik modeli (SYM) üretimi.....	42

2.6.3 Yeryüzündeki objelerin sınıflandırılması ve değişim analizleri	42
3. METODLAR	44
3.1 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (DInSAR)	44
3.1.1 İki SAR görüntüsü ve harici SYM'nin kullanıldığı iki geçişli yöntem	44
3.1.2 Üç SAR görüntüsünün kullanıldığı üç geçişli yöntem.....	45
3.1.3 Dört SAR görüntüsünün kullanıldığı dört geçişli yöntem	47
3.2 Kalıcı Yansıtıcı Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (PS-InSAR)	47
3.3 Değişim Analizleri	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	50
4.1 Şili Illapel ve Peru Loreto Depremlerinin DInSAR Yöntemi ile İncelenmesi.	51
4.1.1 2015 Şili Illapel depremi.....	51
4.1.2 2019 Peru Loreto depremi.....	55
4.2 Çin Jiangsu Yanheng Kentindeki Kimyasal Patlamanın DInSAR Yöntemi ile İncelenmesi	60
4.3 Filipinler Mayon Yanardağı'nın PS-InSAR Yöntemi ile İncelenmesi	62
4.4 Konya Karapınar İlçesindeki Düşey Deformasyonların PS-InSAR Yöntemi ile İncelenmesi	72
4.5 2018 Endonezya Sunda Boğazı'ndaki Tsunaminin Değişim Analizleri ile İncelenmesi	82
4.6 Kaliforniya Carr Yangını'nın Değişim Analizleri ile İncelenmesi	89
4.6.1 Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktasının belirlenmesi	91
4.6.2 Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlenmesi	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR	108
EKLER.....	121
Ek A. Uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.....	122
Ek B. Mayon Yanardağı'nın eteğinde belirlenen noktalarda volkanizma öncesi meydana gelen hareketler.....	154
Ek C. Konya Karapınar uygulamasında kullanılan PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerinin ve düşey yönlü karşılıklarının noktaların dağılımlarına göre ortalama değerleri.	155
Ek D. Climatology and Geophysics Agency ve Badan Nasional Penanggulangan Bencana tarafından oluşturulan tsunami etki haritaları.....	155
Ek E. Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlendiği araştırmada genlik değerlerinin farklarının kullanıldığı uygulamada veri kaybı olan bölgeler.	157
ÖZGEÇMİŞ.....	158

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL VE İNSAN KAYNAKLI AFETLERİN İNTERFEROMETRİK SAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Bekir GÜNDOĞDU

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

ÖZET

Afetler meydana geldiği çevrede sosyal, ekonomik, fiziki ve psikolojik etkiler bırakan şiddetli olaylardır. Afetlerin önceden tahmin edilmesi ve meydana gelen bir afetin etki alanının tespit edilmesi çevre ve insan yaşamına olan tehditleri en aza indirmek için oldukça önemlidir.

Bu tezin amacı doğal veya insan kaynaklı farklı afet türlerinin InSAR yöntemine bağlı olarak geliştirilen DInSAR yöntemi, PS-InSAR yöntemi ve değişim analizleri ile araştırılmasıdır. Afetler incelenirken araştırma kapsamında 2015 Şili Illapel depremi, 2019 Peru Loreto depremi, Chenjiagang Kimya Sanayi Fabrikası'nın patlaması, Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunami ve Kaliforniya Carr yangını uygulamaları afetlerin etki alanlarının tespitine yönelik, Konya Karapınar ilçesindeki düşey deformasyonlar ve Filipinler Mayon Yanardağındaki volkanizmalar ise hem etki alanlarının tespiti hem de önceden tahmin aşamasına yönelik olmak üzere 7 farklı uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda 5,6 cm (C-bant) dalga boyuna sahip Sentinel-1 uydularından elde edilen 50 adet SAR görüntüsü ve Perissin (2009) tarafından geliştirilen SARPROZ programı kullanılmıştır.

Yapılan araştırma sonucunda DInSAR yöntemi ve PS-InSAR yöntemi ile yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçların yeterli olması, değişim analizi çalışmalarında ise elde edilen sonuçların başka kaynaklanan elde edilen veriler ile kullanılabilecek düzeyde olması InSAR yönteminin farklı afet araştırmalarında kullanılabileceği göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet, SAR, InSAR, DInSAR, PS-InSAR, Deformasyon, Değişim Analizi, Deprem, Yangın, Volkanizma, Tsunami, Patlama.

Şubat, 2021; 158 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF NATURAL AND HUMAN INDUCED DISASTERS BY INTERFEROMETRIC SAR METHOD

Bekir GÜNDOĞDU

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

ABSTRACT

Disasters are severe events that have social, economic, physical, and psychological effects in the environment in which they occur. Anticipating disasters and determining the impact area of a disaster is very important in minimizing threats to the environment and human life.

The aim of the thesis is to investigate different natural or human-induced disasters using DInSAR method, PS-InSAR method and change analysis developed based on InSAR method. 7 applications were made within the scope of the research. Investigations were made to determine the impact areas of disasters for 2015 Chile earthquake and tsunami, 2019 Peru earthquake in Loreto, Xiangshui chemical plant explosion, 2018 Sunda Strait tsunami in Indonesia and The Carr fire in California; In the vertical deformations in Konya Karapınar district and volcanisms in the Philippines Mayon Volcano, both the determination of the impact areas and the prediction studies were made. In the applications, 50 SAR images obtained from Sentinel-1 satellites with a wavelength of 5.6 cm (C-band) and the SARPROZ program developed by Perissin (2009) were used.

As a result of study research, the outcomes which are obtained from those applications like DInSAR and PS-InSAR methods are efficient. However, the outcomes which are obtained from change analysis are at the level of applying along with datas that are obtained through different sources indicates that InSAR method can be used on researches on disaster.

Keywords: Disaster, SAR, InSAR, DInSAR, PS-InSAR, Deformation, Change Analysis, Earthquake, Fire, Volcanism, Tsunami, Explosion.

February, 2021; 158 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Radyo dalgalarının fiziksel temelleri.....	3
Şekil 2.2. Azimut çözünürlüğü	6
Şekil 2.3. a) Azimut açısı, b) Yükseklik açısı.....	7
Şekil 2.4. Sentetik açıklıklı radarların çalışma prensibi	9
Şekil 2.5. SAR sistemlerinde Doppler frekans kayması geometrisi	10
Şekil 2.6. Dalga boyları	14
Şekil 2.7. Geliş açısı.	16
Şekil 2.8. Radar sinyalinin geri yansıma özellikleri	17
Şekil 2.9. SAR görüntülerindeki geometrik bozulmalar.....	18
Şekil 2.10. a) Perspektif projeksiyon, b) Yandan bakış geometrisi	18
Şekil 2.11. Zemin aralığı geometrisi.....	19
Şekil 2.12. Eğik uzunluk ile arazi yüzeyi arasındaki geometri.....	19
Şekil 2.13. a) Kısaltım, b) Örtüşme	20
Şekil 2.14. Faz ve genlik değerlerinden interferogram oluşumu.	22
Şekil 2.15. Tek geçiş Along-Track yöntemi geometrisi	23
Şekil 2.16. Tek geçiş Across-Track yöntemi geometrisi	24
Şekil 2.17. InSAR işlem adımları.	26
Şekil 2.18. SAR uyduları.	28
Şekil 2.19. Spektral frekans kayması.....	30
Şekil 2.20. İnterferogramların oluşturulması.	31
Şekil 2.21. İnterferogramların düzleştirilmesi.	32
Şekil 2.22. Tutarlılık haritası örnek bölgeler.	33
Şekil 2.23. Fazların açılması.	35
Şekil 2.24. L-S faz açılımı işlem şeması.....	36
Şekil 2.25. İnterferometrik görüntülerinin konumlandırılması.....	36
Şekil 2.26. Landers depremi interferometrisi.	38
Şekil 2.27. Dünya aktif volkan haritası.....	39
Şekil 2.28. Etna Yanardağı InSAR görüntüleri	40
Şekil 3.1. İki geçişli DInSAR geometrisi	45
Şekil 3.2. Üç geçişli DInSAR geometrisi	46
Şekil 3.3. PS-InSAR yöntemi	48
Şekil 4.1. Son yüzyılda Şili’de meydana gelen büyüklüğü 7,0’ın üzerindeki depremler	52
Şekil 4.2. 2015 Şili Illapel depremi ve artçı depremlerinin haritası	53
Şekil 4.3. 155 yol numaralı SAR görüntülerinden oluşturulan interferogramlar.	54
Şekil 4.4. 2015 Şili Illapel depremi uygulamasında kullanılan birleştirilmiş interferogram.	55
Şekil 4.5. Son yüzyılda Peru’da meydana gelen büyüklüğü 7,0’ın üzerindeki depremler	56
Şekil 4.6. 2019 Peru Loreto depremi.	56
Şekil 4.7. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan interferogramlar....	57
Şekil 4.8. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan birleştirilmiş interferogram.....	58
Şekil 4.9. 2019 Peru Loreto depreminde deformasyona daha fazla maruz kalan bölgeler.....	58
Şekil 4.10. Deformasyonlara daha fazla maruz kalmış bölge no: 1.	59
Şekil 4.11. Deformasyonlara daha fazla maruz kalmış bölge no: 2.	59

Şekil 4.12. Chenjiagang Kimya Sanayi Fabrikası'ndaki patlamanın etki alanı (kırmızı daire: $R = 1$ km; mavi daire: $R = 2$ km; yeşil daire: $R = 3$ km).....	60
Şekil 4.13. Çin Jiangsu Yanheng kentinde meydana gelen kimyasal patlamanın uygulama alanının belirlenmesi.	61
Şekil 4.14. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki kimyasal patlama uygulamasında kullanılan interferogram.	62
Şekil 4.15. Mayon Yanardağı	62
Şekil 4.16. Mayon Yanardağı incelenmesinde kullanılan slave görüntülerin master görüntüye göre zamansal ve dik bazları.	65
Şekil 4.17. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktaları.	65
Şekil 4.18. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.....	66
Şekil 4.19. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.....	66
Şekil 4.20. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen PS noktaları.	67
Şekil 4.21. Mayon Yanardağı uygulama alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı.	67
Şekil 4.22. Legazpi şehrinin kıyısından rastgele seçilen nokta.	68
Şekil 4.23. Santo Domingo ilçesinin kıyısından rastgele seçilen nokta.	69
Şekil 4.24. Mayon Yanardağı'nın eteğinden rastgele seçilen nokta.	69
Şekil 4.25. Mayon Yanardağı'nın orta bölgesinden rastgele seçilen nokta.	70
Şekil 4.26. Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinden rastgele seçilen ilk nokta.	70
Şekil 4.27. Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinde rastgele seçilen ikinci nokta.	71
Şekil 4.28. Mayon Yanardağı'nda rastgele seçilen noktaların en çok deformasyona maruz kaldığı zamanlar.....	72
Şekil 4.29. Konya Karapınar ilçesinde ortaya çıkan bazı obruklar.....	73
Şekil 4.30. Konya Karapınar ilçesi uygulama alanında belirlenen Sentinel-1A SAR görüntüleri arasındaki zamansal ve dik bazlar.....	74
Şekil 4.31. Konya Karapınar uygulama alanında APS tahmini için belirlenen noktalar.	75
Şekil 4.32. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.	75
Şekil 4.33. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.....	76
Şekil 4.34. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen PS noktaları.....	76
Şekil 4.35. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı.	77
Şekil 4.36. Konya Karapınar ilçesi merkezinden rastgele seçilen ilk nokta.	78
Şekil 4.37. Konya Karapınar ilçesi merkezinden rastgele seçilen ikinci nokta.	79
Şekil 4.38. Konya Karapınar ilçesi merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölgeden rastgele seçilen ilk nokta.	79
Şekil 4.39. Konya Karapınar ilçesi merkezi ile tarım arazileri arasındaki bölgeden rastgele seçilen ikinci nokta.	80
Şekil 4.40. Konya Karapınar ilçesinde tarım arazilerine yakın bölgeden rastgele seçilen ilk nokta.	81
Şekil 4.41. Konya Karapınar ilçesinde tarım arazilerine yakın bölgeden rastgele seçilen ikinci nokta.	81
Şekil 4.42. Anak Krakatau Yanardağı ve patlama anı	83
Şekil 4.43. 2018 Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunaminin etki alanları.....	83

Şekil 4.44. Anak Krakatau Yanardağı'nda meydana gelen heyalanın SAR görüntüleri.	84
Şekil 4.45. Sunda Boğazı'nda genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu.	85
Şekil 4.46. Sunda Boğazı'nda genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin filtreleme sonrası sonucu.	86
Şekil 4.47. Sunda Boğazı'nda oluşturulan genel uyuşum haritası.	87
Şekil 4.48. a) Genlik değerlerine göre değişim analizi yöntemi, b) Genel uyuşum haritası, c) İki yöntemin karşılaştırılması.	87
Şekil 4.49. 2019 Sunda Boğazı tsunamisinin etki alanları.	88
Şekil 4.50. Kaliforniya Carr Yangını'nın genel etki alanı.	90
Şekil 4.51. Kaliforniya Carr Yangın Bölgesi Sentinel-1A SAR görüntüleri arasındaki zamansal ve dik baz.	91
Şekil 4.52. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.	92
Şekil 4.53. Genel uyuşum haritası kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.	93
Şekil 4.54. İki yöntemdeki görüntülerin birleştirilmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.	94
Şekil 4.55. Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.	94
Şekil 4.56. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.	95
Şekil 4.57. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin filtrelenmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.	96
Şekil 4.58. Genel uyuşum haritası kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.	97
Şekil 4.59. İki yöntemdeki görüntülerin birleştirilmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.	98
Şekil 4.60. Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı (a, b, c), (URL-38, URL-39). ...	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. SAR Görüntülemeye kullanılan bantlar.....	14
Çizelge 4.1. 2015 Şili Illapel depremi uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.....	53
Çizelge 4.2. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.....	57
Çizelge 4.3. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki Kimyasal Patlama uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.....	61
Çizelge 4.4. Mayon Yanardağı uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.....	63
Çizelge 4.5. Konya Karapınar uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri	73
Çizelge 4.6. LOS yönündeki deformasyonların düşey yöndeki karşılıkları.	82
Çizelge 4.7. Endonezya Sunda Boğazı uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.....	84
Çizelge 4.8. Kaliforniya Carr yangını uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
B	Baz
c	Işık hızı
cm	Santimetre
DInSAR	Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry
ERS	European Remote-Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
f	Frekans
G	Genlik
GHz	Gigahertz
H	Horizontal
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
K	Sinyalin kat ettiği yol
km	Kilometre
L	Anten boyu
LOS	Line of Sight
m	Metre
NASA	The National Aeronautics and Space Administration
PS-InSAR	Permanent Scatterer Synthetic Aperture Radar Interferometry
R, r	Menzil
RAR	Real Aperture Radar
S_A	Azimut çözünürlüğü
SAR	Aperture Radar
S_r	Menzil çözünürlüğü
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
t	Radar dalgasının hedefe gidiş dönüş süresi
T	Darbe tekrarlama periyodu
T_{öz}	Radar sistemin başlaması için gerekli süre
v	Hız
V	Vertical
x	Azimut mesafesi
ρ	Eğim aralığı
τ	Gönderilen darbenin radardan aygıtından ayrılma süresi
λ	Dalga boyu
β	Azimut açısı
θ	Geliş açısı
Θ	Açıklık açısı
φ, ϕ	Faz
α	Baz eğimi
ε	Yükseklik açısı
Δ	Fark

1. GİRİŞ

En kısa tanımı ile jeodezi, yeryüzünün modellenmesini ve 4 boyutlu bir koordinat sisteminde tanımlanmasını konu edinen bir bilim dalıdır. Jeodezinin ana amaçlarından biri yeryüzünde zamana bağlı meydana gelen değişimlerin gözlenmesi, tespit edilmesi, analiz edilmesi ve takip edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda birçok farklı meslek disiplini içinde farklı ölçme ve değerlendirme teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tekniklerin bir kısmı ise uzaktan algılama teknikleridir. Uzaktan algılama kavramı ilk kez 1960 yılında Evelyn L. Pruitt tarafından bir nesneye fiziksel bir temas kurulmaksızın nesne hakkında bilgi edinme bilimi ve sanatı olarak tanımlanmıştır (Walker, 2006). Günümüzde ise uzaktan algılama kavramı daha çok ‘jeodezik uzaktan algılama’ ismi ile yeryüzünün havadan ve uzaydan incelenmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle küresel konumlama sistemlerinin ortaya çıkmasıyla hız kazanan uzaktan algılama teknikleri yersel ölçmelere bağımlılığı minimum düzeye indirerek yeryüzüne ait verileri mm’nin altında bir hassasiyetle elde edebilmektedir.

Bu tez çalışmasında bir uzaktan algılama tekniği olan Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) tekniği ve bu tekniğe bağlı ölçme yöntemleri kullanılmıştır. SAR tekniği hava araçlarına veya uzayda bulunan platformlar üzerine sabitlenen radar platformları aracılığıyla yeryüzünün mm-cm/yıl duyarlılığında gözlemlenebildiği bir uzaktan algılama tekniğidir. İki SAR görüntüsünün faz farklarının çıkarılıp, genlik değerlerinin çarpılmasıyla elde edilen interferogramlar ile yeryüzüne ait deformasyonların tespit edildiği veya yeryüzüne ilişkin değişim analizlerinin yapıldığı yöntem ise İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) yöntemidir. InSAR yöntemi yeryüzü deformasyonlarının gözlemlenmesinde ilk kez 1992 yılında Kaliforniya’da meydana gelen Landers depreminin etkilerini belirlemek için kullanılmıştır (Massonet vd., 1993). Avrupa Uzay Ajansı’ndan (ESA) elde edilen Avrupa Uzaktan Algılama Uydusu (ERS) verileri ile oluşturulan interferogramlar aracılığıyla yapılan bu çalışma InSAR yönteminin deformasyon ölçümlerindeki potansiyelini ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasının amacı InSAR yöntemine bağlı Diferansiyel İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (DInSAR) yöntemi, Kalıcı Yansıtıcı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (PS-InSAR) yöntemi ve faz ile genlik interferometrisine bağlı değişim

analizleri kullanılarak yeryüzünde meydana gelen afetlerin etkilerinin belirlenmesidir. Afetler bir alan veya çevre üzerinde olumsuz etkisi bulunan, etkilediği çevreyi sosyal, ekonomik ve jeolojik yönde direkt veya dolaylı yoldan olumsuz yönde etkileyen insan veya doğal kaynaklı olaylardır. Bu tez çalışmasında yapılan araştırma doğrultusunda insan veya doğal kaynaklı 6 farklı afet türü içeren 7 adet uygulama yapılmıştır.



2. RADAR GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

RADAR, RAdio Detecting and Ranging yani radyo aracılığıyla menzil ve hedef algılama anlamına gelir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) donanmasında görev yapan Tucker ve Furth (1940) tarafından türetilmiştir. 1943 yılı sonrası 2. Dünya Savaşı'ndaki ülkelerce kabul gördükten sonra ise uluslararası literatürde yerini almıştır (Gebhard, 1979).

2.1 Radarların Çalışma Prensibi ve Fiziksel Temelleri

Radar sinyalinin yansıması seslerin akustiğinde olduğu gibi ses dalgasının bir nesneden yansıyıp gözlemciye dönmesine benzer bir prensiple gerçekleşir. Ancak radarlar ses dalgaları yerine elektromanyetik dalgalar gönderirler. Gönderilen dalgaların taşıdığı enerji nesneye ulaştıktan sonra geri yansır, yansıyan enerjiye 'yankı' adı verilir (Balık, 2004). Yankı sayesinde geri dönen elektromanyetik dalganın gücüne bağlı olarak piksel değeriyle ifade edilen bir görüntü üretilir (Akabalı, 2002). Görüntü üretimi süreci için yansıyan yankının yönü, şiddeti ve geri gelme zamanı çok önemlidir. Çünkü objenin görüntülenebilmesi için yankının belirli bir enerji düzeyinin üzerinde olması gerekir. Bu düzeye 'eşik değeri' denir. Eşik düzeyini geçen yankıların ise yansıdığı objeyi doğru temsil edebilmesi için yankının yönünün ve geri dönme zamanının doğru tespit edilmesi gerekir. Bu koşulların sağlanması elektromanyetik dalganın üç temel fiziksel özelliğine bağlıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Radyo dalgalarının fiziksel temelleri (URL-1).

2.1.1 Elektromanyetik dalgaların yansıması

Elektromanyetik dalgalar iletken bir yüzeye çarpmaları halinde yansır (saçılır), emilir veya yoluna devam eder (Davies, 1954). Yansıyan enerjinin çok küçük bir bölümü yankı olarak kaydedilir. Kaydedilen enerji elektromanyetik dalganın yayıldığı yönde bir cisim olduğunu gösterir.

2.1.2 Elektromanyetik dalgaların sabit yayılma hızı

Fransız fizikçi Jean Léon Foucault (1819-1868) tarafından ışık hızının yaklaşık 298.000 km/s olduğu hesaplanmıştır. Modern teknolojinin gelişmesiyle ise serbest alandaki elektromanyetik dalganın saniyede 299.792.458 m hareket ettiği hesaplanmıştır. Bu sayede elektromanyetik dalgaların sabit hızla yayılma özelliğinden faydalanılarak enerjinin çarparak yansıdığı hedeflerin uzaklıkları, diğer bir deyişle hedeflerin menzilleri, yankıların geri dönüş süreleri ölçülerek hassas bir şekilde hesaplanabilir.

2.1.3 Elektromanyetik dalgaların doğrusal yayılması

Elektromanyetik dalgalar doğrusal bir yönde yayılırlar. Bu sayede radar antenleri istenilen hedefe doğru yönlendirilerek hedef hakkında bilgi sağlanır.

2.2 Radarların Matematiksel Temelleri

2.2.1 Menzil

Radar anteninin hedef konuma olan uzaklığına ‘menzil’ denilir. Hedefe olan menzil elektromanyetik dalganın hızı ve hedefe gidiş geliş süresiyle ölçülür.

$$R = \frac{c \times t}{2} \quad (2.1)$$

2.1’deki eşitlikte c ışık hızıdır ve sabittir, t ise radar dalgasının hedefe gidiş dönüş süresi olmak üzere bir radarın menzili R ile ifade edilir. Bir radar sisteminde menzilin doğru ölçülebilmesi için ardışık gönderilen iki sinyal arasında ilk gönderilen sinyalin hedefe varış ve hedeften dönüş zamanına (yürütme zamanı) yetecek kadar bir boşluk bulunmalıdır. Bu sebeple bir radarın hatasız ölçülebileceği en uzun menzil ile darbe tekrarlama periyodu arasında sabit bir ilişki vardır.

T değeri darbe tekrarlama periyodu olmak üzere, bir sinyalin gidiş dönüş süresi ile darbe tekrarlama periyodu arasında üç farklı durum söz konusudur:

1. Eğer $t < T$ ise yansıyan sinyal bir sonraki sinyal yollanmadan önce radara ulaşır, olması istenilen durum budur.
2. Eğer $t = T$ ise dönen sinyal yeni sinyal gönderilmek üzereyken radar sistemine ulaşır.
3. Eğer $t > T$ ise yansıyan işaret bir sonraki sinyal yollandıktan hemen sonra ulaşır ve alınan sinyalin 2. gönderiye mi yoksa bir önceki gönderiye mi ait olduğuna dair bir belirsizlik oluşur (Cheville ve Grischowsky, 1995; Cheville vd., 1997).

$t = T$ veya $t > T$ olduğu durumlar karışıklıklara sebep olabileceğinden, R_{maks} yani ‘Hatasız Ölçülebilecek En Büyük Menzil’ t yürütme zamanının (gidiş-dönüş zamanı) T darbe periyodundan daha küçük olduğu maksimum aralıktır (URL-2).

$$R_{max} = \frac{c \times (T - \tau)}{2} \quad (2.2)$$

Burada τ gönderilen darbenin radardan ayrılma süresidir ve gönderim darbe genişliği olarak da adlandırılır. Ancak çok küçük olduğu için ihmal edilebilir.

$$R_{max} = \frac{c \times T}{2} \quad (2.3)$$

τ ihmal edildiği zaman R_{maks} 2.3’teki eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

Radar sistemlerinde sistemin ölçebileceği en uzun menzil olduğu gibi radarın algılamaya başladığı en küçük menzilde vardır.

$$R_{min} = \frac{c \times (t + T_{öz})}{2} \quad (2.4)$$

R_{min} ile gösterilir ve ‘Kör Menzil’ olarak da adlandırılır. Kör menzil hedefin radar tarafından algılanabilir olduğu minimum menzili ifade eder. Eğer yakın bölgedeki hedeflerin algılanması isteniyorsa, t olabildiğince küçük olmalıdır. Kör menzil hesaplanırken $T_{öz}$ denilen sistemin başlaması için gerekli süre de göz önünde bulundurulmalıdır. Hatasız ölçülebilecek en büyük menzil ve en küçük ölçüm menzil göz önüne alındığında uzun süreli ölçümlerde ortaya bazı sıkıntılar çıkabilmektedir.

Ortaya çıkan sıkıntılar genellikle ilki daha uzun süreli, ikincisi çok daha kısa süreli iki farklı sinyal darbesi yollanarak azaltılabilmektedir. Daha uzun süreli ilk darbe uzak menzildeki hedefler için, çok kısa süreli ikinci darbe ise yakın menzildeki hedefler içindir.

2.2.2 Menzil ve azimut çözünürlüğü

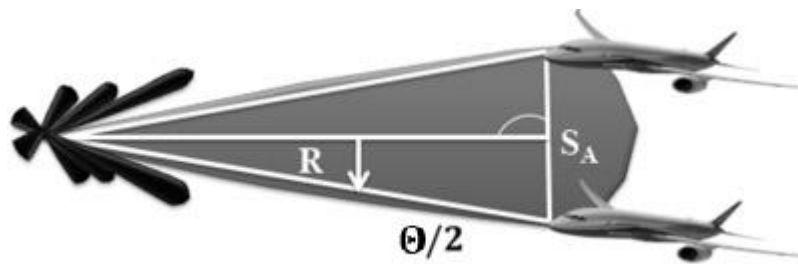
Radar ölçümlerinde eğer iki hedef, menzil doğrultusunda birbirine çok yakın ise iki hedefin yankı işaretleri birleşebilir. Bu yüzden tek bir yankı işareti haline gelerek tek bir hedefmiş gibi ekranda görüntülenebilir. Bir radarın menzil çözünürlüğü birbirine yakın hedefleri farklı hedefler olarak algılayabilme yeteneğini ifade eder.

$$S_r \geq \frac{K}{2} \quad (2.5a)$$

$$K = c \cdot \tau \quad (2.5b)$$

Bir radar sisteminin menzil çözünürlüğü S_r olarak gösterilir ve 2.5a'daki eşitlik ile hesaplanır. Menzil çözünürlüğü sinyalin kat ettiği yolla ilişkilidir. Sinyalin kat ettiği yol K olmak üzere, K 2.5b'deki eşitlik ile hesaplanır. Menzil çözünürlüğünü belirleyen en önemli etmen ise gönderilen darbenin genişliğidir (τ). İyi bir çözünürlük için çok yüksek bir darbe gücüne sahip kısa süreli bir darbe genişliğine ihtiyaç vardır (URL-3).

Radar antenlerinde menzil doğrultusundaki çözünürlükten ziyade, yer boyunca hedeflerin ne kadar çözümleneceği (azimut çözünürlüğü) daha önemlidir (Şekil 2.2).



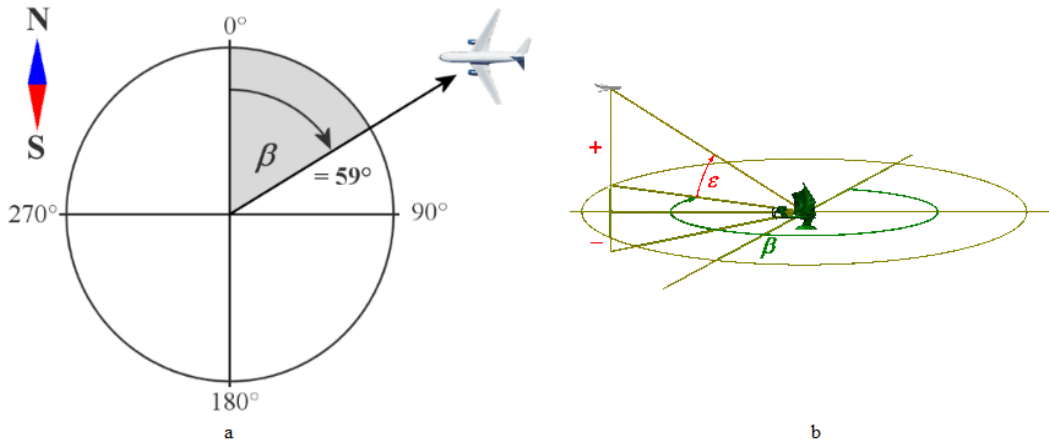
Şekil 2.2. Azimut çözünürlüğü (URL-4).

$$S_A \geq 2R * \sin \frac{\Theta}{2} \quad (2.6)$$

Radar antenine aynı uzaklıkta farklı menzillerde bulunan hedeflerin birbirinden ayırt edilebilmesi için aralarında belirli bir yatay açıklık olması gerekir. Bunu sağlayan en küçük yatay açıklığa azimut çözünürlüğü denir ve S_A ile gösterilir. Azimut çözünürlüğü antenin açıklık açısı (Θ) ile doğrudan ilişkilidir. Açıklık açısı ne kadar küçük ise azimut çözünürlüğü o kadar iyidir (URL-4).

2.2.3 Radarla yönün belirlenmesi

Radar sistemlerinin yönlülüğü azimut ve yükseklik açılarıyla ifade edilir. Azimut ve yükseklik açılarının belirlenmesi antenden yansıyan sinyalin belirli bir yöne yoğunlaştırılması ile mümkündür. Yönlülüğün kalitesini ise antenin boyutları belirler ve anten gövdesinin geometrisi büyüdükçe daha da artar. Radarlar azimut düzlemini 360° bir açıyla tarar böylece anten daha geniş bir görüş açısına sahip olur (Eravcı, 2010). Azimut açısının (β) referans yönü coğrafi kuzeydir (Şekil 2.3.a). Yükseklik açısı ise düşey düzlemde çalışan bir açıdır. Referans yönü antenden başlayan yükseklik açısı Yunan Harfi ε (epsilon) ile gösterilen yatay bir çizgidir. Yükseklik açısı ufuk hattının üzerinde pozitif, ufuk hattının altında negatif değerlidir (URL-5; Şekil 2.3.b).



Şekil 2.3. a) Azimut açısı (URL-6), b) Yükseklik açısı (URL-7).

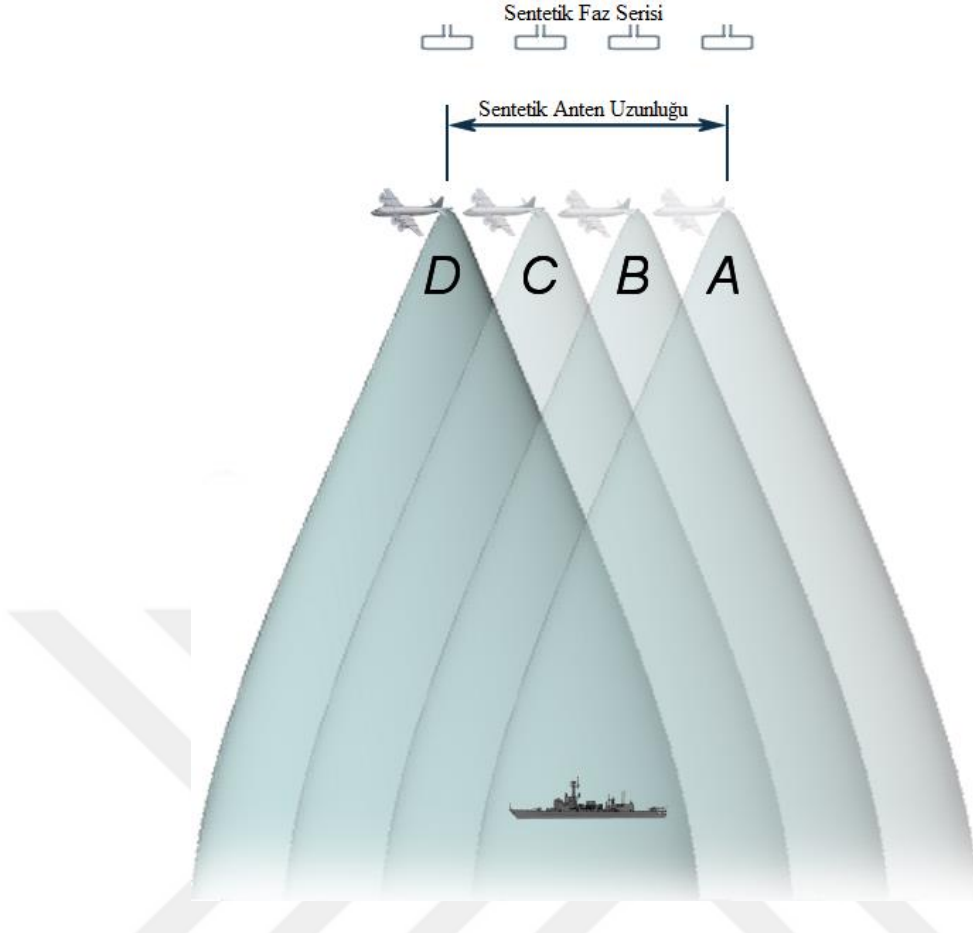
2.3 Sentetik Açıklıklı Radarlar (SAR)

Radar sistemleri diğer uzaktan algılama sistemlerinden farklı olarak aktif bir yapıya sahiptir. Aktif sistemler kendi enerjilerini kendileri üretir. Böylece yeryüzündeki veya uzaydaki objelere ait mekânsal ve biçimsel özellikleri kendi ürettikleri elektromanyetik dalgaları kullanarak saptarlar. Radar sistemleri aktif sistemler

oldukları için radar anteninin boyu gönderilen dalga'nın gücü ve geri yansıyan yankının yakalanması için temel faktördür. Bu tür sistemlerde anten boyu ile dalga'nın enerjisi orantılıdır. Yüksek bir çözünürlük için kısa darbe vuruş süresi ve enerji seviyesi yüksek bir dalga gönderilmesi gerekir. Yani anten boyu ne kadar uzunsa elde edilen görüntünün geometrik çözünürlüğü o kadar yüksektir.

$$L = \frac{R \cdot \lambda}{S_A} \quad (2.7)$$

Radar sistemlerinde L anten boyu olmak üzere anten uzunluğu 2.7'deki eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır. Örneğin 1000 m uzaklıkta ki bir objeyi 10 cm dalga boyu ile 1 metre azimut çözünürlüğünde görüntülemek istersek 100 m anten boyuna ihtiyaç duyulur. Ancak radar sistemlerinin taşıyabileceği anten boyları sınırlıdır. Özellikle bir uydu veya bir uçağın taşıyabileceği anten boyu, uçaklar için 1-2 m'ye, uydular için ise 10-15 m'ye kadardır. Bu anten boyları yeterli çözünürlüğü fiziksel olarak sağlayamadığı için boyut sorunları sentetik bir açıklık yaratılarak giderilmiştir. İlk olarak büyük bir anten uzunluğu elde etmek için platform hareketini ve sinyal tutarlılığını hesaplama fikri ortaya sürülmüştür (Wiley, 1965). Bu fikre göre radar iki darbe iletimi arasında hareket ederken, tüm yansımaların fazları birleştirilerek çok büyük bir anten boyu sentezlenecekti. Anten boyutları bu şekilde sentezlenen radar sistemlerine Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) denir. SAR yönteminde radar sinyalleri belirli bir hedef noktasına yoğunlaştırılarak noktaya ait menzil çözünürlüğü ve azimut çözünürlüğü artırılır (Elachi, 1988; Curlander ve Donough, 1991). Bu yöntemde sentetik açıklık bir hava aracı veya bir uydu üzerinde taşınan radarın ileri yönde hareketi sırasında belirli bir sürede belirli bir sayıda darbe göndermesiyle oluşturulmaktadır (Ristau, 1999; Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sentetik açıklıklı radarların çalışma prensibi (URL-8’den değiştirilmiştir).

2.3.1 Sentetik açıklıklı radarlarda Doppler etkisi ve azimut çözünürlüğü

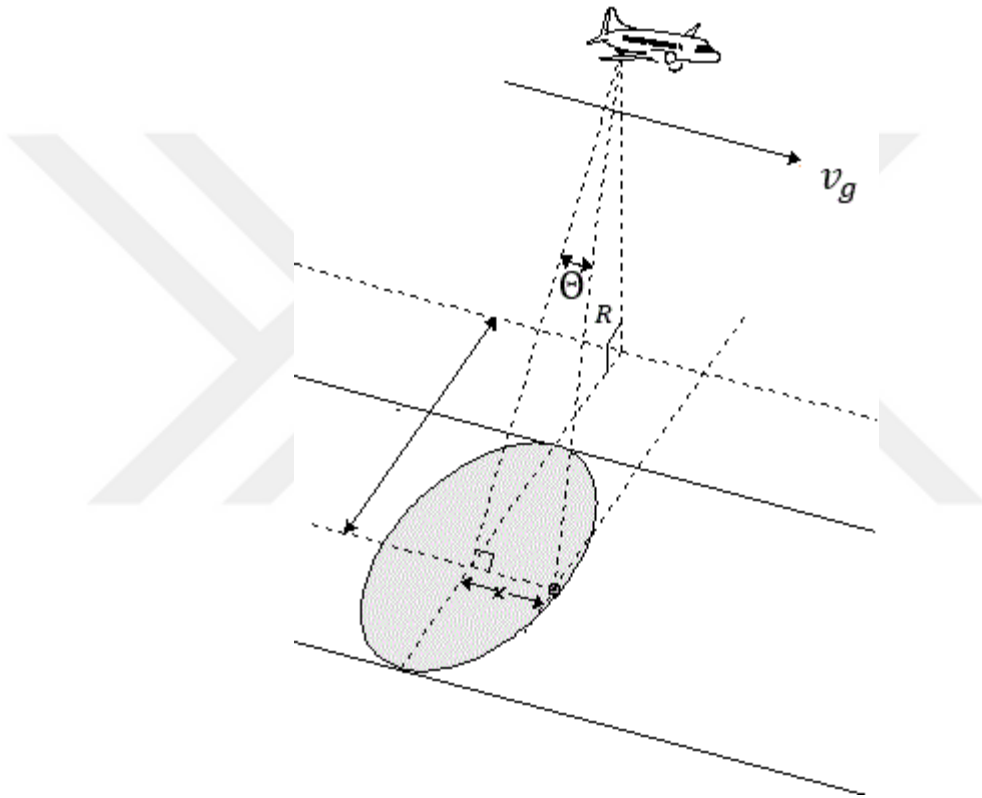
SAR ölçümlerinde geri yansıyan sinyaller geri yansıma sürelerine göre toplanarak kaydedilir. Ölçüm anındaki radarın platformdaki hızı ve darbe süreleri sentetik açıklığın boyutunu belirler. Ancak radar aygıtının ölçüm aralığındaki hareketlerinden dolayı ‘Doppler Etkisi’ olarak adlandırılan bir frekans kayması meydana gelir. Bu kayma hedef konumlarının yanlış hesaplanmasına yol açar (Olmsted, 1993).

$$f_g = \sqrt{\frac{1-(v/c)}{1+(v/c)}} f_k \quad (2.8a)$$

$$f_g = \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} f_k \quad (2.8b)$$

f_k frekanslı dalga yayan bir radar sisteminin hedef noktadan uzaklaşma hızına (ya da yaklaşma) v denirse Doppler etkisi gözlemciden uzaklaşırken 2.8a’daki eşitlik ile gözlemciye yaklaşırken ise 2.8b’deki eşitlik ile hesaplanır. Radar aygıtı gözlemciye

yaklaşırken yayılan frekanstan daha büyük bir frekans sergilerken, gözlemciden uzaklaşırken daha küçük bir frekans sergiler. Ancak radar ölçümlerinde tek bir nokta yerine birçok nokta vardır ve her nokta antene göre farklı konumlarda bulunur. Bu nedenle her nokta antene göre farklı hızlara sahiptirler ve Doppler etkisi her bir nokta için farklı düzeydedir. Doppler etkisinin giderilmesi için her bir hedef noktanın yankı frekansı orijinal frekanstan farklı bir miktarda kaydırılır. Belirli bir noktanın Doppler etkisinin hesaplanıp giderilmesi için nokta ile antenin birbirine yaklaşma hızı (ya da uzaklaşma) olan v 'nin bilinmesi gerekir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. SAR sistemlerinde Doppler frekans kayması geometrisi (URL-9).

$$v = v_g \sin \theta \quad (2.9a)$$

$$= v \frac{x}{R} \quad (2.9b)$$

Gerçek hızı (v_g) bilinen bir radar sisteminin belirli bir hedefe noktaya olan hızı 2.9a veya 2.9b eşitliğiyle hesaplanır. Daha sonra ise bulunan hız radar tarafından gözlemlenen noktanın frekans denkleminde yerine konulur.

$$f_g = \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} f_k \quad (2.10a)$$

$$= \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} * \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1+(v/c)}} f_k \quad (2.10b)$$

$$= \sqrt{\frac{(1+(v/c))^2}{1-(v^2/c^2)}} f_k \quad (2.10c)$$

Ancak v hızı ışık hızından çok küçük olduğu için (v^2/c^2) 0 olarak kabul edilebilir.

$$f_g = \left(1 + \frac{v}{c}\right) f_k \quad (2.11)$$

f_g değeri yer hedefinin gözlemlediği frekanstır ve antenden yayılan gerçek frekans f_k 'dan bir miktar farklıdır.

$$f_g - f_k = \left(1 + \frac{v}{c}\right) f_k - f_k \quad (2.12a)$$

$$= \frac{v}{c} f_k \quad (2.12b)$$

Her bir hedef nokta için dönüş darbesi gidiş darbesi ile aynı miktarda hareket ettiği için Doppler frekans kayması hem giderken hem dönerken etki eder.

$$f_d = 2(f_g - f_k) = \frac{2v}{c} f_k \quad (2.13a)$$

$$= \frac{2v_g \sin \Theta}{c} * \frac{c}{\lambda} \quad (2.13b)$$

$$\frac{2v_g x}{cR} * \frac{c}{\lambda} \quad (2.13b)$$

$$\frac{2v_g x}{\lambda R} \quad (2.13b)$$

f_d Doppler frekans kayması olmak üzere bir hedef nokta için Doppler frekans kayması 2.13'teki eşitlik ile hesaplanır.

$$x_1 = \frac{2v_g x}{cR} \quad (2.14a)$$

$$R_{x_1} = t_{x_1} c \quad (2.14b)$$

$$x_1 = \frac{f_{d_1} \lambda R}{2v_g} \quad (2.14b)$$

Frekans kayması 2.13'teki eşitliklerle hesaplanan bir noktanın, anten tarafından tespit edilen dönüş sinyalinin azimut mesafesine x_1 denirse, noktanın t_{x_1} anındaki menzili R_{x_1} olmak üzere x_1 2.14'teki eşitlikler ile hesaplanır. Bu sayede zemin aralığı bilinen bir nokta konumlandırılabilir.

Doppler etkisi menzil çözünürlüğünü arttırmaz ancak azimut çözünürlüğünü büyük bir oranda artırır. Artan azimut çözünürlüğü Doppler denkleminde çıkarılabilir.

$$\vartheta = \left(\frac{\lambda R}{2v_g} \right) \delta f_d \quad (2.15a)$$

$$\delta f_d = 1/t_y \quad (2.15b)$$

$$t_y = \frac{R\lambda}{L_a v_g} \quad (2.15c)$$

2.15'teki eşitliklerde görüldüğü üzere Doppler frekans kayması çözünürlüğü olan δf_d hedef noktanın gözlem bölgesi içinde kalma süresinin (t_y) tersine eşittir. Ortaya çıkan sonuç azimut eşitliğinde yerine konulup gerekli sadeleştirilmeler yapılırsa SAR aygıtının azimut çözünürlüğü elde edilir (ϑ) (URL-9).

$$\vartheta = \left(\frac{\lambda R_{x_1}}{2v_g} \right) \left(\frac{L_a v_g}{R_{x_1} \lambda} \right) = \frac{L_a}{2} \quad (2.16)$$

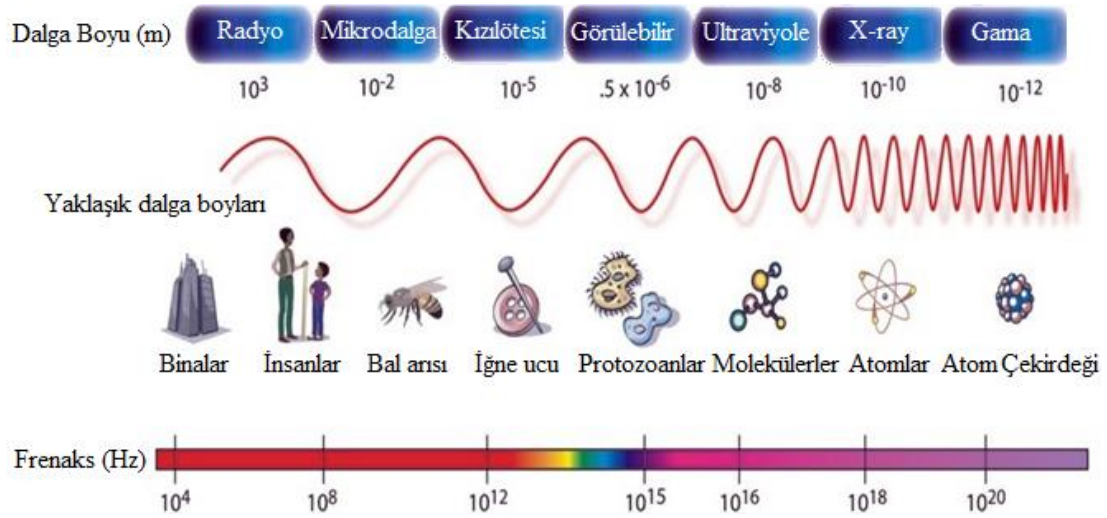
2.16'daki eşitlik incelendiğinde SAR sistemlerinde anten boyu ile azimut çözünürlüğünün Gerçek Aralıklı Radar (Real Aperture Radar-RAR) sistemlerinin zıddına ters bir orantıya sahip olduğu ortaya çıkar. Yani SAR sistemlerinde anten boyu ne kadar küçük ise azimut çözünürlüğü o kadar yüksektir. Ancak anten boyu istenilen frekansı yaymak için gerekli uzunlukta olmalıdır.

2.3.2 Sentetik açıklıklı radarlarda sinyal özellikleri

Radarlar sinyal olarak elektromanyetik dalgaları kullanılmaktadır. Elektromanyetik dalgalar bir obje ile etkileşime girdiğinde dalga soğrulur, iletilir veya yansır (Griffiths, 1989; Davies, 1954). Dalganın hangi etki ile hangi oranda karşılaşacağı hedefin yansıma özellikleri, eğimi, yüzey yapısı ve nemliliği gibi faktörlerden etkilenir. Hedefe gönderilen dalganın ise polarizasyonu, dalga boyu ve geliş açısıyla (Şekil 2.7) ilişkilidir. Elektromanyetik dalga hedef ile etkileşime girdikten sonra geri yansıyan dalga kaydedilerek sayısal olarak saklanır. Saklanan değerler piksellerle ifade edilir. Görüntüdeki her bir piksel geri yansıyan sinyalin genlik değerine özelliklerine göre değer alır. Örneğin 8 bitlik bir SAR görüntüsünde her bir nokta genlik özelliklerine göre 0 ile 255 arasında 256 farklı değere sahip olabilir. Bunlar görüntüdeki pikselin ne kadar karanlık veya aydınlık olacağını yani spektral özelliklerini gösterir.

2.3.2.1 Dalga boyu

Dalga boyu, bir dalganın tepe veya dip noktaları arasındaki mesafedir (Hecht, 1987). Bir noktanın genlik özelliğini etkileyen en önemli faktör hedefe gönderilen sinyalin dalga boyudur. Yapısal olarak tanecikleri gönderilen dalga boyundan küçük olan hedefler pürüzsüz kabul edilirken dalga boyundan büyük olanlar pürüzlü olarak kabul edilir. Örneğin yol, açık su, bina çatıları gibi yapısal olarak tanecikleri küçük olan yüzeyler pürüzlülüğü düşük olan yüzeylerdir ve ayna etkisinden dolayı açılı gelen sinyallerin çok az bir kısmı geri yansır. Bundan dolayı görüntü üzerinde siyaha yakın tonlarda gösterilir. Orman arazileri, tarım alanları, kayalık bölgeler gibi alanlar ise yapısal olarak iri tanecikli olduğundan pürüzlüdür ve radar sistemine geri yansıyan sinyal daha zengindir. Bundan dolayı beyaza yakın tonlarda gösterilmektedir. SAR sistemlerinde mikrodalga denilen dalga boyları kullanılır, mikrodalgalar elektromanyetik spektrumun 300 MHz (100 cm) ve 300 GHz (0,1 cm) arasında değişen frekanslarını kapsar (Curlander ve McDonough, 1991; Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Dalga boyları (URL-10'dan değiştirilmiştir).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.17)$$

Dalga boyu 2.17 eşitliğinde verildiği üzere frekans ile ters orantılıdır. En çok kullanılan dalga boyları Çizelge 2.1'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.1. SAR Görüntülemeye kullanılan bantlar.

Bant İsmi	Frekans (GHz)	Dalga Boyu (cm)
P	0,23-0,39	133-76,9
L	0,39-1,55	76,9-19,4
S	1,55-3,90	19,4-7,69
C	3,90-5,75	7,69-5,21
X	5,75-10,90	5,21-2,75
Ku	10-18	2,75-1,67
K	18-26,5	1,67-1,13
Ka	26,5-36	1,13-0,83
Q	36-46	0,83-0,63
V	46-56	0,63-0,53
W	56-100	0,53-0,3

Farklı dalga boyları hedef noktalarda farklı geçirgenlik özelliği gösterdiği için ihtiyaç doğrultusunda seçilir. Örneğin maden arama çalışmalarında zemin geçirgenlik özelliği daha yüksek olan P, L, S gibi dalga boyu daha uzun bantlar kullanılmaktadır.

2.3.2.2 Polarizasyon

Elektromanyetik dalganın polarizasyonu dalganın yönü ve şiddeti ile alakalıdır. Her cismin kendine özgü tek bir polarizasyon imzası vardır. Böylelikle farklı polarizasyonlar gözlemlenen hedeflerin fiziksel özelliklerini ayırt etmeye yarar. Cisimlerin polarizasyon imzası radar sisteminin bakış açısına, frekansına, geliş açısına ve polarizasyonuna bağlı olarak değişir. Ayrıca polarizasyon imzası cismin geometrik yapısına, yönüne, geri yansıtma özelliklerine (reflectivity) ve atmosferik etmenlere göre de değişiklik göstermektedir. Bu sayede elde edilen radar görüntüsünün sınıflandırılması (image classification) mümkün olmaktadır. Bundan dolayı radar sistemleri polarizasyonu istenildiği şekilde gönderip, alabilecek şekilde dizayn edilirler. Temel olarak radar sistemleri gözlemcinin referans çerçevesi dünya olmak üzere H yatay (horizontal) ve V dikey (vertical) olmak üzere iki farklı açıyla sinyal gönderirler.

$$H = 0^{\circ} \quad (2.18a)$$

$$V = 90^{\circ} \quad (2.18b)$$

Sinyaller yatay polarizasyonda gönderiliyor ise 2.18a, dikey polarizasyonda gönderiliyor ise 2.18b eşitliğindeki açıyla gönderilir (Maître, 2008). Gönderim ve alma açılarına bağlı olarak radar sistemlerinin polarizasyonu bir çiftte sembolle ifade edilir:

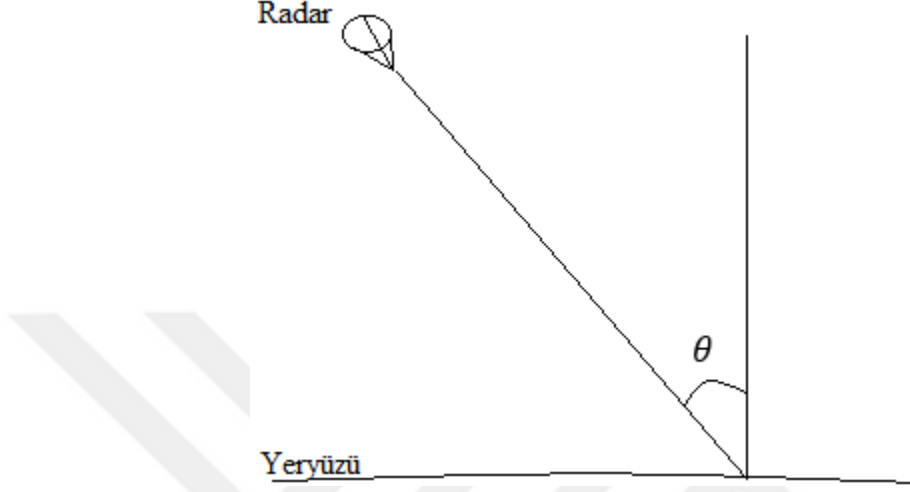
- HH-Yatay iletim, yatay alım.
- VV-Dikey iletim, dikey alım.
- HV-Yatay iletim, dikey alım.
- VH-Dikey iletim, yatay alım.

VV ve HH paralel polarizasyon, HV ve VH ise çapraz polarizasyon olarak ifade edilir. Ayrıca kullanım amaçlarına göre tek, çift ve dörtlü polarizasyon olarak birden fazla polarizasyon kombinasyonu kullanılabilir:

- Tek polarize-HH veya VV veya HV veya VH.
- Çift polarize-HH ve HV, VV ve VH veya HH ve VV.
- Dörtlü polarizasyon-HH, VV, HV ve VH.

2.3.2.3 Geliş açısı

Geliş açısı radarın aydınlatma yönünün dünya yüzeyine dik bir doğru ile yaptığı açıdır. θ ile ifade edilir. Görüntüdeki geometrinin noktadan noktaya farklı olmasının sebebi ise geliş açısının her bir nokta için farklı olmasıdır.

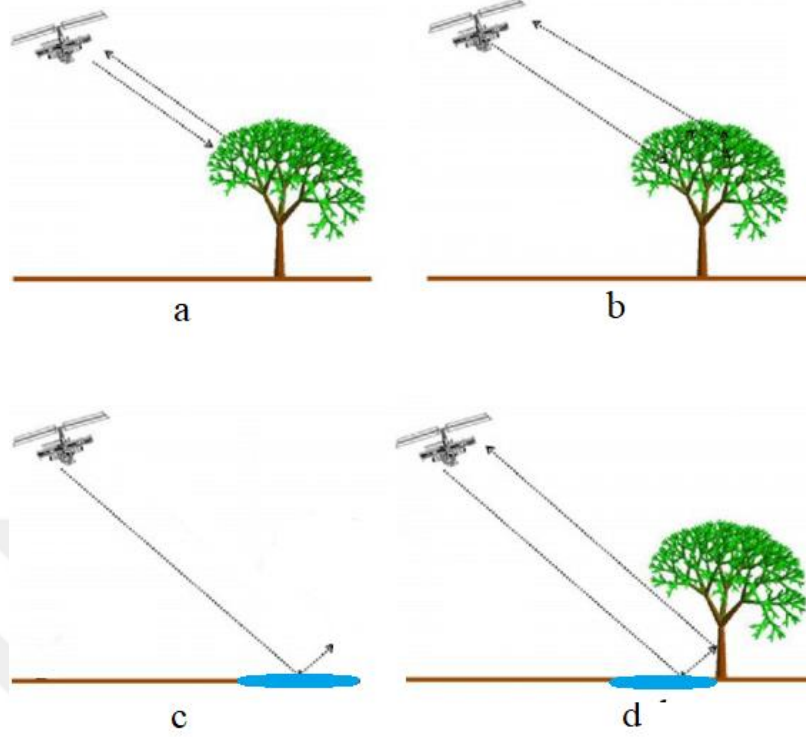


Şekil 2.7. Geliş açısı.

2.3.2.4 Yansıma

Radar sinyali bir obje ile temasa girdikten sonra 4 farklı şekilde yansır. Yansıyan sinyalin genliği bu 4 duruma göre değer alır.

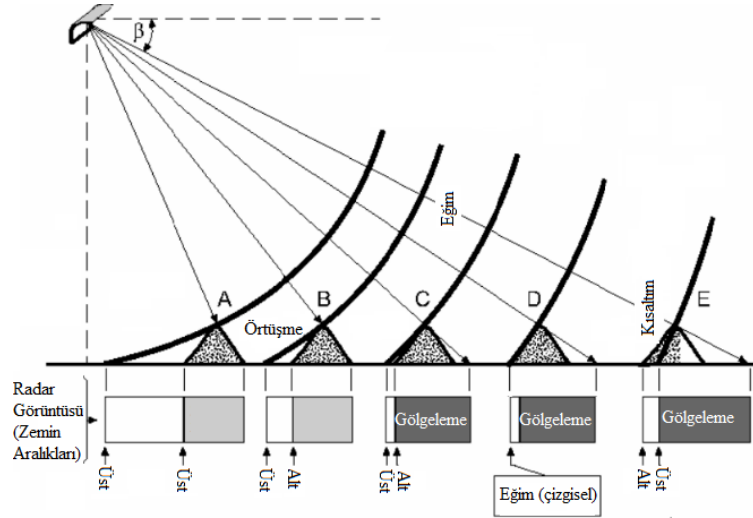
1. Radar sinyali bir obje ile temas kurduğunda sinyal radar sistemine doğrudan geri yansır. Bu durumda geri yansıyan sinyalin genlik değeri yüksek olur (Şekil 2.8.a).
2. Radar sinyali bir obje ile temasa kurduğunda sinyal her yöne rastgele dağılır. Bu durum sinyal kaybına yol açtığı için geri yansıyan sinyalin genlik değeri orta düzeydedir (Şekil 2.8.b).
3. Radar sinyali pürüzsüz bir yüzey ile temas ettiğinde geldiği açı ile geri yansır. Bu durum geri yansıyan sinyalin genlik değerinin düşük olmasına sebep olur (Şekil 2.8.c).
4. Radar sinyali pürüzsüz bir yüzey aracılığıyla bir obje ile temasa geçip radar sistemine geri yansır. Bu durumda geri yansıyan sinyalin genlik değeri yüksek olur. Bu duruma ‘çift-yansıma’ denir (Rykhus ve Lu, 2007; Şekil 2.8.d).



Şekil 2.8. Radar sinyalinin geri yansıma özellikleri (Dofour vd., 2013'ten değiştirilmiştir).

2.3.3 Sentetik açıklıklı radar görüntülerinde geometrik bozulmalar

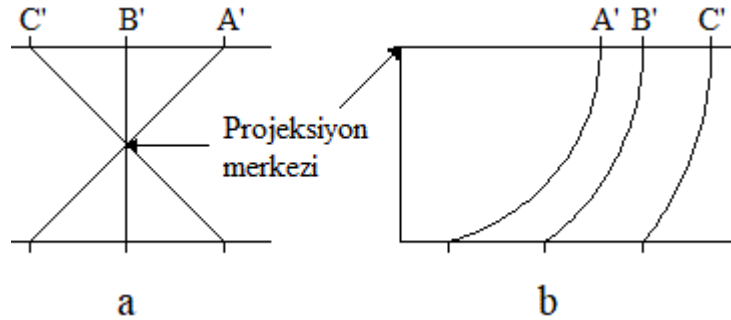
SAR görüntüleri ilk bakışta optik yollarla elde edilmiş görüntülere çok benzer görünürler. Ancak SAR sistemleri yatık menzille ölçüm yaptığı için geliş açısı, hedefin yüksekliği ve eğim nedeniyle görüntü alım geometrisinde bazı bozulmalar ortaya çıkar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. SAR görüntülerindeki geometrik bozulmalar (URL-13'ten değiştirilmiştir).

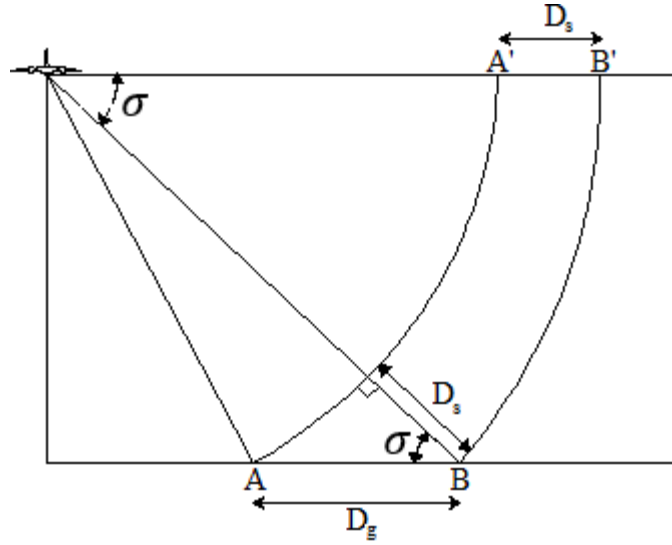
2.3.3.1 Eğim ve zemin aralığı

Optik algılayıcılar ile görüntülenen hedef noktaların görüntü izdüşümü perspektif bir projeksiyon ile kaydedilirken noktalar iz düşüm merkezinden düz bir ışın oluşturarak görüntülenir (Şekil 2.10.a). SAR sistemlerinde ise elektromanyetik dalgalar dairesel şekilde yayıldığı için anten ile obje arasında ki bağıntı bir fonksiyon olarak ifade edilir (URL-11; Şekil 2.10.b).



Şekil 2.10. a) Perspektif projeksiyon, b) Yandan bakış geometrisi (URL-11'den değiştirilmiştir).

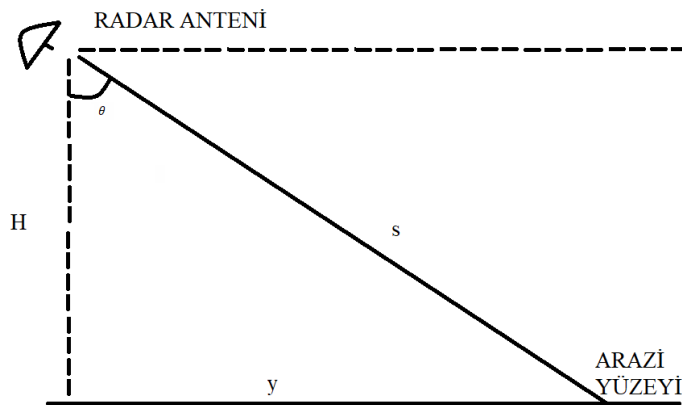
Bundan dolayı radar ölçümlerinde her bir nokta için geliş açısı farklıdır. Bu fark hedef noktaların görüntü düzlemine gerçek geometrisinden farklı bir geometriyle kaydedilmesine sebep olur. Örneğin aynı doğrultuda bir A ve B noktası düşünelim. SAR yöntemiyle yapılan gözlemlerde geliş açısı nedeniyle iki nokta birbirine daha yakın görünecektir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Zemin aralığı geometrisi (UR-12).

$$D_s \cong D_g * \cos \sigma \quad (2.19)$$

D_g İki nokta arasındaki gerçek mesafe, D_s ölçülen mesafe olmak üzere ikisi arasındaki bağıntı eşitlik 2.19'da gösterildiği gibidir. Eşitlikteki σ açısı ise geliş açısının bütünleyen açısıdır ve her zaman için 90 dereceden küçüktür. Bu sebeple eğim aralığındaki mesafe olan D_s her zaman zeminde bulunan gerçek mesafe olan D_g 'den daha küçük olur. D_s ile D_g arasındaki fark ise σ açısı ne kadar büyük olursa (geliş açısı ne kadar küçük olursa) o kadar büyük olur. Ancak yer yüzünün düzgün bir şekilde ifade edilmesi için zemin aralıklarının düzeltilmesi gerekir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Eğik uzunluk ile arazi yüzeyi arasındaki geometri.

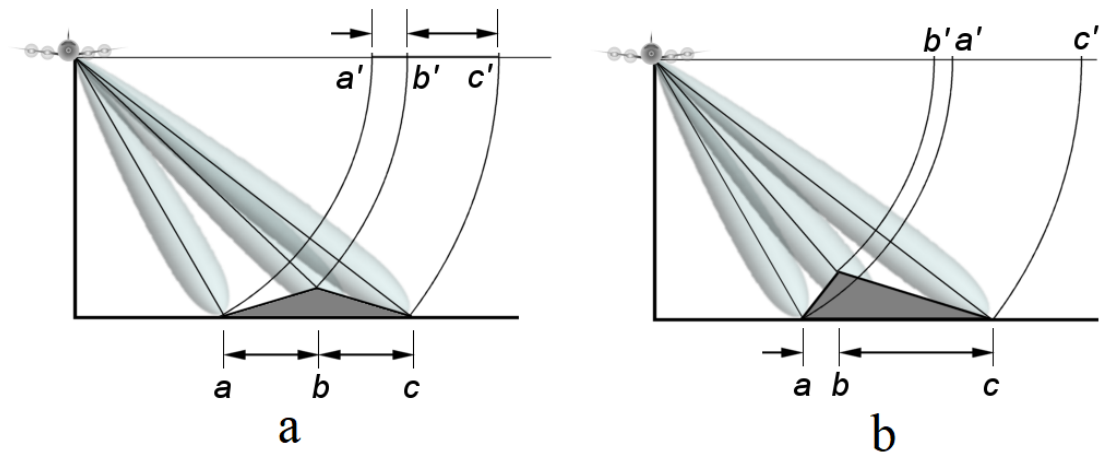
$$s^2 = H^2 + y^2 \quad (2.20a)$$

$$y = \sin \theta * s \quad (2.20b)$$

2.20'deki eşitliklerdeki gösterildiği gibi zemin aralıkları Pisagor bağıntısı veya geliş açısı olan θ açısı kullanılarak eğik uzunluklar yatay uzunluklara çevrilerek elde edilebilir.

2.3.3.2 Kısaltım ve örtüşme

Kısaltım, yatay olarak aynı doğrultudaki iki hedef noktanın yükselti farkından dolayı SAR görüntüsü üzerindeki ara mesafelerinin, gerçek ara mesafelerinden daha kısa olması durumudur. Radar sinyalinin geliş açısı ve zeminin eğimi kısaltım ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin bir dağ ele alındığında, dağın eteğinde bulunan nokta a , zirvesinde bulunan nokta b olmak üzere; bu iki nokta arasındaki $\overline{ab}$ yatay uzunluğu dağın zirvesinden yansıyan radar sinyalinin alıcıya daha erken dönmesinden dolayı görüntü düzlemine kısaltılmış $\overline{a'b'}$ yatay mesafesi olarak yansır (Şekil 2.13.a). Örtüşme hatası ise kısaltım hatasında olduğu gibi noktalar arasındaki yükselti farkından dolayı meydana gelir. Ancak örtüşme hatasında arazi kısaltım hatasında olduğundan ya daha diktir ya da noktalar arasındaki yükselti farkı daha fazladır. Bu sebeple dağın zirvesinde bulunan noktadan yansıyan sinyal, eteğinde bulunan noktadan yansıyan sinyalden daha önce alıcıya ulaşır ve $\overline{ab}$ yatay uzunluğu görüntü düzlemine $\overline{b'a'}$ yatay uzunluğu olarak yansır (Şekil 2.13.b).



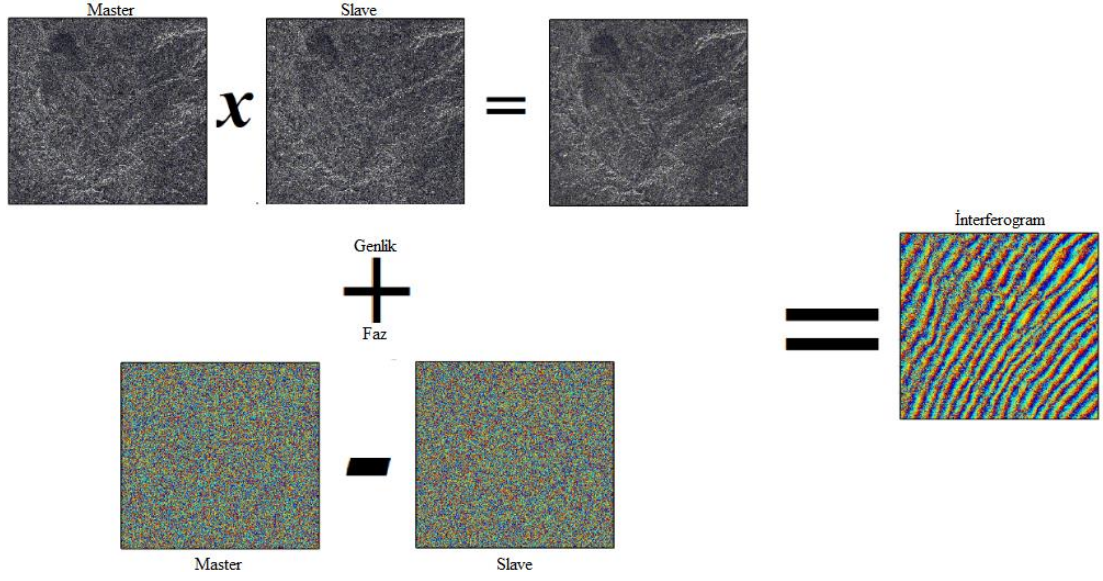
Şekil 2.13. a) Kısaltım (URL-14), b) Örtüşme (URL-15).

2.3.3.3 Gölgeleme

Radar sinyallerinin bir objeye veya dik bir açıda duran yüzeye temasta bulunması halinde objenin veya yüzeyin arkasında kalan bölgelere radar sinyali ulaşamaz. Sinyalin ulaşmadığı bölgelerden faz ve genlik değeri alınamadığı için bu bölgeler radar görüntüsünde siyah rengi alır. Bu olaya ‘gölgeleme’ denir. Gölgelemenin etki alanı geliş açısı büyüdükçe artar. Ancak uygun geliş açısı seçildiği zaman gölgeleme her zaman kötü değildir. Örneğin yer engebesinin alçak olduğu alanlarda büyük geliş açıları kullanmak topoğrafik özellikleri daha iyi yorumlamaya yarar. Daha engebeli bölgelerde ise büyük geliş açıları kullanmak engebeli kısımların daha iyi yorumlanmasını sağlar, ancak gölgelemeyi arttırır. Bu sebeple uzay araçları genellikle yüzey pürüzlülüğünü yorumlamayı kolaylaştıran, gölgeleme miktarının ise nispeten az olduğu 35 ile 50 derece arasındaki genişliği kullanır.

2.4 Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi

İnterferometri, bir noktaya ait yükseklik veya yükseklik değişimlerini frekansları aynı olan iki elektromanyetik dalganın farklı faz ve genlik özelliklerinden faydalanarak elde etme yöntemidir. Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (Interferometric Synthetic Aperture Radar-InSAR) ise tek bir hedef nokta yerine birden fazla noktanın bulunduğu SAR görüntülerinin faz ve genlik değerlerinin kullanıldığı bir interferometri yöntemidir. InSAR yönteminde görüntü üzerindeki bir noktanın yüksekliğini veya noktanın uydu bakış doğrultusundaki (Line of Sight-LOS) hareketini belirlemek için noktaya karşılık gelen faz değerlerinin farklarına ihtiyaç vardır. Bu farkı elde etmek için SAR görüntülerinin faz bilgileri kullanır. Dolayısıyla hedef alana ait en az iki SAR görüntüsü mevcutsa ve piksellerin bir kısmı tam olarak hizalanabiliyorsa her bir görüntü noktasının bağıl fazı belirlenebilir yani yükseklik ile ilgili bilgiler elde edilebilir (Goldstein ve Zebker, 1987; Gabriel vd., 1989; Goldstein vd., 1993; Massonnet vd., 1993). İnterferometrik SAR yönteminde SAR görüntüleri master (referans) görüntü veya slave (bağımlı) görüntü olarak ayrılır ve eşleştirilir. Görüntüler eşleştirilip interferogram oluşturulurken interferogramın genlik değerleri master görüntünün genlik değerlerinin slave görüntünün genlik değerleriyle çarpılmasıyla elde edilir. Faz değerleri ise master görüntünün faz değerlerinden, slave görüntünün faz değerlerinin çıkartılmasıyla elde edilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Faz ve genlik değerlerinden interferogram oluşumu.

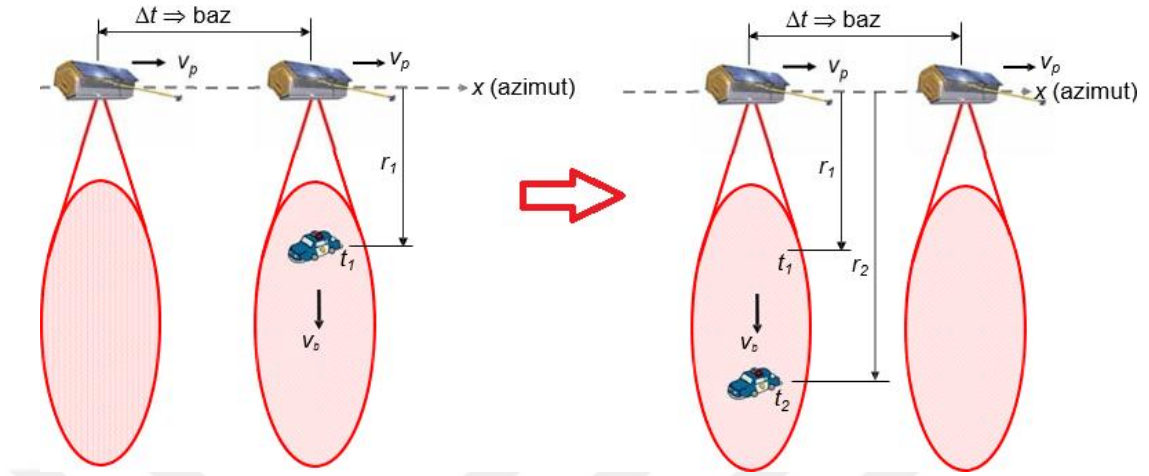
Ortaya çıkan görüntü izohips haritaları gibi bir girişim deseni oluşturur. Görüntüdeki her bir desen geçişi görüntü elde etmede kullanılan elektromanyetik dalganın boyunun yarısı kadar deformasyon olduğunu gösterir (Curlender ve McDonough, 1991; Çakır, 2003; Akoğlu, 2008; Şengün, 2008; Yılmaztürk, 2015). InSAR yöntemi ilk kez Venüs ve Ay'ın topoğrafyasını ölçmek için kullanılmıştır (Roger ve Inglass, 1969; Zisk, 1972). Yönteminin ilk kez yeryüzü topoğrafyasında kullanılması ise 1974 yılında Graham tarafından gerçekleştirilmiştir (Graham, 1974).

InSAR yönteminin kullanılabilmesi için interferogramı oluşturan SAR görüntülerinin en az bir parametresinin farklı olması gereklidir. Bu farka 'baseline' yani 'baz' denir (Bamler ve Hartl, 1998). Bu fark zamansal veya mekânsal baz olmak üzere temelde üç farklı yöntem ile sağlanmaktadır.

2.4.1 Tek geçiş Along-Track yöntemi

Hava araçlarının tek bir hat üzerinde yol boyunca kısa zaman aralıklarıyla görüntü alması esasına dayanır. Fark zamansal bazdan kaynaklanır. Çoğunlukla hava araçları için kullanılsa da uydularla da kullanılabilen bir tekniktir. Teknik ilk olarak okyanus akıntılarını izlemek için iki antenli yandan bakışlı bir hava aracı aracılığıyla kullanılmıştır (Goldstein ve Zebker, 1987). Temel olarak okyanus akıntıları, kıyı şerit

değişimi, deniz buzullarının kayması ve trafik gibi süreklilik halindeki olaylar gözlemlenirken kullanılır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Tek geçiş Along-Track yöntemi geometrisi (URL-16'dan değiştirilmiştir).

$$\Delta_r = r_1 - r_2 = v_{b*} \Delta_t \quad (2.21)$$

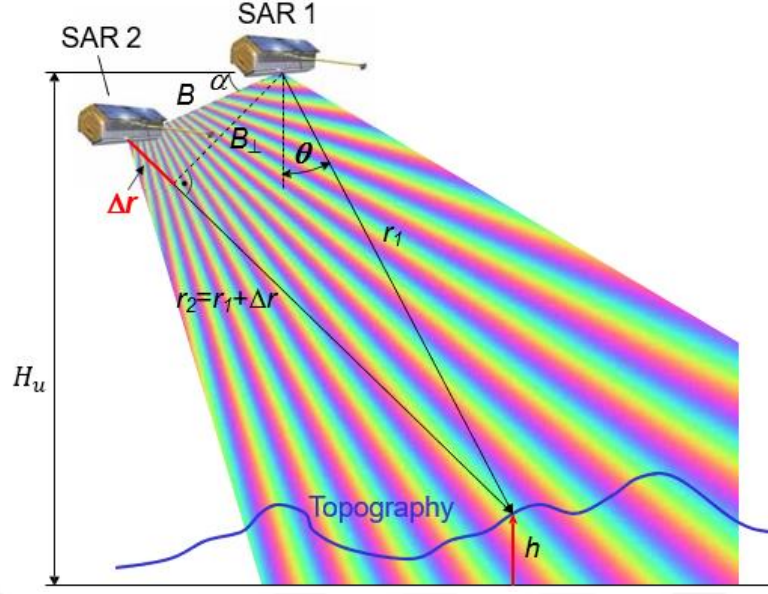
Menzil yönündeki yer değiştirme Δ_r 2.21'deki eşitlikte gösterildiği gibi birinci radar anteninin menzili r_1 ile ikinci radar anteninin menzili r_2 'nin farkı alınarak veya hedefin LOS yönündeki hızı v_b ile zamansal baz Δ_t 'nin çarpımı ile elde edilir.

$$\Delta_\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta_r = \frac{4\pi}{\lambda} v_{b*} \Delta_t \quad (2.22)$$

İnterferometrik faz olan Δ_ϕ ise 2.22'deki eşitlik ile hesaplanır.

2.4.2 Tek Geçiş Across-Track yöntemi

ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) mekiği Shuttle Radar Topography Mission'da (SRTM) olduğu gibi sayısal yükseklik modelleri üretme amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bir hava aracı üzerinde konuşlandırılmış iki radar sisteminin, tek bir hat üzerinde farklı perspektiflerden iki farklı açıyla yeryüzünü gözlemlemesi ile yükseklik bilgilerini elde etme esasına dayanır. Gözlemleme açıları ve yolları çok yakın olduğu için zamansal baz interferograma girmez. Zamansal değişkenler olmadığı için Across-Track yöntemiyle oluşturulan interferogramların tutarlılıkları genel olarak çok yüksektir ve sadece mekânsal baz söz konusudur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Tek geçiş Across-Track yöntemi geometrisi (URL-16’den değiştirilmiştir).

$$B_{\perp} = B * \sin (\theta - \alpha) \quad (2.23)$$

α baz eğimi, θ geliş açısı, B ise mekânsal baz olmak üzere dik baz $B_{\perp}$ 2.23’teki eşitlik ile hesaplanır. İnterferogramların oluşturulabilmesi için dik baz uzunluğunun interferogramın oluşturulması için gerekli maksimum baz uzunluğunu yani ‘kritik baz’ uzunluğunu aşmaması gerekir (Sandwell, 2002). Aralarındaki dik baz uzunluğu kritik baz uzunluğunu aşmayan iki SAR görüntüsü ile oluşturulan bir InSAR görüntüsünün faz değerleri SAR görüntülerinin birbirine karşılık gelen piksellerinin faz farklarının görüntüye aktarılmasıyla elde edilir (Hanssen, 2001).

$$\phi_1 = -\frac{4\pi}{\lambda} r_1 \quad (2.24a)$$

$$\phi_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} r_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} (r_1 + \Delta_r) \quad (2.24b)$$

İlk radar anteninin menzili r_1 , ikinci radar anteninin menzili r_2 olmak üzere ilk SAR görüntüsündeki faz değerleri 2.24a’daki, ikinci SAR görüntüsündeki faz değerleri ise 2.24b’deki eşitlik hesaplanır. Burada Δ_r paralel bazı ifade etmektedir ve yaklaşık olarak iki menzil arasındaki farka eşittir.

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} (\Delta_r) \quad (2.25)$$

$\Delta\phi$ faz farkı olmak üzere, InSAR görüntüsündeki herhangi bir pikselin faz değeri 2.25'teki eşitlik ile hesaplanır.

$$h = H_u - r_1 \cos \theta \quad (2.26)$$

Noktanın yerden yüksekliği olan h 2.26'daki eşitlik ile hesaplanır.

$$\cos(90^\circ - \alpha + \theta) = \frac{r_1^2 + B^2 - (r_1 + \Delta r)^2}{2r_1 B} \quad (2.27a)$$

$$\theta = \alpha - 90^\circ + \arccos\left(\frac{r_1^2 + B^2 - (r_1 + \Delta r)^2}{2r_1 B}\right) \quad (2.27b)$$

B , α ve radar anteninin yeryüzüne olan mesafesi (H_u) bilinen, r_1 ve r_2 ölçülen değerler olmak üzere geliş açısı ise kosinüs teoremi ile hesaplanır.

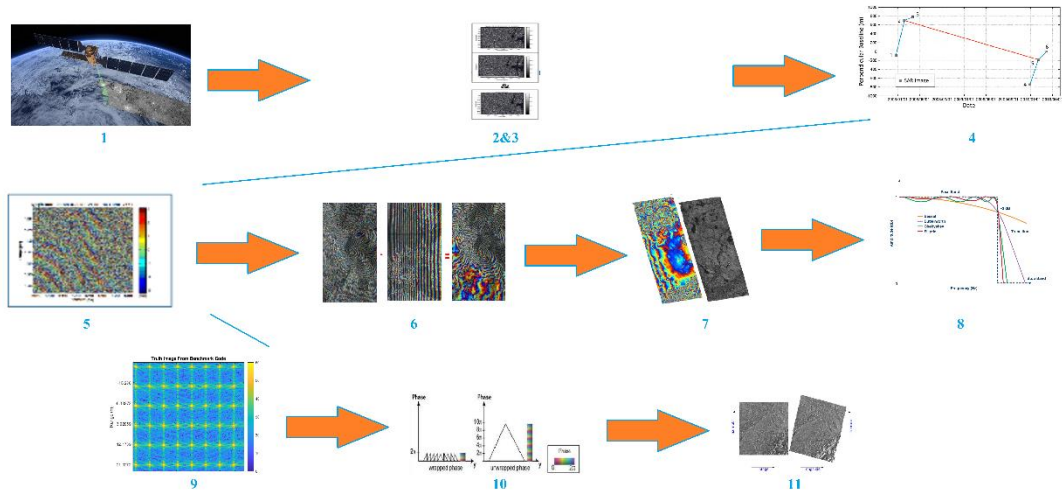
2.4.3 Tekrar geçiş yöntemi

Bu yöntemde SAR görüntüleri bir hava veya uzay platformu üzerindeki tek bir radar sisteminin aynı hat üzerinden tekrarlanan geçişleriyle elde edilir. (Gray ve Farris-Manning, 1993; Massonnet ve Feigl, 1998). Bu yöntem uyduların yörüngesinin mükemmel olmadığı gerçeğinden faydalanır. Uydunun tekrar hareketi sırasında yörüngelerinde birkaç yüz metre kayma olur ve bu sayede açısal bir farklılık oluşur. Oluşan açısal farklılık sayesinde iki farklı perspektifinden elde edilen SAR görüntülerinin faz değerlerinin farklarıyla derinlik yani yükseklik farkı elde edilir ve InSAR görüntüleri oluşturulur. İki antenli tek geçişli interferometre için kullanılan geometri tek antenli iki geçişli interferometre içinde kullanılabilir. Ancak InSAR görüntüleri tek geçişli yöntemle uydu geçişleri arasındaki zaman farkından dolayı zamana bağlı olan diferansiyel fazı da içinde barındırır. Bu sebeple yüzey deformasyonları ile ilgili olayları inceleme imkânı da sunar. Tekrar geçiş interferometrisini ilk kez Li ve Goldstein tarafından 1990 yılında Seasat SAR görüntüleri ile gerçekleştirmiştir (Li ve Goldstein, 1990).

2.5 InSAR Yönteminde İşlem Adımları

InSAR yönteminde işlem adımları:

1. Görüntülerin elde edilmesi.
2. Görüntülerin eşleştirilmesi.
3. Görüntülerin birlikte kaydedilmesi.
4. Baz tahmini.
5. Ön filtreleme.
6. İnterferogramların oluşturulması.
7. İnterferogramların düzleştirilmesi.
8. Tutarlılık haritasının oluşturulması.
9. İnterferogramların filtrelenmesi.
10. Fazların açılması.
11. Konumlandırma, aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. InSAR işlem adımları.

2.5.1 Görüntülerin elde edilmesi

InSAR yönteminde tekniğin başarısı iki SAR görüntüsü arasındaki korelasyona ve görüntülerin tutarlılığına bağlıdır. Yapılacak uygulamada istenilen korelasyonun ve tutarlılığın sağlandığı görüntüler elde etmek için SAR görüntüleri seçilirken geometrik baza, görüntülerin elde etme zamanlarına (Zamansal Baz), atmosferik koşullara ve bant seçimine dikkat edilmelidir.

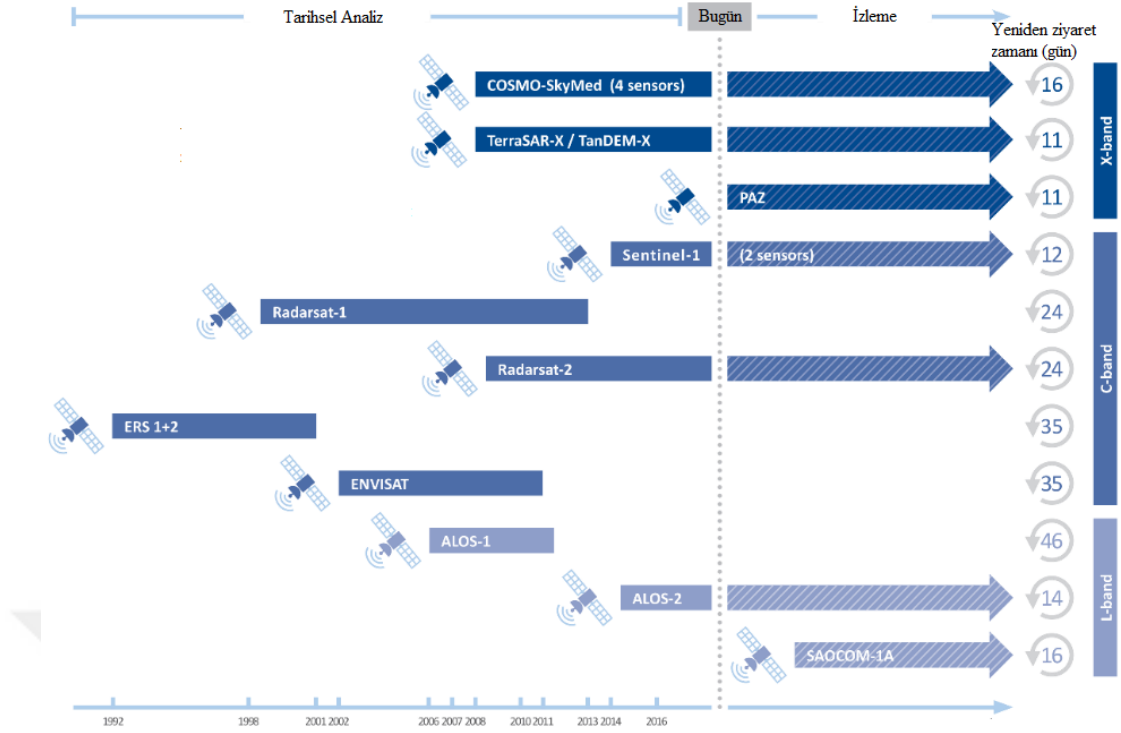
Geometrik baz seçilirken seçilebilecek en küçük aralık seçilmelidir. Çünkü bir piksel bitki örtüsü veya aşırı pürüzlü yüzeyler mevcut olduğunda geometrik bazın uzunluğuna göre daha geniş gözükebilir (Rodriguez ve Martin, 1992).

Zamansal baz seçimi yapılacak olan uygulamaya bağlıdır. Örneğin okyanus akıntıları gibi kısa süreli değişimlerde saniye, yüzey deformasyonlarında ise yıl düzeyinde zamansal baz seçilebilir.

Bant seçimlerinde çalışma alanının yüzeyi yani doğal ve yapay detayları öne çıkar. Örneğin; 5,6 cm dalga boyuna sahip olan C-bandı yüksek saçılma oranına sahiptir ve hafif bitki örtülü alanlarda bile nispeten kolay bir şekilde saçılır. 24 cm dalga boyuna sahip L-bandı ise genellikle yüzeysel bitki örtüsünün altına nüfuz edebilir (Carnec vd., 1996; Rosen vd., 1996; Zebker vd., 1997).

Atmosferik etki ise kullanılan yöntemle göre değişiklik gösterir. Tek geçiş yöntemlerinde zamansal baz sıfır ya da sıfıra çok yakındır, bu durumda atmosferik etki yok denebilecek kadar azdır. Tekrar geçiş yöntemlerinde ise atmosferik etki yüksek düzeyde bir hata kaynağıdır. İnterferogramlardaki atmosferik bozuklukları en aza indirmek için görüntü alım anındaki atmosferik koşullar deformasyon analizlerine dahil edilerek, bu etkilerin olmadığı belirli sahneleri tanımlanabilir (Massonnet vd., 1994). Ayrıca atmosferik etkiler, atmosferik etkilerin olmadığı interferogramların aracılığıyla da azaltılabilir (Zebker vd., 1997; Fujiwara vd., 1998; Sandwell ve Price, 1998). Bazı durumlarda ise GPS veya diğer atmosferik sensörler ile yapılan tamamlayıcı gözlemlerle bir atmosferik gecikme modeli üretmek ve çıkarmak mümkün olabilir (Delacourt vd., 1998; Williams vd., 1998; Burgmann vd., 2000).

İnterferometrik sistemlerde diğer bir dikkat edilmesi gereken ise radar sistemlerinin özellikleridir. Bir sistemin dalga boyu, polarizasyonu ve geliş açısı yapılacak çalışma ile uyumlu olmalıdır. InSAR uygulamalarında kullanılan uydular Şekil 2.18’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.18. SAR uyduları (URL-17'den değiştirilmiştir).

2.5.2 Görüntülerin eşleştirilmesi

Radar interferometrisi için aynı alan üzerinden kaydedilen iki veya daha fazla SAR görüntüsü gereklidir. Ancak görüntüler aynı alan üzerinde kaydedilmiş olsa da görüntü kayıt anındaki radar konumları aynı değildir. Bundan dolayı görüntülerin eşleştirilmesi gerekir. Eşleştirme yapılırken slave SAR görüntülerinin pikselleri master SAR görüntüsünde karşılık gelen pikseller ile eşleştirilir (Hanssen, 2001). Görüntülerin eşleştirilmesi esas olarak görüntülerin küçük bir miktarda döndürülmesi ve menzil ile azimut yönünde yeniden boyutlandırılmasıdır. Eğer iki SAR görüntüsü işleniyorsa hedefe daha yakın olan görüntü master diğerleri ise slave görüntü olarak seçilir ve eşleştirilir (Leica, 2007). Görüntü sayısı ikiden fazla ise master görüntü görüntülerin kendi aralarındaki zamansal ve dik baz göz önüne alınarak seçilmelidir. Ayrıca görüntüler eşleştirilirken piksel boyutunun yani çözünürlüğün onda biri veya daha iyi bir doğrulukta eşleştirilmesi gerekir (Gabriel ve Goldstein, 1988).

2.5.3 Görüntülerin birlikte kaydedilmesi

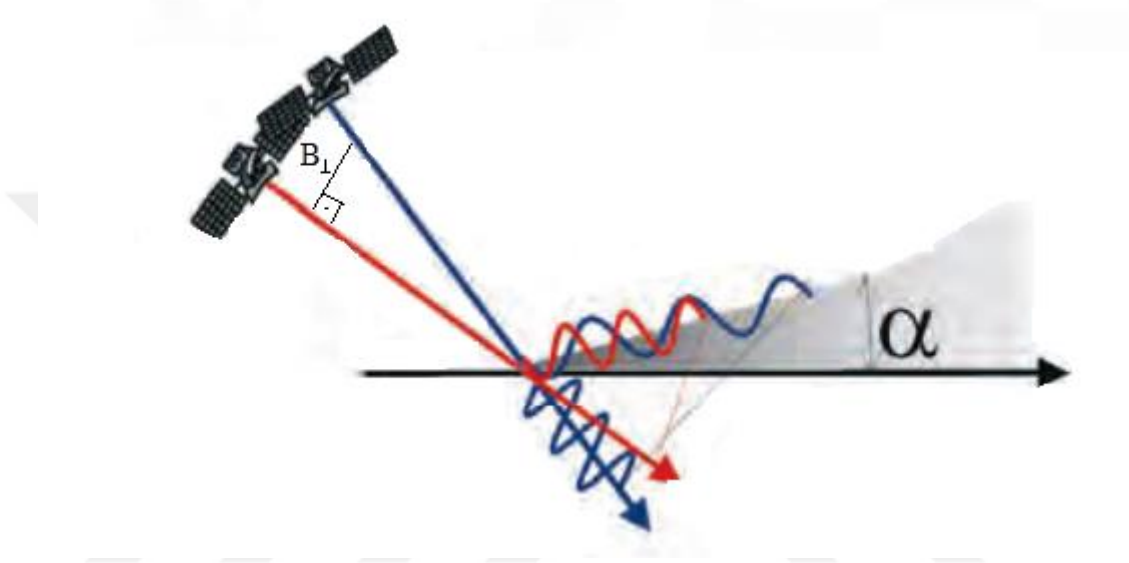
Birlikte kayıt adımı her bir yer noktası için master ve slave görüntülerin aynı menzil ve azimut doğrultusunda piksel piksel kaydedilmesiyle gerçekleşir.

2.5.4 Baz tahmini

Filtreleme interferogramların düzleştirilmesi, fazların açılması ve interferometrinin oluşturulması aşamalarında baz tahmini kullanılır. İnterferometrik baz tahmini InSAR ölçümünün doğruluğunu yüksek oranda etkiler (Qu vd., 2012). Eğer radar sistemleri paralel olarak hareket etmiyorsa her bir nokta için bazlar geliş açısına bağlı olarak değişir. Bazları elde etmek için uyduların yörüngelerindeki hareketleri ve konumları hakkında son derece hassas bilgiler gereklidir. Ancak her bir nokta için bu bilgiler sağlanamadığından noktaların bazlarının tahmin edilmesi gerekir. Noktalar için bazlar tahmin edilirken yörünge bilgileri, interferogramların saçak oranları veya zemin kontrol noktaları kullanılır (Li vd., 2003; Tang vd., 2008; Xu vd., 2011). Baz iki radar sisteminin hedef noktayı görüntüleme anlarındaki konumlarının vektörel farkları olarak da ifade edilebilir. Uydu yörüngelerine dayanan baz tahmin yöntemi, interferometrik bazı tahmin etmek için uydu koordinatlarındaki anlık farkı kullanır ve uydu-yörünge durum vektörünün hassasiyetinden doğrudan etkilenir. Bu sebeple sonuçların hassasiyeti uyduların yörünge vektöründen daha düşüktür. Bazı uydular (TerraSAR ve COSMO-SkyMed) bu düşük hassasiyeti arttırmak için Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri'ni (GNSS) kullanır (Wermuth vd., 2009). İnterferometrik saçak oranlarının kullanıldığı yöntemde ise arazinin düz olması gereklidir. Ancak düz bir arazi her görüntü için mümkün olmamaktadır. Doğruluğu en yüksek yöntem ise yer kontrol noktalarının kullanıldığı yöntemidir. Fakat çoğu durumda hedef bölgeye ait yer kontrol noktalarını elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu sebeple Xu vd. eğim aralığı elipsoidinin, Doppler etkisinin ve yeryüzünün elipsoit modelinin arasındaki matematiksel ilişkiden faydalanarak yapılan iterasyonlarla yer kontrol noktaları üretmiştir (Xu vd., 2011). Üretilen noktalar ise baz kestiriminde kullanmıştır, ancak iterasyona dayalı bu yöntemin doğruluğu sınırlıdır.

2.5.5 Ön filtreleme

SAR sistemlerinin menzilleri uçuş yönlerine dik bir şekilde bulunur. Bu sebeple SAR sisteminin görüntü alım anındaki menzilleri her zaman aynı değildir, yani görüş açıları her zaman birbirinden farklıdır. Bu sebeple görüntüler arasındaki dik baz sıfır değildir. Dik baz sıfır olmadığında SAR görüntüleri arasında bir frekans kayması meydana gelir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Spektral frekans kayması (Qiu vd., 2016'dan değiştirilmiştir).

Frekans kaymasından dolayı örtüşmeyen fazlar interferogram oluşturulurken gürültülere sebep olur, bu sebeple filtrelenmeleri gerekir (Gatelli vd., 1994). Ön filtreleme aşaması menzil yönünde spektral filtreleme ve azimut yönünde spektral filtreleme olmak üzere iki aşamada incelenir. Menzil yönünde spektral filtreleme dik bazların sıfır olmamasından kaynaklanan gürültüleri azaltarak, interferogramlar oluşturmadan önce aralık yönü boyunca çiftler arasındaki korelasyonu geliştirmek için kullanılır. Azimut spektral kayması da SAR görüntülerinin farklı açılardan elde edilmesi nedeniyle görüntülerin azimut spektrumundaki farklarından kaynaklıdır. Bu kaymanın filtrelenmesi de fazların korelasyonunu arttırmak içindir.

2.5.6 İnterferogramların oluşturulması

İnterferogramlar master ve slave görüntülerin birbirine karşılık gelen piksellerinin fazlarının (φ) farklarının alınması ve genlik değerlerinin (G) çarpılmasıyla oluşur.

Yani bir interferogram görüntüler arasındaki korelasyon ve faz bilgisinden oluşmaktadır. Faz farkları yüzey değişimlerini ve yüksekliği temsil ederken korelasyon ise faz bilgisinin ne kadar doğru olduğunu gösterir. Korelasyon ne kadar düşük olursa fazdaki gürültü oranı o kadar yüksek olur.

$$u_1 = x_1 + jy_1 = |G_1| \times \exp(j\varphi_1) \quad (2.28a)$$

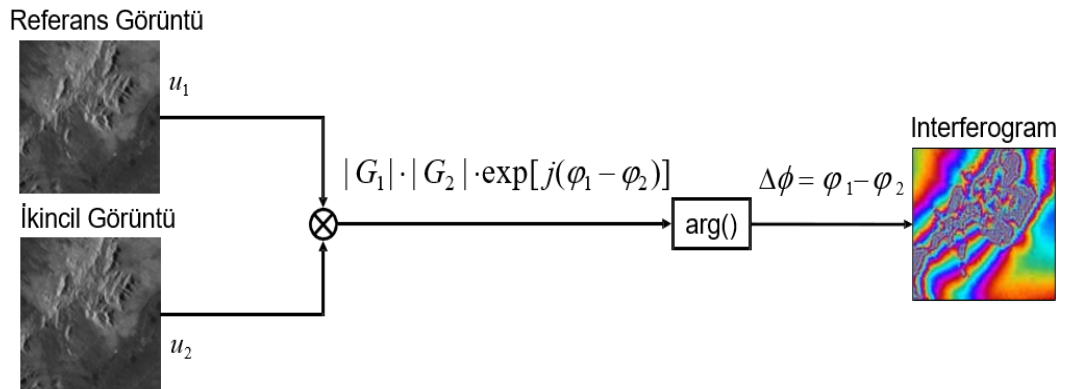
$$u_2 = x_2 + jy_2 = |G_2| \times \exp(j\varphi_2) \quad (2.28b)$$

Radar sistemlerinin bant genişliği sonsuz, referans ve bağımlı görüntünün ise karmaşık bir değere sahip olduğu varsayılırsa u_1 ve u_2 karmaşık görüntü fonksiyonları olmak üzere; SAR görüntülerinin piksel değerlerinin matematiksel ifadesi referans görüntü için 2.28a'daki, bağımlı görüntü için ise 2.28b'deki eşitliklerle ifade edilir (Rosen vd., 2000; Pepe ve Calo, 2017).

$$u_1 * u_2 = (x_1 + jy_1)(x_2 + jy_2) = (x_1x_2 - y_1y_2) + j(x_1y_2 + y_1x_2) \quad (2.29a)$$

$$= |G_1| * |G_2| * \exp [j(\varphi_1 - \varphi_2)] \quad (2.29b)$$

2.29'daki eşitliklerde görüldüğü üzere bağımlı görüntünün piksel değerleri referans görüntünün karmaşık eşleniği ile çarpılarak interferogramın referans görüntü ile aynı azimut ve eğim aralığında kaydedilmesi sağlanır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. İnterferogramların oluşturulması (URL-16'dan değiştirilmiştir).

Oluşturulan interferogramlardaki hesaplanan fazlar birden çok faz değerinin birleşiminden oluşur (Pepe ve Calo, 2017).

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{depl} + \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{yörn} + \Delta\varphi_{atmo} + \Delta\varphi_{saçl} + \Delta\varphi_{gürültü} \quad (2.30)$$

2.30'daki eşitlikte görüldüğü üzere bir faz en basit haliyle 6 bileşenden oluşur:

$\Delta\varphi_{depl} = \frac{4\pi}{\lambda} d_{los}$, SAR görüntüleri elde edilirken zemindeki olası yer değişikliklerinin uydu bakış doğrultusundaki izdüşümünü içeren faz bileşeni.

$\Delta\varphi_{topo}$, Topoğrafyanın yükseklik değerlerini ifade eden faz bileşeni.

$\Delta\varphi_{yörn}$, Topoğrafik faz oluşturulurken yanlış yörünge bilgilerinin kullanılması sonucu ortaya çıkan faz bileşeni.

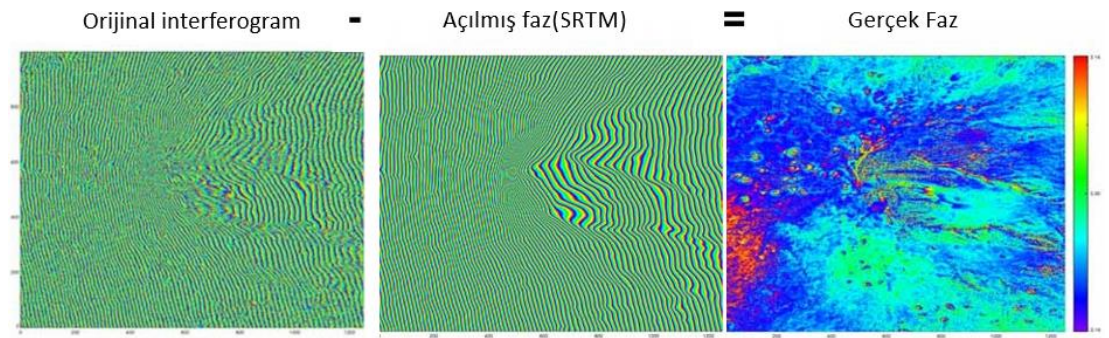
$\Delta\varphi_{atmo}$, Master ve slave görüntülerin elde edilirken farklı atmosferik koşullar olması nedeniyle ortaya çıkan faz bileşeni.

$\Delta\varphi_{saçl}$, Radar darbelerinin farklı saçılma davranışları nedeniyle ortaya çıkan faz bileşeni.

$\Delta\varphi_{gürültü}$, Fazdaki gürültü bileşeni (Hanssen, 2001).

2.5.7 İnterferogramların düzleştirilmesi

Yeryüzü referans yüzeyinin oluşturulan interferograma etkisi vardır. Bu etkinin giderilip interferogramın düzleştirilmesi için yeryüzü fazının orijinal interferogramdan çıkartılması gerekir. Bu tezde yeryüzü fazını gidermek için SRTM uydu görüntülerinden elde edilen SYM'ler kullanılmıştır (Şekil 2.21).

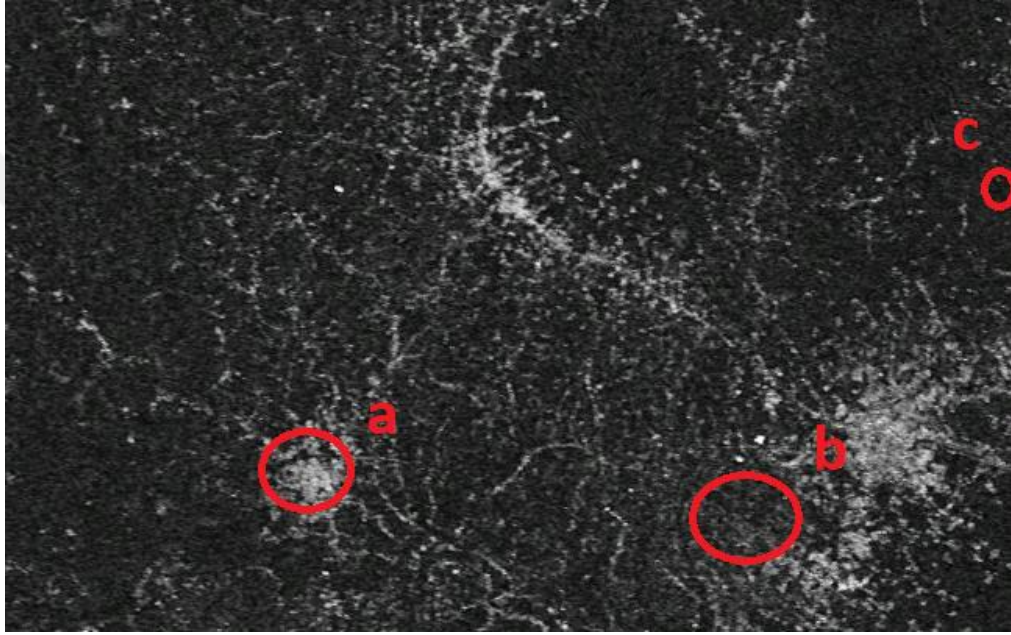


Şekil 2.21. İnterferogramların düzleştirilmesi.

2.5.8 Tutarlılık haritasının oluşturulması

İnterferometrik SAR yönteminde interferogramın kalitesi Doppler farkı, taban çizgisi, atmosferik etki gibi birçok faktörden etkilenir. Verilerin kalitesi tutarlılık haritaları

oluşturularak tutarlılık tahmini ile ölçülebilir. Bir tutarlılık haritası çapraz korelasyonun bir ürünüdür ve kompleks değerli iki SAR görüntüsünün birlikte kaydedilmesiyle oluşur (Lu ve Freymueller, 1998; Zebker ve Villasenor, 1992). Tutarlılık haritasındaki piksellerin değerleri 0-1 arasında değerler alır ve değerler görüntüler arasındaki korelasyona göre belirlenir. Düşük tutarlılığa sahip pikseller siyah ve siyaha yakın tonlarla ifade edilirken yüksek oranda gürültü içerir. Yüksek tutarlılıktaki pikseller ise daha açık tonlarla ifade edilirken gürültü oranları daha azdır (Abdikan vd., 2007; Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Tutarlılık haritası örnek bölgeler.

Örneğin Şekil 2.22'deki tutarlılık haritasında görüldüğü üzere a bölgesinin tutarlılığı 1 değerine yakın olup yüksek bir tutarlılık oranına sahiptir ve gürültü oranı azdır, b bölgesi gri tonlara yakın olup 0 ile 1 değerleri arasında bir değere sahiptir ve gürültü oranı a bölgesine göre daha fazladır, c bölgesi ise ya gölgede kalmıştır ya da yüzeyden yansıyan sinyaller radar antenine geri ulaşmamıştır ve veri elde edilemediğinden dolayı tutarlılık değeri 0'dır.

Tutarlılık tahmin haritaları oluşturulurken tüm SAR görüntüsünü kapsayan hareketli bir pencere içindeki alanların mutlak değerleri hesaplanır. Bu sebeple tutarlılık tahmini yapılırken tahmin penceresinin boyutu tutarlılık tahminini belirleyen en önemli faktördür. Pencere boyutunu artırmak tutarlılık görüntüsünün mekânsal

özünürlüğünü azaltırken, tahmin yanlılığı ve tahmin belirsizliğini de azalır. Bundan dolayı tutarlılığın düşük olduğı alanlarda daha büyük tahmin pencereleri kullanılır (Lee, 1983). Bu tez çalışmasındaki DInSAR ve PS-InSAR uygulamalarda standart pencere boyutu olan 15x15 boyutu kullanılmıştır.

2.5.9 İnterferogramların filtrelenmesi

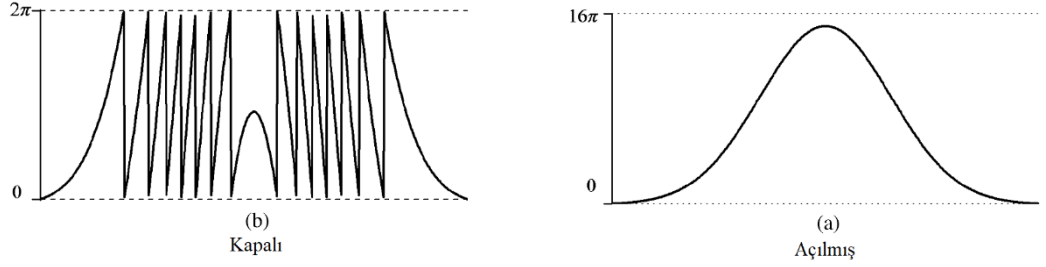
Filtreleme işleminin ana amacı faz gürültüsünü azaltarak artık faz sayısını azaltıp fazların açılma işleminin daha basit ve daha verimli olmasını sağlamaktır. Artık fazlar kapalı bir yörüngede bulunan piksellerin faz farklarının 0 olmadığı durumdaki artakalan fazlardır. Filtreleme işlemi genel olarak adaptif (ayarlanabilen) ve adaptif olmayan (ayarlanamayan) olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilir. Adaptif olmayan filtreleme yöntemleri, filtre katsayılarını her bir kayıt için yeniden hesaplamaz ve bazı sabit pencereleri benimser (Önder ve Acır, 2006). İnterferogramların periyodik özellikleri dikkate alınmadığı için bu yöntem fazların bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle daha çok optik görüntüler için kullanılır. Adaptif filtreleme yöntemi ise faz saçaklarıyla aynı yönde bulunan gürültüleri filtreleme amacıyla saçak yönüne göre en uygun pencere aralığını seçer. Bu sebeple interferometride adaptif olmayan filtreleme yöntemleri daha iyidir. Ancak bu yöntemde filtrelemeden önce işletim penceresinde faz paketinin açılması ve filtrelemeden sonra fazın yeniden paketlenmesi gerekir. Bundan dolayı yönlü pencere plakasını seçmek iş yükünü artırır. Buna rağmen filtreleme hassasiyeti daha yüksek olduğu için adaptif filtreleme yöntemleri yaygın olarak kullanılır. Bu tez çalışmasındaki uygulamalarda lokal saçak spektrumuna dayalı adaptif filtreleme kullanılmıştır (Goldstein vd., 1988). Bu filtre spektrumun genlik değerlerini kullanarak interferogramın spektrumunu küçük parçalar halinde yumuşatmaktadır (Şengöl, 2008). İnterferogramlardaki gürültünün ise diğere sinyallere göre daha düşük genliğe sahip olduğu varsayıp düşük genlikli sinyaller bastırılmakta, büyük genliği sahip olan sinyaller ise zenginleştirilmektedir.

2.5.10 Fazların açılması

Düzleştirilmiş interferometrideki İnterferometrik faz, gerçek fazın 2π 'ye göre bir modudur. Bu sebeple arazi yüksekliğinde bir belirsizliğe neden olur.

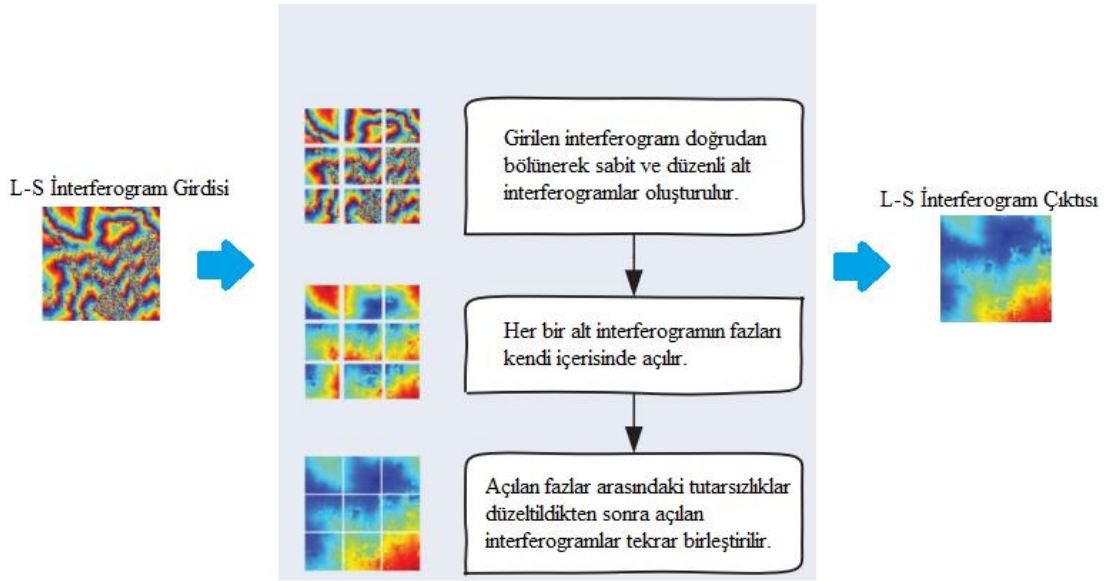
$$\varphi_{açık\ faz} = \varphi_{kapalı\ faz} + k * 2\pi \quad (2.31)$$

Bu belirsizlikten kurtulmak için her faza döngüsü sayısınca 2π eklenmelidir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Fazların açılması (Treviño-Palacios, 2015'ten değiştirilmiştir).

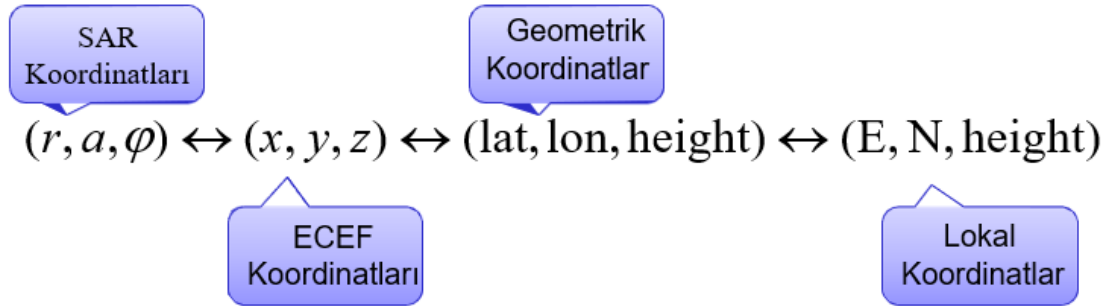
Radar interferometrisinde en zor görüntü işleme aşaması açılmış faz değerinin döngü tahmin aşamasıdır. Çünkü radar anteni ve hedef arasındaki dalga devir sayısı tam olarak ölçülememektedir (Moreira vd., 2012). Devir sayısı tam olarak ölçülemese de fazlar çeşitli yöntemler ile açılabilir ve bu yöntemler prensip olarak benzerdir. Temel olarak bakıldığında bir piksel ve ona bitişik olan piksellerin fazlarının farkı yarım döngü aralığında bulunur. Yani faz farklarının mutlak değerleri π 'den küçüktür. Bu durumda dikey ve düşey yöndeki faz farkları iki yön boyunca hesaplanarak fazlar açılır (Qing vd., 2014). Bu tezde L-S yani Least Squares (En Küçük Kareler) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin işlem adımları Şekil 2.24'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.24. L-S faz açılımı işlem şeması.

2.5.11 Konumlandırma

Konumlandırma, SAR koordinatlarının olağan koordinatlara çevrilmesidir yani coğrafi kodlama aslında yeniden örnekleme bir çeşididir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25. İnterferometrik görüntülerinin konumlandırılması.

2.6 İnterferometrik SAR Uygulama Alanları

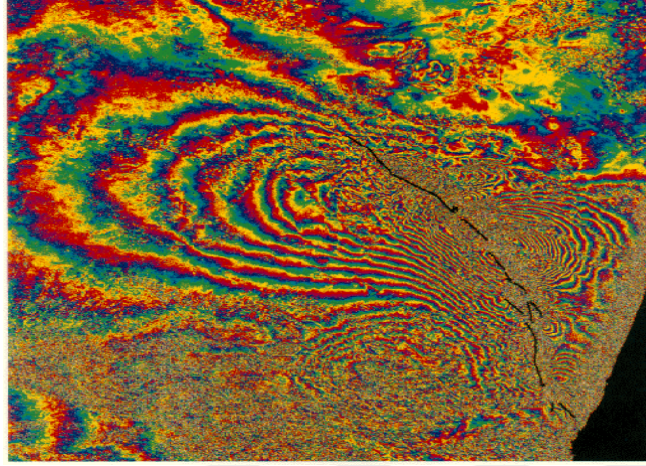
İnterferometrik SAR yöntemleri; yüzey hareketlerinin izlenmesi, sayısal yükseklik modeli oluşturma, yeryüzündeki objelerin sınıflandırılması ve ayırt edilmesi olmak üzere 3 ana başlık altında incelenir.

2.6.1 Yüzey hareketlerinin izlenmesi

LOS boyunca görüntünün bir parçası veya birkaç parçasında bir yer değiştirmesi varsa yer değiştirme görüntünün geri kalanına göre doğrudan bir faz kayması olarak yansır. Her bir tam faz kayması bir dalga boyu (2π faz farkı) kadar fark yaratır. Ancak bu fark görüş hattı boyunca hem gidişe hem de dönüşte yansıyan bir fark olduğu için asıl fark yarım dalga boyu kadardır. Bu zemin yüzeyi hareketlerinin (deformasyonunun) InSAR kullanılarak nasıl ölçüldüğü ilkesidir (Goldstein vd., 1989). Yüzey deformasyonları çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelebilmektedir. Başlıca deformasyon sebepleri deprem, volkanik hareketler, toprak kaymaları, kumul hareketleri, toprak çökmeleri, patlamalar ve buzul hareketleri olarak sıralanabilir.

Yüzey deformasyonları arasında deprem son yıllarda en çok ilgi gören çalışma alanlarıdır. Reid'in (1911) elastik serbestlenme (elastic rebound) teorisi ile deprem döngüsü modellemeleri ve yeryüzünün yer değiştirmelerine ilişkin çalışmalar başlamıştır. Bu modellemelerin ve yer değiştirmelerinin jeodezik ölçüm yöntemleriyle belirlenmesi mümkündür. Jeodezik ölçüm yöntemlerinde deprem çalışmaları yersel bir saha araştırması olup olmamasına bağlı olarak çeşitli türlere ayrılabilir. İnterferometrik SAR yöntemleriyle yapılan deprem incelemeleri herhangi bir saha araştırmasına bağlı değildir. Deprem bölgesinin depremden önceki bir SAR görüntüsü varsa ve deprem sonrası bir SAR görüntüsü ile tutarlı bir interferogram oluşturulabilirse, dünyanın en uzak bölgelerinde bile deformasyonları izlemek mümkündür. Yersel hazırlık gerektiren ölçümlerde ise daha önceden yer noktaları tahsis etmek gerekir. InSAR ölçümleri yersel ölçümler ile kıyaslandığında; yersel ölçümlerde yer noktaları belirli aralıklarla tahsis edilir (örneğin GPS 10 km). Bundan dolayı o aralıktan daha küçük veya daha büyük deformasyonların yakalanması olası değildir. Öte yandan InSAR ölçümleriyle birkaç kilometrekarelik küçük alanlardan birkaç yüz kilometrekarelik büyük alanlara kadar farklı boyutlardaki yüzeylerde deformasyonları ölçmek mümkündür. Depremlerle ilgili ilk InSAR çalışması 28.06.1992 yılında meydana gelen Kaliforniya merkezli Landers depremi üzerine yapılmıştır (Massonnet ve Rabaute, 1993). Massonnet ve Rabaute Landers depremini incelerken depremden 65 gün önce (24.04.1992) ve 355 gün sonra (18.06.1993) olmak üzere iki adet SAR görüntüsü ve mevcut bir SYM kullanmıştır. Çalışma sonucunda 7,3 büyüklüğündeki Landers depreminin 112 mm'lik bir harekete sebep olduğunu

tespit etmişlerdir. Daha sonra Zebker aynı bölge için kendi ürettiği bir SYM ile bir çalışma gerçekleştirmiştir (Zebker vd., 1994; Şekil 2.26).

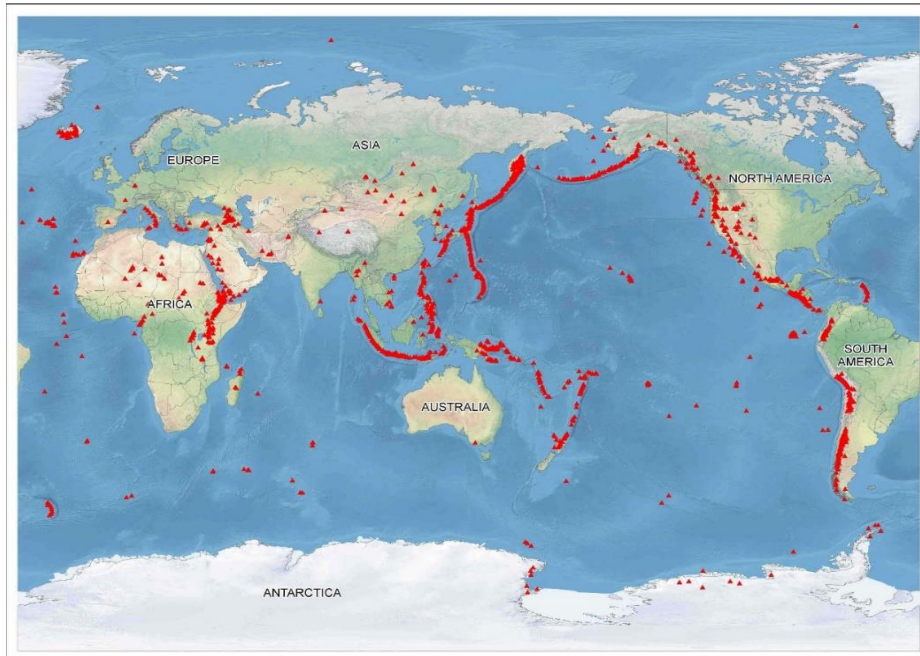


Şekil 2.26. Landers depremi interferometrisi (Massonnet ve Rabaute, 1993).

Bu çalışmalardan sonra InSAR yöntemi depremlerde, özellikle kör faylarda meydana gelen depremlerde kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalarda genellikle depremlerin temel özellikleri ve yerleri hakkında önemli bilgiler edinme amaçlanmıştır. InSAR yöntemi ile incelenen 1992 Landers depremi (Peltzer vd., 1994; Price ve Sandwell, 1998), 1993 Nevada Eureka Vadisi depremi (Massonnet ve Feigl, 1995; Peltzer ve Rosen, 1995), 1994 California Northridge depremi (Massonnet vd., 1996; Murakami vd., 1996), 1995 Japonya Kobe depremi (Ozawa vd., 1997), 1995 Yunanistan Grevena depremi (Meyer vd., 1996), 1995 Rusya Kuzey Sahalin Adası depremi (Tobita vd., 1998), 1995 Antofagasta depremi (Pritchard vd., 2002), 1995 Türkiye Dinar depremi (Anderson vd., 2001), 2001 İzmit depremi (Wright vd., 2001; Burgmann vd., 2002) ve 2000 Güney İzlanda depremi (Pedersen vd., 2001) öncü çalışmalar olarak literatürde yerini almıştır. InSAR yönteminde depremlerin etkileriyle birlikte deprem sonrası yani post-sismik denilen artçı sarsıntılar veya yakın faylardaki geçici kaymalar da incelenmektedir. Örneğin Landers depreminden sonraki 5,4 şiddetindeki artçı depremle ilişkili deformasyon çalışmaları (Massonnet vd., 1994; Feigl vd., 1995), fay zonu çöküşleri (Peltzer vd., 1998) bu tür çalışmaların ilk örnekleridir. Bu tez çalışmasında 2015 Şili Illapel depremi ve 2015 Peru Loreto depremi incelenmiştir. İki çalışmanın da odak noktası olan Peru-Şili deprem bölgesi incelendiğinde geçen yüzyıl boyunca meydana gelen birçok büyük depremin bu bölgede meydana geldiği görülmektedir. Bundan dolayı bu bölge sismik, intersismik

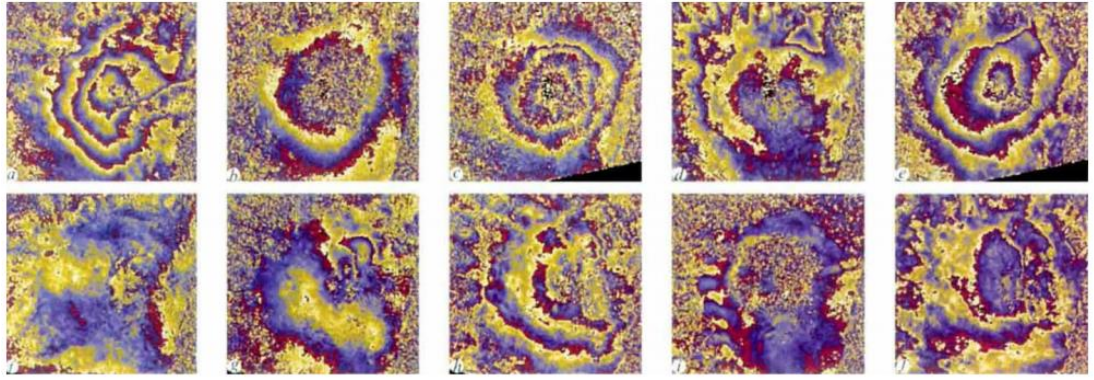
ve postsismik olmak üzere çeşitli çalışmalarının odak noktası oluştur. Bu hareketliliğin temel sebebi bölgenin levha hareketlerinden çok sık etkilenmesidir. Özellikle Nazda Plakası'nın yılda 74 mm'lik bir hızda Amerika Kıtası'nın altına olan hareketi depremleri tetikleyen en büyük etmendir (De Mets vd., 2010).

Depremlerde olduğu gibi volkanik afetlerden dolayı da yeryüzünde deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden volkanik afetler yüzyıllar boyunca insanlar için büyük kayıplara ve tehlikelere neden olmuştur. Bu tür afetler önlenemez olsa da hazırlıklı olmak tehlikeyi azaltmanın en iyi yoludur. Özellikle en çok zarara yol açan depremlerin ve volkanların nerede ve ne zaman ortaya çıktığını belirlemek için aktif volkanizmanın ve depremlerin doğasını anlamak çok önemlidir. Öncü fenomenlere bağlı olarak deprem tahminleri güvenilirmez olsa da volkanik patlamalar genellikle volkanik yapı boyunca magmanın yükselişini yansıtan karakteristik deformasyon kalıplarının artmasından hemen sonra gerçekleşmektedir (Bürgmann vd., 2000). Bu sebeple volkanik bölgelerdeki değişimler gözlemlendiğinde, bazı volkanik hareketler önceden tahmin edilebilmektedir. Dünya üzerindeki volkanlar incelendiğinde yaklaşık 1000 volkan potansiyel olarak aktif kabul edilir ve önemli bir kısmı yüksek nüfus yoğunluğu olan alanlarda bulunur (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Dünya aktif volkan haritası (URL-18).

Bu volkanların sadece küçük bir kısmı herhangi bir zamanda aktiftir olsa da sadece bazılarının hareketleri GNSS veya karasal yöntemlerle izlenebilmektedir. Ancak her ne kadar izlenebilse de patlama meydana geldiğinde bir volkanın doğrudan karasal yöntemlerle izlenmesi zordur. Bu nedenle InSAR gibi uzaktan algılama yöntemleri ile volkanik aktivitelerin izlenmesinin birçok avantajı vardır. Bunlar deformasyonun sürekli gözlenmesine olanak veren yüksek mekânsal çözünürlük, düşük maliyet, küresel kapsama alanı, uzaktan izleme sayesinde güvenlik olarak sıralanabilir (Jonsson, 2002). Volkanik hareketler üzerine ilk çalışma Etna Yanardağı'nı gözlemlemek amacıyla yapılmıştır (Massonnet vd., 1995). Massonnet vd. Etna Yanardağı'nın 17.05.1992'den 24.10.1993'e kadar olan 473 günlük hareketini gözlemlemek için InSAR yöntemini kullanmıştır. (Şekil 2.28).



Şekil 2.28. Etna Yanardağı InSAR görüntüleri (Massonnet vd., 1995).

Volkanik hareketlere yönelik diğer öncü çalışmalar ise Hawaii'deki Pu'u O'o (Rosen vd., 1996), İzlanda'daki volkanizmalar (Sigmundsson vd., 1997; Vadon ve Sigmundsson, 1997), Japonya Izu Yarımadası (Fujiwara vd., 1998), Galapagos Fernandina Yanardağı (Jonsson vd., 1999), Long Valley (Thatcher ve Massonnet, 1997; Simons vd., 1998) ile volkan yüzeyinin ve iç süreçlerinin izlenmesine yönelik diğer çalışmalar (Zebker vd., 2000) olarak verilebilir. Bu tez çalışmasında 2018 yılında patlayan Mayon Yanardağı incelenmiştir.

İnterferometrik SAR yöntemi ile incelenen diğer yüzey deformasyonları ise heyelanlar, buzul hareketleri, yüzey kaymaları ve yüzey çöküntüleri ile yükselmeleri olarak sınıflandırılabilir. Arazi çökmesi, yer yüzeyindeki malzemenin kademeli olarak veya aniden çökmesidir. Çökmeler genel olarak sağanak yağışlar, yeraltı sularının çekilmesi,

yeraltı madenciliği ve organik topraklarda drenaj çalışmaları gibi insan veya doğal kaynaklı birçok sebepten dolayı gerçekleşebilir. Çökmeler GPS gibi uzun vadeli gözleme dayalı yersel yöntemlerle belirlenebildiği gibi InSAR gibi uzaktan algılama yöntemleri ile de belirlenebilir. InSAR ile yapılan heyelan ve arazi yüzeyine ilişkin çalışmalar genellikle ön uyarı sistemleri için kullanılmaktadır (Leva vd., 2003). Bu tür çalışmalarda riski taşıyan arazilerin dik ve pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olması, büyük veya çok küçük hareket oranları ve atmosferik koşullar göz önüne alındığında gürültü oranları genelde interferometrik ölçümleri etkiler ve deformasyon tespitlerini engeller. Bu nedenle böyle durumlarda uydu bazlı sistemlere ek olarak yer bazlı SAR sistemlerine de ihtiyaç duyulabilmektedir. Ancak yer bazlı SAR sistemlerine ihtiyaç duymadan yüzey hareketlerinin izlenmesinde ve heyelan tespit çalışmalarında ortaya çıkan arazinin yansıtıcı özelliklerinin getirdiği gürültülerin ve rastgele değişen atmosferik etkilerin giderildiği bir InSAR ölçme yöntemi olan PS-InSAR (kalıcı saçılım) yöntemi ile de mm düzeyinde doğruluk elde edilebilmektedir. Geçmişe bakıldığında InSAR yönteminin, kömür madenciliğinden kaynaklanan çökmeler (Carnec vd., 1996; Haynes vd., 1997), petrol sahalarındaki çöküntüler (Fielding vd., 1998), yeraltı sularının çıkartılması (Galloway vd., 1998) gibi birçok farklı sebepten kaynaklanan çöküntülerin belirlemede kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında Konya havzasında bulunan Konya iline bağlı Karapınar ilçesindeki düşey deformasyonlar incelenmiştir.

InSAR yöntemi ile çeşitli sebeplerden meydana gelen doğal veya insan kaynaklı patlamalar da incelenebilmektedir. Bu tez çalışmasında Çin'in Jiangsu kentinde meydana gelen Chenjiagang Kimya Sanayi Fabrikası'nın patlaması incelenmiştir.

Bir diğer yüzey deformasyonu türü ise iklim dalgalanmalarına karşı aşırı hassas olan buzulların hareketleridir. Buzul ölçümlerinde buzulların dinamiklerini, buzul kaymalarını, buz tabakalarının ölçüm hassasiyeti önemlidir. Buzullarda yersel ölçümler hava koşulları nedeniyle çok zordur, bundan dolayı InSAR ölçüm yöntemleri buzul hareketleri için ideal bir ölçme yöntemidir ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır (Goldstein vd., 1993; Mohr ve Madsen, 1996; Haarpainter vd., 2000).

2.6.2 Sayısal yükseklik modeli (SYM) üretimi

SYM'ler zemin ölçümleri, fotogrametri, lazer tarama, optik ve radar uzaktan algılama gibi farklı teknikler ve veri kaynakları kullanılarak oluşturulabilir. Özellikle uydu uzaktan algılama teknikleri geniş arazi alanlarında nispeten doğru topoğrafik bilgi elde etmek için verimli, düzenli bir program ve uygun maliyetli araçlar sağlar (Nitti vd., 2009). Genel olarak bakıldığında SYM'ler optik stereo uydu görüntülerinden veya hava stereo fotoğraflarından üretilir. Ancak stereo çiftleri ile yükseklik çıkarımları yapmak için uygun bir taban yükseklik oranına ihtiyaç vardır (Eckert vd., 2005). Bununla birlikte optik sistemler güneş aydınlatmasına ve hava koşullarına (bulut, duman ve fırtına gibi) yüksek oranda bağımlılık gösterir. Fakat radar sistemleri (aktif sistemler) ise neredeyse tüm hava koşullarında çalışabilir ve kendi aydınlatmasını kendi sağladığı için gece ve gündüz olmak üzere 24 saat ölçüm yapabilmektedir. Hava bazlı radar sistemleriyle topoğrafik haritalama deneyi ilk kez Amerika Birleşik Devletleri ordusu tarafından 1971'de gerçekleştirilmiştir. Graham'ın 1974'te InSAR verilerinden topoğrafik harita üretiminden sonra bu yöndeki çalışmalar hızlanmıştır (Hanssen, 2001).

2.6.3 Yeryüzündeki objelerin sınıflandırılması ve değişim analizleri

InSAR yöntemi erozyon, tortulaşma, orman alanlarının tahmini, orman yangınlarının izlenmesi, bitki örtüsünün belirlenmesi, maden arama gibi birçok farklı alanda çalışma yapmak için uygun bir yöntemdir. Ayrıca toprak nemi, su seviyelerinin net hacimsel değişimi ile ilgili tahminler de InSAR kullanılarak elde edilebilir (Snieder vd., 2007; König vd., 2001). Geri saçılmış sinyal yoğunluğunun (genlik) toprak nemine duyarlılığı literatürde yerini almıştır. Ancak fazın toprak nem koşullarına duyarlılığı konusunda çok az araştırma yapılmıştır. Az sayıda olan bu araştırmalar faz ve toprak nem profili arasındaki ilişkiyi basit bir şekilde belirlemenin mümkün olmadığını göstermiş olsa da toprak neminin genel eğiliminin korelasyon katsayısı üzerindeki etkisi kanıtlanmıştır. Toprak dielektrik sabitinin sadece radar geri saçılımının genliğini değil, aynı zamanda geri saçılan radar darbelerinin fazını da etkilemesi bu çalışmaların ana konusunu oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında hem sinyal yoğunluğu (genlik) değerleri hem de faz değerlerini kullanıldığı verilerle 22 Aralık 2018 Endonezya Sunda Boğazı'nda meydana gelen tsunami incelenmiştir. Tsunamiler doğal veya yapay

kaynaklı dış kuvvetler sonucu enerji seviyesi yüksek uzun periyotlu ve yüksek etkili dalgalardır. Kelime anlamı olarak ‘tsunami’, Japonca’da liman (tsu) dalgası (nami) anlamına gelen ‘津波 (つなみ)’ sözcüğünden türemiştir. Doğal bir tehdit olarak incelendiğinde tsunamilerin, insan hayatına zarar verebilecek büyük yıkımlara yol açma gücüne sahip olduğu görülmektedir (URL-19). Tarihi kaynaklar ve bilimsel makaleler incelendiğinde Tsunamilerin dünyanın herhangi bir büyük denizinde ortaya çıkabileceği gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalar son 3000 yılda ülkemizde 90’dan fazla tsunami meydana geldiğini göstermektedir. Özellikle veri anlamında zengin olan yakın tarih incelendiğinde en fazla bilğimiz olan tsunamiler 1509 ve 1894 tarihli İstanbul, 1598 tarihli Amasya, 1963 tarihli Doğu Marmara, 1939 Erzincan, 1968 Bartın depremleri sonucu meydana gelen tsunamilerdir (Necmioğlu vd., 2018). Dünya çapında incelendiğinde ise tsunamilerin %80’lik bir oranla en çok Pasifik bölgesinde meydana geldiği görülmektedir. Özellikle yoğun tektonik ve volkanik hareketler sebebiyle çalışma bölgesinin de bulunduğu Pasifik Ateş Çemberi’nde şiddetli tsunamiler meydana gelmektedir (URL-19).

InSAR yöntemi ile orman yangınları da incelenebilmektedir. Orman yangınları geniş çaplı doğa olayları olarak nitelendirilseler de yangınlarının yaklaşık olarak %90’ı dolaylı veya doğrudan olarak insan kaynaklı başlamaktadır. Bundan dolayı daha çok insan kaynaklı bir afet türüdür. InSAR yöntemiyle orman yangınları incelenirken, yangın sonucu meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerin faz ve genlik değerlerine olan etkisinden faydalanılır. Bu tez çalışmasında 23.07.2018 ile 30.08.2018 arasında gerçekleşen Kaliforniya Carr Yangını incelenmiştir.

3. METODLAR

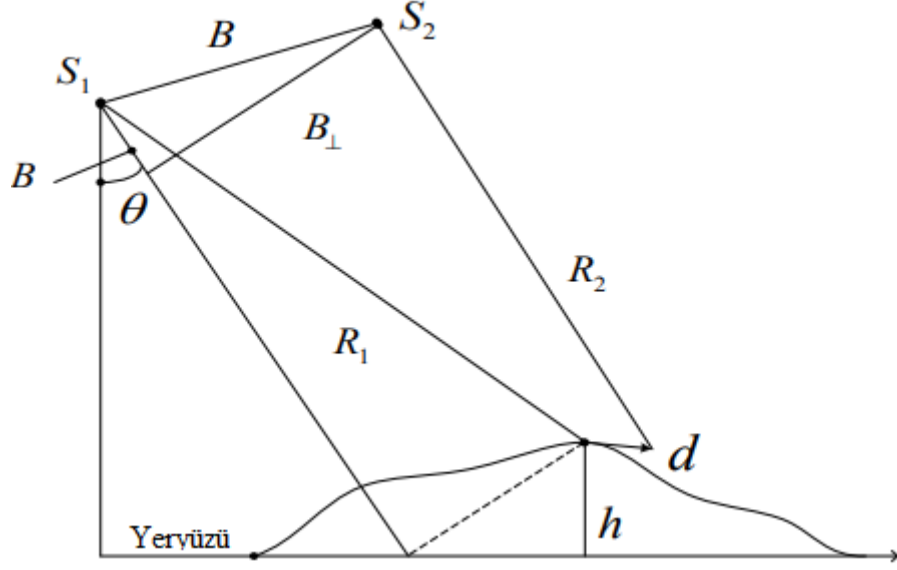
InSAR çalışmalarında SAR görüntülerinin kullanımına göre çeşitli ölçme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerin SYM oluşturma, deformasyon ölçümleri ve değişim belirleme gibi birçok farklı kullanım amacı vardır. InSAR çalışmalarında kullanılan yöntemler kullanım amacı, hedef bölgenin yansıma özellikleri, hava koşulları gibi birçok sebepten dolayı farklılık gösterirler. Bu tezde DInSAR, Ps-InSAR, genlikler ile değişim belirleme ve tutarlılık haritaları ile değişim belirleme yöntemleri kullanılmıştır.

3.1 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (DInSAR)

Teorik olarak belirli bir hedef nokta için aynı pozisyonda iki farklı zamanda alım yapılırsa dik baz yoktur ve interferogramın fazı sadece alım zamanları arasındaki topoğrafyadaki değişime bağlıdır. Ancak iş uygulamaya döküldüğü zaman uydu görüntüleri arasında dik bazla orantılı bir pozisyon farkı olduğu görülür. Bu farktan istenmeyen faz bileşenin içinde atmosferik etkiler, yörüngesel etkiler ve gürültüyle birlikte topoğrafya bileşenini de bulunur. InSAR uygulamalarında topoğrafya bileşenini elimine etmek için ise Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (Differential SAR Interferometry-DInSAR) kullanılmaktadır. DInSAR yönteminde üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan ilki iki SAR görüntüsü ve harici SYM'nin kullanıldığı iki geçişli yöntem. İkincisi üç SAR görüntüsünün kullanıldığı üç geçişli yöntem. Sonuncusu ise dört SAR görüntüsünün kullanıldığı dört geçişli yöntemdir.

3.1.1 İki SAR görüntüsü ve harici SYM'nin kullanıldığı iki geçişli yöntem

İki geçişli DInSAR yönteminde topoğrafik fazını simüle etmek için SYM kullanılır. İlk olarak SYM koordinatları radar koordinatlarında değilse radar koordinatlarına dönüştürülür. Böylece SYM ve SAR görüntülerinin fazları aynı referans sisteme getirilmiş olur. Daha sonra SYM koordinatları radar azimut koordinatlarına dönüştürülür ve taban çizgisi kullanılarak ölçeklendirilir. Ölçeklenen SYM'den elde edilen topoğrafik faz, oluşturulan interferogramdan çıkartılarak topoğrafik faz elimine edilir (Hanssen, 2001). İki geçiş yönteminin kullanıldığı geometri klasik InSAR geometrisinde olduğu gibidir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. İki geçişli DInSAR geometrisi (Qu vd., 2010'dan değiştirilmiştir).

Hedef noktayı gözlemleyen S_1 ve S_2 uyduları farklı konumlarda olduğu için faz bileşeni topoğrafya ve diferansiyel fazlarının ikisini de içerir. Ancak istenilen faz diferansiyel faz olduğu için topoğrafya etkisinin giderilmesi gerekir.

$$\varphi_{12} = -\frac{4\pi}{\lambda}(R_1 - R_2) = \varphi_{diff} + \varphi_{top} \quad (3.1a)$$

$$\varphi_{diff} = \varphi_{12} - \varphi_{top} \quad (3.1)$$

3.1'deki eşitliklerde görüldüğü üzere φ_{diff} diferansiyel fazdır ve oluşturulan interferogramdan topoğrafya fazı olan φ_{top} 'un çıkarılmasıyla elde edilir.

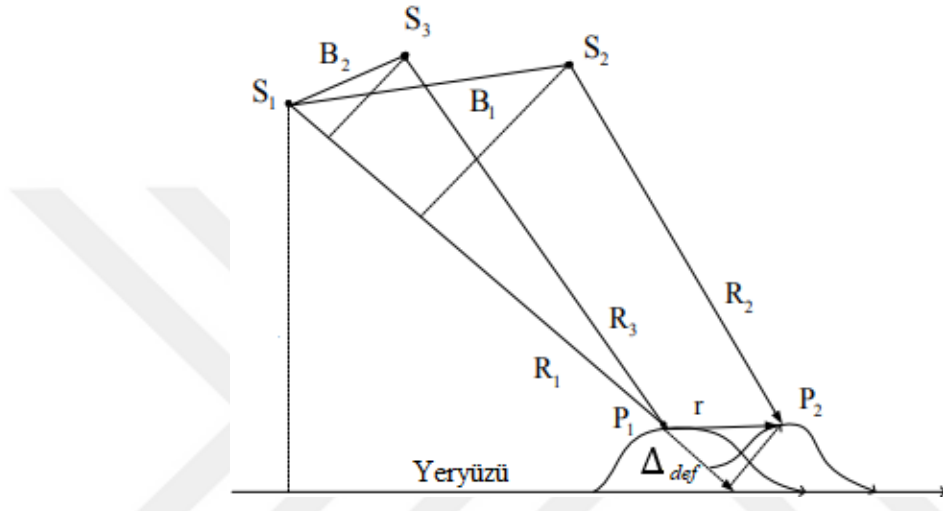
$$\Delta_{def} = \frac{\lambda}{4\pi} \varphi_{mut} \quad (3.2)$$

Yüzey deformasyonu ise Δ_{def} ile ifade edilir ve diferansiyel fazın açılmasıyla elde edilen mutlak faz φ_{mut} ile hesaplanır (Qu vd., 2010).

3.1.2 Üç SAR görüntüsünün kullanıldığı üç geçişli yöntem

Üç geçişli interferometrik yöntemde iki interferogram oluşturmak için üç SAR görüntüsü kullanılır. Oluşturulan bir interferogram topoğrafik faz bilgileri içerirken diğer interferogram topoğrafik fazla birlikte diferansiyel fazı da içerir. Oluşturulan interferogramlardan sadece topoğrafik fazı içeren interferogramın deformasyon

içermemesi için SAR görüntülerinin arasındaki zaman farkı kısa olmalıdır. İlk olarak interferogramlar oluşturulur daha sonra ise ilk interferogramın fazı ikinci interferogramın fazından çıkartılarak topoğrafik etki giderilir. Elde edilen görüntüye çifte fark interferogram (double-difference interferogram) adı verilmektedir (Hanssen, 2001; Aydoğan ve Maktav, 2006). Örnek bir hedef bölge için S_1 , S_2 ve S_3 üç farklı uydu olmak üzere, üç geçişli DInSAR yöntemi geometrisi Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Üç geçişli DInSAR geometrisi (Qu vd., 2010’dan değiştirilmiştir).

$$\varphi_{12} = -\frac{4\pi}{\lambda}(R_1 - R_2) \quad (3.3)$$

Topoğrafya fazı içeren ilk interferogram olan φ_{12} ’nin fazı 3.3’teki eşitlik ile hesaplanır.

$$\varphi_{13} = -\frac{4\pi}{\lambda}(R_1 - R_3) + \frac{4\pi}{\lambda}\Delta_{def} \quad (3.4)$$

Hem diferansiyel fazı hem de topoğrafya fazını içeren ikinci interferogram φ_{13} ise 3.4’teki eşitlik ile hesaplanır.

$$\varphi_{diff} = \varphi_{13} - \varphi_{12} \quad (3.5a)$$

$$\Delta_{def} = \frac{\lambda}{4\pi}\varphi_{diff} \quad (3.5b)$$

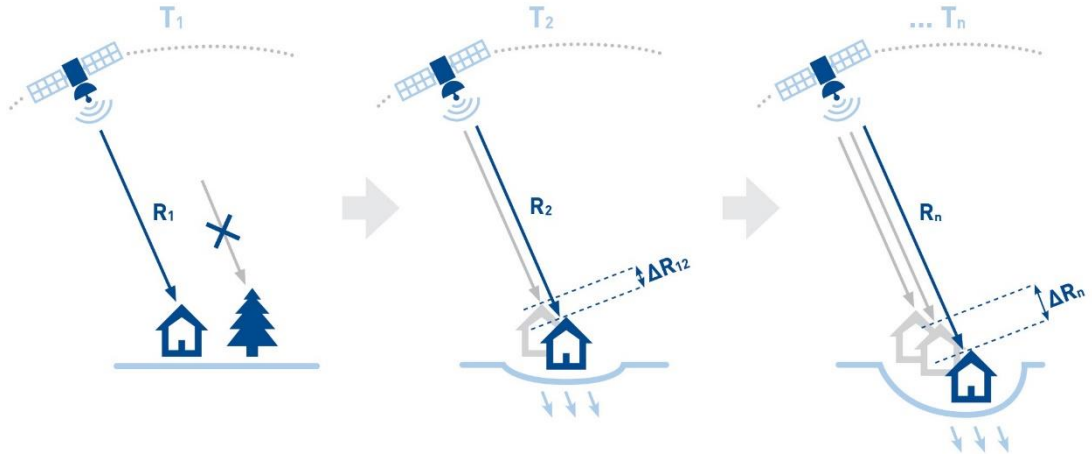
Son olarak ise 3.5'teki eşitlikte verildiği gibi iki interferogramın birbirinden çıkartılmasıyla topoğrafya fazı elimine edilir ve diferansiyel faz elde edilir. Elde edilen diferansiyel faz yardımıyla yüzey deformasyonuna ulaşılır (Qu vd., 2010).

3.1.3 Dört SAR görüntüsünün kullanıldığı dört geçişli yöntem

Dört geçişli DInSAR yöntemi mevcut kaynakların ortak görüntü ile interferometrik görüntü çiftleri oluşturmaya imkân vermediği durumlarda kullanılır. Bu yöntemde 4 ayrı uydu konumundan elde edilen SAR verileri ikiye bölünerek eşleştirilerek iki farklı interferogram oluşturulur. Daha sonra farklı geometriye sahip iki interferogram birlikte işlenerek yeniden örneklenir ve birbirinden çıkartılır. Böylece topoğrafik faz etkisi giderilmiş olur (Derauw ve Moxhet, 1996).

3.2 Kalıcı Yansıtıcı Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (PS-InSAR)

Kalıcı Yansıtıcı SAR İnterferometri (Permanent Scatterer SAR Interferometry, PS-InSAR) teknikleri ilk olarak Milano Politeknik Üniversitesinin (POLIMI) (1999) PS-InSAR algoritmasını üretilip patentlediğinde ortaya çıkmıştır. PS-InSAR tekniği gözlem süresi boyunca yüksek faz kararlılığı sergileyen tutarlı radar hedeflerini izlemeyi amaçlamaktadır. Bu hedefler genellikle kentsel alanlarda bulunsalar da (örn. binalar, metalik nesneler, direkler, antenler) kentsel olmayan alanlarda da (insan yapımı nesneler ve kayalar gibi sabit objeler) bulunabilir. PS-InSAR yönteminde SAR görüntüleri kullanımı DInSAR yönteminden farklıdır. DInSAR yönteminde olduğu gibi iki SAR görüntüsünden oluşturulan tek interferogram yerine çoklu interferogramlarla oluşturulmuş zaman serileri üzerinden analiz yapılır (Ferretti vd., 2000). PS-InSAR yöntemi, farklı görünümüne açılardan farklı zamanlarda toplanan bir dizi SAR görüntüsünün genliklerinin ve fazlarının istatistiksel analizi olarak da tanımlanabilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. PS-InSAR yöntemi (URL-20).

Atmosferik faz SAR görüntüleri elde edilirken mekânsal korelasyonu bozan bir etki gösterir ancak zamanla ilişkisizdir. Topoğrafik faz sabittir ve zaman ile değişmez. Hedefin harekete bağlı faz terimi ise genellikle zamanla ilişkilidir ve farklı derecelerde mekânsal korelasyon sergileyebilir (örn. su pompalamasından kaynaklanan çökmeler, arıza yer değiştirmeleri, lokal olarak kayan alanlar, yıkılan binalar). Bu sebeple atmosferden ve topoğrafyadan gelen faz bileşenleri PS konumlarına uygun olarak ayrılabilir ve hareketten kaynaklanan faz yalnız bırakılabilir (Rocca vd., 2010). PS-InSAR yönteminde deformasyon bileşeni doğrusal (linear) veya doğrusal (non-linear) olmayan faz bileşenleri içerir. Bu bileşenlerle birlikte atmosferik faz bileşeni, topoğrafik bileşen ve gürültü ile birlikte bir PS noktasının denklemi şu şekildedir (Wang vd., 2018):

$$\Delta\varphi_{diff} = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta t \Delta v + \frac{4\pi}{\lambda} * \frac{B_{\perp}}{\rho \sin \theta} \Delta h + \Delta\varphi_{atms} + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta D_{non-linear} + \Delta\varphi_{noise} \quad (3.6)$$

3.6'daki eşitlik incelendiğinde Δt zamansal baz, ρ eğim aralığı, $\Delta\varphi_{diff}$ diferansiyel gözlemdir. Doğrusal olmayan deformasyon hızı Δv ile artık topoğrafik faz Δh bilinmeyenlerdir. Ayrıca gerçek diferansiyel faz 2π 'den büyükse faz belirsizlikleri de dikkate alınmalıdır.

$$\Delta\varphi_{x-y,ifg}^k = [a^k, b^k] * \begin{bmatrix} \Delta v_{x-y} \\ \Delta h_{x-y} \end{bmatrix} + \varepsilon(k = 1, 2, \dots, M) \quad (3.7)$$

Bir interferogram serisindeki görüntü sayısı M olmak üzere komşu PS noktaları x ve y arasındaki diferansiyel gözlemler eşitlik 3.7'deki gibi ifade edilebilir. $\Delta\phi_{x-y,ifg}^k$ bileşeni x ve y arasında üretilen diferansiyel faz, a^k ve b^k ortalama hız Δv_{x-y} 'nin ve artık topoğrafik faz Δh_{x-y} 'nin katsayılarıdır. Burada Δv_{x-y} ve Δh_{x-y} bilinmeyenlerdir ve periodogram spektral analizi yöntemiyle maksimize edilmiş geçici tutarlılık kullanılarak belirlenmesi gerekir. Δv_{x-y} ve Δh_{x-y} periodogram spektral analizi ile uzaydaki bir frekans alanına dönüştürülür ve zamansal tutarlılık yardımıyla tekli PS noktalarının yeri tespit edilerek çözümleme yapılır. Kalan faz kalıntıları ise atmosferik etkilerden kaynaklıdır ve her bir interferogramın atmosferik faz taramasını (APS) tahmin etmek için kullanılır. Yani atmosferik bileşen de ortalama hız Δv_{x-y} ve artık topoğrafik faz Δh_{x-y} ile birlikte tahmin edilir. Diferansiyel fazlardaki atmosferik bileşenler ise mekânsal alanda düşük geçişli filtreleme yoluyla, zamansal alanda ise yüksek geçişli filtreleme yoluyla çıkarılabilir (Wang vd., 2018). Daha sonra ise PSC ağına dayalı olarak ağ üzerindeki her noktanın konumları ve deformasyonları referans bir noktadan başlayarak tahmin edilir.

3.3 Değişim Analizleri

Yeryüzündeki değişimleri belirlemek için kullanılan birçok yöntem vardır. Her yöntem değişimleri belirlemek için farklı parametreler kullanılır. SAR görüntüleriyle değişiklik tespiti, genellikle aynı alanda farklı zamanlarda alınmış bir çift SAR görüntüsü yardımıyla yapılır. SAR verileri genlik ve faz bilgisi içerdiğinden her iki parametrede değişiklik göstergesi olarak kullanılabilir. SAR görüntülerinde genlik değerleriyle yapılan değişim analizlerinde sinyallerin geri yansıma özelliklerinden faydalanılarak tutarsızlıklar belirlenir. Tutarlılık haritası ile değişim tespiti yönteminde ise piksellerin genlik ve fazlarındaki değişimleri belirlemek için SAR görüntü çiftinin tutarlılığı kullanılır. Fazlar, döngüsü içindeki değişimlere duyarlı olduğu için bu yöntemdeki hassasiyet kullanılan sistemin dalga boyuna bağlıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması Şili Illapel depremi, Peru Loreto depremi, Çin Jiangsu Tianjiayi kentindeki kimyasal patlama, Filipinler'deki Mayon Yanardağı'nın incelenmesi, Konya Karapınar ilçesindeki düşey deformasyonlar, Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunami ve Kaliforniyada meydana gelen Carr Yangını olmak üzere 6 adet farklı afet türüne ait 7 uygulamadan oluşmaktadır. Yapılan uygulamalarda kullanılan yöntemler çalışma alanının koşullarına ve uygulamanın türüne göre belirlenmiştir.

DInSAR yöntemiyle yapılan uygulamalar:

1. Şili Illapel ve Peru Loreto depremlerinin etkileri incelenirken depremlerin etkilerinin çok geniş alanları kapsamaları, hedef bölgelerdeki hareketlerin ani olması ve hedef bölgelerin yansıma özelliklerinden dolayı DInSAR yöntemi seçilmiştir.
2. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki kimyasal patlamanın olduğu bölge incelendiğinde, patlama alanının kent içinde olmasından dolayı PS-InSAR yöntemi için uygundur. Ancak patlama ani bir olay olduğu için lineer bir deformasyon özelliği göstermez ve zaman serileriyle ifade edilemez. Bu sebeple DInSAR yöntemi kullanılmıştır.

PS-InSAR yöntemiyle yapılan uygulamalar:

1. Mayon Yanardağı'nda meydana gelen hakaretler yapısal olarak volkanik doğa olaylarıdır. Volkanik hareketler volkan patlamalarının yanı sıra patlama öncesi veya sonrası çeşitli sarsıntılara ve küçük çaplı depremlere de sebep olmaktadır. Bu sebeple volkanik hakaretler incelenirken uzun süreli gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı Mayon Yanardağı incelenirken zaman serilerinin kullanıldığı PS-InSAR yöntemi kullanılmıştır.
2. Konya Karapınar ilçesi ile ilçe çevresindeki toprağın yapısından ve ilçe çevresindeki tarlaların sulanması için yeraltı kaynak sularının çekilmesinden dolayı bölgede çökmeler meydana gelmektedir. Bu tür çökmeler doğası gereği lineer bir yapı göstermektedir. Bu sebeple Konya Karapınar ilçesi ile ilçe çevresinde meydana gelen deformasyonların tespiti için zaman serilerinin kullanıldığı PS-InSAR yöntemi kullanılmıştır.

Tutarlılık değişim tespiti ve tutarsızlık haritaları ile yapılan uygulamalar:

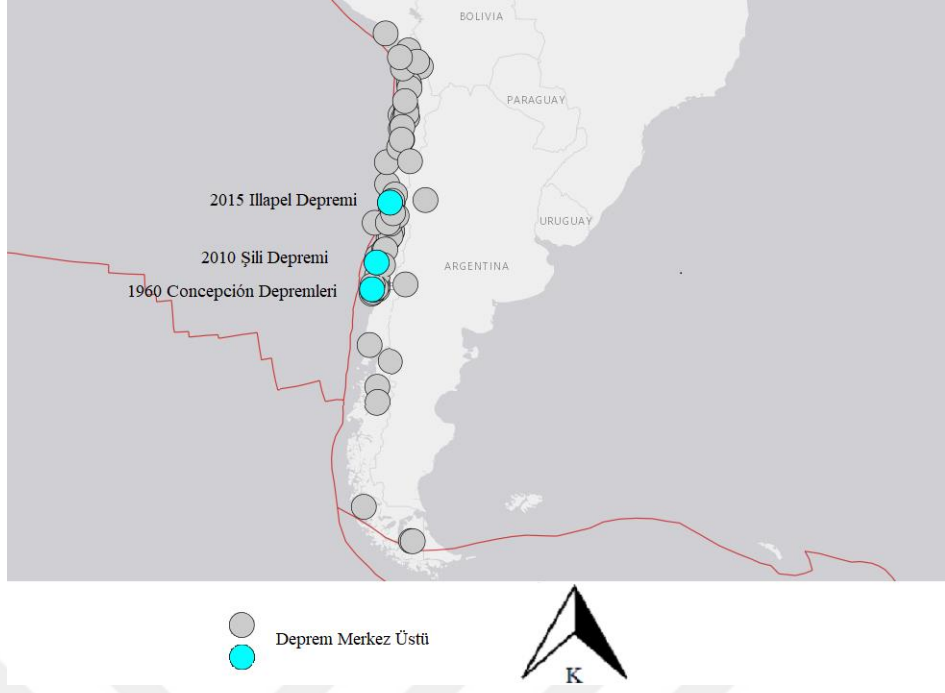
1. Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunamiden meydana gelen dalgaların kara bölgelerini doldurması ve tsunami sonucu karaya vuran materyaller hedef bölgedeki yansıma ve faz değerlerinin değişmesine neden olmuştur. Bu sebeple bu uygulamada değişim analizi yöntemleri kullanılmıştır.
2. Yangınlar ortaya çıktığı alandaki objelerin yanmasından dolayı kimyasal bozulmaya neden olur, kimyasal bozulmaya maruz kalan objeler hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerini kaybederler. Bundan dolayı objelerden yangın öncesi yansıyan yankılar ile yangın sonrası yansıyan yankıların faz ve genlik değerleri farklıdır. Bu farklılıktan ve ormanların yanması sonucu ortaya çıkan orman altındaki toprak ve kayaların ormanlardan farklı yansıma özellikleri gösterir. Bu sebeple Kaliforniya Carr Yangını uygulamasında değişim analizi yöntemleri kullanılmıştır.

Tezdeki uygulamalarda SARPROZ programı kullanılmıştır. SARPROZ programı SAR görüntüleri olarak SLC formatındaki uydu görüntülerini kullanmaktadır. Bu sebeple tüm uygulamalarda SLC formatında görüntü üreten Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır.

4.1 Şili Illapel ve Peru Loreto Depremlerinin DInSAR Yöntemi ile İncelenmesi

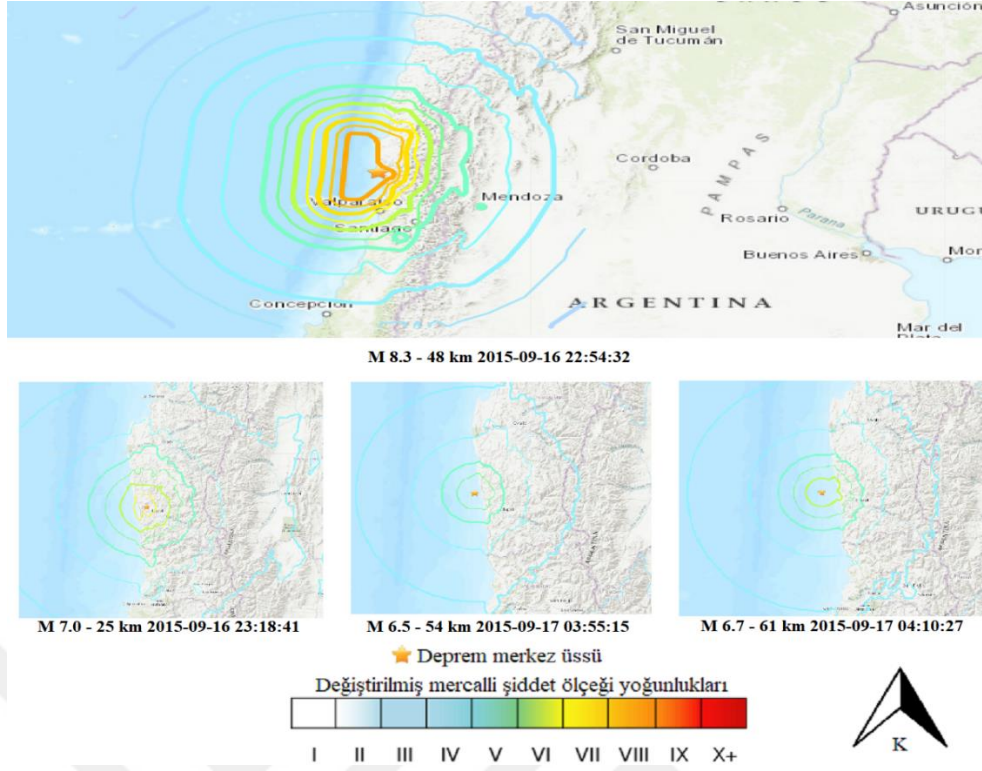
4.1.1 2015 Şili Illapel depremi

Şili, Andlar ile Pasifik Okyanusu'nun arasında uzun ve dar bir toprak şeridini işgal eden bir Güney Amerika ülkesidir. Ayrıca Pasifik Ateş Halkası'nın da bir parçasıdır. Oldukça sismik ve volkanik olan Pasifik Ateş Halkası, Nazo ve Güney Amerika plakaları arasındaki çarpışma nedeniyle oldukça hareketli bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı bölgede sık sık depremler meydana gelmektedir. Özellikle Şili bölgesi incelendiğinde son yüzyılda bölgede 7'nin üzerinde birçok deprem gözlemlenmiştir (URL-21; Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Son yüzyılda Şili’de meydana gelen büyüklüğü 7,0’ın üzerindeki depremler (URL-22’den değiştirilmiştir).

Bu depremlerin en etkilileri 1960 Concepción depremleri, 2010 Şili depremi ve 2015 Illapel depremidir. Concepción depremleri 21.05.1960 ve 06.06.1960 tarihlerinde Araucanía, Aysén ve Bío Bío bölgelerinde merkezlenmiş büyüklüğü 9,4 ile 9,6 arasında değişen bir dizi depremden oluşmaktadır. 2010 Şili depremi 27.02.2010’da saat 03.34’te Şili merkez kıyılarında gerçekleşen 8,8 büyüklüğünde bir depremdir. Bu tez çalışmasında ise 2015 yılında gerçekleşen Şili Illapel depremi incelenmiştir. 8,3 şiddetindeki deprem Illapel’in 46 km batısında okyanus açıklarında meydana gelmiştir. 16.09.2015’te saat 19.54 sularında başlayan deprem 3 ile 5 dakika arasında sürmüştür. Depremden hemen sonra ise sırasıyla 7, 6,5 ve 6,7 büyüklüğünde üç artçı deprem meydana gelmiştir (URL-23; Şekil 4.2).



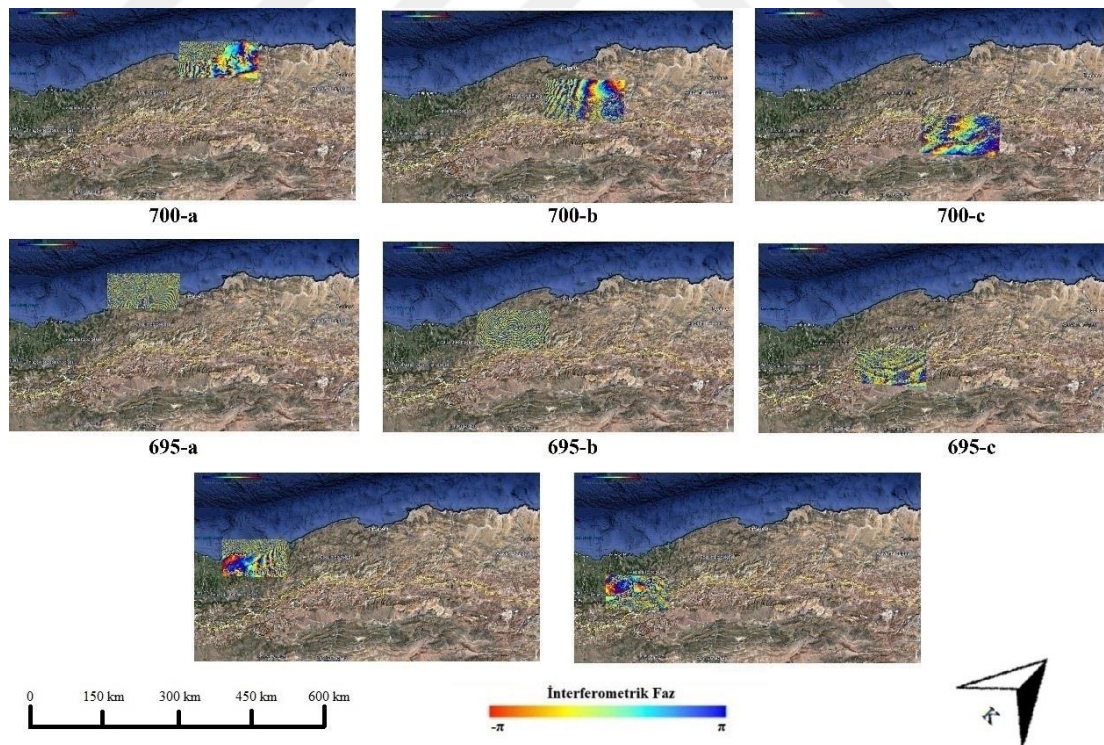
Şekil 4.2. 2015 Şili Illapel depremi ve artçı depremlerinin haritası (URL-24'den değiştirilmiştir).

Depremin etkisi 93000 kilometrekarelik çok büyük bir alanı kapsamaktadır. Bu sebeple deprem bölgesi incelenirken Sentinel-1A uydusundan elde edilen 6 adet SAR görüntüsü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Sentinel-1A uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.1. 2015 Şili Illapel depremi uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

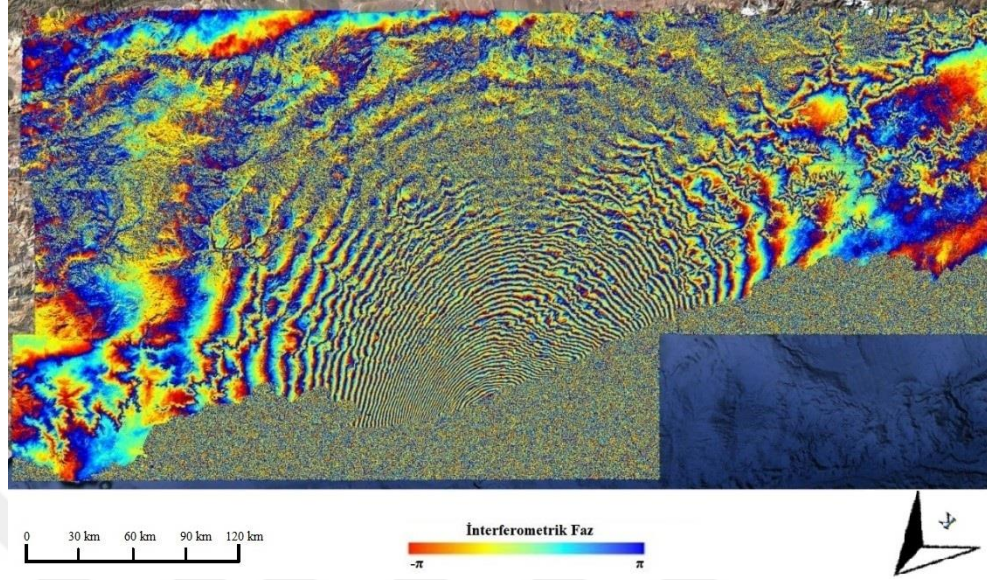
Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
24.08.2015	VV+VH	156	700	Azalan	7403	IW	C
17.09.2015	VV+VH	156	700	Azalan	7753	IW	C
24.08.2015	VV+VH	156	690	Azalan	7403	IW	C
17.09.2015	VV+VH	156	690	Azalan	7753	IW	C
24.08.2015	VV+VH	156	695	Azalan	7753	IW	C
17.09.2015	VV+VH	156	695	Azalan	7403	IW	C

Çizelge 4.1’de verilen SAR görüntüleri seçilirken, görüntülerin depreme bağlı deformasyonları tam olarak yansıtabilmesi için zamansal baz 23 gün seçilmiştir. Mekânsal dekorelasyonu azaltmak ve topoğrafya kaynaklı hataları en aza indirmek için de dik bazın 200 m’yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Seçilen görüntü çiftlerinin hepsi aynı yol üzerindedir ve aralarındaki dik baz 120 m’dir. Görüntülerin polarizasyonu ise deformasyon ölçümleri için uygun olan VV polarizasyonudur. Görüntü seçim işlemi tamamlandıktan sonra aynı çerçeve numarasına sahip görüntüler karşılıklı olarak eşleştirilmiştir. Eşleştirme yapılırken 08.08.2015 tarihli görüntüler master görüntü, 15.09.2015 tarihli görüntüler slave görüntü olarak kullanılarak eşleştirme işlemi yapılmıştır (Ek A1). Görüntüler eşleştirildikten sonra interferogramların oluşturulması aşamasına geçilmiştir. İnterferogramlar oluşturulurken SARPROZ programının yapısından dolayı 3 adet SAR görüntü çiftinden 8 ayrı interferogram oluşturulmuştur. Elde edilen interferogramların 3 tanesi 700 çerçeve numaralı görüntülerden, üç tanesi 695 çerçeve numaralı görüntülerden kalan iki tanesi ise 690 çerçeve numaralı görüntülerden elde edilmiştir. Elde edilen interferogramlar Şekil 4.3’te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.3. 155 yol numaralı SAR görüntülerinden oluşturulan interferogramlar.

İnterferogramlar elde edildikten sonra anlamlı bir görüntü elde etmek için birleştirilmiştir (Şekil 4.4).



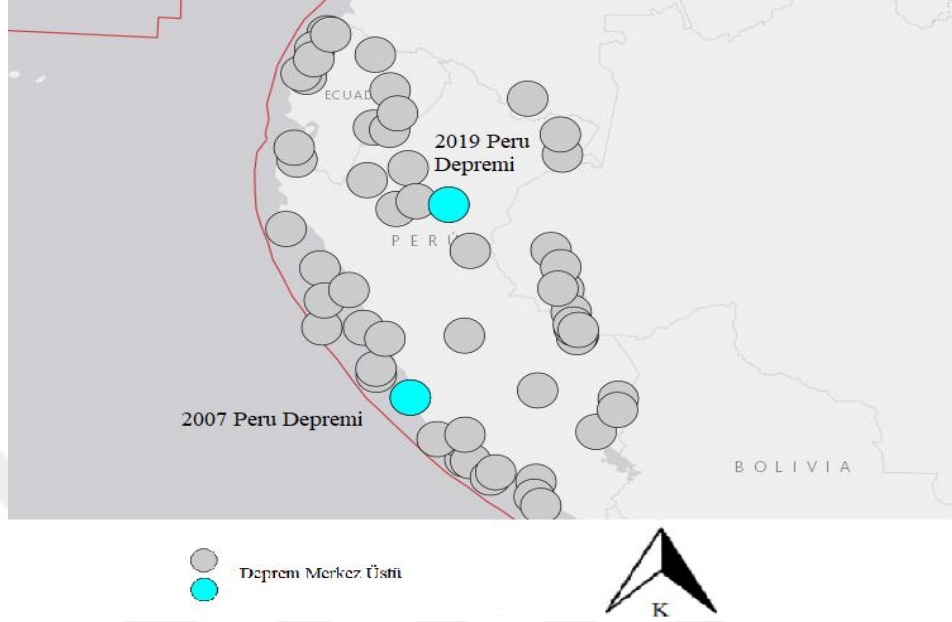
Şekil 4.4. 2015 Şili Illapel depremi uygulamasında kullanılan birleştirilmiş interferogram.

Birleştirilmiş interferogramda incelendiğinde 54 saçak deseni (faz döngüsü) olduğu tespit edilmiştir. DInSAR yönteminde her bir desen geçişi görüntü elde etmede kullanılan elektromanyetik dalganın boyunun yarısı kadar bir hareket olduğunu göstermektedir (LOS yönünde). Sentinel-1A uydusunun dalga boyu 5,6 cm olduğundan dolayı her bir faz döngüsü 2,8 cm’lik bir yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Saçak sayısı ile elde edilen değer çarpıldığında uydu bakış doğrultusundaki yer değiştirme ~151 cm olarak elde edilmiştir. Aynı bölge için yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde ise elde edilen yer değiştirmenin 150 cm civarında olduğu görülmüştür (Solaro vd., 2016; Grandin vd., 2016; Klein vd., 2017).

4.1.2 2019 Peru Loreto depremi

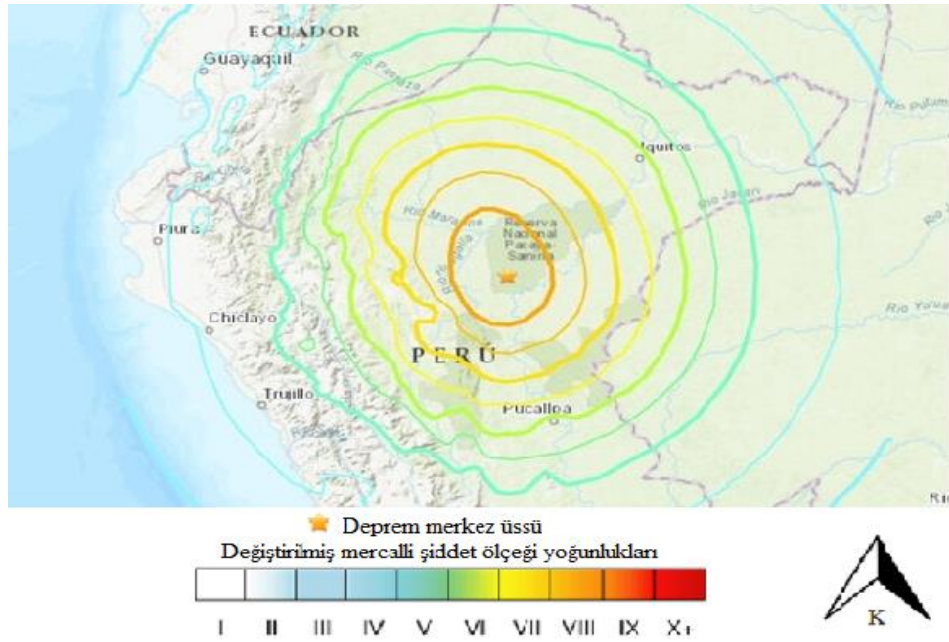
Peru kuzeyde Ekvador ve Kolombiya, doğuda Brezilya, güneydoğuda Bolivya, güneyde Şili ve batıda Pasifik Okyanusu ile sınırlanmış bir Güney Amerika ülkesidir. Sismik bir bölgede bulunan Peru’da sık sık depremeler meydana gelmektedir. Güney Amerika Plakası’nın Nazca Plakası’na doğru olan hareket Peru sahillerine yakın bölgelerde depremlere neden olurken, Peru dağlıklarında volkanizmaya sebep olmaktadır. Son yüzyılda Peru’da gerçekleşen büyüklüğü 7,0 ve üzerindeki depremler

incelendiğinde günümüze en yakın şiddetli depremlerin 18.05.2007 ve 26.05.2019 tarihlerinde gerçekleşen 8 büyüklüğündeki depremler olduğu görülmektedir (URL-25; Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Son yüzyılda Peru’da meydana gelen büyüklüğü 7,0’ın üzerindeki depremler (URL-22’den değiştirilmiştir).

Bu uygulamada 26.05.2019’da 07.41’de Peru Loreto’da meydana gelen deprem incelenmiştir (Şekil 4.6).



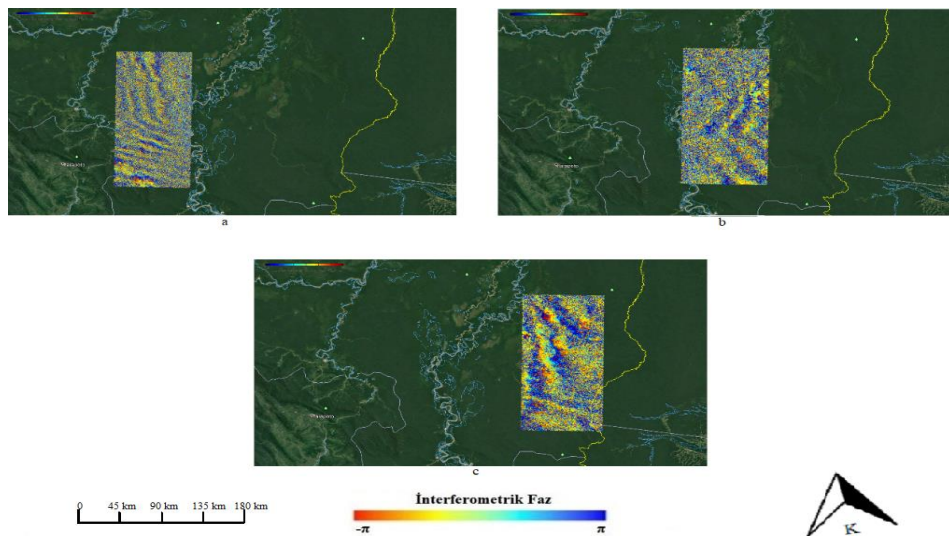
Şekil 4.6. 2019 Peru Loreto depremi (URL-24’den değiştirilmiştir).

Deprem bölgesi incelenirken 2 adet Sentinel-1B uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Sentinel-1B uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.

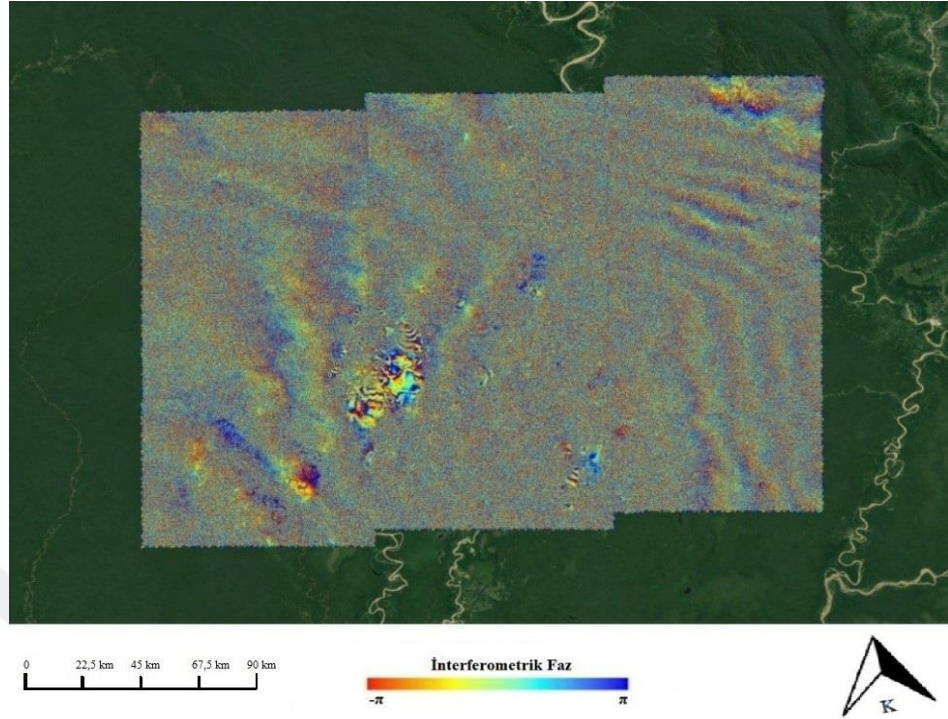
Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
18.05.2019	VV+VH	171	612	Azalan	16297	IW	C
30.05.2019	VV+VH	171	612	Azalan	16472	IW	C

Görüntüler seçilirken görüntüler arasındaki zamansal baza, dik baza ve görüntülerin polarizasyona dikkat edilmiştir. Görüntüler arasındaki zamansal baz 12 gündür ve depremin gerçekleştiği zaman aralığını kapsamaktadır. Görüntüler arasındaki dik baz mesafesi topoğrafik hataları oldukça indirgeyen, mekânsal korelasyonu bozmayan bir dik baz mesafesi olan 12 m’dir. Görüntülerin polarizasyonu ise deformasyon ölçümleri için uygun olan VV polarizasyonudur. Görüntü seçim işlemi tamamlandıktan sonra 18.05.2019 tarihli görüntü master görüntü, 30.05.2019 tarihli görüntü slave görüntü olarak belirlenip eşleştirme işlemi yapılmıştır (Ek A2). Eşleştirme işlemi tamamlandıktan sonra SARPROZ programının yapısından dolayı üç ayrı interferogram oluşturulmuştur (Şekil 4.7).



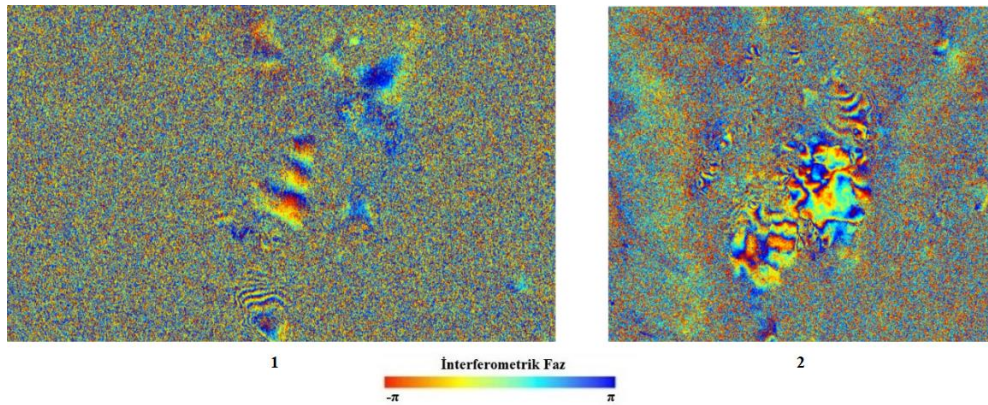
Şekil 4.7. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan interferogramlar.

Daha sonra ise oluşturulan interferogramlar birleştirilmiştir (Şekil 4.8).



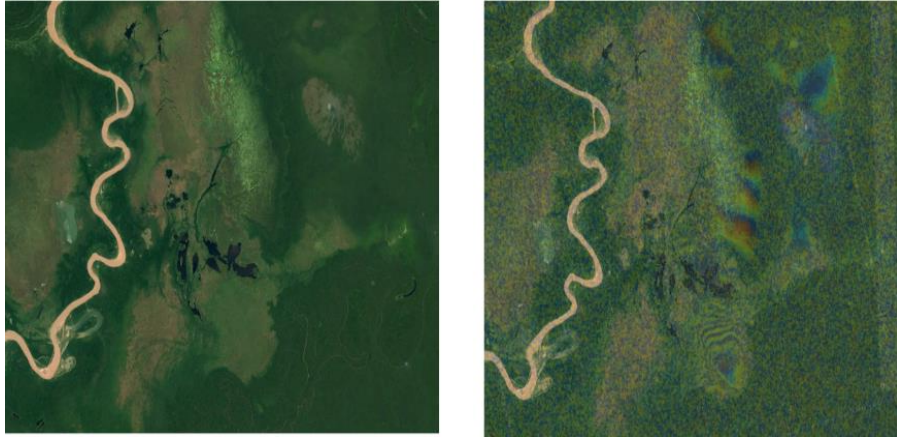
Şekil 4.8. 2019 Peru Loreto depremi uygulamasında kullanılan birleştirilmiş interferogram.

Birleştirilmiş interferogram incelendiğinde, deprem bölgesinde 9 faz saçığı sayılmıştır. Sayılan faz saçakları Sentinel-1B uydusunun dalga boyunun yarısı (2,8 cm) ile çarpıldığında, uydu bakış doğrultusunda 25,2 cm'lik bir hareket olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca interferogramda zemin yapılarındaki farklılıklar ve çift yansıma etkisi nedeniyle deformasyona daha fazla maruz kalmış bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 4.9).



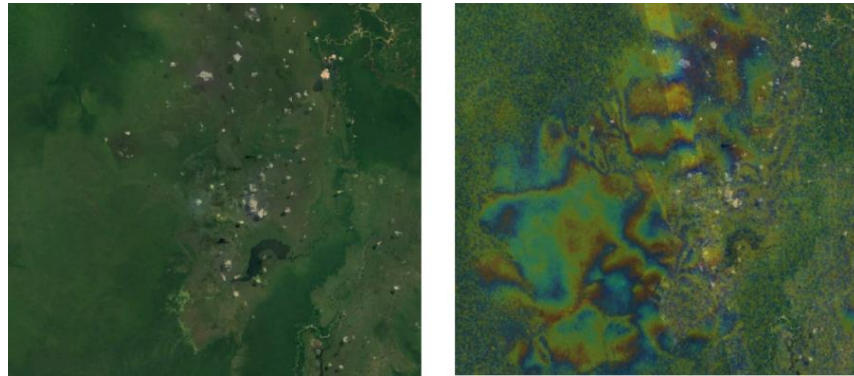
Şekil 4.9. 2019 Peru Loreto depreminde deformasyona daha fazla maruz kalan bölgeler.

Şekil 4.9’da verilen bölgeler daha iyi incelenmek için yakınlaştırılıp Google Earth üzerinde şeffaflaştırılmıştır (Şekil 4.10; Şekil. 4.11).



Şekil 4.10. Deformasyonlara daha fazla maruz kalmış bölge no: 1.

Yaklaşık 20 km² olan 1 numaralı bölge Şekil 4.10 üzerinden incelendiğinde bölgenin bitki örtüsünden mahrum olması ve sulak yapısından dolayı daha fazla deformasyona maruz kaldığı görülmektedir. Özellikle su birikintilerin arasında kalan alt bölgede 7 fazla faz saçağı sayılmıştır. Her bir saçak 2,8 cm’lik bir yer değiştirmeyi gösterdiğinden dolayı bu bölgenin diğer bölgelere göre 19,6 cm daha fazla deformasyona uğradığı tespit edilmiştir.



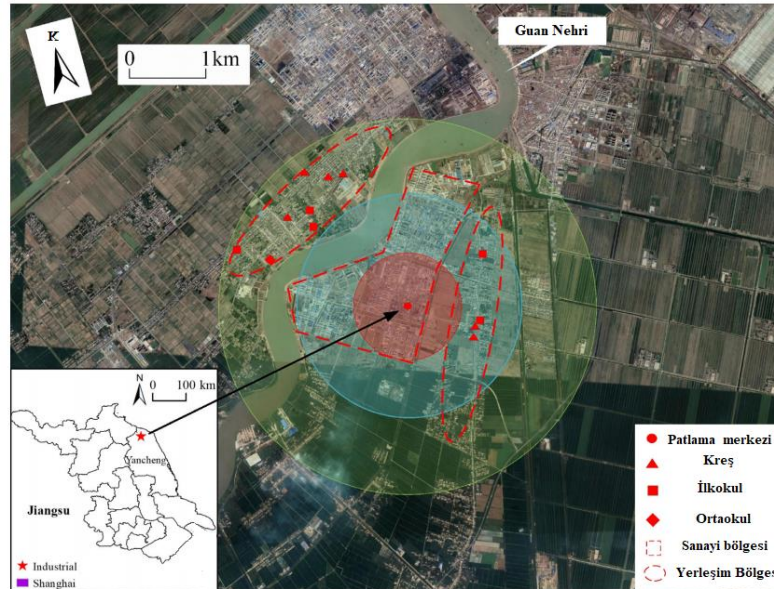
Şekil 4.11. Deformasyonlara daha fazla maruz kalmış bölge no: 2.

2 numaralı bölge Şekil 4.11 incelendiğinde ise bölgenin bitki örtüsü bulunmayan kayalık ve bataklık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bundan dolayı diğer bölgelerden daha fazla deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Ancak bölgenin

yapısından dolayı deformasyonun sabit bir yönde olmayıp dağınık bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.

4.2 Çin Jiangsu Yanheng Kentindeki Kimyasal Patlamanın DInSAR Yöntemi ile İncelenmesi

21.03.2019 tarihinde Çin'in Jiangsu kentinde bulunan Chenjiagang Kimya Sanayi Fabrikası'nda bir patlama meydana gelmiştir. Patlama sonrası yayınlanan rapora göre 78 kişi ölmüş, 617 kişi yaralanmıştır. Çin yerel saatiyle 14.48'de meydana gelen patlama ile birkaç bina yıkılmış, birkaç km uzaklıktaki apartmanların pencereleri kırılmış ve çok sayıda yangın çıkmıştır. Çin hükümeti tarafından yapılan açıklamada yangınların ertesi gün 03.00'da kontrol altına alındığı bildirilmiştir. Ayrıca patlamanın yakınlardaki fabrikalara ve ofislere büyük zarar verdiği, kimya fabrikasının çatısının patlama merkezinden 3 km uzağa düştüğü ve patlama merkezindeki binaların parçalanmış camlarının ise 6 km uzaklıkta bile tespit edildiği bildirilmiştir. Meydana gelen patlama deprem sensörleri ile de algılanmış ve 2,2 büyüklüğünde bir depremin etkisi gözlemlenmiştir. Patlamanın etkilediği 3 km'lik patlama yarıçapı incelendiğinde patlamanın yakındaki yerleşim bölgelerine ve okullara tehdit oluşturacak şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir (URL-26, URL-27; Şekil 4.12).



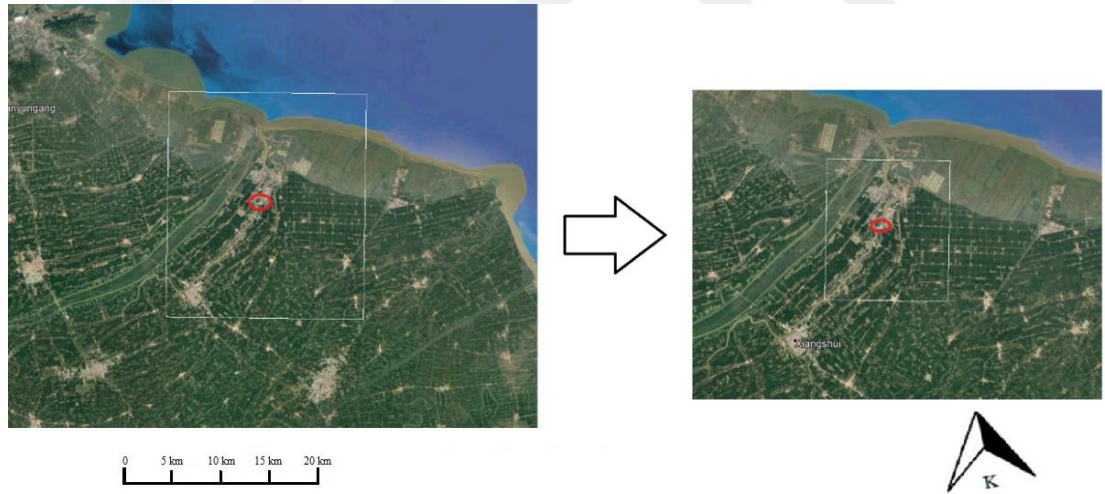
Şekil 4.12. Chenjiagang Kimya Sanayi Fabrikası'ndaki patlamanın etki alanı (kırmızı daire: R = 1 km; mavi daire: R = 2 km; yeşil daire: R = 3 km) (Zhang vd., 2019'dan değiştirilmiştir).

Patlama alanını incelemek için Sentinel 1-B uydu görüntüleri ve SRTM verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Sentinel-1B uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.3'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.3. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki Kimyasal Patlama uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.

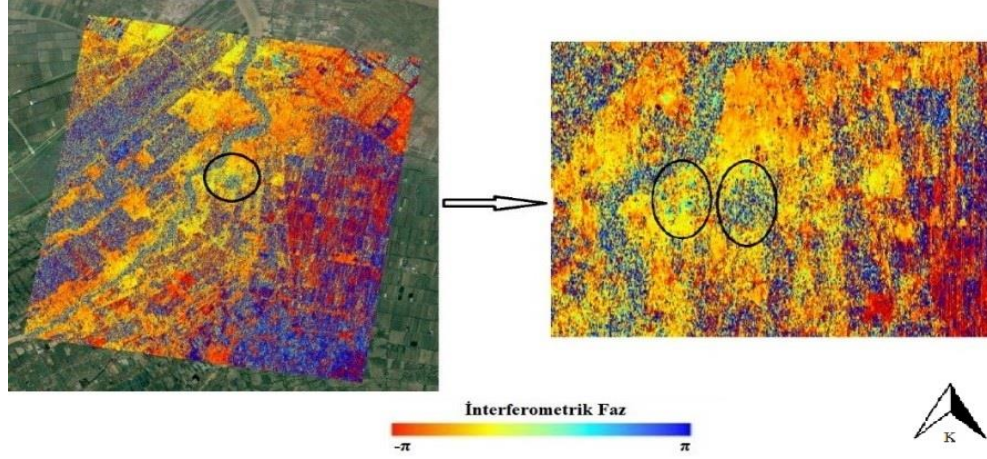
Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
12.03.2019	VV+VH	76	478	Azalan	15327	IW	C
24.03.2019	VV+VH	76	478	Azalan	15502	IW	C

Kullanılan görüntülerin polarizasyonu deformasyon ölçümleri için uygun olan VV polarizasyonudur. Görüntüler arasındaki zamansal baz 11 gün ve dik baz 10 m'dir. Patlamanın çok geniş bir alanı kapsamamasından dolayı görüntü eşleştirme işlemine geçilmeden önce veri kalabalığını engellemek için uygulama alanı daraltılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Çin Jiangsu Yanheng kentinde meydana gelen kimyasal patlamanın uygulama alanının belirlenmesi.

Uygulama alanı istenilen boyutlara getirildikten sonra görüntülerin eşleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 12.03.2019 tarihli görüntü master görüntü, 23.03.2019 tarihli görüntü slave görüntü olarak kullanılmıştır (Ek A3). Eşleştirme işlemi tamamlandıktan sonra görüntüler işlenerek interferogram oluşturulmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki kimyasal patlama uygulamasında kullanılan interferogram.

Elde edilen interferogram Şekil 4.14 üzerinden incelendiğinde, patlamanın etrafa yaydığı enerjinin eşit bir dağılım göstermemesi ve patlama alanında bulunan binalardan dolayı deformasyonların tam bir dağılım göstermeyip piksel bazında kaldığı gözlemlenmiştir. Patlamanın olduğu bölgedeki pikseller incelendiğinde ise piksellerin tam bir renk bütünlüğü göstermeyip her pikselin renk değerlerinin çevresine göre farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle kimyasal patlama sonucu oluşan deformasyonun rastgele bir dağılım gösterdiği sonucuna varılmıştır.

4.3 Filipinler Mayon Yanardağı'nın PS-InSAR Yöntemi ile İncelenmesi

Mayon Yanardağı, Filipinler'deki Albay Eyaletinin Bicol bölgesinde bulunan 2.462 m yüksekliğinde volkanik bir dağdır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Mayon Yanardağı (URL-28).

Filipinler'deki en aktif volkan olan Mayon Yanardağı, Pasifik Okyanusu'ndaki diğer volkanlar gibi Pasifik Ateş Halkası'nın bir parçasıdır. Jeomorfolojik olarak küçük bir merkezi zirve krateri ile klasik bir stratovolkan olan Mayon Yanardağı'nın son 500 yıl içinde yaklaşık 50 kez patladığı kaydedilmiştir (URL-29). 2018 yılındaki en son gerçekleşen patlama incelendiğinde, ilk volkanik hareketlerin 13.01.2018'de grimsi bir buhardan ve küllerden oluşan serbest püskürtme ile başladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı gün lavlardan kaynaklı parlaklıklarda tespit edilmiştir. 14.01.2018'de Mayon Yanardağı'nın alarm durumu 3 kez su buharı, kaya ve kül püskürmesi, 138 kez kaya düşmesi olayından sonra aşama 3 (tehlikeli bir patlama ihtimali) olarak belirlenmiştir. 22.01.2018'de 3 km uzunluğunda bir kül püskürtmesinden sonra ise uyarı seviyesi aşama 4 olarak belirlenmiştir. 23.01.2018'de 4-5 saat aralıklarla boyutları yaklaşık 300-500 m arasında olan lav patlamaları meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede lav bombalarıyla taş patlamaları da görülmüştür. Patlamalar 06.03.2018'e kadar yoğun bir şekilde devam etmiştir. 06.03.2018 tarihinden sonra patlamaların azalması sonucu uyarı seviyesi tekrar aşama 3'e getirilmiştir. Volkanik aktivitelerde düşüş gözlemlendikten sonra 29.03.2018'de uyarı seviyesi aşama 2'ye getirilmiştir. Son olarak ise 26.12.2018'de iki yeraltı suyu patlaması olmuştur, ancak volkanın uyarı seviyesi 2 olarak kalmıştır (URL-30).

Bu tezde yukarıda bahsedilen volkanik hareketler incelenirken 20 adet Sentinel-1B uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan Sentinel-1B uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.4'te verildiği gibidir.

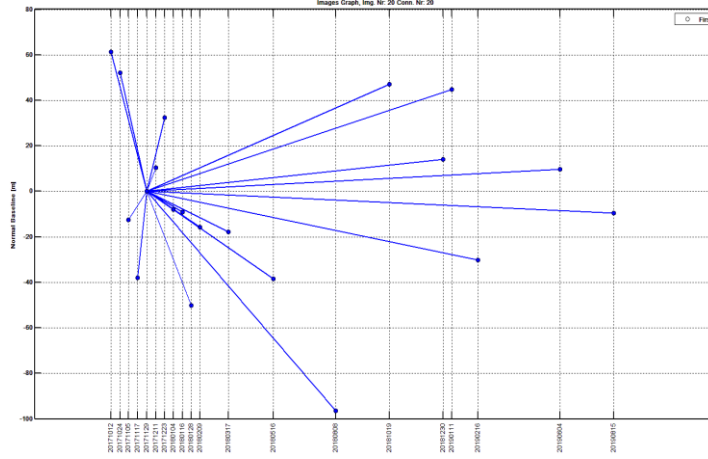
Çizelge 4.4. Mayon Yanardağı uygulamasında kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.

Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
12.10.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	7795	IW	C
24.10.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	7970	IW	C
05.11.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	8145	IW	C
17.11.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	8320	IW	C
29.11.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	8495	IW	C
11.12.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	8670	IW	C

Çizelge 4.4 (devam). Mayon Yanardağı'nın incelenmesinde kullanılan Sentinel-1B uydu görüntüleri.

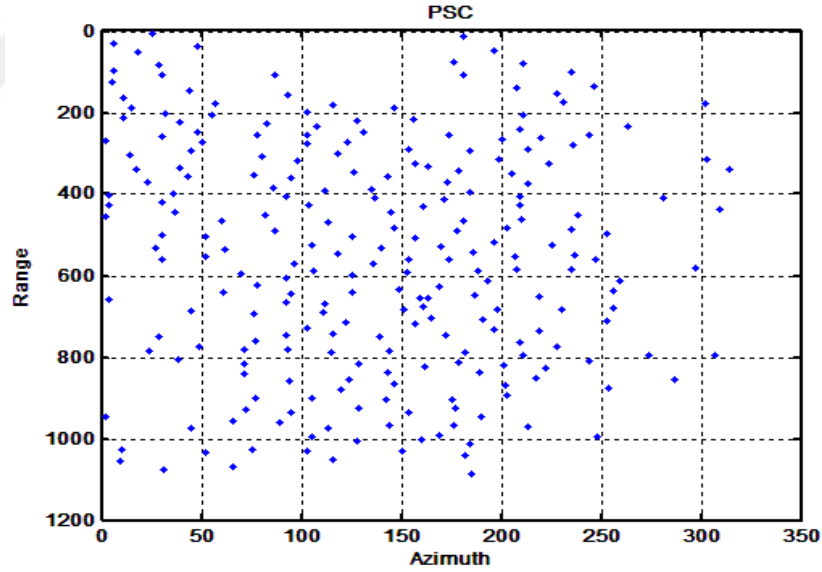
23.12.2017	VV+VH	69	38	Yükselen	8845	IW	C
04.01.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	9020	IW	C
16.01.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	9195	IW	C
28.01.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	9370	IW	C
09.02.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	9545	IW	C
17.03.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	10070	IW	C
16.05.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	10945	IW	C
08.08.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	12170	IW	C
19.10.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	13220	IW	C
30.12.2018	VV+VH	69	38	Yükselen	14270	IW	C
11.01.2019	VV+VH	69	38	Yükselen	14445	IW	C
16.02.2019	VV+VH	69	38	Yükselen	14970	IW	C
04.06.2019	VV+VH	69	38	Yükselen	16545	IW	C
15.08.2019	VV+VH	69	38	Yükselen	17595	IW	C

Uygulama kapsamında uydu görüntüleri seçilirken deformasyonları daha iyi gözlemleyebilmek için toplamda 672 günlük bir zaman aralığı belirlenmiştir. Volkanik hareketlerin başladığı 13.01.2018 tarihinden önce seçilen görüntüler arasındaki zamansal baz, volkanizma öncesi hareketlerin daha iyi incelenebilmesi ve PS noktaların tutarlılığını arttırmak için ortalama 12 gün olarak belirlenmiştir. Volkanik aktivitelerin yoğun olduğu dönemde ise görüntüler seçilirken noktalar arasındaki tutarlılık kaybını engellemek amacıyla görüntülerin elde edildiği tarihlerdeki hava koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Görüntüler arasındaki dik bazın ise 200 m'yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Görüntüler arasındaki en uzun dik baz aralığı 12.10.2017 tarihli görüntü ile 08.08.2018 tarihli görüntüler arasındaki 160 m'lik baz aralığıdır. Görüntüler seçildikten sonra görüntülerin eşleştirmesi aşamasına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 29.11.2017 tarihli görüntü master görüntü, geri kalan görüntüler ise slave görüntü olarak belirlenmiştir (Ek A4). Slave görüntülerin master görüntüye göre zamansal ve dik bazları Şekil 4.16'da verildiği gibidir.



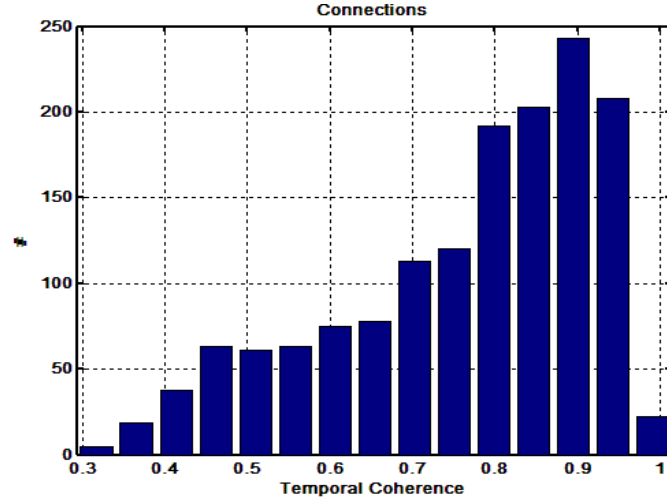
Şekil 4.16. Mayon Yanardağı incelenmesinde kullanılan slave görüntülerin master görüntüye göre zamansal ve dik bazları.

Görüntülerin eşleştirilmesi tamamlandıktan sonra volkanizma sonucu meydana gelen toz bulutunun ve atmosferik etkilerin azaltılması için APS tahmini aşamasına geçilmiştir. APS tahmini için genlik kararlılık endeksi baz alınarak uyşum oranı 0,8'in üzerinde 506 APS noktası belirlenmiştir (Şekil 4.17).



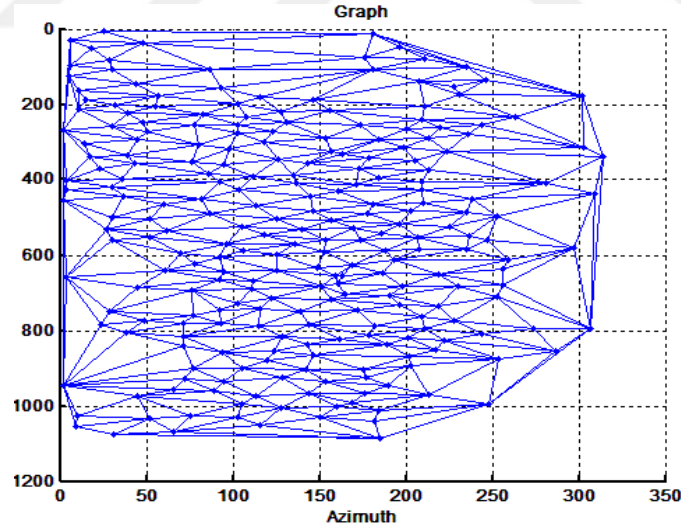
Şekil 4.17. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktaları.

APS noktaları belirlendikten sonra noktalarının zamansal tutarlılığı kontrol edilmiştir (Şekil 4.18).



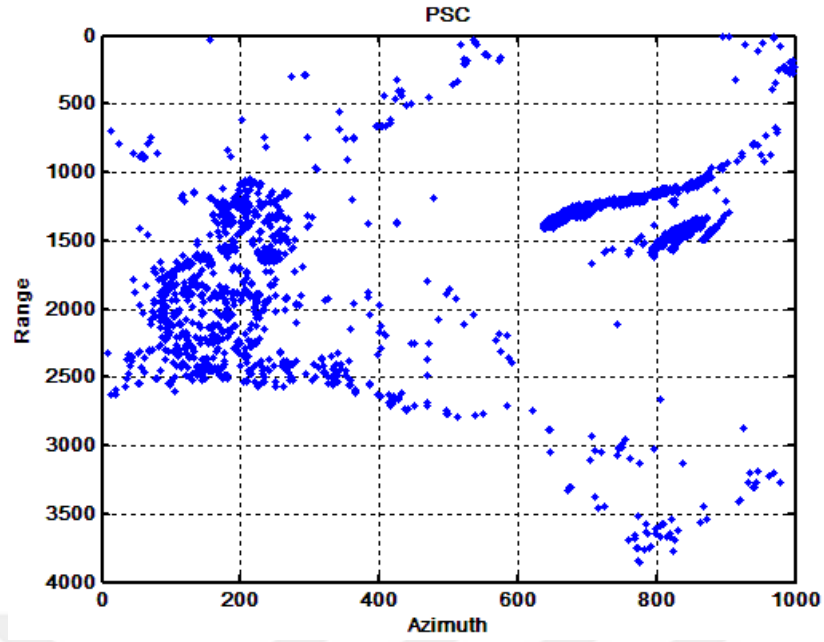
Şekil 4.18. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.

Şekil 4.18 üzerinden noktalar incelendiğinde çoğu noktanın zamansal tutarlılığının 0,8 ile 1 değerleri arasında yer aldığı görülmektedir. Bu da zamansal tutarlılığın yüksek olduğunun bir göstergesidir. Noktalar belirlenip tutarlılıkları kontrol edildikten sonra elde edilen noktalar Boris Delaunay tarafından bulunan Delaunay nirengi yöntemi ile birbirlerine bağlanarak 1503 üçgenden oluşan bir ağ elde edilmiştir (Şekil 4.19).



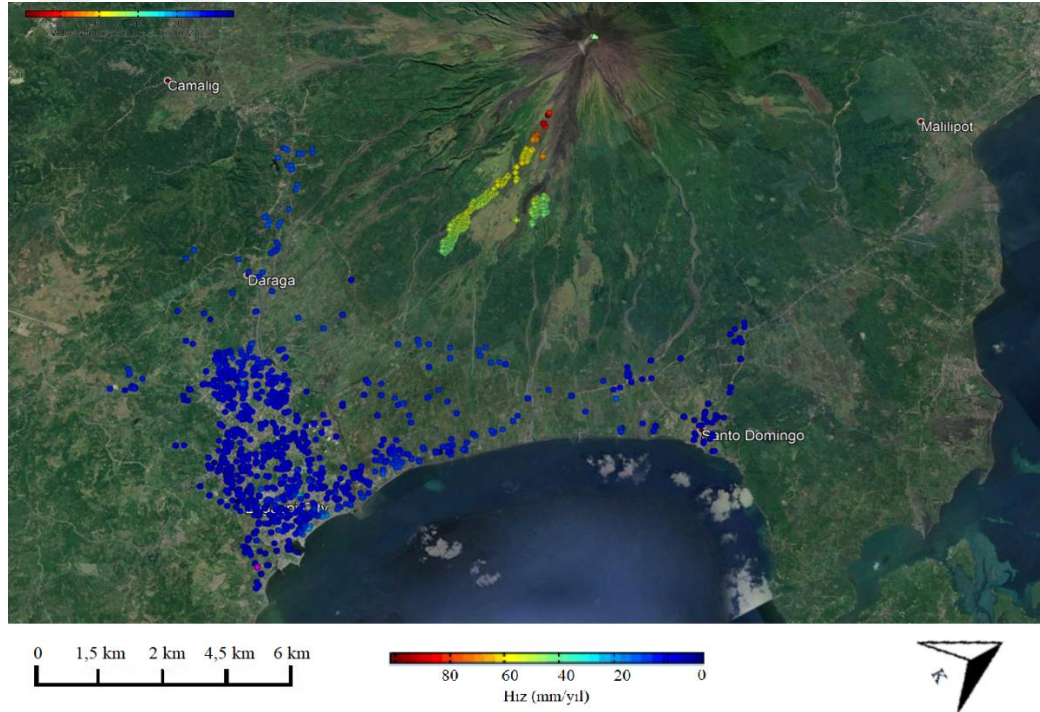
Şekil 4.19. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.

Daha sonra ise atmosferik faz tahmini yapılarak atmosferik etki giderilmiştir. Atmosferik etki giderildikten sonra PS noktalarının belirlenmesi işlemine geçilmiştir. PS noktaları belirlenirken genlik kararlılık endeksi baz alınarak alt uyuşum değeri 0,8 olarak seçilmiş ve çalışma alanında 2050 PS noktası belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Mayon Yanardağı'nın uygulama alanında belirlenen PS noktaları.

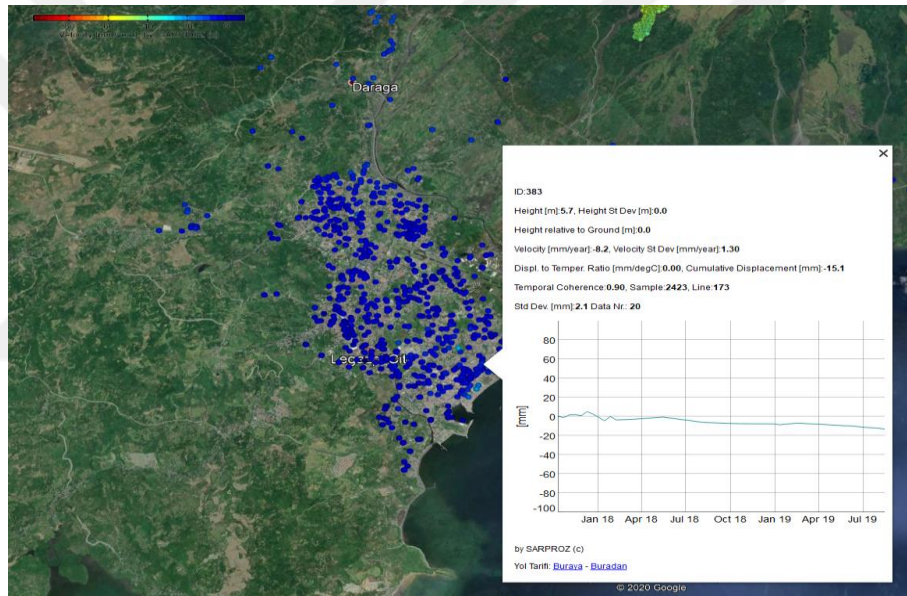
Belirlenen PS noktaları zamansal tutarlılık değeri 0,7 seçilip filtrelenerek 1517 noktaya düşürülmüştür. Elde edilen noktalar zaman serileri kullanılarak Google Earth üzerinde açılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Mayon Yanardağı uygulama alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı (PS noktalarının renkleri yıllık ortalama hareketlerini temsil etmektedir).

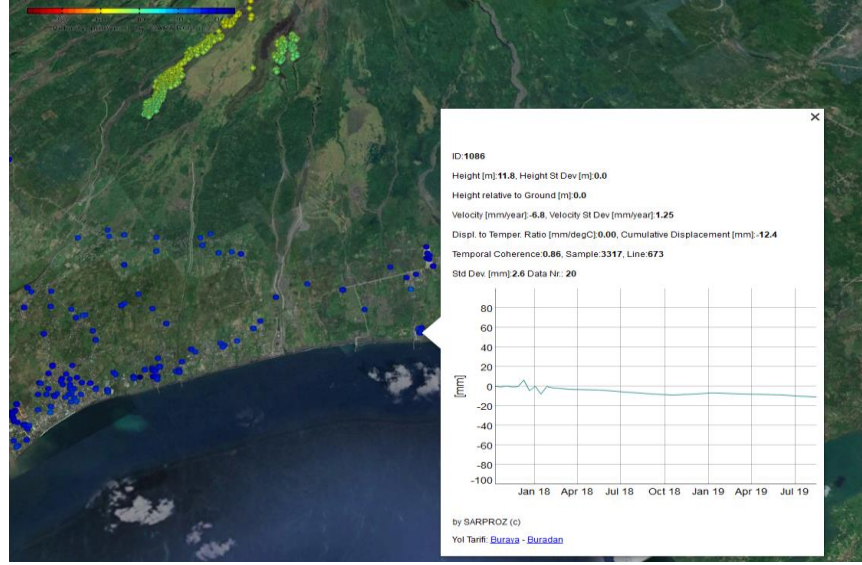
Nokta dağılımları Şekil 4.21 üzerinden incelendiğinde, noktaların korelasyon değeri yüksek olan kayalık alanlar ve yerleşim yerlerindeki insan kaynaklı yapılarda yoğunlaştığı görülmektedir. Uygulama kapsamında bir tane Legazpi şehrinin kıyısından, bir tane Santo Domingo ilçe kıyısından olmak üzere iki tane kıyı bölgesinden; bir tane Mayon Yanardağı'nın eteğinden, bir tane Mayon Yanardağı'nın orta kısmından, iki tane de Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinden olmak üzere rastgele altı örnek nokta seçilmiştir.

Legazpi şehrinin kıyısından seçilen nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -8,2 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -15,1 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.22).



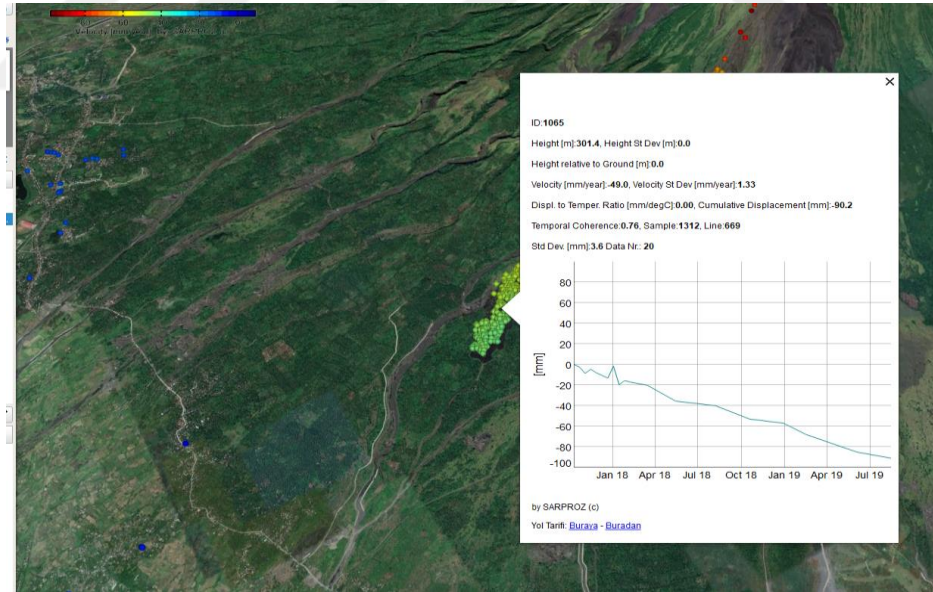
Şekil 4.22. Legazpi şehrinin kıyısından rastgele seçilen nokta.

Santo Domingo ilçe kıyısından seçilen nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -6,8 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -12,4 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.23).



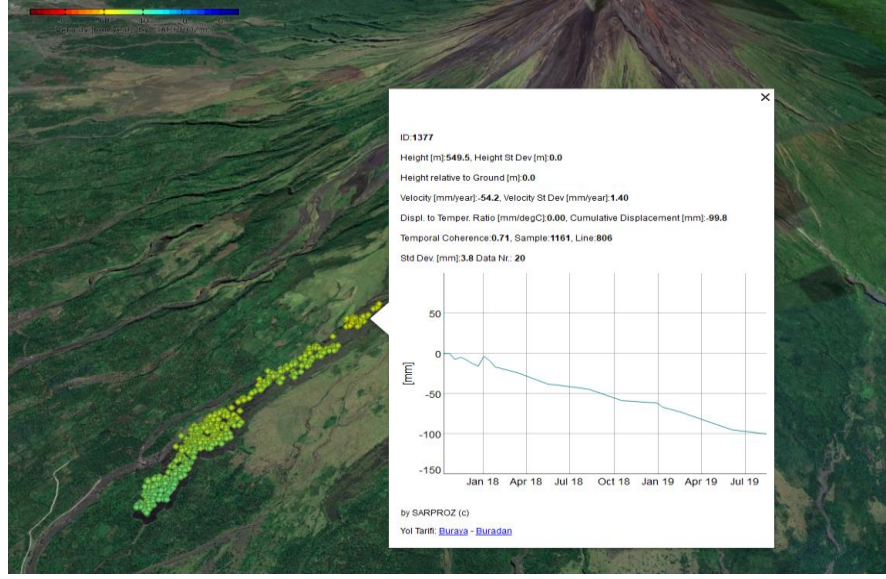
Şekil 4.23. Santo Domingo ilçesinin kıyısından rastgele seçilen nokta.

Mayon Yanardağı'nın eteklerinden rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -49 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -90,2 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.24).



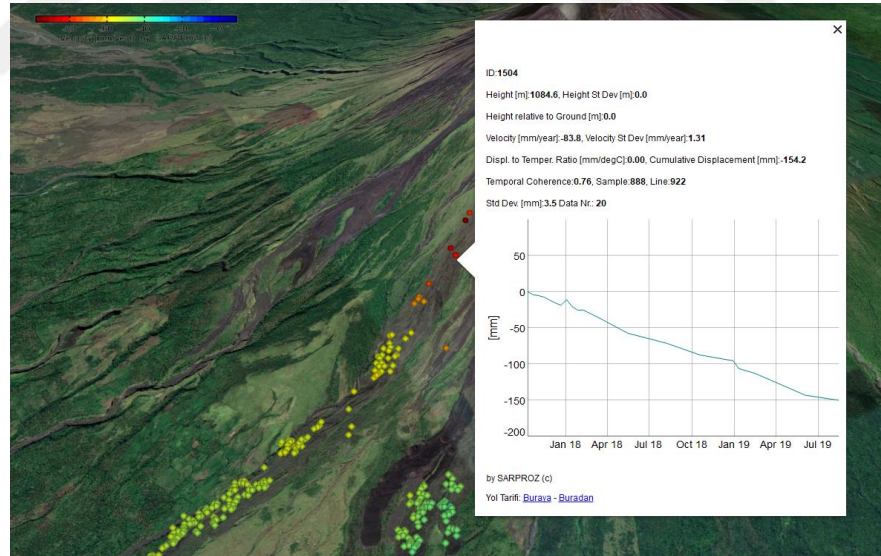
Şekil 4.24. Mayon Yanardağı'nın eteğinden rastgele seçilen nokta.

Mayon Yanardağı'nın eteklerinden rastgele seçilen ikinci nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -54,2 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -99,8 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.25).



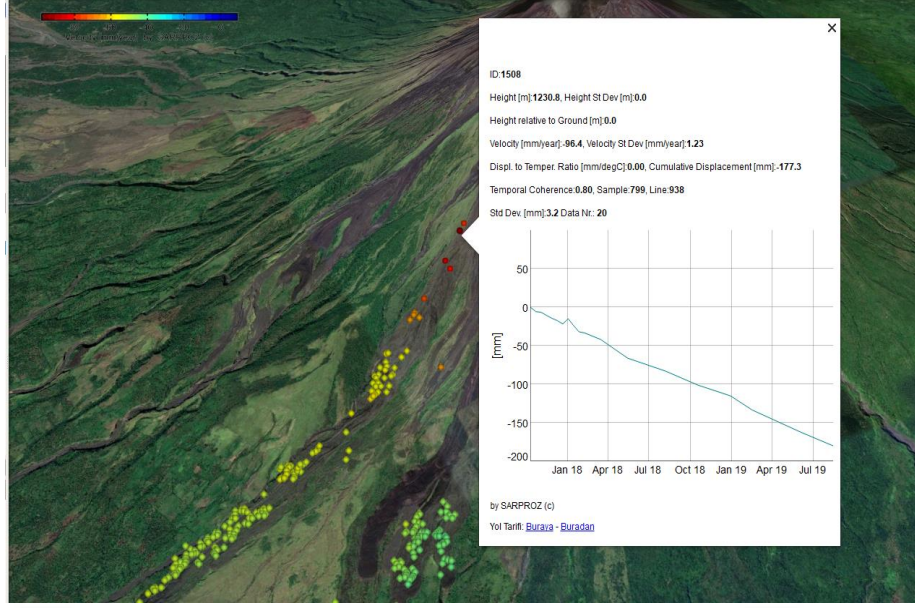
Şekil 4.25. Mayon Yanardağı'nın orta bölgesinden rastgele seçilen nokta.

Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinden rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin 88,3 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -154,2 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinden rastgele seçilen ilk nokta.

Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinden rastgele seçilen rastgele ikinci nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin 94,4 mm, 672 günlük toplam hareketinin ise -177,3 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Mayon Yanardağı'nın zirve bölgesinde rastgele seçilen ikinci nokta.

Mayon Yanardağı'ndaki noktaların hareketleri genel olarak incelendiğinde ani deformasyonların (tablodaki ani kırıkların) yoğun volkanik hareketlerin gerçekleştiği 13.01.2018 ile 24.01.2018 tarihleri arasında (kırmızı işaretli alan) ve yeraltı su patlamalarının yaşandığı 26.12.2018 tarihinde (mavi işaretli alan) meydana geldiği görülmektedir. Bu tarihler nispeten büyük hareketlerin gerçekleştiği tarihlerdir. Diğer ani hareketlerin ise 06.03.2018'e kadar süren kaya düşmeleri ve volkanik hareketlere dayalı sarsıntılardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Mayon Yanardağı’nda rastgele seçilen noktaların en çok deformasyona maruz kaldığı zamanlar.

4.4 Konya Karapınar İlçesindeki Düşey Deformasyonların PS-InSAR Yöntemi ile İncelenmesi

Türkiye’nin en önemli tarım alanı ve meralarından olan Karapınar’ın toprakları %60’a varan oranda kireçli bir yapıya sahiptir (URL-31). Bu sebeple karstlaşmaya bağlı doğal ve dinamik bir süreç olarak obruk oluşumu gözlemlenmektedir (Orhan vd., 2020). Ayrıca Karapınar çevresinde açılan artezyen kuyular yeraltı sularının tükenmesine neden olmaktadır. Bu sebeple obruk oluşumu süreci daha da hızlı gerçekleşmektedir. Karapınar çevresinde oluşan obruklar incelendiğinde bazı obrukların yerleşim yerlerine çok yakın ortaya çıktığı görülse de çoğu obruğun tarım arazilerinde ortaya çıktığı görülmüştür (Orhan vd., 2021; Şekil 4.29).



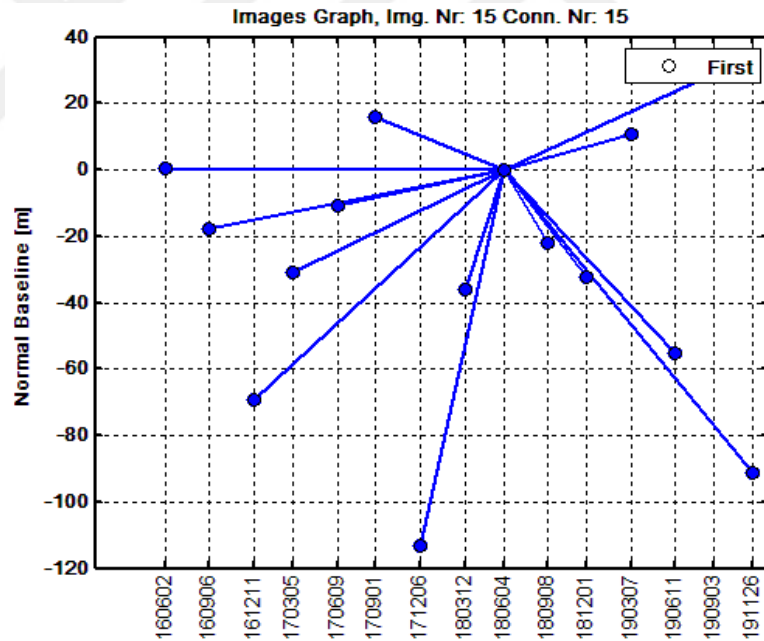
Şekil 4.29. Konya Karapınar ilçesinde ortaya çıkan bazı obruklar (URL-32).

Uygulama kapsamında ilk olarak 02.06.2016'dan 26.11.2019'a kadar olan 1272 günlük zaman aralığında 15 SAR görüntüsü seçilmiştir. Görüntüler seçilirken lineer bir deformasyon beklendiğinden dolayı ardışık görüntüler arasındaki zaman farklarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir (ortalama 3 ay). Kullanılan Sentinel-1A uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.5'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.5. Konya Karapınar uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
02.06.2016	VV+VH	87	189	Yükselen	11534	IW	C
06.09.2016	VV+VH	87	189	Yükselen	12934	IW	C
11.12.2016	VV+VH	87	189	Yükselen	14334	IW	C
05.03.2017	VV+VH	87	189	Yükselen	15559	IW	C
09.06.2017	VV+VH	87	189	Yükselen	16959	IW	C
01.09.2017	VV+VH	87	189	Yükselen	18184	IW	C
06.12.2017	VV+VH	87	189	Yükselen	19584	IW	C
12.03.2018	VV+VH	87	189	Yükselen	20984	IW	C
04.06.2018	VV+VH	87	189	Yükselen	22209	IW	C
08.09.2018	VV+VH	87	189	Yükselen	23609	IW	C
01.12.2018	VV+VH	87	189	Yükselen	24834	IW	C
07.03.2019	VV+VH	87	189	Yükselen	26234	IW	C
11.06.2019	VV+VH	87	189	Yükselen	27634	IW	C
03.09.2019	VV+VH	87	189	Yükselen	28859	IW	C
26.11.2019	VV+VH	87	189	Yükselen	30084	IW	C

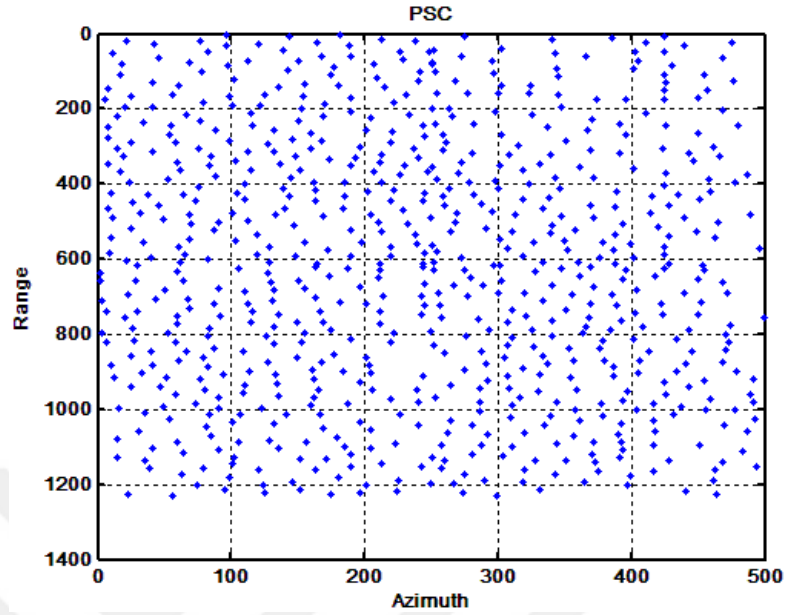
Görüntüler seçilirken görüntüler arasındaki dik baz oranlarının diğer uygulamalarda olduğu gibi 200 m'yi geçmemesine özen gösterilmiştir. Görüntüler arasındaki dik bazlar incelendiğinde en yüksek değerin 06.12.2017 tarihli görüntü ile 03.09.2019 tarihli görüntüler arasındaki yaklaşık 150 m'lik mesafe olduğu görülmektedir. Görüntüler seçildikten sonra uygulama bölgesi belirlenmiştir. Uygulama bölgesi belirlenirken Karapınar çevresinin yoğun oranda tarım arazisinden oluştuğu gözünüzde bulundurulmuştur. Bundan dolayı uygulama bölgesi APS tahmini ve PS-InSAR yöntemi için yeterli sayıda nokta üretimi için uygun, yansıtma değeri yüksek bir bölge olan Karapınar ilçesinin merkezini ve yakın çevredeki kayalık alanları kapsayacak şekilde seçmiştir. Görüntüler seçildikten sonra görüntülerin eşleştirmesi aşamasına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 04.06.2018 tarihli görüntü master görüntü, geri kalan görüntüler ise slave görüntü olarak belirlenmiştir (Ek A5). Slave görüntülerin master görüntüye göre zamansal ve dik bazları Şekil 4.30'da verildiği gibidir.



Şekil 4.30. Konya Karapınar ilçesi uygulama alanında belirlenen Sentinel-1A SAR görüntüleri arasındaki zamansal ve dik bazlar.

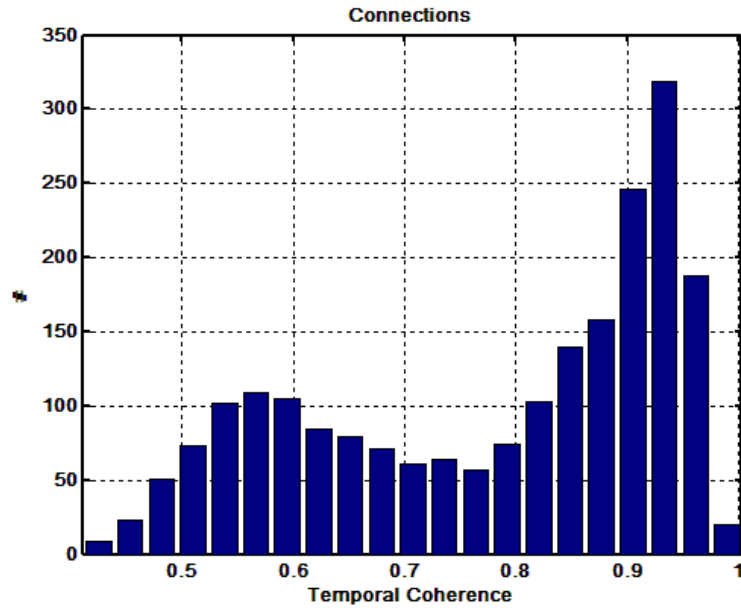
Daha sonra ise atmosferik etkiyi gidermek için APS tahmini aşamasını geçilmiştir. APS tahmini aşamasında toprak ve tarla gibi genlik değerleri düşük olup, bozucu etkene sahip yapıların korelasyonu bozmasını engellemek için uyuşum alt sınır değeri

genlik kararlılık endeksi baz alınarak 0,7 olarak belirlenip 719 APS noktası üretilmiştir (Şekil 4.31).



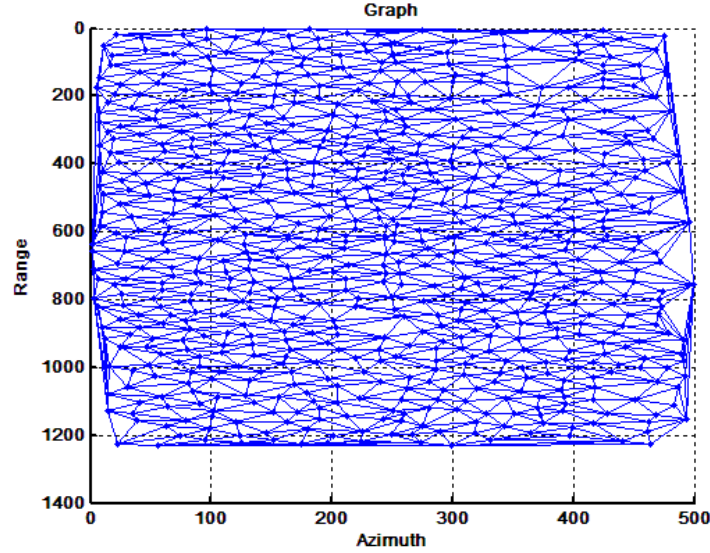
Şekil 4.31. Konya Karapınar uygulama alanında APS tahmini için belirlenen noktalar.

Üretilen APS noktalarının zamansal tutarlılığı incelendiğinde noktaların birçoğunun 0,8 ile 1 aralığında olması ve grafiğin tepe noktasının 1 değeri civarı olması genel tutarlılığın yüksek olduğunun bir göstergesidir (Şekil 4.32).



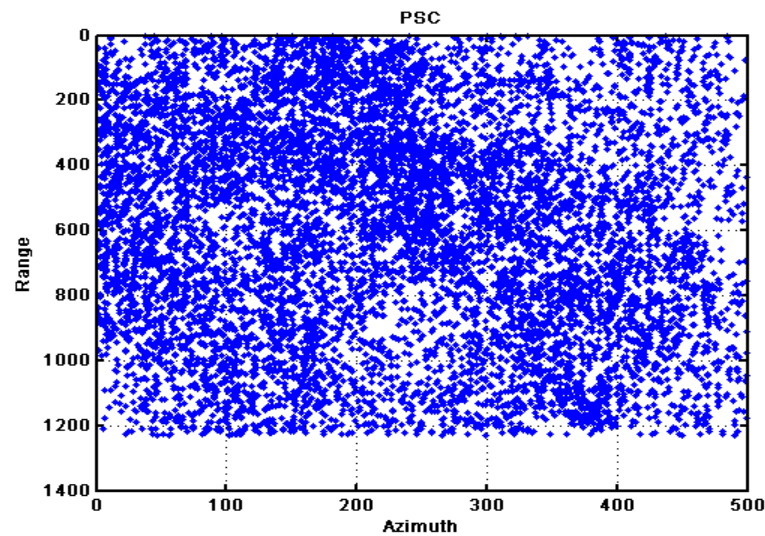
Şekil 4.32. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.

APS tahmini için noktalar üretilip tutarlılıkları kontrol edildikten sonra noktalar Delaunay nirengi yöntemi ile birbirlerine bağlanıp 2136 üçgenden oluşan bir ağ elde edilmiştir (Şekil 4.33).



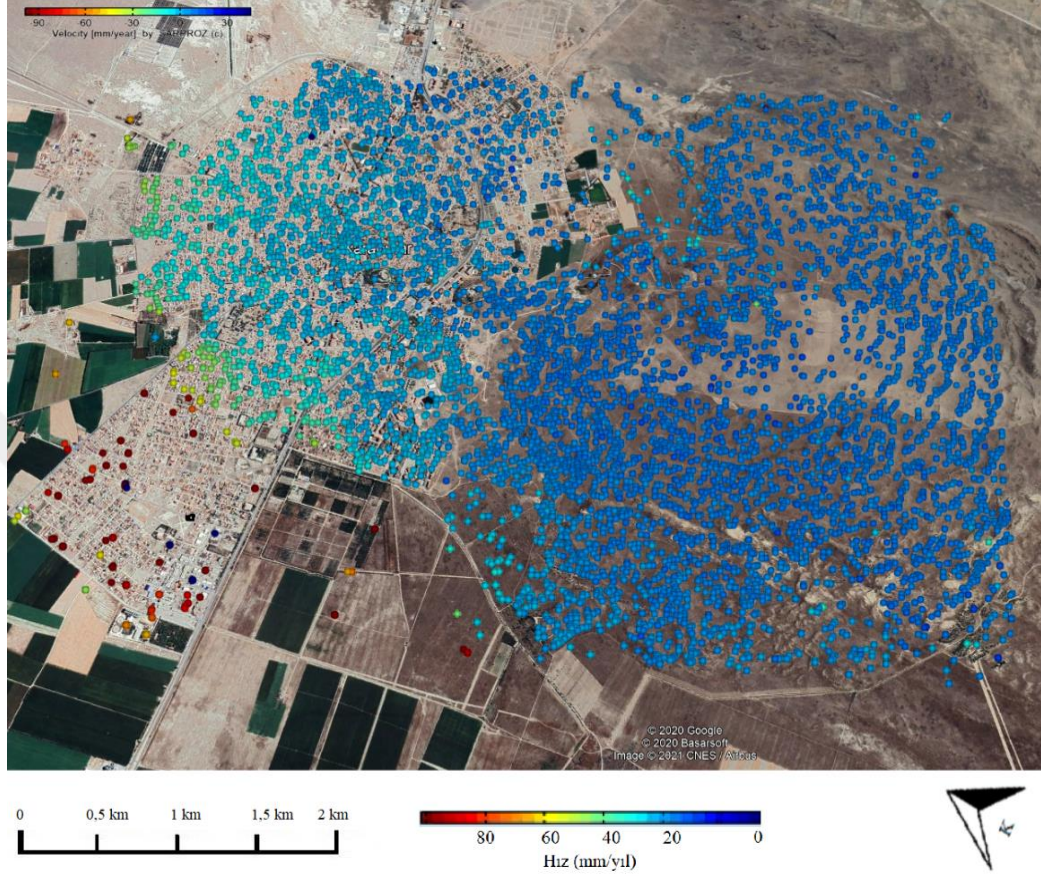
Şekil 4.33. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.

Daha sonra ise atmosferik faz tahmini yapılarak atmosferik etki giderilmiştir. Atmosferik etki giderildikten sonra PS noktalarının belirlenmesi işlemine geçilmiştir. PS noktaları seçilirken genlik kararlılık endeksi baz alınarak uyuşum değeri alt sınırı 0,65 seçilmiş ve 9478 nokta belirlenmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen PS noktaları.

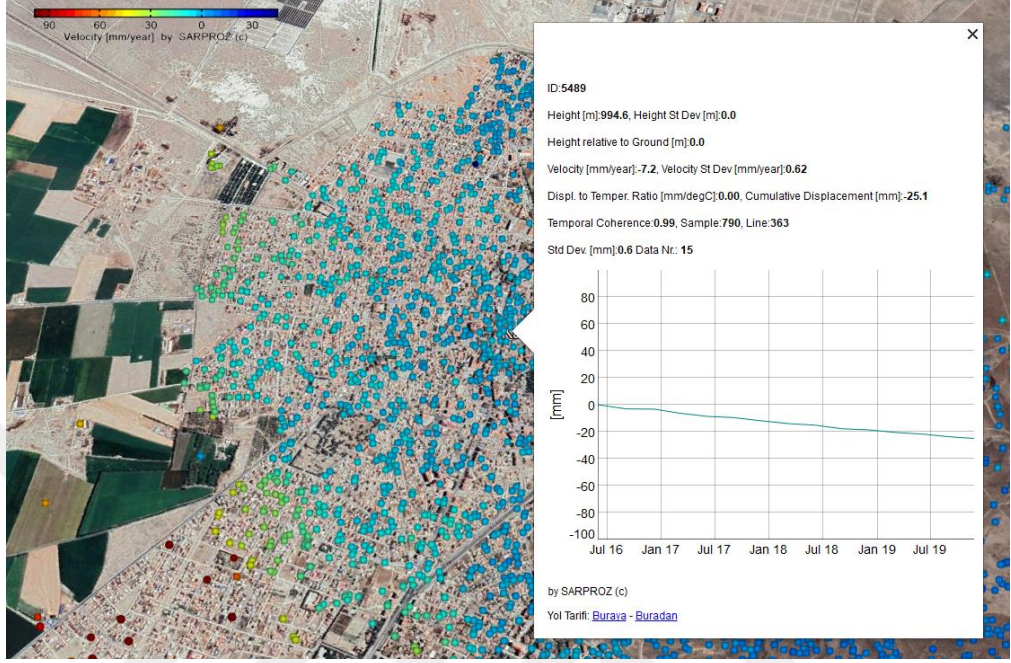
Belirlenen noktalar zamansal tutarlılık değeri 0.8 seçilerek filtrelenmiş ve 5713 noktaya düşürülmüştür. Daha sonra ise 5713 nokta zaman serileri kullanılarak Google Earth üzerinde açılmıştır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Konya Karapınar uygulama alanında belirlenen zamansal kolerasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı (PS noktalarının renkleri yıllık ortalama hareketlerini temsil etmektedir).

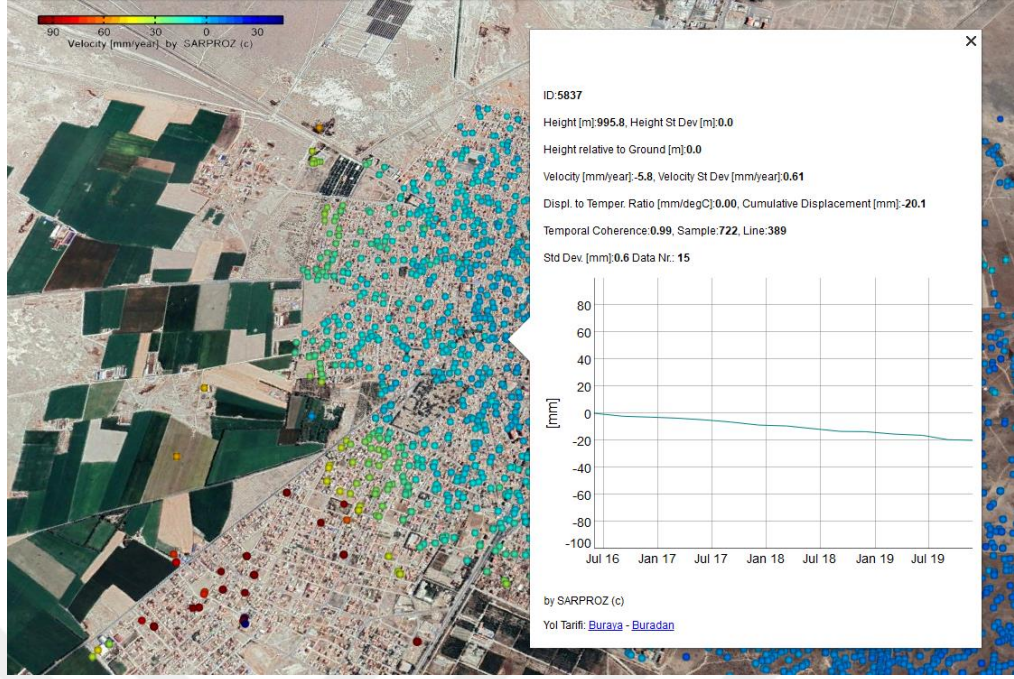
Elde edilen PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketleri incelendiğinde, ilçe merkezinde bulunan noktaların hareketlerinin -5 mm ile -10 mm aralığında değiştiği, ilçe merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölgedeki noktaların hareketlerinin -10 mm ile -20 mm aralığında değiştiği, tarım alanlarına yakın yerlerdeki noktaların ise -20 mm ve -50 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Uygulama alanındaki hareketlerin daha iyi incelenmesi için rastgele altı örnek nokta seçilmiştir. Seçilen noktaların iki tanesi ilçe merkezinden, iki tanesi ilçe merkezi ile tarım arazileri arasındaki bölgeden ve iki tanesi de tarım arazilerine yakın bölgeden seçilmiştir.

İlçe merkezindeki noktalardan rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -7,2 mm, 1272 günlük toplam hareketinin ise -25,1 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Konya Karapınar ilçesi merkezinden rastgele seçilen ilk nokta.

İlçe merkezindeki noktalardan rastgele seçilen ikinci nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -5,8 mm 1272 günlük toplam hareketinin ise -20,1 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.37).



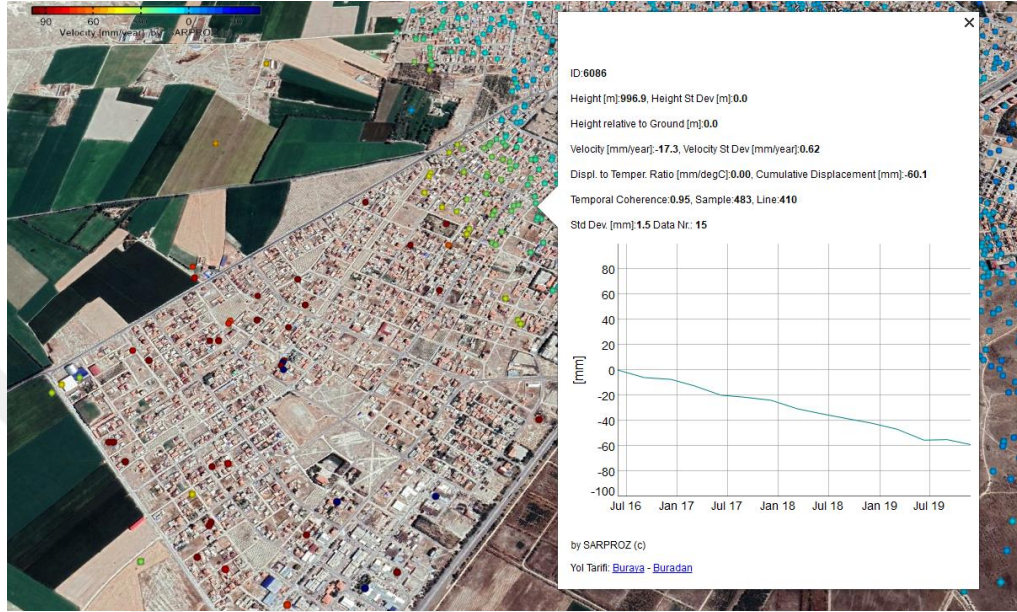
Şekil 4.37. Konya Karapınar ilçesi merkezinden rastgele seçilen ikinci nokta.

Karapınar merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölgeden rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -31,8 mm 1272 günlük toplam hareketinin ise -110,6 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Konya Karapınar ilçesi merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölgeden rastgele seçilen ilk nokta.

Karapınar merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölgeden rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -17,3 mm 1272 günlük toplam hareketinin ise -60,1 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.39).



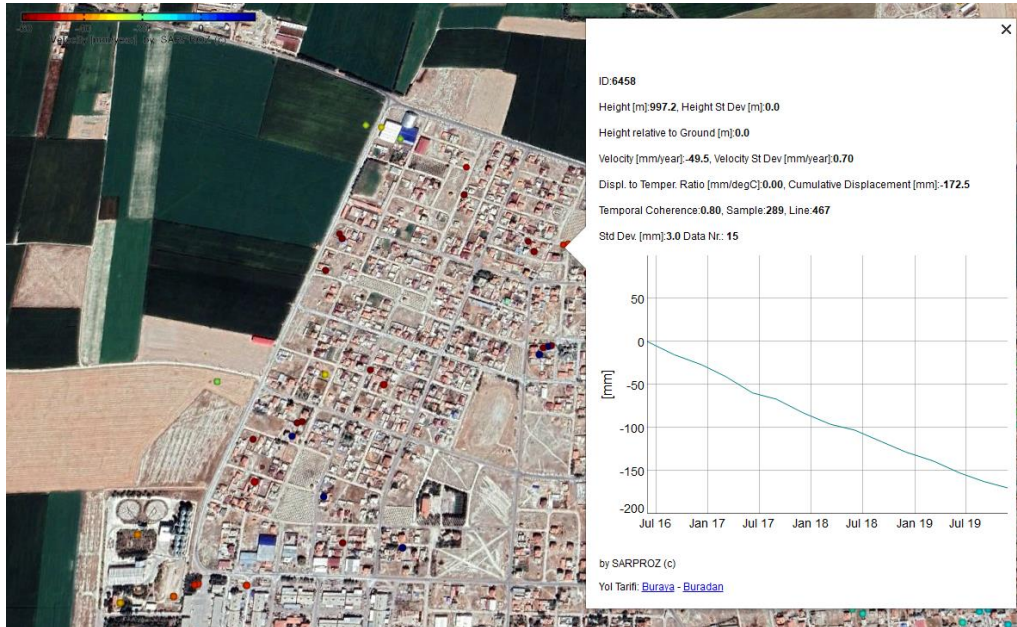
Şekil 4.39. Konya Karapınar ilçesi merkezi ile tarım arazileri arasındaki bölgeden rastgele seçilen ikinci nokta.

Deformasyonların asıl etki bölgesi olan tarım alanlarına yakın yerlerden rastgele seçilen ilk nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -52,8 mm, 1272 günlük toplam hareketinin ise -184 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Konya Karapınar ilçesinde tarım arazilerine yakın bölgeden rastgele seçilen ilk nokta.

Deformasyonların asıl etki bölgesi olan tarım alanlarına yakın yerlerden rastgele seçilen ikinci nokta Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -49,5 mm, 1272 günlük toplam hareketinin ise -172,5 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Konya Karapınar ilçesinde tarım arazilerine yakın bölgeden rastgele seçilen ikinci nokta.

Karapınar bölgesinde deformasyon bölgenin kayaç yapısından, obruk oluşumlarından ve artezyen kuyuların açılmasından dolayı meydana gelmektedir. Bu sebeple deformasyonlar düşey yönlü olarak gerçekleşmektedir. Ancak PS-InSAR yönteminde deformasyonlar LOS yönünde ölçülmektedir. Bundan dolayı uygulama kapsamında LOS yönündeki deformasyon değerleri düşey yönlü deformasyon değerlerine dönüştürülmüştür (Hanssen, 2001).

$$d_{los} = d * \cos \theta \quad (4.1)$$

$$\frac{d_{los}}{\cos \theta} = d \quad (4.2)$$

Değerler dönüştürülürken LOS yönünde elde edilen deformasyonlar, görüntülerin alım anındaki geliş açısı θ ve d_{los} yani LOS yönündeki deformasyon değeri kullanılarak düşey yönlü değerlere çevrilmiştir. Kullanılan görüntülerdeki geliş açısı 38,3 derecedir, her bir örnek nokta için yıllık ve 1272 günlük genel deformasyonların düşey yönlü değerleri Çizelge 4.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.6. LOS yönündeki deformasyonların düşey yöndeki karşılıkları.

Şekil NO	Los Yıllık (mm)	Los Genel (mm)	Düşey Yıllık (mm)	Düşey Genel (mm)
Şekil 4.36.	-7,2	-25,1	-9,2	-32
Şekil 4.37.	-5,8	-20,1	-7,4	-25,6
Şekil 4.38.	-31,8	-110,6	-40,6	-140,9
Şekil 4.39.	-17,3	-60,1	-22	-76,6
Şekil 4.40.	-52,8	-184	-67,3	-234,5
Şekil 4.41.	49,5	172,5	63,1	219,8

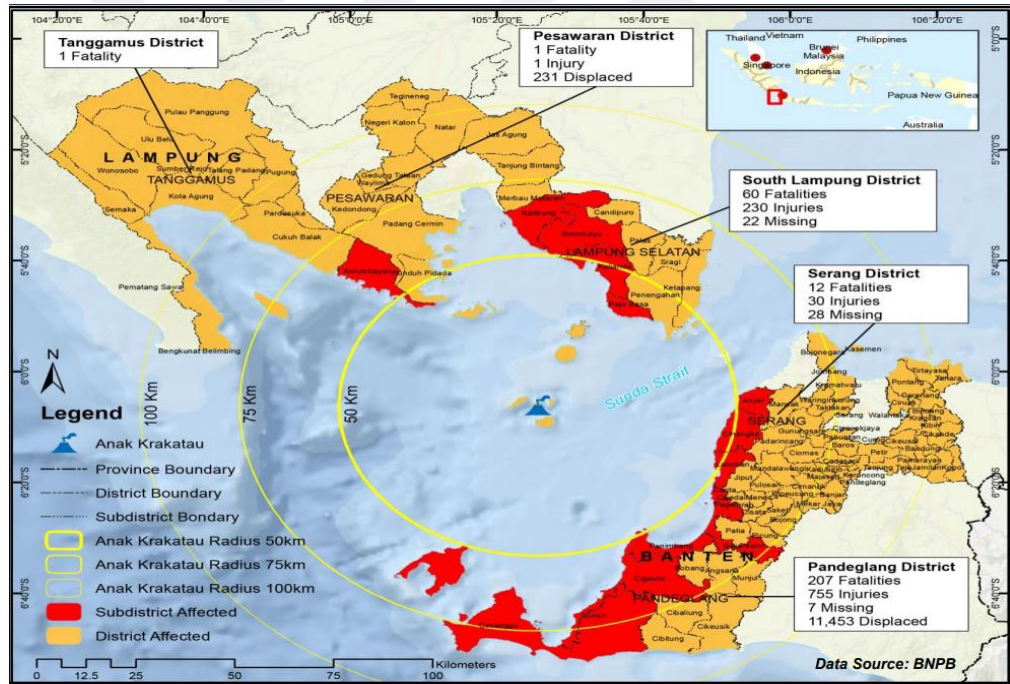
4.5 2018 Endonezya Sunda Boğazı'ndaki Tsunaminin Değişim Analizleri ile İncelenmesi

2018 yılında Endonezya Sunda Boğazı'nda bir tsunami meydana gelmiştir. Tsunaminin Anak Krakatau Yanardağı'nda meydana gelen volkanik patlamadan, patlamadan kaynaklı heyelandan ve denizaltında meydana gelen heyelanlardan dolayı meydana geldiği düşünülmektedir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Anak Krakatau Yanardağı ve patlama anı (URL-33, URL-34).

Tsunaminin etki alanlarını incelemek için SAR görüntüleri ve uygulama alanı belirlenirken Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği (ASEAN) Afet Yönetiminde İnsani Yardım Koordinasyon Merkezi tarafından hazırlanan tsunaminin etki alanlarını gösteren haritadan yararlanılmıştır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. 2018 Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunaminin etki alanları (URL-35).

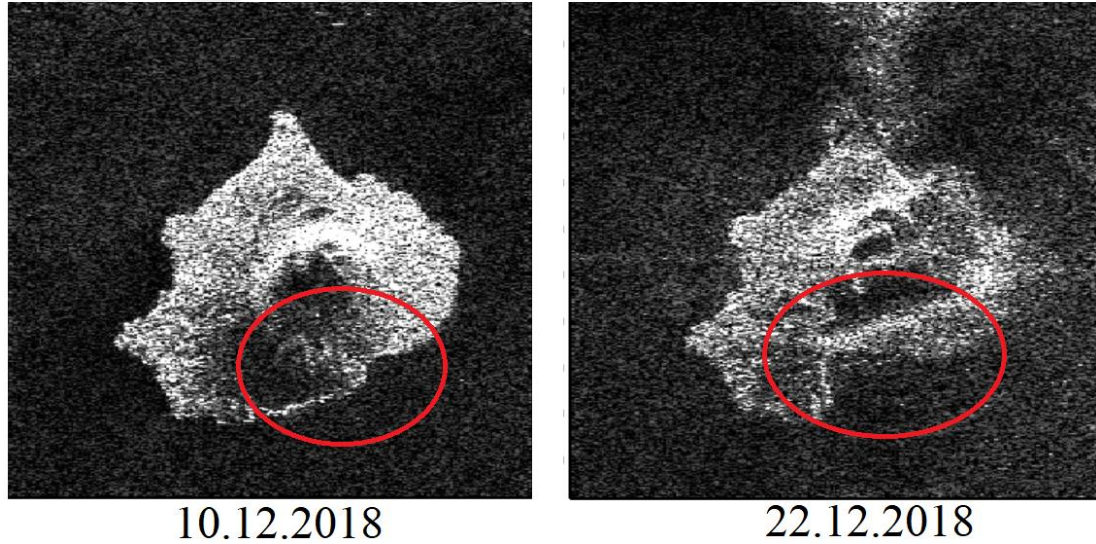
Uygulama alanı belirlendikten sonra görüntüler seçilirken tsunaminin etkisinin tam olarak gözlemlenebilmesi için tsunaminin gerçekleştiği zamana en yakın olan 10.12.2018 ve 22.12.2018 tarihli Sentinel-1A görüntüleri seçilmiştir. Özellikle 22.12.2018 tarihli görüntünün alım saati ile tsunami arasında yaklaşık 6 saat olması

tsunaminin etkilerini en iyi şekilde gözlemleme imkânı vermiştir. Kullanılan Sentinel-1A uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.7’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.7. Endonezya Sunda Boğazı uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
10.12.2018	VV	47	614	Azalan	24969	IW	C
22.12.2018	VV	47	614	Azalan	25144	IW	C

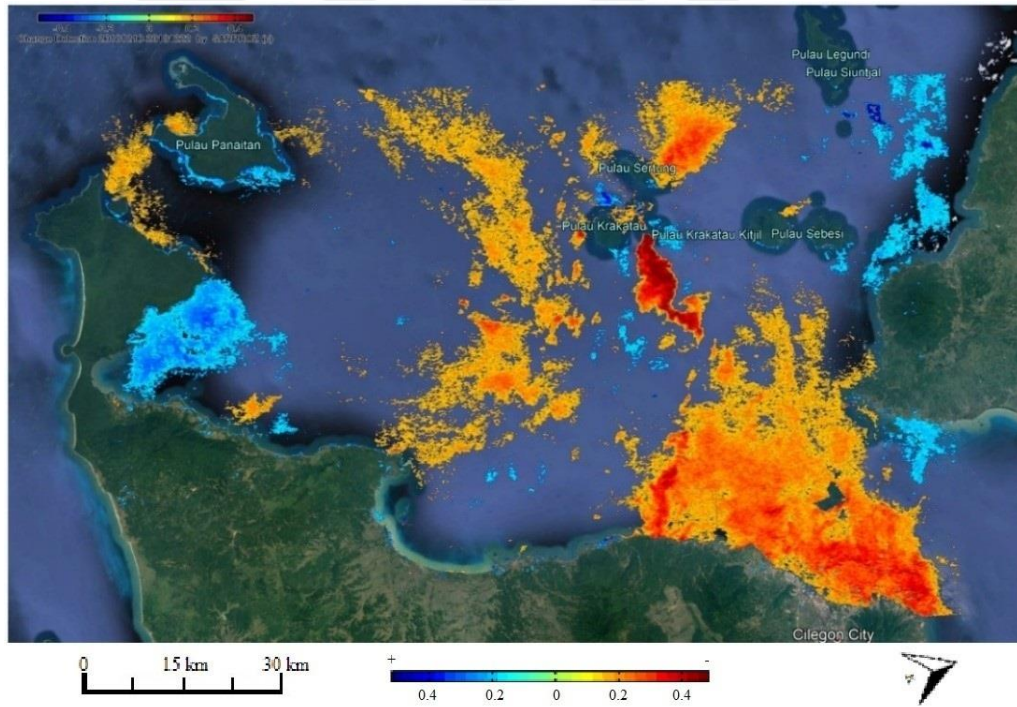
Görüntüler incelendiğinde görüntüler arasındaki dik bazın 8 m, zamansal bazın ise 12 gün olduğu görülmüştür. Görüntüler seçildikten sonra görüntülerin eşleştirmesi aşamasına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 10.12.2018 tarihli görüntü master görüntü, 22.12.2018 tarihli görüntü ise slave görüntü olarak belirlenip eşleştirilmişlerdir (Ek A6). Görüntüler eşleştirildikten sonra tsunaminin etkilerinin daha iyi yorumlanabilmesi için tsunaminin bir sebebi olduğu düşünülen heyelan SAR görüntüleri aracılığıyla tespit edilmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Anak Krakatau Yanardağı’nda meydana gelen heyelanın SAR görüntüleri.

Heyelanın tespitinden sonra tsunaminin etkisinin belirlenmesi için uygulama aşamasına geçilmiştir. Uygulama kapsamında tsunaminin etkisinin daha iyi incelenebilmesi için 2 farklı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde SAR görüntülerinin

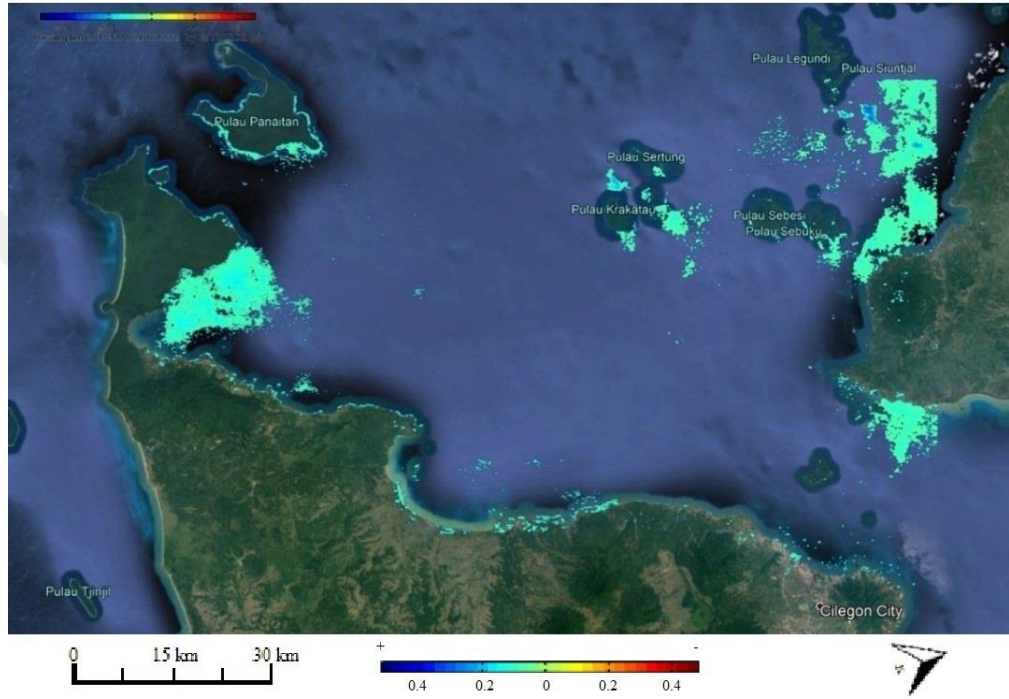
genlik değerleri kullanılarak değişim analizi yapılmıştır. Bu yöntemde 10.12.2018 ve 22.12.2018 tarihli görüntülerdeki piksellerin genlik değerlerinin pozitif ve negatif yönlü farkları belirlenerek değişim belirlenmektedir. Ancak genlik değerlerindeki fark sadece uygulama bölgesindeki değişimden kaynaklı değil; görüntüler arasındaki zamansal baz, dik baz, atmosferik etkiler ve benzeri etkilerden dolayı da meydana gelebilmektedir. Bu sebeple çalışma için birkaç deneme sonrasında gürültü eşiği 0,15 olarak belirlenmiş ve bu değerin altındaki genlik değişimleri filtrelenmiştir. Filtre pencere boyutu ise uygulama alanının büyük bir bölümünü su kütlesinden meydana gelmesinden dolayı mekânsal çözünürlüğü çok düşürmeden tahmin belirsizliğini azaltıp tutarlılığı arttırmak için 25 olarak seçilmiştir. Analiz sonucu oluşturulan haritada 22.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluğun 10.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluktan daha küçük olduğu pikseller sarı ve kırmızı renklerle ifade edilmektedir. 22.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluğun 10.12.2018 tarihli görüntüden daha büyük olduğu pikseller ise mavi renkle ifade edilmektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Sunda Boğazı'nda genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu.

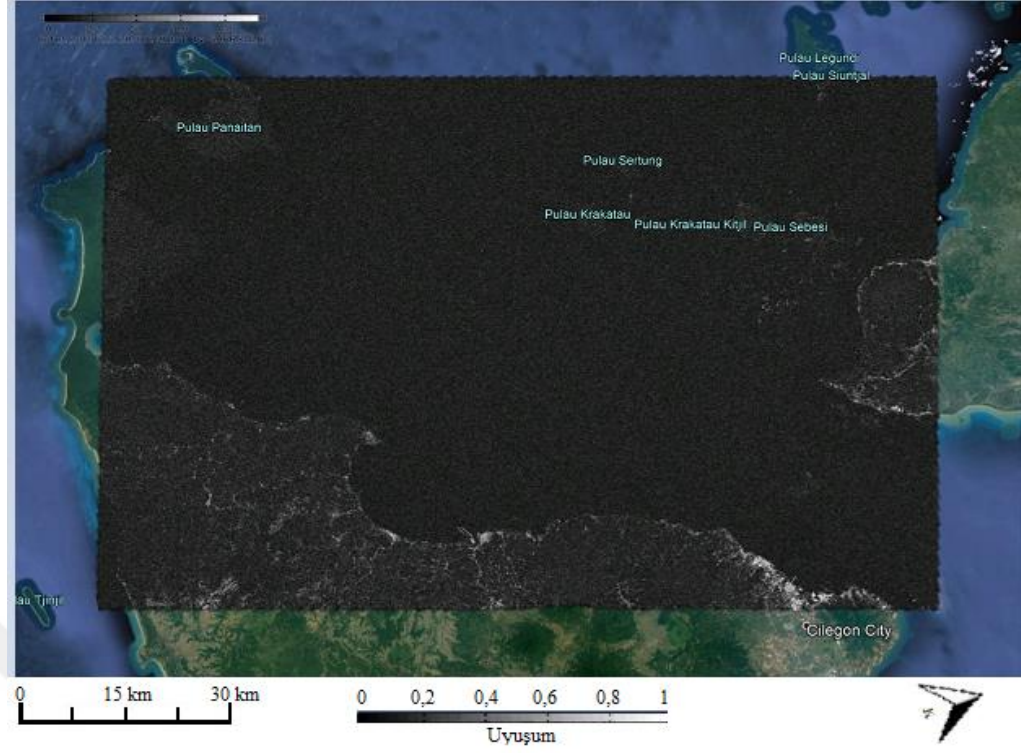
Oluşturulan harita incelendiğinde tsunami sonucu karaya vuran kalıntılardan ve orman arazileri veya şehir kenarlarındaki su altında kalan yerlerin çift saçılma etkisinden dolayı bazı bölgelerde radar sinyalinin geri dönüş yoğunluğu artışı tespit edilmiştir.

Bu bölgelerde 22.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluk 10.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluktan daha büyüktür. Bundan dolayı bu bölgeler mavi renkli piksellerle ifade edilmektedir. Sarı ve kırmızı bölgeler ise tsunami sonrası meydana gelen dalgalardan dolayı 22.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluğun 10.12.2018 tarihli görüntüdeki yoğunluktan daha küçük olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Bu sebeple tsunaminin etkisinin daha iyi gözlemlenebilmesi için kırmızı tonlu pikseller filtrelenerek mavi tonlu pikseller ise zenginleştirilmiştir (Şekil 4.46).



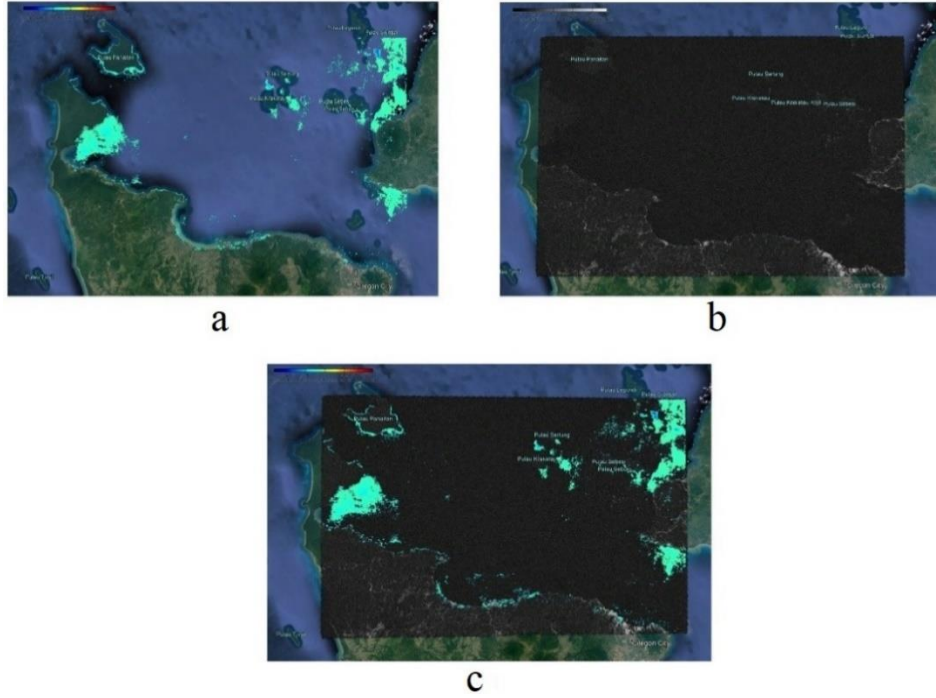
Şekil 4.46. Sunda Boğazı'nda genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin filtreleme sonrası sonucu.

İkinci yöntemde ise görüntülerin faz ve genlik değerlerinin kullanıldığı genel uyum haritası oluşturulmuştur. Genel uyum haritasında su kütlesi ile karaların kesiştiği bölgelerdeki uyumun düşük olduğunu koyu renkli pikseller tsunaminin etki alanlarını veya gölgeleme etkisinde kalan bölgeleri temsil etmektedir. Daha açık tonlu renkler ise uyumun yüksek olduğu tsunamiden etkilenmeyen yerleri ifade etmektedir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. Sunda Boğazı'nda oluşturulan genel uyuşum haritası.

Daha sonra ise iki görüntü birleştirilerek değişimlerin olduğu ortak alanlar belirlenmiştir (Şekil 4.48).



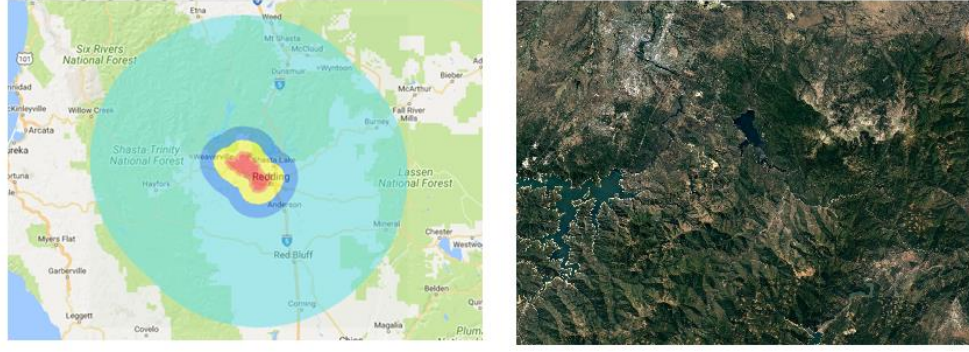
Şekil 4.48. a) Genlik değerlerine göre değişim analizi yöntemi, b) Genel uyuşum haritası, c) İki yöntemin karşılaştırılması.

Krakatau, Palua Krakatau Kitjil ve Paluo Sertung Adaları (mavi bölge); Pulau Sebesi ve Pualu Sebuku Adaları (sarı bölge); Rajabasa Dağı'nın etekleri (gri bölge); Tjieurop, Labuhan ve Anjer-Kidu Kıyıları (pembe bölge); Samur, Babakancibeber ve Koliitjaah kıyıları (mor bölge); Ujung Kulon Ulusal Parkı (turuncu bölge) ve Palau Panaitan Adaları'dır (kırmızı bölge). Tsunaminin fiziki etkilere her bölge için ayrı ayrı gözlemlendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Tsunamiye neden olan Anak Krakatau Yanardağı ve yanardağa en yakın üç adayı içeren mavi bölge incelendiğinde, ilk yöntemde bölgenin neredeyse tamamının mavi piksellerden oluştuğu, ikinci yöntemde ise ada ile su kütlesi arasında renk geçişinin tespit edilemeyecek düzeyde olması bölgenin tsunamiden aşırı etkilendiğini göstermektedir.
- Sarı ve gri bölge birlikte incelendiğinde, sarı bölgenin üst kısımlarının ve gri bölgenin kıyı kısmının LOS yönünün tersinde kaldığı görülmektedir. Bu yüzden bu bölgelerdeki deformasyonlar gölgeleme etkisi yüzünden tam olarak incelenememektedir. Ancak iki bölgenin de gölgelenmeye maruz kalmayan bölgeleri incelendiğinde mavi bölgeden sonra tsunamiden en çok etkilenen iki bölge olduğu tespit edilmiştir.
- Kıyı bölgesini içeren pembe ve mor bölge birlikte incelendiğinde, yer yer yükseltiden dolayı tsunamiden etkilenmeyen bölgeler gözlemlense de tsunaminin kıyı şeridi boyunca etki ettiği tespit edilmiştir.
- Tsunamiden en çok etkilenen bölgelerden biri olarak tespit edilen turuncu bölge incelendiğinde, pembe ve mor bölge boyunca etki eden dalgaların çıkış yönünde bulunmasından dolayı tsunamiden yoğun bir şekilde etkilendiği gözlemlenmiştir.
- Kırmızı bölge incelendiğinde, tsunaminin tüm ada çevresinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

4.6 Kaliforniya Carr Yangını'nın Değişim Analizleri ile İncelenmesi

Carr Yangını Kaliforniya'da gerçekleşen en büyük 7. yangın olarak literatürde yerini almıştır. 23.07.2018'de başlayıp yaklaşık olarak 39 gün süren yangın 229.651 dönümlük bir araziye etkilemiştir (Şekil 4.50).



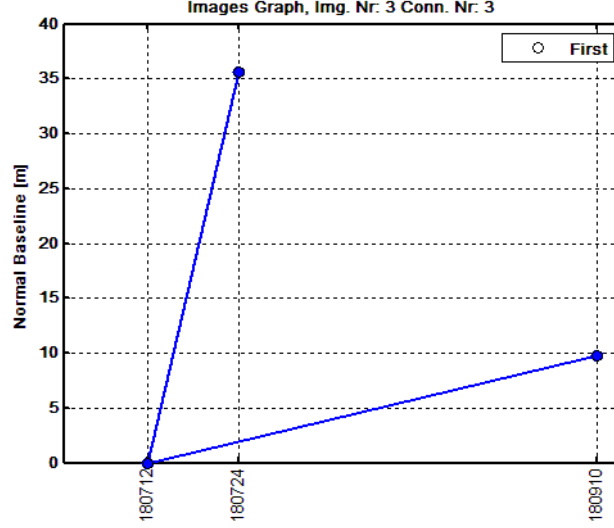
Şekil 4.50. Kaliforniya Carr Yangını'nın genel etki alanı (URL-36'dan değiştirilmiştir).

Uygulama kapsamında yangının başlangıç noktasının tespiti ve etki alanını tespiti ayrı ayrı ele alınacağından dolayı 3 adet SAR görüntüsü kullanılmıştır. Kullanılan Sentinel-1A uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.8'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.8. Kaliforniya Carr yangını uygulamasında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

Görüntülenme Tarihi (gün.ay.yıl)	Polarizasyon	Yol No	Çerçeve No	Uçuş Yönü	Mutlak Yörünge	Işın Modu	Bant
12.07.2018	VV+VH	115	457	Azalan	22762	IW	C
24.07.2018	VV+VH	115	457	Azalan	22937	IW	C
10.09.2018	VV+VH	115	457	Azalan	23637	IW	C

Görüntüler incelendiğinde görüntüler arasındaki en uzun dik bazın 40 m, en uzun zamansal bazın ise 66 gün olduğu görülmüştür. Görüntüler seçildikten sonra görüntülerin eşleştirmesi aşamasına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken iki uygulamada da kullanılacak olan 12.07.2018 tarihli görüntü master görüntü, 24.07.2018 ve 10.09.2018 tarihli görüntüler ise slave görüntü olarak belirlenip eşleştirilmişlerdir (Ek A7). Slave görüntülerin master görüntüye göre zamansal ve dik bazları Şekil 4.51'de verildiği gibidir.



Şekil 4.51. Kaliforniya Carr Yangın Bölgesi Sentinel-1A SAR görüntüleri arasındaki zamansal ve dik baz.

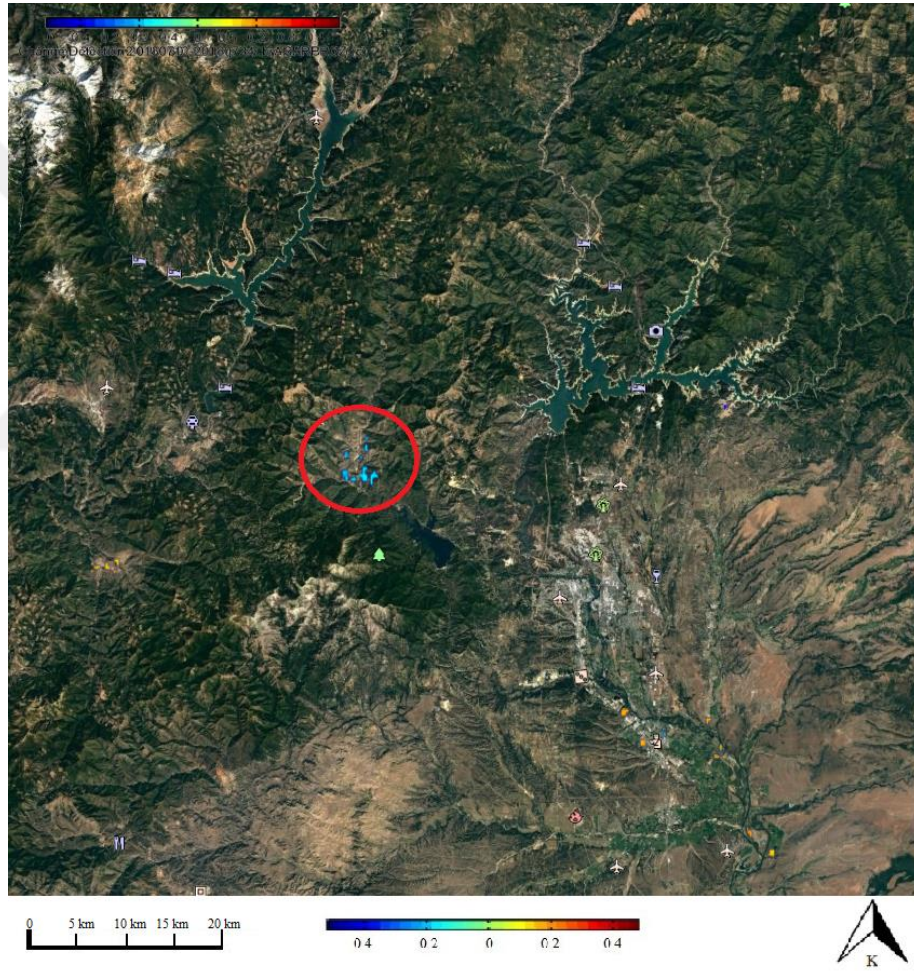
Görüntüler eşleştirildikten sonra uygulama aşamasına geçilmiştir. İki uygulamada da hem sadece genlik değerlerinin kullanıldığı yöntem ile hem de faz ve genlik değerlerinin kullanıldığı genel uyuşum haritası ile değişim tespiti yapılmıştır. Görüntülerinin sadece genlik değerlerinin kullanıldığı ilk yöntem ile SARPROZ programı aracılığıyla oluşturulan görüntülerde; master görüntüdeki piksellerin genlik değerlerinin slave görüntüdeki piksellerin genlik değerlerinden az olduğu yerler sarı renkli piksellerle, fazla olduğu yerler ise mavi renkli piksellerle ifade edilmektedir. Bu sayede yangın sonucu yok olan orman arazilerinin altında kalan kayaç ve toprağın ortaya çıkmasından dolayı artan genlik değerleri yani mavi renkli pikseller belirlenerek yangının başlangıç noktası ve yangının etki alanı tespit edilmiştir.

Hem genlik hem de faz değerlerinin kullanıldığı ikinci yöntemde ise SARPROZ programı aracılığıyla oluşturulan genel uyuşum haritalarında gölgeleme etkisinde kalan bölgeler ya da uyuşumun azaldığı yerler siyah tonlu piksellerle ifade edilmektedir. Bu sayede uyuşumun düştüğü yerler belirlenerek yangının başlangıç noktası ve yangının etki alanı tespit edilmiştir.

4.6.1 Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktasının belirlenmesi

Yangının başlangıç noktası belirlenirken ilk olarak SAR görüntülerinin genlik değerlerinin kullanıldığı değişim analizi yapılmıştır. Analiz kapsamında öncelikle genlik değişimi alt sınır değeri belirlenmiştir. Farklı değerlerle yapılan çeşitli

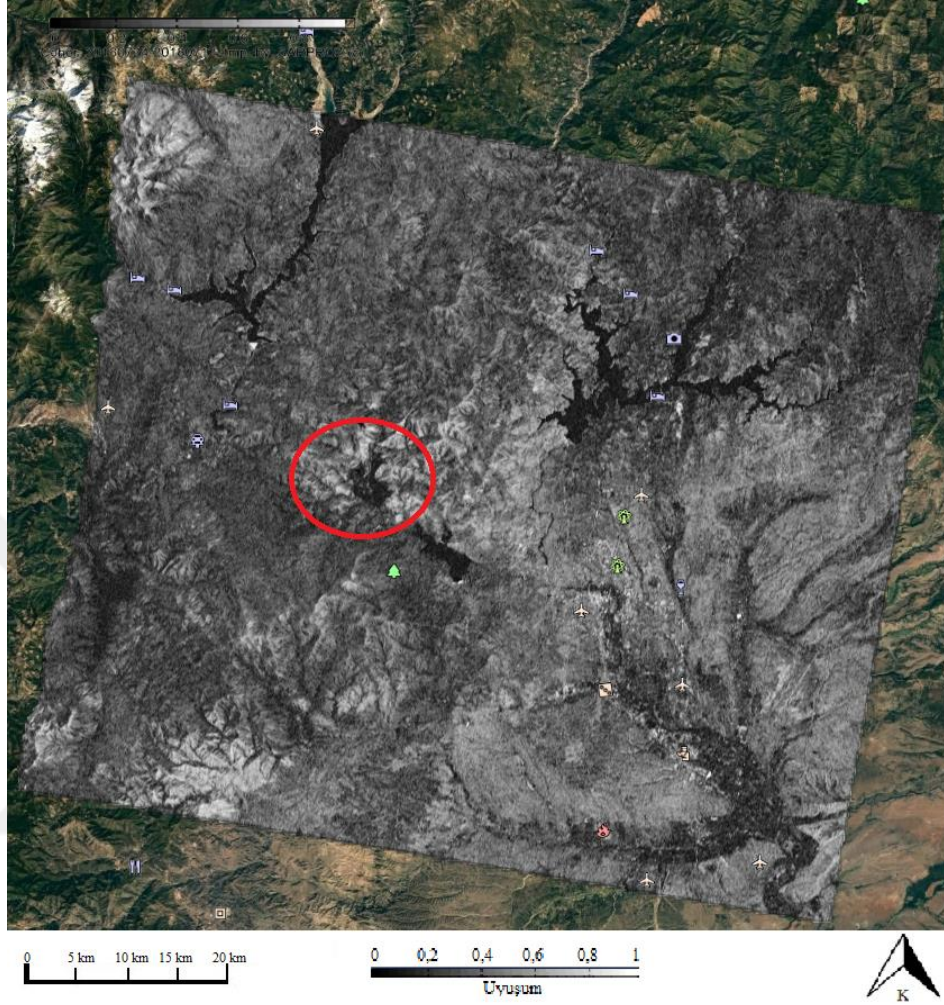
denemeler sonrası değişim alt sınır değeri 0,14 olarak belirlenerek bu değerin altındaki farklar gürültü varsayılarak filtrelenmiştir. Filtre pencere boyutu ise uygulama alanının yoğun olarak orman arazisinden oluşmasından dolayı mekânsal çözünürlüğü çok düşürmeden tahmin belirsizliğini azaltıp tutarlılığı arttırmak için 25 olarak belirlenmiştir. Gürültü eşiği ve filtre pencere boyutu belirlendikten sonra 12.07.2018 ve 24.07.2018 tarihli SAR görüntülerinin birbirine karşılık gelen piksellerinin genlik değerlerinin farkı alınarak bir görüntü oluşturulmuştur. Görüntü oluşturulduktan sonra oluşturulan görüntüde mavi pikseller belirlenerek yangının başladığı bölge tespit edilmiştir (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.

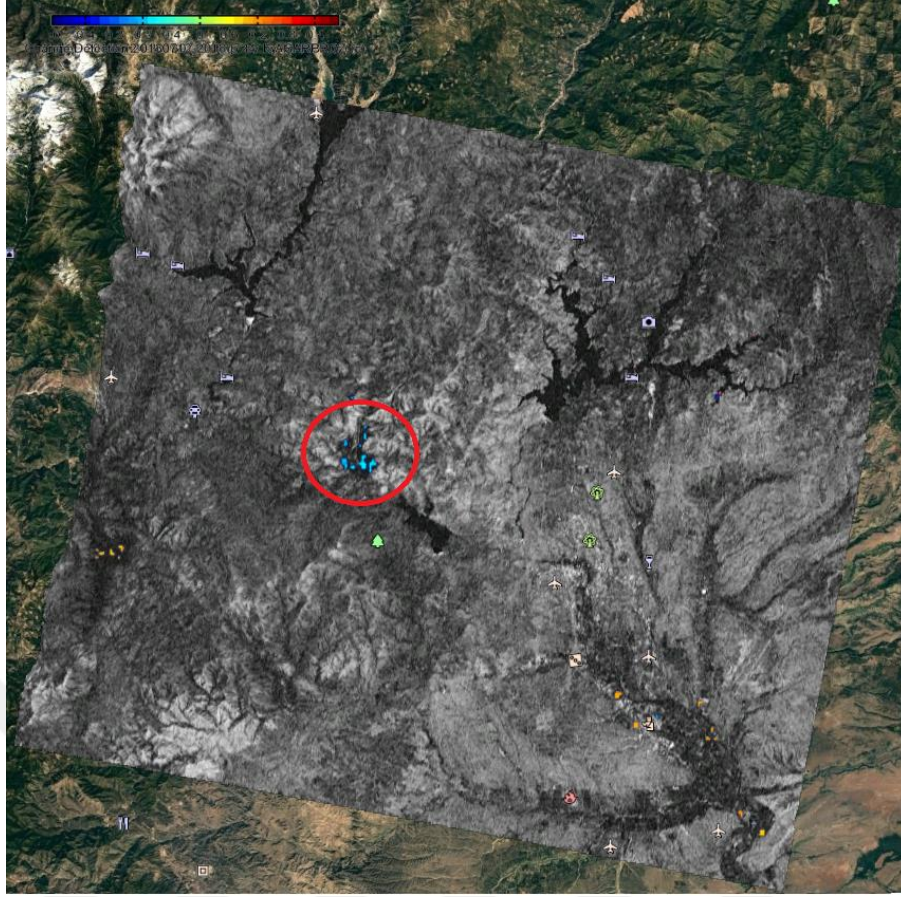
Faz ve genlik değerlerinin kullanıldığı ikinci yöntemde ise 12.07.2018 ve 24.07.2018 tarihli görüntüler kullanılarak genel uyuşum haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan

haritada uyuşumun azaldığı yerler siyah tonlu pikseller belirlenerek yangının başladığı bölge tespit edilmiştir (Şekil 4.53).



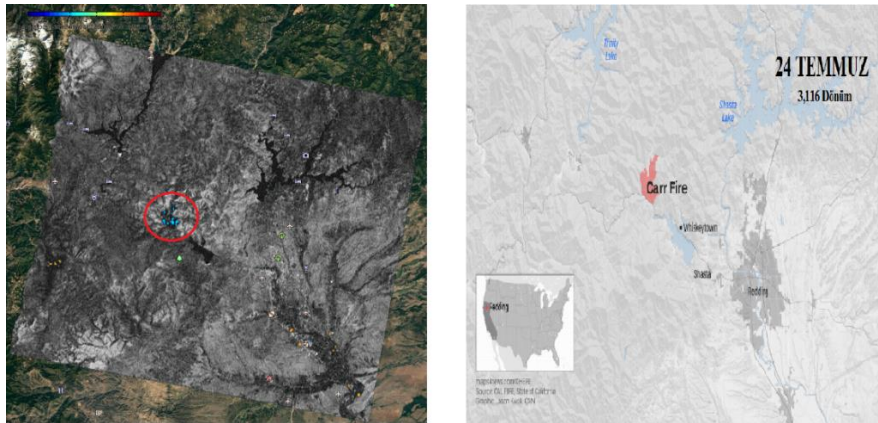
Şekil 4.53. Genel uyuşum haritası kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.

Daha sonra ise yangının başlangıç noktasını daha iyi gözlemlenebilmesi için iki görüntü Google Earth üzerinde birleştirilmiştir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. İki yöntemdeki görüntülerin birleştirilmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası.

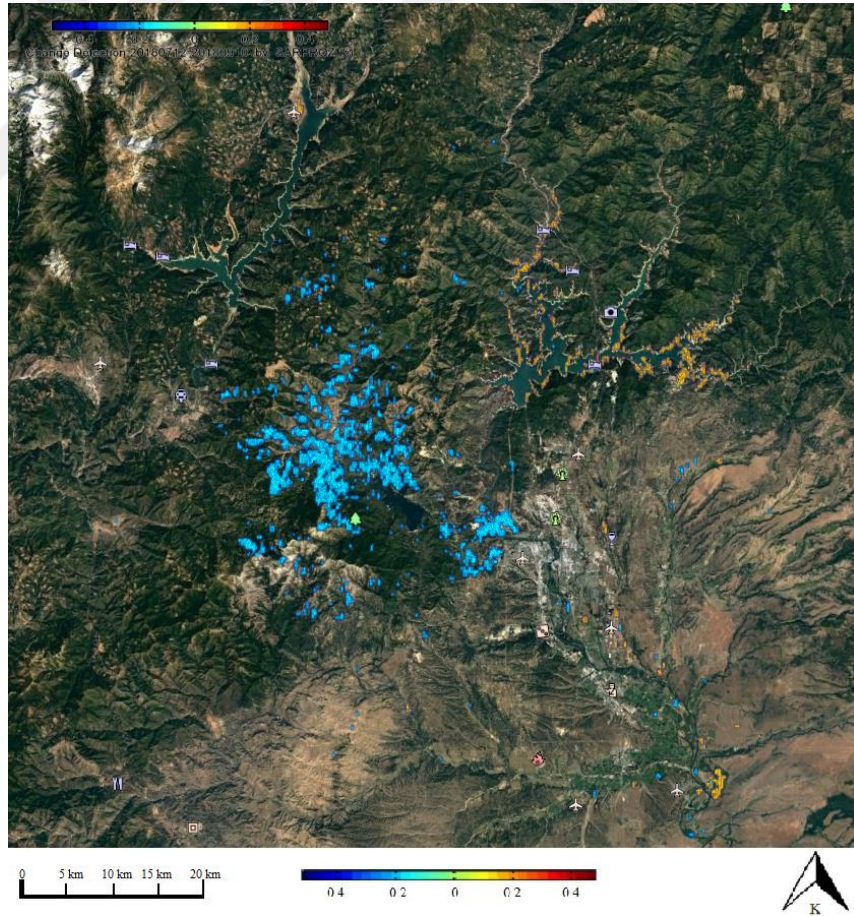
Oluşturulan birleştirilmiş görüntü California Ormancılık ve Yangından Korunma Bakanlığında elde edilen veriler ile oluşturulmuş bir görüntü ile karşılaştırıldığında bir çakışma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Kaliforniya Carr Yangını'nın başlangıç noktası (URL-37'den değiştirilmiştir).

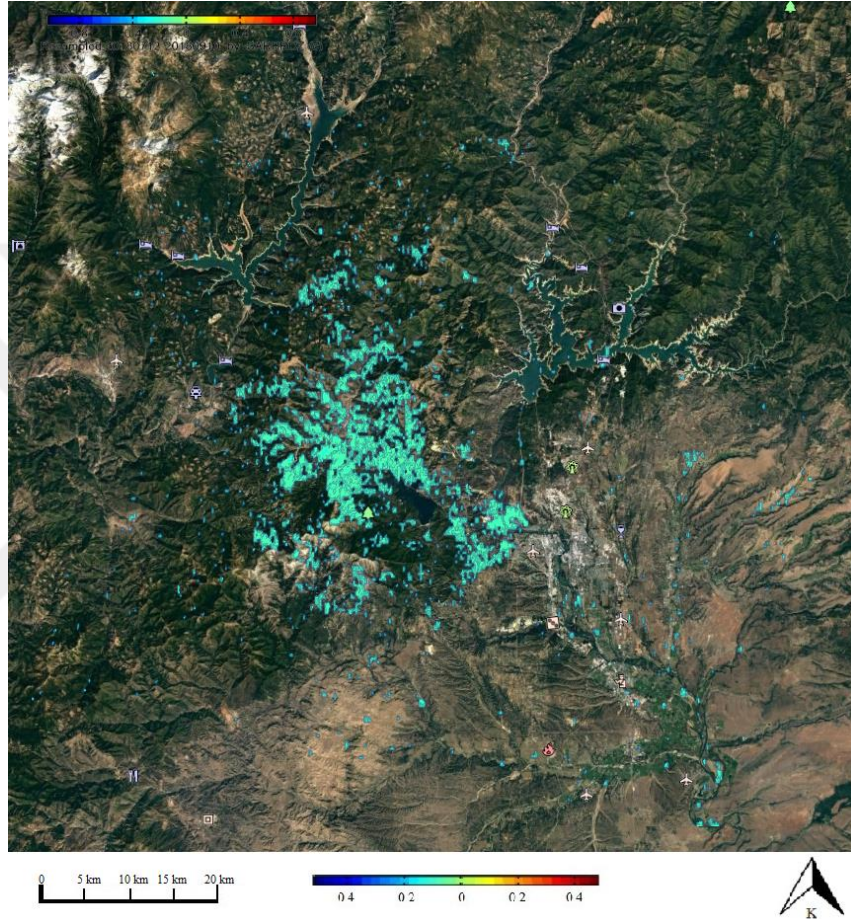
4.6.2 Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlenmesi

Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanını belirlenirken ilk olarak SAR görüntülerinin genlik değerleri ile yapılan değişim analizi yöntemi kullanılmıştır. Analiz kapsamında öncelikle genlik değişimi alt sınır değeri belirlenmiştir. Alt sınır belirlenirken yangın sonraki görüntüdeki duman etkisi yüzünden yangının başlangıç noktasının belirlendiği uygulamadaki değerden daha yüksek belirlenmiştir. Farklı değerlerle yapılan çeşitli denemeler sonrası en sağlıklı veriler alt sınır değeri 0.142 olarak belirlendiği zaman elde edilmiştir. Filtre pencere boyutu ise yangının başlangıç noktasının belirlendiği uygulamadaki değer ile aynı kalmıştır (25). Gürültü eşiği ve filtre pencere boyutu belirlendikten sonra 12.07.2018 ve 10.09.2018 tarihli SAR görüntüleri kullanılarak birbirine karşılık gelen piksellerinin genlik değerlerinin farkı alınarak bir görüntü oluşturulmuştur. Görüntü oluşturulduktan sonra oluşturulan görüntüde mavi pikseller belirlenerek yangının başladığı bölge tespit edilmiştir (Şekil 4.56).



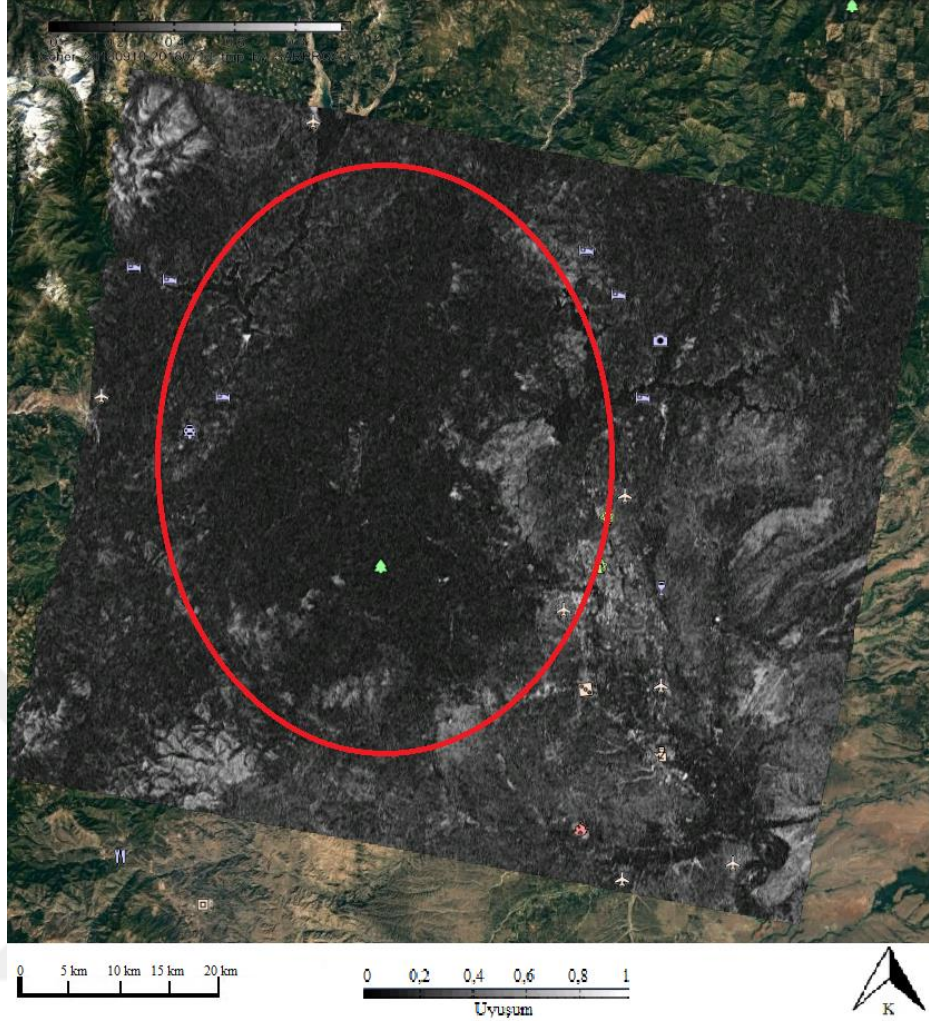
Şekil 4.56. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.

Şekil 4.56. incelendiğinde yangın sonucu oluşan küllerin daha önceden yansıtma değeri yüksek olan su kenarlarındaki aşınmış toprak bölgesinin doldurması sonucu bazı bölgelerde genlik değerlerin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu bölgeler sarı tonlu piksellerle ifade edilmektedir. Bundan dolayı sarı tonlu pikseller filtrelenerek mavi tonlu pikseller zenginleştirilmiştir. Böylece yangının etki alanı daha iyi belirlenmiştir (Şekil 4.57).



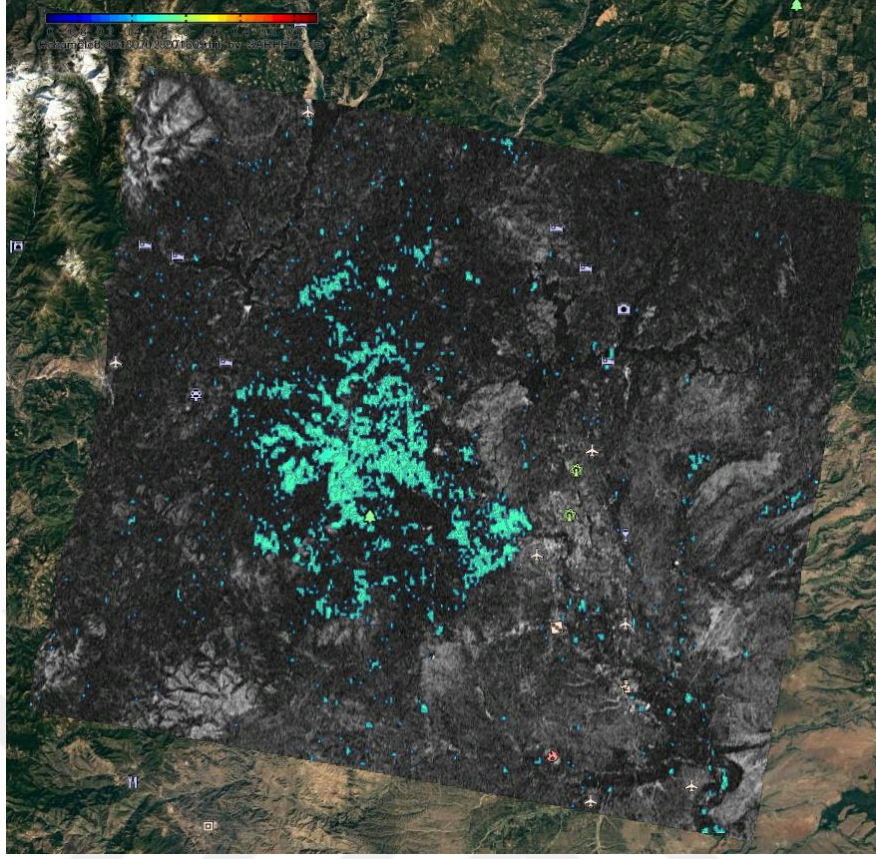
Şekil 4.57. Genlik değerleri kullanılarak yapılan değişim belirleme analizinin filtrelenmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.

Faz ve genlik değerlerinin kullanıldığı ikinci yöntemde ise 12.07.2018 ve 10.09.2018 tarihli görüntüler kullanılarak genel uyuşum haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritada uyuşumun azaldığı yerler siyah tonlu pikseller belirlenerek yangının etki alanları tespit edilmiştir (Şekil 4.58).



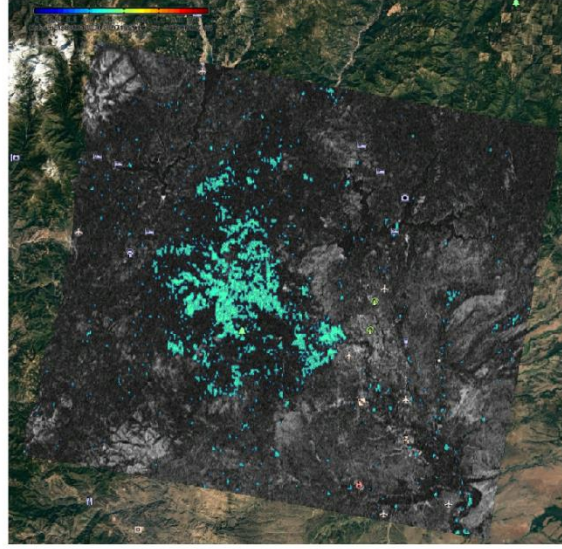
Şekil 4.58. Genel uyşum haritası kullanılarak yapılan değışim belirleme analizinin sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.

Daha sonra ise yangının etki alanının daha iyi gözlemlenebilmesi için iki görüntü Google Earth üzerinde birleştirilmiştir (Şekil 4.59).

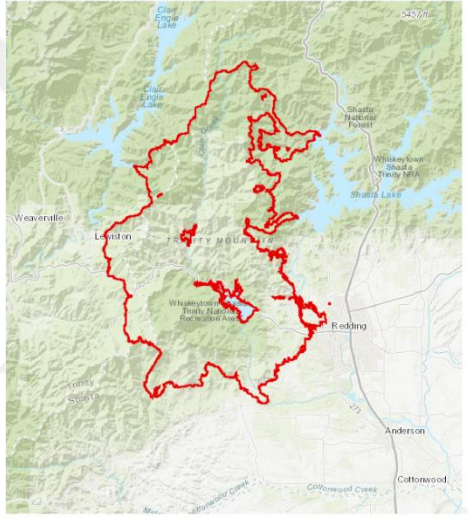


Şekil 4.59. İki yöntemdeki görüntülerin birleştirilmesi sonucu belirlenen Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı.

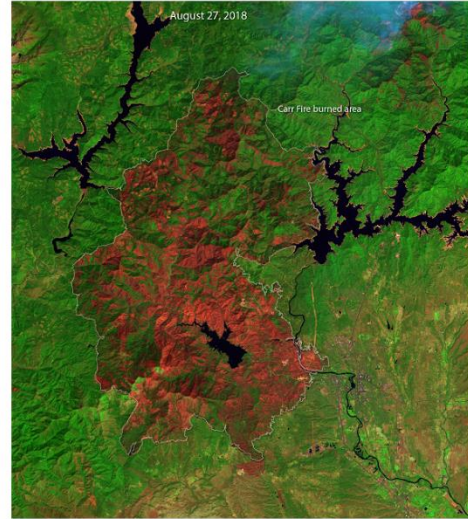
Birleştirilmiş görüntü ile belirlenen yangının etki alanı (a), California Ormancılık ve Yangından Korunma Bakanlığı (b) ve NASA (c) tarafından oluşturulmuş görüntüler ile karşılaştırıldığında bir çakışma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.60).



a



b



c

Şekil 4.60. Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanı (a, b, c), (URL-38, URL-39).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal ve insan kaynaklı afetler can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Özellikle depremler, volkan patlamaları ve tsunamiler gibi geniş çaplı afetler insan hayatını olumsuz etkilemekte ve topoğrafya üzerinde belirli değişimlere yol açmaktadır. Afetlerden kaynaklı bu değişimler farklı yöntemlerle izlenip, analiz edilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri de İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar; SAR) yani kısaca 'InSAR' yöntemidir. InSAR yöntemi ve InSAR yöntemine bağlı geliştirilen ölçme yöntemleri maden arama, deformasyon ölçümleri, SYM oluşturma gibi birçok farklı alanda birçok farklı meslek disiplinince kullanılan çok yönlü ölçme yöntemleridir. InSAR yönteminin diğer ölçüm yöntemlerinden farklı olarak; yersel ölçümlere bağımlı olmamasından, aktif bir sistem olduğu için 7 gün 24 saat boyunca veri elde edebilmesinden, kullandığı dalga boyundan dolayı atmosferik koşullardan daha az etkilenmesinden ve ölçüm alanının çok geniş alanlara ulaşabilmesinden dolayı hem maliyet hem de zamansal olarak birçok avantajı vardır. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte zamansal ve mekânsal çözünürlüğü artan SAR uyduları sayesinde mm düzeyinde ölçüm yapabilmek mümkündür. Bu tez çalışmasında çeşitli afetler üzerine farklı InSAR yöntemleri ile yapılan uygulamalarla gerek afet öncesinde gerek afet sırasında gerekse afet sonrasında meydana gelen etkilerin incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Belirlenen etkilerin bulgu ve sonuçları maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Depremler can ve mal kaybına yol açabilen geniş çaplı felaketlerdir. Deprem kaynaklanan deformasyonların doğrudan deprem kaynağından tespit edilebilmesi neredeyse imkansızdır, bu nedenle genel olarak dolaylı ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tezde depremlerle ilgili uygulamalarda Diferansiyel DInSAR yöntemi kullanılmıştır.

- 2015 Şili Illapel depreminin incelendiği uygulamada, özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiş olan 6 adet Sentinel-1A uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM aracılığıyla oluşturulmuş interferogramlar kullanılmıştır. Oluşturulan interferogramlar Google Earth aracılığıyla ile birleştirilerek tek bir interferogram haline getirilmiştir. Birleştirilmiş interferogram incelendiğinde uygulama alanında 54 saçak deseni tespit edilmiştir. InSAR yöntemi ile yapılan deformasyon ölçümlerinde

İnterferogramlardaki her bir desen geçişi görüntü elde etmede kullanılan elektromanyetik dalğanın boyunun yarısı kadar deformasyon olduğunu göstermektedir (Curlander ve McDonough, 1991; akır, 2003; Akoğlu, 2008; şengün, 2008; Yılmaztürk, 2015). Sentinel-1A uydusunun dalga boyu 5,6 cm olduğundan dolayı 2015 şili Illapel deprem bölgesindeki LOS yönündeki deformasyon ~151 cm olarak elde edilmiştir.

- 2019 Peru Loreto depremi incelenirken özellikleri izelge 4.2’de verilmiş 2 adet Sentinel-1B uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM aracılığıyla oluşturulan interferogram kullanılmıştır. Oluşturulan interferogram incelendiğinde 9 faz saçağı sayılmıştır. Saçak sayısı Sentinel-1B uydusunun dalga boyunun yarısı (2,8 cm) ile çarpıldığında LOS yönünde 25,2 cm’lik bir hareket olduğu gözlemlenmiştir. Ancak şekil 4.9’da da verildiği üzere uygulama alanında deformasyonlara daha fazla maruz kalan bölgeler de mevcuttur. şekil 4.10’da verilen 20 bölge incelendiğinde bölgenin genel uygulama alanına nazaran 7 daha fazla faz saçağı içerdiği gözlemlenmiştir. Buda bu bölgenin LOS yönünde diğer bölgelere nazaran 19,6 cm daha fazla deformasyona maruz kaldığını göstermektedir.

- Yukarıdaki veriler, InSAR yönteminin 2019 Peru Loreto depremindeki 20 kilometrekarelik alt alan gibi küçük alanlardan, 2015 şili Illapel depremi uygulama alanının tamamı olan 93000 kilometrekarelik geniş alanlar kadar farklı boyuttaki alanları hızlı bir şekilde cm hassasiyetinde haritalama yeteneğini ortaya koymaktadır.

2. Patlamalar insan veya doğal kaynaklı ani olarak gerçekleşen felaketlerdir. Bu tezde Çin Jiangsu Yanheng kentinde meydana gelen kimyasal patlama incelenmiştir. Patlama incelenirken, özellikleri izelge 4.3’te verilmiş olan 2 adet Sentinel-1B uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM aracılığıyla oluşturulan interferogram kullanılmıştır. Oluşturulan interferogram ile uygulama alanı incelendiğinde patlamanın meydana geldiği alanda düzenli bir deformasyon bilgisi bulunamasa da patlama alanındaki piksellerin tam bir renk bütünlüğü göstermeyip her pikselin renk değerlerinin çevresine göre farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede patlamadan etkilenmiş alan tespit edilebilmiştir. Etkilenmiş alan Google Earth aracılığıyla incelendiğinde patlamanın yaklaşık 3 km²’lik bir alana etki ettiği tespit edilmiştir. Ancak 3 km²’lik etki alanı diğer kaynaklardan elde edilen veriler ile

karşılaştırıldığında patlamanın sadece birincil etki alanını olarak ortaya çıkmaktadır (Zhang vd., 2019; URL-26; URL-27). Bu da patlamanın etki alanının tamamının sadece InSAR yöntemi ile tespit edilemediğini göstermektedir. Ancak InSAR yöntemi ile patlamanın tüm etki alanını ile tespit edilemese de birincil etki alanının tespit edilebilmesi InSAR yöntemi ile oluşturulan interferogramların acil bir afet durumunda tam bir harita oluşturulana kadar geçici haritalar olarak kullanılabileceğinin veya oluşturulacak haritalar için tamamlayıcı bir veri kaynakları olabileceğinin göstergesidir.

3. Volkanik patlamalar genellikle volkanik yapı boyunca magmanın yükselişini yansıtan karakteristik deformasyon kalıplarının artmasından hemen sonra gerçekleşmektedir (Bürgmann vd., 2000). Bu nedenle volkanik bölgelerdeki değişimler gözlemlendiğinde, bazı volkanik hareketler önceden tahmin edilebilmektedir. Fakat aktif volkanizma sürecinde bir volkanı yersel ölçme yöntemlerle incelemek oldukça tehlikelidir. Bu sebeple aktif volkanlar gözlemlenirken genelde uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır. Ancak çoğu uzaktan algılama tekniği volkanizma sonucu ortaya çıkan kül bulutları yüzünden yeterli veri elde edememektedir. Buna rağmen bir uzaktan algılama yöntemi olan PS-InSAR yöntemi, InSAR yöntemlerinde kullanılan görüntülerin optik sensörlerle elde edilmiş görüntülere nazaran daha büyük dalga boylarıyla elde edilmesinden ve PS-InSAR tekniği ile yapılan analizlerde atmosferik faz modelinin tahmin edilip atmosferik etkilerin kaldırılmasından dolayı, kül bulutları gibi görüntü elde etmeyi engelleyen faktörlerden daha az etkilenmektedir (Lu ve Dzurisin, 2018). Bu tez çalışmasında Mayon Yanardağı 23.12.2017'den 15.08.2019'a kadar olan 672 günlük bir zaman aralığı boyunca PS-InSAR yöntemi ile gözlemlenmiştir. Gözlemlene kapsamında özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiş olan 20 adet Sentinel-1B uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM aracılığıyla oluşturulan PS noktaları kullanılmıştır. Yapılan gözlemler ile Mayon Yanardağı ve çevresindeki bölgenin LOS yönündeki 672 günlük hareketli incelendiğinde; 672 günlük hareketin yanardağın yakın çevresindeki kıyılarda bulunan yerleşim yerlerinde -10 mm ile -30 mm arasında, dağın eteklerinden dağın zirvesine kadar olan bölgede -80 mm ile -180 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yanardağıdaki hareketler genel olarak incelendiğinde yoğun volkanik hareketlerin 13.01.2018 ile 24.01.2018 tarihleri arasında ve 26.12.2018

tarihinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Volkanik hareketlerin ilk başladığı tarih olan 13.01.2018'e kadar gerçekleşen hareketler incelendiğinde ise özellikle Mayon Yanardağı'nın eteğinde belirlenen noktalarda volkanizma öncesi meydana gelen hareketler tespit edilebilmiştir (Ek B).

- Yukardaki veriler, PS-InSAR yöntemi ile yapılan volkanizma çalışmalarında yeterli PS noktası retilenirse volkanizma sonucu meydana gelen deformasyonların tespit edilebildiğini göstermektedir.

- Volkanik faaliyetlerin başladığı tarih olan 13.01.2018'e kadar gerçekleşen volkanizma öncesi hareketlerin tespit edilebilmesinden dolayı ise PS-InSAR yöntemi ile volkanlar gerekli sıklıkla incelenebilirse elde edilen verilerin n uyarı sistemlerinde altlık veri olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

4. Konya Karapınar ilçesinde, ilçenin kireçli toprak yapısından ve sulama faaliyetleri için açılan artezyen kuyular nedeniyle deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu deformasyonlar obruklara sebep olmaktadır. Deformasyonların tespit edilmesi için Karapınar ilçesi ve ilçe çevresi 02.06.2016'dan 26.11.2019'a kadar olan 1272 günlük bir zaman aralığı boyunca PS-InSAR yöntemi ile gözlemlenmiştir. Gözlemleme kapsamında özellikleri izelge 4.4'te verilmiş olan ortalama 3 ay aralıklarla elde edilmiş olan 15 adet Sentinel-1A uydu görüntüsü ve SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM aracılığıyla oluşturulan PS noktaları kullanılmıştır. PS noktaları incelenirken bölgedeki hareketin lineer olmasından dolayı noktaların yıllık ortalama hareketleri göz önünde bulundurulmuştur. Uygulama alanında ki dağılımlarına göre PS noktaları incelendiğinde noktaların LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerini tespit edilmiştir. Ancak uygulama bölgesindeki deformasyon meydana geliş sebepleri bakımından düşey yönlü gerçekleşmektedir. Bu sebeple eşitlik 4.2 kullanılarak LOS yönündeki deformasyon değerleri düşey yönlü deformasyon değerlerine çevrilebilmektedir. Uygulama alanında ki PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerinin ve düşey yönlü karşılıklarının noktaların dağılımlarına göre ortalamaları Ek C'de verildiği gibidir.

- Yukardaki veriler, PS-InSAR yöntemi ile yapılan ölçümlerin lineer deformasyonları tespit edilebileceğini ve deformasyonların ortalama hızlarının çıkartılabileceğini göstermektedir.

- Ayrıca çıktı olarak elde edilen LOS yönlü deformasyonların, deformasyon tek yönlü ise basit bir dönüşümle gerçek deformasyonların değerlerine dönüştürülebildiği görülmektedir. Bu bağlamda yeryüzü çökmeleri, erozyon gibi obruk oluşumları gibi tek yönlü deformasyonların PS-InSAR yöntemi oluşturulan görüntüler aracılığıyla haritalanabileceği düşünülmektedir.

5. Tsunamiler deprem, heyelan, volkan patlamaları veya bunlara bağlı taban çökmesi ve zemin kayması gibi olaylar sonucu denizlerde ya da okyanuslarda meydana gelen geniş çaplı doğal afetlerdir (Latter, 1981). Bu tez çalışmasında Endonezya Sunda Boğazı'nda Anak Krakatau Yanardağı'nda meydana gelen volkanik patlamadan, patlamadan kaynaklı heyelandan ve denizaltında meydana gelen heyelanlardan dolayı meydana geldiği düşünülen tsunami incelenmiştir. Tsunami incelenirken tsunaminin etki ettiği alanlarını belirlemek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde özellikleri Çizelge 4.7'de verilmiş olan 2 adet Sentinel-1A uydu görüntüsünün genlik değerlerinin farkları kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise genel uyuşum haritası kullanılmıştır. Genel uyuşum haritası oluşturulurken Sentinel-1A uydu görüntülerine ek olarak SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM'de kullanılmıştır. İlk yöntemle geri saçılan radar sinyalinin toprak ve topraktaki su miktarı ile ilişkisi eldeki verilerle tam olarak kurulamadığı için tsunaminin genlik üzerine dolaylı etkileri sayesinde tsunami etki alanları tespit edilmiştir. C bant (VV) sistemlerle; kentsel bölgelerde, bitkili alanlarda ve ormanlık alanlarda yapılan çalışmalar geri dönen sinyalin gücünün çift-yansıma etkisi sonucunda arttığını göstermektedir (Li vd., 2009; Refice vd., 2020; Twonend, 2002). Çift-yansıma sonucu artan sinyal gücünün ve Iyyappan vd.'nin yaptığı çalışmada bahsettiği tsunami sonucu karaya vuran enkaz sebebiyle tsunami etki alanlarında yansıyan sinyalin gücünün artması ikincil etkiler olarak kullanılarak genlik değerinin arttığı bölgeler tespit edilip tsunaminin etki alanları belirlenmiştir (Iyyappan vd., 2018). İkinci yöntemde ise SAR uydu görüntülerinin hem faz hem de genlik değerleri kullanılarak oluşturulan genel uyuşum haritası yardımı ile tsunaminin etki alanları belirlenmiştir. Uyuşum haritalarında faz ve genlik de meydana gelen değişimler herhangi bir koşula bağlı olmadığı için direkt

olarak tsunaminin etki alanları belirlenebilmiştir. İki yöntemin avantaj ve dezavantajları birlikte incelendiğinde:

- İlk yöntemin uygulama bölgesinde genlik değerinin artması ya da azalmasına bağlı parametreler belirlenebilirse ikinci yönteme göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ancak tsunamiden etkilendiği halde belirlenen parametrelere sahip olmayan bölgelerin tespit edilememesi ve tsunami ile alakası olmadı halde belirlenen parametreler ile aynı yansıma özelliği gösteren bölgelerin tsunamiden etkilenmiş olarak tespit edilmesi bu yöntemin dezavantajıdır.

- İkinci yöntemde ise düşen uyşum değerinin herhangi bir parametreye bağlı olmadan direkt tsunaminin etki alanlarındaki değışimlere duyarlı olması bu yöntemin avantajıdır. Ancak bu gölgeleme etkisinden dolayı uyşumun düşük olduğu bölgelerin tsunami etki alanları ile aynı piksel değerleriyle ifade edilmesi tsunaminin etki alanını gerçek etki alanından fazla gösterebilmektedir.

- İki yöntem birlikte incelendiğinde ise yöntemlerin birbirini tamamlayıcı etki gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.48’de verilen birleştirilmiş görüntü Ek D’de verilen Climatology and Geophysics Agency ve Badan Nasional Penanggulangan Bencana tarafından oluşturulan tsunami etki haritaları ile karşılaştırıldığında belirlenen etki alanlarının büyük oranda benzer olduğunu görölse de gölgelemeden etkilenen bölgeler tespit edilememiştir.

- Yukardaki veriler, C-bant (VV) görüntüler ile yapılan tsunami çalışmalarında InSAR yöntemlerinin tek başına yetersiz olduğu kanısına varılmıştır. Ancak farklı bantlardaki SAR görüntüleri ile veya farklı uzaktan algılama görüntüleri ile birlikte kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. Yangınlar ormanlarda saatte 10,8 kilometre, otlaklarda saatte 22 kilometre kadar hızla hareket edebilir ve günlerce ilerleyebilir (URL-40). Bu yüzden bir orman yangının başlangıç noktasının ve etkisinin hızla tespit edilmesi çok önemlidir. Bu tez çalışmasında 12.07.2018’de meydana gelen Kaliforniya Carr Yangını incelenmiştir. Yangının başlangıç noktası ve etki alanı belirlenirken iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde tsunami incelenirken özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiş olan 3 adet Sentinel-1A uydu görüntüsünün genlik değerlerinin farkları kullanılmıştır. İkinci

yöntemde ise Sentinel-1A uydu görüntülerine ek olarak SRTM uydu görüntülerinden elde edilen bir SYM'nin de kullanılmasıyla oluşturulan genel uyuşum haritası kullanılmıştır. İlk olarak 12.07.2018 ve 24.07.2018 tarihli Sentinel-1A görüntüleri kullanılarak yangının başlangıç noktasını belirlenmiştir. Daha sonra ise 12.07.2018 ve 10.09.2018 tarihli görüntüler kullanılarak yangının etki alanı belirlenmiştir. İlk yöntemde bitki örtüsünün altındaki kayaç ve toprak yapısından yansıyan sinyalin genlik değerinin, bitki örtüsünden yansıyan sinyalin genlik değerinden daha fazla olması fikri kullanılmıştır. Bu sayede genlik değeri artan alanlar tespit edilerek yangının başlangıç noktası ve etki alanı belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise SAR uydu görüntülerinin hem faz hem de genlik değerleri kullanılarak oluşturulan genel uyuşum haritası yardımı ile yangının başlangıç noktası ve etki alanı tespit edilmiştir. Bu yöntemde iki SAR görüntüsü arasındaki uyuşum haritasındaki uyuşumun düşük olduğu yerler yangın sonucu değişen topoğrafya olarak varsayılarak yangının başlangıç noktası ve etki alanı belirlenmiştir (Rykhus ve Lu, 2011). Yangının başlangıç noktasının belirlendiği uygulamada iki yöntemle de oluşturulan görüntüler Şekil 4.55'te verildiği üzere California Ormancılık ve Yangından Korunma Bakanlığından elde edilen veriler ile oluşturulmuş görüntü ile karşılaştırıldığında belirlenen başlangıç noktaları uyuşmaktadır. Yangının etki alanının belirlendiği uygulamada ise iki yöntemle de oluşturulan görüntüler Şekil 4.60'da verildiği üzere California Ormancılık ve Yangından Korunma Bakanlığı ve NASA tarafından oluşturulan görüntüler ile karşılaştırıldığında, ilk yöntemle oluşturulan görüntüde sadece yangının başlangıç noktası ve ana etki bölgesi tespit edilebilmiştir. İkinci yöntemle ise yangının tüm etki alanı tespit edilebilmiştir. İki yönteminde avantaj ve dezavantajları birlikte incelendiğinde:

- İlk yöntemde yangının başlangıç noktası belirlenirken oluşturulan görüntüdeki gürültünün az olmasından dolayı gürültü eşik değeri düşük tutulmuştur. Bundan dolayı herhangi bir veri kaybı olmamıştır. Ancak yangının yayılması sonucu artan kül ve duman geri yansıyan sinyale gürültü olarak yansımıştır. Bu sebeple yangının etki alanının belirlendiği çalışmada gürültü eşik değeri daha yüksek tutulduğu için gürültü filtrelenirken bir veri kaybı olmuştur. Özellikle Ek E'de verildiği üzere yangının son etki alanı bu yöntem ile tam olarak belirlenememiştir.

- İkinci yöntemde ise hem başlangıç noktası belirlenirken hem de yangının etki alanı belirlenirken herhangi bir veri kaybı olmamıştır. Ancak bu yöntem ile yapılan uygulamalarda geliş açısından dolayı gölgelenme hatası her zaman mevcuttur. Bu yüzden düşük uyuşumu olan bölgeler tespit edilirken gölgeleme hatası her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

- Yukardaki veriler, C-bant (VV) görüntüler ile yapılan yangın belirleme çalışmalarında sadece genlik değerinin kullanıldığı yöntemlerin tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. Ancak genel uyuşum haritasının kullanıldığı yöntemdeki başarı InSAR yönteminin tek başına yangın alanlarının tespitinde kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

7. Genel olarak bakıldığında InSAR yönteminin farklı afet araştırmalarında kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca ücretsiz olarak elde edilebilen 5,6 cm (C-bant) dalga boyuna sahip Sentinel-1 uydu görüntülerinin herhangi bir bölge üzerinde 12 günlük periyotlar ile görüntü elde edebilmesi depremler, tsunamiler, yangınlar, patlamalar gibi kısa süre içinde gerçekleşen farklı afet türleri üzerine yapılan araştırmaları kolaylaştırmaktadır. Uydu sisteminin sabit bir periyotta görüntü alabilmesi ve 2014'den beri aktif olmasından dolayı ise zaman serileri ile yapılan volkanik hareketler ve toprak kayması gibi afetlerin araştırılabilmesine imkân sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Akoğlu, A. M., 2008. Analysis and modelling of the earthquake surface deformation with SAR interferometry: Case studies from Turkey and the world, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Abdikan, S., 2007. SAR görüntülerinden üretilen interferometik ve stereo sayısal yükseklik modellerinin kalitesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akabalı, A., 2002. Stereo yapay açıklıklı radar görüntülerinden otomatik sayısal yükseklik modeli Üretilmesi ve doğruluğunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anderson, J. G., Zeng, Y. ve Sucuoğlu, H., 2001. Analysis of accelerations from the 1 October 1995 Dinar, Turkey, earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 6, 1433-1445.
- Aydöner, C. ve Maktav, D., 2006. Uydu ve yersel veri entegrasyonu ile deprem sonrası arazi örtüsü/kullanımı analizi, İTÜ Dergisi, 5, 2, 35-48.
- Balık Şanlı, F., 2004. Elektro-optik ve SAR uydu görüntüleri ile arazi bitki örtüsünün belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bamler, R. ve Hartl, P., 1998. Synthetic aperture radar interferometry, Inverse Problems, 14, 4, R1-R54.
- Bürgmann R., Ayhan, M. E., Fielding, E. J., Wright, T. J., McClusky, S., Aktug, B., Demir, C., Lenk, O. ve Türkezer, A., 2002. Deformation during the 12 November 1999 Düzce, Turkey, earthquake from GPS and InSAR data, Bull. Seismol. Soc. Am., 92, 161-171.
- Bürgmann, R., Rosen, P. A. ve Fielding, E. J., 2000. Synthetic aperture radar interferometry to measure earth's surface topography and its deformation, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28, 1, 169-209.
- Carnec, C., Massonnet, D. ve King, C., 1996. Two examples of the use of SAR interferometry on displacement fields of small spatial extent, Geophysical Research Letters, 23, 24, 3579-3582.
- Carr, J., 1997. Microwave and wireless communications technology, Newnes, Boston, ABD.
- Cheville, R. A. ve Grischkowsky, D., 1995. Time domain terahertz impulse ranging studies, Applied Physics Letters, 67, 14.

- Cheville, R. A., McGowan, R. W. ve Grischkowsky D. R., 1997. Late-time target response measured with terahertz impulse ranging, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45, 10, 1518-1524.
- Chiknaikin, T., 2019. Bistatic radar concept demonstrator (BiRCD) system development and berification, Australian Government Department of Defence, Canberra, Avustralya.
- Curlander, J. C. ve McDonough, R. N., 1991. Synthetic aperture radar systems and signal processing, John Wiley & Sons, Inc., Press, New York, USA.
- Çakır, Z., 2003. Analysis of the crustal deformation caused by the 1999 İzmit and Düzce earthquakes using synthetic aperture radar interferometry, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Davies, H., 1954. The reflection of electromagnetic waves from a rough surface, Proceedings of the IEE-Part IV: Institution Monographs, 101, 7, 209-214.
- Delacourt, C., Briole, P. ve Achache, J. A., 1998. Tropospheric corrections of SAR interferograms with strong topography, Application to Etna, Geophysical Research Letters, 25, 15, 2849-2852.
- DeMets, C., Gordon, R. G. ve Argus, D. F., 2010. Geologically current plate motions, Geophysical Journal International, 181, 1, 1–80.
- Derauw, D. ve Moxhet, J., 1996. Multiple images SAR interferometry, ESA, Praceedings of "Fringe 96" Workshop on ERS SAR Interferometry, 406, 167.
- Dufour, S., Bernez, I., Betbeder, J., Corgne, S., Hubert-Moy, L., Nabucet, J., Rapinel, S., Sawtschuk, J. ve Trollé, C., 2013. Monitoring restored riparian vegetation: how can recent developments in remote sensing sciences help? Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 410, 10.
- Eckert, D., Buhl, S., Weber, S., Jäger, R. ve Schorle, H., 2005. The AP-2 family of transcription factors, Genome Biology, 6, 13, 246.
- Elachi, C., 1988. Spaceborne radar remote sensing: Applications and techniques, IEEE Press, New York, ABD.
- Eravcı, B., 2010. Automatic radar antenna scan analysis in electronic warfare, Yüksek lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fan, H., Deng, K. ve Huang, G., 2009. Study on the methods of insar combined baseline estimation, J. Geod. Geodyn, 3, 135-40.
- Feigl, K. L., 2002. Estimating slip distribution for the Izmit mainshock from coseismic GPS, ERS-1, RADARSAT, and SPOT measurements, Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 1, 138-160.

- Feigl, K. L., Sargent, A. ve Jacq, D., 1995. Estimation of an earthquake focal mechanism from a satellite radar interferogram: Application to the December 4, 1992 Landers aftershock, *Geophysical Research Letters*, 22, 9, 1037-1040.
- Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F., 1999. Process for radar measurements of the movement of city areas and landsliding zones, EPO Patent NO: EP1183551B, European Patent Office.
- Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F., 2000. Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry, *IEEE TGRS*, 38, 5, 2202-2212.
- Fielding, E. J., Blom, R. G. ve Goldstein, R. M., 1998. Rapid subsidence over oil fields measured by SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, 25, 17, 3215-3218.
- Fujiwara, S., Rosen, P. A., Tobita, M. ve Murakami, M., 1998. Crustal deformation measurements using repeat-pass JERS 1 synthetic aperture radar interferometry near the Izu Peninsula, Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103, B2, 2411-2426.
- Gabriel, A. K. ve Goldstein, R. M., 1988. Crossed orbit interferometry: theory and experimental results from SIR-B, *International Journal of Remote Sensing*, 9, 5, 857-872.
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. ve Zebker, H., 1989. Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry, *Journal of Geophysical Research*, 94, 9183-9191.
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Phillips, S. P., Peltzer, G., Rogez, F. ve Rosen, P. A., 1998. Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California, *Water Resources Research*, 34, 10, 2573-2585.
- Gatelli, F., Monti Guamieri, A., Parizzi, F., Pasquali, P., Prati, C. ve Rocca, F., 1994. The wavenumber shift in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 4, 855-865.
- Gebhard, L. A., 1979. Evolution of naval radio-electronics and contributions of the naval research laboratory, University of Michigan Library, Michigan, ABD.
- Goldstein, R. M. ve Zebker, H. A., 1987. Interferometric radar measurement of ocean surface currents, *Nature*, 328, 6132, 707-709.
- 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.

- Graham, L.C., 1974. Synthetic interferometer radar for topographic mapping, *Proceedings of the IEEE*, 62, 6, 763.
- Grandin, R., Klein, E., Métois, M. ve Vigny, C., 2016. Three-dimensional displacement field of the 2015 Mw8.3 Illapel earthquake (Chile) from across- and along-track Sentinel-1 TOPS interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 6, 2552-2561.
- Gray, A. L. ve Farris-Manning, P. J., 1993. Repeat-pass interferometry with airborne synthetic aperture radar, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31, 1, 180-191.
- Griffiths, D. J., 1989. *Introduction to electrodynamics*, Prentice Hall, Noew Jersey, ABD.
- Guarnieri, A. M. ve Prati, C., 1999. An interferometric quick-look processor, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 2, 861-866.
- Hanssen, R. F., 2001. *Radar interferometry data interpretation and error analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollanda.
- Haynes, M, Capes, R., Lawrences, G., Smith, A., Shilston, D. ve Nicholls, G., 1997. Majorurban subsidence mapped by differential SAR interferometry, *The 3rd ERS Symposium (ESA)*, Florence, Italy, 18-21.
- Hecht, E., 1987. *Optics*, 2nd Edition, Addison-Wesley, Boston, ABD.
- Iyyappan, M., Usha, T., Ramakrishnan, S. S., Srinivasa Raju, K., Gopinath, G., Chenthamil Selvan, S., Dash, S. K. ve Mishra, P., 2018. Evaluation of tsunami inundation using synthetic aperture radar (SAR) data and numerical modeling, *Natural Hazards*, 92, 3, 1419-1432.
- Jonsson, S., 2002. Modeling volcano and earthquake deformation from satellite radar interferometric observations, *Doktora Tezi*, Stanford Üniversitesi, Kaliforniya.
- Jonsson, S., Zebker, H., Cervelli, P., Segall, P., Garbeil, H., Mougini-Mark, P. ve Rowland, S., 1999. A shallow-dipping dike fed the 1995 flank eruption at Fernandina Volcano, Galápagos, observed by satellite radar interferometry, *Geophysical Research Letters*, 26, 8, 1077-1080.
- König, M., Winther, J. G. ve Isaksson, E., 2001. Measuring snow and glacier ice properties from satellite, *Rev. Geophys*, 39, 1-27.
- Latter, J. H., 1981. Tsunamis of volcanic origin: Summary of causes, with particular reference to Krakatoa, 1883, *Bull Volcanol*, 44, 467-490.
- Leica, 2007. *Introduction to Radar Data*, Leica ERDAS IMAGINE Online Documentation, 9.1.

- Leva, D., Nico, G., Tarchi, D., Fortuny-Guasch, J. ve Sieber, A. J., 2003. Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 4, 745-752.
- Li, F. K. ve Goldstein, R. M., 1990. Studies of multibaseline spaceborne interferometric synthetic aperture radars, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 1, 88-97
- Li, X., Guo, H., Liao, J., Wang, C. ve Fan, D., 2003. Baseline estimation of interferometric sar based on fast fourier transform, *Acta Geod. Cartogr. Sin.*, 32, 70-72.
- Li, Y., Martinis, S., Wieland, M., Schlaffer, S. ve Natsuaki, R., 2019. Urban flood mapping using SAR intensity and interferometric coherence via bayesian Network fusion, *Remote Sensing*, 11, 19, 2231.
- Lu, Z. ve Freymueller, J. T., 1998. Synthetic aperture radar interferometry coherence analysis over Katmai volcano group, Alaska, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103, B12, 29887-29894.
- Lu, Z. ve Dzurisin, D., 2018. Radar monitoring of volcanic activities, 1st Edition, CRC Press, Boston, ABD.
- Maghsoudi, Y., Van Der Meer, F. D., Hecker, C., Perissin, D. ve Saepuloh, A., 2018. Using PS-InSAR to detect surface deformation in geothermal areas of West Java in Indonesia, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 386-396.
- Mahafza, B. R., 2017. Introduction to radar analysis, Second Edition, Chapman and Hall, New York, USA.
- Maître, H., 2008. Processing of synthetic aperture radar (SAR) images, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, ABD.
- Marple, S. L., 1998. Digital spectral analysis: With applications, *J. Acoust. Soc. Am.*, 86, 2043.
- Massonnet, D. ve Feigl, K. L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface, *Reviews of Geophysics*, 36, 441-500.
- Massonnet, D., Briole, P. ve Arnaud, A., 1995. Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry, *Nature*, 375, 6532, 567-570.
- Massonnet, D., 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.

- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. ve Rabaute, T., 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, *Nature*, 364, 6433, 138-142.
- Massonnet, D. ve Feigl, K. L., 1995. Discrimination of geophysical phenomena in satellite radar interferograms, *Geophysical Research Letters*, 22, 12, 1537-1540.
- Meyer, B., Armijo, R., Massonnet, D., De Chabaliere, J. B., Delacourt, C., Ruegg, J. C. ve Papanastassiou, D., 1996. The 1995 Grevena (northern Greece) earthquake: Fault model constrained with tectonic observations and SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, 23, 19, 2677-2680.
- Mohr, J. J. ve Madsen, S. N., 1996. Multi-pass interferometry for studies of glacier Dynamics, *Proceedings of Fringe 96 Workshop on ERS SAR Interferometry*, 406, 354-352.
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I. ve Papathanassiou, K. P., 2013. A tutorial on synthetic aperture radar, *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.*, 1, 1, 6-43.
- Murakami, M., Tobita, M., Fujiwara, S., Saito, T. ve Masaharu, H., 1996. Coseismic crustal deformations of 1994 Northridge, California, earthquake detected by interferometric JERS 1 synthetic aperture radar, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101, B4, 8605-8614.
- Necmioğlu, Ö., Sözdinler, C. Ö., Yılmaz, M., Çomoğlu, M., Özel, N. M., Kalafat, D., Turhan, F., Köseoğlu, A., Aksarı, D., Ögütçü, Z., Poyraz, S. A., Güneş, Y., Cambaz, S. C., Ergün, T. A., Pınar, A. ve Kekoval, K., 2018. Tsunami bilgi notu, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Nitti, D. O., Nutricato, R., Bovenga, F., Refice, A., Chiaradia, M. T. ve Guerriero, L., 2009. TerraSAR-X InSAR multipass analysis on Venice (Italy), *Image and Signal Processing for Remote Sensing XV*, 7477, 74771.
- Olmsted, C., 1993, Alaska SAR facility scientific SAR user's guide, Alaska SAR Facility Technical Report, ASF-SD-003.
- Orhan, O., Kırtıloğlu, O. S. ve Yakar, M., 2020. Konya kapalı havzası obruk envanter bilgi sisteminin oluşturulması, *Geomatik*, 5, 2, 81-90.
- Orhan, O., Oliver-Cabrera, T., Wdowinski, S., Yalvac, S. ve Yakar, M., 2021. Land subsidence and its relations with sinkhole activity in Karapınar region, Turkey: A multi-Sensor InSAR time series study, *Sensors*, 21, 3, 774.
- Ozawa, S., Murakami, M., Fujiwara, S. ve Tobita, M., 1997. Synthetic aperture radar interferogram of the 1995 Kobe earthquake and its geodetic inversion, *Geophysical Research Letters*, 24, 18, 2327-2330.

- Önder, Y. ve Acır, N., 2006. Kısa gecikmeli uyartım potansiyellerine klasik adaptif filtre tekniklerinin uygulanması, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Bildiriler Kitabı, 298-301.
- Pedersen, R., Jónsson, S., Árnadóttir, T., Sigmundsson, F. ve Feigl, K. L., 2003. Fault slip distribution of two June 2000 M W 6.5 earthquakes in South Iceland estimated from joint inversion of InSAR and GPS measurements, Earth and Planetary Science Letters, 213, 3-4, 487-502.
- Peltzer, G., Hudnut, K. W. ve Feigl, K. L., 1994. Analysis of coseismic surface displacement gradients using radar interferometry: New insights into the Landers earthquake, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 99, B11, 21971-21981.
- 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.
- Peltzer, G., Rosen, P., Rogez, F. ve Hudnut, K., 1998. Poroelastic rebound along the Landers 1992 earthquake surface rupture, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103, B12, 30131-30145.
- Pepe, A. ve Calò, F., 2017. A review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of earth's surface displacements, Applied Sciences, 7, 12, 1264.
- Price, E. J. ve Sandwell, D. T., 1998. Small-scale deformations associated with the 1992 Landers, California, earthquake mapped by synthetic aperture radar interferometry phase gradients, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103, B11, 27001-27016.
- Qing, X., Guowang, J., Caiying, Z., Zhengde, W., Yu, H. ve Peizhang, Y., 2004. The filtering and phase unwrapping of interferogram, XXth ISPRS Congress, 105.
- Qu, C. Y., Shan, X. J., Zhang, G. H., Song, X. G. ve Guo, L. M., 2012. Influence of interferometric baseline on measurements of seismic deformation: A case study on the 1997 mani, tibet m 7.7 earthquake, Seismol, Geol, 34, 672-683.
- Qu, N., Zhu, G., Zhao, X., Jing, C. ve Lv, J., 2010. The analysis of surface deformation based on two-pass and three-pass D-InSAR, 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Refice, A., Zingaro, M., D'Addabbo, A. ve Chini, M., 2020. Integrating C-band L-band SAR imagery for detailed flood monitoring of remote vegetated areas, Water, 12, 10, 2745.
- Reid, H. F., 1911. The elastic-rebound theory of earthquakesby, University of California Publications, Bulletin of the Department of Geology, Kaliforniya, ABD.

- Ristau, J. P., 1999. Applications of synthetic aperture radar interferometry in the study of the Nahanni earthquake region, Master of Science (M. Sc.) in Geophysics, Department of Geological Sciences University of Manitoba, Manitoba, Canada.
- Ritchard, M. E., Simons, M., Rosen, P. A., Hensley, S. ve Webb, F. H., 2002. Co-seismic slip from the 1995 July 30Mw=8.1 Antofagasta, Chile, earthquake as constrained by InSAR and GPS observations, *Geophysical Journal International*, 150, 2, 362-376.
- Rocca, F., Prati, C. ve Ferretti, A., 2010. Space-borne SARs: impact of wavelengths and scan modes on ground motion studies, *Annals of GIS*, 16, 2, 69-79.
- Rodriguez, E. ve Martin, J. M., 1992. Theory and design of interferometric synthetic aperture radars, *IEE Proceedings F Radar and Signal Processing*, 139, 2, 147-159.
- Rogers, A. E. E. ve Ingalls, R. P., 1969. Venus: Mapping the surface reflectivity by radar interferometry, *Science*, 165, 3895, 797-799.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E. ve Goldstein, R. M., 2000. Synthetic aperture radar interferometry, *Proceedings of the IEEE*, 88, 3, 333-382.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Zebker, H. A., Webb, F. H. ve Fielding, E. J., 1996. Surface deformation and coherence measurements of Kilauea Volcano, Hawaii, from SIR-C radar interferometry, *Journal of Geophysical Research, Planets*, 101, E10, 23109-23125.
- Russell, C. T., Luhmann, J. G., Schwingenschuh, K., Riedler, W. ve Yeroshenko, Y., 1992. Upstream waves at Mars, *Advances in Space Research*, 12, 9, 251-254.
- Rykhov, R. ve Lu, Z., 2007. Hurricane Katrina flooding and oil slicks mapped with satellite imagery, *US Geological Survey Circular*, 49-52.
- Rykhov, R. ve Lu, Z., 2011. Monitoring a boreal wildfire using multi-temporal Radarsat-1 intensity and coherence images, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2, 1, 15-32.
- Solara, G., De Novellis, V., Castaldo, R., De Luca, C., Lanari, R., Manunta, M. ve Casu, F., 2016. Coseismic fault model of Mw 8.3 2015 Illapel earthquake (Chile) retrieved from multi-orbit Sentinel-1A DInSAR measurements, *Remote Sens.*, 8, 4, 323.
- Sandwell D. T., 2002. Interferometric synthetic aperture radar (InSAR) summary, *Lecture Notes - Radar and Sonar Interferometry*.
- Scheer, J. A. ve Kurtz, J. L., 1983. Coherence radar performance estimation, Artech House Inc., Boston, ABD.

- Sigmundsson, F., Einarsson, P., Rögnvaldsson, S. T., Foulger, G. R., Hodgkinson, K. M. ve Thorbergsson, G., 1997. The 1994-1995 seismicity and deformation at the Hengill triple junction, Iceland: Triggering of earthquakes by minor magma injection in a zone of horizontal shear stress, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102, B7, 15151-15161.
- Simons, M., Lohman, R., Chapin, E., Hensley, S., Rosen, P. A., Shaffer, S. ve Webb, F. H., 1998. Sources of deformation in Long Valley Caldera (abstract), *Trans. Am. Geophys. U.*, 79, 963.
- Snieder, R., Hubbard, S., Haney, M., Bawden, G., Hatchell, P., Revil, A. ve Geophysical Monitoring Working Group, 2007. Advanced Noninvasive Geophysical Monitoring Techniques, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35, 1, 653–683.
- Şengün, Y. S., 2008. GPS ve InSAR ölçülerini birlikte kullanarak İzmit depreminde oluşan deformasyonun modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tang, X. Q., 2008. An improved baseline estimation approach based on the interferometric phases. *J. Electron. Inf. Technol*, 32, 2095-2099.
- Teshirogi, Y., Sawamoto, J., Segawa, N. ve Sugino, E., 2009. A proposal of tsunami warning system using area mail disaster information service on mobile phones, 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 890-895.
- Thatcher, W. ve Massonnet, D., 1997. Crustal deformation at Long Valley Caldera, eastern California, 1992-1996 inferred from satellite radar interferometry, *Geophysical Research Letters*, 24, 20, 2519-2522.
- Tobita, M., Fujiwara, S., Ozawa, S., Rosen, P. A., Fielding, E. J., Werner, C. L. ve Murakami, M., 1998. Deformation of the 1995 North Sakhalin earthquake detected by JERS-1/SAR interferometry, *Earth, Planets and Space*, 50, 4, 313-325.
- Townsend, P. A., 2002. Relationships between forest structure and the detection of flood inundation in forested wetlands using C-band SAR, *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3, 443-460.
- Treviño-Palacios, C. G., 2015. Unfolding wrapped phase, *Optical Engineering*, 54, 11, 110503.
- Ulusoy, A. İ., 2001. Tsunami oluşumu, etkilerinin azaltılması ve İstanbul uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Vadon, H. ve Sigmundsson, F., 1997. Crustal deformation from 1992 to 1995 at the Mid-Atlantic ridge, Southwest Iceland, mapped by satellite radar interferometry, *Science*, 275, 5297, 193-197.
- Walker, H. J., 2006. Evelyn Lord Pruitt, 1918-2000, *Annals of the Association of American Geographers*, 96, 2, 432-439.
- Wang, Z., Balz, T., Zhang, L., Perissin, D. ve Liao, M., 2009. Using TSX/TDX pursuit monostatic SAR stacks for PS-InSAR analysis in urban areas, *Remote Sensing*, 11, 1, 26.
- Wermuth, M., Hauschild, A., Montenbruck, O. ve Jäggi, A., 2009. In Terrasar-x rapid and precise orbit determination, In *Proceedings of the 21st International Symposium on Space Flight Dynamics*, Toulouse, France.
- Wiley, A., 1965. Pulsed doppler radar methods and means, US Patent No: 3, 196, 436, United States Patent and Trademark Office.
- Williams, C. A. ve Wadge, G., 1998. The effects of topography on magma chamber deformation models: Application to Mt. Etna and radar interferometry, *Geophysical Research Letters*, 25, 10, 1549-1552.
- Wright, T., Fielding, E. ve Parsons, B., 2001. Triggered slip: observations of the 17 August 1999 İzmit (Turkey) earthquake using radar interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1079-1082.
- Xu, H. P., Zhu, L. F., Liu, X. H. ve Chen, Y. F., 2011. A novel baseline estimation approach of spaceborne insar based on interferometric fringe frequency, *Acta Electron. Sin.*, 39, 2212-2217.
- Yılmaztürk, S., 2015. SBAS-InSAR yöntemiyle düşey yönlü yüzey deformasyonlarının belirlenmesi: Bursa-Orhaneli linyit madeni örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zebker, H. A. ve Villasenor, J., 1992. Decorrelation in interferometric radar echoes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 5, 950-959.
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., Goldstein, R. M., Gabriel, A. ve Werner, C. L., 1994. On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99, B10, 19617-19634.
- Zebker, H. 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.
- Zebker, H. A., Amelung, F. ve Jonsson, S., 2000. Remote sensing of volcano surface and internal processes using radar interferometry, *Geophysical Monograph Series*, 179-205.

- Zhang, N., Shen, S. L., Zhou, A.N. ve Chen, J. A., Brief report on the March 21, 2019 explosions at a chemical factory in Xiangshui, China, Process Saf. Prog., 2019, 38, 2, e12060.
- Zisk, S. H., 1972. Lunar topography: first radar-interferometer measurements of the alphonsus-Ptolemaeus-Arzachel region, Science, 178, 4064, 977-980.
- URL-1 <<https://www.radartutorial.eu/01.basics/pic/radarprinzip.print>>, Erişim tarihi: 04.11.2019.
- URL-2 Wolf, C., Maximum Unambiguous Range. URL Adres: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Maximum%20Unambiguous%20Range.en.html>, Erişim tarihi: 03.11.2019.
- URL-3 Wolf, C., Maximum Unambiguous Range. URL Adres: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Menzil%20%C3%87%C3%B6z%C3%BCn%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC.tr.html>, Erişim tarihi: 03.11.2019.
- URL-4 < [Azimuth Resolution - an overview | ScienceDirect Topics](#)>, Erişim tarihi: 02.05.2020.
- URL-5 Wolf, C., Maximum Unambiguous Range. URL Adres: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Y%C3%BCkseklik%20A%C3%A7%C4%B1s%C4%B1.tr.html>, Erişim tarihi: 04.11.2019.
- URL-6 <<https://www.radartutorial.eu/01.basics/pic/bearing.print.png>>, Erişim tarihi: 07.12.2019.
- URL-7 <https://www.radartutorial.eu/01.basics/pic/elevation_angle.print.png>, Erişim tarihi: 11.12.2019.
- URL-8 <https://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/sar_principle.print.png>, Erişim tarihi: 11.12.2019.
- URL-9 <http://www.geo.uzh.ch/~fpaul/sar_theory.html>, Erişim tarihi: 12.01.2020.
- URL-10 <<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTTvAGIh2dju3sgh6JGRQwYi0WmvQCC3OAszSsZJEcUDYPhMfu&s>>, Erişim tarihi: 15.01.2020.
- URL-11 <http://www.geo.uzh.ch/~fpaul/sar_theory/theory_fig10.gif>, Erişim tarihi: 12.01.2020.
- URL-12 <http://www.geo.uzh.ch/~fpaul/sar_theory/theory_fig11.gif>, Erişim tarihi: 12.01.2021.

- URL-13<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTvETsOdac1Z_VDkInWNYkYfU4HPEYwW_DWzINDJqc2sO1B67YDr&s>, Erişim tarihi: 19.01.2020.
- URL-14 <<https://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/foreshortening.print.png>>, Erişim tarihi: 07.02.2020.
- URL-15 <<https://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/layover.print.png>>, Erişim tarihi: 07.02.2020.
- URL-16
<https://earth.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=226412&name=DL_FE-2120.pdf>, Erişim tarihi: 15.02.2020.
- URL-17 <https://site.tre-altamira.com/wp-content/uploads/InSAR_satellite_list.png>, Erişim tarihi: 16.02.2020.
- URL-18 <https://www.alternatehistory.com/forum/proxy.php?image=http%3A%2F%2Fwww.cccarto.com%2Ficons%2Fworld_volcano_map.jpg&hash=979c9c8934ad2a3927b67ff87fd01efe> , Erişim tarihi: 25.02.2020
- URL-19 <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Tsunami>>, Erişim tarihi: 03.03.2020.
- URL-20 <<https://site.tre-altamira.com/insar/>>, Erişim tarihi: 05.03.2020.
- URL-21 <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_Chile>, Erişim tarihi: 02.02.2020.
- URL-22 <<https://earthquake.usgs.gov/>>, Erişim tarihi: 02.02.2020.
- URL-23 <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a/executive#general_summary>, Erişim tarihi: 02.02.2020.
- URL-24 <<https://www.usgs.gov/>>, Erişim tarihi: 02.02.2020.
- URL-25 <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_Peru> , Erişim tarihi: 02.02.2020.
- URL-26 <<https://www.scmp.com/news/china/society/article/3002941/chinese-chemical-plant-survivors-relive-horror-earth-shattering>, Erişim tarihi: 03.02.2020.
- URL-27 <<https://www.usnews.com/news/world/articles/2019-03-21/death-toll-in-china-chemical-plant-explosion-rises-to-44>>, Erişim tarihi: 03.02.2020
- URL-28 <<https://www.solaceglobal.com/wp-content/uploads/2018/01/PHvolcano.png>>, Erişim tarihi: 15.04.2020.

- URL-29 <<https://www.express.co.uk/news/world/904809/mayon-volcano-update-will-erupt-eruption-Philippines-phivolcs-earthquake>>, Erişim tarihi: 16.04.2020.
- URL-30 <<https://en.wikipedia.org/wiki/Mayon>>, Erişim tarihi: 16.04.2020.
- URL-31 <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Karapınar>>, Erişim tarihi: 07.05.2020.
- URL-32 <<https://www.geopotamya.com/obruk-lar-neden-olur/>>, Erişim tarihi: 15.05.2020.
- URL-33
<https://ichef.bbci.co.uk/news/976/cpsprodpb/A0DC/production/_111208114_ava_sumatra_volcanic_eruption_640-nc.png>, Erişim tarihi: 21.05.2020.
- URL-34 <https://static.dw.com/image/44763429_401.jpg>, Erişim tarihi: 22.05.2020.
- URL-35 <<https://ahacentre.org/flash-update/flash-update-no-02-sunda-strait-tsunami-24-december-2018/g>> 25.05.2020.
- URL-36 <<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQWhEmWBTw-EkCIIUV5czyrItPAKP1IE5nbrQ&usqp=CAU>>, Erişim tarihi: 05.06.2020.
- URL-37 <<https://edition.cnn.com/2018/08/04/us/carr-fire-week-wrap/index.html>>, Erişim tarihi: 05.11.2020.
- URL-38 <<https://calfire-forestry.maps.arcgis.com/apps/PublicInformation/index.html?appid=5bbcbcd430ad45e5a38e6be155ef5fec>>, Erişim tarihi: 05.11.2020.
- URL-39 <<https://svs.gsfc.nasa.gov/30997>>, Erişim tarihi: 05.01.2021.
- URL-40 <<https://www.flash.org/resources/files/WildfireBrochure.pdf>>, Erişim tarihi: 05.01.2021.

EKLER

Ek A. Uygulamalarda kullanılan master ve slave görüntüler.

Ek B. Mayon Yanardağı'nın eteğinde belirlenen noktalarda volkanizma öncesi meydana gelen hareketler.

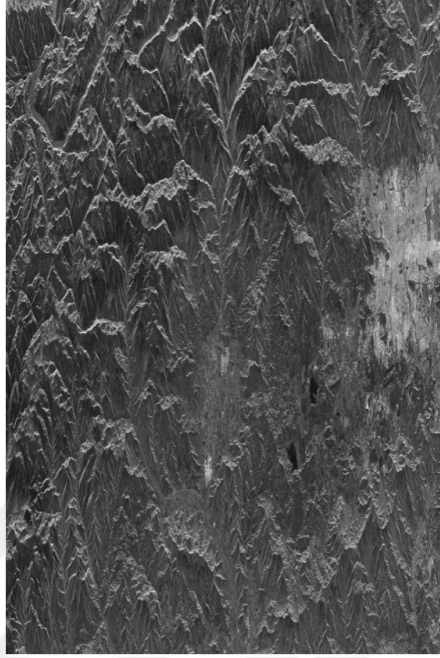
Ek C. Konya Karapınar uygulamasında kullanılan PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerinin ve düşey yönlü karşılıklarının noktaların dağılımlarına göre ortalama değerleri.

Ek D. Climatology and Geophysics Agency ve Badan Nasional Penanggulangan Bencana tarafından oluşturulan tsunami etki haritaları.

Ek E. Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlendiği araştırmada genlik değerlerinin farklarının kullanıldığı uygulamada veri kaybı olan bölgeler.

Ek A. Uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.

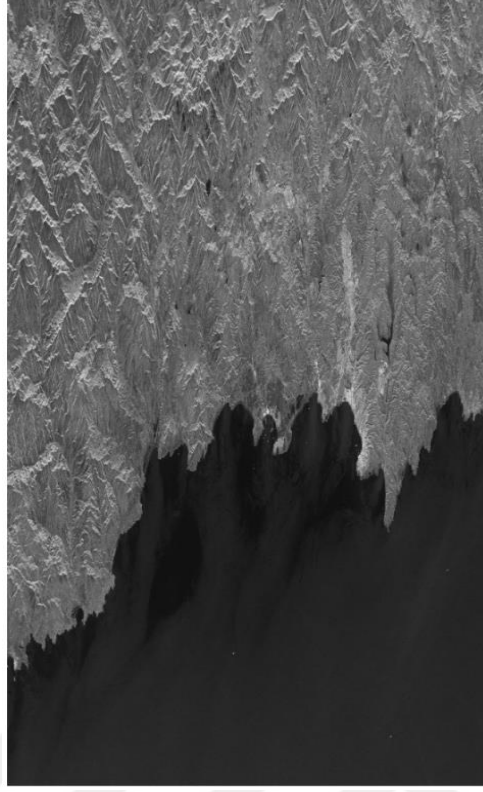
Ek A1. 2015 Şili Illapel depreminin incelendiği uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.



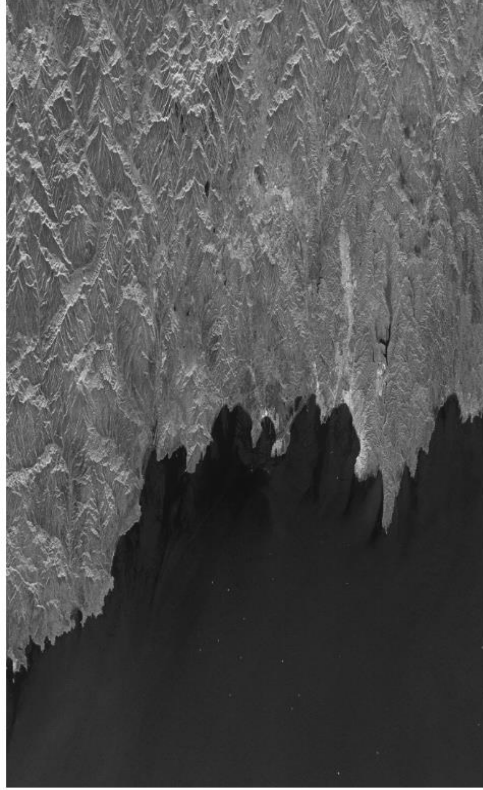
Şekil A1.1. 24.08.2015 tarihli 690 çerçeve numaralı master görüntü (IW-1).



Şekil A1.2. 17.09.2015 tarihli 690 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-1).



Şekil A1.3. 24.08.2015 tarihli 690 çerçeve numaralı master görüntü (IW-2).



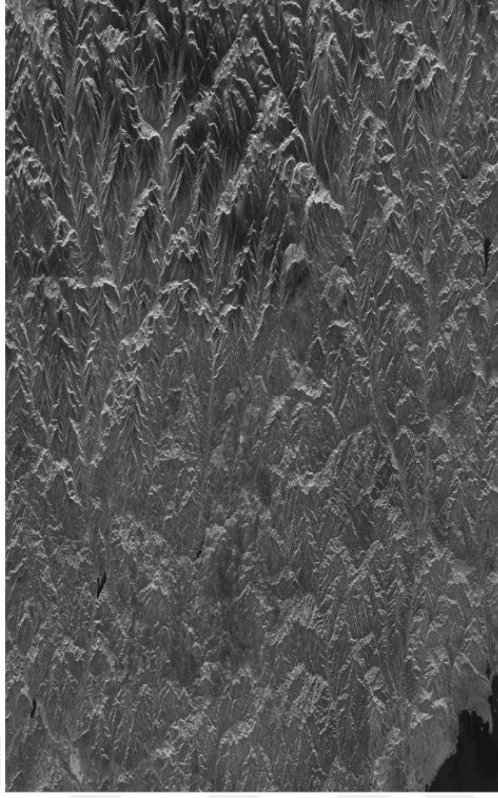
Şekil A1.4. 17.09.2015 tarihli 690 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-2).



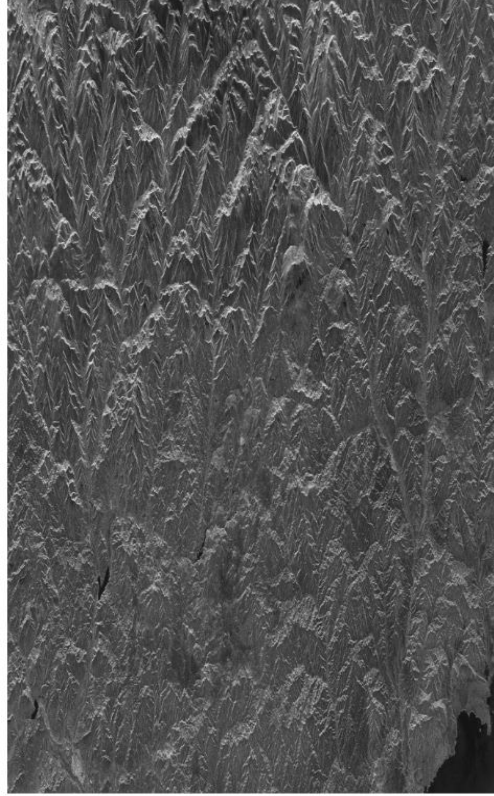
Şekil A1.5. 24.08.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı master görüntü (IW-1).



Şekil A1.6. 17.09.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-1).



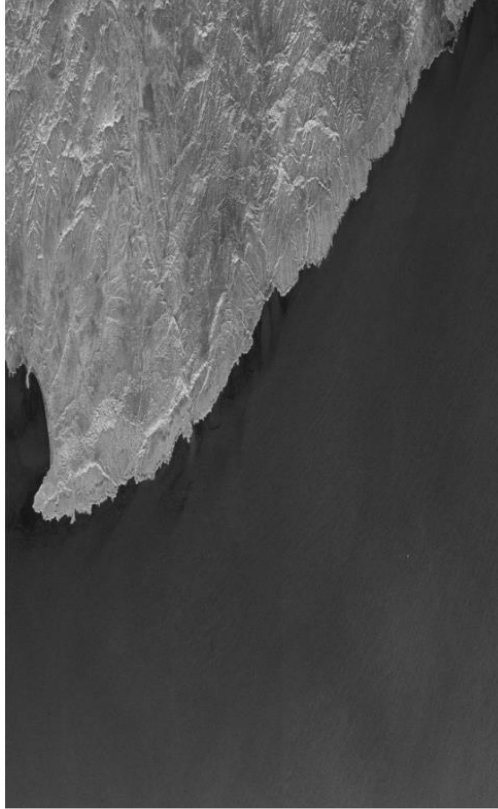
Şekil A1.7. 24.08.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı master görüntü (IW-2).



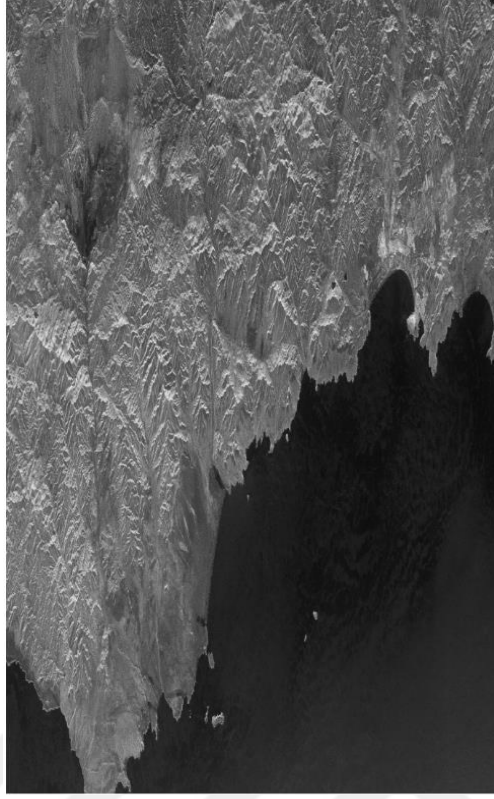
Şekil A1.8. 17.09.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-2).



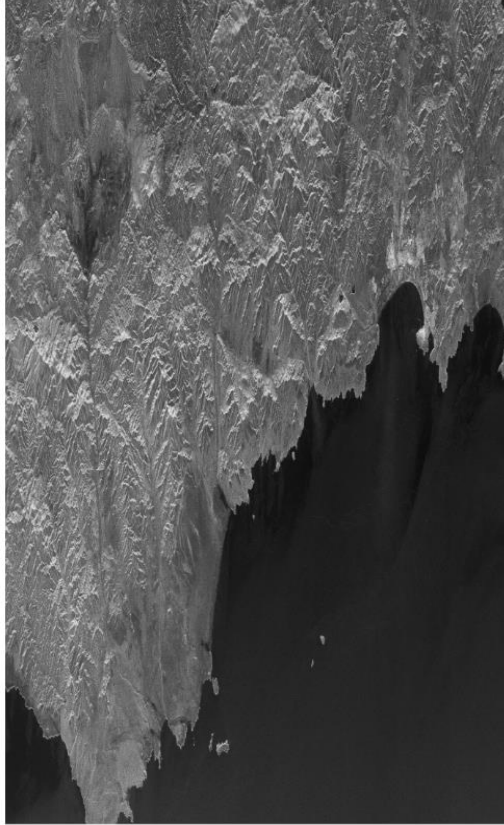
Şekil A1.9. 24.08.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı master görüntü (IW-3).



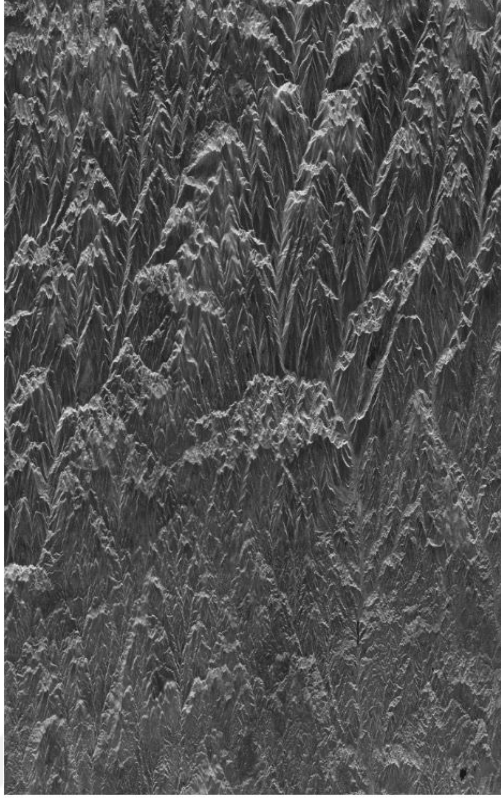
Şekil A1.10. 17.09.2015 tarihli 695 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-2).



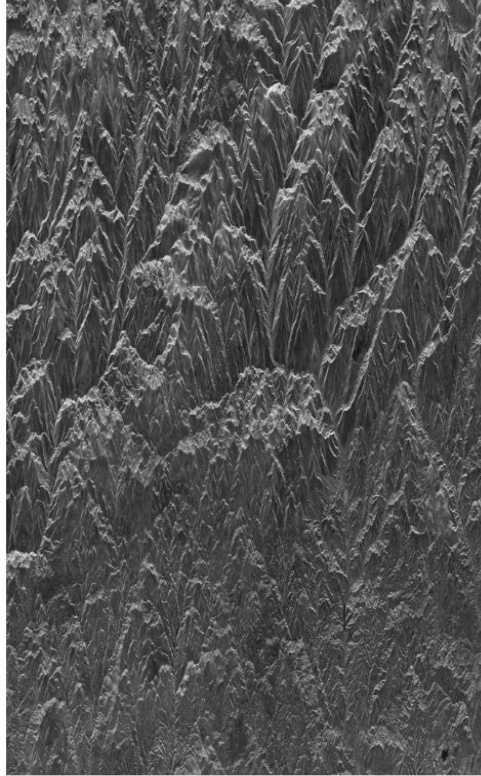
Şekil A1.11. 24.08.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı master görüntü (IW-1).



Şekil A1.12. 17.09.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-1).



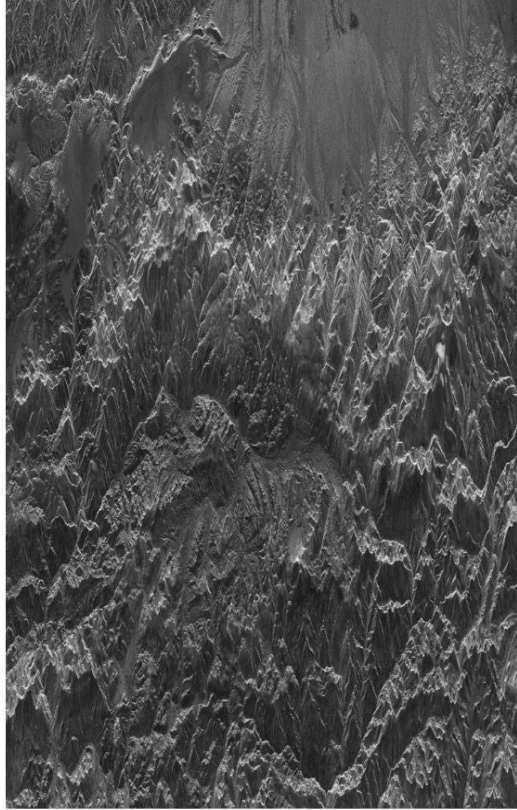
Şekil A1.13. 24.08.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı master görüntü (IW-2).



Şekil A1.14. 17.09.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-2).

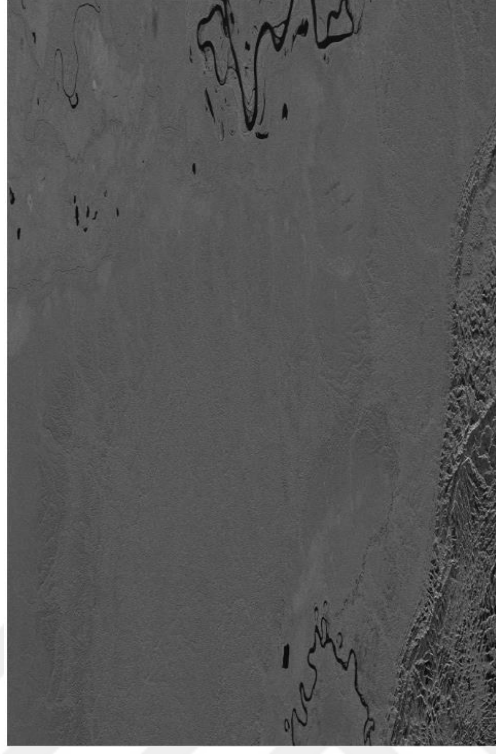


Şekil A1.15. 24.08.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı master görüntü (IW-3).

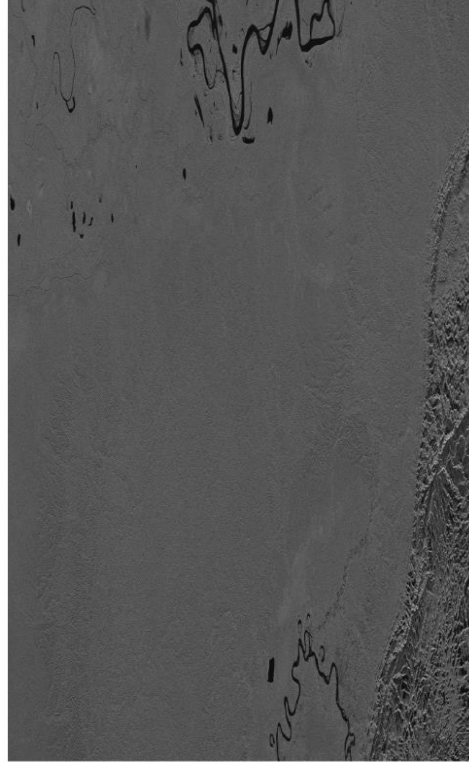


Şekil A1.16. 17.09.2015 tarihli 700 çerçeve numaralı slave görüntü (IW-3).

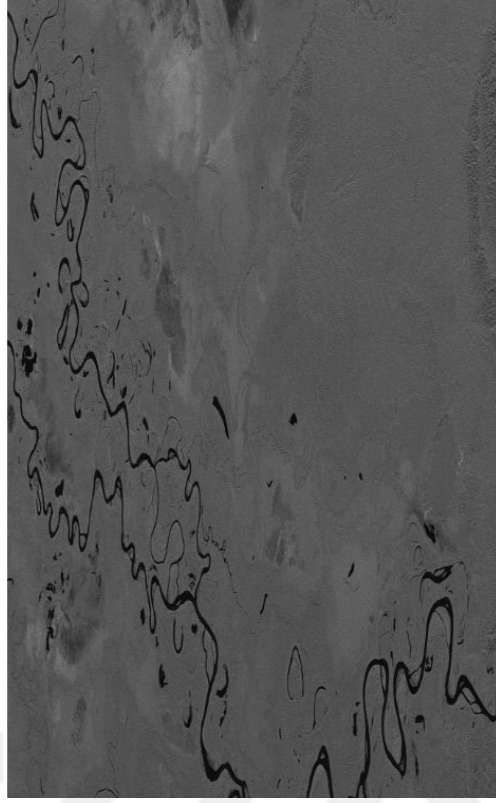
Ek A2. 2019 Peru Loreto depreminin incelendiği uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.



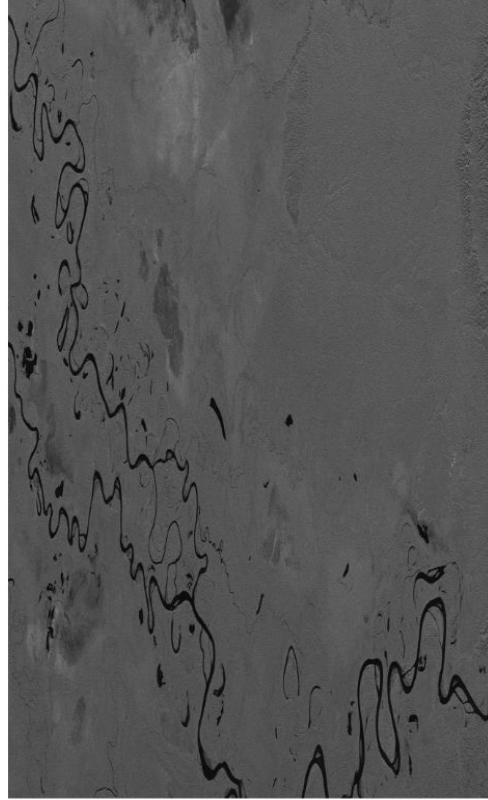
Şekil A2.1. 18.05.2019 tarihli master görüntü (IW-1).



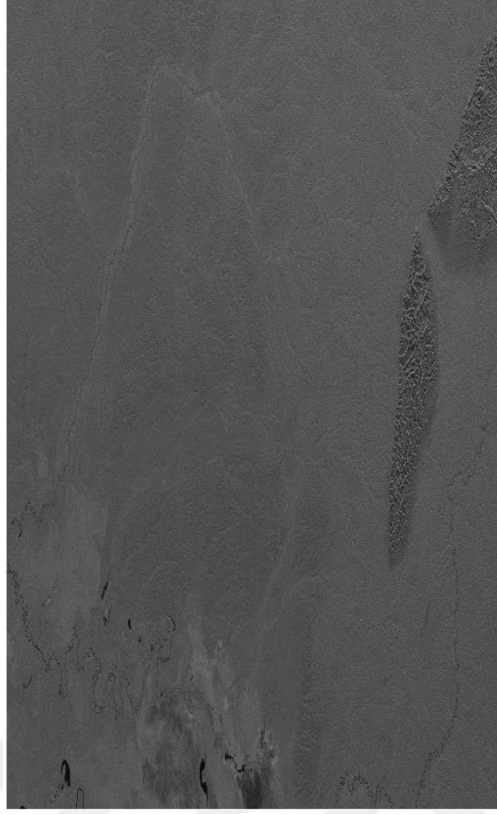
Şekil A2.2. 30.05.2019 tarihli slave görüntü (IW-1).



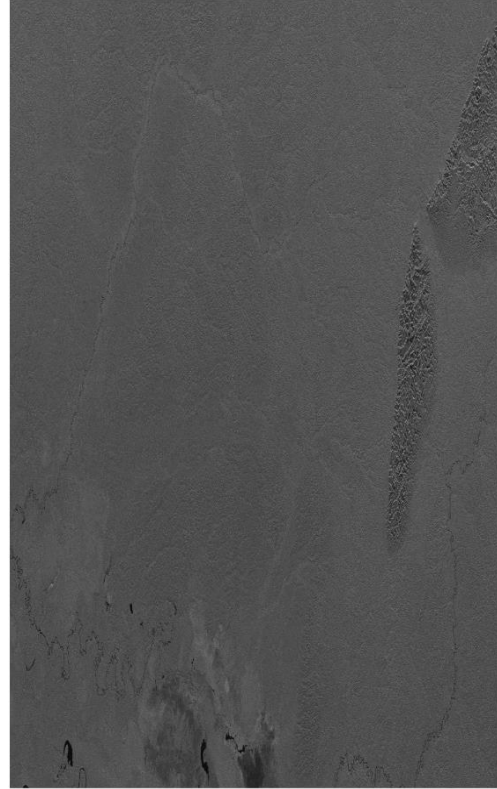
Şekil A2.3. 18.05.2019 tarihli master görüntü (IW-2).



Şekil A2.4. 30.05.2019 tarihli slave görüntü (IW-2).



Şekil A2.5. 18.05.2019 tarihli master görüntü (IW-3).



Şekil A2.6. 30.05.2019 tarihli slave görüntü (IW-3).

Ek A3. Çin Jiangsu Yanheng kentindeki kimyasal patlamanın incelendiği uygulamada kullanılan master ve slave görüntü.

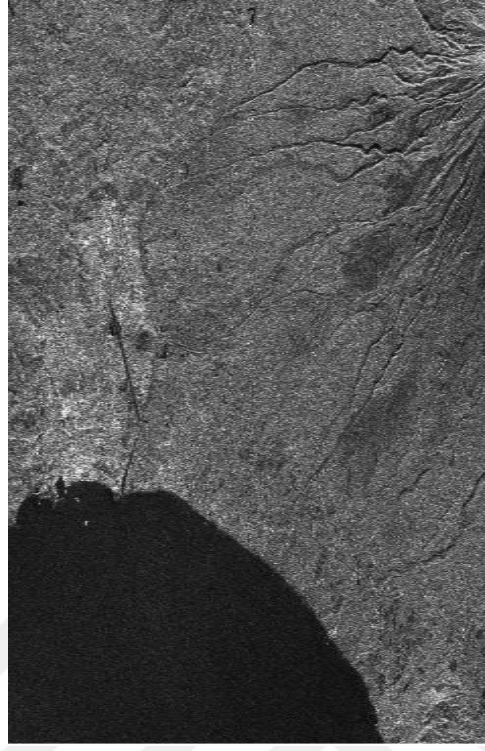


Şekil A3.1. 12.03.2019 tarihli master görüntü.

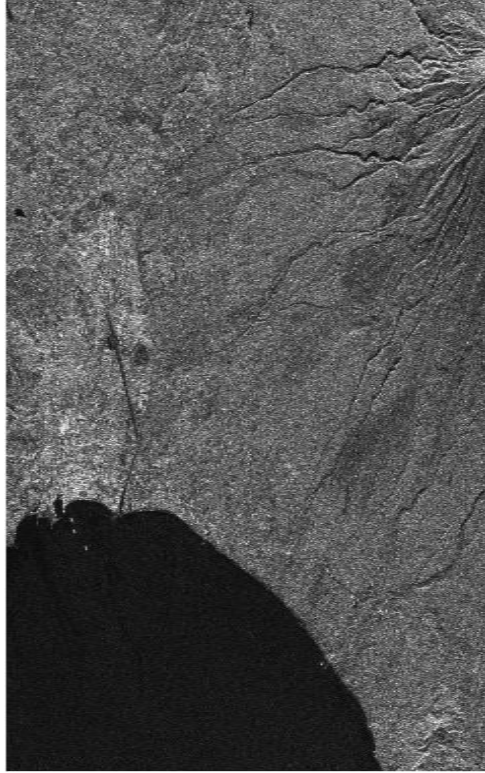


Şekil A3.2. 24.03.2019 tarihli slave görüntü.

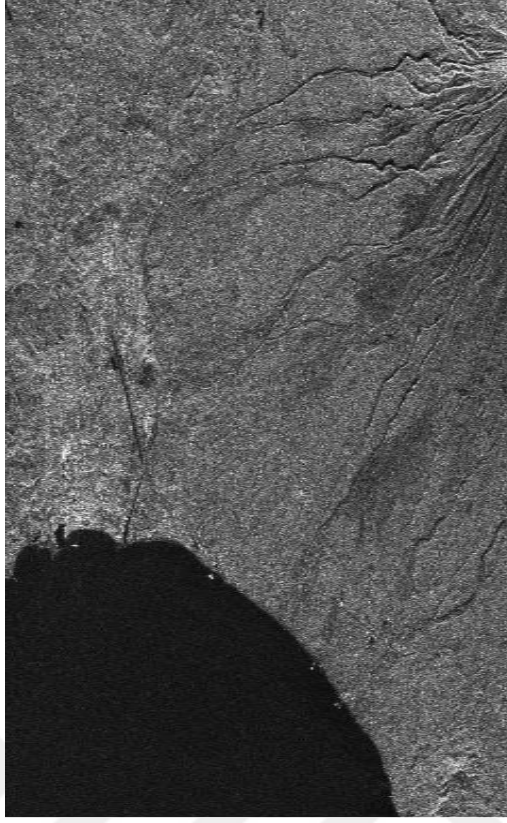
Ek A4. Filipinler Mayon Yanardağının incelendiği uygulamada kullanılan master görüntü ve slave görüntüler.



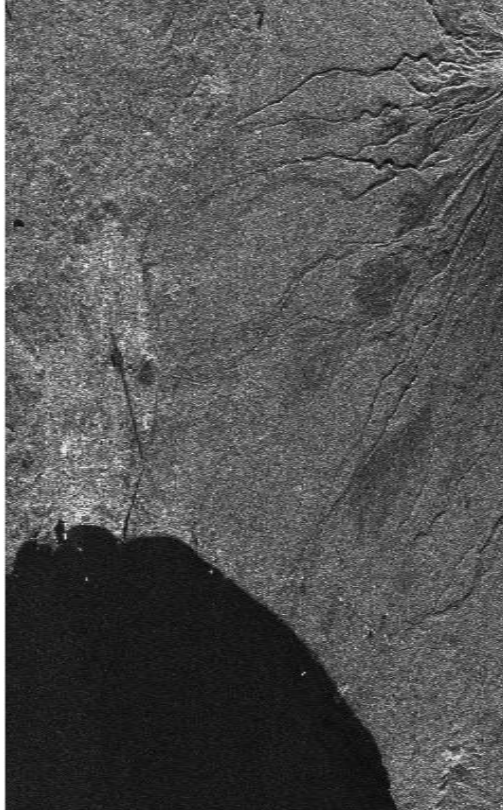
Şekil A4.1. 29.11.2017 tarihli master görüntü.



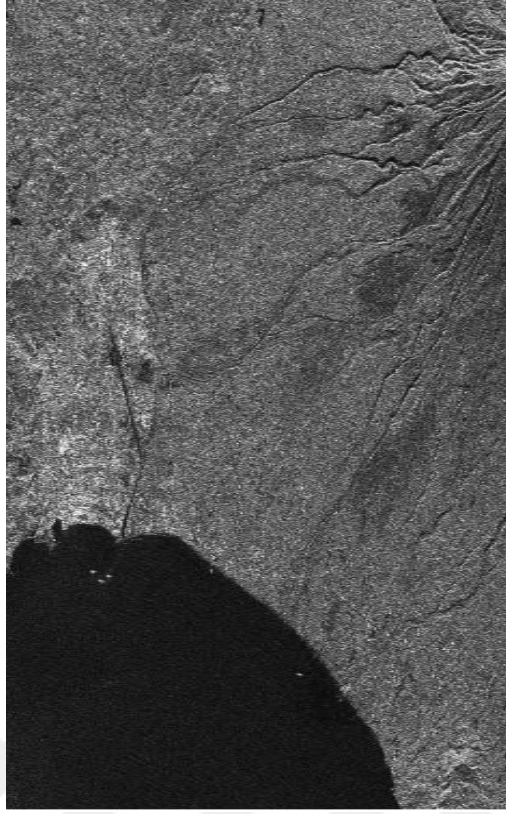
Şekil A4.2. 12.10.2017 tarihli slave görüntü.



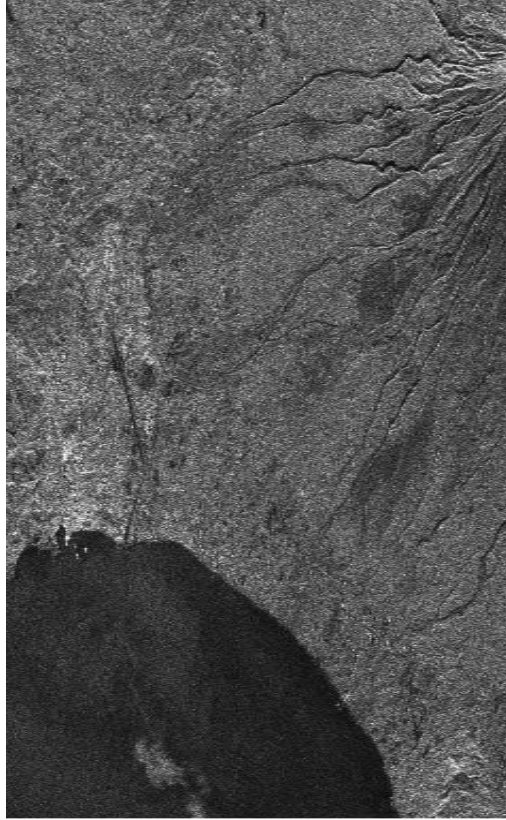
Şekil A4.3. 24.10.2017 tarihli slave görüntü.



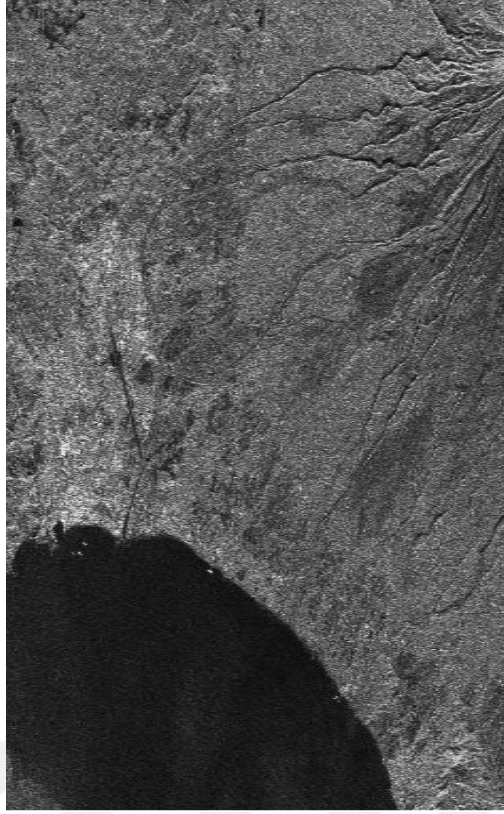
Şekil A4.4. 05.11.2017 tarihli slave görüntü.



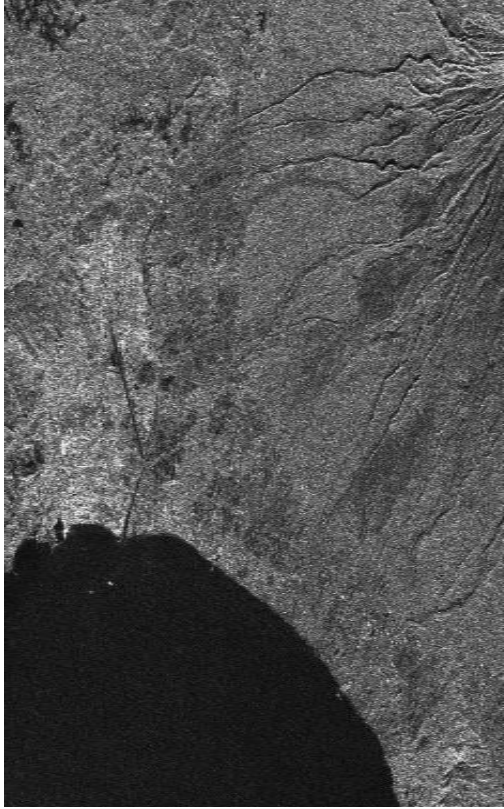
Şekil A4.5. 17.11.2017 tarihli slave görüntü.



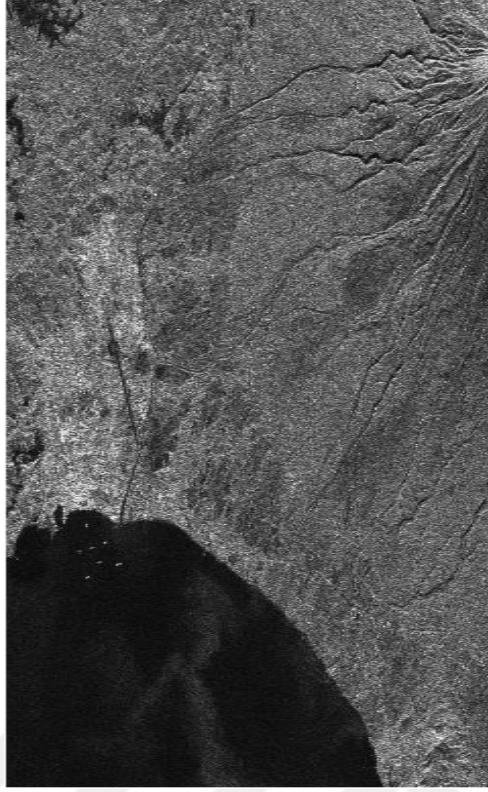
Şekil A4.6. 11.12.2017 tarihli slave görüntü.



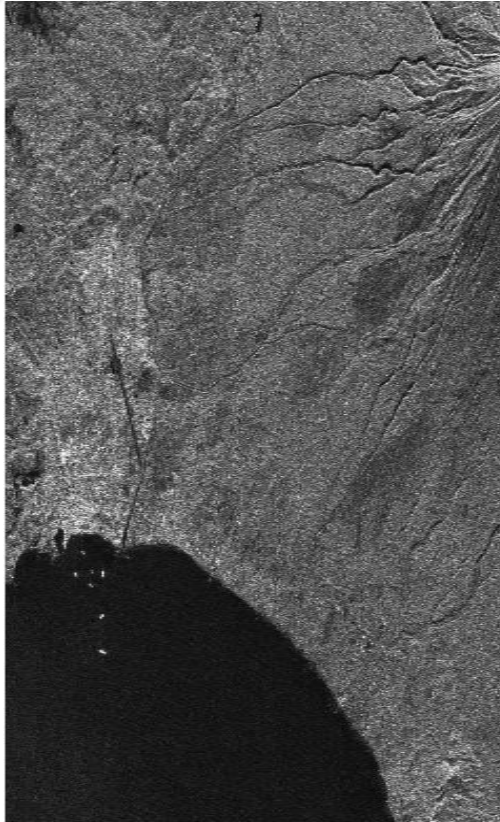
Şekil A4.7. 23.12.2017 tarihli slave görüntü.



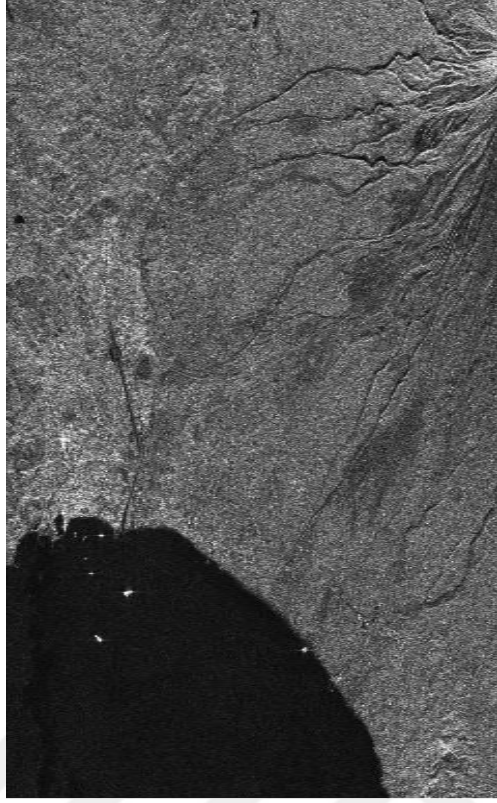
Şekil A4.8. 04.01.2018 tarihli slave görüntü.



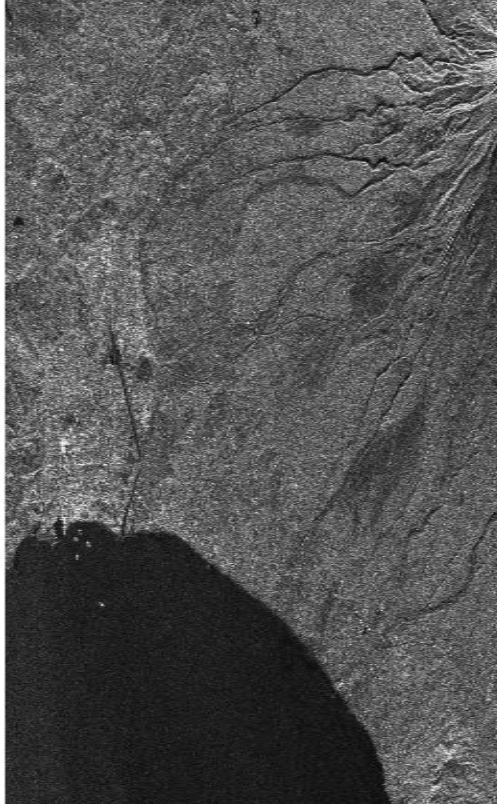
Şekil A4.9. 16.01.2018 tarihli slave görüntü.



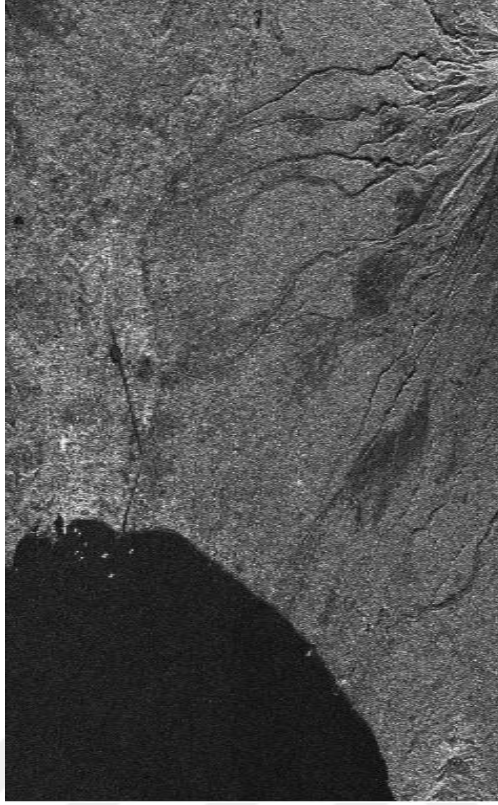
Şekil A4.10. 28.01.2018 tarihli slave görüntü.



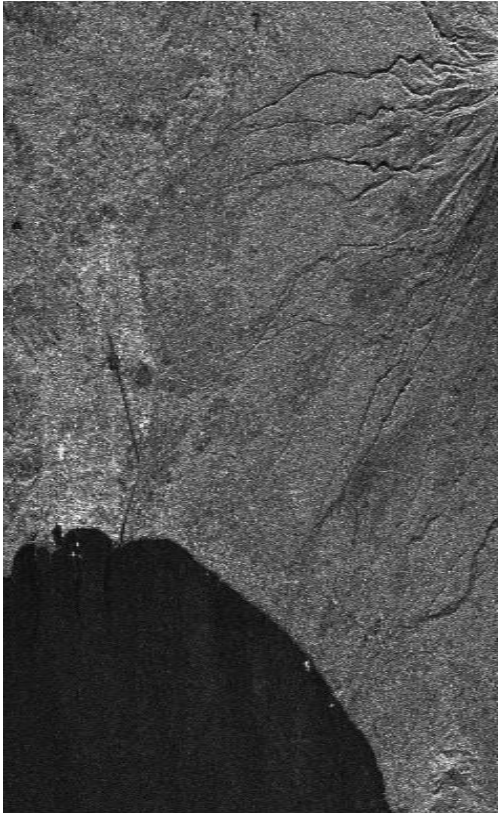
Şekil A4.11. 09.02.2018 tarihli slave görüntü.



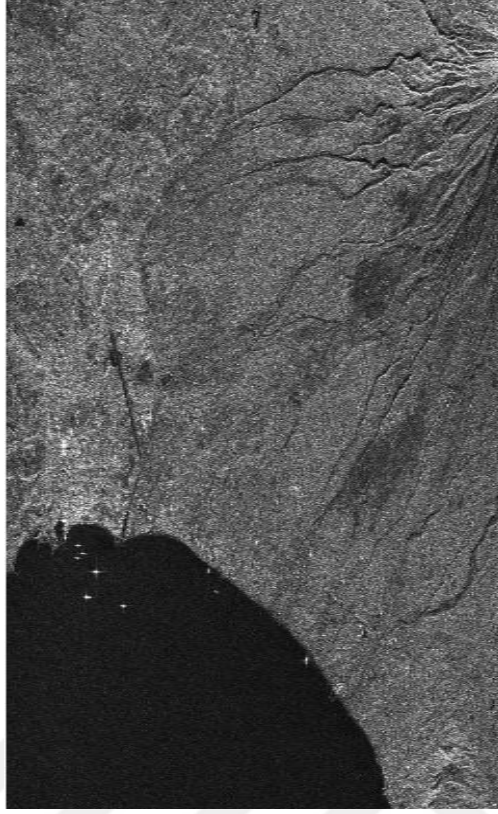
Şekil A4.12. 17.03.2018 tarihli slave görüntü.



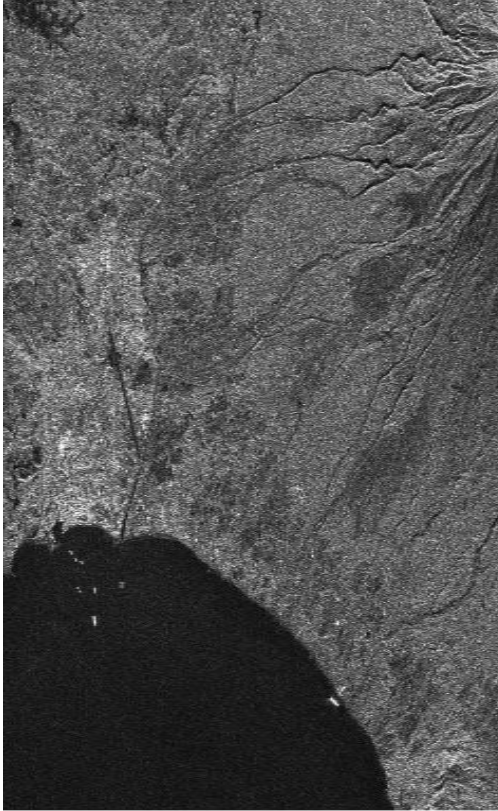
Şekil A4.13. 16.05.2018 tarihli slave görüntü.



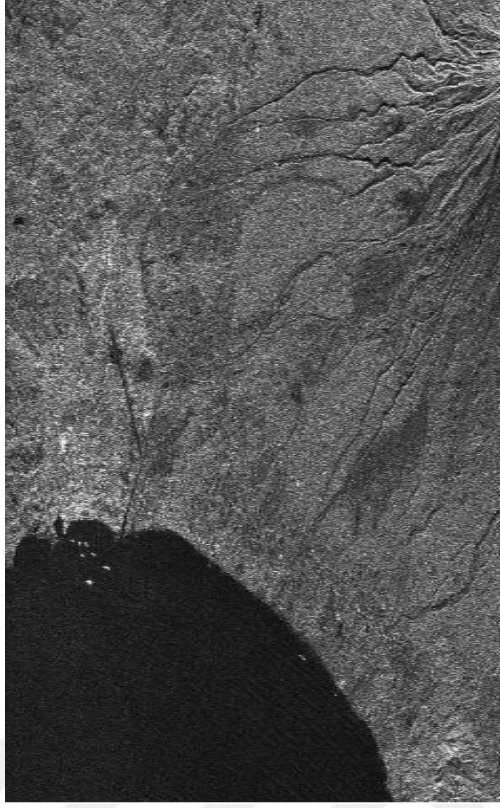
Şekil A4.14. 08.08.2018 tarihli slave görüntü.



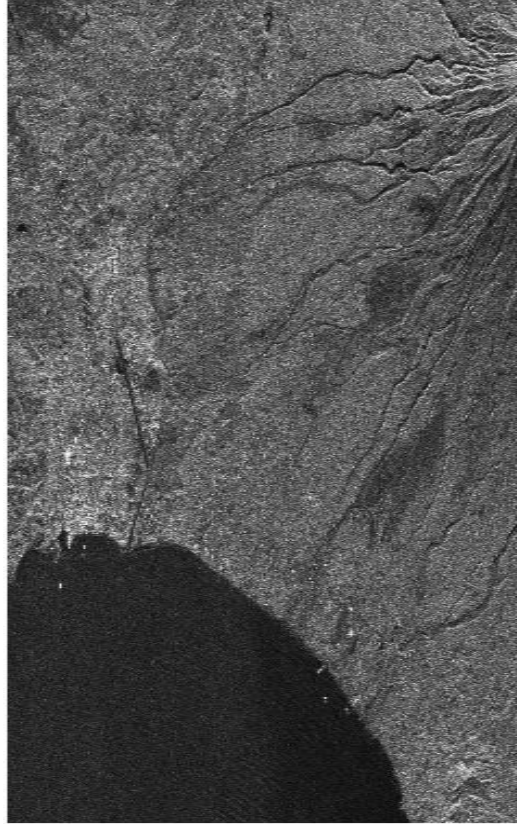
Şekil A4.15. 19.10.2018 tarihli slave görüntü.



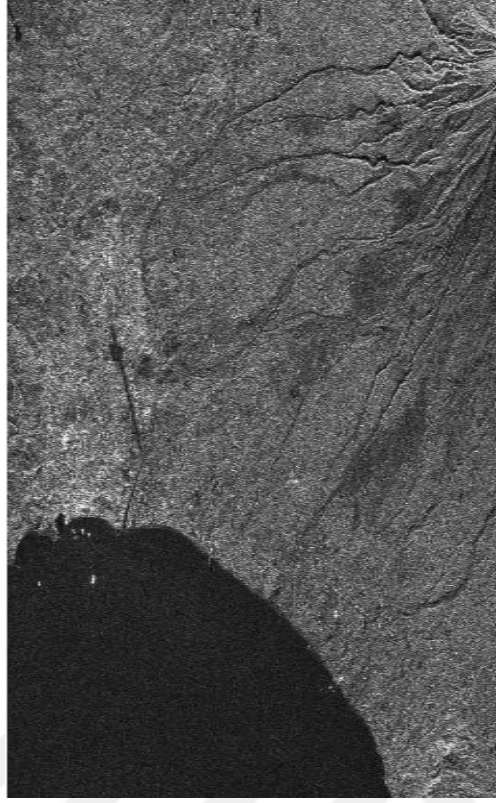
Şekil A4.16. 30.12.2018 tarihli slave görüntü.



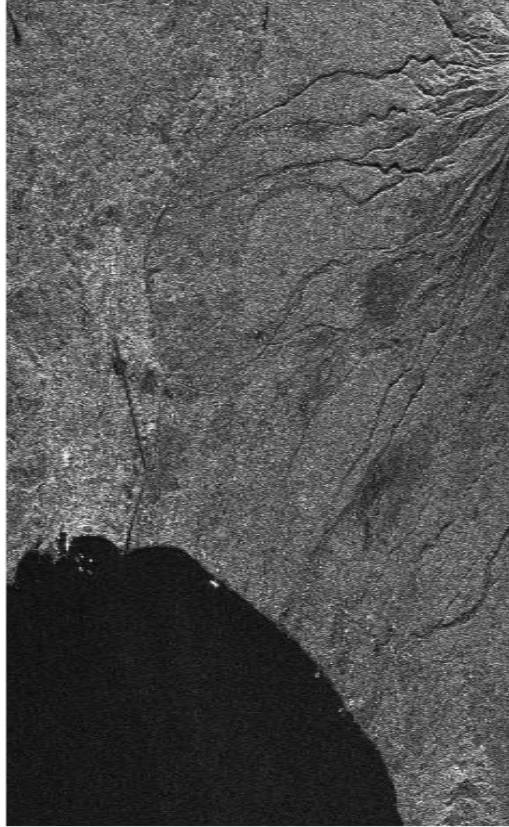
Şekil A4.17. 11.01.2019 tarihli slave görüntü.



Şekil A4.18. 16.02.2019 tarihli slave görüntü.



Şekil A4.19. 04.06.2019 tarihli slave görüntü.



Şekil A4.20. 15.08.2019 tarihli slave görüntü.

Ek A5. Konya Karapınar ilçesindeki düşey deformasyonların incelendiği uygulamada kullanılan master görüntü ve slave görüntüler.



Şekil A5.1. 04.06.2018 tarihli master görüntü.



Şekil A5.2. 02.06.2016 tarihli slave görüntü.



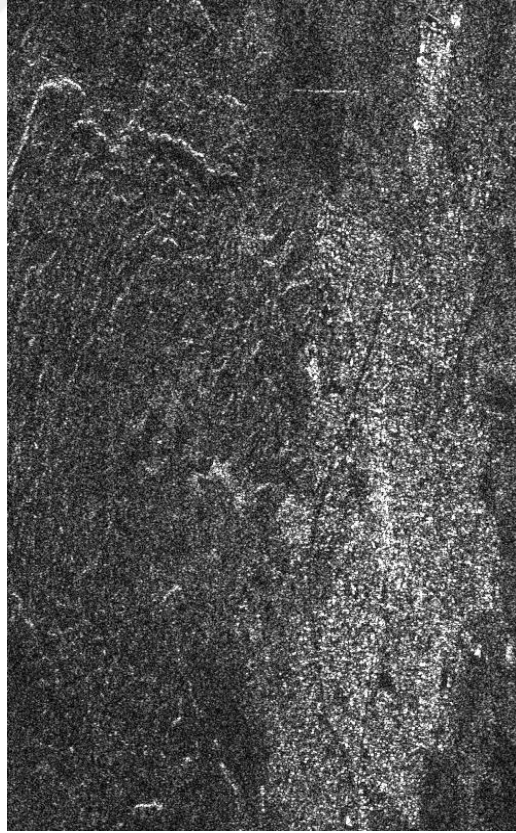
Şekil A5.3. 06.09.2016 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.4. 11.12.2016 tarihli slave görüntü.



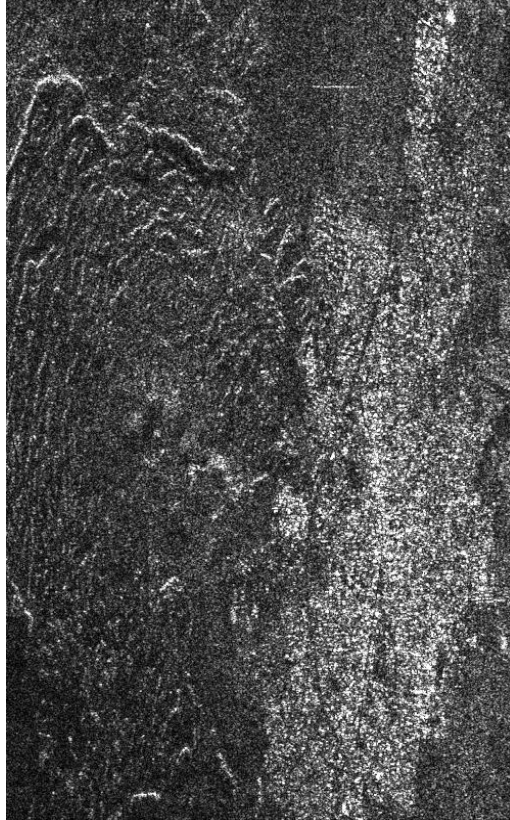
Şekil A5.5. 05.03.2017 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.6. 09.06.2017 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.7. 01.09.2017 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.8. 06.12.2017 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.9. 12.03.2018 tarihli slave görüntü.



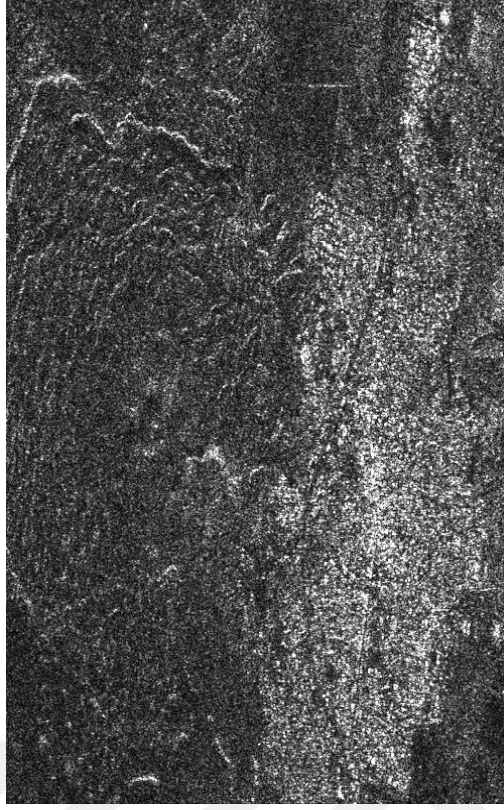
Şekil A5.10. 08.09.2018 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.11. 01.12.2018 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.12. 07.03.2019 tarihli slave görüntü.



Şekil A5.13. 11.06.2019 tarihli slave görüntü.

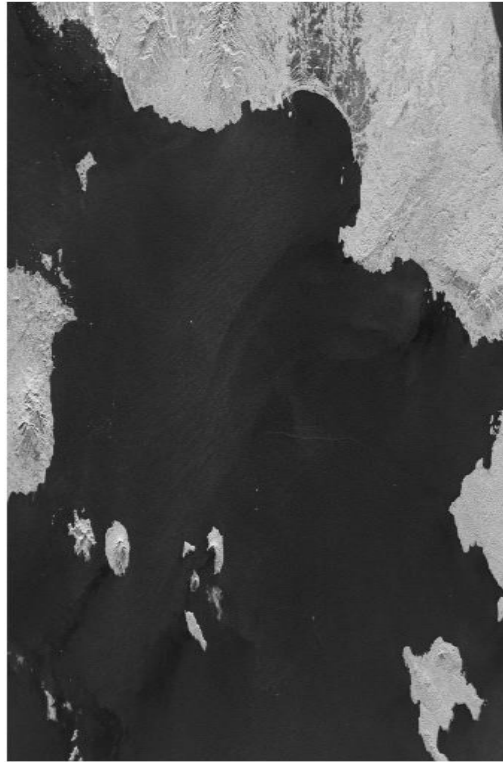


Şekil A5.14. 03.09.2019 tarihli slave görüntü.

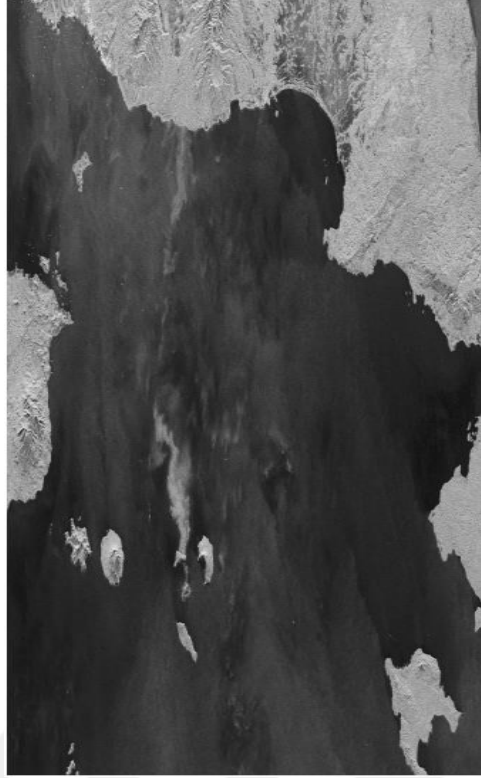


Şekil A5.15. 26.11.2019 tarihli slave görüntü.

Ek A6. 2018 Endonezya Sunda Boğazı'ndaki tsunaminin incelendiği uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.

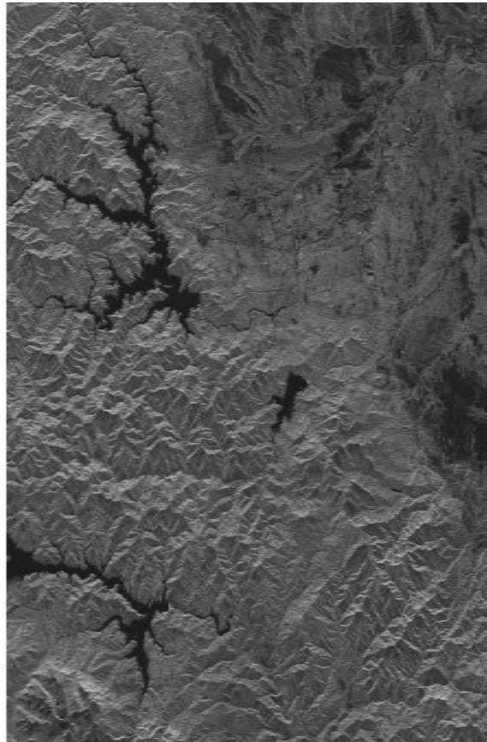


Şekil A6.1. 10.12.2018 tarihli master görüntü.

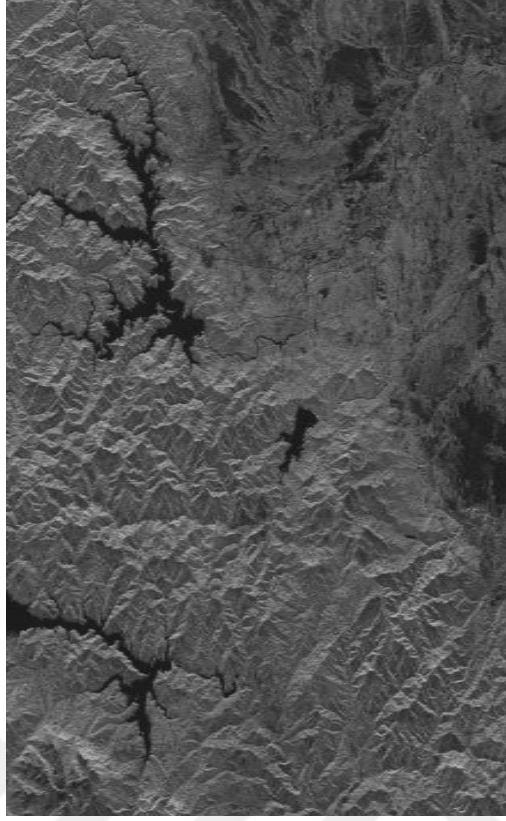


Şekil A6.2. 22.12.2018 tarihli slave görüntü.

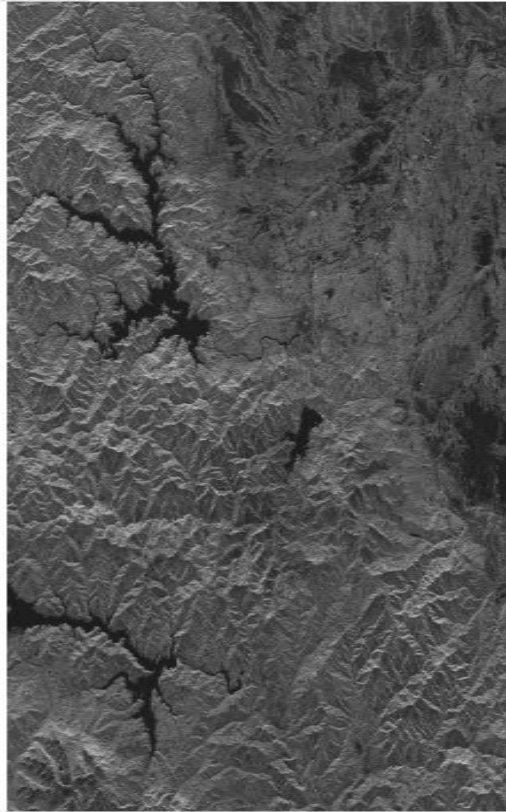
Ek A7. Kaliforniya Carr Yangını'nın incelendiği uygulamada kullanılan master ve slave görüntüler.



Şekil A7.1. 12.07.2018 tarihli master görüntü.



Şekil A7.2. 24.07.2018 tarihli slave görüntü.



Şekil A7.3. 10.09.2018 tarihli slave görüntü.

Ek B. Mayon Yanardağı'nın eteğinde belirlenen noktalarda volkanizma öncesi meydana gelen hareketler.

ID:1054

Height [m]:283.8, Height St Dev [m]:0.0

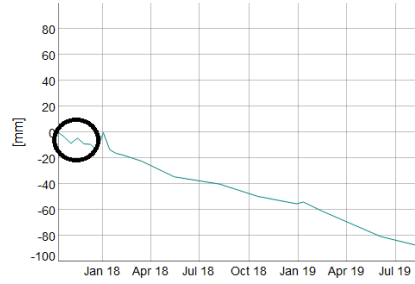
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-44.8, Velocity St Dev [mm/year]:1.40

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-82.4

Temporal Coherence:0.76, Sample:1361, Line:656

Std Dev [mm]:3.8 Data Nr.: 20



ID:1052

Height [m]:286.9, Height St Dev [m]:0.0

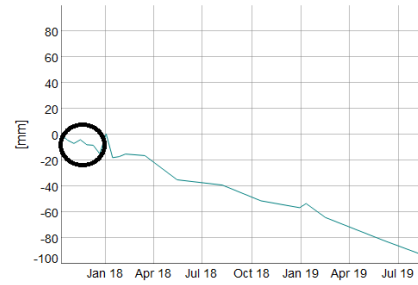
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-47.7, Velocity St Dev [mm/year]:1.43

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-87.7

Temporal Coherence:0.67, Sample:1315, Line:656

Std Dev [mm]:4.3 Data Nr.: 20



ID:1052

Height [m]:286.9, Height St Dev [m]:0.0

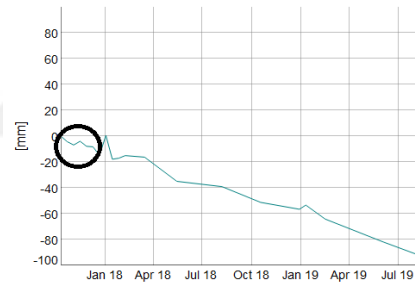
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-47.7, Velocity St Dev [mm/year]:1.43

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-87.7

Temporal Coherence:0.67, Sample:1315, Line:656

Std Dev [mm]:4.3 Data Nr.: 20



ID:1202

Height [m]:328.0, Height St Dev [m]:0.0

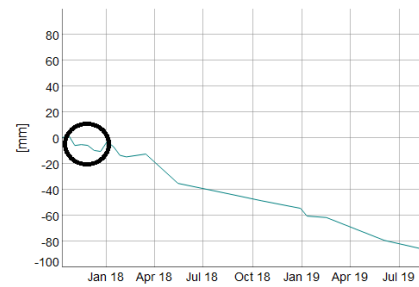
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-47.3, Velocity St Dev [mm/year]:1.29

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-87.0

Temporal Coherence:0.72, Sample:1329, Line:691

Std Dev [mm]:3.7 Data Nr.: 20



ID:1212

Height [m]:331.6, Height St Dev [m]:0.0

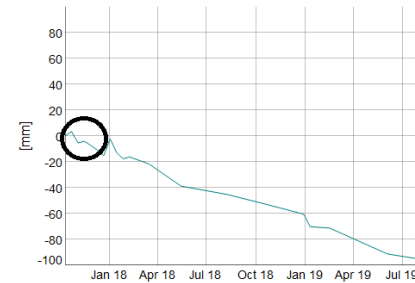
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-53.0, Velocity St Dev [mm/year]:1.38

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-97.6

Temporal Coherence:0.72, Sample:1242, Line:694

Std Dev [mm]:3.8 Data Nr.: 20



ID:989

Height [m]:260.1, Height St Dev [m]:0.0

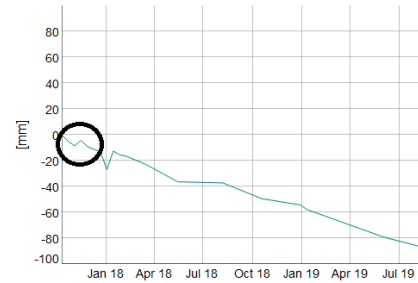
Height relative to Ground [m]:0.0

Velocity [mm/year]:-44.4, Velocity St Dev [mm/year]:1.34

Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]:0.00, Cumulative Displacement [mm]:-81.7

Temporal Coherence:0.77, Sample:1411, Line:638

Std Dev [mm]:3.9 Data Nr.: 20



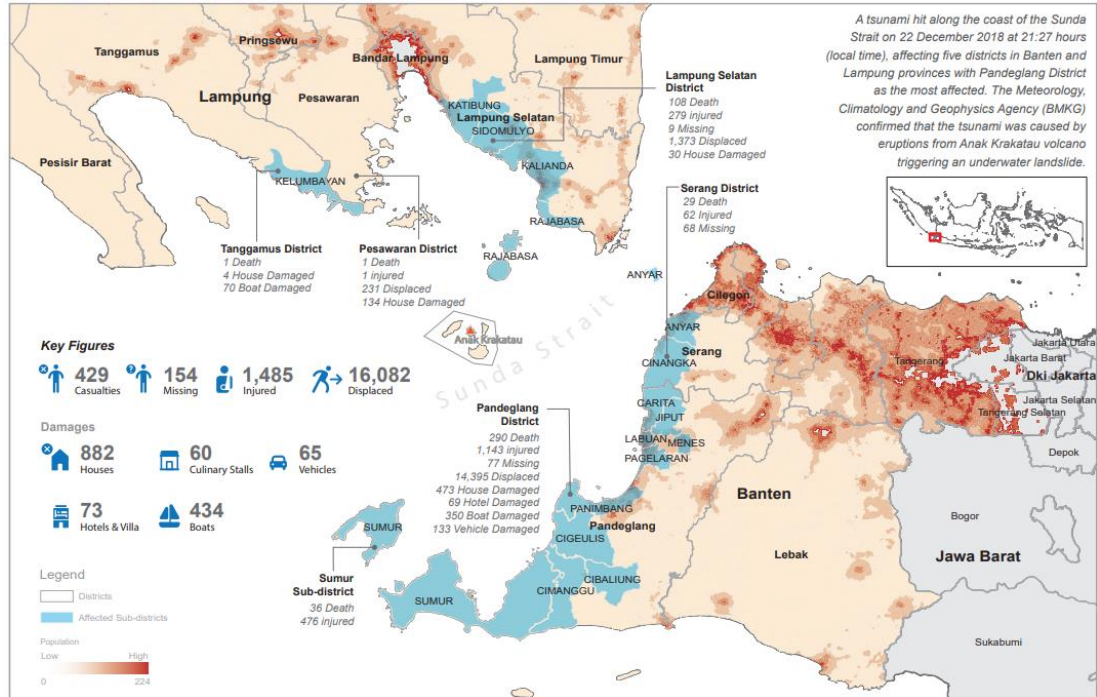
Şekil B Mayon Yanardağı'nın eteğinde belirlenen noktalarda volkanizma öncesi meydana gelen hareketler.

Ek C. Konya Karapınar uygulamasında kullanılan PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerinin ve düşey yönlü karşılıklarının noktaların dağılımlarına göre ortalama değerleri.

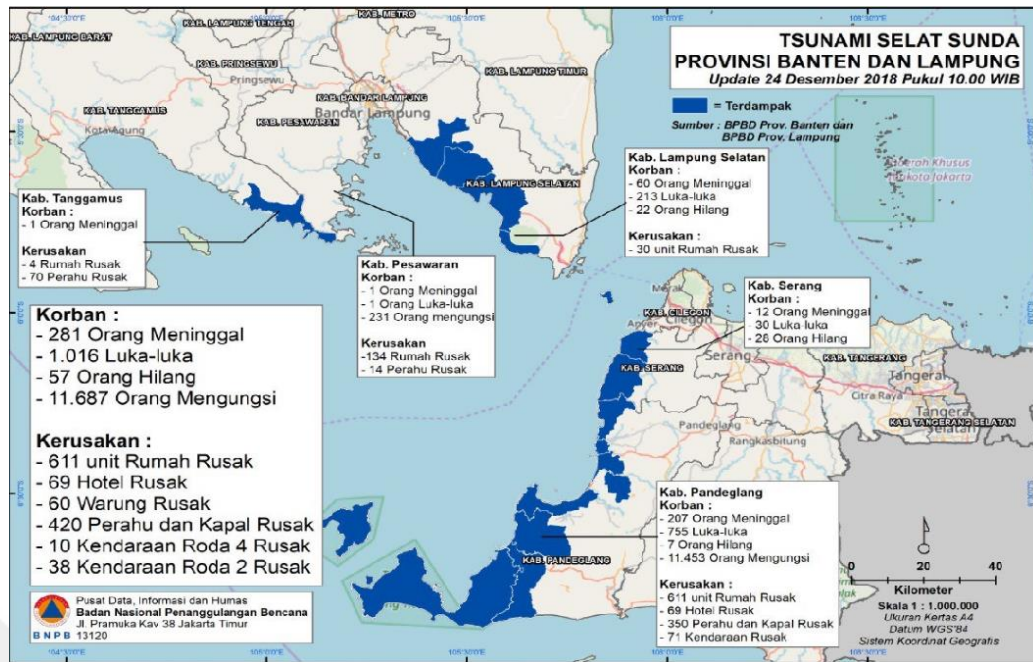
Çizelge C Konya Karapınar uygulamasında kullanılan PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketlerinin ve düşey yönlü karşılıklarının noktaların dağılımlarına göre ortalama değerleri.

Bölge	LOS (mm)	Düşey (mm)
İlçe merkezi	[-5,-10]	[-6,4, -12,7]
İlçe merkezi ile tarım arazileri arasında kalan bölge.	[-10,-20]	[-12,7, -25,5]
Tarım alanlarına yakın bölgeler	[-20,-50]	[-25,5, -63,7]

Ek D. Climatology and Geophysics Agency ve Badan Nasional Penanggulangan Bencana tarafından oluşturulan tsunami etki haritaları.

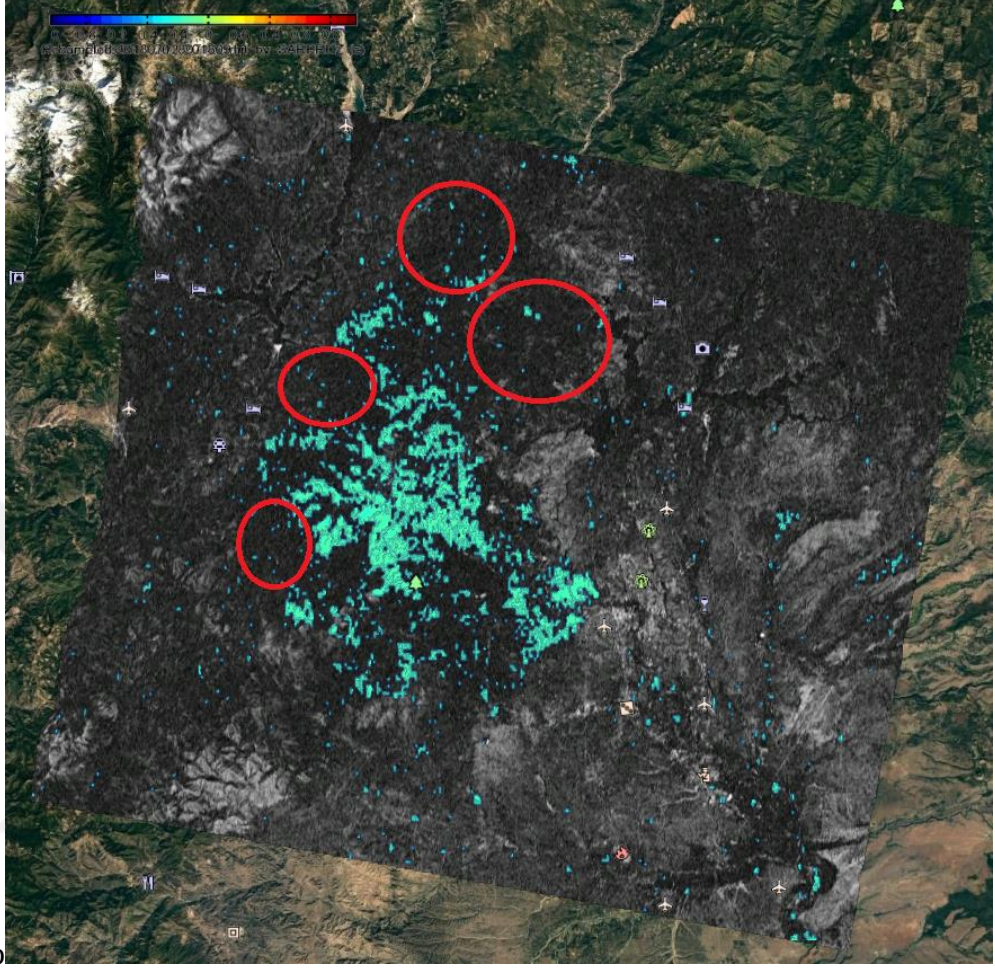


Şekil D1. Climatology and Geophysics Agency (BMKG) tarafından oluşturulan 2018 Endonezya Sunda Boğazı tsunaminin etki haritası.



Şekil D2. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tarafından oluşturulan 2018 Endonezya Sunda Boğazı tsunaminin etki haritası.

Ek E. Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlendiği araştırmada genlik değerlerinin farklarının kullanıldığı uygulamada veri kaybı olan bölgeler.



Şekil E Kaliforniya Carr Yangını'nın etki alanının belirlendiği araştırmada genlik değerlerinin farklarının kullanıldığı uygulamada veri kaybı olan bölgeler.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Bekir GÜNDOĞDU

E-posta adresi :

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Önlisans : Mersin üniversitesi, Harita ve Kadastro (İkmep) 2011-2014.

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği 2014-2017.

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği ABD, 2018-2021.

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Gündoğdu, B., Erdoğan. H. ve Oktar, O., 2020. InSAR Görüntüleri ile Yüze Deformasyonlarının İncelenmesi Kırıkkale Örneği, Uluslararası 5 Ocak Uygulamalı Bilimler Kongresi, 03-05 Ocak 2020, Adana.